

اثر NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس سه گونه مرزه (*Satureja*) تحت تنش خشکی

مهراب یادگاری^{*۱}

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی ادویه‌ای و عطری، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران

پست الکترونیک: mehrabyadegari@gmail.com

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۰

چکیده

با توجه به نقش ارزنده گیاه مرزه (*Satureja* spp.) در صنایع داروسازی و غذایی کشور، سه آزمایش مجزا به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد به منظور بررسی اثر کودهای NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس سه گونه مرزه (*S. mutica* Fisch. & C. A.، *S. bachtiarica* Bunge, Mey. و *S. khuzistanica* Jamzad) تحت شرایط تنش خشکی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عدم استفاده (A₁) و استفاده (A₂) از کود NPK، عدم استفاده (B₁) و استفاده (B₂) از اسید هیومیک، عدم استفاده (C₁) و استفاده (C₂) از بوتامیسول و تنش خشکی در سه سطح ظرفیت مزرعه (D₁)، ۵۰٪ (D₂) و ۷۵٪ تخلیه رطوبتی (D₃) بودند. تیمار A₂B₂C₂D₁ بیشترین ارتفاع گیاه (۵۷/۱±۵/۱ سانتی‌متر)، تعداد شاخه اصلی (۲۳/۱±۴/۷)، کلروفیل کل (۱/۰±۵۵/۰۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و اسانس (۱٪±۹۴/۰۳) را در *S. bachtiarica*، بیشترین میزان پرولین (۱۳/۹۹±۱/۲ میکروگرم بر گرم ماده تر) و کمترین میزان اسانس (۰/۷۹±۰/۰۲٪) را در *S. mutica* ایجاد نمود. از ۱۱ ترکیب شناسایی شده اسانس، ترکیب‌های غالب اسانس در *S. bachtiarica*، پارا-سیمن و کارواکرول، در *S. khuzistanica*، کارواکرول و گاما-تریپنن و در *S. mutica*، پارا-سیمن و تیمول از دسته مونوترپن‌ها بودند. بهره‌مندی از مواد مغذی بهتر و تنش در حداقل ممکن به همراه آب و هوای معتدل منطقه مورد تحقیق، منجر به معرفی گونه *S. bachtiarica* به‌عنوان گونه شاخص شد.

واژه‌های کلیدی: پارا-سیمن، کارواکرول، مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge)، مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad).

مقدمه

قاعده چوبی، میانگره‌های کوتاه، ساقه‌های خاکستری، با کرک‌های کوتاه و نرم، انشعابات گلدار افراشته و گل‌ها در خوشه‌ها دارای چندین گل هستند. برگ‌ها به صورت مجتمع در طول ساقه قرار گرفته‌اند. رویشگاه طبیعی این گونه در مناطق غرب ایران و از جمله استان چهارمحال و بختیاری

مرزه (*Satureja* L.) گیاهی از خانواده نعنائیان است که دارای تعداد زیادی گونه و زیرگونه است. مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica*) از گونه‌های انحصاری مرزه در ایران است. ارتفاع گیاهان این گونه، ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر با

بودن درصد بالای پرولین، در هنگام تنش‌های محیطی باعث افزایش توان مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی، گرما، سرما، یخبندان و سمیت سموم می‌شود (Pourali & Roozbahani, 2016). تنش خشکی منجر به افزایش مقدار اسانس در گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) شد اما عملکرد اسانس کاهش یافت (Mumivand, et al., 2021). در اثر تنش خشکی، توقف رشد، افزایش سطوح پرولین و اسید آسبیزیک و نیز کاهش جنین‌زایی بوجود می‌آید (Tamburino et al., 2017). کاربرد اسیدهای آمینه منجر به افزایش ارتفاع گیاه، تعداد سرشاخه گلدار، ساقه فرعی و تعداد برگ نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Asadi et al., 2018)، ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و درصد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Rezakhani & Haj Seyed, 2016) شده است.

از دیگر مواد محرک رشد گیاه، اسید هیومیک بوده که ماده‌ای طبیعی در اعماق زمین و محصول ثانویه گیاه‌خاک‌سازی یا همان فرایند تولید دوباره خاک گیاه است. اسید هیومیک باعث بهبود ساختار خاک شده و با تیره کردن خاک، جذب انرژی خورشید را افزایش می‌دهد (Doskočil et al., 2018). محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد، تعداد میوه در درخت، میانگین وزن و اندازه میوه انار (*Punica granatum*) (Davaranpanah et al., 2018)، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدان زیره سیاه (*Carum carvi* L.) شده است (Noori Hoseiny & Zabihi, 2006). باتوجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، تنش آب یکی از عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. این تحقیق برای برآورد اثر تیمارهای کود بوتامیسول، اسید هیومیک و کود کامل NPK بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و کمیت و کیفیت اسانس گونه‌های مختلف مرزه (*Satureja* L.) تحت تنش خشکی و پیشنهاد بهترین ترکیب کودی برای تولید بهترین و بیشترین میزان اسانس گونه‌های مرزه در شرایط آب و هوایی شهرکرد انجام شد.

است (Mozaffarian, 2008). گونه دیگری از مرزه به نام خوزستانی (*Satureja khuzistanica*)، گیاهی بوته‌ای به ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر، با ساقه‌های منشعب، پوشیده از کرک‌های زگیل مانند، خیلی کوتاه ساده و غده‌دار، با برگ‌های مترکم، میانگره‌ها کوتاه، به طول ۲ تا ۳ میلی‌متر، کم‌بیش هم‌بوش، به طول ۶ تا ۸ و به عرض ۳ تا ۵ میلی‌متر است. رویشگاه طبیعی آن نقاط گرمسیر و نیمه‌مرطوب است. زمان گلدهی در این گونه پاییز است (Mozaffarian, 2008). مرزه جنگلی (*Satureja mutica*)، گیاهی است بوته‌ای و نسبتاً چوبی، با ارتفاع ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر و شاخه‌های گل‌دهنده بسیار زیاد. حجم رشدی گیاه نیز زیاد بوده و از کرک‌های کوتاه خاکستری رنگ پوشیده شده و رویشگاه طبیعی این گیاه در شمال ایران است (Mozaffarian, 2008).

مهمترین عوامل مؤثر بر ترکیب‌های ثانویه گیاهان عوامل ژنتیکی، محیطی و برهم‌کنش بین آنهاست. عوامل ژنتیکی مربوط به ژنوم گیاه است که تحت تأثیر عوامل مدیریتی می‌توانند تعیین‌کننده ترکیب‌های ثانویه در گیاهان باشند. از جمله این عوامل، نقش مواد مغذی و آبیاری در کمیت و کیفیت اسانس است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر پرمصرف، نقش بسیار مهمی در رشد و تولید گیاهان ایفاء می‌نمایند (Gustafson, 2010).

کاربرد محرک‌های زیستی می‌تواند یکی از مهمترین عوامل در کشت موفق یک گیاه دارویی باشد. این محرک‌ها علاوه بر افزایش شاخص‌های کمی، بر شاخص‌های کیفی گیاه دارویی نیز مؤثر هستند که این تأثیر ناشی از اسید آمینه‌های بکاررفته در ترکیب و ساخت این محرک‌های زیستی است (Thomas et al., 2009). اسیدهای آمینه به‌عنوان ترکیب‌های محرک رشد کمی و کیفی گیاه فعالیت می‌کنند. این ترکیب‌ها در زیست‌ساخت متابولیت‌های ثانویه و هورمونی نقش مهمی دارند (Faten et al., 2010). بوتامیسول کودی است که حاوی ۴۵٪ اسید آمینه آزاد است که از هیدرولیز آنزیمی گیاهان بدست آمده است که با دارا

مواد و روش‌ها

برای تعیین اثرهای سطوح محلول‌پاشی اسید هیومیک، کود بوتامیسول و کود کامل NPK بر خصوصیات کمی و کیفی اسانس سه گونه دارویی مرزه (*Satureja*)، سه آزمایش جداگانه برای هر یک از گونه‌ها به صورت فاکتوریل با ۴ عامل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد انجام شد. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک و اقلیم منطقه در جدول ۱ آمده است. صفات مورد برآورد در این تحقیق شامل کمیّت و کیفیت اسانس، صفات مورفولوژیکی (ارتفاع گیاه، تعداد شاخه اصلی و میزان ماده خشک گیاه) و صفات فیزیولوژیکی (محتوای نسبی آب برگ، میزان اسید آمینه پرولین و میزان کلروفیل کل) بود. نشاءهای ۴-۶ برگی گونه‌های مختلف مرزه از شرکت پاکان بذرافشان تهیه شد و در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه در کرت‌های آزمایشی به صورت سه آزمایش مجزا کاشته شدند و بلافاصله آبیاری انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌ها شامل ۶ ردیف به طول ۶ متر بود که ۲ ردیف کناری به عنوان اثرهای حاشیه‌ای در زمان برداشت حذف شدند. با توجه به توصیه شرکت‌های سازنده، ۱/۵ گرم از کود کامل یوروسالید NPK (۲۰-۲۰-۲۰) در یک لیتر آب حل شد؛ برای تیمار اسید هیومیک (دایموند گرو محصول شرکت سولوشنز آمریکا)، ۱ گرم در یک لیتر آب حل گردید و برای آماده‌سازی تیمار کود بوتامیسول، ۲۰ گرم در ۲۰ لیتر آب حل شد. محلول‌پاشی دوبار با فاصله زمانی ۳ هفته بعد از مرحله ۱۰ برگی شدن گیاه انجام شد (جدول ۲). تنش خشکی در سه سطح ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، ۵۰٪ و ۷۵٪ تخلیه رطوبتی (تنش شدید) بود که در مجموع ۲۴ تیمار شامل عدم استفاده (A₁) و استفاده از کود کامل NPK (A₂)؛ عدم استفاده (B₁) و استفاده (B₂) از اسید هیومیک؛ عدم استفاده (C₁) و استفاده (C₂) از بوتامیسول؛ تنش خشکی در سه سطح ظرفیت مزرعه (D₁)، ۵۰٪ (D₂) و ۷۵٪ تخلیه رطوبتی (D₃) برای اجرای تحقیق در نظر گرفته شد. برای تعیین درصد رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه،

