



"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تغییرات در اسانس اکوتیپ‌های گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum copticum L.*) تحت تنش خشکی

آزاده کریمی افشار^۱، غفار کیانی^۲، حمید نجفی زرینی^۲ و امین باقی‌زاده^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، (نویسنده مسؤول: azadehkarimi.a@gmail.com)

۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

۳- دانشیار، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفت و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفت کرمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۲

صفحه: ۴۱ تا ۵۰

چکیده

زنیان (*L. Trachyspermum copticum*) یکی از گیاهان با ارزش دارویی خانواده چتریان در مناطق نیمه‌خشک ایران است و از نظر تولید اسانس حاوی متابولیت‌های ثانویه به‌ویژه تیمول اهمیت است. بهمنظور تعیین نمایه متابولیتی زنیان تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کامل تصادف با سه تکرار طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۶) در ایستگاه مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی کرمان انجام شد. عامل اصلی در دو سطح شامل آبیاری معمولی و تنش خشکی و عامل فرعی شامل ۳۶ اکوتیپ زنیان متعلق به ۹ استان مختلف کشوف بود. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب، تنش خشکی بر اجزاء اسانس تاثیر معنی‌دار داشت. نتایج به‌دست آمده از گاز کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی نشان داد که تیمول، پاراسیمن و گاما تریپن از بین ۱۳ ترکیب شناسایی شده، اصلی فاصله زمان آبیاری طی تراکمی نشان داد که بودند. بر اساس نمودار فاصله با تیمول بالا و اکوتیپ‌ها با پاراسیمن بالا شناسایی شد. در این مطالعه افزایش فاصله زمان آبیاری طی مرحله گل‌دهی به‌عنوان یک استراتژی برای بهبود ترکیبات دارویی برخی اکوتیپ‌های زنیان موثر بود. به‌طور کلی، اکوتیپ با منشأ زابل با توجه به داشتن محتوای بالای تیمول به‌ویژه در شرایط تنش خشکی به‌عنوان اکوتیپ مناسب برای کشت دید و کشت در مناطق که خشکی در پایان فصل رشد اتفاق می‌افتد پیشنهاد می‌شود. به علاوه اکوتیپ‌های زابل و محمدیه به‌عنوان اکوتیپ‌های کوانه‌ای پاسخ به تنش خشکی در مرحله زایشی شناسایی شدند و توصیه می‌شود در برنامه‌های به‌عنوان گیاه دارویی زنیان در نظر گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تیمول، خشکی، زنیان، گاز کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی

(۱۷، ۲۵). در مطالعه پاسخ آویشن به تنش خشکی، مشخص شد که برخی جمعیت‌ها با افزایش ترکیبات به‌ویژه تیمول، کیفیت اسانس را بهبود دادند (۲۹). تنش خشکی از طریق افزایش یا کاهش سطح بیان ژن‌های مسئول بیوسنتر متابولیت‌های ثانویه، الfa و یا ممانعت از بیان ژن‌های خاص، بر روی ترکیبات و مقدار متابولیت‌های ثانویه گیاه تاثیر می‌گذارد (۱۴، ۲۶). علی‌رغم اهمیت گیاه زنیان از نقطه نظر دارویی و همچنین کاشت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌نظر می‌رسد تاکنون گزارشی از نمایه متابولیتی اسانس بذر زنیان به‌ویژه تحت تنش خشکی ارائه نشده و بیشتر مطالعات گذشته بر روی تعداد محدود اکوتیپ زنیان بومی هندوستان، مصر و ایران صورت گرفته است (۱۵). در بررسی زرشناسی و همکاران (۱۴) تیمول، پاراسیمن و گاما تریپن به‌عنوان اجزای اصلی اسانس زنیان معرفی شدند و میزان تیمول در ۱۰ نمونه بومی ایران ۰/۴ تا ۳۵/۳٪ درصد و میزان پاراسیمن و گاما تریپن در ۴ نمونه ۰/۴ تا ۵۷/۳٪ گزارش شد. با توجه به اهمیت گیاه دارویی زنیان در صنایع غذایی و داروسراسی و همچنین محدودیت منابع آبی مناطق خشک و نیمه‌خشک این تحقیق قصد دارد تا ضمن شناسایی متابولیت‌های ثانویه اکوتیپ‌های مختلف زنیان، اکوتیپ‌هایی که از نظر اسانس در شرایط تنش خشکی دارای مزیت‌اند را شناسایی و معرفی نماید تا راه را برای تحقیقات جهت انجام

مقدمه

زنیان (*Trachyspermum copticum*) از خانواده *Carum Copticum* گیاهی علفی و مترادف یکساله که به‌حالت خودرو در نواحی شرقی هند، ایران، پاکستان و مصر می‌روید (۷، ۱۱). اهمیت گیاه زنیان به‌علت اسانس و ترکیبات موجود در اسانس آن است. در گزارشات زیادی به نقش اسانس زنیان به‌عنوان ادویه غذایی اشاره شده است و بهدلیل داشتن خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد قارچ و ضد باکتری که مرتبط با تیمول است، معرفی اکوتیپ با مقدار تیمول بالا به‌عنوان یک هدف اصلی در صنایع غذایی و دارویی دارد اهمیت می‌باشد (۳۲، ۳۳).

ایران با متوسط بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. از طرف دیگر ایران از نقطه نظر پوشش و تنوع گیاهی دارای منابع بی‌نظیری است و این تنوع می‌تواند پایه گزینش برای به‌زندادی به‌منظور انتخاب برترین توده برای کشت، در نظر گرفته شود (۳۴). در زمینه تولید گیاهان دارویی، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها تولید گیاه با کیفیت بالا است، چرا که هدف نهایی از کشت گیاهان دارویی استخراج متابولیت‌های ثانویه و استفاده از آن‌هاست (۱۰). مطالعات بر روی گیاهان دارویی، نشان داد که تنش خشکی با کاهش و یا افزایش متابولیت‌های ثانویه باعث تغییر در کیفیت اسانس می‌شود

۸/ میلی‌متر در دقیقه استفاده گردید. برنامه حرارتی دو دستگاه مشابه انتخاب شد. ظرفیت الکترونیکی شناساگر eVIE ۷۰ بود. شناسایی طیفها به کمک شاخص بازداری آن‌ها و با تزریق هیدروکربن‌های نرمال (C7-C25) تحت شرایط یکسان و مقایسه آن با مقایسه طیف‌های جرمی با پیشنهاد کتابخانه دستگاه GC/MS صورت گرفت.

