

اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و ترکیبات اسانس سه گونه آویشن

عباس پورمیدانی*، حسین باقری، حسین توکلی نکو

استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران.

*نویسنده مسئول: عباس پورمیدانی

abbas.pourmeidani@gmail.com

چکیده

از آنجا که کمبود آب یکی از مهمترین عوامل محدود کننده توسعه کشت گیاهان دارویی در مناطق خشک و نیمه خشک است، این تحقیق به منظور ارزیابی اثر تنش خشکی بر خصوصیات سه گونه آویشن *Thymus daenensis*، *T. lancifolius* و *T. transcaucasicus* در ایستگاه تحقیقات کشاورزی پردیس قم در شرایط گلخانه انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) و به صورت فاکتوریل با پنج تکرار (گلدان) اجرا شد. فاکتور اول شامل بذور سه گونه آویشن و فاکتور دوم شامل تیمارهای آبیاری در ۸۰ (آبیاری نرمال)، ۶۰ و ۴۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اعمال تنش خشکی بر کلیه صفات مورفولوژیکی، عملکرد و ترکیب اسانس تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین طول و وزن تر اندام هوایی و عملکرد در تیمار ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کمترین آنها در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بیشترین میزان اسانس با مقدار ۱/۱ درصد و بیشترین عملکرد اسانس با مقدار ۰/۹ گرم در بوته در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. گونه *T. lancifolius* با مقدار ۰/۷۳ گرم بیشترین و گونه *T. transcaucasicus* با مقدار ۰/۵۴ گرم در بوته کمترین عملکرد اسانس را داشت. بیشترین ترکیب در گونه *T. daenensis* تیمول در آبیاری نرمال و آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بیشترین ترکیب در گونه *T. transcaucasicus* شامل تیمول و کارواکرول (آبیاری نرمال و نیز ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. بیشترین ترکیب در گونه *T. lancifolius* نیز شامل تیمول (آبیاری نرمال آبیاری و در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. در نهایت با توجه به راندمان تولید اسانس و درصد ترکیبات مهم و موثر همچون تیمول و کارواکرول، گونه *T. daenensis* به عنوان گونه برتر و شرایط تنش ملایم آبی (آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان بهترین شرایط آبیاری انتخاب شدند.

واژگان کلیدی: آویشن، تنش خشکی، ترکیبات اسانس.

مقدمه

ایران با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال، جزو مناطق خشک جهان به‌شمار می‌رود (۲۵)، لذا کمبود آب همواره به عنوان یک عامل محدودکننده کشت و پرورش گیاهان زراعی و دارویی مطرح بوده است. بنابراین اتخاذ روش‌هایی مانند بهره‌برداری صحیح از منابع محدود آب همراه با استفاده از شیوه‌های صحیح به‌زراعی شامل کشت گیاهان مقاوم، شناخت ارتباط آب، خاک و گیاه در شرایط کم‌آبی و بررسی واکنش گیاه در مقابله با تنش خشکی مفید خواهد بود. امروزه با به دست‌آمدن اطلاعات بیشتر در خصوص نحوه تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی و شناسایی مکانیسم‌های موجود در ژنوتیپ‌های متحمل، راه برای مدیریت تنش‌ها در تولید محصولات مختلف فراهم شده است (۲۳، ۱۱).

در گیاهان دارویی نیز عوامل محیطی بر تولید و ترکیب اسانس تأثیر می‌گذارند. عملکرد گیاهان دارویی زمانی مقرون به صرفه خواهد بود که مواد مؤثره بیش‌تر و پایداری تولید شود، بنابراین تحقیق در خصوص چگونگی افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثره مورد توجه محققین قرار گرفته است. انتخاب ژنوتیپ گیاهی با نیاز آبی کمتر و متحمل به کم‌آبی خاک، علاوه بر کمک به مصرف بهینه آب، راه را برای گسترش کشت آن گونه فراهم می‌نماید (۱۲).

مطالعات مختلف حاکی از عکس‌العمل متفاوت گیاهان دارویی به تنش کم‌آبیاری می‌باشد. در اکثر موارد به اثبات رسیده که کمبود رطوبت، گیاه را وادار به واکنش‌های مختلف مورفولوژیکی مانند کاهش سطح برگ، خزان زودرس، کاهش اندام هوایی، افزایش رشد ریشه، کاهش سرعت رشد، تجمع آنتی‌اکسیدانت و مواد محلول و فعالیت ژن‌های خاص تنش می‌کند (۷). در گیاهان دارویی، پاسخ به تنش خشکی بر حسب سطح تنش (ملایم، متوسط و شدید)، گونه گیاهی و زمان مواجه شدن با تنش متفاوت است (۹، ۲۲).

برای تولید در سیستم‌های کشاورزی ارقام با کیفیت بالای مواد مؤثره، بازده بالای اسانس، عملکرد بالای پیکر رویشی، امکان برداشت مکانیزه، جوانه‌زنی یکنواخت و مقاوم به تنش‌های زنده و غیرزنده مد نظر است. باید توجه داشت که در مقایسه با سایر گیاهان زراعی و باغی، گیاهان دارویی و معطر در سطح خیلی کوچک کشت می‌شوند و این گیاهان شامل تعداد بسیار زیاد گونه‌های گیاهی با طیف گسترده اختصاصات بیولوژیکی هستند (۲۸).

در میان گیاهان دارویی، آویشن با دارا بودن اسانس‌های روغنی و ترکیبات شیمیایی دارویی یکی از پرمصرف‌ترین و ارزشمندترین گیاهان دارویی جهان است و کاربرد آن از دیرباز در ابعاد وسیع به‌خصوص در صنایع دارویی، غذایی، بهداشتی و مبارزه بیولوژیکی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده است. اسانس آویشن جزو ده اسانس معروف دنیاست که دارای خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی، آنتی‌اکسیدان، نگهدارنده طبیعی غذا و تأخیر دهنده پیری پستانداران است. آویشن در جهان دارای حدود ۲۵۰ گونه است که ۱۸ گونه آن در ایران پراکنش داشته و چهار گونه بومی ایران هستند (۱۳).

در تحقیقی به‌منظور بررسی تأثیر تنش خشکی بر برخی صفات زراعی ۱۲ اکوتیپ آویشن دانایی از مناطق مختلف ایران، آزمایشی در دو محیط تنش خشکی و بدون تنش انجام شد. در محیط تنش صفات طول برگ، سطح تاج پوشش و وزن تر اندام هوایی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش نشان دادند. بر این اساس صفات وزن تر و خشک اندام هوایی، تعداد روز تا اولین گلدهی و ۵۰٪ گلدهی صفات مرتبط با تحمل به خشکی بودند (۲۱).

