

ارزیابی پروفایل فیتوشیمیایی اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) رویش یافته در استان کردستان و همبستگی آن با ویژگی‌های آب‌وهوایی و خاکی

چکیده

اولین گام در اهلی‌سازی یک گیاه دارویی، ارزیابی فیتوشیمیایی جمعیت‌های آن در رویشگاه طبیعی می‌باشد. آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) یکی از گونه‌های دارویی خانواده نعناعیان است که بواسطه کاربردهای زیاد آن در طب سنتی و نیز به‌عنوان ادویه در پخت غذاها، تقاضای بالایی در بازار دارد. در پژوهش حاضر، هفت جمعیت رویش یافته از این گونه در استان کردستان (صاحب، تیلکو، زرینه، رشیدآباد، تازه‌آباد بزن قران، آیدر و آریز) از نظر میزان اسانس و ترکیبات آن و نیز ارتباط بین پروفایل فیتوشیمیایی با شرایط رویشگاه، مورد مطالعه قرار گرفتند. اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر به مدت سه ساعت انجام گرفت و آنالیز اسانس‌ها توسط دستگاه‌های GC-MS و GC-FID انجام شد. میزان اسانس جمعیت‌ها از ۰/۷ (رشیدآباد) تا ۲/۶۴ (تازه‌آباد بزن قران) درصد (حجمی-وزنی) بر پایه وزن خشک متغیر بود. تعداد و نوع ترکیبات اسانس و نیز اجزای غالب اسانس، بسته به جمعیت، متفاوت بودند. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، منجر به استخراج پنج مؤلفه گردید که در مجموع ۹۶/۷۵ درصد واریانس بین جمعیت‌ها را توجیه نمود. فاصله جمعیت‌ها در خوشه‌بندی، مطابق با فاصله جغرافیایی آن‌ها نبود. بین میزان اسانس با شرایط رویشگاه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد، اما همبستگی‌های معنی‌داری بین برخی ترکیبات اسانس با شرایط رویشگاه مشاهده گردید. بر اساس محتوای اسانس، جمعیت‌های تازه‌آباد بزن قران و آیدر برتر بودند، ولی بر اساس ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس، بسته به ترکیب هدف، جمعیت برتر متفاوت بود.

کلید واژه‌ها: اهلی‌سازی، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، جمعیت برتر، محتوای اسانس

مقدمه

آویشن کوهی با نام علمی *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. متعلق به تیره نعناعیان (Lamiaceae)، گیاهی است چندساله، بومی ایران، که در بخش‌هایی از شمال، شمال‌غرب و غرب کشور پراکنش دارد (Hosseini et al., 2024). این گونه نیز همانند سایر گونه‌های جنس تیموس، بواسطه دارا بودن ترکیبات فنولی و ترپنی با ارزش در پیکره هوایی خود، موارد استفاده فراوانی در صنایع غذایی و دارویی دارد. میزان اسانس آویشن کوهی را ۰/۱۵ تا ۳/۴۲ درصد (حجمی-وزنی) گزارش نموده‌اند (Azimi et al., 2014; Zarezadeh et al., 2018; Tohidi et al., 2017; et al.). تیمول، کارواکرول، لینالول، ژرانیول، پارا-سیمن، آلفا-ترپینئول، ۸-سینئول و بورنئول، ترکیبات غالب تشکیل دهنده اسانس آویشن کوهی شناخته شده‌اند (Jamshidi et al., 2006; Khoshshokhan et al., 2014; Tohidi et al., 2018).

از آویشن کوهی علاوه بر استفاده به‌عنوان ادویه در پخت غذاهای مختلف، بواسطه‌ی خواص ضد ویروسی، ضد باکتریایی و ضد قارچی که دارد، در درمان بیماری‌هایی همچون عفونت دستگاه‌های تنفس و گوارش، سرفه و سرماخوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nejadhabibvash & Daneshgar, 2019). همچنین این گیاه دارای خواص ضد اسپاسم، ضد روماتیسم، بادشکن، خلط‌آور و دافع حشرات نیز می‌باشد (Jamshidi et al., 2006; Azimi et al., 2014).

برداشت‌های بی‌رویه و غیر اصولی، چرای دام، کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر، افزایش آتش سوزی مراتع، و نیز تغییر کاربری مراتع به زمین‌های کشاورزی، موجب کاهش جمعیت‌ها و نیز تعداد پایه‌های موجود در جمعیت گونه‌های دارویی از جمله آویشن کوهی شده است. بنابراین، نیاز است که جهت کاهش فشار برداشت از عرصه طبیعی و نیز در راستای پاسخ به تقاضای بازار و جلوگیری از انقراض این گونه گیاهی باارزش، چاره‌ای اندیشیده شود. یکی از راهکارهای رسیدن به اهداف مذکور، شروع فرایند اهلی‌سازی و کشت و کار این گونه گیاهی است. پیش‌نیاز فرایند اهلی‌سازی، مطالعه تنوع بین جمعیت‌های مختلف متعلق به این گونه گیاهی و نیز شرایط اکولوژیکی مناسب جهت رشد و تولید مواد موثره مفید و مدنظر است (Khorshidi et al., 2020)، تا از طرفی جمعیت برتر از نظر ویژگی‌های عملکردی و فیتوشیمیایی شناخته شود و از طرفی دیگر شرایط آب‌وهوایی و خاکی مطلوب جهت تعیین محیط کشت ثانویه آن فراهم گردد.

پیشینه پژوهش

در مطالعه‌ای میزان و ترکیبات تشکیل دهنده اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران با یکدیگر مقایسه شده است. میزان اسانس از ۰/۱۵ تا ۰/۸۵ درصد (حجمی-وزنی) متغیر بوده و ترکیبات عمده اسانس به ترتیب کارواکرول، تیمول، ۸-و-سینئول، اورتوسیمین، کارواکرول متیل اتر، ذ-کاریوفیلین^۱، کامفور و لینالول گزارش شده‌اند (Azimi et al., 2014). ارزیابی محتوای اسانس و اجزای آن در آویشن کوهی جمع‌آوری شده از سه ارتفاع مختلف از سطح دریا (۲۴۰۰، ۲۶۰۰ و ۲۸۰۰ متر) نشان داده که بیش-ترین میزان اسانس، مجموع ترکیبات و نیز محتوای کارواکرول اسانس متعلق به نمونه‌های جمع‌آوری شده از ارتفاع ۲۴۰۰ متری بوده و ارتفاع تأثیری معنی‌داری روی میزان تیمول نداشته است (Jamshidi et al., 2006).

محتوای اسانس آویشن کوهی جمع‌آوری شده از استان کردستان، ۱/۰۵ درصد (حجمی-وزنی) و ترکیبات غالب آن لینالول و آلفا-ترپینئول گزارش شده است (Hasani & Mirza, 2018). محتوای اسانس جمعیت‌های مختلف آویشن کوهی جمع‌آوری شده از شمال غرب و غرب ایران بین ۱/۱ تا ۱/۷ درصد گزارش شده است (Najafzadeh et al., 2020). بین میزان اسانس آویشن کوهی با ارتفاع از سطح دریا همبستگی منفی و با میزان پتاسیم خاک همبستگی مثبت مشاهده شده است. همچنین محتوای تیمول و کارواکرول اسانس با ارتفاع از سطح دریا، همبستگی مثبت معنی‌داری نشان داده‌اند (Aminzadeh et al., 2010).

تعداد ۱۷ ترکیب در اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران (الموت، مازندران، رودبار، سمنان، تاکستان، پیرانشهر، قزوین، اوان و سیاهکل) شناسایی شده که در مجموع ۸۴/۵۷ تا ۹۷/۰۸ درصد (حجمی-وزنی) کل اسانس را شامل می‌شدند. مونوترپن‌های اکسیژنه گروه عمده اسانس بوده و تیمول، کارواکرول، آلفا-ترپینئول، بورنئول، لینالول، ۸-و-سینئول و پارا-سیمین، به عنوان ترکیبات غالب اسانس تشخیص داده شده‌اند. میزان اسانس بین جمعیت‌ها از ۱/۱ تا ۲/۵ درصد (حجمی-وزنی) متغیر بوده است (Khoshshokhan et al., 2014). در پژوهشی، درصد اسانس جمعیت‌های مطالعه‌شده آویشن کوهی را بین ۱ تا ۱/۴۱ درصد (حجمی-وزنی) عنوان کرده‌اند و تعداد ۳۸ ترکیب در اسانس شناسایی نموده‌اند که در بین آن‌ها، ترکیبات تیمول، کارواکرول، لینالول، آلفا-ترپینئول و ژرانیول، بیش‌ترین مقدار را داشته‌اند (Tohidi et al., 2018). ارزیابی پروفایل فیتوشیمیایی اسانس ۱۴ جمعیت آویشن کوهی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف ایران (استان‌های گیلان، قزوین، یزد، آذربایجان غربی، اردبیل، کردستان و قم) نشان داده که میزان اسانس آن‌ها بین ۰/۳۱ تا ۰/۸۲ درصد (حجمی-وزنی) متغیر بود و نیز ترکیبات غالب اسانس بسته به نوع جمعیت متفاوت بود و شامل آلفا-ترپینئول، ژرانیول، تیمول و کارواکرول بودند (Afshari et al., 2016). محتوای اسانس آویشن کوهی جمع‌آوری شده از عرصه طبیعی آذربایجان شرقی (تبریز)، ۰/۲ درصد (حجمی-وزنی) و ترکیبات عمده آن تیمول، پارا-سیمین و آلفا-پینین گزارش شده‌اند (Mahmoudzadeh et al., 2017).

روش‌شناسی پژوهش

مشخصات رویشگاه‌های آویشن کوهی

جهت انجام این پژوهش، ابتدا بر اساس مشاهدات قبلی فردی و نیز به کمک اطلاعات گیاه‌شناس مجرب مهندس حسین معروفی، برخی از رویشگاه‌های آویشن کوهی در استان کردستان جهت نمونه‌برداری تعیین شدند که مشخصات جغرافیایی آن‌ها که به کمک نرم‌افزار گوگل ارث به دست آمده است، در جدول ۱ مشاهده می‌گردد. همچنین اطلاعات مربوط به میانگین دما و مجموع بارش ماهانه‌ی سه ماهه‌ی اول سال (فروردین، اردیبهشت و خرداد) که مصادف با شروع رشد تا برداشت آویشن کوهی است، از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به هر رویشگاه به دست آمد (جدول ۲).