تجزیه واریانس مرکب بر پایه طرح بلوك کامل تصادفی و مقایسه میانگین داده‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در SAS (version 9.1) سطح ۵ درصد و با استفاده از نرمافزار Minitab (Ver. 17) انجام گرفت. جهت بررسی تغییر در کیفیت انسس بعد از اعمال تشکیل، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام و نمودار بای‌پلاس بر اساس ۲ مؤلفه اصلی با کمک نرمافزار Minitab (Ver. 17) ترسیم شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از GC-MS، تمامی ۱۳ ترکیب شناخته شده انسس جزو مونوتربین‌ها بودند. نتایج تجزیه واریانس مرکب ترکیبات تشکیل دهنده انسس نشان داد که اثرات اصلی آبیاری، اکوتیپ و همچنین اثر مقابل آبیاری در اکوتیپ اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (۰/۰۱ کم) داشتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر مقابل آبیاری در اکوتیپ بیشترین میزان پاراسیمن را در اکوتیپ محمدیه با میانگین ۴۱/۳۵ و کمترین میزان را در اکوتیپ زاوه تحت شرایط نرمال با میانگین ۹/۱ نشان داد. در شرایط آبیاری نرمال پاراسیمن به عنوان اصلی ترین ترکیب انسس اکوتیپ‌های محمدیه (۴۱/۳۵٪)، جوپار (۳۸/۷٪) و مشهد (۳۵/۹٪) و در شرایط تشکی به عنوان اصلی ترین ترکیب انسس ژنوتیپ‌های محمدیه و جوپار (۳۵/۸٪) شناسایی شد. بررسی اثر مقابل آبیاری و اکوتیپ نشان دهنده آن است که در بین تیمارها، اکوتیپ میبد در تشکی بالاترین میزان گاما‌ترین را داشت (۳۴/۹۲٪) و کمترین مقدار آن مربوط به اکوتیپ بجنورد تحت شرایط نرمال (۸/۶٪) بود. نتایج مقایسه میانگین اثر مقابل آبیاری در اکوتیپ، بالاترین میزان تیمول را در اکوتیپ زابل تحت تشکی با میانگین ۷۲/۹۶٪ و کمترین را در اکوتیپ محمدیه تحت تشکی نرمال با میانگین ۱۹/۰٪ نشان داد (جدول ۳).

در مطالعات دیگران تعداد ترکیبات موجود در انسس زنیان بین ۱۲ تا ۱۷ مورد گزارش شده و اغلب تیمول، پاراسیمن و گاما‌ترین به عنوان اصلی ترین عناصر انسس زنیان معرفی شده‌اند (۲۸, ۱۶, ۱۲٪). این در حالی است که شجاع الدینی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کارواکرول، گاما‌ترین و پاراسیمن اصلی ترین ترکیبات انسس زنیان آفریقاًی می‌باشند (۳۱). همچنین زید و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که آلفاترین و سیمن اصلی ترین ترکیبات انسس زنیان تحت شرایط نرمال رطوبتی و تشکی بودند.

پروژه‌های اصلاح بذر و تولید رقم برای مناطق دیم و رقم با سطح تیمول بالا هموار سازد.

مواد و روش‌ها

اکوتیپ‌های زنیان از مناطق رویشگاه‌های طبیعی آن در استان‌های مختلف (توسط کلیدهای معتبر رده‌بندی گیاه‌شناسی) شناسایی و جمع‌آوری شدند. اکوتیپ زنیان متعلق به ۹ جمعیت جمع‌آوری شده از استان‌های مختلف ایران به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوك کامل تصادفی شامل دو عامل رژیم آبیاری متفاوت به عنوان عامل اصلی و ۳۶ اکوتیپ به عنوان عامل فرعی با ۳ تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی کرمان واقع شده در در ۳۰ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۹۶۹ متر از سطح دریا طی سال‌های ۹۶-۹۵ کشت شدند (جدول ۱).

بذور در کرت‌ها به طول ۲ متر و عرض ۱ متر کاشت شدند. فاصله ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف از هم ۵ سانتی‌متر تنظیم شد. کشت به صورت پاییزه و در اوایل دی‌ماه صورت گرفت.

آبیاری مزرعه در هر دو شرایط آبیاری نرمال و تنش تشکی تا مرحله ۵٪ گلدهی به طور مشابه انجام شد. از مرحله ۵٪ گلدهی به بعد، دور آبیاری تا زمان برداشت برای شرایط نرمال هر ۷ روز یکبار و برای شرایط تنش تشکی هر ۱۴ روز یکبار اعمال شد. در هر سال بعد از برداشت، بذر هر تیمار جدأگانه خشک و سپس انسس با استفاده از روش تقطیر با آب و به کمک دستگاه کلونجر به مدت ۴ ساعت از ۱۰ گرم بذر خشک شده و ساییده شده استخراج گردید. انسس به دست آمده توسط سولفات سدیم رطوبت‌زدایی شد (۷). تجزیه و شناسایی ترکیب‌های انسس توسط دستگاه‌های GC (گاز کروماتوگرافی) و GC/MS (گاز کروماتوگرافی متصل به طیفسنج جرمی) انجام گرفت. در ابتدا انسس‌ها به دستگاه GC تزریق و سپس درصد هر ترکیب با توجه به سطح زیر منحنی آن در طیف کروماتوگرام با روش نرمال کردن سطح منحنی و بدون محاسبه عامل تصحیح محاسبه گردید و پس از یافتن برنامه مناسب حرارتی ستون برای جداسازی کامل ترکیب‌های انسس و تعیین درصد و زمان بازداری هر ترکیب، انسس‌ها به دستگاه گاز کروماتوگرافی متصل به طیفسنج GC/MS تزریق شدند و طیف جرمی ترکیب‌ها مشخص گردید.