همچنین در یک تحقیق گلخانه‌ای، ۱۷ جمعیت آویشن کوهی *Thymus kotschyanus* تنوع بالایی را برای تحمل به خشکی نشان دادند و این گونه نسبت به تنش خشکی نیمه متحمل بود، بطوریکه با افزایش تنش خشکی، طول و وزن اندام هوایی و محتوی نسبی آب برگ کاهش و برای طول ریشه، میزان و بازده اسانس در تنش خشکی مقادیر بالاتری مشاهده گردید. بیشترین وزن اندام هوایی و بازده اسانس در تنش متوسط به دست آمد و در نهایت جمعیت‌های مناسب آویشن کوهی جهت توسعه کشت در دیم‌زارها معرفی شدند (۳۱).

در بررسی تأثیر شوری و خشکی بر جمعیت‌های مختلف آویشن دنایی (*T. daenensis*) و آویشن کوهی (*T. kotschyanus*) در سطوح مختلف تنش شوری و خشکی، تنش خشکی صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه و وزن خشک گیاهچه‌ها را به طورمعنی‌داری کاهش داد، ولی تنش شوری تأثیر کمتری داشت. در نتیجه فرایند جوانه‌زنی در بین جمعیت‌ها و نوع تنش‌های مورد بررسی متفاوت بود. در این آزمایش جمعیت اراک نسبت به جمعیت‌های آذربایجان و گیلان از نظر تحمل به خشکی بالاتر بودند (۲۰).

نتایج تحقیقی در بررسی روابط بین صفات در اکوتیپ‌های آویشن دنایی (*T. daenensis*) در دو محیط بدون تنش و واجد تنش خشکی نشان داد، وزن تر و خشک اندام هوایی با بزرگترین و کوچکترین قطر تاج پوشش، سطح تاج پوشش، طول برگ، تعداد ساقه در بوته و عملکرد اسانس در هر دو شرایط آزمایش رابطه مثبت و معنی‌دار داشت (۱۶). همچنین اثرات تنش رطوبتی بر شاخص‌های رشد و خصوصیات فنولوژیکی آویشن کوهی (*T. kotschyanus*) نشان داد، تنش باعث می‌گردد تا وقوع هر یک از مراحل فنولوژیکی گیاه در تیمار تنش شدید بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه روز - رشد زودتر از تیمار عدم تنش اتفاق بیفتد. همچنین پیشگیری از وقوع تنش در مرحله آغاز غنچه‌دهی بیشترین تأثیر را در افزایش سرعت رشد محصول و عملکرد این گیاه دارد (۵).

در تحقیق دیگری تأثیر زمان‌های مختلف برداشت (شروع گلدهی، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد گلدهی) بر کمیت و کیفیت اسانس *T. lancifolius* به صورت گلدانی بررسی گردید. نتایج نشان داد بیشترین مقدار محتوای اسانس در فاز کامل گلدهی بود. بیشترین میزان تیمول (۶۲ درصد) در مرحله شروع گلدهی گزارش گردید. کمیت و کیفیت مواد موثره اسانس بسته به زمان‌های مختلف رشد و نمو متفاوت بوده و به تناسب آن نیز می‌تواند از عملکردهای متفاوت دارویی برخوردار باشد (۱۸).

در مطالعه‌ای نشان داده شد، تولید اسانس و درصد ترکیب تیمول آویشن دنایی بیش از آویشن باغی است. در میان ۴۳ ترکیب شناسایی شده از روغن اسانس استحصال شده از اندام‌های هوایی گونه *T. daenensis* جمع آوری شده از همدان، سه ترکیب تیمول (۷۳/۹٪)، کارواکرول (۶/۷٪) و پاراسیمین (۴/۶٪) بالاترین درصد را داشتند (۲۰). در تحقیق دیگری ترکیبات عمده تشکیل دهنده اسانس دو گونه *T. daenensis* و *T. kotschyanus* بررسی شد. ترکیبات اصلی شامل تیمول (۷۴/۷٪)، بتاکاریوفیلین (۳/۸٪)، کارواکرول (۳/۶٪) و سیمین (۶/۵٪) در گونه *T. daenensis* و تیمول (۳۸/۶٪)، کارواکرول (۳۳/۹٪)، آلفا ترپینئول (۸/۲٪) و سیمین (۳/۷٪) در *T. kotschyanus* بود (۲۹).

ترکیبات تشکیل دهنده اسانس در اندام‌های هوایی سه گونه کاشته شده آویشن باغی، آویشن دنایی و آویشن کوهی در تحقیقی یا یکدیگر مقایسه شدند. تیمول ترکیب اصلی اسانس حاصل از دو گونه آویشن باغی و آویشن دنایی به ترتیب

با ۳۸/۳۶ و ۵۶/۸۲ درصد بود. در حالی که آلفا-ترپینیل استات با ۳۱/۰۶ درصد ترکیب اصلی اسانس حاصل از عرق گیاه آویشن کوهی بود. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی در اسانس و عرق آویشن دناپی مشاهده شد (۱۴). همچنین تغییرات اسانس سرشاخه‌های آویشن کوهی در مراحل مختلف رشد در یک تحقیق بررسی گردید. در اسانس سرشاخه‌ها در مراحل رویشی، ابتدای گل‌دهی و گل‌دهی کامل، به ترتیب ۲۱، ۲۵ و ۱۹ ترکیب شناسایی شد. ترکیبات عمده در اسانس سرشاخه‌ها در مراحل مختلف، مشترک و شامل کارواکرول، سابینن هیدرات، ۱-۸ سینئول، پارا-سایمن و بورنئول بودند. نتایج نشان داد که اسانس سرشاخه‌های *Thymus kotschyanus* سرشار از منوترپن‌ها بود (۱۹ ترکیب) و ۹۵/۴، ۹۵/۶ و ۹۰/۷ از کل ترکیبات شناسایی شده به ترتیب در مراحل رویشی، ابتدای گل‌دهی و گل‌دهی کامل را تشکیل می‌دادند (۲۹). در تحقیقی دیگر، گروهی از محققان به بررسی کمیت و کیفیت اسانس ۱۹ اکسشن آویشن کوهی کشت شده در استان یزد پرداختند. تجزیه خوشه‌ای براساس بازده ترکیب عمده تشکیل دهنده اسانس اکسشن‌ها را در سه گروه غنی از تیمول-پاراسایمن، کارواکرول-تیمول و ژرانیول-لینالول قرار داد. براساس نتایج این بررسی، اکسشن TK7 با منشأ آذربایجان غربی با ۳/۴۲٪ اسانس و تولید اسانس ۳۶/۴ کیلوگرم در هکتار و ۶۳/۸٪ کارواکرول و اکسشن TK14 با منشأ استان تهران با ۲/۲٪ اسانس و تولید اسانس ۳۵/۵ کیلوگرم در هکتار و ۴۷/۲٪ کارواکرول و تیمول به عنوان اکسشن‌های برتر گونه *Thymus kotschyanus* معرفی شدند (۳۶).