نمونه‌برداری‌های گیاه و خاک

۱. (Z)-Caryophyllene

جهت نمونه برداری گیاهی، در نیمه دوم خرداد سال ۱۴۰۲ همزمان با مرحله گل دهی کامل آویشن کوهی، به رویشگاه های مورد مطالعه مراجعه نموده و نمونه برداری از بوته های موجود انجام گرفت. بدین صورت که از هر رویشگاه، تعداد ۱۰ تا ۱۵ بوته سالم عاری از آفات و بیماری را انتخاب و ساقه های گل دهنده آن ها از ارتفاع حدود پنج سانتی متری سطح خاک برداشت گردید. همزمان با نمونه برداری گیاهی، از هر رویشگاه چند نمونه خاک (بسته به وسعت رویشگاه، ۳ تا ۵ نمونه) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک برداشت گردید، سپس همه نمونه های خاک متعلق به یک رویشگاه با هم مخلوط گردید و در نهایت یک نمونه از هر رویشگاه جهت آنالیز فیزیوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، pH گل اشباع توسط pH متر و EC گل اشباع توسط هدایت سنج الکتریکی (Thomas, 1996)، ماده آلی به روش والکی-بلک (Walkley & Blake, 1934)، نیتروژن به روش کج دال (Lynch & Barbano, 1999)، پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (Nelson & Sommers, 1996) و فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Olsen et al., 1954) اندازه گیری شدند. نتایج آنالیز خاک ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی رویشگاه جمعیت های آویشن کوهی مورد مطالعه

جمعیت	شیب	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)
صاحب (Saheb)	شرقی	۱۷۹۳	۳۶°۱۳'۰۶/۴"	۴۶°۳۱'۱۵/۷"
تیلکو (Tilako)	جنوبی	۱۹۲۴	۳۶°۰۸'۰۷/۱"	۴۶°۴۳'۳۹/۵"
زرینه (Zarrieh)	جنوب غربی	۲۲۲۵	۳۶°۰۵'۱۸/۲"	۴۶°۵۱'۴۲/۲"
رشیدآباد (Rashid Abad)	شرقی	۱۹۵۴	۳۵°۵۷'۱۸/۵"	۴۷°۰۳'۴۲/۸"
تازه آباد بزن قران (Tazehabad-e Bozon Qaran)	غربی	۲۰۳۸	۳۵°۳۸'۵۳/۵"	۴۷°۰۸'۰۸/۶"
آبیدر (Abidar)	شمال شرقی	۱۸۴۱	۳۵°۱۷'۲۸/۰"	۴۶°۵۸'۱۲/۴"
آریز (Arez)	شمال شرقی	۱۹۶۵	۳۵°۲۱'۴۹/۹"	۴۶°۵۱'۵۱/۹"

جدول ۲. میانگین دما و مجموع بارش ماهانه ی سه ماهه ی اول سال ۱۴۰۲ در رویشگاه های مورد مطالعه

جمعیت	میانگین دما (سلسیوس)		مجموع بارش (میلی متر)		
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	فروردین	اردیبهشت
صاحب (Saheb)	۹/۵	۱۳	۱۳/۵	۱۰۴	۶۲/۲
تیلکو (Tilako)	۶/۴	۱۰/۰۳	۱۵/۶	۷۷/۶	۶۱/۶
زرینه (Zarrieh)	۶/۴	۱۰/۰۳	۱۵/۶	۷۷/۶	۶۱/۶
رشیدآباد (Rashid Abad)	۶/۴	۱۰/۰۳	۱۵/۶	۷۷/۶	۶۱/۶
تازه آباد بزن قران (Tazehabad-e Bozon Qaran)	۱۲/۰۸	۱۳/۲	۱۸/۸	۸۷/۳	۱۰۳/۳
آبیدر (Abidar)	۱۲/۰۸	۱۳/۲	۱۸/۸	۸۷/۳	۱۰۳/۳
آریز (Arez)	۱۲/۰۸	۱۳/۲	۱۸/۸	۸۷/۳	۱۰۳/۳

جدول ۳. مشخصات خاک محل نمونه برداری جمعیت های آویشن کوهی مورد مطالعه

جمعیت	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی خاک (دسی‌زیمنس بر متر)	ماده آلی (درصد)	نیتروژن (درصد)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	بافت خاک
صاحب	۷/۸۸	۰/۰۹۶	۰/۹۴	۰/۰۴۱	۴/۱	۳۲۳/۴	۲۹/۳۶	۱۸	۵۲/۶۴	لومی رسی شنی
تیلکو	۸/۰۲	۰/۰۸۰	۱/۲۵	۰/۰۵۴	۳۱/۴	۲۹۹/۶	۱۷/۳۶	۲۴	۵۸/۶۴	لومی شنی
زرینه	۸/۰۹	۰/۰۷۸	۲/۱۹	۰/۱۲۹	۳۲/۳	۲۸۴/۶	۱۵/۳۶	۱۶	۶۸/۶۴	لومی شنی

رشیدآباد	۸/۲۴	۰/۱۱۵	۲/۵۰	۰/۱۴۸	۴۵/۲	۲۶۳	۱۷/۳۶	۲۴	۵۸/۶۴	لومی شنی
تازه‌آباد بزنقران	۸/۱۹	۰/۱۲۸	۱/۸۸	۰/۰۹۹	۳۴/۹	۳۰۱	۱۷/۳۶	۲۰	۶۲/۶۴	لومی شنی
آبیدر	۸/۰۲	۰/۰۸۵	۱/۲۵	۰/۱۴۴	۹/۵	۴۰۱/۲	۲۷/۳۶	۲۲	۵۰/۶۴	لومی رسی شنی
آریز	۸/۱۷	۰/۱۵۰	۴/۳۸	۰/۱۸۴	۲۴	۳۵۵/۶	۲۱/۳۶	۲۲	۵۶/۶۴	لومی رسی شنی

استخراج و آنالیز اسانس نمونه‌های گیاهی

استخراج اسانس از نمونه‌های گیاهی توسط دستگاه کلونجر انجام گرفت. بدین صورت که حدود ۵۰ گرم ماده گیاهی خشک شده را پس از خرد کردن، داخل بالن دستگاه ریخته و به آن حدود ۱۵۰ میلی‌لیتر آب اضافه گردید. مدت زمان لازم برای استخراج اسانس، از زمان به جوش آمدن آب، سه ساعت در نظر گرفته شد (Khorshidi et al., 2019). پس از مدت زمان مذکور، حجم اسانس تجمع یافته در بخش مدرج کلونجر قرائت گردید و درصد حجمی وزنی آن بر اساس مقدار ماده خشک اولیه‌ای که در بالن دستگاه ریخته شده بود، محاسبه گردید. سپس اسانس توسط سرنگ مخصوص از کلونجر خارج و در ویال‌های شیشه‌ای ریخته شد. برای جلوگیری از اثرات مخرب آب همراه اسانس که ضمن بیرون کشیدن اسانس از کلونجر همراه آن خارج شده بود، مقداری سولفات سدیم خشک به هر ویال اضافه گردید. در مورد هر جمعیت اسانس‌گیری با سه تکرار انجام گرفت. در نهایت، ویال‌های حاوی اسانس جهت آنالیز توسط دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج توده‌ای (GC/MS) به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج منتقل شدند. مشخصات دستگاه‌های مذکور و شرایط کاری آن‌ها به‌صورت زیر بود:

GC/MS: مدل دستگاه Agilent Technologies, USA, 7890B GC System/ 5977A MSD. ستون دستگاه از نوع HP-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر بود. دمای اولیه ستون ۵۰ درجه سلسیوس بود که به‌مدت دو دقیقه در این دما نگه داشته شد. سپس دمای آن با سرعت هفت درجه در دقیقه تا ۲۶۰ درجه افزایش داده شد. زمان توقف در این دما، هشت دقیقه بود. دمای محل تزریق و منبع یونیزاسیون، به‌ترتیب ۲۸۰ و ۲۳۰ درجه سلسیوس تنظیم گردید. طیف‌سنج جرمی در مد یونیزاسیون الکترونی تنظیم شد. انرژی یونش، ۷۰ الکترون ولت و دامنه جرمی بررسی شده ۵۵۰-۵۰ amu بود. از هلیوم با خلوص ۹۹/۹۹ درصد، فشار ۳۴ psi و شدت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه، به‌عنوان گاز حامل استفاده گردید.

GC: مدل دستگاه Agilent Technologies, USA, 7890B GC System متصل به آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) بود. دمای آشکارساز ۲۹۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. دمای محل تزریق، مشخصات و برنامه دمایی ستون و نیز مشخصات گاز حامل شبیه GC/MS بود.

به‌منظور شناسایی ترکیبات اسانس، طیف‌های جرمی به‌دست آمده از هر ترکیب، با داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی NIST و Wiley مقایسه گردید. مقدار کمی ترکیبات نیز از طریق محاسبه مساحت زیر پیک مربوط به هر ترکیب در کروماتوگرام GC، به‌دست آمد.

