مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJMAPR.2022.357303.3119
جلد ۳۸، شماره ۲، صفحه ۳۲۱-۳۰۱ (۱۴۰۱) | شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350905.1401.38.2.8.8

اثر کود کامل NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک و اسانس سه گونه از جنس آویشن (*Thymus* spp.) تحت تنش خشکی

مهراب یادگاری[1*]

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

پست الکترونیک: mehrabyadegari@gmail.com

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۰ | تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۴۰۱ | تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

با توجه به نقش ارزنده گیاه آویشن در صنایع داروسازی و غذایی کشور، در این تحقیق اثرگذاری کودهای کامل NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و اسانس سه گونه آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss)، آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) و آویشن دنایی (*T. daenensis* Celark) تحت شرایط تنش خشکی مطالعه گردید. این تحقیق در سه آزمایش جداگانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد انجام شد. محلول‌پاشی دو بار با فاصله زمانی سه هفته بعد از مرحله ۱۰ برگی شدن گیاه انجام شد. ۲۴ تیمار آزمایشی شامل عدم استفاده (A_1) و استفاده (A_2) از NPK، عدم استفاده (B_1) و استفاده (B_2) از اسید هیومیک، عدم استفاده (C_1) و استفاده (C_2) از بوتامیسول در شرایط تنش خشکی در سه سطح ظرفیت مزرعه (D_1)، ۵۰٪ (D_2) و ۷۵٪ تخلیه رطوبتی (D_3) بودند. بالاترین مقادیر ارتفاع بوته (۱/۱±۴۴/۵ سانتی‌متر)، تعداد شاخه اصلی (۱/۵±۲۶/۴)، وزن بوته خشک (۰/۹۹±۴۰/۵ گرم در مترمربع)، کلروفیل کل (۰/۱±۱/۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و اسانس (۰/۱±۱/۸۸٪) توسط تیمار $A_2B_2C_2D_1$ در آویشن کوهی بدست آمد. تیمار $A_2B_2C_2D_3$ (استفاده از هر سه نوع کود با وجود تنش خشکی شدید) بیشترین محتوی پرولین (۰/۲±۱۳/۹ میکروگرم در گرم وزن تر) و کمترین میزان اسانس (۰/۱±۰/۷۹٪) را در آویشن دنایی تولید کرد. ترکیب‌های غالب اسانس در گونه *T. kotschyanus* تیمول و کارواکرول، در گونه *T. vulgaris*، تیمول، گاما-ترپینن، پارا-سیمن و لینالول و در گونه *T. daenensis*، تیمول، کارواکرول، پارا-سیمن، بتا-کاریوفیلن، آلفا-پینن و میرسن بودند. بهره‌مندی بیشتر از مواد مغذی و تنش در حداقل ممکن به‌همراه آب و هوای معتدل منطقه مورد تحقیق، منجر به معرفی آویشن کوهی به‌عنوان گونه شاخص در این زمینه شد.

واژه‌های کلیدی: *Thymus kotschyanus* Boiss.، اسانس، تیمول، کارواکرول.

مقدمه

گیاهان دارویی نقش ارزنده‌ای در صنایع دارویی و غذایی کشور دارند. جنس آویشن (*Thymus* sp.) از خانواده نعناعیان است که دارای تعداد زیادی گونه و زیرگونه است (Mozaffarian, 2009). آویشن کوهی (*T. kotschyanus* Boiss.) گیاهی پایا با بوته‌های کوچک در بن چوبی، پرشاخه و منشعب، اغلب چمنی متراکم با بن بسیار ضخیم، ساقه بسیار منشعب با انشعاب‌هایی به طول ۶-۱۲ سانتی‌متر و کرک‌دار با

کرک‌هایی در طول و شکل متفاوت از هم و دارای برگ است. این گونه مستعد کاشت در نقاط دیم کشور بوده و میزان اسانس این گونه در سال دوم به حدود ۳۰٪ افزایش می‌یابد (Lebaschi *et al.*, 2016). آویشن دنایی با نام علمی (*T. daenensis* Celark) گیاهی پایا، علفی، پوشیده از کرک که دارای برگ‌های بیضی شکل، کوچک و ساقه خوابیده با ارتفاع ۱۰–۲۵ سانتی‌متر است. این گونه دارای خواص آنتی‌اکسیدانی بسیار مؤثر (Sajjadi *et al.*, 2004) و کنترل‌کننده فعالیت باکتری‌های گرم مثبت است (Teimouri, 2012). آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) گیاهی چوبی چندساله دارای برگ‌های کوچک نیزه‌ای سبز رنگ به طول ۶–۱۲ میلی‌متر، ساقه کوتاه و چهارگوش، در پایین ساقه چوبی و در بخش جوان‌تر سبزرنگ است. اسانس در تمام بخش‌های این گیاه وجود دارد ولی بیشتر در سرشاخه‌های گل‌دار است. این گونه دارای خواص ضد باکتری و ضدقارچ است (Bruneton, 1999). 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. ازجمله این عوامل نقش مواد مغذی و آبیاری در کمّیت و کیفیت اسانس است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر پرمصرف، نقش بسیار مهم در رشد و تولید گیاهان ایفاء می‌کنند (Gustafson, 2010). همانطور که در کاربرد مقادیر مختلف کودهای N، P، K بر رشد و عملکرد گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) مشخص شد، بیشترین میزان ارتفاع ساقه (۳۸/۳۷ سانتی‌متر)، عملکرد گیاه تر (۴۲/۷۸ گرم در گیاه) و بیشترین درصد اسانس (۰/۷۳٪) در تیمار ترکیبی NPK بدست آمد (Sharafzadeh, 2011). ترکیب غالب در اسانس گونه *T. daenensis* تیمول (۴۲/۶٪) و در اسانس *T. kotschyanus* کارواکرول (۵۲/۳٪) گزارش شده‌است (Amiri, 2012; Askary *et al.*, 2018). همچنین در اسانس گونه *T. kotschyanus*، تیمول (۸۹/۰۸٪) و گاما–ترپینن (۴/۶۲٪) (Mazooji *et al.*, 2012) و در اسانس گونه *T. vulgaris*، تیمول (۴۶/۲٪)، گاما–ترپینن (۱۴/۱٪) و پارا–سیمن (۹/۹٪) (Ozcan & Chalchat, 2004)؛ به‌عنوان ترکیب‌های اصلی گزارش شده‌اند (Al Maqtari *et al.*, 2011).

کاربرد محرک‌های زیستی می‌تواند یکی از مهمترین عوامل در کشت موفق یک گیاه دارویی باشد. این محرک‌ها علاوه‌بر افزودن شاخص‌های کمّی، بر شاخص‌های کیفی گیاهان دارویی نیز مؤثر هستند که این تأثیر ناشی از اسیدهای آمینه استفاده شده در ترکیب و ساخت این محرک‌های زیستی است (Thomas *et al.*, 2009). اسید هیومیک، ماده‌ای طبیعی است که 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 می دهد (Doskočil *et al.*, 2018). محلول‌پاشی اسید هیومیک منجر به افزایش در مقادیر کلروفیل کل، میزان اسانس و ترکیب‌های مؤثره اسانس در گونه‌های مرزه (*Satureja*) (Yadegari, 2022)؛ افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز و میزان اسانس در گل همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) (Asgarian *et al.*, 2021)؛ افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان کل فنول و فلاونوئید در آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) (Juarez *et al.*, 2011)؛ افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدان زیره سیاه (*Carum carvi* L.) (Noori Hoseiny & Zabihi, 2006) و همچنین افزایش عملکرد، تعداد میوه در درخت، میانگین وزن و اندازه میوه انار (*Punica granatum*) (Davarpanah *et al.*, 2018) شده است. از سوی دیگر اسیدهای آمینه به‌عنوان ترکیب‌های محرک رشد کمّی و کیفی گیاه فعالیت می‌کنند و 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. دارای درصد بالایی از اسید آمینه پرولین است که در هنگام تنش‌های محیطی باعث افزایش توان مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی، گرما، سرما، یخبندان و سمّیت سموم می‌شود (Pourali & Roozbahani, 2016). 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 زیست‌توده، عملکرد دانه و اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Rezakhani & Haj Seyed Hadi, 2016) شده است.

با توجه به قرار گرفتن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک، تنش آب یکی از مسائل محدودکننده رشد و نمو گیاهان است. تنش خشکی منجر به افزایش در مقادیر اسانس گیاه ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) (Mumivand *et al*., 2021)، اسانس و ماده مؤثره تیمول آویشن دنایی (*T. daenensis* L.)، ماده مؤثره کارواکرول آویشن باغی (*T. vulgaris* L.) (Askary *et al*., 2018)؛ مالون دی‌آلدئید و کل فنول همیشه‌بهار مکزیکی (*Tagetes minuta* L.) (Babaei *et al*., 2021)، بازدهی مصرف آب، میزان پرولین، اسیدهای فنولیک، فلاونوئید، کربوهیدرات‌های محلول در آب در *Lolium multiflorum* و *Festuca arundinacea* (Fariaszewska *et al*., 2020)؛ کاهش قابلیت آب برگ، هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز خالص، تعرق و افزایش سزکویی‌ترپن‌ها در گیاه دارویی مریم‌گلی (*Salvia dolomitica* Codd) (Caser *et al*., 2019)؛ توقف رشد، افزایش سطوح پرولین و اسید آبسیزیک و نیز کاهش جنین‌زایی می‌شود (Tamburino *et al*., 2017). این تنش منجر به افزایش مقادیر آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز دیسموتاز و پرولین در گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) (Hayati *et al*., 2021)، آنزیم آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و آب‌اکسیژنه در گیاه بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica*) (Ghanbarzadeh *et al*., 2019) شده است. گیاهان تحت تنش خشکی متابولیت‌هایی را تولید می‌کنند که از آنها در مقابل رادیکال‌های آزاد ازجمله اکسیژن رادیکال محافظت کرده و از کاهش فتوسنتز جلوگیری کنند. از این دسته مواد، ترکیبات فنولی هستند که علاوه‌بر نقش محافظتی برای سلامت انسان در قالب مواد آنتی‌اکسیدان و ضدتومور مفید می‌باشند (Albergaria *et al*., 2020). در بررسی سطوح مختلف شوری و خشکی بر دو گونه آویشن دنایی و کوهی، مشخص شد که آویشن دنایی تحمل بیشتر نسبت به خشکی داشته و دارای درصد جوانه‌زنی بالاتری بود و از بین دو نوع تنش، خشکی اثرگذاری بالاتری نسبت به شوری بر فرایندهای رشد و جوانه‌زنی گیاهان آویشن داشت (Khoshsokhan *et al*., 2012). تحت شرایط ۱۰ روز یک‌بار آبیاری بیشترین میزان ماده مؤثره تیمول تحت خاک شنی بدست آمد و مشخص شده که تحت تنش خشکی مقدار بالاتری از ماده مؤثره پارا–سیمن تبدیل به تیمول می‌شود (Eman *et al*., 2008). گونه آویشن کوهی نسبت به آویشن باغی در مقابل تنش خشکی تحمل بیشتری دارد. در تنش خشکی اسیدهای آمینه، قندها و متابولیسم انرژی تحت تأثیر قرار می‌گیرند که در این میان اثرپذیری اسید سیتریک به مراتب بیشتر است (Zandalinas *et al*., 2017). این تحقیق برای برآورد اثر کودهای کامل NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و کمّیت و کیفیت اسانس گونه‌های آویشن (*Thymus* sp.) و معرفی بهترین ترکیب مغذی تحت تنش خشکی در شهرکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای تعیین اثرهای سطوح محلول‌پاشی اسید هیومیک، کود بوتامیسول و کود کامل NPK بر خصوصیات کمّی و کیفی اسانس سه گونه دارویی آویشن (*Thymus*) سه آزمایش جداگانه برای هر یک از گونه‌ها به‌صورت فاکتوریل با ۴ عامل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰–۱۳۹۹ 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 کمّیت 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 آویشن از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد و در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه در کرت‌های آزمایشی کاشت 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 به‌طول ۶ متر بود که دو

ردیف کناری به‌عنوان اثرهای حاشیه‌ای در زمان برداشت حذف گردید. با توجه به توصیه شرکت‌های سازنده، ۱/۵ گرم از کود کامل یوروسالید NPK (۲۰-۲۰-۲۰) در یک لیتر آب حل گردید؛ برای تیمار اسید هیومیک (دایموند گرو محصول شرکت سولوشنز آمریکا)، یک گرم در یک لیتر آب حل شد. برای آماده‌سازی تیمار کود بوتامیسول، ۲۰ گرم در ۲۰ لیتر آب حل شد. محلول‌پاشی دوبار با فاصله زمانی سه 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 (A_1) و استفاده از کود کامل NPK (A_2)؛ عدم استفاده (B_1) و استفاده (B_2) از اسید هیومیک؛ عدم استفاده (C_1) و استفاده (C_2) از بوتامیسول؛ تنش خشکی در سه سطح ظرفیت مزرعه (D_1)، ۵۰٪ (D_2) و ۷۵٪ تخلیه رطوبتی (D_3) برای اجرای تحقیق در نظر گرفته شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و اقلیم مزرعه آزمایشی

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

Average minimum temperature (°C)	Average maximum temperature (°C)	Average annual temperature (°C)	Average annual precipitation (mm)	pH	EC ($dS.m^1$)	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

Properties of used fertilizers.Table 2

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_2O (12%)

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 آون 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. بدین وسیله بعد از تعیین میزان رطوبت خاک تیمار مورد نظر، مقدار آب لازم آبیاری مربوط به آن تیمار محاسبه و کمبود رطوبت تا ظرفیت مزرعه (Field Capacity) جایگزین گردید. نمونه‌های گیاهی، در زمان شروع گلدهی (۲۳۰-۲۱۰ برگی) به‌طور جداگانه از هر یک از تیمارهای تحت آزمایش در ۲۴ مردادماه جمع‌آوری گردید و در پاکت‌های مخصوص برای انتقال به آزمایشگاه نگهداری شدند. 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 (۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) به‌طور کامل خشک شدند. صفات مورفوفیزیولوژیکی در زمان برداشت، پس از حذف ساختار ریشه، از تعداد ۱۰ گیاه در هر تکرار برآورد شد. در آزمایشگاه مرکز تحقیقات گیاهان دارویی و معطر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با آب و براساس درصد وزنی انجام شد و برای هر نمونه مدت دو ساعت به طول انجامید. برای شناسایی ترکیب‌ها، اسانس گیاهان مورد نظر پس از آماده‌سازی، به دستگاه‌های GC و GC/MS (مدل 7890A/5975C ساخت اجیلنت آمریکا) مجهز به ستون موئینه HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میکرون با محدوده دمایی آون ستون از ۶۰ تا ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد تزریق گردید. شناسایی طیف‌ها به‌کمک شاخص بازداری آنها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب‌های

مرجع و مقالات 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. 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 آون 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 گردید (Arnon, 1975).

