Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 1, Spring 2020 (189-201)
DOI: 10.22059/ijhs.2018.267489.1521

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص ۲۰۱-۱۸۹)

تأثیر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزا بر صفات فیزیولوژیک و درصد اسانس مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

فاطمه ذاکریان[۱]، فاطمه سفیدکن[۲*]، بهلول عباس‌زاده[۳] و سپیده کلاته جاری[٤]

۱ و ٤. دانشجوی دکتری و استادیار، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲ و ۳. استاد و استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲٤- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۸)

چکیده

مرزه سهندی یکی از گیاهان دارویی انحصاری ایران است که علاوه بر کاربرد در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی، به دلیل تحمل بالا به تنش خشکی و قابلیت تولید در مناطق دیم از اهمیت زراعی بالایی برخوردار می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات صفات فیزیولوژیک مرزه سهندی، این تحقیق در دو سال در شرایط مزرعه در قالب کرت های خرد شده در سه تکرار اجرا شد. تنش خشکی به عنوان کرت اصلی در چهار سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مراحل ساقه‌دهی، غنچه‌دهی و ۵۰٪ گلدهی) و تلقیح با قارچ مایکوریزا به عنوان کرت فرعی در چهار سطح (*Glomus intraradices*، *G. mosseae*، *G.intraradices + G. mosseae* و عدم استفاده از کود زیستی) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اثر متقابل سال×تنش×میکوریزا در سطح ۱ درصد بر دو آنزیم پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز و نیز درصد اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، پراکسیداز و فنل کل در سال دوم بیشترین بودند. بیشترین مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، مالون‌دی آلدهید و قند محلول در تنش خشکی در مرحله ساقه‌دهی به‌دست آمد. بیشترین سوپراکسیددیسموتاز و پرولین متعلق به تنش خشکی ۵۰ درصد در زمان گلدهی بود. بیشترین درصد اسانس (۱/۸۷ درصد) در تیمار مصرف هر دو گونه میکوریزا به دست آمد. بنابراین استفاده از کودهای زیستی می تواند اثرات تنش خشکی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، درصد اسانس، قندهای محلول، مرزه سهندی.

Effect of drought stress and mycorrhizal fungi on physiological traits and essential oil percentage of *Satureja sahandica* Bornm.

Fatemeh Zakerian[1], Fatemeh Sefidkon[2]*, Bohloul Abbaszadeh[3] and Sepideh Kalate-Jari[1]
1, 4. Ph. D. Candidate and Assistant Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
2, 3. Professor and Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
(Received: Oct. 16, 2018 - Accepted: Dec. 19, 2018)

ABSTRACT

Satureja sahandica is one of the endemic Iranian medicinal plants which, has application in pharmaceutical, food, cosmetic and sanitary industries and has high agricultural importance due to its high tolerance to drought stress and production capacity in rainfed areas. In order to investigate the changes in the physiological traits of *Satureja sahandica*, this research was carried out in two years under field conditions with split plot design in three replications. Drought stress considered as main slot at four levels (full irrigation and interupted irrigation at shoot, budding and 50% flowering stages) and inoculation with mycorhiza as sub plot at four levels (non-use of bio fertilizer (control), *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, and *Glomus mosseae + Glomus intraradices)*. The results showed iteraction effect of year * drought stress * mycorrhiza at 1% level on peroxidase and polyphenol oxidase and percentage of essential oil was significant. Mean comparison of traits showed that catalase, superoxide dismutase, peroxidase and total phenol were the highest in the second year. The highest amount of chlorophyll b, total chlorophyll, malondialdehyde, soluble sugar was obtained in drought stress at stem elongation. The highest superoxide dismutase, proline, and total phenol belonged todrought stress at 50% flowering. The highest percentage of essential oil (1.87%) obtained in use of both species of mycorrhiza. So using bio fertilizers can reduced effects of drought stress.

Keywords: Antioxidant enzymes, essential oil percentage, proline, *Satureja sahandica*, soluble sugar.

* Corresponding author E-mail: sefidkon@rifr-ac.ir

مقدمه

جنس مرزه (*Satureja*) از تیره نعناع (El-Gazzar & Watson, 1970) اغلب در مناطق مدیترانه‌ای پراکندگی دارد. از میان ۱۶ گونه موجود در ایران، ۱۰ گونه *S. intermedia*، *S. khuzistanica*، *S. bachtiarica*، *S. rechingeri*، *S.isophylla*، *S. sahendica*، *S. edmondi*، *S. kallarica*، *S. atropatana* و *S. kermanshahensis* انحصاری ایران هستند (Rechinger, 1982). مرزه سهندی با نام علمی *S. sahendica* Bornm. به لحاظ دوره رشد، چندساله است (Akbarinia & Sefidkon, 2009). رویشگاه‌های طبیعی مرزه سهندی در شمال غرب، غرب (Rechinger, 1982) و شمال شرق ایران در ناحیه ایران- تورانی در ارتفاعات ۱۳۰۰ الی ۲۵۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (Jamzad, 2009). از نظر خصوصیات ظاهری، مرزه سهندی گیاهی بوته‌ای با ساقه و برگ‌های زیاد، هر چرخه گل متشکل از دو تا شش گل سفید یا صورتی مایل به بنفش که در جذب حشرات گرده‌افشان مؤثر بوده (Ghahreman, 1990) و دو پرچم جلویی بلندتر بوده و از لوله جام بیرون آمده است (Jamzad, 2009). رشد رویشی این گیاه از اواخر اسفند شروع می‌شود در سال اول امکان برداشت یک چین و در سال‌های بعد بسته به شرایط آب‌وهوایی می‌توان دو الی سه چین در مرحله گلدهی برداشت نمود (Akbarinia *et al*., 2009). برای گونه‌های مختلف مرزه خواص دارویی متعددی گزارش شده است (Zargari, 1982; Tabatabaei Raisi *et al*., 2007). اسانس مرزه سهندی در صنایع دارویی، غذایی، بهداشتی و آرایشی کاربرد دارند (Sefidkon & Akbarinia, 2009). خاصیت ضد ویروسی اسانس مرزه سهندی گزارش شده است (Sefidkon *et al*., 2004).

تنش خشکی از مهمترین تنش‌های محیطی می‌باشد که باعث کاهش جذب آب، هدایت روزنه‌ای، تعرق، فتوسنتز و به هم‌خوردن موازنه هورمونی گیاه می‌شود (Khalafalla & Abo- Ghalia, 2008). گیاهان مکانیزم های مختلفی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش دارند که از آن جمله می توان به افزایش تنظیم‌کننده اسمزی مانند قندها، اسید آمینه پرولین و پروتئین‌ها اشاره کرد (Ashraf *et al*., 1994). تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل گیاه (Fu & Huang, 2001)، افزایش کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها می‌شود (Chalker-Scott, 2002). کاروتنوئیدها با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در تعدیل اثرات سوء تنش در گیاه نقش مهمی ایفا می‌کنند (Mittler, 2002). همچنین در شرایط تنش خشکی رادیکال‌های آزاد اکسیژن (Blokhina, *et al*., 2003) آزاد می‌شوند و آنتی‌اکسیدان‌هایی از قبیل کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و غیره در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها برای جاروب کردن آنها افزایش می‌یابند (Ardakani *et al*., 2010 Amini *et al*., 2008;). کاهش فعالیت کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز می‌تواند سبب تجمع پراکسید هیدروژن شده و سبب کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌های چرخه کالوین نظیر ریبولوز مونوفسفات، کیناز و بی‌فسفاتازها گردد (Amini *et al*., 2008). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، رادیکال سوپراکسید را به پراکسیدهیدروژن تبدیل می‌کند و کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، تجمع رادیکال سوپراکسید را در پی دارد (Mittler *et al*., 2004). گیاهانی که دارای سطح بالاتری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌ها هستند، مقاومت بیشتری نسبت به سوپراکسیدها نشان می‌دهند (Dionisio-Sec & Tobita, 1998).