همچنین یک بررسی بر روی اسانس استحصال شده از اندام هوایی آویشن دناپی (*T. daenensis*) از همدان نشان داد، در میان ۴۳ ترکیب شناسایی شده، چهار ترکیب تیمول (۷۳/۹ درصد)، کارواکرول (۶/۷ درصد)، پاراسایمن (۴/۶ درصد) و بتابیسابولن (۱/۵ درصد) دارای بالاترین میزان ترکیبات اسانس بودند (۳۳).

گیاهان دارویی بطور عمده از برداشت مستقیم مراتع تامین می‌گردند، که می‌تواند باعث نابودی بخش زیادی از ژرم پلاسما ارزشمند گشته و جامعه را از فواید آنان در تولید ارقام اصلاحی با کمیت و کیفیت بالاتر محروم سازد. همچنین لازمه کشت صنعتی، همگنی ویژگی‌های فیتوشیمیایی و مورفوفنولوژیکی جمعیت مورد نظر می‌باشد که این ویژگی در جمعیت‌های طبیعی و وحشی صدق نمی‌کند. از طرفی اکثر اراضی زراعی مناطق حاشیه کویر دارای محدودیت منابع آب و خاک می‌باشند، لذا ارزیابی گونه‌های آویشن در این شرایط، علاوه بر کمک به توسعه کشت این گونه‌ها، کمک فراوانی به اصلاح الگوی کشت و ایجاد اشتغال پایدار و مولد در بخش کشاورزی خواهد داشت. بر این اساس این پروژه با هدف تعیین تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر صفات مختلف رویشی و عملکردی سه گونه آویشن *Thymus daenensis*، *Thymus transcaucasicus* و *Thymus lancifolius* و ارزیابی اثرات تنش کم آبی بر عملکرد و ترکیب اسانس این گونه‌ها و ارائه برنامه مناسب به‌زراعی (آبیاری) جهت تأمین رطوبت مورد نیاز و نیز معرفی گونه آویشن با عملکرد مناسب جهت توسعه کشت در دیمزارها و مناطق دارای تنش محیطی خشکی در کشور اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی و در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در شش تکرار (گلدان) در سال ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی قم اجرا شد. فاکتور اول شامل سه گونه: *Thymus daenensis*، *Thymus transcaucasicus* و *T. lancifolius* و فاکتور دوم شامل: سطوح آبیاری در ۸۰ درصد (شاهد)، ۶۰ درصد و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک (FC) بود.

در این آزمایش از گلدان‌های چهار کیلویی محتوی خاک لومی - شنی استفاده شد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز هر گلدان در هر بار آبیاری، در ابتدای آزمایش ظرفیت زراعی خاک به کار رفته در گلدان‌ها مشخص گردید. جهت انجام این کار از روش دستی استفاده شد، بدین صورت که نمونه‌ای از خاک مورد استفاده در آزمایش را در دستگاه آون و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک نموده و سپس با ریختن سه کیلوگرم از خاک کاملاً خشک در گلدان به تدریج به آن آب اضافه شد. پس از اشباع کامل و شروع خروج آب از انتهای گلدان، اضافه نمودن آب قطع و پس از سپری شدن زمان هشت ساعت و خروج آب‌های اضافی، گلدان مجدداً وزن گردید. این وزن برابر با وزن خاک در حالت ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد.

بذور سه گونه آویشن تهیه شده از بانک ژن موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در گلدان و در شرایط گلخانه با دمای 24 ± 2 درجه سلسیوس در روز و 15 ± 2 درجه سلسیوس در شب کشت شدند. تا زمان استقرار اولیه نهال، همه گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. با توجه به تعریف تیمارهای آبیاری، گلدان‌های هر تیمار پس از کاهش ۲۰ درصد از وزن هر گلدان آبیاری شدند. بدین منظور گلدان‌ها به صورت روزانه وزن شده و در صورت کمتر بودن وزن گلدان‌ها از حد معین برای هر تیمار، میزان آب مورد نیاز به هر گلدان اضافه شد.

پس از اعمال تیمارهای آبیاری در مدت دو ماه و اندازه‌گیری صفات رشدی نظیر طول اندام هوایی، جهت انجام مراحل بعدی و اندازه‌گیری سایر صفات، بوته‌ها از گلدان خارج و کاملاً شستشو شدند. پس از اندازه‌گیری طول و وزن تر ریشه و اندام هوایی، بوته‌ها در پاکت‌های کاغذی قرار داده شدند تا صفات وزن خشک اندام هوایی، نسبت وزن خشک به وزن تر اندام هوایی، درصد اسانس، وزن تر ریشه، نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه، نسبت وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس در مراحل بعدی اندازه‌گیری شوند.

جهت استخراج اسانس از روش تقطیر با آب توسط دستگاه طرح کلونجر طبق فارماکوپه بریتانیا برای مدت چهار ساعت که بالاترین بازده استخراج اسانس را دارد، استفاده شد (۷). ابتدا ماده گیاهی خشک شده خرد و سپس ۱۰۰ گرم از پودر گیاه خشک شده، به مدت چهار ساعت اسانس‌گیری شد. اسانس توسط سرنگ مخصوص جمع‌آوری و آگیری با سولفات سدیم بدون آب انجام و بازده اسانس نمونه‌ها به روش حجمی نسبت به وزن خشک محاسبه گردید (۳۵).

به منظور بررسی کیفی اسانس، نمونه‌های اسانس با دی‌کلرومتان با نسبت ۱:۱۰ رقیق شده و به دستگاه GC/MS تزریق و کروماتوگرام‌ها و طیف‌های جرمی مربوطه به دست آمد. سپس با استفاده از شاخص بازداری ترکیبات، بررسی طیف‌های جرمی هر ترکیب و مقایسه با ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه دستگاه طیف‌سنج جرمی، ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس‌ها شناسایی شدند و با استفاده از نتایج دستگاه GC، مورد آنالیز کمی قرار گرفتند. برای محاسبه اندیس‌های بازداری از تزریق هیدروکربن‌های نرمال ۸ تا ۲۵ کربنه در شرایط برنامه‌ریزی حرارتی (مشابه با تزریق نمونه) استفاده گردید. محاسبات کمی (تعیین درصد هر ترکیب) به کمک نرم افزار دستگاه GC و به روش نرمال کردن سطح و نادیده گرفتن فاکتور پاسخ (Response factor) مربوط به ترکیبات انجام شد. تجزیه واریانس با کمک نرم افزار آماری MSTATC و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌های یازده صفت مورد ارزیابی در سه گونه مختلف آویشن نشان داد، بین گونه‌های مختلف آویشن از نظر طول ریشه، نسبت طول ریشه به طول اندام هوایی، وزن تر ریشه، نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و از نظر طول اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین تنش خشکی بر طول اندام هوایی و ریشه، نسبت طول ریشه به اندام هوایی، وزن تر ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری داشت. اثر متقابل گونه در شرایط آبیاری، در وزن تر ریشه و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و نسبت طول ریشه به طول اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. به عبارتی روند تأثیر تنش بر بروز صفات مذکور در گونه‌های مختلف یکسان نبود (جدول ۱). ضریب تغییرات نسبتا بالا و بین ۱۵/۵ درصد در طول اندام هوایی تا ۳۸/۴ درصد در نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی متغیر بود.