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

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 به‌صورت توده یکنواختی درآید. این عمل در نور کم و محیط خنک انجام شد. پس از سانتریفیوژ 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) 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 روابط ذیل، A663 و A645 به‌ترتیب میزان قرائت شده جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر هستند (Dere *et al.*, 1998).

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

برای تعیین میزان اسید آمینه پرولین، 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 را درون لوله آزمایش ریخته و به‌مدت دو دقیقه به‌شدت تکان داده شد. بدین ترتیب، دو بخش جامد و مایع نمونه‌ها به‌دقت تفکیک گردید. فاز مایع با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ 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 پرولین وارد فاز تولوئن گردد. سپس نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه به حال سکون رها شدند و در نهایت میزان جذب نور فاز بالایی نمونه‌ها به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CARY-100 ساخت واریان استرالیا) در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از تولوئن به‌عنوان محلول مرجع تعیین گردید. در رابطه ذیل، عدد ۱۱۵/۵ وزن مولکولی پرولین است. برای تعیین غلظت پرولین نمونه‌ها از محلول‌های استاندارد (پرولین خالص) با غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر استفاده شد (Bates *et al.*, 1973).

$$\text{پرولین برگ (میکروگرم در گرم وزن تر)} = \frac{\text{حجم عصاره(میلی لیتر)} \times \text{(میکروگرم در میلی لیتر)}}{115.5\ \text{(میکروگرم در میکرومول)}} \times \frac{5}{\text{وزن نمونه(گرم)}}$$

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 گردید.

نتایج

نتایج برآمده از سه آزمایش جداگانه در مورد سه نوع گونه آویشن نشان‌دهنده آن است که استفاده از کود کامل NPK، اسید هیومیک و بوتامیسول تحت تنش آب، در میزان اسانس استخراج شده اثر معنی‌داری بوجود آورد. کمترین میزان اسانس (۰/۷۹±۰/۱٪) و بیشترین میزان محتوای پرولین (۱۳/۹±۰/۲ میکروگرم در گرم وزن تر) در آویشن دنایی توسط تیمار $A_2B_2C_2D_1$ (پاشش هر سه تیمار و تنش خشکی شدید) بدست آمد (جدول ۵). در این تحقیق در بیشتر صفات مورفوفیزیولوژیکی (جدول‌های ۵-۳) و ترکیب‌های اسانس (جدول‌های ۸-۶) برتری با کود NPK و به‌ویژه در زمان ترکیب با بوتامیسول و اسید هیومیک بود و در بسیاری از صفات مورد ارزیابی مشاهده گردید که ترکیب این کود با بوتامیسول و اسید هیومیک و نیز بدون بوتامیسول، در بالاترین گروه‌ها قرار دارد. البته، با افزایش عملکرد میزان اسانس هم بیشتر شد. در این تحقیق مشاهده شد که در بیشتر ترکیب‌های مؤثره اسانس، تیمار ترکیبی کود کامل به‌همراه 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 شد 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 ($A_2B_2C_2D_1$) دیده شد. در بیشتر ترکیب‌ها با افزایش دور آبیاری، مقادیر ترکیب‌های بدست آمده از اسانس کاهش یافتند. در مورد شاخص‌های مورفوفیزیولوژیکی تا حدود زیادی برتری با آویشن کوهی بود، به‌طوری که بالاترین مقادیر ارتفاع بوته (۴۴/۵±۱/۱ سانتی‌متر)، تعداد شاخه اصلی (۲۶/۴±۱/۵)، وزن بوته خشک (۴۰/۵±۰/۹۹ گرم در مترمربع) و کلروفیل کل (۱/۵۵±۰/۱ میلی‌گرم در گرم)، توسط تیمار $A_2B_2C_2D_1$ و محتوای نسبی آب برگ (۶۳/۲±۰/۸٪) در تیمار $A_1B_2C_2D_1$ در این گونه بدست آمد. مشاهده شد که صفات مورفوفیزیولوژیکی در آویشن باغی بهتر از آویشن دنایی بود. بیشترین میزان محتوای پرولین (۱۳/۹±۰/۲ میکروگرم در وزن تر) در تیمار $A_2B_2C_2D_3$ در آویشن دنایی بوجود آمد. از نظر درصد اسانس، آویشن کوهی (۱/۸۸±۰/۱٪) نسبت به آویشن باغی (۱/۷۷±۰/۳٪) و آویشن باغی نسبت به آویشن دنایی (۱/۳۷±۰/۳٪) برتری داشت و در هر سه گونه، تیمار $A_2B_2C_2D_1$ بیشترین میزان اسانس را بوجود آورد. کمترین میزان اسانس (۰/۷۹±۰/۱٪) در آویشن دنایی تحت تیمار $A_2B_2C_2D_3$ بدست آمد. ترکیب‌های غالب اسانس در گونه *T. kotschyanus* تیمول و کارواکرول، در گونه *T. vulgaris*، تیمول، گاما-ترپینن، پارا-سیمن و لینالول، در گونه *T. daenensis*، تیمول، کارواکرول، پارا-سیمن، بتا-کاریوفیلن، آلفا-پینن و میرسن بودند. در بررسی مقایسه‌ای اسانس هر سه گونه، بیشترین مقادیر تیمول (۶۶/۸±۱/۵)، کارواکرول (۲۰/۲۲±۱/۱)، آلفا-فلاندرن (۹/۸±۰/۲)، آلفا-ترپینن (۸/۳±۰/۲) و ۸،۱-سینئول (۹/۶±۰/۱) در آویشن کوهی؛ گاما-ترپینن (۱۰/۸۸±۱/۱)، پارا-سیمن (۱۱/۱۱±۱/۲) و لینالول (۵/۱۱±۰/۱) در آویشن باغی؛ بتا-کاریوفیلن (۷/۱۱±۰/۱)، آلفا-پینن (۷/۱۵±۱/۱)، لیمونن (۳/۲±۰/۲)، اوژنول (۲/۹±۰/۲) و میرسن (۶/۹±۰/۲) در آویشن دنایی بدست آمد. برای هر سه گونه کمترین مقادیر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی در اغلب موارد در گیاهان تحت تیمار با هر سه نوع کود و در دور آبیاری هر ۹ روز یک‌بار نیز در تیمار شاهد بدست آمد. ترکیب‌های غالب در گونه‌ها به‌ویژه در آویشن دنایی بیشتر در تیمارهای تحت دور آبیاری ۳ و ۶ روز بوجود آمدند. مواد مؤثره گیاهان تحت تیمار هر سه نوع کود در دور آبیاری ۹ روز یک‌بار در بیشتر موارد در گروه آماری مشابه با گیاهان شاهد ($A_1B_1C_1D_1$) قرار گرفتند. مواد مؤثره کارواکرول، بتا-کاریوفیلن و جرماکرن-دی در آویشن در دور آبیاری ۳ روز یک‌بار، بیشترین مقادیر خود را بدست آوردند که محلول‌پاشی تیمارها منجر به بیشتر شدن این مقادیر گردید. ۱۷ ترکیب شناسایی شده در اسانس هر سه گونه آویشن در جدول‌های ۸-۶ آورده شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و اسانس آویشن کوهی (***Thymus kotschyanus* Boiss**)

Table 3. Means comparison of morphological, physiological, and essential oil traits of *Thymus kotschyanus* Boiss

Traits	$A_1B_2C_2D_3$	$A_1B_2C_2D_2$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_1D_3$	$A_1B_2C_1D_2$	$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_3$	$A_1B_1C_2D_2$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_1D_3$	$A_1B_1C_1D_2$	$A_1B_1C_1D_1$
Plant height (cm)	28.8±1.5^{c}	30.1±1.5^{c}	37.5±1.5^{b}	26.8±1.6^{d}	32.1±1.5^{c}	37.5±1.5^{b}	30.8±2.1^{c}	32.5±1.1^{c}	36.4±1.2^{b}	26.1±1.1^{d}	31.2±1.2^{c}	36.4±1.2^{b}
Number of main branches	15.5±1.4^{c}	18.5±1.2^{bc}	21.8±1.7^{b}	13.5±1.7^{d}	18.5±1.2^{c}	22.8±1.7^{b}	14.8±1.3^{d}	15.2±1.1^{d}	17.4±1.2^{c}	10.3±1.7^{e}	13.1±1.2^{d}	16.2±1.3^{c}
Dry matter(g.m^{-2})	21.4±1.4^{de}	30.3±0.88^{b}	32.5±0.99^{b}	21.4±1.4^{de}	24.3±0.88^{cd}	26.5±0.9^{c}	19.2±1.1^{e}	22.5±2.2^{d}	28.4±2.1^{bc}	19.3±1.6^{e}	21.4±1.5^{d}	27.5±1.3^{c}
Total chlorophyll (mg.l^{-1} FW)	1.17±0.01^{cd}	1.2±0.02^{c}	1.44±0.01^{ab}	1.16±0.01^{d}	1.22±0.02^{c}	1.42±0.01^{ab}	1.04±0.01^{e}	1.11±0.04^{d}	1.33±0.02^{b}	1.01±0.1^{e}	1.11±0.02^{d}	1.44±0.1^{ab}
Essential oil (%)	1.1±0.01^{e}	1.13±0.01^{e}	1.25±0.01^{d}	1.1±0.01^{e}	1.11±0.01^{e}	1.24±0.01^{d}	0.98±0.01^{f}	1.1±0.01^{e}	1.23±0.01^{d}	0.97±0.1^{f}	1.12±0.02^{e}	1.22±0.02^{d}
Proline (µg.g^{-1} FW)	12.88±0.7^{a}	8.66±0.7^{b}	6.55±0.2^{c}	12.35±0.7^{a}	8.55±0.7^{b}	6.33±0.2^{c}	13.11±0.2^{a}	9.17±0.3^{b}	6.16±0.3^{c}	13.16±1.4^{a}	9.15±0.2^{b}	6.15±0.7^{c}
R.W.C (%)	40.5±1.2^{bc}	47.1±1.1^{b}	63.2±1.5^{a}	41.9±3.2^{b}	46.1±1.6^{b}	62.2±1.4^{a}	39.4±1.2^{bc}	47.5±1.7^{b}	61.45±1.4^{a}	38.7±1.2^{c}	44.7±1.2^{b}	60.5±2.7^{a}

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. …

Traits	$A_2B_2C_2D_3$	$A_2B_2C_2D_2$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_1D_3$	$A_2B_2C_1D_2$	$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_3$	$A_2B_1C_2D_2$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_1D_3$	$A_2B_1C_1D_2$	$A_2B_1C_1D_1$
Plant height (cm)	31.8±1.5^{b}	36.1±1.2^{ab}	44.5±1.1^{a}	30.4±1.2^{c}	34.1±1.3^{bc}	41.2±1.6^{a}	31.4±1.5^{c}	32.5±1.1^{c}	40.1±1.3^{a}	30.1±1.5^{c}	32.2±1.6^{c}	39.4±1.5^{b}
Number of main branches	17.5±0.9^{c}	20.5±1.3^{bc}	26.4±1.5^{a}	16.4±0.8^{c}	18.3±1.1^{b}	22.1±0.8^{b}	17.1±0.7^{c}	19.2±1.1^{b}	20.4±1.2^{b}	13.3±1.2^{d}	15.1±1.7^{c}	17.1±1.1^{c}
Dry matter(g.m^{-2})	30.4±0.87^{b}	34.3±1.1^{b}	40.5±0.99^{a}	22.5±1.1^{d}	26.1±1.3^{c}	33.6±1.4^{b}	22.5±1.1^{d}	25.5±1.4^{cd}	32.1±1.3^{b}	25.2±1.2^{cd}	23.4±1.2^{d}	30.5±1.1^{b}
Total chlorophyll (mg.l^{-1} FW)	1.15±0.1^{de}	1.45±0.2^{ab}	1.55±0.1^{a}	1.28±0.02^{c}	1.34±0.03^{b}	1.41±0.05^{ab}	1.29±0.02^{bc}	1.34±0.03^{b}	1.39±0.02^{b}	1.15±0.01^{de}	1.2±0.01^{c}	1.23±0.02^{c}
Essential oil (%)	1.29±0.2^{d}	1.49±0.5^{bc}	1.88±0.1^{a}	1.29±0.2^{cd}	1.45±0.3^{b}	1.65±0.3^{ab}	1.25±0.1^{d}	1.34±0.1^{cd}	1.55±0.2^{b}	1.1±0.2^{e}	1.21±0.1^{d}	1.44±0.3^{c}
Proline (µg.g^{-1} FW)	13.1±0.7^{a}	8.4±0.3^{b}	6.1±0.3^{c}	11.1±0.3^{a}	9.2±0.1^{b}	7.1±0.7^{c}	12.1±0.2 ^{a}	9.9±0.3^{b}	7.8±0.3^{c}	10.8±0.2^{a}	9.1±0.2^{b}	6.1±0.2^{c}
R.W.C (%)	29.7±1.4^{c}	45.1±2.2^{b}	63.2±0.8^{a}	32.5±0.7^{c}	41.5±0.8^{b}	62.9±0.9^{a}	29.3±1.1^{c}	43.4±2.1^{b}	61.9±1.1^{a}	28.5±1.4^{c}	43.6±1.2^{b}	60.1±1.1^{a}

A_1 and A_2: non-use and use of NPK, B_1 and B_2: non-use and use of humic acid, C_1 and C_2: non-use and use of botamisol, and D_1, D_2, and D_3: drought stress at three levels of field capacity, 50%, and 75% of moisture loss.