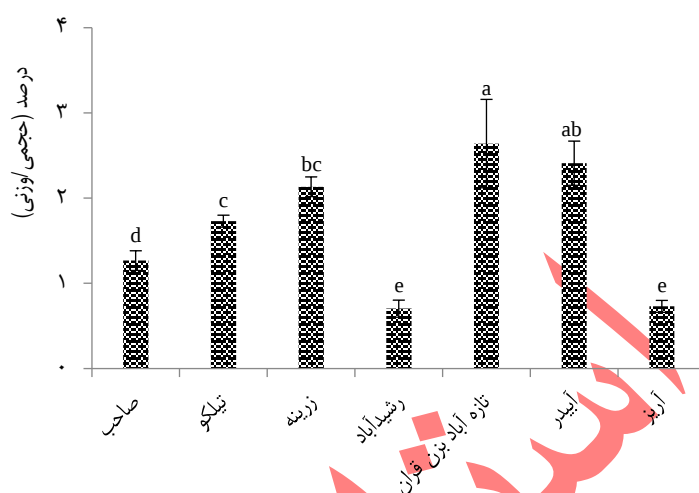
آنالیز داده‌ها

مقایسه میانگین محتوای اسانس جمعیت‌ها، تجزیه به مولفه‌های اصلی میزان اسانس و ترکیبات تشکیل‌دهنده آن در جمعیت‌های مورد مطالعه، تجزیه خوشه‌ای جمعیت‌ها از نظر محتوای اسانس و ترکیبات آن به روش وارد، و نیز همبستگی بین اسانس و ترکیبات آن با ویژگی‌های آب‌وهوایی و خاکی رویشگاه‌ها توسط نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) به‌دست آمد. بای‌پلات جمعیت‌ها بر اساس میزان اسانس و ترکیبات آن توسط نرم‌افزار Statgraphics (نسخه ۱۹) ترسیم گردید.

یافته‌های پژوهش

میزان اسانس و اجزای تشکیل‌دهنده آن

جمعیت‌های مورد مطالعه آویشن کوهی از نظر محتوای اسانس تفاوت معنی‌داری با هم داشتند. بیش‌ترین میزان اسانس (۲/۶۴ درصد) از جمعیت تازه آباد بزن قران به‌دست آمد که البته با جمعیت آیدر (۲/۴۱ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت، و کم‌ترین میزان اسانس متعلق به جمعیت رشیدآباد (۰/۷ درصد) بود، که البته آنهم با جمعیت آریز (۰/۷۳ درصد) تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد. جمعیت‌های زرینه، تیلکو و صاحب نیز به‌ترتیب دارای ۲/۱۳، ۱/۷۳ و ۱/۲۶ درصد اسانس بودند (شکل ۱).



شکل ۱. میانگین اسانس در جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

در مجموع همه جمعیت‌ها، ۲۴ ترکیب در اسانس‌ها شناسایی شدند. کم‌ترین تعداد ترکیبات شناسایی شده (۱۴ ترکیب) متعلق به جمعیت تازه آباد بزن قران و بیش‌ترین آن‌ها (۲۱ ترکیب) مربوط به جمعیت صاحب بود. ترکیبات شناسایی شده، حدود ۸۶/۳۳ (در جمعیت آریز) تا ۹۹/۷۶ (در جمعیت تیلکو) درصد کل ترکیبات اسانس را تشکیل می‌دادند. اجزای غالب اسانس بسته به جمعیت تا حدود زیادی متفاوت بود. در اسانس جمعیت صاحب، آلفا-ترپینئول (۵۲/۵۱ درصد) و ۸و۱-سینئول (۱۱/۰۵ درصد) به‌عنوان ترکیبات غالب شناسایی شدند. تیمول (۵۶/۵۵ درصد) و گاما-ترپینن (۱۱/۵۸ درصد) ترکیبات اصلی اسانس جمعیت تیلکو بودند. اجزای عمده اسانس جمعیت زرینه، به-ترتیب شامل کارن (۳۹/۹۶ درصد)، ژرانیل استات (۱۸/۸۵ درصد) و آلفا-ترپینئول (۱۱/۲۵ درصد) بودند. آلفا-ترپینئول (۲۸/۷۹ درصد) و لینالول (۲۱/۷۴ درصد) به‌ترتیب بیش‌ترین مقدار را در اسانس جمعیت رشیدآباد داشتند. از اجزای غالب اسانس جمعیت تازه آباد بزن قران می‌توان به ایزوتیمول متیل اتر (۵۱/۵۸ درصد) و ژرانیل استات (۲۴/۳۹ درصد) اشاره نمود. در جمعیت آیدر، ترکیبات لینالول (۵۹/۴۷ درصد) و ترانس کایوفیلن (۱۲/۵۹ درصد) بیش‌ترین مقدار را در اسانس داشتند و نهایتاً در اسانس جمعیت آریز، لینالول (۳۵/۱۷ درصد) و ۸و۱-سینئول (۱۱/۲۶ درصد) به‌عنوان ترکیبات عمده اسانس شناسایی شدند (جدول ۴).

جدول ۴. نوع و میزان ترکیبات تشکیل دهنده اسانس در جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه

ترکیب	نام لاتین	شاخص بازداری (RI)	جمعیت					
			صاحب	تیلکو	زربنه	رشیدآباد	تازه آباد بزقران	آبیدر
توجن	Thujene	۹۲۴	۰/۱±۰/۱	۰/۵۵±۰/۱۰۵	-	۰/۲±۰/۰۲	-	-
آلفا-پینن	α -Pinene	۹۳۲	۲/۹۹±۰/۰۱	۱/۳۹±۰/۱۲۵	۰/۸۳±۰/۰۳	۰/۷۶±۰/۰۲	۰/۰۹±۰/۰۹	۰/۶۵±۰/۰۵
کامفن	Camphene	۹۴۷	۱/۵±۰/۰۶	۱/۵±۰/۰۹۵	۰/۲۳±۰/۰۰۴	۱/۰۳±۰/۰۲۱	۰/۲۱±۰/۰۰۵	۱/۵۷±۰/۱۸
بتا-پینن	β -Pinene	۹۷۵	۰/۰۸±۰/۰۸	۰/۳۹±۰/۰۰۵	۰/۶۱±۰/۰۲۹۵	۰/۳۹±۰/۰۰۶	۰/۱۲±۰/۰۱۲	۰/۲۹±۰/۰۰۲
بتا-میرسن	β -Myrcene	۹۹۱	۳/۹۹±۰/۰۰۴	۱/۲۶±۰/۱۳۵	۸/۹۷±۰/۰۶۷	۱/۹۳±۰/۰۳۴	-	-
کارن	Carene	۱۰۰۹	۰/۷۵±۰/۰۰۳	۱/۴۴±۱/۴۴	۳۹/۹۶±۰/۰۵۳	۱/۴±۰/۰۹۵	-	-
آلفا-ترپینن	α -Terpinene	۱۰۱۵	-	۱/۴۸±۰/۰۵۵	-	-	-	-
پارا-سیمن	<i>p</i> -Cymene	۱۰۲۳	۰/۱±۰/۰۱	۹/۰۹±۰/۰۴۱	-	-	-	-
۱-اوسینئول	1,8-Cineole	۱۰۲۹	۱۱/۰۵±۲/۱۸	۳/۶۳±۰/۰۴۱۵	۳/۲۷±۰/۰۰۸۹	۸/۵۷±۰/۰۱۳	۱/۵۹±۰/۰۷۱	۲/۰۹±۰/۰۲۷
گاما-ترپینن	γ -Terpinene	۱۰۵۶	۰/۴۲±۰/۰۴۲	۱۱/۵۸±۰/۰۰۴۵	۰/۸۸±۰/۰۰۵	۰/۸۸±۰/۰۲۳	-	۲/۲۲±۰/۰۱۷
سیس-سابینن هیدرات	<i>cis</i> -Sabinene hydrate	۱۰۶۵	۴/۹۹±۱/۰۶۷	۱/۰۱±۰/۰۲۶	-	۰/۶۲±۰/۰۲۲	-	۳/۳±۰/۰۵۷
لینالول	Linalool	۱۰۹۷	۴/۳۶±۱/۰۸۹	-	۷/۷۲±۰/۰۲۳۵	۲۱/۷۴±۰/۰۰۲	۰/۳۱±۰/۰۳۱	۵۹/۴۷±۴/۰۰۵
کامفور	Camphor	۱۱۴۶	۲/۲۹±۰/۰۰۲	۰/۸۱±۰/۰۰۰۹	-	۲/۱۳±۰/۰۰۳	۰/۲۴±۰/۰۰۱	۲/۶۵±۰/۰۲۷
بورنئول	Borneol	۱۱۶۹	۲/۶۱±۰/۰۱۱	۳/۹۱±۰/۰۲۳۵	-	۲/۱۶±۰/۰۰۳	۰/۳۸±۰/۰۱۱	۱/۰۲±۰/۰۰۵
ترپینن-۴-آل	Terpinen-4-ol	۱۱۸۰	۰/۸۲±۰/۰۱۴	-	-	-	-	-
آلفا-ترپینئول	α -Terpineol	۱۲۰۳	۵۲/۵۱±۲/۱۷	۰/۹۲±۰/۰۹۲۵	۱۱/۲۵±۰/۰۳۱	۲۸/۷۹±۰/۰۴۲	۱/۷±۰/۰۶۹	۱/۶۲±۰/۰۱۳
ایزوتیمول متیل اتر	Isothymol methyl ether	۱۲۳۷	۱/۰۱±۰/۰۰۲	۰/۱۹±۰/۰۱۹۵	۲/۲۸±۰/۰۰۵	۱/۲۴±۰/۰۰	۵۱/۵۸±۱۴/۱۷	۰/۸۸±۰/۰۰۲
بورنیل استات	Bornyl acetate	۱۲۸۳	۰/۸۶±۰/۰۱	-	۰/۳۲±۰/۰۰۱۵	۰/۷۲±۰/۰۱۲	۱/۵۴±۰/۰۵۸	۰/۶۷±۰/۰۰۲
تیمول	Thymol	۱۳۰۶	-	۵۶/۵۵±۲/۰۶۴۵	-	-	-	-
ژرانیل استات	Geranyl acetate	۱۳۸۰	۰/۴۹±۰/۰۰۷	۰/۴۵±۰/۰۴۵	۱۸/۸۵±۰/۰۲۹۵	۷/۸±۰/۰۴۵	۲۴/۳۹±۱۴/۰۶۴	۰/۹۱±۰/۰۱۴
ترانس-کاریوفیلن	<i>trans</i> -Caryophyllene	۱۴۲۰	۲/۵±۰/۰۲۹	۲/۳±۰/۰۰۰۵	۲/۴±۰/۰۰۲	۱/۷۲±۰/۰۱	۳/۳۴±۱/۰۰۸	۱۲/۵۹±۰/۰۳۴
بتا-بیسابولن	β -Bisabolene	۱۵۰۶	۰/۲۶±۰/۰۲۶	-	۰/۳۲±۰/۰۰۳۵	-	۰/۳۶±۰/۰۰۴	-
آلفا-بیسابولن	α -Bisabolene	۱۵۴۳	-	۰/۶۴±۰/۰۰۶۴	-	۰/۵۶±۰/۰۱۸	-	-
کاریوفیلن اکسید	Caryophyllene oxide	۱۵۸۳	۳/۰۵±۰/۰۱۹	۰/۵۹±۰/۰۰۰۵	۰/۷۲±۰/۰۰۰۴	۶/۵±۰/۰۱۵	۱/۵۶±۰/۰۶۹	۱/۶۱±۰/۰۰۹
مجموع ترکیبات شناسایی شده			۹۷/۷۷±۰/۰۱۸	۹۹/۷۶±۰/۰۲۴	۹۸/۶۴±۰/۰۱۸	۸۹/۱۷±۰/۰۹۵	۸۷/۴۳±۲/۰۵۲	۹۱/۵۷±۵/۰۵