در گیاهان دفاع آنزیمی مربوط به حذف یا خنثی کردن حدواسط‌های اکسیژنی می‌شود (Ghorbani Ghogy & Ladan Moghaddam, 2005). تنش خشکی پرولین فلفل (Koc *et al*., 2010) و کاروتنوئید و آنتوسیانین بابونه را افزایش و کلروفیل بابونه را کاهش (Arazmjo *et al*., 2010) و همچنین پروتئین کاسنی را کاهش داد (Jazizadeh & Mortezayee nejad, 2017). افزایش پرولین و قندهای محلول در گیاهان وایولی (Baher Nik, *et al*., 2007) و زنیان (Razavizadeh, 2014) در شرایط خشکی مشاهده شد.

جهت کاهش اثر نامطلوب تنش خشکی بر گیاه راه‌کارهای گوناگونی از جمله مدیریت مصرف کود به ویژه کودهای نیتروژنی (Hirell *et al*., 2007)، مدیریت مصرف آب (Galle *et al*., 2009) و افزایش توانایی تحمل گیاه به کم آبی (Valente *et al*., 2008) پیشنهاد شده است. استفاده از برقراری همزیستی گیاه با قارچ‌های آربسکولاری میکوریزا و بهبود روابط آبی آن با گیاه

میزبان از راه‌کارهای مطرح‌شده در دهه‌های اخیر است (Smith & Read,. 2008). قارچ‌های میکوریزایی دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی می باشند و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر و برخی عناصر کم مصرف، افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی و افزا یش مقاومت در برابر عوامل بیماریزا، سبب بهبود در رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستمهای کشاورزی پایدار می‌شوند (Marschner & Dell, 1994; Sharma, 2002). قارچ‌های میکوریزا باعث افزایش سطح جذب ریشه شده و با تغییر سرعت حرکت آب در گیاهان میزبان، روی آب‌گیری بافت و فیزیولوژی برگ تأثیر می‌گذارد (Auge *et al.*, 2001). در گیاه بادرنجبویه تحت تنش خشکی (۲۰٪، ۴۰٪، ۶۰٪، ۸۰٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی) بیشترین تجمع پرولین و کلروفیل b در تیمار ۲۰٪، قند محلول در تیمار ۶۰٪ ظرفیت زراعی، کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار ۱۰۰٪ ظرفیت زراعی مشاهده شد (Abbaszadeh *et al.*, 2008). در مرزه یکساله (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش ۳۰٪ و ۶۰٪ ظرفیت زراعی و شاهد، پرولین تحت تنش افزایش و در تیمارهای تلقیح شده با قارچ‌های *Glomus versiformi* و *Glomus etunicatum* پرولین کاهش یافت (Ismaeil pour, *et al.*, 2013). در گیاه پونه معطر (*Mentha pulegium* L.)، خشکی موجب افزایش آنزیم کاتالاز و کاهش پراکسیداز شد (Afsharmohammdian *et al.*, 2016). با توجه به اینکه روی مسائل به‌زراعی گیاهان دارویی به‌خصوص مرزه سهندی تا بحال تحقیقات زیادی انجام نشده است، بنابراین ارائه تکنیک‌های مناسب زراعی به منظور افزایش کمیت و کیفیت آنها از اهمیت بالایی برخوردار است (Abbaszadeh *et al.*, 2014) و در همین راستا پژوهش حاضر برای بررسی تأثیر قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک مرزه در شرایط تنش آبی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مجتمع تحقیقاتی البرز در سال‌های ۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. ایستگاه تحقیقات البرز در پنج کیلومتری جنوب شرقی شهرستان کرج در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه شرقی، در ارتفاع ۱۳۲۰ متری از سطح دریا و با متوسط بارندگی حدود ۲۳۵ میلی‌متر، قرار دارد (IRMO, 2016). ابعاد کرت‌ها ۲×۳ متر، فاصله بلوک‌ها ۲ متر، فاصله کرت‌های فرعی از یکدیگر ۱ متر، فاصله خطوط کشت ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها بر روی یک خط ۳۰ سانتی‌متر بود. بذر گیاه موردنظر از بخش گیاهان دارویی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع که در طرح جامع فاز اول توسط بخش گیاه‌شناسی، شناسایی شده است، تهیه گردید. بذرها ۱۵ اسفند ماه در شرایط شاسی سرد (گلخانه) کشت و نشاءها در اواخر اردیبهشت ماه پس از گذراندن یک هفته در شرایط بیرون از گلخانه به زمین اصلی منتقل شدند. قبل از شروع کشت گیاه در مزرعه به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، تعداد نه نمونه خاک به‌طور تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از قسمت‌های مختلف مزرعه برداشت و پس از مخلوط کردن آن‌ها، یک نمونه مرکب تهیه و در آزمایشگاه خاک در آزمایشگاه مؤسسه خاک و آب (Bulk density, %PWP and %FC) و مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع (بقیه صفات) اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری

Table 1. Physical and chemical properties of soil from the depth of 0-30cm

TNV (%)	Organic carbon (%)	Organic matter (%)	EC (ds/m)	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	K (av.) (mg/kg)
11.8	0.96	1.60	1.13	7.48	41	33	26	198

P (av.) (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	N (%)	Bulk density (Bd) (g/cm^3)	PWP (15bar) (%)	FC (0.33bar) (%)
11.2	1.31	10.82	0.56	0.62	0.08	1.76	12.21	23.41

کرت اصلی شامل تنش خشکی در چهار سطح (آبیاری کامل (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی (پس از استقرار گیاه در زمین و شروع رشد ساقه‌های کاملاً خشبی و ایستاده را عنوان مرحله ساقه‌دهی در نظر گرفته و قطع آبیاری انجام شد و با شروع مرحله غنچه‌دهی آبیاری مجددا برقرار شد.)، قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی (عدم آبیاری تا انتهای دوره گلدهی)، قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گلدهی (عدم آبیاری تا انتهای دوره گلدهی)، کرت فرعی شامل تلقیح با قارچ مایکوریزا در چهار سطح (عدم استفاده از کود زیستی (شاهد)، تلقیح با *Glomus intraradices*، تلقیح با *Glomus mosseae*، تلقیح با *Glomus intraradices* + *Glomus mosseae*) بود.

آبیاری در دوره رشد در محدوده ۹۰-۸۰٪ ظرفیت زراعی بود. تیمارهای قطع آبیاری براساس مورفولوژی گیاه اعمال گردید.