Numbers in each row that have same word, have same group.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و اسانس آویشن باغی (***Thymus vulgaris* L.**)

Table 4. Means comparison of morphological, physiological, and essential oil traits of *Thymus vulgaris* L.

Traits	$A_1B_2C_2D_3$	$A_1B_2C_2D_2$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_1D_3$	$A_1B_2C_1D_2$	$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_3$	$A_1B_1C_2D_2$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_1D_3$	$A_1B_1C_1D_2$	$A_1B_1C_1D_1$
Plant height (cm)	29.8±1.2^{c}	33.1±1.3^{c}	39.5±1.1^{b}	25.8±1.1^{d}	27.1±1.2^{d}	27.5±1.1^{d}	38.8±1.2^{d}	31.5±1.3^{c}	37.4±1.2^{c}	24.1±1.2^{e}	33.2±1.3^{d}	36.4±1.1^{c}
Number of main branches	13.5±1.5^{cd}	15.5±1.2^{c}	19.5±1.1^{ab}	12.2±1.2^{c}	14.5±1.3^{bc}	18.1±1.1^{b}	11.8±1.2^{d}	13.1±1.5^{c}	17.4±1.1^{b}	11.3±1.4^{d}	13.1±1.2^{cd}	16.2±1.1^{bc}
Dry matter($g.m^{-2}$)	20.4±1.1^{cd}	25.3±1.1^{bc}	33.1±1.6^{ab}	20.4±1.1^{cd}	22.2±1.2^{c}	32.1±1.4^{ab}	18.1±1.1^{cd}	22.1±1.2^{c}	31.4±1.1^{ab}	19.1±1.2^{d}	21.4±1.3^{c}	30.5±1.1^{b}
Total chlorophyll ($mg.l^{-1}$ FW)	1.12±0.1^{d}	1.15±0.3^{d}	1.32±0.2^{b}	1.1±0.1^{d}	1.12±0.2^{d}	1.31±0.1^{b}	1.15±0.1^{cd}	1.18±0.2^{bc}	1.28±0.1^{ab}	1.1±0.02^{d}	1.12±0.1^{d}	1.25±0.1^{c}
Essential oil (%)	1.15±0.1^{f}	1.11±0.04^{f}	1.29±0.1^{e}	1.13±0.1^{f}	1.15±0.1^{f}	1.27±0.3^{e}	1.21±0.2^{ef}	1.12±0.1^{f}	1.26±0.1^{e}	1.1±0.1^{f}	1.14±0.2^{f}	1.25±0.01^{e}
Proline ($\mu g.g^{-1}$ FW)	12.3±0.7^{a}	9.1±0.1^{b}	6.44±0.4^{c}	12.9±0.7^{a}	8.77±0.5^{b}	6.33±0.5^{c}	12.4±0.6^{a}	9.1±0.3^{b}	6.16±0.4^{c}	13.12±0.9^{a}	9.6±0.2^{b}	6.15±0.1^{c}
R.W.C (%)	33.4±1.1^{cd}	44.4±1.1^{bc}	59.2±1.2^{a}	36.6±2.1^{c}	43.4±1.1^{b}	59.1±1.3^{a}	38.1±1.2^{c}	44.6±1.4^{b}	60.3±1.5^{a}	36.6±1.2^{c}	44.5±1.1^{b}	59.6±2.1^{a}

ادامه جدول ۴- ...

Continued Table 4. …

Traits	$A_2B_2C_2D_3$	$A_2B_2C_2D_2$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_1D_3$	$A_2B_2C_1D_2$	$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_3$	$A_2B_1C_2D_2$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_1D_3$	$A_2B_1C_1D_2$	$A_2B_1C_1D_1$
Plant height (cm)	36.6±1.1^{b}	41.1±1.3^{a}	42.1±1.4^{a}	27.1±1.1^{d}	33.3±1.2^{c}	41.2±1.1^{a}	26.4±1.2^{d}	28.8±1.4^{cd}	39.1±1.1^{ab}	23.1±1.1^{e}	28.2±1.3^{d}	39.4±1.2^{ab}
Number of main branches	14.2±1.2^{cd}	15.8±1.1^{c}	25.4±1.2^{a}	16.1±1.1^{bc}	17.7±0.9^{b}	23.3±1.2^{a}	18.1±0.8^{b}	19.2±1.3^{b}	22.1±1.1^{a}	13.3±1.4^{cd}	16.6±1.2^{bc}	17.5±1.1^{b}
Dry matter($g.m^{-2}$)	28.4±1.2^{b}	33.1±1.1^{a}	37.1±1.6^{a}	22.2±1.3^{c}	27.3±1.2^{b}	36.9±1.1^{a}	23.3±1.1^{c}	23.3±1.3^{c}	34.5±1.3^{a}	19.9±1.3^{cd}	21.4±1.7^{cd}	33.5±1.1^{a}
Total chlorophyll ($mg.l^{-1}$ FW)	1.17±0.2^{cd}	1.41±0.2^{ab}	1.49±0.2^{a}	1.18±0.04^{cd}	1.29±0.2^{b}	1.47±0.2^{a}	1.29±0.03^{b}	1.33±0.1^{b}	1.45±0.03^{a}	1.08±0.3^{d}	1.14±0.4^{d}	1.28±0.01^{bc}
Essential oil (%)	1.27±0.2^{e}	1.33±0.2^{de}	1.77±0.3^{a}	1.25±0.08^{e}	1.47±0.4^{c}	1.65±0.07^{ab}	1.28±0.06^{e}	1.31±0.2^{de}	1.59±0.3^{b}	1.12±0.1^{f}	1.14±0.1^{f}	1.33±0.02^{cd}
Proline ($\mu g.g^{-1}$ FW)	13.4±0.4^{a}	8.9±0.5^{b}	6.44±0.3^{c}	11.45±0.3^{ab}	10.1±0.6^{b}	7.45±0.1^{c}	12.1±0.5^{a}	9.6±0.2^{b}	7.78±0.1^{c}	12.1±0.2^{a}	8.9±0.7^{b}	6.29±0.4^{c}
R.W.C (%)	27.7±1.1^{d}	42.1±1.2^{bc}	62.1±1.1^{a}	30.7±0.6^{cd}	39.2±1.1^{c}	62.1±1.4^{a}	28.8±1.1^{d}	42.4±1.5^{bc}	61.1±1.1^{a}	30.1±2.2^{d}	44.9±1.2^{bc}	60.9±1.7^{a}

A_1 and A_2: non-use and use of NPK, B_1 and B_2: non-use and use of humic acid, C_1 and C_2: non-use and use of botamisol, and D_1, D_2, and D_3: drought stress at three levels of field capacity, 50%, and 75% of moisture loss.

Numbers in each row that have same word, have same group.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و اسانس آویشن دنایی (***Thymus daenensis* Celark**)

Table 5. Means comparison of morphological, physiological, and essential oil traits of *Thymus daenensis* Celark

Traits	$A_1B_2C_2D_3$	$A_1B_2C_2D_2$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_1D_3$	$A_1B_2C_1D_2$	$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_3$	$A_1B_1C_2D_2$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_1D_3$	$A_1B_1C_1D_2$	$A_1B_1C_1D_1$
Plant height (cm)	27.8 ± 1.1^{b}	29.1 ± 1.2^{b}	32.5 ± 1.3^{ab}	22.8 ± 1.1^{c}	26.1 ± 1.2^{b}	30.5 ± 1.1^{ab}	25.8 ± 1.2^{b}	28.5 ± 1.4^{b}	30.1 ± 1.1^{ab}	23.1 ± 1.4^{bc}	25.2 ± 1.2^{b}	29.4 ± 1.1^{b}
Number of main branches	13.5 ± 1.2^{c}	14.5 ± 1.1^{bc}	16.2 ± 1.4^{b}	10.5 ± 1.3^{d}	13.5 ± 1.2^{c}	15.8 ± 1.1^{b}	10.8 ± 1.4^{d}	12.2 ± 1.2^{cd}	14.4 ± 1.3^{bc}	10.1 ± 1.4^{d}	11.1 ± 1.1^{d}	14.1 ± 1.2^{bc}
Dry matter($g.m^{-2}$)	20.1 ± 1.2^{bc}	25.3 ± 1.1^{ab}	27.5 ± 1.2^{a}	19.4 ± 1.1^{bc}	22.2 ± 1.2^{b}	24.1 ± 1.1^{b}	18.2 ± 0.9^{c}	20.5 ± 1.2^{bc}	24.4 ± 1.1^{b}	18.3 ± 1.2^{c}	20.4 ± 1.2^{bc}	23.5 ± 1.1^{b}
Total chlorophyll ($mg.l^{-1}$ FW)	1.05 ± 0.2^{d}	1.14 ± 0.3^{c}	1.24 ± 0.2^{b}	1.01 ± 0.3^{d}	1.09 ± 0.1^{d}	1.21 ± 0.1^{bc}	1.08 ± 0.2^{d}	1.11 ± 0.2^{cd}	1.23 ± 0.3^{bc}	1.01 ± 0.1^{d}	1.14 ± 0.2^{c}	1.22 ± 0.3^{bc}
Essential oil (%)	1.02 ± 0.3^{d}	1.09 ± 0.2^{c}	1.17 ± 0.1^{b}	1.03 ± 0.2^{d}	1.14 ± 0.3^{bc}	1.16 ± 0.1^{bc}	0.93 ± 0.09^{de}	1.06 ± 0.3^{c}	1.14 ± 0.3^{bc}	0.88 ± 0.2^{e}	1.08 ± 0.1^{c}	1.11 ± 0.2^{c}
Proline ($\mu g.g^{-1}$ FW)	12.91 ± 0.8^{a}	8.46 ± 0.6^{b}	6.41 ± 0.4^{c}	12.88 ± 0.4^{a}	8.77 ± 0.5^{b}	6.32 ± 0.3^{c}	12.44 ± 0.4^{a}	9.44 ± 0.2^{b}	6.18 ± 0.3^{c}	13.55 ± 0.2^{a}	9.14 ± 0.7^{b}	6.14 ± 0.1^{c}
R.W.C (%)	31.4 ± 3.2^{d}	44.8 ± 1.1^{bc}	62.7 ± 1.3^{a}	35.1 ± 1.2^{c}	44.4 ± 1.4^{bc}	59.56 ± 1.1^{a}	37.7 ± 1.4^{c}	46.66 ± 1.1^{b}	59.55 ± 1.6^{a}	36.8 ± 1.3^{c}	45.1 ± 1.1^{b}	59.9 ± 1.2^{a}

ادامه جدول ۵- ...

Continued Table 5. …

Traits	$A_2B_2C_2D_3$	$A_2B_2C_2D_2$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_1D_3$	$A_2B_2C_1D_2$	$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_3$	$A_2B_1C_2D_2$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_1D_3$	$A_2B_1C_1D_2$	$A_2B_1C_1D_1$
Plant height (cm)	30.8 ± 1.2^{ab}	34.1 ± 1.1^{a}	35.5 ± 1.3^{a}	27.4 ± 1.2^{b}	30.1 ± 1.5^{ab}	33.2 ± 1.1^{a}	25.4 ± 1.3^{b}	26.5 ± 1.1^{b}	30.8 ± 1.2^{ab}	20.1 ± 1.5^{cd}	25.2 ± 1.2^{b}	30.4 ± 1.1^{ab}
Number of main branches	14.5 ± 1.2^{c}	16.5 ± 1.1^{b}	20.1 ± 1.2^{a}	13.4 ± 0.9^{c}	16.3 ± 1.1^{b}	17.1 ± 0.9^{ab}	13.1 ± 0.7^{c}	15.2 ± 1.3^{bc}	16.4 ± 1.1^{b}	11.1 ± 1.3^{d}	13.1 ± 1.2^{c}	15.1 ± 1.1^{bc}
Dry matter($g.m^{-2}$)	26.4 ± 1.1^{ab}	27.3 ± 0.9^{a}	29.5 ± 1.4^{a}	20.2 ± 1.1^{bc}	23.1 ± 1.2^{b}	26.6 ± 1.1^{ab}	20.2 ± 1.2^{bc}	22.5 ± 1.1^{b}	24.1 ± 1.4^{b}	17.2 ± 1.2^{c}	18.4 ± 1.1^{c}	22.5 ± 1.2^{b}
Total chlorophyll ($mg.l^{-1}$ FW)	1.16 ± 0.2^{c}	1.31 ± 0.2^{a}	1.33 ± 0.1^{a}	1.17 ± 0.2^{c}	1.18 ± 0.1^{c}	1.29 ± 0.3^{ab}	1.17 ± 0.3^{c}	1.22 ± 0.2^{bc}	1.25 ± 0.1^{b}	1.06 ± 0.3^{d}	1.14 ± 0.2^{c}	1.21 ± 0.1^{bc}
Essential oil (%)	0.79 ± 0.1^{e}	1.36 ± 0.2^{a}	1.37 ± 0.3^{a}	1.18 ± 0.04^{b}	1.22 ± 0.3^{b}	1.34 ± 0.04^{a}	1.22 ± 0.2^{b}	1.15 ± 0.3^{bc}	1.18 ± 0.2^{bc}	1.11 ± 0.1^{c}	1.12 ± 0.1^{c}	1.15 ± 0.2^{bc}
Proline ($\mu g.g^{-1}$ FW)	13.9 ± 0.2^{a}	8.45 ± 0.9^{b}	6.19 ± 1.1^{c}	11.22 ± 0.4^{a}	9.11 ± 0.4^{b}	7.11 ± 0.9^{c}	12.32 ± 0.3^{a}	10.1 ± 0.4^{b}	8.22 ± 0.4^{c}	11.91 ± 0.3^{a}	9.65 ± 0.3^{b}	6.21 ± 0.2^{c}
R.W.C (%)	28.7 ± 0.9^{d}	42.1 ± 1.1^{c}	63.05 ± 1.2^{a}	29.5 ± 0.2^{d}	39.1 ± 0.5^{c}	63.1 ± 0.5^{a}	28.5 ± 0.9^{d}	41.4 ± 1.1^{c}	60.5 ± 1.2^{a}	29.5 ± 1.1^{d}	40.6 ± 1.1^{c}	58.5 ± 1.2^{a}

A_1 and A_2: non-use and use of NPK, B_1 and B_2: non-use and use of humic acid, C_1 and C_2: non-use and use of botamisol, and D_1, D_2, and D_3: drought stress at three levels of field capacity, 50%, and 75% of moisture loss.