عدد بعد از $\pm$ بیانگر انحراف معیار است.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

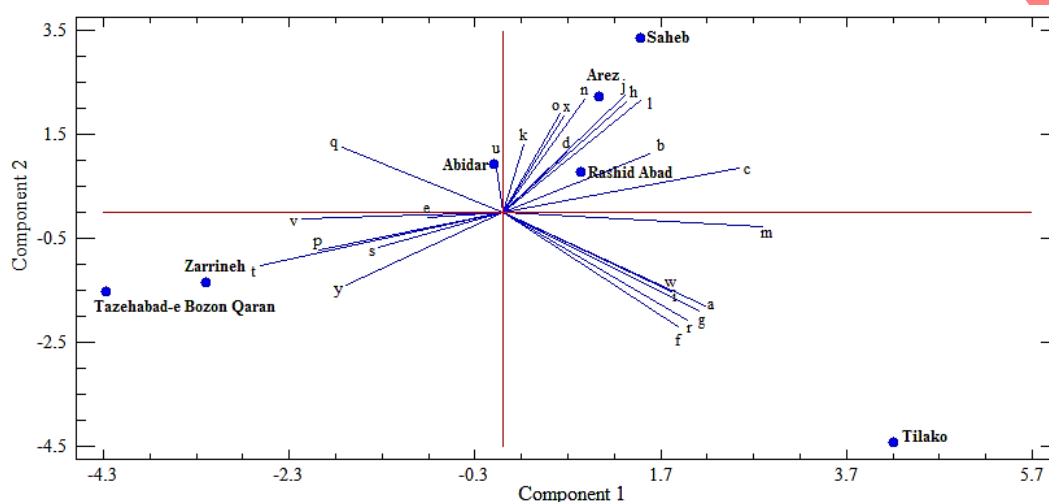
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر اساس میزان اسانس و ترکیبات تشکیل دهنده آن، منجر به استخراج پنج مؤلفه اصلی گردید که در مجموع ۹۶/۷۵ درصد کل واریانس بین جمعیت‌ها را توجیه می‌کردند. دو مؤلفه اول ۶۰/۹۹ درصد کل واریانس موجود را توجیه می‌کردند. در مؤلفه اول، ترکیبات بورنتول، کامفن، توجن و گاما-ترپین با ضرایب عاملی بزرگ و مثبت، و ترکیبات ژرانیل استات و بتا-بیسابولن با ضرایب عاملی بزرگ و منفی، مؤثرترین ترکیبات در تفکیک جمعیت‌های آویشن کوهی بودند. در مؤلفه دوم، ترکیبات سیس-سابینن هیدرات، ترپین-۴-آل، کامفور و ۸و۱-سینتول با ضرایب عاملی بزرگ و مثبت، و ترکیبات تیمول، آلفا-ترپین و پارا-سیمن با ضرایب عاملی بزرگ و منفی، مؤثرترین ترکیبات اسانس در تمایز جمعیت‌ها شناخته شدند (جدول ۵).

جدول ۵. بار عاملی میزان اسانس و ترکیبات آن در مؤلفه‌های اول تا پنجم بر اساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

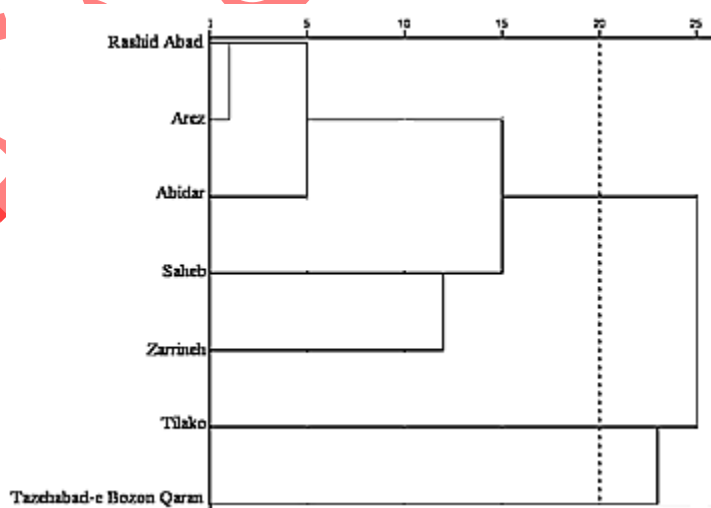
عامل	مؤلفه				
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
توجن	۰/۷۴۴	-۰/۶۰۵	۰/۱۶۸	-۰/۱۶۶	۰/۰۰۶
آلفا-پین	۰/۵۳۸	۰/۳۸۳	۰/۶۴۰	۰/۱۴۳	۰/۳۵۵
کامفن	۰/۸۶۸	۰/۲۸۹	-۰/۲۳۷	۰/۲۰۰	۰/۲۱۳
بتا-پین	۰/۲۳۶	۰/۳۸۸	۰/۷۹۸	۰/۲۸۱	۰/۱۸۶
بتا-میرسن	-۰/۲۷۵	-۰/۰۳۸	۰/۷۷۹	۰/۴۶۳	-۰/۳۱۸
آلفا-ترپین	۰/۶۴۲	-۰/۷۴۳	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰	۰/۱۶۲
پارا-سیمن	۰/۶۷۵	-۰/۷۰۰	۰/۰۳۳	-۰/۰۲۰	۰/۱۴۲
۸و۱-سینتول	۰/۴۵۱	۰/۷۱۷	۰/۲۹۲	-۰/۲۹۶	-۰/۲۰۵
گاما-ترپین	۰/۷۱۸	-۰/۶۴۲	-۰/۱۰۰	۰/۰۸۴	۰/۰۷۹
سیس-سابینن هیدرات	۰/۴۴۷	۰/۷۶۱	-۰/۰۷۰	۰/۲۰۷	۰/۳۶۹
لینالول	۰/۰۷۵	۰/۴۴۱	-۰/۷۶۴	۰/۴۱۳	-۰/۲۰۵
کامفور	۰/۵۰۳	۰/۷۲۴	-۰/۳۶۷	۰/۰۷۴	۰/۰۰۴
بورنتول	۰/۹۵۴	-۰/۰۸۹	۰/۱۱۲	-۰/۲۴۰	۰/۱۰۸
ترپین-۴-آل	۰/۳۰۱	۰/۷۳۶	۰/۳۵۶	-۰/۰۸۴	۰/۳۲۰
آلفا-ترپینتول	۰/۲۱۰	۰/۶۴۲	۰/۶۴۲	-۰/۱۴۷	۰/۰۳۸
ایزوتیمول متیل اتر	-۰/۶۷۴	-۰/۲۴۹	-۰/۱۴۰	-۰/۵۳۳	۰/۴۲۴
بورنیل استات	-۰/۵۹۰	۰/۴۱۸	-۰/۲۲۲	-۰/۵۵۶	۰/۳۴۴
تیمول	۰/۶۴۲	-۰/۷۴۳	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰	۰/۱۶۲
کارن	-۰/۴۵۸	-۰/۲۲۶	۰/۴۹۷	۰/۵۳۱	-۰/۴۲۱
ژرانیل استات	-۰/۸۸۹	-۰/۳۴۵	۰/۱۸۲	-۰/۲۲۸	-۰/۰۶۲
ترانس-کاریوفیلن	-۰/۰۲۲	۰/۲۸۷	-۰/۷۹۵	۰/۵۰۲	۰/۱۸۱
بتا-بیسابولن	-۰/۷۳۷	-۰/۰۳۹	۰/۵۶۸	-۰/۰۴۳	۰/۳۶۱
آلفا-بیسابولن	۰/۶۲۱	-۰/۵۱۸	۰/۰۳۸	-۰/۳۲۶	-۰/۳۵۶
کاریوفیلن اکسید	۰/۲۲۵	۰/۶۲۵	-۰/۱۶۳	-۰/۵۰۵	-۰/۵۱۶
محتوای اسانس	-۰/۵۷۶	-۰/۴۷۵	-۰/۱۷۸	۰/۳۵۷	۰/۵۰۳
واریانس (درصد)	۳۳/۳۷	۲۷/۶۲	۱۷/۹۲	۹/۸۰	۸/۰۴
واریانس تجمعی (درصد)	۳۳/۳۷	۶۰/۹۹	۷۸/۹۱	۸۸/۷۱	۹۶/۷۵

بای‌پلات جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه بر اساس مؤلفه‌های اول و دوم، جمعیت‌های زیرنه و تازه آباد بزن قران را به لحاظ تشابهی که در محتوای اسانس (اسانس زیاد) و نیز میزان بالای ترکیبات ژرانیل استات، بتا-بیسابولن و ایزوتیمول متیل اتر داشتند، در یک گروه قرار داد. جمعیت تیلکو به تنهایی بواسطه محتوای زیاد ترکیبات توجن، پارا-سیمن، تیمول و آلفا-ترپین در مقایسه با سایر

جمعیت‌ها در گروهی مجزا قرار گرفت. محتوای زیاد ترانس کاربوفیلین جمعیت آبیدر در مقایسه با سایر جمعیت‌ها، موجب قرارگیری آن در گروهی مجزا گردید، و سایر جمعیت‌ها (صاحب، آریز و رشیدآباد) به دلیل تشابهی که در میزان اسانس و ترکیبات آن داشتند، در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۲). نتیجه حاصل از خوشه‌بندی جمعیت‌ها بر اساس همه مؤلفه‌ها تا حدود زیادی مشابه با بای‌پلات بود، با این تفاوت که در تجزیه خوشه‌ای، جمعیت‌ها در سه گروه قرار گرفتند. جمعیت‌های رشیدآباد، آریز، آبیدر، صاحب و زرینه در یک گروه، و تیلکو و تازه آباد بزن قران هر کدام به طور جداگانه در گروهی مجزا تفکیک شدند. دلیل نزدیک شدن جمعیت‌های تیلکو و تازه آباد بزن قران در خوشه‌بندی، مقدار لینالول پایین اسانس آن‌ها می‌باشد که این ترکیب در مؤلفه سوم دارای بار عاملی منفی بالایی بود و لذا در گروه‌بندی جمعیت‌ها در بای‌پلات تأثیر زیادی نداشت (شکل ۳).