کودهای زیستی حاوی قارچ میکوریزایی به نام *Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* به‌صورت اندام فعال قارچی (شامل اسپور، هیف و ریشه) بود و از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید. قبل از کاشت نشاء در مزرعه در هر چاله کاشت ۱۰ گرم از کود زیستی که حاوی ۴۰۰ تا ۵۰۰ اندام فعال قارچی بود، ریخته شد.

در فصل بهار پس از آماده سازی زمین نسبت به انتقال نشاها اقدام گردید. آبیاری از طریق شلنگ‌های ۱۶ میلیمتری انجام شد. برای کنترل میزان آب مصرفی از روش وزنی استفاده شد. میزان آب مصرفی از طریق رابطه (۱) برآورد و اعمال گردید (Behera & Panda, 2009):

رابطه ۱) $V=\rho ZA\,(FC-PWP)/100$

در این رابطه، V حجم آب آبیاری که در هر نوبت آبیاری به واحدهای آزمایشی داده شد، ρ وزن مخصوص ظاهری خاک، Z عمق توسعه‌ی مؤثر ریشه‌ها، A مساحت واحد آزمایشی، FC مقدار رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و PWP مقدار رطوبت خاک در نقطه‌ی پژمردگی دائم می‌باشند.

میزان پروتئین محلول، با روش لوری و به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر ۸ شعاعی مدل LUV-100A ساخت آمریکا در طول موج ۶۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و از آلبومین سرم گاوی برای رسم منحنی استاندارد استفاده گردید (Lowry *et al*., 1995).

اندازه‌گیری میزان ترکیبات فنلی با روش فولین سیوکالتو انجام شد و از کاکتول برای رسم منحنی استاندارد استفاده گردید (Shehab *et al*., 2010).

اندازه گیری محتوای کلروفیل و کاروتنوئید، با استفاده از روش آرنون انجام گرفت بدین ترتیب که برگ تر گیاه در هاون چینی با استن به‌صورت تدریجی سائیده شده و در هر مرحله محلول شفاف رویی به بالن ژوژه منتقل گردیده و سپس محلول را با استن به حجم رسانده، محلول حاصل سانتریفیوژ و جذب نوری در طول موج‌های ۴۸۰، ۵۱۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه گیری شد. در نهایت مقدار کلروفیل و کاروتنوئید بر حسب میلی گرم در گرم بافت تر برگ از طریق رابطه‌های زیر محاسبه شدند (Arnon, 1949):

رابطه ۲) = کلروفیل a (میلی گرم در گرم بافت تر)

$$\{۱۲/۷(A۶۶۳)-۲/۶۹(A۶۴۵)\}\times V/W \times ۱۰۰۰$$

= کلروفیل b (میلی گرم در گرم بافت تر)

$$\{۲۲/۹(A۶۴۵)-۴/۶۸(A۶۶۳)\}\times V/W \times ۱۰۰۰$$

= کلروفیل کل (میلی گرم در گرم بافت تر)

$$\{۲۰/۲(A۶۴۵)-۸/۰۲(A۶۶۳)\}\times V/W \times ۱۰۰۰$$

= کاروتنوئید (میلی گرم در گرم بافت تر)

$$\{۲۲/۹(A۶۴۵)-۴/۶۸(A۶۶۳)\}\times V/W \times ۱۰۰۰$$

برای تعیین میزان پرولین برگ ۰/۵ گرم برگ از هر کرت نمونه‌برداری و پس از شست‌وشو، در کاغذ آبگیری شدند. برگ‌ها به مدت سه روز در پاکت درون آون ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از تثبیت وزن خشک، نمونه با هاون چینی پودر شده و در لوله‌های در بسته نگهداری شد. مقدار ۰/۱ گرم پودر برگ با ترازوی دیجیتالی توزین و در ظرف شیشه‌ای کوچک ریخته و روی آن ۱۰ میلی‌لیتر محلول سولفوسالیسیلیک اضافه کرده و پس از ۴۸

ساعت محلول‌ها با کاغذ صافی صاف شده و برای اندازه گیری پرولین استفاده شد، به‌گونه‌ای که یک میلی‌لیتر از محلول هر نمونه را در لوله آزمایش ریخته و به آن یک میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و یک میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه شد. لوله‌های آزمایش به مدت یک ساعت در بن ماری جوشان ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا زمانی که رنگ آجری تولید شده تثبیت شود. لوله‌ها بلافاصله در آب یخ قرار داده شدند تا واکنش سریعاً متوقف گردد. به هر لوله دو میلی‌لیتر تولوئن افزوده و محتویات لوله به خوبی مخلوط گردید. از محلول قرمز رنگ فاز بالایی نمونه‌برداری و میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (Bartles & Sunkar, 2005) و مقدار پرولین با استفاده از رابطه زیر (رابطه ۳) محاسبه شد.

رابطه ۳)

$$\text{Proline} = \frac{\text{CDV}}{\text{DM}\times 115.5\times 10^{6}} \quad 1\times 10^{5}$$

که در آن C میزان جذب پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر براساس غلظت‌های مشخص پرولین در معادله رگرسیون، D درجه رقت، V حجم تولوئن استفاده شده و DM وزن خشک نمونه برگ استفاده‌شده می‌باشد.

میزان مالون‌دی‌آلدهید مطابق با روش Turkan *et al.* (2005)، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Rios-Gonzalez (2002) سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با روش Pereira *et al.* (2002) و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش Fielding & Hall (1978) اندازه‌گیری شد. اسانس‌گیری از سرشاخه‌های گلدار گیاهان خشک شده در سایه (۱۰۰گرم سرشاخه در ۱۵۰۰ سی‌سی آب مقطر) به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت دو ساعت انجام گرفت (Sefidkon & Akbarinia, 2009). آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین آنها به روش آزمون چند دامنه‌ای در سطح ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد اثر سال× تنش× میکوریزا در سطح ۱ درصد بر میزان فعالیت دو آنزیم پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز و نیز درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۱).

اثر متقابل تنش آبی در میکوریزا بر پروتئین، کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، کلروفیل a، کلروفیل کل، پرولین، قند محلول و درصد اسانس در سطح احتمال ۱ درصد و بر کاروتنوئید، فنل کل در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر سال در میکوریزا بر پلی‌فنل‌اکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر تنش آبی بر کلروفیل b، کاروتنوئید، فنل کل و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Table 1. Results of combined variance analysis effect of drought stress and mycorrhizal fungi on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Source of variation	d.f.	Mean Square							
		Protein	Catalase	Super oxid dismutas	Peroxidase	Chlorophyll-a	Chlorophyll-b	Chlorophyll-total	Carotenoid
Year	1	1.23ns	0.009*	8568**	0.001**	0.102ns	0.322**	0.050ns	0.021ns
Erorr (year)	4	0.19	0.0006	1920	0.00006	0.014	0.001	0.008	0.003
Stress	3	22.73**	0.172**	207507**	0.023**	0.519**	0.070**	0.97**	0.04**
Year*Stress	3	0.009ns	0.00001ns	15.97ns	0.005**	0.013ns	0.0003ns	0.002ns	0.000003ns
Erorr (a)	12	0.75	0.0001	261.86	0.0004	0.017	0.002	0.04	0.001
Mycorrhiza	3	7.40**	0.13**	369330**	0.054**	0.313**	0.070**	0.73**	0.137**
Year ×Mycorrhiza	3	0.004ns	0.000006ns	128.02ns	0.000006ns	0.009ns	0.00009ns	0.007ns	0.00001ns
Stress×Mycorrhiza	9	1.35**	0.04**	21382**	0.002**	0.046**	0.010ns	0.096**	0.013*
Year×Mycorrhiza×Stress	9	0.01ns	0.000006ns	148.06ns	0.002**	0.016ns	0.0003ns	0.005ns	0.000003ns
Error	48	0.32	0.0005	1224	0.0004	0.014	0.011	0.021	0.004
Cv%		18.40	11.40	12.56	19.90	13.32	26.57	10.62	15.79

