

بررسی اثر برخی از عوامل محیطی بر ترکیب اسانس *Salvia multicaulis* Vahl. در استان همدان

مهديه توکلی^{۱*}، سعید سلطانی^۲، مصطفی ترکش اصفهانی^۳ و رویا کرمان^۴

* نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

پست الکترونیک: Mahdiah.tavakoli@na.iut.ac.ir

۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

گونه‌های جنس مریم‌گلی (*Salvia*) به واسطه تولید متابولیت‌های ثانویه اهمیت بالایی در صنایع مختلف غذایی، دارویی و بهداشتی-آرایشی دارند. اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان تحت کنترل ژنتیک گیاه می‌باشد، اما عوامل محیطی روی تولید ترکیب آنها در گیاهان تأثیر زیادی دارند. در پژوهش حاضر به منظور بررسی اثرات برخی از عوامل اقلیمی، توپوگرافی و پارامترهای خاکی بر ترکیب اسانس گیاه *Salvia multicaulis* Vahl، نمونه‌های گیاه در فصل گل‌دهی از ۹ رویشگاه متفاوت در استان همدان جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک نیز از پای هر گیاه در مناطق نمونه‌گیری برداشت شدند. اسانس گیاهان به روش تقطیر با آب استخراج و ترکیب آنها توسط دستگاه‌های GC/MS و GC/MS شناسایی شد. فاکتورهای خاک براساس دستورالعمل‌های مربوطه اندازه‌گیری و آمار هوشناسی نیز از ایستگاه‌های هوشناسی استان همدان استخراج گردید. برای بررسی تأثیر عوامل محیطی مختلف بر ترکیب اسانس‌ها از آنالیز RDA استفاده شد. خوشه‌بندی رویشگاه‌های مورد مطالعه بر مبنای ترکیب‌های غالب اسانس‌ها و براساس روش WARDs انجام گرفت. ترکیب اسانس در رویشگاه‌های مختلف متفاوت بود. ترکیب‌های آلفا-پینن (۱/۳-۳۲/۱)، آلفا-فلاندرن (۱/۱-۷)، ۸،۱-سینئول (۱-۱۷/۲)، بورنیل استات (۷-۱۶/۲) و بتا-کاریوفیلن (۹/۱-۴۰/۶) ترکیب‌های غالب اسانس این گیاه بودند. نتایج RDA نشان داد که بازده اسانس و درصد ترپن‌های اکسیژن‌دار با افزایش ارتفاع افزایش یافتند، اما درصد ترپن‌های هیدروکربنی همبستگی معکوس با ارتفاع داشت. مونوترپن‌ها همبستگی مثبت با رطوبت نسبی، بارندگی و کربن آلی خاک داشتند، اما سسکویی‌ترین‌ها رابطه معکوس با عوامل یاد شده و همبستگی مثبت با فسفر و تا حدی کلسیم خاک داشتند. رویشگاه‌های مورد مطالعه به دو گروه متمایز با غالبیت مونوترپن‌ها و سسکویی‌ترین‌ها در اسانس خوشه‌بندی شدند. این یافته‌ها جهت بهره‌برداری تجاری از گیاه مریم‌گلی با هدف استخراج ترکیب‌های ثانویه خاص موجود در اسانس آن می‌توانند حائز اهمیت باشند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، *Salvia multicaulis* Vahl، گیاهان دارویی، عوامل خاکی، فاکتورهای اقلیمی.

مقدمه

گیاهان دارویی از دوران ماقبل تاریخ و طی دوره‌های طولانی همواره به‌عنوان مهمترین منبع ترکیب‌های شفاف‌بخش مطرح بوده و انسانها از آنها برای درمان بیماریهای مختلف بهره می‌برده‌اند (Pehlivan & Sevindik, 2018). جایگاه گیاهان دارویی به‌عنوان یکی از منابع با ارزش برای استخراج ترکیب‌های مؤثره برای تولید داروهای مختلف و همین‌طور یک منبع مهم برای ترکیب‌های با ارزش برای صنایع غذایی، بهداشتی و آرایشی بعد از محدودیت در استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها در صنایع مختلف احیاء شد (Rashmi et al., 2020; Bauer et al., 2001). خواص ذکر شده برای گیاهان دارویی، عمدتاً به متابولیت‌های ثانویه آنها نسبت داده می‌شود. متابولیت‌های ثانویه، ترکیب‌هایی هستند که به‌طور مستقیم در رشد و نمو گیاهان دخیل نیستند (Singh, 2015)، باین‌حال، این ترکیب‌ها نقش ارتباطی و دفاعی در گیاهان دارند و در بقای آنها در محیط نقش مهمی را ایفاء می‌کنند (Leicach & Chludil, 2014).