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس صفات در گونه‌های آویشن و سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات (Ms)					صفات / منابع تغییرات
گونه	تنش	گونه×تنش	خطا	ضریب تغییرات	
df = ۲	df = ۲	df = ۴	df = ۳۷	cv%	
37/4*	158/7**	6/7 ^{ns}	9/99	15/5	طول اندام هوایی (سانتی‌متر)
130**	133**	35 ^{ns}	20	18/2	طول ریشه (سانتی‌متر)
0/507**	1/3**	0/15*	0/06	19/4	نسبت طول ریشه به اندام هوایی
18/06 ^{ns}	5/49 ^{ns}	10/41 ^{ns}	13/1	25/0	وزن تر اندام هوایی (گرم)
0/69 ^{ns}	2/78 ^{ns}	1/02 ^{ns}	1/11	24/6	وزن خشک اندام هوایی (گرم)
0/01 ^{ns}	0/004 ^{ns}	0/01 ^{ns}	0/01	22/9	نسبت وزن خشک به وزن تر اندام هوایی
1/05 ^{ns}	0/10 ^{ns}	0/37 ^{ns}	—	—	درصد اسانس (/.)
۱۴/۸ ^{ns}	۱۴/۶ ^{ns}	۳/۹ ^{ns}	۷/۴	۴۴/۱	وزن تر ریشه (گرم)
0/13**	0/08*	0/01 ^{ns}	0/02	33/4	نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه
0/17**	0/07**	0/04 ^{ns}	0/02	38/4	نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی
0/80**	0/44**	0/19**	0/05	28/5	عملکرد اسانس (گرم)

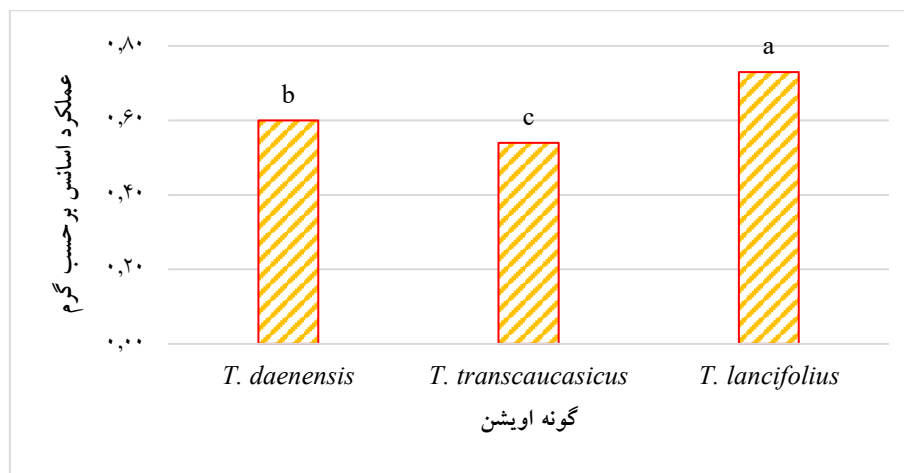
^{ns}، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند

مقایسه میانگین صفات نشان داد، گونه *T. transcaucasicus* با ۲۲/۵ و ۲۶/۳ سانتی‌متر بترتیب بلندترین طول اندام هوایی و طول ریشه را داشت. همچنین گونه *T. lancifolius* با یک درصد بالاترین و گونه *T. transcaucasicus* با ۰/۸ درصد پایین‌ترین میانگین درصد اسانس را داشتند (جدول ۲). از نظر میانگین عملکرد اسانس نیز گونه *T. lancifolius* با میانگین اسانس ۰/۷۳ گرم بیشترین و گونه *T. transcaucasicus* با میانگین اسانس ۰/۵۴ گرم کمترین میزان را داشت که نشان از عملکرد مناسب گونه *T. Lancifolius* نسبت به دو گونه دیگر آویشن داشت (شکل ۱).

جدول ۲: نتایج مقایسه میانگین صفات و شاخص‌های گیاهی معنی‌دار در سه گونه آویشن

<i>T. lancifolius</i>	<i>T. transcaucasicus</i>	<i>T. daenensis</i>	مقایسه میانگین صفات
19/8 ^b	22/5 ^a	20/5 ^{ab}	طول اندام هوایی (سانتی‌متر)
24/9 ^a	26/3 ^a	21/5 ^b	طول ریشه (سانتی‌متر)
1/3 ^{ab}	1/2 ^b	1/5 ^a	نسبت طول ریشه به اندام هوایی
1/0 ^a	۰/۹ ^{ab}	۰/۸ ^b	درصد اسانس
0/3 ^a	0/2 ^b	0/2 ^b	نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه
0/3 ^{ab}	0/4 ^a	0/2 ^b	نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱: مقایسه میانگین عملکرد اسانس در گونه‌های آویشن

ستون‌های دارای حروف مشابه تفاوت معنی‌دار ندارند.

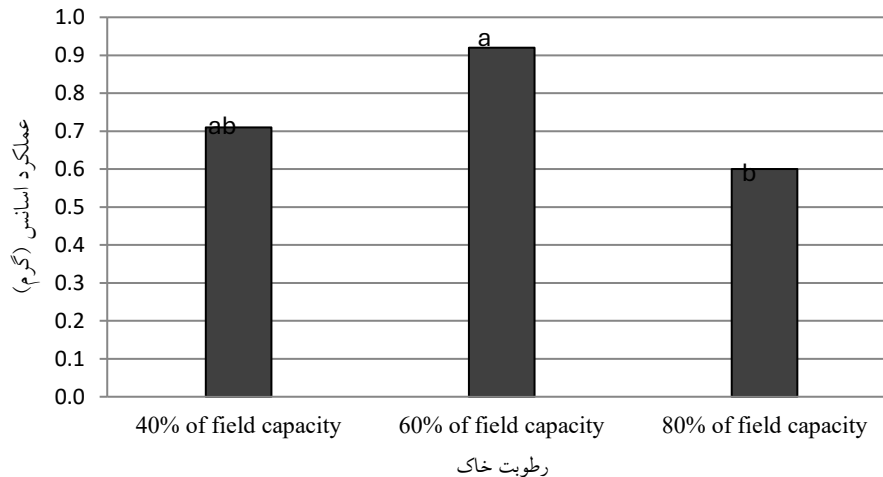
مقایسه میانگین صفات در شرایط مختلف آبیاری نشان داد، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید، هرچند با تیمار آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه در تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد، بالاترین میانگین مربوط به آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با مقدار ۰/۳ و کمترین آن مربوط به آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با مقدار ۰/۲۲ بود. از طرفی با کاهش میزان آبیاری و افزایش تنش، مقدار وزن خشک ریشه افزایش یافت (جدول ۳).