Numbers in each row that have same word, have same group.

جدول ۶- مقایسه میانگین ترکیب‌های غالب اسانس آویشن کوهی (***Thymus kotschyanus* Boiss**)

Table 6. Means comparison of essential oil main compounds in *Thymus kotschyanus* Boiss

Compound	RI	$A_1B_2C_2D_3$	$A_1B_2C_2D_2$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_1D_3$	$A_1B_2C_1D_2$	$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_3$	$A_1B_1C_2D_2$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_1D_3$	$A_1B_1C_1D_2$	$A_1B_1C_1D_1$
***α*-thujene**	931	0.06 ± 0.02^{c}	0.08 ± 0.02^{c}	0.1 ± 0.01^{bc}	0.09 ± 0.02^{bc}	0.08 ± 0.02^{c}	0.1 ± 0.01^{c}	0.08 ± 0.02^{c}	0.09 ± 0.02^{c}	0.1 ± 0.01^{bc}	0.04 ± 0.02^{d}	0.05 ± 0.01^{cd}	0.07 ± 0.02^{c}
***α*-pinene**	939	0.06 ± 0.01^{c}	0.07 ± 0.02^{c}	0.15 ± 0.01^{ab}	0.06 ± 0.01^{c}	0.07 ± 0.02^{c}	0.15 ± 0.01^{ab}	0.05 ± 0.02^{cd}	0.05 ± 0.02^{cd}	0.09 ± 0.01^{bc}	0.01 ± 0.01^{e}	0.01 ± 0.01^{e}	0.03 ± 0.02^{d}
***β*-pinene**	980	0.5 ± 0.01^{c}	0.6 ± 0.02^{c}	0.9 ± 0.01^{b}	0.4 ± 0.01^{cd}	0.5 ± 0.02^{c}	0.8 ± 0.01^{bc}	0.5 ± 0.02^{c}	0.5 ± 0.02^{c}	0.6 ± 0.01^{c}	0.3 ± 0.01^{d}	0.5 ± 0.01^{c}	0.9 ± 0.02^{bc}
myrcene	991	1.2 ± 0.01^{b}	1.3 ± 0.02^{b}	1.5 ± 0.01^{a}	1.3 ± 0.01^{ab}	1.4 ± 0.02^{ab}	1.5 ± 0.01^{ab}	1.5 ± 0.01^{ab}	1.7 ± 0.02^{a}	1.9 ± 0.01^{a}	1.1 ± 0.01^{b}	1.1 ± 0.01^{b}	1.2 ± 0.01^{b}
***α*-phllandrene**	1005	6.4 ± 0.01^{b}	7.2 ± 0.06^{ab}	9.3 ± 0.01^{a}	6.4 ± 0.01^{b}	7.2 ± 0.02^{b}	8.3 ± 0.01^{a}	3.2 ± 0.02^{c}	4.4 ± 0.02^{c}	5.5 ± 0.01^{b}	2.5 ± 0.01^{c}	5.7 ± 0.01^{bc}	8.8 ± 0.02^{a}
***α*-terpinene**	1018	6.4 ± 0.1^{b}	6.6 ± 0.2^{b}	8.5 ± 0.1^{a}	4.3 ± 0.1^{c}	6.4 ± 0.2^{b}	7.5 ± 0.1^{ab}	6.9 ± 0.3^{b}	7.9 ± 0.3^{ab}	8.3 ± 0.2^{a}	2.5 ± 0.1^{cd}	4.8 ± 0.1^{c}	6.8 ± 0.2^{b}
***ρ*-cymene**	1026	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.11 ± 0.03^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.11 ± 0.01^{d}	0.12 ± 0.02^{d}	0.14 ± 0.01^{d}	0.33 ± 0.01^{cd}	0.1 ± 0.01^{d}	0.2 ± 0.01^{d}	0.4 ± 0.01^{c}
limonene	1031	0.6 ± 0.01^{cd}	0.8 ± 0.02^{c}	1.8 ± 0.01^{a}	0.8 ± 0.01^{c}	0.9 ± 0.02^{bc}	1.8 ± 0.01^{a}	0.6 ± 0.02^{c}	0.7 ± 0.02^{c}	1.2 ± 0.01^{b}	0.5 ± 0.01^{d}	0.6 ± 0.01^{cd}	1.2 ± 0.02^{b}
1, 8-cineole	1033	8.8 ± 0.1^{a}	8.9 ± 0.2^{a}	9.6 ± 0.1^{a}	5.8 ± 0.1^{c}	5.9 ± 0.2^{c}	8.6 ± 0.1^{ab}	6.8 ± 0.2^{b}	7.5 ± 0.2^{b}	8.5 ± 0.1^{ab}	4.5 ± 0.1^{cd}	5.3 ± 0.1^{c}	6.6 ± 0.2^{b}
γ-terpinene	1062	0.34 ± 0.01^{d}	0.93 ± 0.01^{bc}	0.88 ± 0.01^{c}	0.33 ± 0.09^{d}	0.94 ± 0.02^{bc}	0.88 ± 0.02^{c}	0.2 ± 0.01^{de}	0.22 ± 0.01^{de}	0.19 ± 0.01^{e}	0.68 ± 0.01^{c}	0.7 ± 0.01^{c}	0.4 ± 0.01^{d}
terpinolene	1088	0.15 ± 0.01^{e}	0.46 ± 0.02^{d}	0.19 ± 0.01^{e}	0.15 ± 0.01^{e}	0.62 ± 0.02^{c}	0.19 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.02^{e}	0.22 ± 0.02^{e}	0.1 ± 0.01^{e}	0.34 ± 0.01^{de}	0.4 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.02^{e}
linalool	1096	0.1 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.02^{e}	0.11 ± 0.02^{e}	0.1 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.02^{e}	0.11 ± 0.02^{e}	0.12 ± 0.02^{e}	0.14 ± 0.02^{e}	0.33 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.01^{e}	0.2 ± 0.01^{de}	0.4 ± 0.01^{cd}
thymol	1290	47.6 ± 1.4^{d}	48.8 ± 1.5^{d}	51.6 ± 2.1^{cd}	43.6 ± 1.1^{e}	46.6 ± 0.1^{d}	47.6 ± 1.1^{d}	44.6 ± 0.2^{e}	45.6 ± 2.1^{d}	46.6 ± 1.2^{d}	42.6 ± 0.1^{e}	43.6 ± 1.1^{e}	45.6 ± 0.1^{de}
carvacrol	1298	15.8 ± 1.2^{b}	16.1 ± 1.1^{b}	18.1 ± 1.4^{ab}	14.1 ± 1.2^{bc}	15.1 ± 1.4^{b}	17.1 ± 1.1^{ab}	13.1 ± 1.2^{c}	14.1 ± 1.1^{bc}	15.1 ± 1.2^{b}	12.1 ± 2.1^{d}	13.1 ± 1.2^{c}	14.1 ± 1.1^{c}
eugenol	1356	0.6 ± 0.01^{d}	0.8 ± 0.2^{c}	1.78 ± 0.1^{a}	0.8 ± 0.1^{c}	0.9 ± 0.2^{c}	1.8 ± 0.3^{a}	0.6 ± 0.2^{d}	0.7 ± 0.2^{cd}	1.2 ± 0.1^{b}	1.5 ± 0.1^{ab}	0.6 ± 0.1^{d}	1.1 ± 0.2^{b}
***β*-caryophyllene**	1418	0.2 ± 0.01^{de}	0.2 ± 0.02^{de}	0.3 ± 0.01^{d}	0.11 ± 0.01^{e}	0.2 ± 0.02^{de}	0.3 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.01^{e}	0.22 ± 0.02^{de}	0.4 ± 0.01^{cd}	0.5 ± 0.02^{c}	0.7 ± 0.1^{bc}	1.14 ± 0.1^{a}
germacrene-D	1480	0.7 ± 0.01^{c}	0.9 ± 0.01^{bc}	1.5 ± 0.01^{ab}	0.6 ± 0.01^{cd}	0.8 ± 0.01^{c}	1.4 ± 0.01^{ab}	0.7 ± 0.01^{c}	0.8 ± 0.02^{c}	1.1 ± 0.01^{b}	0.5 ± 0.02^{d}	0.9 ± 0.02^{bc}	1.5 ± 0.01^{ab}

ادامه جدول ۶- ...