دستگاه GC/MS مدل Agilent با ستون مویینه‌ی HB-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۰۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر بود. برنامه دمایی ستون بدین شرح تنظیم شد: دمای ابتدایی آون ۵۰ درجه سانتی‌گراد، توقف در این دما ۵ دقیقه، دمای انتهایی آون ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و توقف در این دما ۳ دقیقه و گرادیان حرارتی ۴ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه بود. دمای آتاک تزریق ۲۹۰ درجه سانتی‌گراد و از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان

جدول ۱- اکوئیپ‌های جمع‌آوری شده از نه استان کشور

Table 1. List of 36 collected ajowan ecotypes from nine different provinces of Iran

ردیف	استان	شهرستان (اکوئیپ)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	کرمان	کوهبنان	۱۹۹۰	۵۶ ۱۶ E	۳۱ ۲۴ N
۲	کرمان	جویار	۱۸۸۵	۵۷ ۷ E	۳۰ ۳ N
۳	کرمان	راور	۱۱۸۵	۵۶ ۴۷ E	۳۱ ۱۶ N
۴	کرمان	بردسیر	۲۰۳۶	۵۶۳۴ E	۲۹ ۵۶ N
۵	کرمان	راین	۲۲۰۱	۵۷ ۲۶ E	۲۹ ۳۵ N
۶	کرمان	ماهان	۱۸۹۰	۵۷ ۱۶ E	۳۰ ۳ N
۷	کرمان	رفستجان	۱۵۴۱	۵۵ ۵۹ E	۳۰۲۱ N
۸	بزد	میبد	۱۶۱۳	۵۴ ۲۲ E	۳۰ ۲ N
۹	بزد	شاهدیه	۱۲۱۵	۵۴ ۲۰ E	۳۱ ۵۴ N
۱۰	بزد	صدوق	۲۰۹۱	۵۳ ۲۸ E	۳۲ ۱ N
۱۱	بزد	بزد	۹۹۲	۵۵ ۲۴ E	۳۱ ۳۶ N
۱۲	بزد	اردکان	۱۰۱۱	۵۳ ۵۷ E	۳۲ ۲۱ N
۱۳	فارس	سروستان	۱۵۴۷	۵۳ ۱۳ E	۲۹ ۱۶ N
۱۴	فارس	فسا	۲۱۱۸	۵۲ ۱۶ E	۳۰ ۳ N
۱۵	فارس	مرودشت	۱۷۴۰	۵۴ ۲ E	۲۹ ۷ N
۱۶	اصفهان	فلاورجان	۲۵۸۹	۵۰ ۱۸ E	۳۳ ۱ N
۱۷	اصفهان	نجف آباد	۱۱۵۴	۵۲ ۲۲ E	۳۳ ۲۳ N
۱۸	اصفهان	تاین	۱۵۶۰	۵۳ ۵ E	۳۲ ۵۰ N
۱۹	اصفهان	سیمیرم	۲۳۳۱	۵۱ ۳۴ E	۳۱ ۲۳ N
۲۰	خراسان شمالی	بچنورد	۱۰۶۹	۵۷ ۱۹ E	۳۷ ۲۸ N
۲۱	خراسان شمالی	گرمه	۶۷۵	۵۶ ۴۴ E	۳۷ ۳۹ N
۲۲	سیستان و بلوچستان	زابل	۴۸۰	۶۱ ۴۹ E	۳۱ ۰۲ N
۲۳	سیستان و بلوچستان	زاهدان	۱۳۸۵	۶۰ ۸۹ E	۲۹ ۴۷ N
۲۴	خراسان جنوبی	فردوس	۱۲۹۳	۵۸ ۱۷ E	۳۴ ۰۱ N
۲۵	خراسان جنوبی	قاین	۱۴۳۲	۵۹ ۱۸ E	۳۳ ۷۳ N
۲۶	خراسان جنوبی	سریشه	۱۸۳۹	۵۹ ۸۱ E	۳۲ ۵۹ N
۲۷	خراسان جنوبی	بشرویه	۸۸۰	۵۷ ۴۳ E	۳۳ ۸۶ N
۲۸	خراسان جنوبی	بیرجند	۱۴۹۱	۵۹ ۲۱ E	۳۲ ۸۷ N
۲۹	مرکزی	شازند	۱۹۲۰	۴۹ ۴۲ E	۳۳ ۹۳ N
۳۰	مرکزی	اراک	۱۷۳۵	۴۹ ۴۲ E	۳۴ ۵ N
۳۱	مرکزی	خمن	۱۸۳۰	۵۰ ۰۵ E	۳۳ ۶۳ N
۳۲	خراسان رضوی	چهاران	۱۶۱۰	۵۹ ۱۱ E	۳۶ ۶۴ N
۳۳	خراسان رضوی	محمدیه	۱۳۱۵	۵۸ ۲۱ E	۳۵ ۱۵ N
۳۴	خراسان رضوی	زاوه	۱۷۵۰	۵۹ ۷۲ E	۳۵ ۲۶ N
۳۵	خراسان رضوی	گناباد	۱۱۵۰	۵۸ ۶۷ E	۳۴ ۳۵ N
۳۶	خراسان رضوی	مشهد	۱۰۵۰	۵۹ ۵۷ E	۳۶ ۳۰ N

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب ترکیبات اسانس اکوتبپ‌های مختلف زیان

Table 2. Results of combined analysis variance of composition of essential oils for ajowan different ecotypes

متابع تغییر	درجه آزادی	الفاتوجن	الفایپن	الفایپن	بنایپن	بنایپرسن	الفاترپین	بنایلاندنر	پاراسیمن	گاماترپین	بتاچون	ترپنول	پولگون	تیمول	کارواکرول
سال	۱	۰/۸۱**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱**	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۱۲**
بلوک در	۴	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷
سال	۱	۴/۹**	۲/۸**	۲/۴/۳**	۱۵/۲**	۲۴/۳**	۳/۹**	۰/۳۶**	۰/۳۴**	۰/۳۴**	۰/۲۹**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**
آبیاری	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷
سال در	۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
آبیاری	۱	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
خطای a	۴	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
اکوتپ	۳۵	۰/۳۶**	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**	۰/۳۱**
آبیاری در	۳۵	۰/۰۳**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۴**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۳**	۰/۰۳**
اکوتپ	۳۵	۰/۰۹**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**	۰/۱۱**
سال در	۳۵	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**
اکوتپ	۳۵	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**
سال در	۳۵	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**
آبیاری در	۳۵	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**
اکوتپ	۳۵	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۱**

*، ** و ns به ترتیب وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد احتمال و عدم وجود اختلاف معنی دار.