همچنین مقایسه میانگین عملکرد اسانس در سطوح مختلف آبیاری نشان داد، عملکرد اسانس در سطح رطوبتی ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به مقدار ۰/۹ بالاترین مقدار و در سطح رطوبتی ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به مقدار ۰/۶۲ درصد کمترین مقدار را داشت. به‌طوری که با افزایش میزان آبیاری و کاهش تنش، مقدار اسانس کاهش یافت (شکل ۲).

جدول ۳: نتایج مقایسه تأثیر سطوح آبیاری بر صفات مورد ارزیابی معنی‌دار در سه گونه آویشن

متغیرها	آبیاری در ۸۰ درصد	آبیاری در ۶۰ درصد	آبیاری در ۴۰ درصد
	ظرفیت زراعی	ظرفیت زراعی	ظرفیت زراعی
طول اندام هوایی (سانتی‌متر)	23/6 ^a	19/3 ^b	18/3 ^b
طول ریشه (سانتی‌متر)	22/1 ^b	27/3 ^a	24/9 ^{ab}
نسبت طول ریشه به اندام هوایی	1/0 ^b	1/4 ^a	1/4 ^a
وزن خشک اندام هوایی (گرم)	۳/۶ ^{ab}	۳/۳ ^b	۴/۱ ^a
نسبت وزن خشک به وزن تر ریشه	۰/۲۴ ^b	۰/۲۲ ^b	0/3 ^a
نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک اندام هوایی	0/4 ^a	0/3 ^b	0/3 ^b

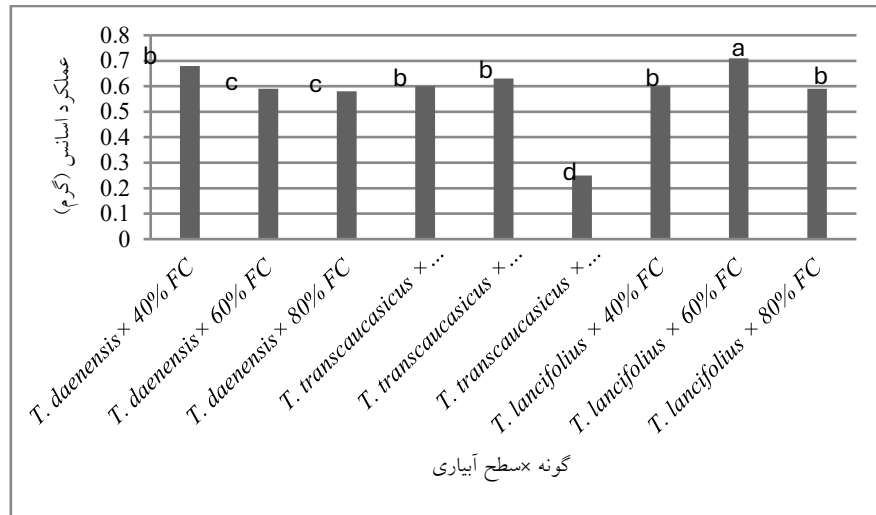
میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ردیف، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲: مقایسه میانگین عملکرد اسانس سه گونه آویشن در تیمارهای مختلف آبیاری

ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال خطای ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

نتایج بررسی اثر متقابل گونه در سطح آبیاری بر طول ریشه نشان داد، طول ریشه *T. transcaucasica* در آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با ۳۰ سانتی‌متر بیشترین و با *T. lancifolius* در آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفت. همچنین درصد اسانس *T. lancifolius* در سطح آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۱/۵۷ درصد بیشترین و درصد اسانس *T. transcaucasica* در آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۰/۴۳ درصد کمترین میزان را داشت. نتایج اثر متقابل گونه در سطح آبیاری در وزن خشک ریشه نشان داد، بیشترین مقدار وزن خشک ریشه در *T. transcaucasica* در سطح آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۱/۶۶ گرم بود که با *T. lancifolius* در همین تیمار آبیاری در یک گروه قرار گرفت. از نظر عملکرد اسانس *T. lancifolius* در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۰/۷۱ گرم بالاترین عملکرد اسانس را داشت (شکل ۳).



شکل ۳: نتایج اثر متقابل گونه در تیمار آبیاری بر عملکرد اسانس سه گونه آویشن

ستون‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال خطای ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴ درصد ترکیبات مختلف موجود در اسانس گونه‌های مختلف آویشن در تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. از بین ترکیب‌های شیمیایی موجود در اسانس، ۱۵ ترکیب با درصد بیش از ۵٪ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. مقادیر α -Pinene و sabinene در کلیه تیمارها کم بود. مقادیر α -thujene، myrcene، α -terpineol، α -terpinyl acetate و p-cymen (بجز در گونه *T. lancifolius*) در سطوح آبیاری در ۶۰ درصد و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش داشتند. همچنین بیشترین میزان e-caryophyllene در گونه *T. lancifolius* و به میزان ۷/۶ درصد و در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید. همچنین تمام ۱۵ ترکیب در کلیه سطوح آبیاری در گونه *T. lancifolius* مشاهده گردید. مقایسه میزان ترکیبات مهم در گونه‌های تحت بررسی نشان داد، بیشترین میزان لینالول در گونه *T. lancifolius* و در آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. بیشترین میزان ژرانیول در گونه *T. transcaucasicus* و آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و به میزان ۲۳ درصد مشاهده گردید. بیشترین میزان تیمول در گونه *T. daenensis* و بترتیب در آبیاری نرمال و سپس آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. این ترکیب در هر سه گونه و در آبیاری نرمال بیشترین درصد را داشت. پس از تیمول، بیشترین ترکیب در گونه *T. daenensis* کارواکرول و در هر سه سطح آبیاری بود. در گونه‌های *T. transcaucasicus* و *T. lancifolius* بیشترین ترکیب پس از تیمول، ژرانیول در آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود. بیشترین میزان کارواکرول در گونه *T. transcaucasicus* و در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ثبت رسید. میزان این ترکیب در تیمار آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی نیز قابل توجه بود (جدول ۴).