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns,*, **: non-significant, significantly different at 5 and 1 %, respectively;

ادامه جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Continued Table 1. Results of combined variance analysis effect of drought stress and mycorrhizal fungi on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Source of variation	d.f.	Mean Square					
		Proline	Total phenol	Malon-dialdehyde	Polyphenol oxidase	Soluble sugar	Essential oil percentage
Year	1	0.240**	9.21**	0.290*	0.002^{ns}	0.107^{ns}	3.46^{ns}
Erorr (year)	4	0.011	0.328	0.024	0.0006	0.026	0.90
Stress	3	1.73**	2.594**	0.690**	0.261**	0.363**	0.68*
Year×Stress	3	0.00000001^{ns}	0.144**	0.0001^{ns}	0.007**	0.001^{ns}	0.11^{ns}
Erorr (a)	12	0.002	0.009	0.086	0.001	0.009	0.26
Mycorrhiza	3	1.05**	7.36**	0.950**	1.019**	0.076**	0.41^{ns}
Year×Mycorrhiza	3	0.000002^{ns}	0.010^{ns}	0^{ns}	0.006**	0.0004^{ns}	0.49^{ns}
Stress×Mycorrhiza	9	0.272**	0.56*	0.182^{ns}	0.273**	0.067**	0.86**
Year×Mycorrhiza×Stress	9	0.000002^{ns}	0.20^{ns}	0.071^{ns}	0.088**	0.0003ns	0.94**
Error	48	0.008	0.24	0.160	0.001	0.017	0.18
Cv%		10.64	11.73	22.75	12.48	16.06	25.74

ns، * و **: نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns, *, **: Non-significantly difference and significantly different at α=0.05 and α=0.01 probability levels, respectively.

اثر میکوریزا بر تمامی صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مشاهده شد بین دو سال در صفات سوپراکسیددیسموتاز، کلروفیل b، پرولین، فنل کل در سطح احتمال ۱ درصد و کاتالاز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت.

مقایسه میانگین نشان داد کاتالاز، سوپراکسید دسموتاز، پراکسیداز، کلروفیل b، پرولین، فنل کل، درصد اسانس در سال دوم بیشتر بودند (جدول ۲).

بیشترین مقدار پروتیین، کاتالاز، پراکسیداز، کلروفیل b، کلروفیل کل، مالون‌دی آلدیید، قند محلول در تیمار تنش خشکی در مرحله ساقه‌دهی به‌دست آمد. بیشترین پلی‌فنل‌اکسیداز و درصد اسانس در تیمار تنش خشکی در مرحله غنچه‌دهی بود. بیشترین سوپراکسیددسموتاز، پرولین در تیمار تنش خشکی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد مقدار پروتیین، کاتالاز، سوپراکسیددسموتاز، پراکسیداز، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین، فنل کل، مالون‌دی آلدیید، پلی‌فنل‌اکسیداز، قند محلول در تیمار عدم مصرف میکوریزا بیشترین بودند و با مصرف میکوریزا کاهش نشان دادند. بیشترین درصد اسانس در تیمار مصرف هر دو کود زیستی مشاهده شد (جدول ۴).

نتایج همبستگی ساده صفات نشان داد بین همه صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده، به‌جز کلروفیل a، رابطه مثبت معنی‌دار وجود داشت. کلروفیل a با مقدار پروتئین، سوپراکسید دیسموتاز، کاروتنوئید و مالون‌دی‌آلدهید همبستگی معنی‌دار نشان نداد و همبستگی مثبت معنی‌دار بین کلروفیلa با کاتالاز، پراکسیداز، کلروفیل b، کلروفیل کل، فنل کل، پلی‌فنل‌اکسیداز و قند محلول همبستگی مثبت معنی‌دار داشت (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سال× تنش خشکی × کود زیستی بر آنزیم‌های پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز و درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی میانگین آنزیم پراکسیداز نشان داد مقدار آنها در سال دوم در تنش قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی در شرایط بدون استفاده از کودهای زیستی بیشتر از بقیه تیمارها بود که موید افزایش آن در شرایط تنش می‌باشد. در تحقیقات مختلف افزایش برخی از رادیکال‌های آزاد اکسیژن در میتوکندری‌ها و کلروپلاست در شرایط تنش گزارش شده است (Blokhina *et al*., 2003; Amini *et al*., 2008; Ardakani *et al*., 2010). گیاه مکانیزم‌های مختلفی را برای مقابله با تنش اتخاذ می‌کند، به طوری که در شرایط قطع آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، برخلاف تیمارهای دیگر، افزایش درصد اسانس اتفاق افتاد، این

نتیجه با نتایج تحقیقات Abbaszadeh (2011)، مطابقت دارد. زیرا ایشان گزارش کرد که در تنش‌های خشکی ملایم یک‌سری ترکیبات از جمله اسانس در گیاهان مورد مطالعه افزایش داشتند و با افزایش شدت تنش، ترکیبات تنظیم‌کننده دیگری از قبیل آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و پرولین افزایش یافتند که وجود همبستگی منفی بین سایر صفات با درصد اسانس در جدول ۵ تائید کننده مطلب فوق می‌باشد.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سال بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Table 2. Mean comparison effect of year on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Year	Protein (mg/g.f.w.)	Catalase (unit/mg.pro)	Super oxid dismutase (unit/mg.pro)	Peroxidase (unit/mg.pro)	Chlorophyll- a (mg/g.f.w.)	Chlorophyll-b (mg/g.f.w)	Chlorophyll-total (mg/g.f.w.)	Carotenoid (mg/g.f.w.)
First year	2.99a	0.20b	268.98b	0.09b	0.87b	0.34b	1.37a	0.43b
Second year	3.22a	0.22a	287.88a	0.10a	0.94a	0.46a	1.41a	0.46a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with same letters are not significant at probability level of 5%.

ادامه جدول ۲. مقایسه میانگین اثر سال بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Continued table 2. Mean comparison effect of year on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Year	Proline (µg/g.f.w.)	Total phenol (mg/g.f.w.)	Malon- dialdehyde (µg/g.f.w.)	Polyphenol oxidase (unit/mg pro)	Soluble sugar (mg/g.f.w.)	Essential oil percentage
First year	0.80b	3.92b	1.70a	0.26a	0.79b	1.49b
Second year	0.90a	4.54a	1.81a	0.25a	0.86a	1.87a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with same letters are not significant at probability level of 5%.