نمونه‌برداری درون قوطی‌های آلومینیومی درب‌دار، پس از رسیدن مجموع میزان تبخیر روزانه به عدد ۹۰ میلی‌متر، انجام شد و در آن الکتریکی با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده و طبق روش معمول، درصد رطوبت خاک بر مبنای وزن خشک محاسبه شد. بدین‌وسیله بعد از تعیین میزان رطوبت خاک تیمار مورد نظر، مقدار آب لازم آبیاری مربوط به آن تیمار محاسبه و کمبود رطوبت تا ظرفیت مزرعه (F.C) جایگزین آن گردید. نمونه‌های گیاهی، در زمان اوج رویش و شروع گلدهی (۲۰۰-۲۱۰ برگی) به‌طور جداگانه از هر یک از تیمارهای تحت آزمایش در ۲۴ مردادماه جمع‌آوری شد و در پاکت‌های مخصوص برای انتقال به آزمایشگاه نگهداری شدند (Rezvani Moghadam et al., 2013؛ Rezvani Moghadam et al., 2014؛ Eskandari, 2013). پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، اندام‌های هوایی گیاه از تمامی زوائد اضافی و خاک تمیز شدند. نمونه‌ها (از هر تیمار تعداد ۱۰ شاخسار کامل گیاهی) در سایه با تهویه مناسب و در دمای معمولی اتاق (۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد) به‌طور کامل خشک شدند. صفات مورفوفیزیولوژیکی در زمان برداشت، پس از حذف ساختار ریشه، از تعداد ۱۰ گیاه در هر تکرار برآورد شدند. در آزمایشگاه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی و معطر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد؛ اسانس‌گیری به روش تقطیر با بخار آب توسط دستگاه کلونجر (بروسیلیکات آلمانی ساخت شیشه آلات ایران) و براساس درصد وزنی انجام شد که برای هر نمونه مدت ۲ ساعت به طول انجامید. اسانس گیاهان مورد نظر پس از آماده‌سازی، برای شناسایی ترکیب‌ها به دستگاه GC/MS (مدل 7890A/5975C ساخت شرکت Agilent آمریکا) مجهز به ستون موئینه HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرون با محدوده دمایی آن ستون از ۶۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد تزریق گردید. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداری آنها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب‌های مرجع و مقالات و با استفاده از طیف‌های جرمی استاندارد انجام شد (Adams, 2007). برای برآورد محتوای نسبی آب برگ، ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) جدا کرده و بعد نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اقلیم منطقه تحقیق

Table 1. Some of the physical and chemical characteristics of the soil and climate in the experiment field

Average Minimum Temperature (°C)	Average Maximum Temperature (°C)	Annual Average Temperature (°C)	Annual Average Pricipitation (mm)	pH	E.C (ds.m ⁻¹)	O.C (%)	N (%)	K (ppm)	P (ppm)
-28	26.6	14.2	324	7.7	0.36	0.9	0.07	195	4.9

جدول ۲- خصوصیات کودهای مورد استفاده

Table 2. Properties of used fertilizers

Fertilizer	Properties
Botamisol	Total amino acids (45%), Free amino acids (18%), Total Nitrogen (8%)
Complete Fertilizer (NPK)	N (20%), P (20%), K (20%), B (0.01%), Fe (0.05%), Mn (0.02%), Zn (0.02%)
Humic Acid	Humat potassium (73%), Folic Acid (15%), K ₂ O (12%)

محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفوژ کردن عصاره حاصل (۱۰ هزار دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه)، محلول رویی برداشته شد و جذب نور توسط آن در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل a) و ۶۴۵ نانومتر (حداکثر جذب نور کلروفیل b) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) و با استفاده از استون ۸۰٪ به‌عنوان محلول مرجع قرائت گردید. در مواردی که عدد قرائت شده بسیار بالا (بیش از ۰/۸ واحد) بود، عصاره با استفاده از استون ۸۰٪ با نسبت معین رقیق شد. غلظت هر یک از رنگیزه‌ها در عصاره بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید. در رابطه ذیل، A663 و A645 به ترتیب میزان قرائت شده جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر هستند (Dere et al., 1998).

$$\text{Chl total (mg.gr}^{-1}\text{)} = (20.21 \times A645) + (8.02 \times A663)$$

استاندارد (پرویلین خالص) با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر استفاده شد (Bates et al., 1973).

در نهایت تجزیه آماری میزان اسانس و ترکیب‌های مؤثره اسانس گیاهان تحت تیمارهای مختلف کودی به‌وسیله نرم‌افزار آماری SAS_{ver.9} انجام شد. مقایسات میانگین اسانس و ترکیب‌های اسانس از روش حداقل اختلاف معنی‌دار (L.S.D) در سطح ۱٪ انجام شد و برای اطمینان از مقادیر خطای استاندارد (SE)، به‌طور جداگانه نیز با نرم‌افزار Excel ver. 2013 برآورد دوباره انجام شد.

نتایج

نتایج برآمده از سه آزمایش جداگانه در مورد سه نوع گونه مرزه نشان‌دهنده آن است که استفاده از کود کامل NPK، اسید هیومیک و بوتامیسول تحت تنش آب، در

پس از گذشت این مدت، وزن اشباع برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد شد (TW). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از گذشت این مدت وزن خشک برگ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ برآورد گردید (DW). در نهایت محتوای آب نسبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Arnon, 1975).

$$\%R.W.C = (FW-DW) / (TW-DW)$$

برای اندازه‌گیری کلروفیل کل، ۰/۱۲۵ گرم بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ و ۰/۱ گرم کربنات کلسیم (برای خنثی کردن حالت اسیدی مایع درون سلولی و ممانعت از تخریب کلروفیل) در یک هاون چینی ساییده شد تا به صورت توده یکنواختی درآید. این عمل در نور کم و

برای تعیین میزان اسید آمینه پرویلین، ابتدا ۰/۳ گرم از بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳٪ (وزن به حجم) در هاون چینی ساییده شد. سپس نمونه ساییده شده درون لوله آزمایش ریخته و به مدت ۲ دقیقه به شدت تکان داده شد. بدین ترتیب، دو مرحله جامد و مایع نمونه‌ها به دقت تفکیک گردید. مرحله مایع با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ گردید و بخش بالایی آن جدا شد. پس از خنک کردن نمونه‌ها در آب یخ، ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر نمونه اضافه و کاملاً تکان داده شد تا پرویلین وارد مرحله تولوئن گردد. سپس، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند و در نهایت میزان جذب نور مرحله بالایی نمونه‌ها به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) در طول موج ۵۱۵ نانومتر و با استفاده از تولوئن به عنوان محلول مرجع تعیین شد. برای تعیین غلظت پرویلین نمونه‌ها از محلول‌های

اسانس کاهش یافتند. در گونه مرزه بختیاری دو ترکیب بتا-کاروفیلین و ژرماکرن-دی در تیمار ۶ روز یک بار آبیاری افزایش بیشتری نسبت به تیمار شاهد (۳ روز یک بار آبیاری) داشتند و پس از آن دوباره کاهش یافتند. بیشترین میزان تولید شده این دو ترکیب در تیمار $A_2B_2C_2D_2$ به ترتیب به میزان 0.99 ± 0.02 و 0.81 ± 0.01 درصد بود. دو ترکیب تیمول و ژرماکرن-دی در مرزه خوزستانی در دور آبیاری ۶ روز یک بار افزایش چشمگیری نسبت به دور آبیاری ۳ روز یک بار داشتند و در پاره‌ای از موارد هم‌گروه با تیمار ۹ روز یک بار آبیاری قرار گرفتند. بیشترین مقادیر این دو ترکیب توسط تیمار $A_2B_2C_2D_2$ به ترتیب به میزان 0.49 ± 0.03 و 0.41 ± 0.03 درصد بدست آمد. مواد مؤثره کارواکرول، بتا-کاروفیلین و ژرماکرن-دی در مرزه جنگلی با دور آبیاری ۶ و ۹ روز یک بار، بیشترین مقادیر خود را بدست آوردند که محلول پاشی تیمارها منجر به بیشتر شدن این مقادیر گردید. بالاترین مقادیر کارواکرول، بتا-کاروفیلین و ژرماکرن-دی در تیمارهای $A_2B_2C_2D_2$ و $A_2B_2C_2D_3$ به ترتیب به میزان $4.9 \pm 1.1\%$ و $0.28 \pm 0.01\%$ و $0.39 \pm 0.01\%$ بدست آمد (جدول‌های ۶-۸). در این تحقیق ترکیبات غالب اسانس گونه‌های مرزه شامل بختیاری، خوزستانی و جنگلی از دسته مونوترپن‌های حلقوی بود، به طوری که بیش از ۶۰٪ اسانس در ترکیب‌های مختلف تیماری در گونه بختیاری پارا-سیمن و کارواکرول، در گونه مرزه خوزستانی کارواکرول و گاما-تریپین و در گونه مرزه جنگلی پارا-سیمن و تیمول بودند. این ترکیب‌ها در بیشتر تیمارها بیش از ۶۰٪ ترکیب‌های اسانس را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۶-۸).