شکل ۲. بای پلات جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه بر اساس مؤلفه‌ای اول و دوم. a: توغن، b: آلفا-پینن، c: کامفن، d: بتا-پینن، e: بتا-میرسن، f: آلفا-تریپین، g: پارا-سیمن، h: ۸-اِسینثول، i: گاما-تریپین، j: سیس-ساینین هیدرات، k: لینالول، l: کامفور، m: بورنئول، n: ترپین-۴-آل، o: آلفا-تریپینول، p: ایزوتیمول متیل اتر، q: بورنیل استات، r: تیمول، s: کارن، t: ژرانیل استات، u: ترانس کاربوفیلین، v: بتا-یسابولن، w: آلفا-یسابولن، x: کاربوفیلین اکسید، y: میزان اسانس. (منبع: یافته‌های تحقیق)



شکل ۳. تجزیه خوشه‌ای جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه بر اساس میزان اسانس و ترکیبات تشکیل دهنده آن (منبع: یافته‌های تحقیق)

همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک رویشگاه با میزان اسانس و ترکیبات تشکیل دهنده آن

میزان اسانس با هیچ کدام از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده خاک رویشگاه، همبستگی معنی‌داری نشان نداد، اما بین برخی از ترکیبات اسانس با ویژگی‌های خاک، همبستگی‌های قابل توجهی مشاهده گردید که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به همبستگی مثبت معنی‌دار بین پتاسیم با لینالول ($r=0/769$) و ترانس کاربوفیلین ($r=0/932$)؛ رس با سیس-ساینین هیدرات ($r=0/901$) و کامفور ($r=0/774$)؛ و شن با ژرانیل استات ($r=0/796$) و همچنین همبستگی منفی معنی‌دار اسیدیت با آلفا-پینین ($r=-0/814$)؛ فسفر با سیس-ساینین هیدرات ($r=-0/852$)؛ سیلت با بتا-میرسن ($r=-0/758$) و بتا-بیسابولن ($r=-0/845$)؛ و شن با کامفن ($r=-0/879$)، سیس-ساینین هیدرات ($r=-0/808$) و کامفور ($r=-0/904$) اشاره نمود (جدول ۶).

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک رویشگاه با میزان و ترکیبات تشکیل دهنده اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه

ع	د	ر	پتاسیم	فسفر	سیلت	شن	ماده آلی	اسیدیت	ترکیبات
توجن	-0/048	0/560	-0/255	-0/365	0/263	-0/527	-0/326	-0/367	-0/178
آلفا-پینین	-0/414	-0/253	0/593	0/003	-0/605	-0/658	-0/417	-0/320	-0/814*
کامفن	-0/879**	0/518	0/681	0/518	-0/571	-0/189	-0/226	-0/175	-0/544
بتا-پینین	-0/153	-0/536	0/462	-0/154	-0/504	-0/578	-0/448	-0/453	-0/742
بتا-میرسن	0/594	-0/758*	-0/236	-0/440	0/048	-0/143	-0/114	-0/503	-0/332
آلفا-ترپینین	0/021	0/458	-0/275	-0/177	0/166	0/508	-0/304	-0/396	-0/238
پارا-سیمن	0/000	0/482	-0/265	-0/133	0/154	-0/447	-0/200	-0/309	-0/212
اوا-سینئول	-0/356	0/062	0/357	-0/027	-0/207	0/103	0/445	0/470	-0/081
گاما-ترپینین	-0/085	0/544	-0/205	0/011	0/097	-0/307	-0/122	-0/296	-0/200
سیس-ساینین هیدرات	-0/808*	-0/022	0/901**	0/681	-0/852*	-0/046	0/031	0/161	-0/587
لینالول	-0/567	0/314	0/451	0/769*	-0/344	0/685	0/255	0/117	0/084
کامفور	-0/904**	0/400	0/774*	0/555	-0/531	0/200	0/009	0/140	-0/246
بورنئول	-0/464	0/599	0/181	-0/065	-0/093	-0/432	-0/126	-0/060	-0/326
ترپینین-4-آل	-0/451	-0/272	0/645	0/258	-0/629	-0/193	0/160	0/325	-0/480
آلفا-ترپینئول	-0/277	-0/293	0/466	-0/249	-0/320	-0/368	-0/219	-0/041	-0/406
ایزوتیمول متیل اتر	0/333	-0/149	-0/284	-0/173	0/279	-0/115	-0/058	0/376	0/373
بورنیل استات	-0/082	-0/154	-0/174	0/102	-0/038	0/143	0/162	0/669	0/323
تیمول	0/021	0/458	-0/275	-0/177	0/166	-0/508	-0/304	-0/396	-0/238
کارن	0/754	-0/691	-0/449	-0/334	0/209	0/133	0/075	-0/418	0/019
ژرانیل استات	0/796*	-0/474	-0/615	-0/497	0/531	0/056	0/019	0/087	0/482
ترانس-کاربوفیلین	-0/581	0/182	0/538	0/933**	-0/533	0/457	0/041	0/014	-0/121
بتا-بیسابولن	0/543	-0/845*	-0/132	-0/330	-0/026	-0/370	-0/260	-0/082	-0/126
آلفا-بیسابولن	0/032	0/708	-0/424	-0/521	0/558	-0/212	-0/130	-0/205	0/195
کاربوفیلین اکسید	-0/269	0/389	0/081	-0/058	0/193	0/551	0/685	0/721	0/478
محتوای اسانس	0/242	-0/352	-0/072	0/201	-0/120	-0/237	-0/531	-0/427	-0/162

* و **: به ترتیب بیانگر همبستگی معنی‌دار در سطح آماری ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

همبستگی بین میزان و ترکیبات اسانس با ارتفاع از سطح دریا و میانگین دما و مجموع بارش

محتوای اسانس همبستگی معنی‌داری با ارتفاع از سطح دریا، و میانگین دما و مجموع بارش ماهانه نشان نداد، اما همبستگی‌های قوی بین تعدادی از ترکیبات اسانس با ارتفاع از سطح دریا، و میانگین دما و مجموع بارش ماهانه در برخی ماه‌ها مشاهده گردید. همبستگی -

های مثبت معنی‌دار بین ارتفاع از سطح دریا با محتوای کارن ($r=0/821$) و ژرانیل استات ($r=0/764$)؛ و مجموع بارش فروردین با میزان سیس-ساینین هیدرات ($r=0/788$) و تریپن-۴-آل ($r=0/823$)؛ و نیز همبستگی‌های منفی معنی‌دار بین ارتفاع از سطح دریا با محتوای ترکیبات کامفن ($r=-0/874$) و کامفور ($r=-0/819$)؛ و میانگین دمای خرداد با میزان آلفا-پینن ($r=-0/797$)، بتا-پینن ($r=-0/874$) و آلفا-تریپنول ($r=-0/765$)، از مهم‌ترین همبستگی‌های مشاهده شده بودند (جدول ۷).

جدول ۷. ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های جغرافیایی و آب‌وهوایی رویشگاه با میزان و ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه

ارتفاع از سطح دریا	میانگین دمای فروردین	میانگین دمای اردیبهشت	میانگین دمای خرداد	مجموع بارش فروردین	مجموع بارش اردیبهشت	مجموع بارش خرداد
توجن	-0/232	-0/614	-0/597	-0/354	-0/560	0/605
آلفا-پینن	-0/537	-0/229	0/039	0/651	-0/559	0/023
کامفن	-0/874*	0/072	0/167	0/322	-0/065	-0/146
بتا-پینن	-0/250	-0/365	-0/100	0/551	-0/673	0/162
بتا-میرسن	0/586	-0/600	-0/507	-0/120	-0/647	0/532
آلفا-تریپنن	-0/121	-0/446	-0/471	-0/222	-0/357	0/469
پارا-سیمن	-0/128	-0/397	-0/427	-0/354	-0/305	0/423
۸و۱-سینئول	-0/376	-0/002	0/148	0/448	-0/204	-0/114
گاما-تریپنن	-0/164	-0/331	-0/386	-0/383	-0/215	0/376
سیس-ساینین هیدرات	-0/728	0/479	0/636	0/788*	0/206	-0/604
لینالول	-0/322	0/482	0/379	0/012	-0/558	-0/406
کامفور	-0/819*	0/307	0/391	0/454	0/156	-0/375
بورنئول	-0/611	-0/309	-0/214	0/080	-0/397	0/238
تریپن-۴-آل	-0/472	0/298	0/507	0/823*	-0/020	-0/462
آلفا-تریپنول	-0/387	-0/232	0/021	0/607	-0/543	0/037
ایزوتیمول متیل اتر	0/258	0/429	0/360	0/439	0/467	-0/379
بورنیل استات	-0/080	0/701	0/706	0/432	0/606	-0/710
تیمول	-0/121	-0/446	-0/471	-0/222	-0/357	0/469
کارن	0/821*	-0/469	-0/494	-0/237	-0/377	0/492
ژرانیل استات	0/764*	-0/032	-0/118	0/191	0/089	0/099
ترانس-کاریوفیلن	-0/352	0/678	0/581	0/664	0/721	-0/607
بتا-بیسابولن	0/464	0/050	0/140	0/300	-0/076	-0/120
آلفا-بیسابولن	-0/120	-0/690	-0/727	-0/570	-0/551	0/724
کاریوفیلن اکسید	-0/224	0/107	0/110	0/062	0/091	-0/110
محتوای اسانس	0/266	0/250	0/176	-0/058	0/318	-0/194