جدول ۳. مقایسه میانگین مرکب اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Table 3. Combined mean comparison effect of drought stress on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Drought stress	Protein (mg/g.f.w.)	Catalase (unit/mg.pro)	Super oxid dismutase (unit/mg.pro)	Peroxidase (unit/mg.pro)	Chlorophyll- a (mg/g.f.w.)	Chlorophyll-b (mg/g.f.w.)	Chlorophyll-total (mg/g.f.w.)	Carotenoid (mg/g.f.w.)
without stress	1.73c	0.09c	177.39d	0.07c	0.97a	0.34b	1.12d	0.38b
no irrigation in the stem elongation stage	4.01a	0.29a	246.96c	0.13a	0.98a	0.47a	1.59a	0.48a
no irrigation in the start of blooming stage	3.38b	0.22b	290.13b	0.11b	0.98a	0.38b	1.48b	0.46a
no irrigation at 50% flowering stage	3.31b	0.22b	399.27a	0.07c	0.68b	0.41b	1.38c	0.45a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with same letters are not significant at probability level of 5%.

ادامه جدول ۳. مقایسه میانگین مرکب اثر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Continued Table 3. Combined mean comparison effect of drought stress on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Drought stress	Proline (µg/g.f.w.)	Total phenol (mg/g.f.w.)	Malon-dialdehyde (µg/g.f.w.)	Polyphenol oxidase (unit/mg pro)	Soluble sugar (mg/g.f.w.)	Essential oil percentage
without stress	0.58c	3.75b	1.68ab	0.18c	0.68c	1.63b
No irrigation in the stem elongation stage	0.82b	4.43a	1.89a	0.27b	0.98a	1.50b
No irrigation in the blooming stage	0.79b	4.25a	1.55b	0.40a	0.83b	1.91a
No irrigation at 50% flowering stage	1.22a	4.47a	1.89a	0.18c	0.79b	1.67ab

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with same letters are not significant at probability level of 5%.

جدول ۴. مقایسه میانگین مرکب اثر قارچ میکوریزا بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Table 4. Combined mean comparison effect of mycorrhizal fungi on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Mycorrhiza	Protein (mg/g.f.w.)	Catalase (unit/mg.pro)	Super oxid dismutase (unit/mg.pro)	Peroxidase (unit/mg.pro)	Chlorophyll- a (mg/g.f.w.)	Chlorophyll-b (mg/g.f.w.)	Chlorophyll-total (mg/g.f.w.)	Carotenoid (mg/g.f.w.)
Control	3.67a	0.32a	450.67a	0.16a	1.004a	0.45a	1.52a	0.51a
Glomus intraradices	2.37c	0.16b	167.51d	0.04d	0.74c	0.32b	1.14c	0.36b
Glomus mosseae	3.34b	0.17b	281.84b	0.11b	0.96ab	0.42a	1.49ab	0.50a
Glomus mosseae+ Glomus intraradices	3.05b	0.17b	213.72c	0.07c	0.92b	0.40a	1.41b	0.400b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with same letters are not significant at probability level of 5%.

ادامه جدول ۴. مقایسه میانگین مرکب اثر قارچ میکوریزا بر صفات فیزیولوژی مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.)

Continued Table 4. Combined mean comparison effect of mycorrhizal fungi on physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm.

Mycorrhiza	Proline (µg/g.f.w.)	Total phenol (mg/g.f.w.)	Malon- dialdehyde (µg/g.f.w.)	Polyphenol oxidase (unit/mg pro)	Soluble sugar (mg/g.f.w.)	Essential oil percentage
Control	1.15a	5.04a	1.95a	0.53a	0.90a	1.62ab
G. intraradices	0.68d	3.81b	1.51c	0.09d	0.80b	1.65ab
G. mosseae	0.82b	4.03b	1.69bc	0.11c	0.83ab	1.57b
G. mosseae+ G. intraradices	0.76c	4.03b	1.87ab	0.30b	0.76b	1.87a

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

Means in each column with same letters are not significant at probability level of 5%.

جدول ۵. همبستگی بین صفات فیزیولوژی اندازه‌گیری شده گیاه مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm)

Table 5. Correlation between measured physiological traits of *Satureja sahendica* Bornm

	Protein (1)	Catalase (2)	Super oxid dismutas (3)	Peroxidase (4)	Chlorophyll-a (5)	Chlorophyll-b (6)	Chlorophyll-total (7)	Carotenoid (8)	Proline (9)	Total phenol (10)	Malon- dialdehyde (11)	Polyphenol oxidase (12)	Soluble sugar (13)	Essential oil percentage (14)
1	1													
2	0.68**	1												
3	0.45**	0.52**	1											
4	0.54**	0.59**	0.51**	1										
5	0.13ns	0.20*	0.06ns	0.53**	1									
6	0.45**	0.41**	0.40**	0.46**	0.21*	1								
7	0.65**	0.61**	0.41**	0.62**	0.30**	0.51**	1							
8	0.61**	0.55**	0.56**	0.66**	0.33**	0.39**	0.62**	1						
9	0.55**	0.61**	0.70**	0.32**	-0.17ns	0.41**	0.39**	0.48**	1					
10	0.54**	0.65**	0.67**	0.50**	0.21*	0.51**	0.45**	0.55**	0.64**	1				
11	0.31**	0.39**	0.34**	0.37**	0.10ns	0.44**	0.34**	0.33**	0.43**	0.32**	1			
12	0.30**	0.44**	0.34**	0.61**	0.29**	0.24*	0.35**	0.27**	0.30**	0.39**	0.22*	1		
13	0.59**	0.47**	0.22*	0.46**	0.25**	0.38**	0.44**	0.51**	0.24*	0.41**	0.20*	0.25**	1	
14	0.10ns	0.17ns	-0.06ns	0.007ns	0.02ns	ns۰/۰۵	0.08ns	0.03ns	0.12ns	0.11ns	0.10ns	0.14ns	-0.05ns	1

ns، * و **: نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار و وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1 ٪, respectively.

بررسی جدول‌های مقایسه میانگین (جدول‌های ۲، ۳ و ۴) نشان داد پراکسیداز در سال دوم بیشتر بود، هر چند گیاهان در سال دوم به دلیل توسعه ریشه و سازگار شدن با شرایط مزرعه، استقرار بهتری نسبت به سال اول داشتند، اما برخلاف انتظار، شاهد افزایش میزان تجمع کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کلروفیل ها، کاروتنوئید، پرولین، فنل کل و قندهای محلول بودیم که نشان می‌دهد گیاهان به‌طورکلی نسبت به سال اول در معرض تنش بیشتری قرار داشتند. با توجه به این‌که نحوه اعمال تیمارهای تنش آبی در سال دوم نیز همانند سال اول بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در سال دوم به دلیل رشد بیشتر اندام‌های هوایی و توسعه سطح تعرق کننده، گیاه بیشتر از سال اول دچار تنش بوده است و گیاه برای جلوگیری از اثرات سوء رادیکال‌های آزاد اکسیژن، اقدام به افزایش مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نموده است تا از کاهش فعالیت برخی از آنزیم‌های چرخه کالوین نظیر ریبولوز مونوفسفات، کیناز و بی‌فسفاتازها جلوگیری نماید (Amini *et al*., 2008). زیرا آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، رادیکال سوپراکسید را به پراکسیدهیدروژن تبدیل می‌کند و کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، تجمع رادیکال سوپراکسید را در پی خواهد داشت (Mittler *et al*., 2004). عدم وجود تفاوت معنی‌دار در آنزیم