میزان اسانس استخراج شده اثر معنی‌داری بوجود آورد. کمترین میزان اسانس در گونه جنگلی و تحت تیمار $A_1B_1C_1D_3$ (بدون هر نوع پاشش همراه با تنش خشکی شدید) به میزان ۰/۷۹٪ (حجم در وزن ماده خشک) و بیشترین میزان در گونه بختیاری توسط تیمار $A_2B_2C_2D_1$ (پاشش هر سه تیمار بدون تنش خشکی) به میزان ۱/۹۴٪ (حجم در وزن ماده خشک) بدست آمد (جدول ۳). در این تحقیق در بیشتر صفات مورفوفیزیولوژیکی (جدول‌های ۳-۵) و ترکیب‌های اسانس (جدول‌های ۶-۸) برتری با کود NPK و به‌ویژه در زمان ترکیب با بوتامیسول و اسید هیومیک بود و در بسیاری از صفات مورد ارزیابی مشاهده شد که ترکیب این کود با بوتامیسول و اسید هیومیک و نیز بدون بوتامیسول در بالاترین گروه‌ها قرار گرفتند. با افزایش عملکرد، میزان اسانس هم بیشتر شد. در این تحقیق مشاهده شد که در بیشتر ترکیب‌های مؤثره اسانس، تیمار ترکیبی کود کامل به همراه اسید هیومیک و بوتامیسول تحت تنش ملایم (D_2) در رقابت با بهترین تیمار بدست آمده یعنی کود کامل، اسید هیومیک و بوتامیسول در شرایط بدون تنش (D_1) بود. به‌طور کلی در بیشتر صفات مورد ارزیابی، دریافت کود کامل، بوتامیسول و اسید هیومیک به‌ویژه زمانی که با یکدیگر استفاده شوند منجر به تولید بیشترین مقادیر شده است و گیاهان در زمان تنش خشکی و به‌ویژه زمانی که بوتامیسول و اسید هیومیک را دریافت نکردند، کمترین مقادیر صفات مورد ارزیابی را بوجود آوردند. بیشترین ترکیب‌های اسانس در تیمار کود کامل، اسید هیومیک، بوتامیسول و بدون تنش خشکی (ظرفیت مزرعه‌ای) ($A_2B_2C_2D_1$) دیده شد. در بیشتر ترکیب‌ها با افزایش دور آبیاری، مقادیر ترکیب‌های بدست آمده از

جدول ۳- مقایسات میانگین صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و اسانس مرزه رقم بختیاری (*Saturjea bachtiarica*)

Table 3. Means comparisons of morphological, physiological and essential oil characters of *Saturjea bachtiarica*

Characters	A1B1C1D1	A1B1C1D2	A1B1C1D3	A1B1C2D1	A1B1C2D2	A1B1C2D3	A1B2C1D1	A1B2C1D2	A1B2C1D3	A1B2C2D1	A1B2C2D2	A1B2C2D3
Plant Heigh (cm)	33.4±1.2	30.2±1.2	28.1±1.1	35.4±1.2	32.5±1.1	27.8±2.1	30.5±1.5	28.1±1.5	26.8±1.6	37.5±1.5	34.1±1.5	30.8±1.5
No. Stem	14.2±1.3	12.1±1.2	10.3±1.7	16.4±1.2	14.2±1.1	12.8±1.3	18.8±1.7	16.5±1.2	13.5±1.7	19.8±1.7	17.5±1.2	16.5±1.4
Dry Matter (gr.m ⁻²)	24.5±1.3	22.4±1.5	20.3±1.6	25.4±2.1	23.5±2.2	19.2±1.1	25.5±0.99	23.3±0.88	21.4±1.4	31.5±0.99	29.3±0.88	21.4±1.4
Total Chl (mg.l ⁻¹)	1.23±0.03	1.15±0.02	1.12±0.01	1.25±0.02	1.21±0.04	1.16±0.01	1.2±0.01	1.14±0.02	1.12±0.01	1.22±0.01	1.2±0.02	1.15±0.01
Essential oil (%)	1.31±0.02	1.12±0.02	0.99±0.1	1.16±0.01	1.1±0.01	0.98±0.01	1.2±0.01	1.11±0.01	1.1±0.01	1.2±0.01	1.13±0.01	1.1±0.01
Proline (mcg.grfw ⁻¹)	6.11±0.7	9.1±0.2	13.11±1.4	6.1±0.3	9.2±0.3	12.2±0.2	6.1±0.2	8.4±0.7	12.7±0.7	6.1±0.2	8.4±0.7	12.7±0.7
R.W.C (%)	58.5±2.7	45.7±1.2	38.8±1.2	59.5±1.4	46.5±1.7	36.4±1.2	59.2±1.4	45.1±1.6	37.9±3.2	60.2±1.5	45.1±1.1	33.9±1.2

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. ...

Characters	A2B1C1D1	A2B1C1D2	A2B1C1D3	A2B1C2D1	A2B1C2D2	A2B1C2D3	A2B2C1D1	A2B2C1D2	A2B2C1D3	A2B2C2D1	A2B2C2D2	A2B2C2D3
Plant Heigh (cm)	28.4±1.5	26.2±1.6	24.1±1.5	34.1±1.3	29.5±1.1	25.4±1.5	38.2±1.6	32.1±1.3	28.4±1.2	57.5±1.1	46.1±1.2	38.8±1.5
No. Stem	16.1±1.1	15.1±1.7	13.3±1.2	19.4±1.2	18.2±1.1	17.1±0.7	20.1±0.8	18.3±1.1	16.4±0.8	23.4±1.5	15.5±1.3	13.5±0.9
Dry Matter (gr.m ⁻²)	24.5±1.1	23.4±1.2	20.2±1.2	28.1±1.3	25.5±1.4	24.5±1.1	32.6±1.4	26.1±1.3	23.5±1.1	38.5±0.99	34.3±1.1	30.4±0.87
Total Chl (mg.l ⁻¹)	1.23±0.02	1.2±0.01	1.15±0.01	1.39±0.02	1.34±0.03	1.29±0.02	1.41±0.05	1.34±0.03	1.28±0.02	1.55±0.01	1.45±0.02	1.15±0.01
Essential oil (%)	1.21±0.03	1.12±0.01	1.1±0.02	1.59±0.02	1.34±0.01	1.25±0.1	1.67±0.03	1.45±0.03	1.32±0.02	1.94±0.1	1.43±0.05	1.32±0.02
Proline (mcg.grfw ⁻¹)	6.2±0.2	9.6±0.2	11.8±0.2	7.8±0.3	9.9±0.3	12.01±0.02	7.02±0.07	9.03±0.01	11.05±0.03	6.1±0.03	8.4±0.03	11.7±0.07
R.W.C (%)	59.8±1.1	43.6±1.2	28.5±1.4	61.6±1.1	43.4±2.1	29.3±1.1	61.2±0.9	38.5±0.8	32.5±0.7	62.2±0.8	45.1±2.2	29.2±1.4

جدول ۴- مقایسات میانگین صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و اسانس مرزه رقم خوزستانی (*Saturjea khuzistanica*)

Table 4. Means comparisons of morphological, physiological and essential oil characters of *Saturjea khuzistanica*

Characters	A1B1C1D1	A1B1C1D2	A1B1C1D3	A1B1C2D1	A1B1C2D2	A1B1C2D3	A1B2C1D1	A1B2C1D2	A1B2C1D3	A1B2C2D1	A1B2C2D2	A1B2C2D3
Plant Height (cm)	29.4±1.1	25.2±1.3	24.1±1.2	34.4±1.2	31.5±1.3	26.8±1.2	28.5±1.1	27.1±1.2	25.8±1.1	36.5±1.1	33.1±1.3	32.8±1.2
No. Stem	15.2±1.1	13.1±1.2	11.3±1.4	15.4±1.1	13.1±1.5	11.8±1.2	17.8±1.1	14.5±1.3	12.2±1.2	18.5±1.1	15.5±1.2	13.5±1.5
Dry Matter (gr.m ⁻²)	25.5±1.1	21.4±1.3	19.1±1.2	26.4±1.1	22.1±1.2	18.1±1.1	24.1±1.4	22.2±1.2	20.4±1.1	29.1±1.6	25.3±1.1	20.4±1.1
Total Chl (mg.l ⁻¹)	1.21±0.01	1.12±0.01	1.05±0.02	1.19±0.01	1.18±0.02	1.15±0.01	1.15±0.01	1.12±0.02	1.03±0.01	1.16±0.02	1.15±0.03	1.12±0.01
Essential oil (%)	1.29±0.01	1.14±0.02	0.97±0.1	1.14±0.01	1.12±0.01	0.99±0.02	1.22±0.03	1.15±0.01	1.04±0.02	1.09±0.01	1.11±0.04	0.99±0.01
Proline (mcg.grfw ⁻¹)	6.12±0.7	9.6±0.2	13.11±0.9	6.13±0.4	9.43±0.3	12.45±0.6	6.33±0.5	8.77±0.5	12.87±0.7	6.78±0.4	9.1±0.1	12.3±0.7
R.W.C (%)	59.5±2.1	44.7±1.1	36.6±1.2	60.1±1.5	44.1±1.4	38.1±1.2	58.1±1.3	44.1±1.1	36.6±2.1	58.2±1.2	44.4±1.1	33.4±1.1

ادامه جدول ۴- ...