جدول -۳- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در اکو تیپ برای ترکیبات اصلی اسانس (تیمول، گاما-ترپین و پاراسیمن)

Table 3. Means comparison of irrigation*ecotypes interval effects for main composition of essential oils (Thymol, Gama-terpinene and p-Cymene)

زمان بازداری	پاراسیمن		گاما-ترپین		تیمول	
	۱۰۲۵	۱۰۵۷	۱۰۵۷	۱۲۹۰		
فرمول	C _۱ .H _{۱۴}	C _۱ .H _{۱۶}	C _۱ .H _{۱۴} O			
تیمار	نرمال	تنش	نرمال	تنش	نرمال	تنش
۱	۱۹/۸ k-m	۱۷/۵ o-r	۳۲/۱ a-c	۳۱/۲ a-c	۳۵/۹ z	۳۷/۸ yz
۲	۳۸/۷ b	۳۵/۸ c	۱۹/۲ k-s	۱۷/۰۴ p-v	۲۹/۲ b'	۳۲/۹ a'
۳	۲۰/۶ j-l	۱۵/۹ s-u	۱۸/۸ m-s	۱۶/۹ p-v	۵۲/۶ j-m	۶۰/۸ de
۴	۱۸/۰۶ n-p	۱۱/۸ x	۱۹/۰۵ l-s	۱۲/۶ v-z	۵۵ f-i	۶۵/۵ c
۵	۲۱/۸ j	۱۹/۱ mn	۲۲/۹ f-m	۲۰/۲ h-q	۴۷/۱ st	۴۹/۶ o-r
۶	۱۹/۶ lm	۱۸/۱ n-p	۲۲/۸ e-l	۱۸/۷m-s	۴۷/۷ r-t	۳۵/۵ h-k
۷	۷۷/۹ n-q	۱۵/۶ tu	۲۲/۲ f-o	۱۹/۲ j-s	۴۸/۵q-t	۵۲/۸ i-m
۸	۳۲/۵ d	۲۵/۷ hi	۳۴/۹ a	۳۰/۱۵ b-d	۲۰/۵ d'	۳۰/۸ a b'
۹	۲۵/۸ hi	۱۹/۶ lm	۱۸/۵m-s	۱۷/۷ p-u	۴۴/۶ uv	۵۲/۰۴ j-n
۱۰	۱۸/۲ n-p	۱۴/۸ uv	۲۵/۹ d-g	۲۳/۸ e-k	۴۳/۷ v	۵۰/۱m-q
۱۱	۲۴/۸ i	۲۰/۱ j-l	۱۴/۶ u-x	۱۱/۷ w-z	۴۹/۹ n-r	۵۳/۴۲ h-k
۱۲	۱۸/۱ n-q	۱۵/۸ s-u	۱۲/۹ v-z	۹/۱ yz	۵۹/۵ e	۶۲/۲ d
۱۳	۱۹/۱ mn	۱۶/۹ p-s	۲۴/۵ e-i	۲۰/۸ h-p	۴۶/۹ st	۵۱/۰۲ l-p
۱۴	۲۰/۹ jk	۱۹/۶ lm	۱۵/۱ r-x	۱۰/۸x-z	۵۲/۱ j-n	۵۶/۱ f
۱۵	۱۸/۲ n-p	۱۶/۷q-t	۱۶/۹ p-v	۱۵/۰ Yr-x	۵۳/۲ h-l	۵۹/۴ e
۱۶	۲۱/۸ j	۱۹/۸ k-m	۲۰/۷h-p	۱۸/۱n-s	۵۰/۰ m-q	۵۵/۱ fg
۱۷	۳۰/۹ e	۲۲/۸ hi	۱۸/۹m-s	۱۹/۵j-s	۳۷/۶yz	۴۱/۸w
۱۸	۲۱/۱ jk	۱۵/۷ s-u	۲۳/۰f-m	۱۹/۷j-s	۴۹/۵ o-r	۵۱/۲ k-o
۱۹	۷۷/۸ n-p	۱۵/۸ s-u	۲۴/۶e-i	۲۱/۸ g-o	۵۰/۰ m-q	۵۲/۱ j-n
۲۰	۲۱/۱ jk	۱۸/۶ m-o	۱۱/۹ w-z	۸/۴ z	۵۷/۱ fg	۶۰/۹ de
۲۱	۲۱/۱ jk	۱۲/۶ wx	۲۰/۰۳ i-q	۱۲/۸u-x	۵۰/۷ m-q	۶۲/۱ d
۲۲	۱۸/۶ m-o	۱۳/۸vw	۱۸/۷ m-s	۱۱/۹ w-z	۵۵/۷ fg	۶۴/۴ c
۲۳	۲۸/۲ g	۲۱/۸ j	۲۳/۸1 e-k	۱۵/۷ r-w	۴۰/۶ wx	۵۲/۴ j-m
۲۴	۱۹/۱ mn	۱۵/۰ tu	۲۲/۶ e-l	۱۹/۸ j-r	۵۲/۷ j-m	۵۵/۱ fg
۲۵	۷۷/۸ n-q	۱۳/۹ v	۲۳/۸ e-k	۱۹/۵ j-r	۴۹/۵ o-r	۵۳/۶ g-j
۲۶	۷۷/۱ p-s	۱۵/۸ s-u	۳۳/۷ ab	۲۶/۶ d-f	۳۹/۵ xy	۴۶/۹ st
۲۷	۲۰/۶ j-l	۱۷/۵ o-r	۱۸/۷ m-s	۱۸/۹m-s	۵۲/۶ j-m	۵۵/۱ f-h
۲۸	۲۰/۶ ef	۲۵/۹ h	۲۰/۱۱ h-p	۱۷/۹ o-u	۳۶/۸ z	۴۴/۱ v
۲۹	۲۷/۵ g	۲۵/۷hi	۲۴/۷ e-h	۲۲/۷ e-l	۳۶/۳ z	۳۹/۶ xy
۳۰	۷۷/۷ n-q	۱۶/۴ r-t	۱۳/۵7 u-y	۲۰/۸ h-p	۴۸/۷ p-s	۵۱/۸ j-o
۳۱	۲۰/۹ j-l	۱۷/۸ n-q	۲۵/۶7 e-g	۲۴/۰ ۱ e-i	۴۷/۱ st	۴۹/۸ n-r
۳۲	۲۱/۸۵ j	۱۷/۸n-q	۲۸/۰ ۴ c-e	۲۴/۷e-i	۳۷/۲ z	۵۰/۱ m-q
۳۳	۴۱/۳۵ a	۳۵/۸ c	۲۵/۶1 e-g	۲۲/۷ f-n	۱۹/۰ ۲ d'	۲۶ c'
۳۴	۱۱/۵ x	۹/ y	۱۰/۹ x-z	۸/۵7 z	۶۸/۵ b	۷۲/۹ a
۳۵	۱۵/۴ tu	۱۱/۵ x	۲۶/۵ e-d	۲۴/۵e-i	۴۶/۴ tu	۵۰/۷ m-q
۳۶	۳۵/۹ c	۲۹/۶ f	۳۰/۸ a-c	۲۴/۶5 e-i	۲۱/۰ ۴ d'	۳۰/۸a b'

میانگین های با حروف متفاوت در هر ستون، براساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد دارند.