مالون‌دی‌آلدهید و پلی‌فنل‌اکسیداز نشانگر مؤثر بودن اقدامات تدافعی گیاه در مقابله با تنش‌های وارده بوده و گیاه توانسته بخوبی تنش را تحمل نموده و از آسیب به سلولهای خود جلوگیری کند، زیرا گیاهانی که دارای سطح بالاتری از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان‌ها هستند، مقاومت بیشتری نسبت به سوپر اکسیدها نشان می‌دهند (Dionisio-Sec & Tobita, 1998). در این گیاه نوع دفاع آنزیمی (حذف یا خنثی کردن حدواسط‌های اکسیژنی) (Ghorbani Ghogy & Ladan Moghaddam, 2005) مشخص نیست، اما مهار آنها توسط مکانیزمهای دفاعی گیاه به خوبی روشن است. بررسی وضعیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تیمار تنش خشکی نشان داد (جدول ۳) کاتالاز، پراکسیداز و مالون‌دی آلدهید در تنش خشکی قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی بیشتر بودند که بالا بودن مقدار مالون‌دی‌آلدهید در این مرحله نشان‌دهنده تنش بیشتر وارده به گیاه در این مرحله می‌باشد. با توجه به همبستگی مثبت بین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (جدول ۵) می‌توان بیان کرد افزایش برخی دیگر از آنزیم‌های در سایر تنش‌های قطع آبیاری امر طبیعی بوده و بسته به مکانیزیم تولید این آنزیم‌ها و شرایط محیطی، این تغییرات اتفاق می‌افتد. افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز را در مرحله ساقه دهی را می‌توان چنین توجیه کرد که فعالیت این آنزیم با دما رابطه عکس دارد و با افزایش دمای محیط در مراحل غنچه‌دهی و گلدهی، از میزان فعالیت آن کاسته شده است (Ghorbani Ghogy & Ladan Moghaddam, 2005). همچنین بالا بودن مقدار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تیمارهای بدون تلقیح در ابتدا نشان‌دهنده نقش مایکوریزا در افزایش میزان جذب آب و کاهش اثرات تنش‌های محیطی بوده و در ادامه تایید کننده تنش وارده در شرایط بدون استفاده از کود زیستی بوده و و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای مقابله با تنش می‌باشد؛ زیرا در تحقیقات مختلف مدیریت مصرف کود (Hirel1 *et al*., 2007)، آب (Galle *et al*., 2009) و افزایش توانایی گیاه به کم آبی (Valente *et al*., 2008) مورد تاکید بوده است که بنظر می‌رسد با اعمال کودهای زیستی، اعمال مدیریت آب و کود توسط تولید کننده و با افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و سایر اسمولیت‌ها، اعمال مدیریت افزایش مقابله با تنش توسط گیاه اتفاق افتاده است. زیرا در دهه‌های اخیر استفاده از قارچ‌های آربسکولاری میکوریزا (Smith & Read, 2008) برای افزایش سطح جذب ریشه و کاهش اثرات تنش خشکی تایید شده است (Auge *et al*., 2001).

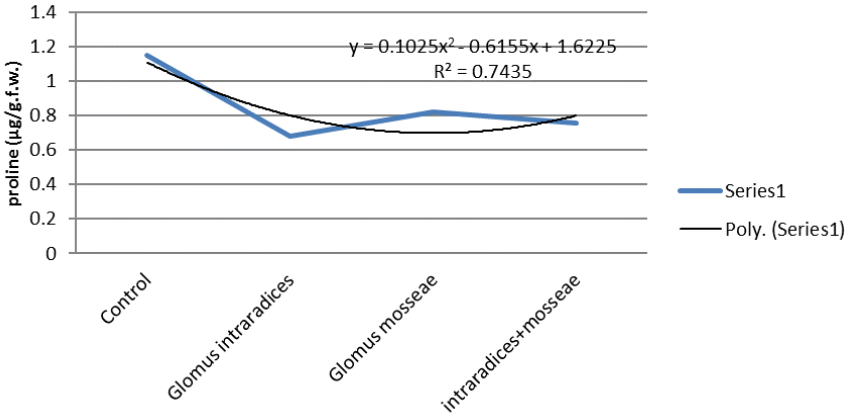
همچنین افزایش اسمولیت‌های تنظیم‌کننده اسمزی نشان‌دهنده عزم گیاه برای کاهش اثرات تنش وارده می‌باشد. بطوری که در جدول ۲ مشاهده شده، اکثر تنظیم‌کننده‌های اسمزی در سال دوم افزایش داشتند. همچنین همه این ترکیبات در تیمارهای قطع آبیاری (جدول ۳) بیشتر از آبیاری کامل بودند. با توجه به این‌که خشکی از مهمترین تنش‌های محیطی بوده و باعث کاهش جذب آب و به هم خوردن موازنه هورمونی گیاه می‌شود (Khalafalla & Abo- Ghalia, 2008). افزایش تنظیم‌کننده اسمزی مانند قندها، اسید آمینه پرولین توسط گیاه در شرایط تنش گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت نشان می‌دهد (Ashraf *et al*., 1994). همچنین افزایش کاروتنوئیدها مطابق با نتایج تحقیقات Chalker-Scott (2002) و Arazmjo *et al*. (2010) بود و در کلیه مراحل قطع آبیاری افزایش تنش مشاهده شد زیرا کاروتنوئیدها با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در تعدیل اثرات سوء تنش در گیاه نقش مهمی ایفا می‌کنند (Mittler, 2002). افزایش پرولین و قندهای محلول در جهت افزایش غلظت شیره سلولی و کاهش اثرات تنش در گیاه مرزه سهندی نیز اتفاق افتاده است، بطوری که نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات بر روی فلفل (Koc *et al*., 2010)، وایولی (Baher Nik *et al*., 2007)، زنیان (Razavizadeh, 2014) مطابقت نشان داد. کاهش میزان کلروفیل a در حالت تنش نشان از اثرات سوء تنش بر گیاه و فتنوسنتز آن می‌باشد (Fu & Huang, 2001)، نتایج این تحقیق با نتایج روی بابونه (Arazmjo *et al*., 2010) و بادرنجبویه مطابقت نشان داد (Abbaszadeh *et al*., 2008). عدم انطباق با نتایج برخی تحقیقات در مقدار پروتئین تجمع یافته یکی از موارد قابل بررسی بیشتر

در آینده می‌باشد زیرا در برخی تحقیقات (Jazizadeh & Mortezayee nejad, 2017) کاهش میزان پروتئین در اثر تنش گزارش شده است. اثرات مثبت استفاده از قارچ‌های میکوریزای در کاهش اثر سوء تنش در صفات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کلروفیل‌ها، کاروتنوئید، پرولین و قندهای محلول در جدول ۴ مشاهده می‌شود. روند تغییرات پرولین در اثر استفاده از کودهای زیستی کاهشی از نوع پلی‌نومیال درجه ۲ بوده (شکل ۱) و نشان می‌دهد که استفاده جداگانه قارچ‌های اینترا و مؤسسه بهتر از استفاده مخلوط آنها می‌باشد.