اسانس‌ها یکی از فرآورده‌های تجاری متشکل از متابولیت‌های ثانویه عمدتاً فرار گیاهی هستند که مونو- و سسکوئیدی‌ترین‌ها اجزای سازنده اصلی این فرآورده‌ها محسوب می‌شوند (Busatta et al., 2007).

در این میان، نکته حائز اهمیت این است که با وجود اینکه سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاهی تحت کنترل ژنتیک گیاهان انجام می‌شود، باین‌حال، تولید آنها به لحاظ کمی و کیفی ثابت نبوده و به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی تغییر می‌کند (Verma & Shukla, 2015). در این راستا و در ارتباط با اسانس‌ها، تحقیقات پیشین نشان داده است که موقعیت جغرافیایی و عوامل مرتبط با آن مانند شرایط آب و هوایی، ارتفاع از سطح دریا، توپوگرافی منطقه و نوع خاک و همین‌طور مرحله فنولوژیکی گیاه می‌تواند درصد اسانس و ترکیب مواد مؤثره آنها را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند (Yavari et al., 2010; Andrade et al., 2011).

Jafarian et al.; Ale Omrani Nejad et al., 2019؛ 2018 (al., 2020).

جنس مریم‌گلی (*Salvia*) یکی از بزرگترین و مهمترین جنس‌های خانواده نعناعیان است که با حدود ۹۰۰ گونه در سراسر جهان پراکندگی دارد (Walker et al., 2004). اعضای این جنس بیشتر در منطقه مدیترانه، جنوب‌شرق آسیا و آمریکای مرکزی پراکنش دارند (Yazdinezhad & Malekzadeh, 2015). ۵۸ گونه مریم‌گلی در ایران رویش دارند که ۱۷ گونه از این جنس انحصاری ایران هستند (Karami et al., 2015). بیشتر گونه‌های این جنس در استان‌های گیلان، خراسان، کرمان، یزد، اصفهان، قزوین، اراک و همدان پراکنده‌اند. گونه *Salvia multicaulis* گیاهی یک‌ساله و پایا با ساقه‌های چهارگوش و گل‌های خوشه‌ای ارغوانی رنگ است (Ghahraman, 1988). این گونه دارای طیف وسیعی از متابولیت‌های ثانویه مانند مونوترپن‌ها، دی‌ترپن‌ها، تری‌ترپن‌ها، فلاونوئیدها، اسیدهای فنلی و هتروزیدها است (Wu et al., 2012) که بسیاری از این ترکیب‌ها دارای اثرهای دارویی بوده و در درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شود.

در تحقیقات انجام شده، هر چند ترکیب اسانس در این گونه تا حد زیادی متفاوت بوده، باین‌حال در بیشتر این تحقیقات، مونوترپن‌هایی مانند آلفا-پینن، ۸،۱-سینئول، بورتول، کامفور و بورنیل استات و سسکوئیدی‌ترین بتا-کاریوفیلین به‌عنوان ترکیب‌های غالب در اسانس گونه *Salvia multicaulis* شناسایی شده‌اند (Ahmadi & Mirza, 1999؛ Shahriari et al., 2019). در بسیاری از تحقیقات بیشتر این ترکیب‌ها اثرهای ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی و ضد سرطانی از خود نشان داده‌اند که بیانگر اهمیت آنها در شکل خالص خود و یا اسانس و البته خود گیاه می‌باشد (Carta et al., 1996؛ Piccaglia et al., 1997). با وجود شناسایی ترکیب‌های غالب ذکر شده در بیشتر تحقیقات انجام شده روی این گونه، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، ترکیب و درصد آنها بسیار

شدند. همزمان در هر نقطه نمونه‌گیری و به موازات نمونه‌گیری از گیاه، نمونه‌هایی از خاک اطراف ریشه گیاه تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نیز جمع‌آوری شد. نمونه‌های گیاهی بعد از جمع‌آوری در آزمایشگاه و دمای اتاق تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید. به همین ترتیب، نمونه‌های خاک نیز در آزمایشگاه و در دمای اتاق خشک شدند و تا زمان اندازه‌گیری پارامترهای خاک در کیسه‌های پلاستیکی در بسته نگهداری شد.