جدول ۴: درصد ترکیبات مختلف موجود در اسانس گونه‌های مختلف آویشن در سطوح مختلف آبیاری

<i>T. lancifolius</i>	<i>T. transcaucasicus</i>	<i>T. daenensis</i>	<i>T. lancifolius</i>	<i>T. transcaucasicus</i>	<i>T. daenensis</i>	<i>T. lancifolius</i>	<i>T. transcaucasicus</i>	<i>T. daenensis</i>	RI	ترکیبات اسانس
۳	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۱		
۱/۰	۲/۶	۳/۷	۰/۵	۲/۱	۱/۸	-	۰/۵	-	۹۳۲	α -Thujene
۰/۸	۰/۸	۱/۷	۰/۸	-	۰/۲	۰/۳	-	۰/۴	۹۴۰	α -Pinene
۴/۱	-	۰/۴	۱/۸	۱/۱	-	۱/۶	۰/۹	-	۹۷۵	Sabinene
۵/۱	۲/۲	۳/۱	۰/۹	۰/۴	۰/۱	۰/۵	-	۰/۷	۹۹۳	myrcene
۴/۸	۷/۶	۷/۴	۵/۲	۳/۵	۲/۰	۹/۲	۴/۸	۴/۱	۱۰۲۷	p-cymen
۴/۷	۲/۱	۵/۴	۵/۶	۴/۲	۸/۰	۲/۹	۵/۱	۷/۲	۱۰۳۸	1,8-cineole
۴/۰	۴/۹	۵/۴	۳/۷	۳/۱	-	۴/۲	۴/۸	۱/۰	۱۰۶۲	γ -Terpinene
۳/۸	۴/۱	۰/۷	۴/۹	۳/۰	۲/۰	۷/۱	-	۲/۰	۱۱۰۰	Linalool
۳/۲	۳/۸	۲/۰	۲/۸	۳/۶	۲/۰	۴/۲	۲/۹	۱/۸	۱۱۶۷	borneol
۱/۷	۳/۳	۴/۲	۳/۶	۴/۷	۷/۱	۱/۰	۲/۱	۳/۲	۱۱۸۰	α -Terpineol
۷/۵	۹/۸	۱/۱	۷/۹	۲۳/۲	۴/۱	۱۱/۹	۱۵/۴	۱/۲	۱۲۵۷	geraniol
۳۱/۰	۳۲/۶	۴۳/۹	۲۹/۲	۱۵/۱	۴۹/۲	۴۰/۷	۵۱/۴	۵۴/۲	۱۲۹۲	thymol
۴/۳	۲۱/۳	۹/۱	۲/۷	۲۵/۴	۷/۲	۷/۱	۳/۰	۹/۲	۱۶۰۱	carvacrol
۴/۲	۴/۳	۳/۷	۳/۷	۰/۶	۲/۰	۰/۷	۱/۲	-	۱۳۵۰	α -Terpinyl acetate
۵/۱	-	۳/۱	۷/۶	۲/۲	۴/۱	۳/۲	۲/۱	۲/۲	۱۴۲۱	e-Caryophyllene

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده وجود تنوع و تفاوت معنی‌دار گونه‌های تحت بررسی از نظر صفات مهم بود. همچنین نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی، باعث اختلاف معنی‌داری بر ارتفاع گیاه، طول ریشه، نسبت طول ریشه به طول اندام هوایی و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد در گونه‌های مختلف آویشن می‌شود. نتایج مشابهی توسط سایر محققین با تحقیق روی آویشن دنایی (۱۹، ۱۵)، آویشن کوهی (۲۲، ۱۶) و همچنین آویشن باغی گزارش شده است (۴). نسبت طول ریشه به اندام هوایی با کاهش میزان آبیاری به طور قابل توجهی افزایش یافت، زیرا در شرایط کم آبی رشد اندام هوایی از رشد ریشه حساس‌تر است (۷). در این تحقیق بیشترین مقدار اسانس در تیمار آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بدست آمد که مشابه نتایج برخی محققان بود. آنان نشان دادند، بازده اسانس گیاهان دارویی به میزان قابل توجهی

در تنش خفیف (حدود ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) افزایش می‌یابد. اما با کاهش رطوبت به ۴۰ درصد، محتوای اسانس کاهش می‌یابد (۴).

کمترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار آبیاری نرمال بود. کاهش عملکرد اسانس در نتیجه افزایش رطوبت ممکن است ناشی از اثر تامین آب بر رشد پیکر رویشی گیاه و کاهش نسبت اسانس در آن باشد. از طرفی چون عملکرد اسانس تابعی از درصد اسانس و عملکرد گیاه است، بنابراین اگر چه در شرایط تنش خشکی درصد اسانس افزایش یافت، ولی به دلیل کاهش عملکرد گیاه، در کل عملکرد اسانس در شرایط تنش خشکی کاهش داشت. مشابه این پژوهش، نتایج یافته‌های قبلی نیز نشان داد که تنش ملایم خشکی سبب افزایش میزان اسانس در گیاهان مرزه تابستانه *Satureja hortensis* (۱)، زوفا (۲) و گونه‌های آویشن (۳۵، ۹) می‌گردد. بنابراین به نظر می‌رسد تنش خشکی ملایم با تحریک و افزایش فضاهای تولید اسانس و همچنین دخالت در تخصیص فرآورده‌های فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه، سبب افزایش عملکرد اسانس شود. ولی در تنش شدید به دلیل کاهش تولید متابولیت‌های اولیه و اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی و کاهش فعالیت‌های آنزیمی و متابولیسمی، سنتز متابولیت‌های ثانوی کاهش یافته و انرژی گیاه صرف حفظ بقای خود می‌شود. در نتیجه میزان اسانس گیاهان کاهش می‌یابد (۲۷، ۲۲).

این مطالعه نشان داد، میزان اسانس تولیدی و نوع ترکیبات موجود در اسانس تحت تاثیر نوع گونه و سطح آبیاری تغییر کرده است. بررسی سایر محققین نیز نشان داد که نوع گونه گیاهی می‌تواند سبب کاهش، افزایش و یا عدم تغییر در میزان ترکیب‌های موجود در اسانس گیاهان شود. این واکنش‌های متفاوت ناشی از تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی هستند که تاثیر قابل توجهی بر سنتز این متابولیت‌ها داشته و موجب تنوع زیادی در نوع و مقدار ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاهان دارویی و معطر می‌شوند (۶، ۱۵، ۲۱).