*: بیانگر همبستگی معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

بحث

ارزیابی رویشگاه‌های جمعیت‌های آویشن کوهی مورد مطالعه نشان داد که این گیاه در استان کردستان، در شیب‌های جغرافیایی مختلف، ارتفاعات نسبتاً زیاد (۱۷۹۳ تا ۲۲۲۵ متر از سطح دریا)، و خاک‌هایی با بافت سبک تا متوسط، میزان ماده آلی متوسط تا نسبتاً زیاد (۰/۹۴ تا ۴/۳۸ درصد)، هدایت الکتریکی پایین (۰/۰۷۸ تا ۰/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) و اسیدیته نسبتاً قلیایی (۷/۸۸ تا ۸/۲۴) رویش دارد. گزارش شده که آویشن کوهی در شیب شمالی ارتفاعات ۱۴۵۰ تا ۲۵۰۰ متر از سطح دریا با میانگین بارش ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال

بزرگ تری هستند، صفات مؤثرتری در تفکیک جمعیت‌ها به‌شمار می‌روند. در پژوهش حاضر چنانچه انتخاب جمعیت بر اساس مؤلفه اول صورت گیرد، منجر به انتخاب جمعیتی خواهد شد که مقادیر بالایی از ترکیبات بورئول، کامفن، توجن و گاما-ترپین، و مقادیر پایینی از ترکیبات ژرانیل استات و بتا-بیسابولن را در اسانس دارد که از این نظر جمعیت تیلکو برتر می‌باشد. چنانچه انتخاب جمعیت بر اساس مؤلفه دوم صورت گیرد، جمعیتی انتخاب خواهد شد که اسانس آن حاوی مقادیر بالایی سیس-ساینین هیدرات، ترپین-۴-آل، کامفور و ۸-سینئول، و مقادیر کمی تیمول، آلفا-ترپین و پارا-سیمن باشد که طبیعتاً جمعیت صاحب انتخاب خواهد شد. فاصله جمعیت‌ها از یکدیگر در خوشه‌بندی بر مبنای محتوای اسانس و اجزای آن، مطابق با فاصله جغرافیایی آن‌ها نبود. در مطالعه دیگری نیز عدم تطابق تنوع فیتوشیمیایی اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی با فاصله جغرافیایی آن‌ها گزارش شده است (Najafzadeh et al., 2023). این نتیجه می‌تواند بیانگر تأثیر بیش‌تر ژنتیک در مقایسه با شرایط اکولوژیکی بر پروفایل فیتوشیمیایی جمعیت‌های آویشن کوهی باشد. جمعیت‌هایی که در خوشه‌بندی فواصل بیش‌تری از هم دارند، به عبارتی دیگر شباهت کم‌تری به هم دارند، به شرط اینکه دارای صفات مطلوبی بسته به اهداف اصلاحی باشند، می‌توانند والدین مناسب‌تری جهت هیبریداسیون و ایجاد تنوع بیش‌تر در پروژه‌های اصلاحی باشند. بر این اساس، جمعیت‌های تازه آباد بزن قران و رشیدآباد، می‌توانند گزینه‌های مطلوبی برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی باشند.

اطلاع از نوع و میزان همبستگی بین محتوای اسانس و ترکیبات آن با شرایط آب‌وهوایی و خاکی رویشگاه، این امکان را به ما می‌دهد که در مطالعات بعدی بدون استخراج و آنالیز اسانس، کمیت و کیفیت آن را تخمین بزنیم، و همچنین اگر هدف اهلی‌سازی و کشت و کار آن گونه گیاهی باشد، شرایط بهینه برای دستیابی به کمیت و کیفیت مطلوب اسانس را در محیط کشت ثانویه گیاه فراهم کنیم، که این مهم موجب صرفه‌جویی در هزینه و زمان می‌گردد (Khorshidi et al., 2019). در این پژوهش، هر چند بین میزان اسانس با شرایط اکولوژیکی رویشگاه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد، ولی برخی از اجزای تشکیل‌دهنده اسانس همبستگی‌های مثبت و منفی معنی‌داری با برخی از ویژگی‌های رویشگاه نشان دادند که بسته به ترکیبات هدف اصلاحگر، از این همبستگی‌ها می‌توان در راستای رسیدن به اسانسی با پروفایل شیمیایی مدنظر استفاده نمود. براساس نتایج همبستگی به‌دست آمده در پژوهش حاضر، چنانچه هدف دستیابی به اسانسی با میزان آلفا-پینن بالا باشد، بهتر است آویشن کوهی در مناطقی با میانگین دمای خرداد و خاک با اسیدیته پایین کشت گردد. کشت در مناطقی با ارتفاع پایین از سطح دریا و خاک سبک بافت، منجر به تولید اسانسی با محتوای کامفن بالا خواهد شد. اگر هدف تولید اسانسی با میزان سیس-ساینین هیدرات بالا باشد، نیاز است که محیط کشت ثانویه این گونه آویشن دارای بارش زیاد در فروردین و خاک با رس زیاد، و شن و فوسفور پایین باشد. برای دستیابی به اسانسی حاوی لینالول و ترانس کاریوفیلین زیاد، ضروری است که کشت در خاک‌های حاوی پتاسیم بالا صورت گیرد. کشت در مناطقی با ارتفاع کم از سطح دریا و خاک نسبتاً سنگین، موجب تولید اسانسی با میزان کامفور بالا خواهد شد. مناطقی با خاک سبک حاوی شن زیاد و ارتفاع زیاد از سطح دریا، موجب تولید اسانسی غنی از ژرانیل استات خواهد شد و اگر ترکیبات هدف بتا-پینن و آلفا-ترپینئول باشند، نیاز است کشت در مناطقی با میانگین دمای خرداد پایین صورت گیرد.

همبستگی منفی بین ارتفاع از سطح دریا با میزان اسانس در مطالعات پیشین روی گونه‌های مختلف آویشن از جمله *T. kotschyanus* (Jamshidi et al., 2006; Aminzadeh et al., 2010) *T. fedtschenkoii* (Delazar et al., 2011) و *T. pubescens* (Imani et al., 2016) گزارش شده است. اگرچه نتایج پژوهش‌هایی دیگر روی برخی گونه‌های آویشن مثل *T. carmanicus* (Ghasemi Pirbalouti et al., 2013) و *T. eriocalyx* (Ronniger) Jalas (Kalvandi et al., 2013) نشان داده است که ارتفاع تأثیر معنی‌داری روی بازده اسانس ندارد. گیاهان برای فتوسنتز بهتر، تولید متابولیت‌های اولیه و متعاقباً متابولیت‌های ثانویه بیش‌تر، نیاز به دماهای نسبتاً بالا دارند. از آنجائیکه با افزایش ارتفاع، دما کاهش پیدا می‌کند، بنابراین طبیعی است که میزان تولید اسانس به‌عنوان بخشی از محصولات نهایی فتوسنتز کاهش یابد (Khorshidi et al., 2019). بر خلاف مطالعه حاضر، در پژوهش‌های پیشین همبستگی‌های قابل توجهی بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک رویشگاه با محتوای اسانس گونه‌های مختلف آویشن مشاهده شده است. از جمله می‌توان به همبستگی مثبت کلسیم و اسیدیته خاک با محتوای اسانس در گونه *T. eriocalyx* (Kalvandi et al., 2013)، همبستگی مثبت پتاسیم با میزان اسانس در گونه *T. kotschyanus* (Aminzadeh et al., 2010)، همبستگی مثبت اسیدیته خاک با میزان اسانس در

گونه *T. pubescens* (Imani Dizajeyekan et al., 2016)، همبستگی منفی پتاسیم با میزان اسانس در گونه *T. pulegioides* (Vaičiulytė et al., 2017) و *T. migricus* (Imani Dizajeyekan & Abdi Ghazijahani, 2023)، و همبستگی مثبت کلسیم، پتاسیم، شن و ماده آلی خاک با محتوای اسانس در *T. migricus* (Yavari et al., 2010) اشاره نمود. همبستگی مثبت اسیدیته خاک با محتوای اسانس در مطالعات پیشین را به افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی و در نتیجه افزایش حلالیت و جذب عناصر غذایی توسط گیاه ربط داده‌اند (Imani Dizajeyekan et al., 2016). در مطالعه حاضر، بین اسیدیته رویشگاه‌های مختلف، تفاوت زیادی وجود نداشت و لذا اسیدیته خاک نتوانست اختلاف زیادی در محتوای اسانس جمعیت‌ها ایجاد کند. عدم تأثیرپذیری معنی‌دار میزان اسانس از ارتفاع و سایر فاکتورهای محیطی در پژوهش حاضر را می‌توان به شباهت نسبتاً زیاد شرایط اکولوژیکی رویشگاه‌ها نسبت داد. مشابه با نتایج پژوهش حاضر، تأثیرپذیری ترکیبات اسانس گونه‌های مختلف آویشن از شرایط رویشگاه در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است. به‌طور مثال، Jamshidi et al. (2006) دریافتند که بین ارتفاع رویشگاه *T. kotschyanus* با میزان کارواکرول همبستگی منفی و با میزان تیمول، کامفن و کارن همبستگی مثبت وجود دارد. در مقابل، Aminzadeh et al. (2010) و Azimi et al. (2014) گزارش نمودند که بین محتوای کارواکرول و ارتفاع رویشگاه *T. kotschyanus* همبستگی مثبت وجود دارد. در مطالعه Yavari et al. (2010) روی جمعیت‌های مختلف *T. migricus*، همبستگی مثبت پارا-سیمن با پتاسیم، کلسیم، شن و ماده آلی خاک، و همبستگی منفی این جزء اسانس با سیلت و رس خاک؛ همبستگی مثبت گاما-ترپین با فسفر و شن خاک و ارتفاع رویشگاه و نیز همبستگی منفی ترکیب مذکور با سیلت و رس خاک و دمای رویشگاه؛ همبستگی مثبت لینالول با سیلت و رس خاک و همبستگی منفی آن با کلسیم، پتاسیم و فسفر خاک؛ و همبستگی مثبت تیمول با کلسیم، پتاسیم، ماده آلی و شن خاک و دمای رویشگاه و همچنین همبستگی منفی این جزء اسانس با سیلت و رس خاک و ارتفاع رویشگاه گزارش شده است. نوع و میزان همبستگی ترکیبات اسانس با شرایط خاکی و آب‌وهوایی رویشگاه، بسته به گونه گیاهی و اجزای تشکیل دهنده اسانس می‌تواند متفاوت باشد. این همبستگی‌ها می‌توانند کمک شایانی به اصلاحگر در راستای شناسایی و تعیین محیط مناسب کشت گونه گیاهی مدنظر داشته باشند. چنانچه پروفایل فیتوشیمیایی خاصی مدنظر باشد و قبلاً ارتباط بین اجزای اسانس با شرایط محیطی شناخته شده باشد، می‌توان با فراهم نمودن آن شرایط، به پروفایل مدنظر دست پیدا کنیم.