Continued Table 6. …

Compound	RI	$A_2B_2C_2D_3$	$A_2B_2C_2D_2$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_1D_3$	$A_2B_2C_1D_2$	$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_3$	$A_2B_1C_2D_2$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_1D_3$	$A_2B_1C_1D_2$	$A_2B_1C_1D_1$
***α*-thujene**	931	0.11 ± 0.02^{bc}	0.12 ± 0.02^{b}	0.22 ± 0.01^{a}	0.04 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{bc}	0.2 ± 0.01^{a}	0.05 ± 0.02^{cd}	0.05 ± 0.02^{cd}	0.1 ± 0.01^{b}	0.1 ± 0.01^{b}	0.11 ± 0.02^{b}	0.1 ± 0.01^{bc}
***α*-pinene**	939	0.08 ± 0.01^{b}	0.11 ± 0.02^{b}	0.19 ± 0.01^{a}	0.04 ± 0.01^{cd}	0.09 ± 0.01^{bc}	0.17 ± 0.02^{ab}	0.08 ± 0.01^{c}	0.07 ± 0.02^{c}	0.08 ± 0.01^{c}	0.09 ± 0.02^{bc}	0.12 ± 0.01^{b}	0.2 ± 0.02^{a}
***β*-pinene**	980	0.9 ± 0.01^{bc}	1.1 ± 0.02^{b}	2.1 ± 0.01^{a}	0.4 ± 0.01^{cd}	0.5 ± 0.02^{c}	0.8 ± 0.01^{bc}	0.5 ± 0.02^{c}	0.5 ± 0.02^{c}	0.4 ± 0.01^{cd}	0.5 ± 0.01^{c}	0.7 ± 0.01^{c}	1.08 ± 0.02^{b}
myrcene	991	0.2 ± 0.02^{d}	1.3 ± 0.02^{b}	0.5 ± 0.01^{c}	1.3 ± 0.01^{b}	1.4 ± 0.01^{b}	1.55 ± 0.02^{b}	1.5 ± 0.01^{b}	1.7 ± 0.02^{a}	1.9 ± 0.1^{a}	1.1 ± 0.02^{b}	1.3 ± 0.01^{ab}	1.5 ± 0.02^{a}
***α*-phllandrene**	1005	0.4 ± 0.1^{e}	0.2 ± 0.1^{e}	0.3 ± 0.2^{e}	6.4 ± 0.1^{b}	7.2 ± 0.1^{b}	8.3 ± 0.2^{a}	3.2 ± 0.1^{cd}	4.4 ± 0.2^{bc}	5.5 ± 0.1^{b}	6.5 ± 0.2^{b}	8.7 ± 0.1^{a}	9.8 ± 0.2^{a}
***α*-terpinene**	1018	3.4 ± 0.2^{c}	3.6 ± 0.2^{c}	4.7 ± 0.1^{c}	4.4 ± 0.1^{c}	6.6 ± 0.4^{b}	7.7 ± 0.2^{b}	6.9 ± 0.1^{b}	7.9 ± 0.1^{a}	8.3 ± 0.2^{a}	4.5 ± 0.2^{c}	5.85 ± 0.1^{bc}	6.8 ± 0.1^{b}
***ρ*-cymene**	1026	1.1 ± 0.3^{a}	1.1 ± 0.1^{a}	0.11 ± 0.2^{d}	0.1 ± 0.2^{d}	0.1 ± 0.1^{d}	0.11 ± 0.6^{d}	0.12 ± 0.1^{d}	0.14 ± 0.2^{d}	0.33 ± 0.1^{cd}	0.1 ± 0.3^{d}	0.2 ± 0.2^{d}	0.41 ± 0.1^{c}
limonene	1031	1.6 ± 0.01^{a}	0.8 ± 0.02^{c}	0.8 ± 0.02^{c}	0.8 ± 0.01^{c}	0.9 ± 0.01^{bc}	1.81 ± 0.02^{a}	0.6 ± 0.01^{cd}	0.7 ± 0.02^{c}	1.2 ± 0.01^{b}	0.5 ± 0.01^{d}	0.6 ± 0.02^{cd}	1.2 ± 0.02^{b}
1, 8-cineole	1033	5.8 ± 0.3^{c}	4.9 ± 0.1^{c}	3.6 ± 0.3^{d}	5.8 ± 0.1^{c}	6.9 ± 0.1^{b}	7.6 ± 0.2^{b}	4.8 ± 0.1^{c}	7.5 ± 0.2^{b}	8.5 ± 0.1^{ab}	4.5 ± 0.1^{cd}	5.3 ± 0.1^{c}	6.6 ± 0.1^{b}
γ-terpinene	1062	1.34 ± 0.2^{b}	1.93 ± 0.2^{a}	0.88 ± 0.1^{c}	0.33 ± 0.01^{d}	0.94 ± 0.01^{bc}	0.88 ± 0.01^{c}	0.2 ± 0.02^{e}	0.22 ± 0.02^{de}	0.19 ± 0.02^{e}	0.68 ± 0.01^{c}	0.7 ± 0.01^{c}	0.4 ± 0.01^{d}
terpinolene	1088	1.15 ± 0.2^{ab}	1.46 ± 0.1^{a}	0.19 ± 0.01^{e}	0.15 ± 0.04^{e}	0.65 ± 0.02^{c}	0.19 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.02^{e}	0.22 ± 0.04^{e}	0.1 ± 0.01^{e}	0.34 ± 0.01^{d}	0.4 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.01^{e}
linalool	1096	1.2 ± 0.1^{a}	1.1 ± 0.1^{a}	0.11 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.02^{e}	0.11 ± 0.02^{e}	0.12 ± 0.01^{e}	0.14 ± 0.01^{e}	0.33 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.01^{e}	0.2 ± 0.01^{de}	0.4 ± 0.01^{cd}
thymol	1290	46.6 ± 1.9^{d}	55.8 ± 0.8^{b}	66.8 ± 1.5^{a}	59.8 ± 1.6^{ab}	62.8 ± 0.6^{a}	61.8 ± 0.7^{a}	56.8 ± 1.7^{b}	58.8 ± 1.9^{ab}	59.8 ± 1.8^{ab}	55.8 ± 1.8^{bc}	57.8 ± 0.9^{b}	58.8 ± 2.4^{b}
carvacrol	1298	15.1 ± 1.1^{bc}	18.11 ± 1.2^{ab}	20.22 ± 1.1^{a}	18.11 ± 0.8^{a}	19.12 ± 0.6^{a}	20.11 ± 0.5^{a}	17.11 ± 1.7^{ab}	19.11 ± 0.8^{a}	19.11 ± 0.8^{a}	16.11 ± 0.7^{b}	17.11 ± 0.6^{b}	18.11 ± 1.2^{ab}
eugenol	1356	1.6 ± 0.1^{a}	1.8 ± 0.2^{a}	0.8 ± 0.1^{cd}	0.8 ± 0.1^{cd}	0.9 ± 0.02^{c}	1.83 ± 0.01^{a}	0.6 ± 0.02^{d}	0.7 ± 0.02^{cd}	1.2 ± 0.1^{b}	1.5 ± 0.1^{ab}	0.6 ± 0.01^{d}	1.2 ± 0.02^{b}
***β*-caryophyllene**	1418	0.6 ± 0.01^{bc}	0.9 ± 0.02^{ab}	1.1 ± 0.01^{a}	0.4 ± 0.01^{c}	0.5 ± 0.02^{c}	0.9 ± 0.01^{ab}	0.32 ± 0.02^{d}	0.44 ± 0.02^{cd}	0.56 ± 0.01^{c}	0.3 ± 0.01^{d}	0.6 ± 0.01^{bc}	0.8 ± 0.02^{b}
germacrene-D	1480	1.4 ± 0.1^{ab}	1.6 ± 0.2^{a}	1.9 ± 0.1^{a}	0.7 ± 0.01^{c}	0.8 ± 0.02^{c}	1.5 ± 0.1^{ab}	0.7 ± 0.02^{c}	0.8 ± 0.02^{c}	1.1 ± 0.01^{b}	0.6 ± 0.01^{cd}	0.9 ± 0.01^{bc}	1.6 ± 0.02^{a}

RI: Retention Index- A_1 and A_2: non-use and use of NPK, B_1 and B_2: non-use and use of humic acid, C_1 and C_2: non-use and use of botamisol, and D_1, D_2, and D_3: drought stress at three levels of field capacity, 50%, and 75% of moisture loss.

Numbers in each row that have same word, have same group.

جدول ۷- مقایسه میانگین ترکیب‌های غالب اسانس آویشن باغی (***Thymus vulgaris* L.**)

Table 7. Means comparison of essential oil main compounds in *Thymus vulgaris* L.

Compound	RI	$A_1B_2C_2D_3$	$A_1B_2C_2D_2$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_1D_3$	$A_1B_2C_1D_2$	$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_3$	$A_1B_1C_2D_2$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_1D_3$	$A_1B_1C_1D_2$	$A_1B_1C_1D_1$
***α*-thujene**	931	0.1 ± 0.02^{c}	0.1 ± 0.02^{c}	0.3 ± 0.01^{b}	0.1 ± 0.01^{c}	0.1 ± 0.04^{c}	0.2 ± 0.02^{bc}	0.1 ± 0.04^{c}	0.1 ± 0.01^{c}	0.2 ± 0.01^{bc}	0.1 ± 0.01^{c}	0.11 ± 0.01^{c}	0.1 ± 0.02^{c}
***α*-pinene**	939	0.1 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.2 ± 0.01^{cd}	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.2 ± 0.02^{cd}	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.01^{d}	0.22 ± 0.02^{c}
***β*-pinene**	980	0.6 ± 0.01^{c}	0.7 ± 0.02^{bc}	1.11 ± 0.1^{a}	0.5 ± 0.02^{cd}	0.71 ± 0.03^{bc}	0.9 ± 0.01^{ab}	0.55 ± 0.02^{c}	0.7 ± 0.02^{bc}	0.3 ± 0.02^{d}	0.4 ± 0.03^{d}	0.7 ± 0.02^{bc}	1.1 ± 0.01^{a}
myrcene	991	1.2 ± 0.1^{d}	1.3 ± 0.2^{cd}	1.5 ± 0.1^{bc}	1.3 ± 0.2^{cd}	1.4 ± 0.2^{c}	1.5 ± 0.3^{bc}	1.1 ± 0.3^{d}	1.7 ± 0.3^{ab}	1.9 ± 0.2^{a}	1.1 ± 0.1^{d}	1.1 ± 0.4^{d}	1.2 ± 0.3^{d}
***α*-phllandrene**	1005	1.4 ± 0.2^{d}	1.2 ± 0.2^{d}	1.3 ± 0.1^{d}	1.4 ± 0.1^{d}	1.2 ± 0.2^{d}	1.3 ± 0.2^{d}	1.2 ± 0.3^{d}	1.4 ± 0.3^{d}	1.5 ± 0.4^{d}	1.5 ± 0.3^{d}	1.7 ± 0.2^{d}	1.8 ± 0.2^{d}
***α*-terpinene**	1018	1.4 ± 0.3^{d}	1.6 ± 0.3^{cd}	1.7 ± 0.3^{cd}	1.4 ± 0.3^{d}	1.6 ± 0.3^{d}	1.7 ± 0.3^{cd}	1.9 ± 0.3^{c}	1.9 ± 0.3^{c}	1.3 ± 0.3^{d}	1.5 ± 0.3^{d}	1.8 ± 0.3^{cd}	1.8 ± 0.3^{cd}
***ρ*-cymene**	1026	7.1 ± 0.1^{cd}	8.1 ± 0.1^{bc}	9.11 ± 0.2^{b}	7.1 ± 0.2^{d}	8.1 ± 0.1^{c}	9.12 ± 0.1^{b}	7.12 ± 0.2^{c}	7.14 ± 0.1^{d}	8.3 ± 0.1^{b}	6.1 ± 0.3^{e}	7.1 ± 0.2^{d}	8.11 ± 0.1^{c}
limonene	1031	0.6 ± 0.01^{d}	0.8 ± 0.01^{c}	1.8 ± 0.01^{a}	0.8 ± 0.02^{c}	0.9 ± 0.01^{b}	1.8 ± 0.02^{a}	0.6 ± 0.01^{d}	0.7 ± 0.02^{cd}	1.2 ± 0.02^{b}	0.6 ± 0.01^{d}	0.8 ± 0.02^{c}	0.8 ± 0.01^{c}
1, 8-cineole	1033	1.8 ± 0.7^{c}	1.9 ± 0.6^{c}	1.6 ± 0.4^{cd}	1.8 ± 0.1^{c}	1.9 ± 0.3^{c}	0.6 ± 0.4^{e}	0.8 ± 0.1^{d}	1.5 ± 0.2^{d}	1.5 ± 0.1^{d}	1.8 ± 0.4^{c}	1.9 ± 0.3^{c}	1.6 ± 0.2^{cd}
γ-terpinene	1062	6.34 ± 0.1^{cd}	9.93 ± 0.2^{ab}	9.88 ± 0.1^{ab}	6.33 ± 0.2^{c}	7.94 ± 0.2^{b}	8.88 ± 0.2^{b}	5.19 ± 0.2^{d}	6.22 ± 0.3^{d}	7.19 ± 0.1^{c}	5.34 ± 0.1^{d}	6.93 ± 0.2^{c}	7.88 ± 0.1^{b}
terpinolene	1088	0.15 ± 0.01^{de}	0.46 ± 0.01^{c}	0.19 ± 0.01^{d}	0.15 ± 0.02^{de}	0.65 ± 0.01^{b}	0.19 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{e}	0.2 ± 0.02^{d}	0.11 ± 0.02^{e}	0.15 ± 0.01^{de}	0.46 ± 0.01^{c}	0.19 ± 0.02^{de}
linalool	1096	1.1 ± 0.01^{d}	2.1 ± 0.02^{cd}	3.11 ± 0.01^{bc}	1.1 ± 0.01^{d}	1.1 ± 0.02^{d}	2.11 ± 0.01^{cd}	1.12 ± 0.02^{d}	1.14 ± 0.02^{d}	2.33 ± 0.01^{c}	1.1 ± 0.01^{d}	1.1 ± 0.01^{d}	2.11 ± 0.02^{cd}
thymol	1290	46.6 ± 2.1^{d}	51.8 ± 2.2^{c}	52.8 ± 2.1^{c}	46.8 ± 1.4^{d}	50.9 ± 1.3^{cd}	52.8 ± 1.2^{c}	47.6 ± 1.3^{d}	48.7 ± 1.2^{d}	50.2 ± 1.1^{cd}	39.6 ± 0.8^{ef}	46.8 ± 0.9^{d}	49.8 ± 0.8^{cd}
carvacrol	1298	0.1 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.11 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.14 ± 0.01^{d}	0.12 ± 0.02^{d}	0.14 ± 0.02^{d}	0.33 ± 0.01^{b}	0.1 ± 0.01^{d}	0.22 ± 0.01^{c}	0.44 ± 0.02^{a}
eugenol	1356	0.6 ± 0.01^{d}	0.8 ± 0.01^{cd}	1.8 ± 0.02^{a}	0.8 ± 0.01^{cd}	0.9 ± 0.02^{c}	1.8 ± 0.01^{a}	0.6 ± 0.02^{d}	0.7 ± 0.02^{d}	1.2 ± 0.01^{b}	0.5 ± 0.01^{de}	0.6 ± 0.01^{d}	1.2 ± 0.02^{b}
***β*-caryophyllene**	1418	0.1 ± 0.01^{f}	0.1 ± 0.02^{f}	0.11 ± 0.01^{f}	0.1 ± 0.01^{f}	0.1 ± 0.02^{f}	0.11 ± 0.01^{f}	0.12 ± 0.02^{f}	0.14 ± 0.02^{f}	0.33 ± 0.01^{e}	0.1 ± 0.01^{f}	0.2 ± 0.01^{ef}	0.4 ± 0.02^{de}
germacrene-D	1480	0.6 ± 0.1^{d}	0.8 ± 0.2^{d}	1.8 ± 0.1^{a}	0.8 ± 0.1^{d}	0.9 ± 0.2^{cd}	1.78 ± 0.1^{a}	0.6 ± 0.2^{d}	0.7 ± 0.2^{d}	1.2 ± 0.1^{bc}	1.5 ± 0.1^{ab}	0.6 ± 0.1^{d}	1.2 ± 0.2^{bc}