در شرایط مزرعه گیاهان معمولاً دچار تنش می‌شوند و شناخت میزان تحمل هر گیاه و گیاهان مقاوم به خشکی می‌تواند اصلی‌ترین برنامه در کشاورزی باشد. در شرایط کشور ما که آب و اولویت مصرف آن توسط محصولات مهم است، توانایی گیاه در مقابله با تنش خشکی اهمیت اقتصادی فراوانی دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد گونه‌های آویشن مانند بیشتر گیاهان به شرایط تنش عکس‌العمل فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نشان می‌دهند و در نهایت با توجه به راندمان تولید اسانس و ترکیبات موثر در گونه‌های ذکر شده می‌توان از آنها جهت کشت و افزایش بازده کیفی و کمی اسانس استفاده کرد (۷).

میزان کارواکرول در گونه *T. transcaucasicus* در شرایط آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بطور معنی‌داری افزایش داشت. این موضوع امکان تولید کارواکرول در شرایط تنش محدود را در این گونه نشان می‌دهد. در گونه‌های آویشن گزارشات مشابهی در خصوص بالاتر بودن میزان تیمول و کارواکرول در شرایط تنش ملایم نسبت به شرایط آبیاری نرمال گزارش شده است (۴، ۲۰، ۱۷). کارواکرول یک منوترپن فنلی با بوی تند و گرم استوایی است که در برخی از گیاهان خانواده نعنا یافت می‌شود. دارای اثرات ضد میکروبی، ضدسرفه، خلط آور و ضد آسم است. اثر ضد باکتریایی آن همراه با خواص آنتی اکسیدانی و عطر مطبوعی که این ماده به مواد غذایی می‌بخشد، آنرا به عنوان یک افزودنی مهم مطرح نموده است (۱۰).

در نهایت با توجه به راندمان تولید اسانس و درصد ترکیبات مهم و موثر همچون تیمول و کارواکرول، گونه *T. daenensis* به عنوان گونه برتر و شرایط تنش ملایم آبی (آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان بهترین شرایط آبیاری انتخاب شدند. همچنین در گونه *T. daenensis* و *T. lancifolius* درصد ترکیب مهم تیمول در شرایط آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی کاهش زیادی نسبت به آبیاری در شرایط نرمال نداشت، لذا می‌توان این دو گونه را برای آزمایشات بیشتر جهت تحمل به شرایط تنش خشکی کاندید نمود.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافی ندارند.

فهرست منابع

۱. امیری، ح.، قاسمی رمضان آباد، ز. ۱۳۹۷. بررسی اثر تنش شوری بر ترکیب‌های شیمیایی اسانس گیاه مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri*). پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، ۳۱(۲)، ۲۴۸-۲۵۷.
۲. خوش اقبال قرابایی، ف.، قاسمی پیربلوطی، ع.، انتشاری، ش. و داورپناه، ج. ۱۳۹۹. اثرات کمی و کیفی تنش خشکی بر ترکیبات شیمیایی اسانس زوفا (*Hyssopus officinalis*). پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، ۳۳(۲)، ۳۵۶-۳۴۹.
۳. طالبیان، ز.، جعفری، ع.، زینلی، ح. و یوسفی نژاد، م. ۱۳۹۵. مطالعه مورفومتریکی ۱۴ گونه جنس آویشن (*Thymus L. Lamiaceae*) در ایران. پژوهش‌های گیاهی (زیست‌شناسی ایران)، ۲۹(۱)، ۹۶-۱۰۶.
4. Babaee, K., Amini Dehaghi, M. and Modares Sanavi, S.A.M. 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, Vol. 26, No. 2, 2010. 240-251. (In Persian).
5. Bahreininejad, babak, & razmjoo, j. 2014. Effects of water stress on physiological growth indices and phonological traits in *Thymus kotschyanus* boiss.. Journal of plant process and function, 3(7), 67-79. Sid. <https://sid.ir/paper/234199/en>.
6. Baser, K.H.C., Demirci, B., Krimer, N., Satil, F. and Tumen, G. 2002. The esential oils of *Thymus migricus* and *T. fedtschenkoi* var. *handelii* from Turkey. Flavour and Fragrance Journal. 17: 41 -45.
7. Bayati, P., Karimmojeni A. and Razmjoo J. 2020. Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. Industrial Crops and Products, Vol. 155, 180-193. (In Persian).
8. British pharmacopoeia. 1988. British pharmacopoeia. Vol. 2, London: HMSO, 137-138.
9. Ezz El-Din, A., Aziz, E., Hendawy, S. and Omer, E. 2009. Response of *Thymus vulgaris* L. to salt stress and alar (B9) in newly reclaimed soil. Journal Applied Science Research, 5(12): 2165-2170.
10. Fachini-Queiroz, F.C., Kummer, R., Estevao- Silva, C.F., Bersani-Amado, C.A. and Cuman, R.K.N. 2012. Effects of thymol and carvacrol, constituents of *Thymus vulgaris* L. essential oil on the inflammatory response. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine.
11. FAO. 2021. Global Soil Partnership. Soil Salinity. Available at <http://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/soil-salinity/en>.
12. Gaballah, MM., Metwally, AM., Skalicky, M., et al., 2021. Genetic diversity of selected rice genotypes under water stress conditions. Plants 10, 27.