نتیجه‌گیری

پراکنش جمعیت‌های آویشن کوهی در شرایط رویشگاهی مختلف استان کردستان بیانگر سازگاری بالایی این گونه گیاهی است. جمعیت‌های مورد مطالعه از نظر محتوای اسانس و ترکیبات تشکیل دهنده آن، تفاوت‌های قابل توجهی با هم داشتند. از آنجایی که همبستگی معنی‌داری بین میزان اسانس با شرایط آب‌وهوایی و خاکی رویشگاه مشاهده نگردید، بنابراین این تنوع در محتوای اسانس را می‌توان به ژنتیک جمعیت‌ها نسبت داد. بر خلاف محتوای اسانس، همبستگی‌های مثبت و منفی معنی‌داری بین برخی از ترکیبات اسانس با شرایط آب‌وهوایی و خاکی رویشگاه به‌دست آمد که می‌تواند در فرایند اهلی‌سازی این گونه جهت تعیین محیط کشت مناسب به منظور دست‌یابی به پروفایل فیتوشیمیایی مدنظر مورد استفاده قرار گیرند. ترکیبات بورنئول، کامفن، توچن، گاما-ترپین، ژرانیل استات و بتا-بیسابولن، مؤثرترین ترکیبات در تفکیک جمعیت‌ها بودند. فاصله جمعیت‌ها از هم در خوشه‌بندی، مطابق با فاصله جغرافیایی آن‌ها نبود، که این مهم بیانگر تأثیر بیش‌تر ژنتیک بر پروفایل فیتوشیمیایی جمعیت‌ها در مقایسه با شرایط رویشگاه است. به‌طور کلی، بر اساس میزان اسانس، جمعیت‌های تازه آباد بزن قران و سپس آبدر برتر بودند، ولی بر اساس ترکیبات تشکیل دهنده اسانس، بسته به ترکیب هدف، جمعیت برتر متفاوت می‌باشد. به‌طور مثال؛ بر اساس ترکیبات هدف تیمول، آلفا-ترپینئول و لینالول، به‌ترتیب جمعیت‌های تیلکو، صاحب و آبدر برتر بودند.

منابع

ایمانی دی‌ج یکان، یوسف و عبدی قاضی جهانی، اکبر (۱۴۰۲). ترکیبات اسانس کموتیپ جدید گونه *Thymus migricus* Klokov&Desj-shost از استان آذربایجان شرقی. *مجله پژوهش در متابولیت‌های گیاهی*، ۱۱(۱)، ۳۸-۳۱.

جمشیدی، امیرحسین؛ امین‌زاده، منصوره؛ آذرنیوند، حسین و عابدی، مهدی (۱۳۸۵). تأثیر ارتفاع بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه آویشن کوهی. *فصلنامه گیاهان دارویی*، ۵(۱۸)، ۱۷-۲۲.

حسنی، جمال و میرزا، مهدی (۱۳۹۷). مقایسه عملکرد کمی و کیفی روغن اسانسی گونه‌های مختلف آویشن (*Thymus*) در رویشگاه‌های طبیعی استان کردستان. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۵(۳۴)، ۷۴۸-۷۵۶.

خورشیدی، جلال؛ شکرپور، مجید و ناظری، وحیده (۱۳۹۸). تأثیر برخی از شرایط اقلیمی و خاکی بر کمیت و کیفیت اسانس اکوتیپ‌های مختلف آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak subsp. *daenensis*). *علوم باغبانی ایران*، ۵۰(۱)، ۱۳-۲۳.

خورشیدی، جلال؛ شکرپور، مجید و ناظری، وحیده (۱۳۹۹). بررسی تنوع مورفولوژیکی بین جمعیت‌های مختلف آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak). *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۳(۳)، ۵۵۴-۵۶۶.

زارع زاده، عباس؛ میرحسینی، علی؛ میرزا، مهدی؛ جم‌زاد، زیبا و عربزاده، محمدرضا (۱۳۹۵). بررسی کمیت و کیفیت اسانس اکوتیپ‌های آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.). *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۳۲(۶)، ۹۳۷-۹۴۷.

عظیمی، محمد حسین؛ نقدی‌بادی، حسنعلی؛ کلاته جاری، سپیده؛ عبدوسی، وحید و مهرآفرین، علی (۱۳۹۳). مقایسه ترکیبات شیمیایی اسانس جمعیت‌های آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.). *فصلنامه گیاهان دارویی*، ۱۳(۵۲)، ۱۳۶-۱۴۶.

کلوندی، رمضان؛ حسام‌زاده حجازی، سید محسن؛ میرزا، مهدی؛ عطری، مرتضی؛ جم‌زاد، زیبا؛ صفی‌خانی، کیوان و احمدیان، مهدی (۱۳۹۲). مطالعه برخی عوامل بوم‌شناسی، ویژگی‌های ریختی، میزان اسانس و سطح پلوئیدی آویشن کرک آلود (*Thymus eriocalyx* (Ronniger) Jalas) در ایران. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۹(۴)، ۸۵۴-۸۷۸.

لازتی، مژگان؛ قاسم‌پور، صابر؛ شریفی عاشور آبادی، ابراهیم و علیزاده، بهمن (۱۳۹۲). بررسی برخی ویژگی‌های اکولوژیکی دو گونه *Thymus kotschyanus* Boiss. Et Hohen و *Thymus pubescens* Boiss. & Kotschy ex Celak در استان آذربایجان غربی. *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*، ۲۹(۲)، ۴۱۲-۴۲۴.

نجف‌زاده، رقیه؛ حسینی، چنور و عبدی، حسین (۱۴۰۲). بررسی تنوع فیتوشیمیایی اسانس جمعیت‌های مختلف آویشن (*Thymus spp.*). *پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی*، ۱۵(۴۷)، ۵۶-۶۴.

نجف‌زاده، رقیه؛ رشیدی، زینب؛ شکری، بهروز و عبدی، حسین (۱۳۹۸). بررسی تنوع مورفولوژیکی، اکولوژیکی و درصد اسانس جمعیت‌های مختلف چند گونه آویشن (*Thymus spp.*) مناطق شمال غرب و غرب ایران. *تحقیقات ژنتیک و اصلاح گیاهان مرتعی و جنگلی ایران*، ۲۷(۲)، ۲۹۱-۳۰۶.

نژاد حبیب‌وش، فاطمه و دانشگر، مژده (۱۳۹۸). تغییرات اسانس سرشاخه‌های آویشن کوهی (*Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen.) در مراحل مختلف رشد. *مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۳۲(۲)، ۴۷۴-۴۸۶.

REFERENCES

- Afshari, V., Elahian, F., Ayari, Y., Yazdinezhad, A., & Mirzaei, S. A. (2016). Diversity and ecotypic variation in the antioxidant and antigenotoxic effects of *Thymus kotschyanus* Boiss & Hohen. *Flavour and Fragrance Journal*, 31(6), 429-437. <https://doi.org/10.1002/ffj.3333>
- Aminzadeh, M., Amiri, F., Ashor Abadi, E., Mahdevi, Kh., & Fadai, Sh. (2010). Factors affecting on essential chemical composition of *Thymus kotschyanus* in Iran. *World Applied Sciences Journal*, 8(7), 847-856.
- Azimi, M. H., Naghi Badi, H., Kalate Jari, S., Abdossi, V., & Mehrafarin, A. (2014). Comparison of essential oils composition in Iranian populations of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. *Journal of Medicinal Plants*, 13(52), 136-146. (In Persian).
- Delazar, A., Bahmani, M., Hekmat Shoar, H., Tabatabaei-Raisi, A., Asnaashari, S., Nahar, L., & Dey Sarker, S. (2011). Effect of altitude, temperature and soil on essential oil production in *Thymus fedtschenkoi* flowers in Osko and surrounding areas in Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 14(1), 23-29. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2011.10643897>
- Gee, G.W., & Bauder, J.W. (1986). *Particle-Size Analysis*. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis*, 2nd Edition, Soil Science Society of America, Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15>
- Ghasemi Pirbalouti, A., Barani, M., Hamed, B., Ataei Kachouei, M., & Karimi, A. (2013). Environment effect on diversity in quality and quantity of essential oil of different wild populations of Kerman thyme. *Genetika*, 45(2), 441-450. <https://doi.org/10.2298/GENSR1302441P>