ادامه جدول – ...۷

Continued Table 7. …

Compound	RI	$A_2B_2C_2D_3$	$A_2B_2C_2D_2$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_1D_3$	$A_2B_2C_1D_2$	$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_3$	$A_2B_1C_2D_2$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_1D_3$	$A_2B_1C_1D_2$	$A_2B_1C_1D_1$
***α*-thujene**	931	0.2 ± 0.02^{bc}	0.2 ± 0.02^{bc}	0.6 ± 0.01^{a}	0.1 ± 0.01^{c}	0.1 ± 0.02^{c}	0.5 ± 0.01^{a}	0.1 ± 0.02^{c}	0.1 ± 0.04^{c}	0.4 ± 0.03^{ab}	0.1 ± 0.01^{c}	0.1 ± 0.01^{c}	0.2 ± 0.01^{bc}
***α*-pinene**	939	0.22 ± 0.01^{c}	0.2 ± 0.02^{cd}	0.41 ± 0.01^{ab}	0.11 ± 0.02^{d}	0.3 ± 0.01^{bc}	0.34 ± 0.02^{b}	0.1 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.01^{d}	0.2 ± 0.01^{cd}	0.2 ± 0.02^{cd}	0.52 ± 0.02^{a}	0.5 ± 0.02^{a}
***β*-pinene**	980	0.5 ± 0.01^{cd}	0.6 ± 0.02^{c}	0.9 ± 0.01^{ab}	0.4 ± 0.02^{d}	0.5 ± 0.01^{cd}	0.8 ± 0.02^{b}	0.5 ± 0.01^{cd}	0.5 ± 0.02^{cd}	0.6 ± 0.01^{c}	0.3 ± 0.04^{d}	0.5 ± 0.02^{cd}	0.9 ± 0.03^{ab}
myrcene	991	1.2 ± 0.1^{d}	1.3 ± 0.2^{cd}	1.5 ± 0.1^{bc}	1.3 ± 0.2^{cd}	1.4 ± 0.1^{c}	1.5 ± 0.2^{bc}	1.5 ± 0.3^{bc}	1.7 ± 0.1^{ab}	1.9 ± 0.2^{a}	1.1 ± 0.3^{d}	1.1 ± 0.1^{d}	1.2 ± 0.2^{d}
***α*-phllandrene**	1005	2.4 ± 0.2^{cd}	3.2 ± 0.3^{bc}	5.3 ± 0.2^{a}	2.4 ± 0.1^{c}	3.2 ± 0.2^{bc}	4.3 ± 0.2^{ab}	2.2 ± 0.1^{cd}	2.4 ± 0.1^{c}	3.5 ± 0.2^{b}	1.5 ± 0.3^{d}	1.7 ± 0.2^{d}	1.8 ± 0.1^{d}
***α*-terpinene**	1018	2.4 ± 0.3^{c}	3.6 ± 0.1^{ab}	4.7 ± 0.2^{a}	2.4 ± 0.3^{c}	3.6 ± 0.1^{ab}	3.7 ± 0.6^{ab}	1.9 ± 0.5^{c}	2.9 ± 0.2^{b}	3.3 ± 0.4^{b}	1.5 ± 0.5^{d}	1.8 ± 0.2^{c}	1.8 ± 0.1^{c}
***ρ*-cymene**	1026	9.1 ± 1.1^{b}	10.1 ± 1.1^{a}	11.11 ± 1.2^{a}	8.12 ± 0.1^{c}	9.1 ± 0.2^{b}	10.11 ± 0.2^{a}	6.11 ± 0.1^{de}	8.14 ± 0.1^{c}	9.33 ± 0.2^{b}	7.13 ± 0.2^{d}	8.14 ± 0.1^{bc}	9.11 ± 0.2^{b}
limonene	1031	0.6 ± 0.02^{d}	0.8 ± 0.03^{c}	1.8 ± 0.01^{a}	0.8 ± 0.03^{c}	0.9 ± 0.03^{bc}	1.82 ± 0.02^{a}	0.6 ± 0.01^{d}	0.7 ± 0.02^{cd}	1.2 ± 0.02^{b}	0.6 ± 0.01^{d}	0.8 ± 0.02^{c}	1.8 ± 0.01^{a}
1, 8-cineole	1033	2.8 ± 0.3^{b}	3.9 ± 0.4^{a}	4.6 ± 0.1^{a}	1.8 ± 0.2^{c}	2.9 ± 0.1^{b}	3.6 ± 0.6^{ab}	1.8 ± 0.2^{c}	1.5 ± 0.3^{d}	2.5 ± 0.3^{c}	1.8 ± 0.4^{c}	1.9 ± 0.2^{c}	1.6 ± 0.1^{cd}
γ-terpinene	1062	7.34 ± 0.1^{bc}	8.93 ± 0.2^{b}	10.88 ± 1.1^{a}	8.33 ± 0.1^{b}	8.94 ± 0.2^{b}	9.88 ± 0.1^{a}	7.2 ± 0.2^{bc}	8.22 ± 0.2^{b}	9.19 ± 0.2^{b}	6.34 ± 0.2^{cd}	6.93 ± 0.1^{c}	9.5 ± 0.1^{ab}
terpinolene	1088	0.15 ± 0.02^{de}	0.46 ± 0.03^{c}	0.19 ± 0.01^{d}	0.15 ± 0.03^{de}	0.66 ± 0.03^{b}	0.99 ± 0.02^{a}	0.1 ± 0.01^{e}	0.22 ± 0.02^{d}	0.1 ± 0.02^{e}	0.15 ± 0.02^{de}	0.46 ± 0.02^{c}	0.19 ± 0.01^{d}
linalool	1096	4.1 ± 0.1^{ab}	4.1 ± 0.2^{ab}	5.11 ± 0.1^{a}	2.1 ± 0.1^{cd}	3.1 ± 0.2^{bc}	4.11 ± 0.1^{ab}	3.12 ± 0.2^{bc}	3.14 ± 0.2^{bc}	4.33 ± 0.1^{a}	2.1 ± 0.1^{cd}	3.1 ± 0.1^{bc}	4.11 ± 0.2^{ab}
thymol	1290	58.6 ± 2.1^{b}	62.8 ± 2.2^{a}	65.8 ± 1.1^{a}	53.8 ± 2.1^{c}	61.9 ± 2.2^{a}	64.8 ± 2.1^{a}	54.6 ± 1.2^{bc}	60.7 ± 2.2^{ab}	62.2 ± 1.1^{a}	51.6 ± 1.1^{c}	59.8 ± 2.1^{ab}	61.8 ± 1.2^{ab}
carvacrol	1298	0.1 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.11 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.01^{d}	0.1 ± 0.02^{d}	0.11 ± 0.01^{d}	0.12 ± 0.02^{d}	0.14 ± 0.02^{d}	0.33 ± 0.01^{bc}	0.1 ± 0.01^{d}	0.2 ± 0.01^{cd}	0.4 ± 0.02^{ab}
eugenol	1356	1.6 ± 0.01^{ab}	1.7 ± 0.02^{a}	1.9 ± 0.01^{a}	0.83 ± 0.01^{cd}	0.8 ± 0.02^{cd}	1.5 ± 0.01^{ab}	0.7 ± 0.02^{d}	0.9 ± 0.02^{c}	1.1 ± 0.01^{b}	0.4 ± 0.01^{e}	0.7 ± 0.01^{d}	1.1 ± 0.02^{b}
***β*-caryophyllene**	1418	0.4 ± 0.01^{de}	0.5 ± 0.02^{d}	0.7 ± 0.01^{cd}	0.3 ± 0.01^{e}	0.4 ± 0.02^{de}	0.5 ± 0.01^{d}	0.6 ± 0.02^{d}	0.8 ± 0.02^{c}	1.1 ± 0.01^{b}	1.1 ± 0.01^{b}	1.2 ± 0.01^{ab}	1.4 ± 0.02^{a}
germacrene-D	1480	0.7 ± 0.1^{d}	0.9 ± 0.2^{cd}	1.5 ± 0.1^{ab}	0.6 ± 0.1^{d}	0.8 ± 0.2^{d}	1.6 ± 0.1^{a}	0.8 ± 0.2^{d}	0.9 ± 0.2^{cd}	1.5 ± 0.1^{ab}	1.1 ± 0.1^{c}	0.9 ± 0.1^{cd}	1.7 ± 0.2^{a}

RI: Retention Index- A_1 and A_2: non-use and use of NPK, B_1 and B_2: non-use and use of humic acid, C_1 and C_2: non-use and use of botamisol, and D_1, D_2, and D_3: drought stress at three levels of field capacity, 50%, and 75% of moisture loss.

Numbers in each row that have same word, have same group.

جدول ۸- مقایسه میانگین ترکیب‌های غالب اسانس آویشن دنایی (***Thymus daenensis*** **Celark**)

Table 8. Means comparison of essential oil main compounds in *Thymus daenensis* Celark

Compound	RI	$A_1B_2C_2D_3$	$A_1B_2C_2D_2$	$A_1B_2C_2D_1$	$A_1B_2C_1D_3$	$A_1B_2C_1D_2$	$A_1B_2C_1D_1$	$A_1B_1C_2D_3$	$A_1B_1C_2D_2$	$A_1B_1C_2D_1$	$A_1B_1C_1D_3$	$A_1B_1C_1D_2$	$A_1B_1C_1D_1$
***α*-thujene**	931	0.4±0.01^{e}	0.5±0.02^{e}	0.5±0.01^{e}	1.2±0.01^{b}	1.3±0.04^{b}	1.3±0.02^{b}	1.3±0.04^{b}	1.3±0.01^{b}	1.2±0.02^{b}	1.2±0.01^{b}	1.1±0.01^{bc}	1.2±0.02^{b}
***α*-pinene**	939	4.06±0.1^{cd}	6.07±1.2^{a}	7.15±1.1^{a}	5.06±0.02^{bc}	6.07±0.2^{ab}	6.15±0.02^{a}	3.05±0.2^{d}	6.05±0.2^{ab}	6.09±0.01^{ab}	4.01±0.01^{cd}	4.01±0.1^{cd}	5.03±0.02^{bc}
***β*-pinene**	980	1.5±0.1^{ab}	1.6±0.2^{a}	1.92±0.1^{a}	1.4±0.2^{b}	1.5±0.02^{ab}	1.8±0.02^{a}	1.5±0.2^{ab}	1.5±0.2^{ab}	1.6±0.2^{ab}	1.3±0.2^{b}	1.5±0.1^{ab}	1.9±0.2^{a}
myrcene	991	3.2±0.1^{c}	4.3±0.2^{c}	5.5±0.3^{ab}	4.3±0.2^{b}	3.4±0.2^{c}	4.5±0.3^{bc}	3.1±0.3^{c}	3.7±0.3^{c}	4.9±0.1^{b}	2.1±0.1^{d}	3.1±0.4^{c}	3.2±0.3^{c}
***α*-phllandrene**	1005	1.4±0.1^{c}	1.2±0.2^{d}	1.8±0.4^{bc}	1.4±0.1^{c}	1.2±0.3^{d}	1.5±0.5^{c}	1.2±0.1^{d}	1.4±0.3^{cd}	1.3±0.4^{cd}	1.5±0.5^{c}	1.7±0.1^{c}	1.1±0.2^{d}
***α*-terpinene**	1018	2.4±0.3^{b}	1.8±0.6^{c}	2.3±0.5^{b}	1.4±0.2^{d}	1.6±0.2^{c}	1.7±0.2^{c}	1.9±0.3^{c}	1.5±0.4^{cd}	2.2±0.2^{c}	1.1±0.2^{d}	1.5±0.2^{cd}	2.2±0.1^{bc}
***ρ*-cymene**	1026	4.1±0.1^{b}	4.1±0.1^{b}	5.11±0.2^{a}	3.16±0.2^{b}	4.17±0.2^{ab}	5.11±0.4^{a}	3.12±0.2^{bc}	3.14±0.1^{b}	4.33±0.4^{a}	2.1±0.1^{c}	3.1±0.1^{bc}	4.11±0.4^{ab}
limonene	1031	1.6±0.1^{e}	1.8±0.1^{d}	2.8±0.2^{ab}	1.8±0.2^{de}	1.9±0.2^{d}	2.8±0.1^{ab}	1.6±0.2^{e}	1.7±0.1^{de}	2.2±0.1^{c}	1.6±0.1^{e}	1.8±0.1^{d}	1.8±0.01^{d}
1, 8-cineole	1033	1.8±0.1^{c}	1.9±0.2^{c}	2.6±0.2^{bc}	2.8±0.1^{b}	2.9±0.2^{b}	2.6±0.1^{bc}	2.8±0.2^{b}	3.3±0.3^{b}	3.5±0.3^{ab}	1.8±0.3^{c}	1.6±0.2^{c}	2.6±0.2^{bc}
γ-terpinene	1062	3.34±0.4^{bc}	3.93±0.3 ab	4.88±0.4^{a}	2.33±0.3 ^{c}	2.94±0.04^{bc}	3.88±0.3^{ab}	1.2±0.5^{d}	1.22±0.3^{d}	2.19±0.1^{c}	1.34±0.1^{d}	1.93±0.1^{cd}	2.88±0.1^{c}
terpinolene	1088	1.15±0.4^{de}	1.46±0.2^{c}	1.65±0.1^{bc}	1.15±0.2^{de}	1.21±0.1^{de}	1.02±0.2^{e}	1.1±0.2^{e}	1.22±0.2^{de}	1.1±0.3^{e}	1.15±0.3^{e}	1.46±0.3^{c}	1.19±0.1^{de}
linalool	1096	1.1±0.1^{d}	2.1±0.2^{c}	3.11±0.1^{b}	1.1±0.1^{d}	1.1±0.2^{d}	2.11±0.1^{c}	1.12±0.2^{d}	1.14±0.2^{cd}	2.33±0.1^{bc}	1.1±0.1^{d}	1.1±0.1^{d}	2.11±0.2^{c}
thymol	1290	39.6±1.1^{c}	43.8±3.2^{bc}	46.8±2.1^{b}	36.8±3.1^{cd}	42.9±1.2^{bc}	46.8±2.1^{b}	39.6±1.2^{c}	41.7±1.2^{c}	42.2±4.1^{bc}	33.6±2.1^{d}	36.8±3.1^{cd}	41.8±2.2^{c}
carvacrol	1298	1.1±0.01^{d}	1.11±0.2^{d}	1.15±0.1^{d}	1.1±0.1^{d}	1.1±0.2^{d}	1.14±0.1^{d}	1.12±0.2^{d}	1.14±0.2^{d}	1.33±0.1^{d}	1.1±0.1^{d}	1.2±0.1^{d}	1.4±0.2^{d}
eugenol	1356	2.6±0.3^{ab}	2.8±0.2^{a}	2.8±0.01^{a}	1.8±0.1^{b}	2.9±0.2^{a}	2.8±0.1^{a}	2.6±0.2^{ab}	2.7±0.02^{a}	2.2±0.1^{b}	1.5±0.1^{cd}	1.6±0.1^{cd}	2.2±0.2^{b}
***β*-caryophyllene**	1418	4.1±0.1^{cd}	5.1±0.2^{bc}	5.11±0.1^{bc}	4.1±0.1^{cd}	5.1±0.2^{bc}	5.15±0.1^{bc}	3.12±0.2^{de}	3.14±0.2^{de}	4.33±0.3^{cd}	2.1±0.1^{e}	3.2±0.1^{d}	3.4±0.2^{d}
germacrene-D	1480	0.6±0.1^{de}	1.8±0.2^{ab}	1.85±0.1^{ab}	1.8±0.1^{ab}	1.9±0.2^{ab}	1.8±0.1^{ab}	1.6±0.2^{b}	1.7±0.2^{ab}	1.2±0.1^{c}	1.5±0.1^{b}	1.6±0.1^{b}	1.2±0.2^{c}

ادامه جدول ۸- ...