Continued Table 4. ...

Characters	A2B1C1D1	A2B1C1D2	A2B1C1D3	A2B1C2D1	A2B1C2D2	A2B1C2D3	A2B2C1D1	A2B2C1D2	A2B2C1D3	A2B2C2D1	A2B2C2D2	A2B2C2D3
Plant Height (cm)	27.4±1.2	24.2±1.3	23.1±1.1	33.1±1.1	28.8±1.4	26.4±1.2	39.2±1.1	33.3±1.2	27.1±1.1	56.1±1.4	44.1±1.3	36.6±1.1
No. Stem	15.5±1.1	16.6±1.2	12.3±1.4	21.1±1.1	19.2±1.3	18.1±0.8	21.3±1.2	17.7±0.9	17.1±1.1	25.4±1.2	15.8±1.1	14.2±1.2
Dry Matter (gr.m ⁻²)	26.5±1.1	21.4±1.7	19.9±1.3	29.5±1.3	23.3±1.3	20.3±1.1	33.9±1.1	27.3±1.2	22.2±1.3	39.1±1.6	33.1±1.1	28.4±1.2
Total Chl (mg.l ⁻¹)	1.21±0.01	1.14±0.04	1.08±0.03	1.41±0.03	1.33±0.01	1.29±0.03	1.38±0.02	1.29±0.02	1.18±0.04	1.51±0.02	1.41±0.02	1.17±0.02
Essential oil (%)	1.19±0.02	1.14±0.01	1.12±0.01	1.57±0.03	1.31±0.02	1.28±0.06	1.64±0.07	1.47±0.04	1.25±0.08	1.88±0.03	1.33±0.02	1.27±0.02
Proline (mcg.grfw ⁻¹)	6.23±0.4	8.9±0.7	12.1±0.2	7.7±0.1	9.6±0.2	12.1±0.05	7.44±0.01	10.1±0.06	11.45±0.03	6.23±0.03	8.9±0.05	11.4±0.04
R.W.C (%)	59.9±1.7	44.9±1.2	30.1±2.2	62.1±1.1	42.4±1.5	28.8±1.1	60.1±1.4	39.2±1.1	30.8±0.6	61.1±1.1	42.1±1.2	27.7±1.1

جدول ۵- مقایسات میانگین صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و اسانس مرزه رقم موتیکا (*Saturjea mutica*)

Table 5. Means comparisons of morphological, physiological and essential oil characters of *Saturjea mutica*

Characters	A1B1C1D1	A1B1C1D2	A1B1C1D3	A1B1C2D1	A1B1C2D2	A1B1C2D3	A1B2C1D1	A1B2C1D2	A1B2C1D3	A1B2C2D1	A1B2C2D2	A1B2C2D3
Plant Height (cm)	30.4±1.1	26.2±1.2	24.1±1.4	30.4±1.1	28.5±1.4	25.8±1.2	28.5±1.1	26.1±1.2	23.8±1.1	33.5±1.3	29.1±1.2	22.8±1.1
No. Stem	13.1±1.2	11.1±1.1	9.1±1.4	13.4±1.3	12.2±1.2	10.8±1.4	16.8±1.1	13.5±1.2	10.5±1.3	16.8±1.4	14.5±1.1	12.5±1.2
Dry Matter (gr.m ⁻²)	22.5±1.1	20.4±1.2	17.3±1.2	20.4±1.1	19.5±1.2	18.2±0.9	24.1±1.1	22.2±1.2	20.4±1.1	28.5±1.2	26.3±1.1	19.1±1.2
Total Chl (mg.l ⁻¹)	1.18±0.03	1.14±0.02	1.01±0.01	1.15±0.03	1.11±0.02	1.08±0.02	1.14±0.01	1.09±0.01	1.01±0.03	1.18±0.02	1.14±0.03	1.11±0.02
Essential oil (%)	1.22±0.02	1.15±0.01	0.79±0.02	1.11±0.03	1.06±0.03	0.93±0.09	1.18±0.01	1.16±0.03	1.03±0.02	1.14±0.01	1.09±0.02	1.02±0.03
Proline (mcg.grfw ⁻¹)	6.13±0.1	9.14±0.7	13.99±0.2	6.22±0.3	9.44±0.2	12.44±0.4	6.44±0.3	8.77±0.5	12.88±0.4	6.21±0.4	8.46±0.6	12.88±0.8
R.W.C (%)	58.9±1.2	45.1±1.1	36.8±1.3	59.66±1.6	46.66±1.1	37.7±1.4	59.4±1.1	44.4±1.4	35.4±1.2	62.2±1.3	44.8±1.1	30.4±3.2

ادامه جدول ۵- ...

Continued Table 5. ...

Characters	A2B1C1D1	A2B1C1D2	A2B1C1D3	A2B1C2D1	A2B1C2D2	A2B1C2D3	A2B2C1D1	A2B2C1D2	A2B2C1D3	A2B2C2D1	A2B2C2D2	A2B2C2D3
Plant Height (cm)	25.4±1.1	22.2±1.2	20.1±1.5	27.4±1.2	26.5±1.1	24.4±1.3	35.2±1.1	30.1±1.5	26.4±1.2	44.5±1.3	39.1±1.1	31.8±1.2
No. Stem	14.1±1.1	13.1±1.2	10.1±1.3	17.4±1.1	16.2±1.3	13.1±0.7	18.1±0.9	17.3±1.1	13.4±0.9	19.4±1.2	14.5±1.1	10.5±1.2
Dry Matter (gr.m ⁻²)	21.5±1.2	19.4±1.1	18.2±1.2	25.1±1.4	22.5±1.1	20.2±1.2	27.6±1.1	24.1±1.2	20.2±1.1	30.5±1.4	27.3±0.9	24.4±1.1
Total Chl (mg.l ⁻¹)	1.18±0.01	1.14±0.02	1.06±0.03	1.29±0.01	1.25±0.02	1.21±0.03	1.33±0.03	1.29±0.01	1.22±0.02	1.44±0.01	1.38±0.02	1.16±0.02
Essential oil (%)	1.18±0.02	1.12±0.01	1.01±0.01	1.44±0.02	1.38±0.03	1.22±0.02	1.55±0.04	1.36±0.03	1.28±0.04	1.79±0.03	1.36±0.02	1.22±0.01
Proline (mcg.grfw ⁻¹)	6.11±0.2	9.55±0.3	11.91±0.3	8.1±0.4	10.1±0.4	12.2±0.3	7.22±0.09	9.11±0.04	11.22±0.04	6.22±0.1	8.45±0.09	12.1±0.2
R.W.C (%)	58.2±1.2	40.6±1.1	29.1±1.1	60.4±1.2	41.4±1.1	28.8±0.9	62.5±0.5	39.1±0.5	29.5±0.2	58.2±1.2	42.1±1.1	28.7±0.9

جدول ۶- مقایسات میانگین ترکیب‌های غالب اسانس مرزه رقم بختیاری (*Saturjea bachtiarica*)

Table 6. Means comparisons of essential oil components in *Saturjea bachtiarica*

No.	Component	RI	A1B1C1D1	A1B1C1D2	A1B1C1D3	A1B1C2D1	A1B1C2D2	A1B1C2D3	A1B2C1D1	A1B2C1D2	A1B2C1D3	A1B2C2D1	A1B2C2D2	A1B2C2D3
1	α -thujene	931	0.07±0.02	0.05±0.01	0.04±0.02	0.1±0.01	0.09±0.02	0.08±0.02	0.1±0.01	0.02±0.08	0.02±0.09	0.01±0.1	0.02±0.08	0.02±0.06
2	α -pinene	939	0.03±0.02	0.01±0.01	0.01±0.01	0.09±0.01	0.05±0.02	0.05±0.02	0.15±0.01	0.02±0.07	0.01±0.06	0.01±0.15	0.02±0.07	0.01±0.06
3	myrcene	999	0.9±0.01	0.5±0.01	0.3±0.01	0.6±0.01	0.5±0.02	0.5±0.01	0.8±0.01	0.02±0.5	0.01±0.4	0.01±0.9	0.02±0.6	0.01±0.5
4	α -terpinene	1021	1.2±0.2	1.1±0.1	1.1±0.1	1.9±0.2	1.7±0.3	1.5±0.3	1.5±0.1	0.2±1.4	0.1±1.3	0.1±1.5	0.2±1.3	0.1±1.2
5	ρ -cymene	1027	29.8±0.2	28.7±0.3	24.5±0.2	30.5±0.1	29.4±0.3	28.2±0.3	28.3±0.1	0.2±27.2	0.2±26.4	0.3±28.3	0.2±26.2	0.2±25.4
6	γ -terpinene	1059	15.8±1.2	14.8±2.7	12.5±2.2	18.3±1.2	17.9±1.1	15.9±2.8	17.7±2.2	1.1±16.6	0.9±14.4	1.4±17.7	1.1±16.6	1.1±15.4
7	β -thujene	1114	0.4±0.01	0.2±0.01	0.1±0.01	0.33±0.01	0.14±0.02	0.12±0.02	0.11±0.02	0.02±0.1	0.01±0.1	0.02±0.11	0.02±0.1	0.01±0.1
8	thymol	1272	1.2±0.01	0.6±0.01	1.5±0.01	1.2±0.02	0.7±0.01	0.6±0.02	1.8±0.01	0.01±0.9	0.01±0.8	0.01±1.8	0.01±0.8	0.01±0.6
9	carvacrol	1301	36.6±1.1	35.3±1.2	30.5±2.1	38.5±1.2	37.5±1.1	34.8±1.2	37.6±1.1	1.4±35.9	1.2±34.8	1.4±37.6	1.1±35.9	1.2±34.8
10	β -caryophyllene	1413	0.4±0.01	0.7±0.01	0.68±0.02	0.19±0.01	0.22±0.02	0.2±0.01	0.88±0.01	0.02±0.94	0.01±0.33	0.01±0.88	0.02±0.93	0.01±0.34
11	germacrene-D	1414	0.1±0.01	0.4±0.02	0.34±0.02	0.1±0.01	0.22±0.02	0.1±0.01	0.19±0.01	0.01±0.65	0.01±0.15	0.01±0.19	0.01±0.46	0.01±0.15