- Hasani, J., & Mirza, M. (2018). A comparison of quantitative and qualitative essential oil yield in different species of thyme (*Thymus* spp.) in the natural habitats of Kurdistan province. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(5), 748-756. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.121747.2312>
- Hosseini, N., Ghorbanpour, M., & Mostafavi, H. (2024). The influence of climate change on the future distribution of two *Thymus* species in Iran: MaxEnt model-based prediction. *BMC Plant Biology*, 24(269), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04965-1>
- Imani Dizajeyekan, Y., & Abdi Ghazijahani, A. (2023). Essential oil compounds of *Thymus migricus* Klovov&Desjshost. as new chemotype from E-Azarbayjan province. *Journal of Research in Plant Metabolites*, 1(1), 31-38. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jrpsm.2023.158873>
- Imani Dizajeyekan, Y., Razban Haghighi, A., & Ebrahimi Gajoti, T. (2016). Regional altitude and soil physicochemical factors influence the essential oil of *Thymus pubescens* (Lamiales: Lamiaceae). *Journal of Biological & Environmental Sciences*, 10(29), 45-51.
- Jamshidi, A. M., Aminzadeh, M., Azarnivand, H., & Abedi, M. (2006). Effect of evaluation for quality and quantity of essential oil *Thymus kotschyanus* (Damavand – Tar). *Journal of Medicinal Plants*, 5(18), 17-22. (In Persian).
- Kalvandi, R., Hesamzadeh Hejazi, M., Mirza, M., Atri, M., Jamzad, Z., Safikhani, K., & Ahmadian, M. (2013). Study on some ecological factors, morphological traits, essential oil productivity and ploidy levels of *Thymus eriocalyx* (Ronniger) Jals in Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(4), 854-878. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2014.4311>
- Khorshidi, J., Shokrpour, M., & Nazeri, V. (2019). Influence of some climatic and soil conditions on essential oil quantity and quality of different *Thymus daenensis* Celak subsp. *daenensis* ecotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(1), 13-23. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2017.227727.1187>
- Khorshidi, J., Shokrpour, M., & Nazeri, V. (2020). Assessment of morphological diversity among different populations of *Thymus daenensis* Celak. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(3), 554-566. (In Persian).
- Khoshshokhan, F., Poormeidani, A., Babalar, M., & Fatahi Moghadam, M. R. (2014). Analysis of the essential oils of *Thymus kotschyanus* L. (10 populations) from Iran. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 47(2), 49-59. <https://doi.org/10.2478/cerce-2014-0016>
- Larti, M., Ghasempour, S., Sharifi Ashorabadi, E., & Alizadeh, B. (2013). The study of some ecological characteristics of *Thymus kotschyanus* Boiss. et Hohen and *Thymus pubescens* Boiss. & Kotschy ex Celak in West Azarbaijan. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(2), 412-424. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2865>
- Lynch, J. M., & Barbano, D. M. (1999). Kjeldahl nitrogen analysis as a reference method for protein determination in dairy products. *Journal of AOAC International*, 82(6), 1389-1398. <https://doi.org/10.1093/jaoac/82.6.1389>
- Mahmoudzadeh, F., Mahmoudi, R., Ghajarbeygi, P., & Kezeminia, M. (2017). Chemical composition and antioxidant properties of essential oil of *Thymus kotschyanus* L. collected from East Azarbaijan province, Iran. *Medical Laboratory Journal*, 11(1), 1-6. <https://doi.org/10.18869/acadpub.mlj.11.1.1>
- Najafzadeh, R., Hosseini, C., & Abdi, H. (2023). Phytochemical variation of the essential oils of different populations of thyme (*Thymus* spp.). *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 56-64. (In Persian). <https://doi.org/10.61186/jcb.15.47.56>
- Najafzadeh, R., Rashidi, Z., Shokri, B., & Abdi, H. (2020). Investigation of morphological and ecological and essential oil content variation of some populations of thyme species (*Thymus* spp.) in the northwest and west of Iran. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 27(2), 291-306. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/IJRFPGR.2019.124468.1326>
- Nejadhabibvash, F., & Daneshgar, M. (2019). Variation in the essential oil of *Thymus kotschyanus* Boiss.& Hohen. apical shoots at different developmental stages. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(2), 474-486. (In Persian).
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Sparks, D.L., et al., Eds., *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America, Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *Circular*, 939, 1-19.
- Thomas, G.W. (1996). *Soil pH and Soil Acidity*. In: Sparks, D.L., Ed., *Methods of Soil Analysis*, Soil Science Society of America, Madison. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16>
- Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Arzani, A. (2018). Variations in chemical composition and bioactive compounds of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. populations originated from different collection sites. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(5), 1272-1283. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1533435>

- Vaičiulytė, V., Ložienė, K., Taraškevičius, R., & Butkienė, R. (2017). Variation of essential oil composition of *Thymus pulegioides* in relation to soil chemistry. *Industrial Crops and Products*, 95, 422-433. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.052>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
- Yavari, A., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Hassani, M.E. (2010). Influence of some environmental factors on the essential oil variability of *Thymus migricus*. *Natural Product Communications*, 5(6), 943-948. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500629>
- Zarezadeh, A., Mirhossaini, A., Mirza, M., Jamzad, Z., & Arabzadeh, M. R. (2017). Study on essential oil quantity and quality of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. cultivated in Yazd, Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(6), 937-947. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109305>

Phytochemical profile of essential oils extracted from *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. populations growing in Kurdistan province and its correlation with climatic and soil characteristics

ABSTRACT

The first step in the domestication of a medicinal plant is the phytochemical evaluation of its populations in their natural habitat. *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. is a medicinal species from the Lamiaceae family that is in high demand due to its numerous applications in traditional medicine and its use as a spice in cooking. In this study, seven populations of this species growing in Kurdistan province (Saheb, Tilako, Zarrineh, Rashid Abad, Tazehabad-e Bozon Qaran, Abidar, and Arez) were evaluated for their essential oil content and composition, as well as the relationship between their phytochemical profiles and habitat conditions. Essential oils were extracted by hydro-distillation method with a Clevenger apparatus for 3 hours and analyzed with GC-MS and GC-FID devices. The essential oil content of the populations ranged from 0.7% v/w (Rashid Abad) to 2.64% v/w (Tazehabad-e Bozon Qaran). The number and type of essential oil compounds, as well as the dominant components, varied among the populations. The principal component analysis identified five components that explained 96.75% of the total variance among the populations. The distance between populations in the cluster based on phytochemical profile was not in accordance with their geographical distance. No significant correlation was observed between essential oil content and habitat conditions. However, significant correlations were found between certain essential oil compounds and habitat conditions. Tazehabad-e Bozon Qaran and Abidar populations were superior in terms of essential oil content. Nonetheless, based on essential oil constituents, the superior population varied depending on the target compounds.

Keywords: Domestication, Essential oil content, Principle component analysis, Superior population

Extended Abstract

Introduction

To avoid the extinction of medicinal species, particularly those with high market demand, it is crucial to their domestication and cultivation. The first step in the domestication of a medicinal plant is the phytochemical evaluation of its populations in their natural habitat. *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. is a medicinal species from the Lamiaceae family with a wide distribution in Iran. This species is rich in valuable phenolic and terpenoid compounds such as thymol, carvacrol, linalool, geraniol, *p*-cymene, α -terpineol, 1,8-cineole and borneol, and is in high demand due to its numerous applications in traditional medicine as anti-cough, anti-cold, antispasmodic, anti-rheumatic, carminative and expectorant, and also as a culinary spice. Unfortunately, over-harvesting from natural habitats poses a threat to its survival. Therefore, its domestication and cultivation could be economically beneficial and effective in preventing its extinction.

Materials and Methods

In this study, seven populations of this species growing in Kurdistan province (Saheb, Tilako, Zarrineh, Rashid Abad, Tazehabad-e Bozon Qaran, Abidar, and Arez) were evaluated for their essential oil content and composition, as well as the relationship between their phytochemical profiles and habitat conditions. Soil samples were collected from each habitat and analyzed for their physical and chemical properties. The geographical characteristics of the habitats were determined using Google Earth software, and the average temperature and precipitation data were obtained from the nearest meteorological station to each habitat. Essential oils were extracted using hydro-distillation method with a Clevenger apparatus for three hours and then analyzed using GC-MS and GC-FID devices. The data were analyzed using SPSS and Statgraphics software.

Results and Discussion

The studied *T. kotschyanus* populations showed significant variations in essential oil content. The highest essential oil content (2.64%) was obtained from the Tazehabad-e Bozon Qaran population, which was not significantly different from the Abidar population (2.41%). The lowest essential oil content was extracted from the Rashid Abad population (0.7%), which was not significantly different from the Arez population (0.73%). The essential oil contents of the Zarrineh, Tilako, and Saheb populations were 2.13%, 1.73%, and 1.26%, respectively. The number and type of essential oil compounds, as well as the dominant components, varied among the populations. The identified compounds comprised 86.33% (in the Arez population) to 99.76% (in the Tilako population) of the essential oil. *Alpha*-terpineol (52.51%) and 1,8-cineole (11.05%) in the Saheb; thymol (56.55%) and γ -terpinene (11.58%) in the Tilako; careen (39.96%), geranyl acetate (18.85%), and α -terpineol (11.25%) in the Zarrineh; α -terpineol (28.79%) and linalool (21.74%) in the Rashid Abad; isothymol methyl ether (51.58%) and geranyl acetate (24.39%) in the Tazehabad-e Bozon Qaran; linalool (59.47%) and *trans*-Caryophyllene (12.59%) in the Abidar; and linalool (35.17%) and 1,8-cineole (11.26%) in the Arez population, were identified as the dominant essential oil compounds. *Alpha*-terpinene and thymol were detected only in the essential oil of the Tilako population. The principal component analysis identified five components that explained 96.75% of the total variance among the populations. Borneol, camphene, thujene, γ -terpinene, geranyl acetate, and β -bisabolene, with the highest factor coefficients in the first component, were the most influential compounds in distinguishing the populations. Selection of the superior population based on the first component identifies populations with high concentrations of borneol, camphene, thujene, and γ -terpinene, and low concentrations of geranyl acetate and β -bisabolene. In contrast, selection based on the second component identifies populations with high levels of *cis*-sabinene hydrate, terpinen-4-ol, camphor, and 1,8-cineole, and low levels of thymol, α -terpinene, and *p*-cymene. Thus, Tilako, based on the first component, and Saheb, based on the second component, were identified as the superior populations. The distance between populations in the cluster, based on their phytochemical profiles, was not in accordance with their geographical distance, indicating a greater impact of genetics compared to habitat conditions on the phytochemical profiles. No significant correlation was observed between essential oil content and habitat conditions. However, significant correlations were found between certain essential oil compounds and habitat conditions, which can be used in the domestication process of this plant species to determine the optimal growing conditions.

Conclusion

The studied *Thymus kotschyanus* populations indicated considerable diversity in terms of essential oil content and constituents. Overall, Tazehabad-e Bozon Qaran and Abidar populations were superior in terms of essential oil content. Nonetheless, based on essential oil constituents, the superior population varied depending on the target compounds.