Continued Table 8. …

Compound	RI	$A_2B_2C_2D_3$	$A_2B_2C_2D_2$	$A_2B_2C_2D_1$	$A_2B_2C_1D_3$	$A_2B_2C_1D_2$	$A_2B_2C_1D_1$	$A_2B_1C_2D_3$	$A_2B_1C_2D_2$	$A_2B_1C_2D_1$	$A_2B_1C_1D_3$	$A_2B_1C_1D_2$	$A_2B_1C_1D_1$
***α*-thujene**	931	0.5 ± 0.2^{e}	1.5 ± 0.2^{a}	1.1 ± 0.1^{bc}	0.6 ± 0.1^{de}	0.6 ± 0.2^{de}	1.61 ± 0.3^{a}	0.7 ± 0.2^{d}	0.7 ± 0.04^{d}	1.6 ± 0.3^{a}	0.5 ± 0.01^{e}	1.5 ± 0.1^{a}	1.4 ± 0.01^{ab}
***α*-pinene**	939	4.06 ± 0.1^{cd}	5.07 ± 0.2^{bc}	5.15 ± 0.1^{b}	4.06 ± 0.2^{cd}	4.07 ± 0.1^{cd}	5.15 ± 0.2^{b}	4.05 ± 0.1^{cd}	5.05 ± 0.1^{bc}	6.09 ± 0.1^{ab}	3.01 ± 0.2^{d}	5.01 ± 0.2^{bc}	6.03 ± 0.2^{ab}
***β*-pinene**	980	0.5 ± 0.1^{d}	0.6 ± 0.2^{d}	0.9 ± 0.1^{c}	1.4 ± 0.2^{b}	1.5 ± 0.3^{ab}	1.8 ± 0.2^{a}	1.5 ± 0.3^{ab}	1.5 ± 0.2^{ab}	1.6 ± 0.1^{a}	1.3 ± 0.4^{b}	1.5 ± 0.2^{ab}	1.9 ± 0.3^{a}
myrcene	991	3.2 ± 0.1^{c}	3.3 ± 0.2^{c}	3.5 ± 0.1^{c}	3.3 ± 0.2^{c}	4.4 ± 0.1^{b}	5.5 ± 0.2^{ab}	5.5 ± 0.3^{ab}	5.7 ± 0.4^{ab}	6.9 ± 0.2^{a}	4.1 ± 0.3^{c}	4.1 ± 0.1^{c}	5.2 ± 0.2^{b}
***α*-phllandrene**	1005	2.4 ± 0.2^{b}	1.2 ± 0.3^{d}	2.5 ± 0.2^{b}	1.4 ± 0.1^{c}	2.2 ± 0.2^{b}	2.7 ± 0.2^{ab}	2.2 ± 0.1^{b}	2.4 ± 0.1^{b}	3.4 ± 0.2^{a}	1.5 ± 0.3^{c}	1.7 ± 0.2^{bc}	2.2 ± 0.1^{b}
***α*-terpinene**	1018	1.2 ± 0.3^{d}	2.6 ± 0.1^{b}	2.5 ± 0.2^{b}	2.4 ± 0.3^{b}	3.3 ± 0.1^{a}	3.5 ± 0.6^{a}	1.9 ± 0.5^{c}	2.7 ± 0.2^{b}	2.9 ± 0.4^{ab}	1.5 ± 0.5^{cd}	1.8 ± 0.2^{c}	2.2 ± 0.1^{bc}
***ρ*-cymene**	1026	4.1 ± 0.1^{b}	4.1 ± 0.1^{b}	4.11 ± 0.02^{b}	4.12 ± 0.1^{b}	4.1 ± 0.2^{b}	5.14 ± 0.2^{a}	3.11 ± 0.1^{bc}	3.14 ± 0.1^{bc}	4.33 ± 0.4^{ab}	4.13 ± 0.2^{b}	4.14 ± 0.4^{ab}	5.11 ± 0.4^{a}
limonene	1031	1.6 ± 0.2^{de}	1.8 ± 0.3^{d}	1.8 ± 0.1^{d}	1.8 ± 0.3^{d}	1.9 ± 0.3^{d}	1.82 ± 0.02^{d}	1.6 ± 0.1^{e}	2.7 ± 0.2^{b}	3.2 ± 0.2^{a}	1.6 ± 0.1^{e}	1.8 ± 0.2^{de}	2.8 ± 0.1^{ab}
1, 8-cineole	1033	1.8 ± 0.3^{c}	1.9 ± 0.4^{c}	2.6 ± 0.1^{bc}	2.8 ± 0.2^{b}	3.9 ± 0.1^{a}	4.6 ± 0.6^{a}	2.8 ± 0.2^{b}	3.5 ± 0.3^{ab}	3.5 ± 0.3^{ab}	2.8 ± 0.4^{b}	2.9 ± 0.2^{b}	3.6 ± 0.1^{ab}
γ-terpinene	1062	1.34 ± 0.1^{d}	1.9 ± 0.2^{cd}	3.88 ± 0.1^{ab}	1.33 ± 0.1^{d}	1.94 ± 0.2^{cd}	3.88 ± 0.1^{ab}	1.2 ± 0.2^{d}	1.22 ± 0.2^{d}	4.19 ± 0.2^{a}	2.34 ± 0.2^{c}	2.93 ± 0.1^{bc}	4.5 ± 0.1^{a}
terpinolene	1088	1.15 ± 0.2^{de}	1.46 ± 0.3^{c}	1.19 ± 0.01^{de}	1.15 ± 0.3^{de}	1.66 ± 0.3^{b}	1.19 ± 0.2^{de}	1.1 ± 0.1^{e}	1.22 ± 0.2^{de}	1.1 ± 0.2^{e}	1.15 ± 0.2^{de}	1.46 ± 0.02^{c}	1.19 ± 0.1^{de}
linalool	1096	2.1 ± 0.1^{c}	3.1 ± 0.2^{b}	4.11 ± 0.1^{a}	2.11 ± 0.1^{c}	3.1 ± 0.2^{b}	4.11 ± 0.1^{a}	3.12 ± 0.2^{b}	3.14 ± 0.2^{b}	4.33 ± 0.3^{a}	2.1 ± 0.1^{c}	3.1 ± 0.1^{b}	4.11 ± 0.2^{a}
thymol	1290	51.6 ± 3.1^{ab}	55.8 ± 2.2^{a}	56.8 ± 2.1^{a}	53.8 ± 3.1^{a}	53.9 ± 2.2^{a}	54.8 ± 3.1^{a}	46.6 ± 4.2^{b}	52.7 ± 2.2^{a}	54.2 ± 2.1^{a}	44.6 ± 3.1^{b}	51.8 ± 2.1^{a}	53.8 ± 1.2^{a}
carvacrol	1298	3.1 ± 0.3^{b}	3.1 ± 0.2^{b}	4.11 ± 0.1^{a}	3.1 ± 0.1^{b}	3.1 ± 0.2^{b}	3.11 ± 0.1^{b}	2.12 ± 0.2^{c}	2.14 ± 0.2^{bc}	2.33 ± 0.1^{b}	2.1 ± 0.4^{bc}	2.2 ± 0.3^{bc}	2.4 ± 0.2^{b}
eugenol	1356	1.6 ± 0.3^{c}	1.8 ± 0.2^{c}	1.8 ± 0.1^{c}	1.83 ± 0.1^{c}	1.9 ± 0.2^{bc}	2.8 ± 0.1^{a}	1.6 ± 0.2^{c}	1.7 ± 0.2^{c}	2.2 ± 0.1^{b}	2.5 ± 0.1^{ab}	1.6 ± 0.1^{cd}	2.2 ± 0.2^{b}
***β*-caryophyllene**	1418	3.1 ± 0.1^{de}	4.1 ± 0.2^{cd}	4.11 ± 0.1^{cd}	5.1 ± 0.1^{bc}	6.1 ± 0.2^{ab}	7.11 ± 0.1^{a}	5.12 ± 0.2^{bc}	5.14 ± 0.2^{bc}	6.33 ± 0.1^{a}	3.1 ± 0.1^{de}	4.2 ± 0.1^{c}	5.4 ± 0.2^{b}
germacrene-D	1480	0.6 ± 0.1^{de}	0.8 ± 0.2^{d}	0.1 ± 0.1^{f}	1.8 ± 0.1^{ab}	1.9 ± 0.2^{a}	1.93 ± 0.1^{a}	1.6 ± 0.2^{b}	1.7 ± 0.2^{ab}	2.2 ± 0.1^{a}	1.5 ± 0.3^{bc}	1.6 ± 0.1^{b}	2.2 ± 0.2^{a}

RI: Retention Index- A_1 and A_2: non-use and use of NPK, B_1 and B_2: non-use and use of humic acid, C_1 and C_2: non-use and use of botamisol, and D_1, D_2, and D_3: drought stress at three levels of field capacity, 50%, and 75% of moisture loss.

Numbers in each row that have same word, have same group.

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 به‌تبع آن افزایش فتوسنتز، بدیهی است که متعاقب آن میزان اسانس بیشتر می‌شود (Barker & Pilbeam, 2007؛ Yadegari, 2022). گزارش‌هایی مبنی بر حضور تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در اثر کاربرد کودهای آلی ازجمله اسید هیومیک و امکان بهبود رشد گیاهی تحت این شرایط وجود دارد. مزیت استفاده از این کود در مقابل سایر کودهای آلی به‌دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی است. البته افزودن کود آلی به خاک و بسترهای کشت به افزایش رشد گیاه کمک می‌کند. کود آلی به‌دلیل فراهم کردن مقادیر بیشتری از عناصر مغذی، منجر به بیشتر شدن وزن گیاه و مواد مؤثره موجود در آن می‌گردد (Doskočil *et al*., 2018). 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 *et al*., 2018). افزودن این کود به خاک، سبب افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی و در سیستم بیشه‌زراعی منجر به افزایش صفات مورفولوژیکی و کیفی گیاهان خاکشیر (*Descurainia sophia* (L.) Schur) و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) شد (Hasani *et al*., 2021). به‌طور کلی در این بررسی مشخص شد که اسید هیومیک در ترکیب با بوتامیسول و کود کامل یوروسالید قادر به تولید بیشترین میزان اسانس بود و بیشترین مقادیر ترکیب‌های اصلی اسانس ازجمله مواد مؤثره کارواکرول، تیمول، پارا–سیمن و گاما–ترپینن در همین ترکیب تیماری در شرایط رطوبتی ظرفیت مزرعه بدست آمد؛ هرچند همین ترکیب تیماری در شرایط تنش ملایم (۵۰٪ تخلیه رطوبتی) به‌همراه ترکیب تیماری کود کامل و اسید هیومیک در بسیاری از صفات مورد ارزیابی در گروه مشابه قرار گرفتند. در تحقیق مشابهی که روی ارقام مرزه (*Satureja*) انجام گردید مشخص شد که بیشترین ترکیب‌های غالب اسانس که از دسته مونوترپن‌های حلقوی بودند در دور آبیاری ۳ روز یک‌بار به همراه کاربرد اسید هیومیک و بوتامیسول بدست آمدند (Yadegari, 2022). طی تحقیقی مشخص شد که در اثر تنش رطوبتی ملایم و شدید مقادیر اسانس در مرزنگوش (*Origanum vulgare* subsp. *gracile*) و ماده مؤثره بتا–کاریوفیلن در گونه *O. vulgare* subsp. *virens* افزایش یافت ولی مقادیر اسانس در گونه *O .vulgare* subsp. *virens* و مواد مؤثره کارواکرول و آلفا–بیسابولول در هر دو گونه بدون تغییر باقی ماندند (Morshedloo *et al*., 2017). مواد مغذی می‌توانند منجر به کاهش اثرهای تنش خشکی در گیاهان آویشن باغی (*Thymus vulgaris*)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis*)، گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis*) و قدومه (*Alyssum desertorum*) شوند (Yadegari, 2017). به‌طور کلی در این تحقیق، در اغلب موارد با افزایش سطوح تنش خشکی، مقادیر مواد مؤثره کاهش یافت که در این راستا پاشش کود کامل این اثر را تشدید کرد. کاربرد کود کامل یوروسالید به‌همراه بوتامیسول و اسید هیومیک تا حد زیادی می‌تواند به‌دلیل فراهمی بیشتر آب و مواد غذایی منجر به افزایش صفات مورفولوژیکی ازجمله ماده خشک گیاهی و به‌تبع آن افزایش اسانس و ترکیب‌های مؤثره اسانس گردد. در برخی موارد، همین ترکیب تیماری در شرایط تنش ملایم (۵۰٪ تخلیه رطوبتی)، مقادیر بالایی از صفات مورد ارزیابی را بوجود آورد. از آنجا که گیاه آویشن گیاهی نسبتاً متحمل به تنش 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، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در گونه‌های مرزه (*Satureja hortensis*) از خانواده نعناعیان گزارش شده است (Nasiri *et al*.,