ادامه جدول ۶-...

Continued Table 6. ...

No.	Component	RI	A2B1C1D1	A2B1C1D2	A2B1C1D3	A2B1C2D1	A2B1C2D2	A2B1C2D3	A2B2C1D1	A2B2C1D2	A2B2C1D3	A2B2C2D1	A2B2C2D2	A2B2C2D3
1	α -thujene	931	0.55±0.01	0.34±0.02	0.1±0.01	0.59±0.01	0.42±0.02	0.17±0.02	0.76±0.01	0.61±0.02	0.32±0.02	0.93±0.01	0.77±0.02	0.54±0.02
2	α -pinene	939	0.09±0.02	0.08±0.01	0.07±0.02	0.1±0.01	0.08±0.02	0.06±0.01	0.19±0.02	0.11±0.01	0.07±0.01	0.15±0.01	0.07±0.02	0.06±0.01
3	myrcene	999	0.5±0.02	0.4±0.01	0.4±0.02	0.77±0.1	0.61±0.02	0.65±0.01	0.55±0.02	0.51±0.01	0.45±0.01	0.5±0.01	0.41±0.02	0.31±0.02
4	α -terpinene	1021	1.5±0.2	1.2±0.1	1.1±0.2	1.2±0.1	1.1±0.2	0.91±0.1	1.3±0.2	1.2±0.1	1.1±0.1	1.5±0.2	1.2±0.1	0.98±0.1
5	ρ -cymene	1027	28.1±0.1	27.05±0.1	26.8±0.2	27.2±0.2	26.2±0.1	25.7±0.1	29.6±0.2	28.4±0.4	27.4±0.1	30.3±0.1	28.2±0.2	27.4±0.2
6	γ -terpinene	1059	16.2±1.1	15.8±1.2	15.1±1.3	14.7±1.1	13.9±1.2	13.5±2.1	14.4±2.6	12.1±2.1	11.2±1.2	17.7±2.2	16.6±1.1	15.4±1.3
7	β -thujene	1114	0.1±0.02	0.08±0.02	0.07±0.01	0.22±0.01	0.1±0.02	0.09±0.01	0.32±0.02	0.18±0.01	0.13±0.01	0.11±0.02	0.1±0.02	0.1±0.01
8	thymol	1272	0.1±0.01	0.08±0.01	0.08±0.01	0.18±0.01	0.1±0.02	0.1±0.01	0.29±0.02	0.17±0.01	0.11±0.01	0.38±0.01	0.22±0.01	0.13±0.06
9	carvacrol	1301	34.7±1.1	32.6±1.2	31.4±1.5	35.8±1.9	32.4±1.2	31.4±1.1	36.3±2.1	32.5±2.1	30.7±1.4	37.6±1.1	35.9±1.5	34.8±1.1
10	β -caryophyllene	1413	0.15±0.01	0.73±0.01	0.1±0.01	0.08±0.01	0.81±0.02	0.1±0.02	0.1±0.01	0.89±0.02	0.1±0.01	0.65±0.01	0.99±0.02	0.36±0.01
11	germacrene-D	1414	0.14±0.01	0.55±0.01	0.12±0.01	0.12±0.02	0.71±0.01	0.1±0.01	0.1±0.02	0.78±0.02	0.24±0.01	0.33±0.01	0.81±0.02	0.41±0.01

جدول ۷- مقایسات میانگین ترکیب‌های غالب اسانس مرزه رقم خوزستانی (*Saturjea khuzistanica*)

Table 7. Means comparisons of essential oil components in *Saturjea khuzistanica*

No.	Component	RI	A1B1C1D1	A1B1C1D2	A1B1C1D3	A1B1C2D1	A1B1C2D2	A1B1C2D3	A1B2C1D1	A1B2C1D2	A1B2C1D3	A1B2C2D1	A1B2C2D2	A1B2C2D3
1	α -thujene	931	0.16±0.02	0.11±0.01	0.09±0.01	0.31±0.01	0.22±0.01	0.14±0.04	0.35±0.02	0.22±0.04	0.15±0.01	0.42±0.01	0.31±0.02	0.22±0.02
2	α -pinene	939	0.22±0.02	0.16±0.01	0.08±0.02	0.28±0.02	0.21±0.02	0.09±0.02	0.34±0.02	0.28±0.02	0.17±0.02	0.49±0.01	0.32±0.02	0.26±0.01
3	myrcene	999	0.71±0.01	0.54±0.02	0.23±0.03	0.75±0.02	0.65±0.02	0.55±0.02	0.88±0.01	0.71±0.03	0.61±0.02	0.91±0.01	0.81±0.02	0.5±0.01
4	α -terpinene	1021	3.1±0.3	2.2±0.4	2.6±0.1	4.2±0.2	3.5±0.3	3.3±0.3	4.9±0.3	4.6±0.2	4.1±0.2	5.5±0.1	4.6±0.2	3.7±0.1
5	ρ -cymene	1027	4.4±0.2	3.4±0.2	3.8±0.3	5.2±0.4	4.3±0.3	4.1±0.3	5.3±0.2	4.2±0.2	3.4±0.1	6.3±0.1	5.2±0.2	4.4±0.2
6	γ -terpinene	1059	13.5±3.1	12.1±2.5	11.8±2.1	17.9±2.2	16.3±1.5	15.9±1.1	17.7±1.1	16.6±1.2	16.4±1.3	17.7±1.4	16.6±1.1	15.4±1.3
7	β -thujene	1114	0.5±0.01	0.42±0.02	0.16±0.03	0.64±0.01	0.55±0.01	0.19±0.02	0.77±0.01	0.66±0.01	0.18±0.02	0.82±0.02	0.55±0.01	0.1±0.01
8	thymol	1272	0.3±0.01	0.42±0.02	0.16±0.01	0.15±0.02	0.28±0.02	0.09±0.01	0.34±0.02	0.44±0.01	0.11±0.02	0.41±0.01	0.43±0.01	0.4±0.01
9	carvacrol	1301	66.5±2.2	60.3±2.3	58.6±2.4	66.8±1.1	64.7±1.2	61.5±1.1	69.1±1.4	67.9±1.3	62.8±1.1	69.6±1.4	65.9±1.6	63.8±1.7
10	β -caryophyllene	1413	0.1±0.01	0.05±0.02	0.03±0.01	0.25±0.01	0.2±0.03	0.18±0.02	0.35±0.02	0.18±0.02	0.17±0.02	0.44±0.01	0.34±0.02	0.17±0.01
11	germacrene-D	1414	0.11±0.02	0.22±0.01	0.18±0.01	0.11±0.02	0.2±0.02	0.16±0.02	0.23±0.02	0.33±0.01	0.25±0.02	0.19±0.01	0.33±0.01	0.15±0.01

ادامہ جدول ۷ - ...

Continued Table 7. ...