همچنین بررسی تغییرات قندهای محلول نشان‌دهنده نیز نشان‌دهنده روند کاهشی این صفت با استفاده از کودهای زیستی بود (شکل ۲).

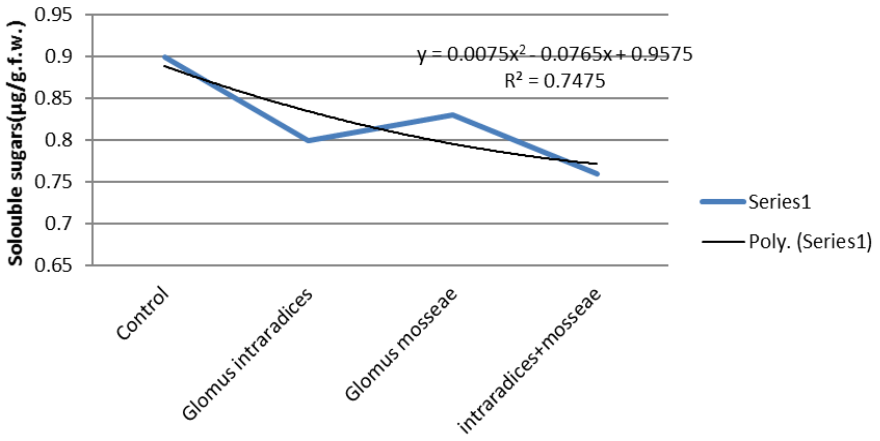
بررسی واکنش گیاه به کودهای زیستی نشان داد که به لحاظ درصد اسانس بنظر می‌رسد استفاده از *G.mossea* ناموفق بوده و یا حداقل استفاده از این کود زیستی به تنهایی در گیاه مرزه سهندی مناسب نمی‌باشد (جدول ۴).

نتایج به‌دست‌آمده با نتایج تحقیقات Ismaeilpour (2013) همخوانی دارد، بنابراین بنظر می‌رسد با توجه به محدویت استفاده از نهاده‌های شیمیایی برای استفاده در تولید گیاهان دارویی و محدویت آب قابل در دسترس صنعت کشاورزی، استفاده از گیاهان دارویی متحمل به تنش برای مقابله با خشکی و خشکسالی و اعمال تنش خشکی به منظور افزایش کیفیت اکثر گیاهان دارویی از تیمارهای استراتژیک باشند.



شکل ۱. اثر کودهای زیستی بر مقدار پرولین مرزه سهندی

Figure 1. Effect of bio fertilizers on proline content of *Satureja sahendica* Bornm.



شکل ۲. اثر کودهای زیستی بر مقدار قندهای محلول مرزه سهندی

Figure 2. The effect of bio fertilizers on the amount of soluble sugars of *Satureja sahendica* Bornm.

همچنین با استفاده از کودهای زیستی مناسب، ضمن کاهش اثرات تنش خشکی، به افزایش کمیت و کیفیت گیاهان کمک کرده و نسبت به تولید گیاهان دارویی طبیعی اقدام نمود. وجود همبستگی مثبت (جدول۵) در بین اکثر صفات فیزیولوژیک نشان‌دهنده آن است که تولید آنها بسته به شرایط محیطی می‌تواند به سمت مثبت یا منفی از یک روند مشخصی تبعیت کند یا به‌عبارتی مسیرهای تولید آنها کاملاً به هم مرتبط می‌باشد. به‌عنوان مثال اکثر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت شرایط خاصی تولید می‌شوند، یا به‌عبارتی همزمان با تولید اسمولیت‌های تنظیم‌کننده مانند پرولین‌ها و قندها، تولید کلروفیل دچار نقصان می‌شود. عدم وجود همبستگی بین درصد اسانس با سایر صفات فیزیولوژیک هم مربوط به همین موضوع می‌باشد که البته نشان‌دهنده اهمیت زراعی کردن و امکان شناسایی بیشتر عوامل تأثیرگذار بر افزایش درصد اسانس را نشان می‌دهد.

گیاه مرزه سهندی یکی از گونه‌های با ارزش دارویی و انحصاری، تحمل بالایی به تنش قطع آبیاری داشته و با استفاده از مکانیزم‌های افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و اسمولیت‌های تنظیم‌کننده اسمزی با خشکی مقابله نموده و ضمن جلوگیری از کاهش اندام هوایی، با افزایش درصد اسانس در شرایط تنش، عملکرد اقتصادی گیاه افزایش می‌یابد. استفاده از کودهای زیستی به‌صورت جداگانه ضمن افزایش تحمل‌پذیری گیاه به تنش خشکی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌های تنظیم‌کننده را کاهش داده و به تولید بیشتر گیاه کمک می‌نماید.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از کودهای میکوریزا به صورت مخلوط در کشت مرزه سهندی اثر افزایشی بر درصد اسانس داشته است. در سال دوم احتمالاً به‌دلیل رشد زیاد گیاه و اثر عوامل محیطی از جمله تنش خشکی و نیز به دلیل تعرق زیاد از طریق سرشاخه‌های انبوه تولید شده درصد اسانس گیاه افزایش پیدا کرد. همچنین بررسی روابط بین صفات نشان داد که مسیر سنتز صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری‌شده با درصد اسانس متفاوت بوده به‌طوری‌که در بین اکثر صفات فیزیولوژیک همبستگی مثبت مشاهده شد. این درحالی بود که درصد اسانس با صفات یاد شده عدم همبستگی یا همبستگی منفی نشان داد.

REFERENCES

1. Abbaszadeh, B. (2011). *Ecophysiological effect of salty stress on Camphorosma monspliaca and Artemisia sieberi Bess*. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture, Karaj Islamic Azad University, Iran.
2. Abbaszadeh, B., Rahmani, A., Narimani, K., Lebaschi, M. H., Shariat, A., Mirza, M., Naderi, M., Meshkizadeh, S. Jaymand, K. & Tabaee Aghdaei, S. R. (2014). Investigation effect of survival time of chemical and manure fertilizers and application of nano fertilizer on quantity and quality of *Rosa damascena* in Iran. (Final report 2-09-090-90045). *Recearch Istitute of Forestes and Ragelands*. (In Farsi)
3. Abbaszadeh, B., Sharifi ashourabadi, E., Lebaschi M. H., Naderi hajibagher Kandy, M. & Moghadami, F. (2008). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23 (4), 504-514. (In Farsi)
4. Afsharmohammdian, M., Ghanati, F., Ahmadiani, S. & Sadrzamani, K. (2016). Effect of drought stress on the activity of antioxidant enzymes and soluble sugars content of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.). *Nova Biologica Reperta*, 3 (3), 228-237.
5. Akbarinia, A. & Sefidkon, F. (2009). Identification of essential oil components of *Satureja sahendica* Bornm., In cultivated condition in Qazvin. *Journal of Qazvin University of Medical Sciences*, 13(2), 60-63. (In Farsi)
6. Akbarinia, A., Sefidkon, F. & Razaz Hashemi, S. R. (2009). Essential oil components of cultivated and wild accessions of *Satureja sahendica* Bornm. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(3), 376-385. (In Farsi)
7. Amini, Z., Haddad R. & Moradi. F. (2008). Effect of water deficit on the activity of antioxidant enzymes in plant reproductive development Barley. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12, 46-58. (In Farsi)
8. Arazmjo, A., Heidari, M., Ghanbari, A., Siahsar, B. & Ahmadian, A. (2010). Effects of three types of fertilizers on essential oil, photosynthetic pigments, and osmoregulators in chamomile under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3 (1), 23-33.