Najafi vafa *et al.*, 2020). در مرزه خوزستانی (*Satureja 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) گردید. تحت تنش خشکی، میزان پروتئین و قند گیاه 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 تنظیم کننده‌های متابولیک شناخته شده‌اند و همانند جفت ردوکس عمل می‌کنند. کاهش پرولین-۵-کربوکسیلات در سیتوسول، افزایش $NADP^+$ را فراهم می‌کند که به فعال شدن چرخه پنتوزفسفات اکسیداتیو منجر می‌شود. البته 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. به طوری 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 آویشن 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 فتوسنتزکننده در گیاه، یعنی برگ‌ها دانست. به‌طوری که استفاده از عناصر غذایی باعث افزایش سطح برگ می‌شود که این افزایش به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ منجر می‌گردد. همچنین با افزایش سطح برگ، تعداد روزنه به‌عنوان محل ورود دی‌اکسید کربن و گلوکز به‌عنوان پیش‌ماده مناسب در سنتز اسانس‌ها و به‌عنوان نتیجه فرایند فتوسنتز زیاد شده و در نتیجه سوبسترای لازم برای سنتز اسانس در گیاه فراهم می‌شود (Elzaawely *et al.*, 2007). تحت تنش خشکی مقادیر مواد مؤثره گیاهان دارویی رفتار مختلفی دارند. به‌طوری 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 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). همچنین کاربرد اسید هیومیک در این شرایط منجر به افزایش مقادیر گلوکز، فروکتوز و ساکارز در گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) شد و این موضوع منجر به افزایش تحمل تنش خشکی توسط این گیاه شده است (Hayati *et al.*, 2021). 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 تثبیت کربن برای بیوسنتز ترکیب‌های ترپنوئیدی لازم و ضروریست (Mc-Garvey & Croteau, 1995). تغییرات بیوسنتز ترکیب‌های ترپنوئیدی از جمله مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها ممکن است به‌علت تغییرات بیوانرژیتیک سلول‌های گیاهی در پاسخ به عناصر مغذی باشد و به‌نظر می‌رسد که یکی از دلایل اختلاف در مقدار و نوع برخی از ترکیب‌های اسانس گیاه مورد آزمایش، مربوط به اختلاف جایگاه‌های بیوسنتزی ترکیب‌ها 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 آب‌گیری کلروپلاست و

سایر بخش‌های پروتوپلاسم که به‌نحوی کارایی فتوسنتز را کاهش می‌دهند، منجر به کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل و تقلیل فرایند فتوسنتز می‌گردد. در زمان تنش آبی، در گونه‌های متحمل، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، مالون‌دی آلدئید، فلاونوئیدها و کارتنوئیدها افزایش یافته که منجر به کاهش انواع اتم‌های آزاد و فعال اکسیژن می‌شود (Xiaolu *et al*., 2016). تنش آب به‌طور مستقیم می‌تواند بر فرایندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز اثر گذاشته و به‌طور غیرمستقیم ورود دی‌اکسیدکربن به‌داخل روزنه‌ها را که به‌علت شرایط کم‌آبی بسته‌اند کاهش دهد (Esch *et al*., 2019؛ Hayati *et al*., 2021). 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 کند. 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 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 (Barker & Pilbeam, 2007؛ Zakerian *et al*., 2020).

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 آویشن کوهی (*T. kotschyanus* Boiss)، باغی (*T. vulgaris* L.) و دنایی (*T. daenensis* Celark) مطالعه شد. ترکیب‌های غالب اسانس گونه *T. kotschyanus* تیمول و کارواکرول، گونه *T. vulgaris*، گاما–ترپینن و پارا–سیمن و گونه *T. daenensis*، بتا–کاریوفیلن و آلفا–پینن از دسته مونوترپن‌ها در اثر دور آبیاری ۳ روز یک‌بار و نیز کاربرد کودهای کامل NPK، بوتامیسول و اسید هیومیک افزایش چشمگیری داشتند. بیشترین میزان اسانس در آویشن کوهی در منطقه شهرکرد بدست آمد که می‌تواند به‌دلیل سازگاری و بهره‌مندی بهتر این گونه به شرایط منطقه مذکور باشد. ازاین‌رو 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.
- Albergaria, E.T., Oliveira, A.F. and Albuquerque, U.P., 2020. The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. South African Journal of Botany, 131: 12-17.
- 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.
- Al Maqtari, M.A., Alghalibi, S.M. and Alhamzy, E.H., 2011. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of T*hymus vulgaris* from Yemen. Turkish Journal of Biochemistry, 36(4): 342-349.
- Amiri, H., 2012. Essential oils composition and antioxidant properties of three *Thymus* species. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 12: 8.
- Arnon, D.I., 1975. Physiological principles of dry land crop production: 3-14. In: Gupta, U.S., (Ed.) 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. Suatainable Agriculture, 82(3): 257-275.
- Asgarian, H., Abdossi, V., Danaee, E. and Ladan Moghadam, A., 2021. Effects of using humic acid and selenium on some morphophysiological characteristics of *Calendula officinalis* L. under salinity stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(4): 596-611.

- Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, S., Mahmoodi, S. and Jamialahmadi, M., 2018. Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. Industrial Crops and Products, 111: 336-344.
- Babaei, Kh., Moghaddam, M. and Farhadi, N., 2021. Morphological, physiological and phytochemical responses of Mexican marigold (*Tagetes minuta* L.) to drought stress. Scientia Horticulturae, 284: 110-116.
- Barker, A.V. and Pilbeam D.J., 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, 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.
- Bruneton, J., 1999. Pharmacognosy, Phytochemistry Medicinal Plants. Lavoisier Intercept, London, UK, 344p.
- Caser, M., Chitarra, W., Angiolillod, F. and Perrone, I., 2019. Drought stress adaptation modulates plant secondary metabolite production in *Salvia dolomitica* Codd. Industrial Crops and Products, 129: 85-96.
- 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. and RM Sm. leaves exposed to copper sulphate. Environmental and Experimental Botany, 59: 347-353.
- Eman, E., Aziz, S.T. and Hendawi, E., 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield and constituents of *Thymus vulgaris* L. Ameriacan Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 4(4): 443-450.
- Esch, E.H., Lipson, D.A. and Cleland, E.E., 2019. Invasion and drought alter phenological sensitivity and synergistically lower ecosystem production. Ecology, 100(10): 34-45.
- 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.
- Fariaszewska, A., Aper, J., Van Huylenbroeck, J. and De Swaef, T., 2020. Physiological and biochemical responses of forage grass varieties to mild drought stress under field conditions. International Journal of Plant Production, 14: 335-353.
- Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V. and Moradshahi, A., 2019. Evaluation of the growth, essential oil composition and antioxidant activity of *Dracocephalum moldavica* under water deficit stress and symbiosis with *Claroideoglomus etunicatum* and *Micrococcus yunnanensis*. Scientia Horticulturae, 256: 108652.
- Gustafson, A.F., 2010. Handbook of Fertilizers-Their Sources, Make-Up, Effects and Use. Orange Judd Publishing Co., 180p.
- Hasani, S.M., Azadfar, D., Arzanesh, M.H., Saeedi, Z. and Matinkhah, S.H., 2021. Effects of fertilizer treatments on morphological and qualitative traits of *Descurainia sophia* (L.) Schur and *Coriandrum sativum* L. in agroforestry systems. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(5): 766-780.
- Hayati, A., Rahimi, M.M., Kelidari, A. and Hosseini, S.M., 2021. Effects of humic acid and iron nanochelate on osmolytes content of black cumin (*Nigella sativa* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(5): 809-821.
- Juarez, C.R., Craker, L.E. and Rodríguez Mendoza, M.D., 2011. Humic substance and moisture content in the production of biomass and bioactive contituents of *Thymus vulgaris* L. Revista Fitotecnia Mexicana, 34(3): 183-188.
- Khoshsokhan, F., Babalar, M., Chaghazardi, H.R. and Fatahi, M.R., 2012. Effect of salinity and drought stress on germination indices of two *Thymus* species. Cercetări Agronomice în Moldova, 1(149): 27-35.
- 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.
- Lebaschi, M.H., Sharifi Ashorabadi, E., Makizadeh, M. and Talebpour, A.H., 2016. Evaluation of morphological characters, essential oil content/composition of *Thymus kotschyanus* Boiss. in varius densities undert drought stress. Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants, 16(4): 37-48.
- Mazooji, A., Salimpour, F., Danaei, M. and Akhoondi Darzikolaei, S., 2012. Comparative study of the essential oil chemical composition of *Thymus kotschyanus* Boiss. and Hohen var. *kotschyanus* from Iran. Annals of Biological Research, 3(3): 1443-1451.
- Mc-Garvey, D. and Croteau, R., 1995. Terpenoid metabolism. The Plant Cell, 7: 1015-1026.
- Mohammadi, M., Sefidkon, F., Asadi-Sanam, S. and Kalatejari, S., 2021. Effects of nutritional treatments

- 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.
- Sharafzadeh, Sh., 2011. Effect of nitrogen, phosphorous and potassium on growth, essential oil and total phenolic content of garden Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Advances in Environmental Biology, 5(4): 699-703.
- 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.
- Teimouri, M., 2012. Antimicrobial activity and essential oil composition of *Thymus daenensis* Celak from Iran. Journal of Medicinal Plants Research, 6(4): 631-635.
- 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*. International Journal of Agricultural Research, 4: 228-236.
- Xiaolu, W., Jie, Y., Aoxue, L. and Yu, Ch., 2016. Drought stress and re-watering increase secondary metabolites andenzyme activity in dendrobium moniliforme. Industrial Crops and Products, 94: 385-393.
- Yadegari, M., 2022. Effects of NPK, botamisol, and humic acid on morphophysiological traits and essential oil of three *Satureja* species under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 38(1): 61-80.
- Yadegari, M., 2017. Irrigation periods and Fe, Zn foliar application on agronomic characters of *Borago officinalis*, *Calendula officinalis*, *Thymus vulgaris* and *Alyssum desertorum*. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 48(3): 307-315.
- Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A. and Abbassi, F., 2011. The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Thymus hortensis.* African Journal of Agricultural Research, 6(4): 798-807.
- Zakerian, F., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B. and Kalateh, S., 2020. Drought stress and micorrhiza fungi effects on physiologic and essential oil characters of *Thymus sahandica* Bornm. Iranian Journal of Horticultural Science, 51(1): 189-201.
- Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagon, D., Arbona, V. and Gomez-Cadenas, A., 2017. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. Physiology of Plant, 162(1): 2-12.

on morphological characteristics and essential oil yield of *Satureja khuzistanica* Jamzad. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(2): 193-213.
- Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V. and Sang, H., 2017. Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono-and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. Plant Physiology and Biochemistry, 111: 119-128.
- Mozaffarian, V., 2009. A pictorial dictionary of botany (botanical taxonomy): Latin-English-French-German-Persian. Koeltz Scientific Books, illus. Germany,1064p.
- 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 dracunculus* 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 resourses and humic acid on morphological characters, yield and antioxidant of *Bunium persicum* Boiss. Journal of Applied Research, 29(4): 87-94.
- Ozcan, M. and Chalchat, J.C., 2004. Aroma profile of *Thymus vulgaris* L. growing wild in Turkey. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 30(3-4): 68-73.
- 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.
- Sajjadi, S.E., Naderi, Gh., Ziaii, R. and Zolfaghari, B., 2004. The antioxidant activity of polyphenolic fraction of *Thymus daenensis* Celak. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 2: 80-81.

Effects of NPK complete fertilizer, botamisol, and humic acid on morphophysiological characteristics and essential oil in three *Thymus* species under drought stress conditions

M. Yadegari[1*]

1*- Corresponding author, Spicy and Aromatic Plants Research Center, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran, E-mail: mehrabyadegari@gmail.com

Received: December 2021 Revised: May 2022 Accepted: May 2022

Abstract

Due to the valuable role of thyme in the pharmaceutical and food industries of Iran, an experiment was conducted to study the effects of NPK complete fertilizers, butamisol, and humic acid on the morphophysiological characteristics and essential oil of three species of *Thymus kotschyanus* Boiss, *T. vulgaris* L., and *T. daenensis* Celark under drought stress conditions. This research was performed in three separate factorial experiments as a randomized complete block design with four replications in Islamic Azad University, Branch of Shahrekord in the 2021-2022 crop year. Foliar application was done twice with an interval of three weeks after the 10-leaf stage of the plant. Twenty-four experimental treatments included the non-use (A_1) and use (A_2) of NPK, non-use (B_1) and use (B_2) of humic acid, non-use (C_1) and use (C_2) of botamisol under drought stress conditions at three levels of field capacity (D_1), 50% (D_2), and 75% (D_3) loss of gravitational water. The highest amounts of plant height (44.5±1.1 cm), number of main branches (26.4±1.5), plant dry weight (40.5±0.99 $g.m^{-2}$), total chlorophyll (1.55±0.1 $mg.g^{-1}$ fresh weight (FW)), and essential oil content (1.88±0.03%) were obtained in the $A_2B_2C_2D_1$ treatment in *T. kotschyanus*. The $A_2B_2C_2D_3$ treatment resulted in the highest proline content (13.9±0.2 $\mu g.g^{-1}$ FW) and lowest essential oil content (0.79±0.1 %) in *T. daenensis*. Thymol and carvacrol in *T. kotschyanus*, thymol, γ-terpinene, *p*-cymene, and linalool in *T. vulgaris*, and thymol, carvacrol, *p*-cymene, β-caryophylene, α-pinene, and myrcene in *T. daenensis* were identified as the major essential oil compounds. More nutrient utilization and stress in the least possible along with the temperate climate of the study area led to the introduction of *T. kotschyanus* as an indicator species in this field.

Keywords: *T. kotschyanus* Boiss., essential oil, thymol, carvacrol.