جمع‌آوری داده‌ها و برآورد پارامترهای هواشناسی

آمار خام مربوط به داده‌های هواشناسی از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به مناطق نمونه‌برداری جمع‌آوری شد و پارامترهای هواشناسی شامل میانگین ماه‌های فروردین و اردیبهشت (فصل رویشی گیاه منتهی به نمونه‌گیری) برای حداکثر، حداقل و میانگین دمای روزانه (به ترتیب T_{Max} ، T_{Min} ، T_{Me})؛ میانگین ماه‌های فروردین و اردیبهشت برای متوسط رطوبت نسبی روزانه، مجموع ساعات آفتابی روزانه (Hu, Sun) و مجموع بارندگی (Pr) از این داده‌ها برآورد و استخراج شد.

اسانس‌گیری از گونه‌های گیاهی

برای اسانس‌گیری، نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده از هر منطقه جغرافیایی باهم مخلوط گردید تا یک نمونه معرف برای هر منطقه بدست آید. سپس اسانس‌گیری از هر نمونه به روش تقطیر با آب و با دستگاه میکروکلونجر انجام شد. برای این منظور از ۵۰ گرم نمونه خشک شده استفاده گردید و استخراج اسانس طی ۵ ساعت انجام شد. اسانس‌های استخراج شده در ویال‌های تیره در بسته و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز شیمیایی نگهداری گردید.

متفاوت بوده که این موضوع تا حد زیادی می‌تواند در نتیجه تأثیر عوامل محیطی مختلف بر ترکیب اجزاء اسانس این گیاه باشد. مطالعات انجام شده پیشین روی اسانس گیاه مریم‌گلی بیشتر محدود به شناسایی ترکیب اجزاء مؤثره آن بوده و اطلاعات در مورد اثرهای عوامل محیطی بر پروفایل اجزاء سازنده اسانس این گونه بسیار محدود است (Amiri, Morteza-Semnani et al., 2005). از این رو مطالعه اثرهای متقابل بین عوامل محیطی و درصد ترکیب‌های ترپنی در اسانس این گیاه می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در رابطه با تعیین مناطق جغرافیایی مناسب برای تولید هر یک از ترکیب‌های ثانویه ارزشمند موجود در اسانس آن و یا فراهم آوردن شرایط محیطی مطلوب برای تولید تجاری این گیاه و بهره‌برداری از ترکیب‌های مؤثره آن فراهم کند.

بنابراین، هدف از این مطالعه نمونه‌گیری از گیاه *Salvia multicaulis* در ۹ منطقه جغرافیایی متفاوت در استان همدان، اسانس‌گیری، تعیین ترکیب اسانس و بررسی اثرهای عوامل اقلیمی و خاکی بر ترکیب اسانس این گیاه بود.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌های گیاهی (اندام هوایی شامل برگ، گل و ساقه) در مرحله گلدهی از ۹ منطقه جغرافیایی در بخش‌های مختلف استان همدان و در رویشگاه‌های این گیاه در دامنه ارتفاعی ۲۱۵۴-۱۷۱۴ متر برداشت شد (جدول ۱). برای این منظور، در هر منطقه رویشی تعداد سه نقطه نمونه‌گیری حداقل به فاصله ۵۰ متر به‌طور تصادفی انتخاب شد و نمونه‌های گیاهی در اوایل دوره گلدهی (اردیبهشت‌ماه) پس از ثبت موقعیت جغرافیایی و ارتفاع نقطه مورد نظر توسط دستگاه GPS، جمع‌آوری

جدول ۱- مشخصات مناطق نمونه برداری گونه *Salvia multicaulis*Table 1. Sampling sites characteristics of *Salvia multicaulis*