باشد. در حقیقت آسیمیلاسیون برای تولید مقدار ترپین بیشتر تحت شرایط تنش خشکی، می تواند به عمل کاهش تخصیص کریں به رشد جهت تلاش برای حفظ بقا باشد (۳۶، ۲۴، ۰۲). در این رابطه فرضیه های متفاوتی مطرح شده است:

فرضیه اول که موازن کربن- عنصر غذایی (CNB) نام دارد. گیاه کربن را در صورت دسترسی به عناصر غذایی به رشد اختصاص می دهد. کاهش جذب مواد غذایی به واسطه خشکی خاک تاثیر بیشتری نسبت به کاهش قتوسنتر بر محدود شدن رشد گیاه دارد و کربن موجود در گیاه جهت سنتز هیدرات های کربنی هدایت می شود و در نتیجه متابولیت های ثانویه کربن دار تولید می شوند. فرضیه دیگر به موازن رشد- تمایز (GDBH) اشاره دارد و بیان می کند تا زمانی که امکان تقسیم و گسترش سلولی وجود

تفاوت در ترکیبات اسانس در شرایط مختلف محیطی توسط عسکری و همکاران (۲۰۱۸) و محمدی و همکاران (۲۰۱۸) در آویشن دنایی و آویشن باعی و رضوی زاده و همکاران (۲۰۱۷) در زینیان نیز گزارش شده است.

افزایش مقدار مونوترپین ها در گیاهان دارویی دیگر به ویژه مریم گلی، سنبل بری و بادرنجبویه تحت تیمار تنش خشکی گزارش شده است (۲۴، ۱۹، ۲۱، ۵، ۱۸). نتیجه بررسی اثر تنش خشکی بر گل راعی نشان داد که در گیاهان تیمار شده در مقایسه با شاهد محتوای ترکیبات فنلی افزایش داشت (۹).

تفاوت در ترکیبات اسانس طی تنش خشکی می تواند به دلیل تغییر در فعالیت های آنزیمی و متابولیسمی باشد (۱۶). افزایش مقدار بیوسنتر ترپین ها طی اعمال تنش خشکی می تواند به عمل تأثیر غیر مستقیم بر متابولیسم کربوهیدرات ها

اکوتیپ‌های زاوه، اردکان، بجنورد و زابل که در قسمت پایین سمت چپ و در داخل دایره نشان داده شده‌اند اکوتیپ‌های کرانه‌ای دارای تیمول بالا در شرایط آبیاری نرمال بودند (شکل ۱).

در شرایط تنفس خشکی پاراسیمن و بتاپین بالاترین ضریب را در مؤلفه اول داشتند در حالی که برای مؤلفه دوم بالاترین ضریب مربوط به تیمول بود (جدول ۴). با توجه به نمودار بای‌پلات در شرایط تنفس خشکی اکوتیپ‌های محمدیه، جوپار، کوهبنان، مشهد، میبد، شازند و بیرجند مانند شرایط نرمال در گروه پاراسیمن قرار گرفتند در حالی که اکوتیپ‌های چنان‌ان و زاهدان در شرایط تنفس برخلاف آبیاری نرمال در گروه تیمول قرار گرفتند.

اکوتیپ زابل با داشتن بالاترین میزان برای مؤلفه دوم به عنوان اکوتیپ کرانه‌ای با مقدار تیمول بالا تحت شرایط تنفس خشکی شناسایی شد. به علاوه اکوتیپ‌های زاوه، گناباد، اردکان، فسا و مرودشت نیز با داشتن مؤلفه دوم بالا جزء اکوتیپ‌ها با میزان تیمول بالا قرار گرفتند. اکوتیپ بجنورد که در شرایط نرمال تیمول بالایی تولید کرد تحت تنفس خشکی با تولید میزان متوسط تیمول متفاوت عمل نمود.

با توجه به منشا اکوتیپ‌های هر گروه می‌توان پیشنهاد کرد که بیشترین میزان تیمول مربوط به اکوتیپ‌هایی است که از مناطق خشک و نیمه‌خشک جمع‌آوری شده بودند. اکوتیپ زابل که در هر دو شرایط تنفس و نرمال میزان تیمول بالایی داشت از منطقه‌ای در بلوچستان که به عنوان منشأ این گیاه شناخته می‌شود جمع‌آوری شد (۲۲). در اقلیم نیمه‌خشک کمود آب از یک طرف و افزایش شدت نور از طرف دیگر بر فیزیولوژی و بیوشیمی گیاهان تاثیر می‌گذارد و باعث آسیب به گیاه می‌شود. گیاهان دارویی رشد یافته در شرایط نیمه‌خشک اغلب میزان بالاتری از ترکیبات طبیعی را نسبت به گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال تولید می‌کنند (۳۰، ۳۳).

بر اساس نتایج این پژوهش اکوتیپ‌های زنیان ایران پلی‌مورفیسم بیوشیمیایی بالایی داشتند. همچنین اکوتیپ با منشأ زابل با توجه به محتوای بالایی تیمول نسبت به دیگر اکوتیپ‌ها طی شرایط نرمال و تنفس خشکی به عنوان اکوتیپ مناسب کشت برای مناطق نیمه‌خشک و یا کشت دیم در صورتی که به دست آوردن تیمول در اولویت کشت باشد پیشنهاد می‌شود.

به علاوه دو اکوتیپ زابل و محمدیه به ترتیب با داشتن بیشترین و کمترین مقدار تیمول به عنوان ژرم پلاسمهای کرانه‌ای برای بررسی ژن‌های مرتبط با بیوسنتز تیمول و همچنین اصلاح رقم با محتوای بالای تیمول برای مناطق خشک و نیمه‌خشک معرفی می‌شوند.