9. Ardakani, M. R., Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschy, M.H., Moaveni, P. & Mohebbati, F. (2010). The effect of drought stress on growth indices of Balm (*Melissa officinalis* L.). *Plant and Ecosystem*, 5(21), 58-47.
10. Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1-15.
11. Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. & Ala, S. A. (1994). Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acta Physiology Plantarum*, 16(3), 185-191.
12. Auge, R. M., Stodola, A. J. W., Tims, J. E. & Saxton, A. M. (2001). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant and Soil*, 230, 87-97.
13. Baher Nik, Z., Mirza, M., Abbaszadeh, B. & Naderi hajibagher Kandy, M. (2007). The effect of metabolism in response to water stress in *Parthenium argentatum* Gray. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23 (3), 315-322. (in Farsi)
14. Bartels, D. & Sunkar R., (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24, 23-58.
15. Behera, S. K. & Panda R. K. (2009). Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a subhumid subtropical region. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 130, 141-155.
16. Blokhina, O., Virolainen E. & Fagerstedt K.V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 91, 179-194.
17. Chalker-Scott, L. (2002). Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research*, 37, 103-106.
18. Dionisio-Sese, M. L. & Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science*, 135, 1-9.
19. El-Gazzar, A. & Watson, A. (1970). Taxonomic study of Labiatae and related genera. New Phytologist, 69, 451-486.
20. Fielding, J. L. & Hall, J. (1978). A biochemical and cytochemical study of peroxidase activity in root of Pisum sativam. *Journal of Experimental Botany*, 29, 981-989.
21. Fu, J. & Huang, B. (2001). Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 45, 105-114.
22. Galle, A., Florez-Sarasal, I., Thameur, A., Paepe, R. D., Flexas, J. & Ribas-Carb, M. (2009). Effects of drought stress and subsequent rewatering on photosynthetic and respiratory pathways in *Nicotiana sylvestris* wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. *Journal of Experimental Botany*, 61, 765-775.
23. Ghahreman, A. (1990). *Plant systemstics*: *cormophytes of Iran*. Tehran University Publication, 736p. (in Farsi)
24. Ghorbani Ghogy H. & Ladan Moghaddam A. R. (2005). Introduction to oxidative stresses and plant strains, Dwavin, 128 p. (In Farsi).
25. Hirell, B., Gouis, J. L., Ney, B. & Gallais, A. (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58 (9), 2369-2387.
26. IRMO. (2016). Islamic, Republic of Iran Meterological Organization Climatology Methods, www.IRMO.IR.
27. IsmaeilPour, B., Jalilvand P. & Javad Hadian, J. (2013). Effects of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on some morphophysiological traits and yield of savory (*Satureja hortensis* L.), *Agroecology*, 5 (2), 177-169.
28. Jamzad, Z. (2009). *Thymus and Satureja species of Iran*. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 171 p. (in Farsi)
29. Jazizadeh, E. & Mortezayee Nejad, F. (2017). Effects of water stress on morphological and physiological indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Journal of Plant Process and Function*, 6 (21), 279-290. (in Farsi)
30. Khalafallah, A. A. & Abo-Ghalia, H. H., (2008). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*, 4(5), 559-569.
31. Koc, E., İslek, C. & Üstun, A. S. (2010). Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *Gazi University Journal of Science*, 23, 1-6.
32. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L. & Randall R. J. (1995). Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal Biology Chemistry*, 193, 265-276.
33. Marschner, H. & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159(1), 89-102.

34. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 9, 405- 410.
35. Mittler, R., Vanderauwera S., Gollery M. & Breusegem F.V. (2004). Reactive oxygen gene Net work of plants. *Trends in Plant Science*, 9, 490-498.
36. Pereira, G. J. G., Milina, S. M. G., Lea, P. J. & Azevido, R. A. (2002). Activity of antioxidant enzymes in response to cadmium in *Crotalaria juncea*. *Plant and Soil*, 239, 123-132.
37. Razavizadeh, R., Shafeghat, M. & Najafi, Sh. (2014). Effect of water deficit on morphological and physiological parameters of *Carum copticum*. *Iranian Journal of Plant Biology*, 6th Year, 22 (10), 15-24. (in Farsi)
38. Rechinger, KH. (1982). *Satureja in Flora Iranica*. Akademische Druck-u Verlagsamstalt, Graz.
39. Rios-Gonzalez, K., Erdei, L. & Lips, S. H. (2002). The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. *Plant Science*, 162, 923-930.
40. Sefidkon, F. & Akbarinia, A. (2009). Essential oil content and composition of *Satureja sahendica* Bornm. In different stages of plant growth. *Journal of Essential Oil Research*, 21 (2), 112-114.
41. Sefidkon, F., Jamzad, Z. & Mirza, M. (2004). Chemical variation in the essential oil of *Satureja sahendica* from Iran. *Food Chemistry*, 88, 325-328.
42. Sharma, A. K. (2002). *Biofertilizers for sustainable agriculture*. AgroBios. India. 300p.
43. Shehab G. G., Ahmed, O. K. & El-Beltagi, H. S. (2010). Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38, 139-148.
44. Smith, S. E. & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. (3rd ed.). Academic Press, London.
45. Soltanpour, P. N., Workman, S. M. & Schwab, A. P. (1979). Use of inductively- coupled plasma spectrometry for the simultaneous determination of macro and micro-nutrients in NH4HCO3-DTPA extracts of soils. *Agronomy Soil Science Society of America Journal*, 43, 75-78.
46. Tabatabaei raisi, A., Khaligi, A., Kashi, A., Asnaashari, S., Bamdad mogadam, S. & Delazar, A. (2007). Antioxidant activity and Chemical compositions of essential oil of aerial parts of *Satureja sahendica* Bornm. *Pharmaceutical Sciences*, 3, 1-6.
47. Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential response of lipid peroxidation and antioxidant in the leaves of drought tolerance (*P. acutifolius* Gray) and drought sensitive (*P. vulgaris* L.) subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168, 223-231.
48. Valente, M. A. S., Faria, J. A., Soares-Ramos, J. R. L., Reis, P. A. B., Pinheiro1, G. L., Piovesan, N. D., Morais, A. L. T., Menezes, C. C., Cano, M. A. O., Fietto, L. G., Loureiro, M. E., Araga F. J. L., & Fontes E. P. B. (2008). The ER luminal binding protein (BiP) mediates an increase in drought tolerance in soybean and delays droughtinduced leaf senescence in soybean and tobacco. *Journal of Experimental Botany*, 60, 533-546.
49. Wahing, I., Van, W., Houba, V.J.G. & Van der lee, J.J. (1989). *Soil and plant analysis, a series of syllabi*. Part 7, plant analysis procedure. Wageningen Agriculture University, The Netherlands.
50. Zargari, A. (1982). *Medicinal herbs*. University of Tehran Press. Tehran. (in Farsi)