No.	Component	RI	A2B1C1D1	A2B1C1D2	A2B1C1D3	A2B1C2D1	A2B1C2D2	A2B1C2D3	A2B2C1D1	A2B2C1D2	A2B2C1D3	A2B2C2D1	A2B2C2D2	A2B2C2D3
1	α -thujene	931	0.22±0.01	0.14±0.01	0.1±0.01	0.33±0.03	0.1±0.04	0.04±0.02	0.37±0.01	0.24±0.02	0.11±0.01	0.41±0.01	0.32±0.02	0.21±0.02
2	α -pinene	939	0.17±0.02	0.08±0.02	0.05±0.02	0.22±0.01	0.17±0.01	0.08±0.01	0.34±0.02	0.22±0.01	0.11±0.02	0.41±0.01	0.33±0.02	0.22±0.01
3	myrcene	999	0.75±0.03	0.68±0.02	0.66±0.04	0.81±0.01	0.55±0.02	0.32±0.01	0.86±0.02	0.3±0.01	0.27±0.02	0.88±0.01	0.5±0.02	0.5±0.01
4	α -terpinene	1021	4.8±0.2	4.1±0.1	3.8±0.3	4.2±0.2	4.1±0.1	2.8±0.3	5.6±0.2	4.5±0.1	3.4±0.2	6.5±0.1	5.6±0.2	4.7±0.1
5	ρ -cymene	1027	6.1±0.1	5.05±0.2	4.1±0.3	6.2±0.2	5.2±0.1	4.1±0.1	7.1±0.2	5.2±0.2	4.1±0.1	7.6±0.2	6.2±0.3	5.4±0.2
6	γ -terpinene	1059	15.2±1.1	14.8±1.2	12.6±1.5	16.7±1.4	15.9±1.2	12.5±1.5	17.4±2.6	14.3±2.1	12.2±2.3	17.7±2.2	14.6±1.1	12.4±1.3
7	β -thujene	1114	0.17±0.02	0.14±0.01	0.13±0.02	0.24±0.02	0.14±0.01	0.11±0.01	0.22±0.02	0.15±0.02	0.12±0.01	0.43±0.02	0.31±0.01	0.1±0.01
8	thymol	1272	0.05±0.01	0.09±0.02	0.05±0.01	0.07±0.02	0.11±0.02	0.09±0.01	0.22±0.02	0.44±0.03	0.38±0.03	0.26±0.01	0.49±0.03	0.42±0.02
9	carvacrol	1301	66.7±1.1	65.6±1.2	64.4±1.4	67.8±1.3	66.4±1.3	59.4±2.2	69.3±2.6	65.5±2.1	59.7±1.2	70.6±1.5	67.9±1.4	64.8±1.3
10	β -caryophyllene	1413	0.15±0.01	0.14±0.01	0.11±0.02	0.16±0.02	0.13±0.02	0.08±0.02	0.29±0.01	0.12±0.02	0.09±0.01	0.33±0.01	0.18±0.02	0.17±0.01
11	germacrene-D	1414	0.24±0.01	0.33±0.02	0.3±0.02	0.27±0.02	0.35±0.02	0.32±0.01	0.15±0.02	0.38±0.03	0.32±0.03	0.19±0.01	0.41±0.03	0.38±0.02

جدول ۸- مقایسات میانگین ترکیب‌های غالب اسانس مرزه رقم موتیکا (*Saturjea mutica*)

Table 8. Means comparisons of essential oil components in *Saturjea mutica*

No.	Component	RI	A1B1C1D1	A1B1C1D2	A1B1C1D3	A1B1C2D1	A1B1C2D2	A1B1C2D3	A1B2C1D1	A1B2C1D2	A1B2C1D3	A1B2C2D1	A1B2C2D2	A1B2C2D3
1	α -thujene	931	0.1±0.02	0.08±0.01	0.04±0.01	0.12±0.02	0.11±0.01	0.09±0.04	0.15±0.02	0.14±0.04	0.13±0.01	0.1±0.01	0.08±0.02	0.09±0.01
2	α -pinene	939	0.1±0.02	0.03±0.01	0.03±0.01	0.15±0.01	0.08±0.02	0.06±0.02	0.21±0.02	0.16±0.02	0.11±0.02	0.27±0.01	0.22±0.02	0.18±0.01
3	myrcene	999	0.3±0.02	0.2±0.01	0.2±0.02	0.4±0.01	0.2±0.02	0.1±0.02	0.45±0.02	0.32±0.02	0.3±0.02	0.5±0.01	0.4±0.02	0.32±0.01
4	α -terpinene	1021	2.1±0.3	1.4±0.4	1.1±0.1	2.2±0.1	1.5±0.3	1.3±0.3	3.5±0.3	2.6±0.2	2.1±0.2	4.5±0.3	3.6±0.2	2.7±0.1
5	ρ -cymene	1027	28.5±2.2	27.3±2.1	26.6±1.5	29.8±1.4	26.5±1.3	25.5±1.1	30.1±1.5	28.9±1.3	27.8±1.1	31.3±1.4	28.2±1.2	27.4±1.1
6	γ -terpinene	1059	14.4±0.1	12.3±0.2	11.7±0.1	12.5±0.2	11.8±0.4	10.78±0.3	13.88±0.2	12.8±0.2	11.77±0.2	17.7±0.5	16.6±0.6	15.4±0.3
7	β -thujene	1114	0.11±0.01	0.08±0.01	0.05±0.01	0.19±0.01	0.11±0.01	0.09±0.02	0.18±0.01	0.17±0.02	0.16±0.02	0.11±0.02	0.1±0.01	0.1±0.01
8	thymol	1272	41.5±1.1	40.1±1.3	38.8±2.1	39.9±1.5	38.3±1.3	37.9±1.2	42.7±1.3	38.6±1.4	36.4±1.2	43.08±1.1	39.07±1.5	37.06±1.2
9	carvacrol	1301	3.7±0.2	4.2±0.2	3.8±0.3	3.2±0.1	4.3±0.3	4.4±0.2	3.3±0.1	4.2±0.2	4.4±0.1	3.6±0.2	3.9±0.2	3.8±0.1
10	β -caryophyllene	1413	0.02±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.11±0.01	0.2±0.03	0.22±0.05	0.15±0.03	0.18±0.04	0.17±0.03	0.19±0.04	0.22±0.03	0.21±0.04
11	germacrene-D	1414	0.11±0.01	0.22±0.03	0.21±0.03	0.11±0.03	0.2±0.02	0.21±0.02	0.23±0.02	0.33±0.01	0.31±0.02	0.19±0.01	0.33±0.02	0.34±0.04

ادامه جدول ۸ - ...

Continued Table 8. ...

No.	Component	RI	A2B1C1D1	A2B1C1D2	A2B1C1D3	A2B1C2D1	A2B1C2D2	A2B1C2D3	A2B2C1D1	A2B2C1D2	A2B2C1D3	A2B2C2D1	A2B2C2D2	A2B2C2D3
1	α -thujene	931	0.11±0.02	0.1±0.03	0.1±0.01	0.19±0.02	0.17±0.01	0.15±0.02	0.22±0.01	0.18±0.01	0.14±0.02	0.28±0.01	0.22±0.02	0.21±0.02
2	α -pinene	939	0.09±0.01	0.08±0.01	0.05±0.01	0.1±0.02	0.04±0.01	0.02±0.01	0.14±0.02	0.12±0.1	0.1±0.01	0.15±0.02	0.07±0.02	0.06±0.01
3	myrcene	999	0.3±0.01	0.2±0.01	0.1±0.01	0.32±0.03	0.2±0.02	0.2±0.01	0.35±0.02	0.3±0.02	0.3±0.02	0.5±0.03	0.41±0.03	0.37±0.03
4	α -terpinene	1021	3.5±0.1	3.1±0.2	2.6±0.2	3.7±0.2	3.1±0.3	2.2±0.3	3.5±0.4	2.8±0.1	2.4±0.2	4.5±0.2	3.6±0.1	2.7±0.1
5	ρ -cymene	1027	29.7±1.4	25.6±1.2	21.4±1.4	32.8±1.1	29.4±1.3	28.1±1.1	34.1±1.2	30.6±2.1	28.8±1.4	28.3±1.1	31.2±2.2	28.4±1.5
6	γ -terpinene	1059	10.75±0.3	9.1±0.2	8.1±0.5	10.2±0.3	9.1±0.3	8.1±0.4	15.1±0.2	12.1±0.3	11.1±0.9	17.7±0.8	16.6±0.7	15.4±0.6
7	β -thujene	1114	0.17±0.01	0.14±0.02	0.13±0.01	0.15±0.01	0.14±0.01	0.12±0.01	0.19±0.01	0.16±0.03	0.11±0.01	0.25±0.02	0.21±0.02	0.1±0.01
8	thymol	1272	37.2±1.1	36.8±1.2	34.6±1.4	36.7±1.5	34.9±1.2	31.5±1.4	36.1±1.1	35.8±1.3	34.9±1.4	37.08±1.2	35.07±1.1	31.06±1.3
9	carvacrol	1301	3.1±0.1	4.05±0.2	3.9±0.2	3.2±0.2	3.6±0.1	4.1±0.2	3.1±0.2	3.9±0.3	3.8±0.4	3.6±0.2	4.9±0.2	4.8±0.4
10	β -caryophyllene	1413	0.15±0.02	0.16±0.02	0.17±0.01	0.16±0.01	0.17±0.03	0.19±0.02	0.22±0.01	0.25±0.03	0.26±0.02	0.19±0.03	0.27±0.02	0.28±0.01
11	germacrene-D	1414	0.24±0.02	0.25±0.01	0.27±0.01	0.27±0.02	0.31±0.03	0.32±0.02	0.14±0.02	0.33±0.01	0.34±0.01	0.22±0.01	0.38±0.01	0.39±0.02