داشته باشد کربن صرف رشد می‌شود. در زمان کمبود آب رشد متوقف شده و گیاه کربن را در مسیر سنتر و تشکیل مخازن متabolیت‌های ثانویه مصرف می‌کند.

اخیراً مفهوم جامعی در این ارتباط مطرح شده است. گیاهان زمانی که با کمبود آب مواجه می‌شوند تحت تنفس خشکی (همراه با عدم محدودیت انرژی نورانی) بسته شدن روزنه‌ها، جذب بالای CO₂ را کاهش می‌دهد و باعث کاهش شدید فتوسنتز می‌شود. به طور همزمان مصرف کوآنزیم‌های احیا (NADPH+H⁺) به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و حجم زیادی از این اکیوالت‌های احیا ابانته می‌شوند. در نتیجه مقدار کمی از کوآنزیم‌های کاهش یافته اکسید شده (NADP⁺) به عنوان گیرنده الکترون در دسترس خواهد بود.

به عنوان خود مقادیر زیادی NADPH+H⁺ در سلول تجمع یافته و یک جایگاه بهشت کاهش یافته را ایجاد می‌نمایند. با توجه به روند کاهشی کوآنزیم‌های (NADPH+H⁺) واکنش‌هایی باید در جهت مصرف آن‌ها فعالیت کند که در نتیجه سنتز ترکیب‌های ثانویه مثل فنل‌ها، ترین‌ها، آکالوویدها، گلیکوزیدهای سیانوژنیک افزایش می‌یابند (۳۰).

تغییر در مقدار ترکیبات انسان نشان دهنده تغییر کیفیت

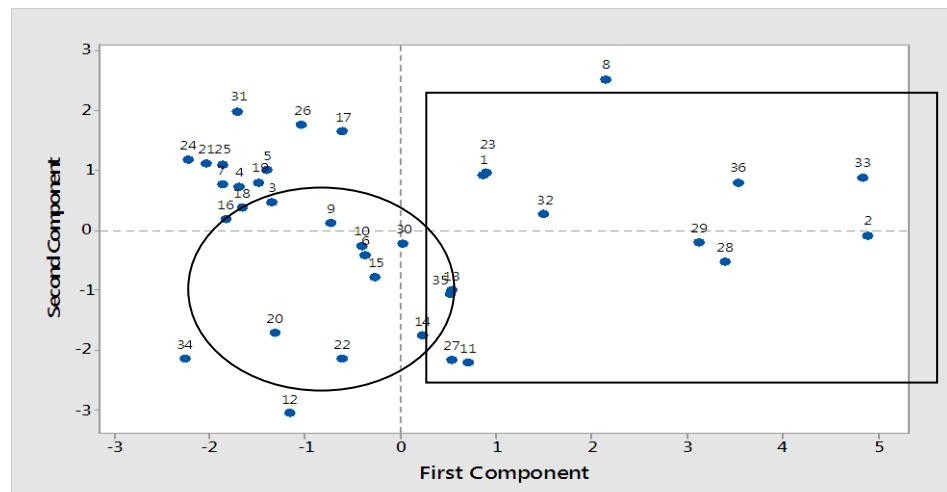
انسان اکوتیپ‌ها تحت تنفس خشکی است. این نکته که تغییر همیشه مثبت نمی‌باشد دارای اهمیت است (۳۵، ۳۷، ۳۴). با توجه به این که تیمول اصلی ترین ترکیب انسان اغلب اکوتیپ‌ها بود و از طرف دیگر این ترکیب به عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی خواص دارویی زیادی دارد تغییر مثبت به صورت تغییر در جهت افزایش مقدار تیمول انسان شناخته می‌شود (۳۰).

نمودار بای‌پلات جهت نشان دادن شباهت و تفاوت بین اکوتیپ‌ها و همچنین بررسی تغییرات در کیفیت انسان آن‌ها تحت تنفس خشکی بر اساس دو مؤلفه اول حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی رسم گردید (شکل ۱ و ۲). مؤلفه اول ۹۷٪ از تغییرات را در هر دو شرایط نرمال رطوبتی و تنفس خشکی توجیه نمود (جدول ۴). تحت شرایط آبیاری نرمال، پاراسیمن در مؤلفه اول بالاترین ضریب را داشت (۰/۴۰۹)، در حالی که گاماترپین و کارواکرول در مؤلفه دوم ضرایب بالایی به ترتیب معادل (۰/۵۲) و (۰/۴۰۲) داشتند و در هر دو مؤلفه تیمول دارای ضریب منفی بود. بر اساس نمودار بای‌پلات در شرایط آبیاری معمولی اکوتیپ‌ها به ۲ گروه اصلی تقسیم شدند. اکوتیپ‌های محمدیه، جوپار، مشهد، بیرجند، کوهبنان، میبد، چنان‌ان، زاهدان و شازند که مؤلفه اول و دوم بالایی داشتند در گروه پاراسیمن قرار گرفتند. این گروه در نمودار بای‌پلات با مربع نشان داده شده است (شکل ۱).

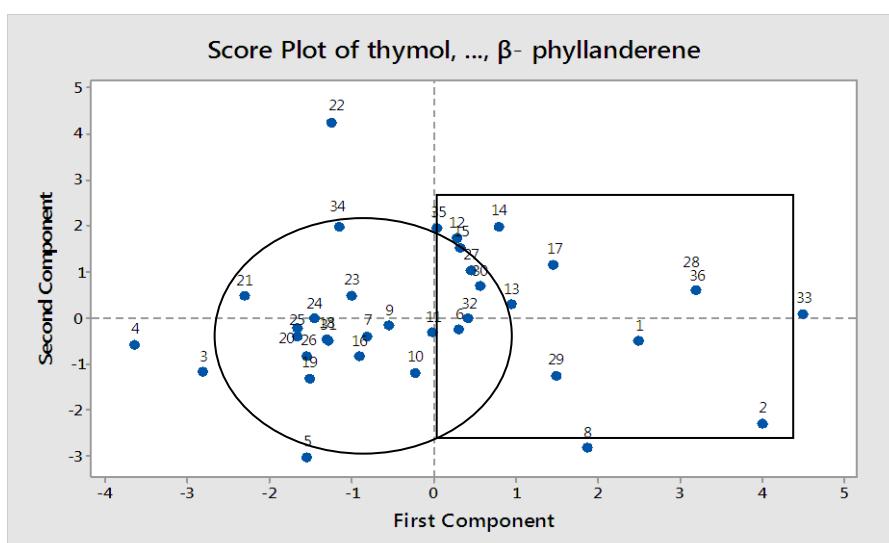
جدول ۴- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ترکیبات اسانس زنیان تحت شرایط آبیاری معمولی و تنش خشکی