13. Ghasemi Pirbalouti, A., Emami Bistghani, F., 2015. An overview on genus *Thymus*. Journal of Herbal Drugs, Vol. 6, No. 2: 93-100.
14. Ghiaci Yekta, M., Khalighi Sigaroodi, F. and Bahadori, F. 2019. Comparative Evaluation of the Essential Oils Derived from Aromatic Waters of Three Thyme Species Cultivated in Semnan. Journal of Medicinal Plants, 18(69), 175-184. (In Persian).
15. Golestani, M. 2020. Evaluating the relationships among traits in thyme (*Thymus daenensis* subsp. *daenensis*) ecotypes under non-stress and drought stress conditions. Journal of crop ecophysiology agriculture science. 13(4 (52)), 517-534. Sid. <https://sid.ir/paper/182872/en>. (In Persian).
16. Habibi, H., Mazaheri, D., Majnoun Hosseini, N., Chaeichi, M.R. and Fakhr Tabatabaei, M. 2007. Effect of altitude on essential oil and components in wild thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss) taleghan region. Pajouhesh-Va-Sazandegi, 19(4 (73 in agronomy and horticulture)), 2-10. (In Persian).
17. Haji Aghaei, R., Alavi, S. H., Rezazadeh, Shams A., et al. 1388. Identifying the chemical composition of essential oils of Caucasian thyme (*Thymus caucasicus*) and Tbilisi thyme (*Thymus transcaucasicus*) and investigating their antimicrobial activity. Tehran, Iran: Academic Jihad Centers. <https://sid.ir/paper/789594/fa>
18. Karimi, Z., hoshmand, S., Mohammadkhani, A.A., Yousefzadeh, K. 2017. Effect of harvesting time on quantity and quality of essential oil in *Thymus lancifolius* and *T. Armeniacus*. Eco-phytochemical journal of medical plants, 5(1 (17)), 40-51. Sid. <https://sid.ir/paper/247885/en>. (In Persian).
19. Khorrami, M., Alizadeh, A., Norozenjad, M. and Rahmani, R. 2018. Review and comparison of the constituent compounds of *Thymus aenensis* Celak. Subsp. *daenensis* and garden thyme *Thymus vulgaris* L. National conference of new ideas in agriculture. 26-31.
20. Khoshokhan, F., Babalar, M., Pourmeidani, A. and Fatahi MR. 2015. Antioxidant activity, total phenolics and oil content of some *Thymus kotschyanus* and *Thymus daenensis* populations. 2015. Plant Production Technology. Volume 7, Issue 1, Pages 153-162.
21. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M. and Azizi, G., 2004. The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. Iranian Agricultural Research. Vol. 2. 89-105. (In Persian).
22. Lebaschy, M. H., Sharifi ashoor abadi, A. 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research Vol. 20 No. (3), 249-261. (In Persian).
23. Makarova N.V., Tsichonova, V.L. and Ughivenko, V.V. 2013. Research method for introduction of medicinal plants in to culture. Inform. Bull. CBNIT Lekarstvennuh Rasteniovod. VILP, Moscow. 3, pp.32.
24. Mehran, M., Hosseini, H., Hatami, AR., Taghizade, M. and Safaei, AR. 2016. Investigation of seven species of essential oils of thyme and comparison their antioxidant properties, Journal Medicinal Plants, 15 (58):134-140. (In Persian).
25. Meteorological year book. 2022. Publications of the Meteorological Organization of the Islamic Republic of Iran. (In Persian).
26. Morales, R. 2002. The History, Botany and Taxonomy of the Genus *Thymus*. CRC Press, 43p.
27. Nejad, H., Vash, F. and Daneshgar, M. 2018. Changes in the essential oil of thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) in different growth stages. Plant Research (Biology of Iran), 32(2).
28. Nikvar, B., Mojab, F. and Dolat- Abadi, R. 2005. Analysis of the essential oils of *Thymus* species from Iran. Food Chemistry, 90: 609 – 611.

29. Pourmeidani, A., Jafari, A.A. and Mirza M. 2017. Studying drought tolerance in *Thymus kotschyanus* accessions for cultivation in dryland farming and low efficient grassland. Journal of Rangeland Science. 2017. Volume 7 , Number 4 ; Page(s) 331- 340.
30. Pourmidani, A., Madah Arefi, H., Jafari, A. A., Torabi, S. and Mirza, M. (2016). Evaluation of the stability of essential oil yield of different populations of mountain thyme (*Thymus kotschyanus*) in different regions of Iran using GGE biplot method. Genetic research and improvement of pasture and forest plants of Iran, 24(2): 276- 287. (In Persian).
31. Sajjadi, S. E. & Khatamsaz, M. 2003. Composition of the essential oil of *Thymus daenensis* Celak. Subsp. *lancifolius* (Cleak.) J. Essen Oil Res. 15: 34-35.
32. Salguerio, L. R., Vila, R., Tomi, F., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G. Caniguel, S., Casanova, J., Cunha, A. P. & Azadet, J. 1997a. Competition and variability of the essential oil of *Thymus caespitius* From Portugal. Photochemistry 45: 307-311.
33. Shahroudi E., Zarinkamar F. and Rezayian M. 2023. Putrescin modulates metabolic and physiological characteristics of *Thymus daenensis* under drought stress. Scientia Horticulturae. 321(1). 213-222.
34. Sefidkon, F., Rahimi Bidgoli A. 2013. Quantitative And Qualitative Variation Of Essential Oil Of *Thymus kotschyanus* By Different Methods Of Distillation And Stage Of Plant Growth. Iranian Journal Of Medicinal And Aromatic Plants, 2013 , Volume - , Number 15; Page(s) 1 - 22. (In Persian).
35. Sepahvand, A., Khademi, K., Asteraki, H. and Mohammadian, A. 2015. Investigating the effect of density on the yield and yield components of thyme (*Thymus lancifolius* Celak.) in the dry conditions of Lorestan province. Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research. 32 (6(80)). 988-997. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=473013>. (In Persian).
36. Zarezadeh, A., Mirhosseini, A., Mirza, M., Jamzad, Ziba and Arabzadeh, M. 2015. Investigating the quantity and quality of essential oil extracts of mountain thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) cultivated in Yazd province. Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(6 (80)): 937-947. (In Persian).

The effect of drought stress on the morphological characteristics, yield and composition of essential oils of three thyme species

Abbas Pourmeidani*, Hossein Bagheri, Hossein Tavakoli

Research Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qom, Iran.

* Corresponding author: abbas.pourmeidani@gmail.com

Abstract

Since lack of water is one of the most important factors limiting the development of medicinal plants in arid and semi-arid regions, this research aims to evaluate the effect of drought stress on the characteristics of three thyme species *Thymus daenensis*, *T. transcaucasicus* and *T. lancifolius* was carried out at Pardisan Agricultural Research Station of Qom under greenhouse conditions. The experiment was conducted in the form of completely randomized design (CRD) and factorial with five replications (pots). The first factor included the seeds of three types of thyme and the second factor included irrigation treatments at 80 (normal irrigation), 60 and 40 percent of soil moisture capacity. The results of data variance analysis showed that the application of drought stress had a significant effect on all morphological traits, yield and essential oil composition. The highest length and fresh weight of shoot and yield were in the treatment of 80% of the crop capacity and the lowest in the irrigation treatment at 60% of the crop capacity. The highest amount of essential oil with the amount of 1.1% and the highest yield of essential oil with the amount of 0.9 grams per plant was in the irrigation treatment at 60% of the crop capacity. *T. lancifolius* had the highest yield of 0.73 grams and *T. transcaucasicus* had the lowest yield of essential oil with 0.54 grams per plant. The highest composition in *T. daenensis* species of Timol was in normal irrigation and irrigation at 60% of crop capacity. The most compound in *T. transcaucasicus* species included thymol and carvacrol (normal irrigation and 60% of crop capacity). The most compound in *T. lancifolius* species also included thymol (normal irrigation and in 40% of agricultural capacity). Finally, according to the efficiency of essential oil production and the percentage of important and effective compounds such as thymol and carvacrol, *T. daenensis* species were selected as the superior species and mild water stress conditions (irrigation at 60% of crop capacity) were selected as the best irrigation conditions.

Keywords: Thymus, drought stress, essential oil compounds.