بحث

با توجه به نقش محرک رشدی کود کامل که دارای عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و نیز بوتامیسول و اسید هیومیک در افزایش سبزینه گیاه و به تبع آن افزایش فتوسنتز، بدیهی است که متعاقب آن میزان اسانس بیشتر می‌شود (Barker & Pilbeam, 2007). گزارش‌هایی مبنی بر وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در اثر کاربرد کودهای آلی از جمله اسید هیومیک و امکان بهبود رشد گیاهی تحت این شرایط وجود دارد. مزیت استفاده از این کود در مقابل سایر کودهای آلی به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی است. این کود معمولاً نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشتری نسبت به خاک‌های اطراف خود دارد. افزودن کود آلی به خاک و بسترهای کشت به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند. کود آلی به دلیل فراهم کردن مقادیر بیشتری از عناصر مغذی، منجر به بیشتر شدن وزن گیاه و مواد مؤثره موجود در آن می‌گردد (Roesty *et al.*, 2006). از دلایل افزایش عملکرد توسط اسید هیومیک می‌توان به حفظ و نگهداری عناصر غذایی خاک، جلوگیری از آب‌شویی نیتروژن، افزایش فعالیت زیستی، پوک شدن خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، بهبود دانه‌بندی خاک و افزایش کارایی مصرف آب اشاره کرد (Alizadeh, Doskočil *et al.*, 2018; Alizadeh *et al.*, 2018). افزودن این کود به خاک، سبب افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی می‌شود. به‌طور کلی در این بررسی مشخص گردید که اسید هیومیک در ترکیب با بوتامیسول و کود کامل یوروسالید قادر به تولید بیشترین میزان اسانس بود و بیشترین مقادیر ترکیب‌های اصلی اسانس از جمله مواد مؤثره کارواکرول، تیمول، پارا-سیمن و گاما-تریپن در همین ترکیب تیماری در شرایط رطوبتی ظرفیت مزرعه بدست آمد؛ هر چند همین ترکیب تیماری در شرایط تنش ملایم (۵۰٪ تخلیه رطوبتی) به همراه ترکیب تیماری کود کامل و اسید هیومیک در بسیاری از صفات مورد ارزیابی در گروه مشابه قرار گرفتند. به‌طور کلی در غالب موارد، با افزایش سطوح تنش خشکی، مقادیر مواد

مؤثره کاهش یافت که در این راستا پاشش کود کامل، این اثر را تشدید کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کود کامل یوروسالید به همراه بوتامیسول و اسید هیومیک تا حد زیادی می‌تواند به دلیل فراهمی بیشتر آب و مواد غذایی منجر به افزایش صفات مورفولوژیکی از جمله ماده خشک گیاهی و به تبع آن افزایش اسانس و ترکیب‌های مؤثره اسانس گردد. در بسیاری از موارد همین ترکیب تیماری در شرایط تنش ملایم (۵۰٪ تخلیه رطوبتی)، مقادیر بالایی از صفات مورد ارزیابی را بوجود آورد. از آنجا که گیاه مرزه گیاهی حساس به خشکی است، کاربرد اسید هیومیک و بوتامیسول می‌تواند تا حدودی در تحمل این گیاه به خشکی مؤثر باشد. در چندین پژوهش، اثرگذاری مفید و ارزنده کودهای آلی بر افزایش ارتفاع بوته، عملکرد سرشاخه گلدار، عملکرد ساقه، درصد اسانس و عملکرد ماده خشک، وزن تر و خشک تک بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اسانس، افزایش ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، سطح برگ، شاخص کلروفیل، مقدار اسانس، آنزیم کاتالاز، پرواکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گونه *S. hortensis* گزارش شده است (Gholami Sharafkhaneh *et al.*, 2015; Nasiri *et al.*, 2020; Najafi vafa *et al.*, 2020). در گونه *S. khuzistanica*، استفاده از اسید هیومیک و کودهای آلی، منجر به افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد اسانس (Alizadeh *et al.*, 2018)، بازده و عملکرد اسانس و مقدار عناصر پتاسیم و گوگرد سرشاخه‌های گیاه (Mohammadi *et al.*, 2021) شد. در گیاه مرزه، میزان پروتئین و قند گیاه تحت تنش خشکی کاهش یافته و میزان پرولین و لیپید اکسید شده افزایش می‌یابد. سازوکارهای محافظتی تحت تنش خشکی زیاد می‌شوند و تخریب پروتئین تحت تنش خشکی بیشتر می‌شود. پرولین طی واکنش‌های کاهشی از گلوتامات سنتز می‌شود. پرولین-۵-کربوکسیلات (P5C) و پرولین به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های متابولیک شناخته شده‌اند و همانند جفت ردوکس عمل می‌کنند. کاهش پرولین-۵-کربوکسیلات در

مؤثره آلفا-پینن، لیمونن و اوکالیپتول در مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) کاهش یافت، در حالی که این ترکیب‌ها در ریحان (*Ocimum basilicum*) افزایش یافتند (Kulak, 2020). در مورد تغییرات میزان ترپنوئیدها تحت تأثیر عناصر مغذی باید بیان کرد که بیوسنتز اسانس‌ها در غده‌های ترشحی اتفاق می‌افتد که از لحاظ کربن هتروتروف هستند، بنابراین وجود منبع کربن از جمله ترکیب‌های فتوسنتزی مانند ساکارز، گلوکز و تنبیت کربن برای بیوسنتز ترکیب‌های ترپنوئیدی لازم و ضروریست (Mc-Garvey & Croteau, 1995). بنابراین تغییرات بیوسنتز ترکیب‌های ترپنوئیدی از جمله مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌ها ممکن است به علت تغییرات بیوانرژتیک سلول‌های گیاهی در پاسخ به عناصر مغذی باشد و به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اختلاف در مقدار و نوع برخی از ترکیب‌های اسانس گیاه مورد آزمایش، مربوط به اختلاف جایگاه‌های بیوسنتزی ترکیبات از نظر بهره‌گیری از منابع انرژی باشد (Sasani et al., 2021). تنش آب از طریق کاهش سطح برگ، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در قابلیت هدایت روزنه‌ها، کاهش در آبیگری کلروپلاست و سایر بخش‌های پروتوپلاسم که به‌نحوی کارایی فتوسنتز را کاهش می‌دهند، منجر به کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل و تقلیل فرایند فتوسنتز می‌گردد. تنش آب به‌طور مستقیم می‌تواند بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود دی‌اکسیدکربن به داخل روزنه‌ها را که به‌علت شرایط کم‌آبی بسته‌اند کاهش دهد. از این‌رو، انتقال مواد فتوسنتزی نیز تحت تأثیر تنش آب قرار گرفته و موجب اشباع برگ‌ها از این مواد می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید. بدیهی است که با محدود شدن کمبود آب، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (Kulak, 2020). افزایش تنش خشکی در گیاهان منجر به افزایش اسید آمینه پرولین شده و میزان ذخیره آن در سیتوپلاسم سلولی بیشتر می‌شود. این اسید آمینه در حفاظت سلولی نقش دارد و می‌تواند تا اندازه‌ای موجب ادامه جذب آب از محیط ریشه شود، اما

سیتوزول، افزایش $NADP^+$ را فراهم می‌کند که منجر به فعال شدن چرخه پنتوزفسفات‌اکسیداتیو می‌شود. رابطه محکمی بین چرخه پنتوزفسفات‌اکسیداتیو با سنتز قند و پرولین در گیاهان وجود دارد (Yazdanpanah et al., 2011; Elzaawely et al., 2007).

در این تحقیق، با کاربرد اسید هیومیک، کود کامل و بوتامیسول، مقدار مونوترپن‌های هیدروکربنه و اکسیژنه در اسانس افزایش یافت. به‌طوری که این افزایش در مورد مونوترپن‌های هیدروکربنه چشمگیر بود، اما با اعمال تنش خشکی، از مقدار مونوترپن‌های اکسیژنه کاسته شد و در بسیاری از موارد تیمارهای مورد استفاده منجر به بهبود در صفات مورد ارزیابی شدند. افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس در تیمار محلول‌پاشی بوتامیسول، اسید هیومیک و کود کامل، نشان‌دهنده اهمیت عناصر مغذی و اسید آمینه مورد استفاده در کشت و پرورش گیاه دارویی مرزه است. از دلایل افزایش محتوا و در نتیجه عملکرد اسانس، افزایش عملکرد ماده خشک در زمان کاربرد کود کامل، بوتامیسول و اسید هیومیک است. با توجه به تأثیر عناصر پرمصرف و اسید هیومیک بر رشد و نمو گیاه، می‌توان یکی از دلایل افزایش فعالیت فتوسنتزی را مرتبط با مهمترین بخش فتوسنتز کننده در گیاه یعنی برگ‌ها دانست. به‌طوری که استفاده از عناصر غذایی باعث افزایش سطح برگ می‌شود که این افزایش منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ می‌گردد. همچنین با افزایش سطح برگ، تعداد روزنه به‌عنوان محل ورود دی‌اکسیدکربن و گلوکز به عنوان پیش‌ماده مناسب در سنتز اسانس‌ها و به‌عنوان نتیجه فرایند فتوسنتز زیاد شده و در نتیجه سوسترای لازم برای سنتز اسانس در گیاه فراهم می‌شود (Elzaawely et al., 2007). تحت تنش خشکی مقادیر مواد مؤثره گیاهان دارویی رفتار مختلفی دارند. به‌نحوی که در زمان رسیدگی و بروز تنش خشکی میزان ماده آلفا-پینن در گیاه رزماری (*Rosmarinus officinalis*) کاهش ولی در اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) افزایش یافت. ترکیب‌های