Table 2. Results of principal component analysis in normal and drought stress conditions

نام ترکیبات	آبیاری معمولی	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	تش خشکی
	آبیاری معمولی	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه اول
تیمول	-۰/۳۹	-۰/۴۱	-۰/۴۱	-۰/۲۵۲
پاراسین	-۰/۴۰۹	-۰/۲۱	-۰/۴۱۵	-۰/۲۴۷
گاماتریپن	-۰/۱۳۹	-۰/۵۲	-۰/۱۷	-۰/۳۸
الفانوچن	-۰/۱۶۲	-۰/۲۰۲	-۰/۳۹	-۰/۰۱
آلفا پیپن	-۰/۳	-۰/۰۰۱	-۰/۰۷	-۰/۰۶۳
بتا پیپن	-۰/۴	-۰/۱۳۷	-۰/۰۴۵	-۰/۰۸
بتا میرسن	-۰/۳۱	-۰/۱۸۶	-۰/۰۶	-۰/۰۵
بتا نوروزن	-۰/۰۰۲	-۰/۱۰۷	-۰/۰۶	-۰/۰۳
الفاتریپن	-۰/۲۱	-۰/۳۳۷	-۰/۰۹	-۰/۰۲۶
تریپنول	-۰/۱۱	-۰/۱۴	-۰/۰۹	-۰/۰۴۴
پولگون	-۰/۲۴	-۰/۱۷	-۰/۰۷	-۰/۰۳۸۱
کارواکرول	-۰/۱۴	-۰/۰۴۲	-۰/۰۳	-۰/۰۱۵
بتا فیلاندرن	-۰/۰۹	-۰/۰۶۹	-۰/۰۱	-۰/۰۶
بردار ویژه	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۸	۲/۲
واریانس تجمعی	۹۷	۹۷	۹۷	۹۹



شکل ۱- نمودار بای پلات ۳۶ اکوتیپ زنیان در شرایط آبیاری معمولی
Figure 1. Bi-plot graph of 36 ajowan ecotypes in normal condition



شکل ۲- نمودار بای پلات ۳۶ اکوتیپ زنیان در شرایط تنش خشکی
Figure 2. Bi-plot graph of 36 ajowan ecotypes in drought stress condition

منابع

1. Abedi, Z., H. Najafi Zarrini, S.M. Emadi and N. Bagheri. 2019. Evaluation of Relationship between Agronomical and Physiological Traits of Soybean and Grouping of Soybean Genotypes under Different Amount of Sulfur Application. Journal of Crop Breeding, 11: 134-142.
2. Aliabadi Farahani, H., A.R. Valadabadi, J. Daneshian, H. Shiranirad and A. Katava. 2009 b. Medicinal and aromatic plants farming under drought conditions. Journal of Horticulture and Forestry, 1(6): 086-092.
3. Askary, M., M.A. Behdani, S. Parsa, S. Mahmoodi and M. Jamalalmadi. 2018. Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulgaris*. Industrial Crop and Products, 111: 336-344.
4. Bahreininejad, B., J. Razmjoo and M. Mirza. 2013. Influence of water stress on morphophysiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. International Journal of Plant Production, 7(1): 151-166.
5. Bahreininejad, B., J. Razmjoo and M. Mirza. 2014. Effect of water stress on productivity and essential oil content and composition of *Thymus carmamicus*. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17(5): 717-725.
6. Bairwa, R., R.S. Sodha and B.S. Rajawat. 2012. *Trachyspermum ammi* L. Pharmacognosy Reviews, 6(11): 56-60.
7. Chauhan, B., G. Kumar and M. Ali. 2012. A Review on Phytochemical Constituents and Activities of *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague fruits. American Journal of Pharmtech Research, 2(4): 1-12.
8. Davazdah, E.S., F. Sefidkon, M. Jahansooz and D. Mazaheri. 2011. Chemical Composition of the Essential Oils from foliages and Seeds of ajowan *Trachyspermum ammi* L. Spraguein two planting dates (spring and summer). Journal of Essential Oil Bearing Plants, 14(5): 639-642.
9. De Abreu, I.N. and P. Mazzafera. 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. Plant Physiology and Biochemistry, 43: 241-248.
10. Dwivedi, S., N. Mishra and R.P. Alava. 2012. angeeta,Phytochemistry, Pharmacological studies and Traditional benefits of *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague. International Journal of Pharmacy & Life Sciences, 3(5): 1705-1709.
11. Esmaeili, A. and S. Ghobadianpour. 2016. Antibacterial activity of *Carum copticum* extract loaded MnFe2O4nanopartacles coated with PEGylated chitosan. Industrial Crop and Products, 91: 44-48.
12. Fazeli-nasab, B. and Z. Fooladvand. 2016. A Review on Iranian *Carum copticum* (L.): Composition and Biological Activities. European Journal of Medicinal Plants, 12(1): 1-8.
13. Ghabraie, M., K.D. Vu, L. Tata, S. Salmieri and M. Lacroix. 2016. Antimicrobial effect of essential oils in combinations against five bacteria and their effect on sensorialquality of ground meat. Food Science and Technology, 66: 332-339.
14. Ghanbari, S., A. Nooshkam, B.A. Fakheri and N. Mahdinezhad. 2019. Relationship between Yield and its Component in Soybean Genotypes (*Glycine max* L.) using Multivariate Statistical Methods. Journal of Crop Breeding, 11: 85-92.
15. Kedia, A., B. Prakash, P.K. Mishra, A.K. Dwivedy and N. Dubey. 2015. *Trachyspermum ammi* L: essential oil as plant based preservative in food system. Industrial Crop and Products, 69: 104-109.
16. Khajeh, M., Y. Yamini, F. Sefidkon and N. Bahramifar. 2004. Comparison of essential oil composition of *Carum copticum* obtained by supercritical carbon dioxide extraction and hydrodistillation methods. Food Chemistry, 86(4): 587-591.
17. Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). International Agrophysics, 20: 289-296.
18. Liu, H., X. Wang, D. Wang, Z. Zou and Z. Lianga. 2011. Effect of drought stress on growth and accumulation of active constituents in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. Industrial Crop and Products, 133: 84-88.
19. Manukyan, A. 2011. Effect of growing factors on productivity and quality of lemon catmint, lemon balm and sage under soil less greenhouse production: I. drought stress. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology, 5: 119-125.
20. Mirahmadi, S., M.R. Hasandokht, F. Sefidkon and M.E. Hassani. 2012. A comparative study on chemical constituents of essential oils from different populations of *Achillea biebersteinii* Afan. growing wild in khorasan using multivariate statistical analyses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 28(1): 1-13.
21. Mohammadi, H., M. Ghorbanpour and M. Brestic. 2018. Exogenous putrescine changes redox regulations and essential oil constituents in field-grown *Thymus vulgaris* L. under well-watered and drought stress conditions. Industrial Crop and Products, 122: 119-132.