- Physiological Aspects of Dry Land Farming. Oxford Press, 391p.
- Asadi, M., Nasiri, Y. and Morshedloo, M., 2018. Evaluation of quantitative and qualitative yield of *Mentha piperita* under amino acids, organic and chemical fertilizers. *Sustainable Agriculture*, 82(3): 257-275.
 - Barker, A.V. and Pilbeam, D.J., 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Pres, 632p.
 - Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1): 205-207.
 - Davarpanah, S., Tehranifar, A., Davarynejad, G.H. And Abadía, J., 2018. Effect of humic acid on some physical and chemical characteristics of Pomegranate (*Punica granatum* cv. *Ardestani*). *Plant Production Technology*, 10(1): 69-81.
 - Dere, S., Güneş, T. and Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22(1): 13-18.
 - Doskočil, L., Szewieczková, J.B., Enev, V., Kalina, L. and Wasserbauer, J., 2018. Spectral characterization and comparison of humic acids isolated from some European lignites. *Fuel*, 213: 123-132.
 - Elzaawely, A., Xuan, T. and Tawata, S., 2007. Changes in essential oil, kava pyrones and total phenolics of *Alpinia zerumbet* (Pers.) BL Burtt. & RM Sm. leaves exposed to copper sulphate. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 347-353.
 - Eskandari, M., 2013. Changes in growth parameters and essential oil content of *Satureja bachtiarica* Bunge under the effects of 28-Homobrassinolid and drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(1): 176-186.
 - Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmad, A.A. and Mahmoud, A.R., 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 6(5): 583-588.
 - Gholami Sharafkhaneh, A., Jahan, M., Bannayan, M. and Kooghaki, A., 2015. Effect of organic, biological and chemical fertilizers on some agroecological and essential oil of *Satureja hortensis* L. in Mashhad region. *Journal of Agroecology*, 7(2): 179-189.
 - Gustafson, A.F., 2010. *Handbook of Fertilizers: Their Sources, Make-up, Effects and Use*. Orange Judd Publishing Company, 180p.
 - Kulak, M., 2020. Recurrent drought stress effects on essential oil profile of Lamiaceae plants: An approach regarding stress memory. *Industrial Crops and Products*, 154: 1-17.
 - Mc-Garvey, D. and Croteau, R., 1995. Terpenoid metabolism. *The Plant Cell*, 7: 1015-1026.
- اتکای گیاه به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه از طریق کاهش عملکرد این هزینه را جبران می‌کند. تنش خشکی منجر به کاهش میزان کلروفیل کل گیاه شده و از این طریق منجر به کاهش اسانس نیز می‌شود. افزایش صفات مورفولوژیکی از جمله ارتفاع، وزن خشک گیاه در اثر کاربرد کودهای کامل، اسید هیومیک و بوتامیسول را می‌توان به افزایش تولید فیتوهورمون‌ها به‌ویژه ایندول استیک اسید نسبت داد (Zakerian *et al.*, 2020)؛ (Barker & Pilbeam, 2007).
- به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که در این تحقیق اثرهای مفید و ارزنده‌ای ناشی از کاربرد کودهای کامل NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گونه‌های مرزه (*S. mutica*، *S. bachtiarica* و *S. khuzistanica*) بدست آمد. ترکیب‌های غالب اسانس گونه بختیاری (پارا-سیمن و کارواکرول)، گونه خوزستانی (کارواکرول و گاما-ترینن) و گونه جنگلی (پارا-سیمن و تیمول) از دسته مونوترین‌های حلقوی در اثر دور آبیاری ۳ روز یک‌بار بودند و کاربرد این کودها افزایش چشمگیری داشتند. بیشترین میزان اسانس در گونه بختیاری در منطقه شهرکرد بدست آمد که می‌تواند به‌دلیل سازگاری و بهره‌مندی بهتر این گونه با شرایط منطقه مذکور باشد. بنابراین، در شرایط مشابه می‌توان گونه مذکور را ضمن کاربرد کودهای NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک توصیه کرد.

References:

- Adams, R.P., 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/ Mass Spectroscopy. Allured publishing Corp, Carol Stream, USA, 804p.
- Alizadeh, A., Najafi, F., Hadian, J. and Salehi, P., 2018. Effect of different levels of humic-acid and vermicompost extract on growth, yield, morphological and phytochemical properties of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Journal of Agroecology*, 10(1): 69-80.
- Arnon, D.I., 1975. Physiological principles of dry land crop production, 3-14. In: Gupta, U.S., (Ed.).

- Rezvani Moghadam, P., Bakhshae, S., Amin ghafori, A. and Jafari, L., 2013. The effect of organic and biofertilizers on some quantitative characteristics and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology*, 5(2): 105-112.
- Rezvani Moghadam, P., Bakhshae, S., Amin ghafori, A. and Jafari, L., 2014. Fertilizer management effects on summer Savory (*Satureja hortensis* L.) production as a medicinal plant in Mashhad condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1): 27-33.
- Roesty, D., Gaur, R. and Johri, B.N., 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial. *Journal of Plant Science*, 38: 1111-1120.
- Sasani, N., Pâques, L.E., Boulanger, G. and Singh, A.P., 2021. Physiological and anatomical responses to drought stress differ between two larch species and their hybrid. *Trees*, 35: 1467-1484.
- Tamburino, R., Vitale, M., Ruggiero, A., Sassi, M. and Sannino, L., 2017. Chloroplast proteome response to drought stress and recovery in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *BMC Plant Biology*, 17: 1-14.
- Thomas, J., Mandal, A.K.A., Raj Kumar, R. and Chrodia, A., 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of Tea (*Camelia* sp.) *International Journal of Agricultural Research*, 4: 228-236.
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F., 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4): 798-807.
- Zakerian, F., Sefidkon, F., Abbaszadeh, A. and Kalateh, S., 2020. Drought stress and micorrhiza fungi effects on physiologic and essential oil characters of *Satureja sahandica* Bornm. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(1): 189-201.
- Mohammadi, M., Sefidkon, F., Asadi-Sanam, S. and Kalatejari, S., 2021. Effects of nutritional treatments on morphological characteristics and essential oil yield of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(2): 193-213.
- Mozaffarian, V., 2008. *A Pictorial Dictionary of Botanical Taxonomy Latin-English-French-Germany-Persian*. Germany: Koeltz Scientific Books, 760p.
- Mumivand, H., Ebrahimi, A., Morshedloo, M.R. and Shayganfar, A., 2021. Water deficit stress changes in drug yield, antioxidant enzymes activity and essential oil quality and quantity of Tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.). *Industrial Crops and Products*, 164: 113381.
- Najafi vafa, Z., Sirousmehr, A. and Bijhani, M., 2020. Effect of different levels of humic acid and nano-zinc fertilizer on the antioxidant enzyme activities and essential oil of Savory (*Satureja hortensis* L.). *Horticultural Plants Nutrition*, 3(2): 43-58.
- Nasiri, Y., Shekari, F. and Asadi, M., 2020. Effects of biofertilizers and zinc sulfate on some morphological and yield characteristics of *Satureja hortensis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(4): 523-541.
- Noori Hoseiny, S.M. and Zabihi, H., 2006. Effects of several fertilizers resources and humic acid on morphological characters, yield and antioxidant of *Bunium persicum* Boiss. *Journal of Applied Research*, 29(4): 87-94.
- Pourali, S. and Roozbahani, A., 2016. Effect of iron containing fertilizers and botamisol on some traits of Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(1): 57-72.
- Rezakhani, A. and Haj Seyed Hadi, M.R., 2016. Effect of manure and foliar application of amino acids on growth characteristics, seed yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(3): 777-786.

Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Satureja* species under drought stress

M. Yadegari^{1*}

^{1*}- Corresponding author, Research Center for Medicinal Plants, Spices and Aromatics, Faculty of Agriculture, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran, E-mail: mehrabyadegari@gmail.com

Received: October 2021

Revised: December 2021

Accepted: January 2022

Abstract

Due to the valuable role of savory (*Satureja* spp.) in pharmaceutical and food industries, three separate factorial experiments were conducted in a completely randomized design with four replications in Islamic Azad University, Branch of Shahrekord in the 2021-2022 crop year to study the effects of NPK, butamisol, and humic acid fertilizers on the morphophysiological characteristics and essential oil of three savory species (*S. bachtiarica* Bunge, *S. mutica* Fisch. & C. A. Mey., and *S. khuzistanica* Jamzad) under drought stress conditions. Experimental treatments included non-use (A1) and use (A2) of NPK, non-use (B1) and use (B2) of humic acid, non-use (C1) and use (C2) of botamisol, and drought stress at three levels of field capacity (D1), and 50% (D2) and 75% (D3) moisture loss. The A₂B₂C₂D₁ treatment resulted in the highest plant height (57.5±1.1 cm), number of main branches (23.4±1.7), total chlorophyll (1.55±0.02 mg.g⁻¹ FW), and essential oil content (1.94±0.03%) in *S. bachtiarica*. The highest proline (13.99±1.2 µg.g⁻¹ FW) and lowest essential oil (0.79±0.02%) amounts was obtained in *S. mutica* in the A₁B₁C₁D₃ treatment. From the 11 essential oil compounds, monoterpenoids such as *p*-cymene and carvacrol in *S. bachtiarica*, carvacrol and *γ*-terpinene in *S. khuzistanica*, and *p*-cymene and thymol in *S. mutica* were identified as major essential oil constituents. Better nutrition and minimum stress with temperate climate of the region under study led to the introduction of *S. bachtiarica* as the best species.

Keywords: *p*-cymene, carvacrol, *Satureja bachtiarica* Bunge, *Satureja khuzistanica* Jamzad.