22. Nagulakshmi, S., N.B. Shankaracharya, J.P. Naik and L.J.M. Rao. 2000. Studies on chemical and technological aspects of ajowan aspects (*Trachyspermum ammi*). Journal of Food Science and Techology Mysore, 39: 277-81.
23. Nasrollahi, V., A. Mirzaie-asl, K. Piri, S. Nazeri and R. Mehrabi. 2014. The effect of drought stress on the expression of key genes involved in the biosynthesis of triterpenoid saponins in liquorice (*Glycyrrhiza glabra*). Phytochemistry, 103: 32-37.
24. Nowak, M., M. Kleinwchter, R. Manderscheid, H.J. Weigel and D. Selmar. 2010. Drought stress increases the accumulation of monoterpenes in sage (*Salvia officinalis*), an effect that is compensated by elevated carbon dioxide concentration. Journal of Applied Botany and Food Quality, 83(2): 133-136.
25. Petropoulos, S.A., D. Daferera, M.G. Polissiou and H.C. Passam. 2008. The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley. Scientia Horticulture, 15(4): 393-397.
26. Ramakrishna, A. and G.A. Ravishankar. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling and Behavior, 6(11): 1720-1731.
27. Razavizadeh, R., F. Adabavazeh, F. Rostami and A. Teimouri. 2016. Comparative study of osmotic stress effects on the defense mechanisms and secondary metabolites in *Carum copticum* seedling and callus. Journal of Plant Process and Function, 5(18): 23-34.
28. Sahaf, B.Z., S. Moharrampour and M.H. Meshkatalasdat. 2007. Chemical constituents and fumigant toxicity of essential oil from *Carumcopticum* against two stored product beetles. Insect Science, 14: 213-218.
29. Sarajuoghi, M., B. Abbaszadeh and M.R. Ardakani. 2014. Investigation morphological and physiological response of *Thymus vulgaris* L. to drought stress. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 5(2): 486-492.
30. Selmar, D. and M. Kleinwachter. 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Industrial Crop and Products.
31. Shojaaddini, M., S. Moharrampour and B.Z. Sahaf. 2008. Fumigant toxicity of essential oil from *Carum copticum* against Indian meal moth. Journal of Plant Protection Research, 48(4): 411-418.
32. Soltani Howyzeh, M., S.A. Sadat Noori, V. Shariati and M. Amiripour. 2018. Comparative transcriptome analysis to identify putative genes involved in thymol biosynthesis pathway in medicinal plant *Trachyspermum ammi* L. Nature, 8(13405): 1-19.
33. Sujatha, S., R. Bhat, C. Kannan and D. Balasimha. 2011. Impact of intercropping of medicinal and aromatic plantswith organic farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. Industrial Crops and Products, 33: 78-83.
34. Weitzel, C. and H.T.C.P. Simonsen. 2015. Cytochrome P450-enzymes involved in the biosynthesis of mono-and sesquiterpenes. Phytochemistry Reviews, 14: 2-7.
35. Zarshenas, M., M. Soliman, S.M. Mohammadi, P. Petramfar and M.R. Moein. 2014. Analysis of the essential oil components from different *Carum copticum* L. samples from Iran. Phcog Res Pharmacognosy Researc, 6(6): 62-66.
36. Zeid, F.A., E.A. Omer, A.Y. Amin and S.A.H. Hanafy. 2014. Effect of putrescine and salicylic acid on Ajwain plant (*Trachyspermum ammi*) at vegetatives stage grown under drought stress. International Journal of Agricultural Science and Research, 4(6): 61-79.

Evaluation of Changes in Essential oil of Ajowan (*Trachyspermum copticum* L.) Ecotypes under Drought Condition

Azadeh Karimi Afshar¹, Ghafar Kiani², Hamid Najafi Zarini² and Amin Baghi Zadeh³

1- PhD Student Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: azadehkarimi.a@gmail.com)

2- Assistant Professor and Associate Professor Department of Plant Breeding and Biotechnology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Associate Professor of Plant Breeding, Department of Biotechnology, Institute Science and High Technology and Environmental Science, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Received: April 9, 2019

Accepted: November 13, 2019

Abstract

Ajowan (*Trachyspermum copticum* L.) is one of the most important herbs of the Apiaceae family in semi-arid tropical regions of Iran, which is considerable in the production of essential oils with valuable secondary metabolites, especially thymol. In order to determine the secondary metabolites profile of ajowan under drought stress, a split plots experiment was conducted in two irrigation conditions (normal and drought stress) as main factor and 36 ecotypes of ajowan belong to 9 different provinces of Iran as sub plots were planted based on a randomized complete block design with 3 replications during 2015 and 2016 in Agricultural Jahad Research Station of Kerman. Based on the results of combine analysis, water stress has significant effect on the components of essential oil. Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) analysis revealed the presence of 13 compounds with the major constituents including thymol, p-cymene and γ -terpinene constituents in all ecotypes in both irrigation conditions. Based on bi-plot, two groups of high thymol and high p-cymene were identified. In this experiment, increasing the irrigation interval effected as an advantageous strategy to improve pharmacological component in some ecotypes. In conclusion, Zabol ecotype was superior to others, in terms of its relatively good performance of thymol, special in drought stress and it is recommended as suitable ecotype for cultivating in dryland and also where drought stress usually happens at the end of cropping season. Also, two ecotypes included Zabol and Mohammadiyah were identified as extreme ecotypes in response to drought stress in reproductive stage, these ecotypes could be recommended for breeding programs to obtain drought tolerant thymol-chemotype cultivars ajowan.

Keywords: Drought, GC/MS, PCA, Thymol, *Trachyspermum copticum*