No.	Sampling site	Coordinate	Altitude (m)
S1	Asad abad	N34° 50' 44" E48° 11' 29"	2107-2123
S2	Hamekasi	N34° 58' 55" E48° 09' 44"	2120-2135
S3	Gamasiab	N34° 02' 45" E48° 22' 24"	1850-1876
S4	Abbas Abad	N34° 47' 10" E48° 27' 49"	2036-2070
S5	Ganjnameh	N34° 45' 34" E48° 26' 20"	2183-2196
S6	Gian	N34° 08' 30" E48° 13' 06"	1714-1724
S7	Ekbatan Dam	N34° 44' 57" E48° 36' 44"	2019-2040
S8	Heidareh	N34° 48' 58" E48° 26' 50"	1986-1992
S9	Boghrati	N35° 31' 19" E48° 43' 24"	2135-2154

برای تعیین درصد ترکیب‌های موجود در اسانس از دستگاه کروماتوگرافی (Agilent GC, 6890N) مجهز به آشکارساز یونش شعله‌ای (FID) و یک ستون موئین BP-5 با مشخصات (طول ۳۰ متر، عرض ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲۵ میکرومتر ضخامت فاز ثابت داخلی) استفاده شد. از گاز نیتروژن به‌عنوان حامل با دبی ۰/۹ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده گردید. برنامه دمایی ستون و سایر شرایط مشابه با شرایط توضیح داده شده در بالا بود. درصد نسبی هر یک از ترکیب‌ها براساس مساحت پیک آن ترکیب نسبت به کل پیک‌های بدست آمده از GC-FID محاسبه شد.

اندازه‌گیری پارامترهای خاک

مواد مغذی خاک شامل فسفر به روش Olsen و همکاران (۱۹۵۴)، کلسیم (Ca)، سدیم (Na)، پتاسیم (K) و منیزیم (Mg) قابل دسترس و همچنین کربن آلی خاک (OC) با استفاده از دستورالعمل Konare و همکاران (۲۰۱۰) و Nelson و Sommers (۱۹۸۳) اندازه‌گیری شد. همچنین برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل میزان EC با روش Rhoades (۱۹۹۶) و pH به روش Thomas (۱۹۹۶) اندازه‌گیری شدند.

تعیین ترکیب شیمیایی اسانس با استفاده از GC و GC/MS

شناسایی ترکیب‌های موجود در اسانس‌ها با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی مدل (Agilent GC, 6890N) مجهز به یک آشکارساز انتخابی جرمی (Agilent, HP-5973) و یک ستون موئین BP-5 با مشخصات (طول ۳۰ متر، عرض ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲۵ میکرومتر ضخامت فاز ثابت داخلی) انجام شد. از گاز هلیوم به‌عنوان حامل با دبی ۰/۹ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده گردید. برنامه دمایی ستون شامل نگهداری ۲ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و افزایش ۵ درجه به ازاء هر دقیقه تا دمای نهایی ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد بود. دمای محفظه تزریق، منبع یونی و آشکارساز به ترتیب در دمای ۲۶۰، ۲۳۰ و ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. اسکن جرمی در دامنه ۴۰-۴۵۰ m/z با انرژی یونیزاسیون الکترونی ۷۰ eV انجام شد. شناسایی ترکیب‌های مؤثره براساس مقایسه طیف جرمی ترکیب‌های شناسایی شده با کتابخانه (Wiley et al., 2005) و همچنین مقایسه شاخص زمان ماندگاری (RI) هر ترکیب با RI همان ترکیب در منابع (Adams, 2007) انجام گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج

پارامترهای خاک

نتایج مربوط به پارامترهای خاک در جدول ۲ ارائه شده است. براساس این نتایج، محتوای مواد معدنی خاک در بین مناطق مختلف متفاوت بود، به طوری که مناطق ۶، ۷، ۸ و ۹ به طور نسبی سدیم، منیزیوم و پتاسیم بالاتری نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه داشتند. بر همین اساس، میزان شوری خاک در مناطق یادشده بالاتر از سایر مناطق نمونه برداری بود و همسو با این پارامترها، pH خاک نیز در این مناطق (۹-۶) بالاتر از سایر مناطق مورد بررسی بود. در بین مواد معدنی، فسفر بالاترین میزان نوسان را در بین مناطق مورد مطالعه داشت و بیشترین میزان فسفر در منطقه ۸ مشاهده شد. بر خلاف فسفر، تغییرات میزان کلسیم خاک بسیار پایین تر بود، باین حال، بالاترین مقدار کلسیم خاک نیز مانند فسفر در منطقه ۸ مشاهده گردید. محتوای کربن آلی خاک نیز در بین مناطق مختلف تفاوت قابل توجهی داشت و بیشترین محتوای کربن آلی در مناطق ۱، ۲ و ۳ مشاهده شد.

پس از تعیین ترکیب شیمیایی اسانس‌ها، در مجموع ۵ ترکیب اصلی شامل آلفا-پینن، ۸،۱-سینئول، بتا-کاریوفیلین، آلفا-فلاندرن و بورنیل استات به عنوان ترکیب‌های غالب شناسایی و برای بررسی اثرهای محیطی بر نسبت غلظتی آنها انتخاب گردید. برای این منظور، در ابتدا جهت تعیین طول گرادیان اثرهای عوامل محیطی از آنالیز DCCA استفاده شد. سپس براساس نتایج بدست آمده از این تجزیه و تحلیل، برای بررسی اثرهای خطی و غیرخطی عوامل محیطی بر ترکیب‌های غالب مذکور و همینطور بر مجموع مونو- و سسکوئیدی‌ترین‌ها و مجموع ترین‌های اکسیژن‌دار و هیدروکربنی از روش تجزیه و تحلیل افزونگی (RDA) از نرم‌افزار Canoco (4.5) استفاده شد. در نهایت برای خوشه‌بندی مناطق جغرافیایی نمونه‌گیری بر مبنای درصد ترکیب‌های غالب ذکر شده، براساس روش واردز و به کمک نرم‌افزار SPSS (2016) انجام شد.

جدول ۲- نتایج ارزیابی پارامترهای مختلف خاک در رویشگاه‌های مختلف مورد مطالعه در استان همدان

Table 2. Results of different soil parameters evaluation in different study habitats in Hamadan province

Item	Sampling sites								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Na ^a	10.4±1.15	6.9±0.90	8.1±1.26	4.6±0.30	9.2±4.60	16.1±2.30	19.6±1.22	17.3±1.22	16.1±2.30
Mg ^a	7.8±0.60	6.0±0.40	7.8±0.60	5.4±0.60	5.4±0.60	19.8±0.60	13.2±0.50	7.8±0.60	13.2±0.40
Ca ^a	17.0±1.00	17.0±1.00	17.0±1.00	13.0±1.00	15.0±3.00	12.0±1.00	12.0±2.00	20.0±3.00	10.0±1.00
K ^a	115.3±0.66	429.7±0.66	418.3±0.66	93.0±0.70	52.7±0.66	519.3±0.66	551.0±1.00	509.0±1.00	419.0±1.00
P ^a	1.8±0.11	7.0±0.11	17.1±0.11	4.1±0.11	3.6±0.11	5.1±0.11	10.90±0.10	33.5±0.11	3.9±0.11
O.C. ^b	1.8±0.11	1.3±0.11	2.1±0.11	0.4±0.03	0.2±0.00	0.6±0.01	0.6±0.02	0.9±0.02	1.2±0.14
EC ^c	0.1±0.00	0.1±0.00	0.1±0.01	0.1±0.00	0.1±0.00	0.2±0.02	0.2±0.10	0.1±0.02	0.2±0.01
pH	7.6±0.01	7.8±0.01	7.5±0.11	7.6±0.04	7.5±0.01	8.2±0.21	8.1±0.32	7.9±0.22	8.1±0.21

a: mg.L⁻¹; b: %; c: dS.m⁻¹, O.C.: Organic Carbon, S1: Asad abad, S2: Hamekasi, S3: Gamasiab, S4: Abbas Abad, S5: Ganjnameh, S6: Gian, S7: Ekbatan Dam, S8: Heidareh, S9: Boghrati.

جدول ۳- ترکیب شیمیایی اسانس گونه *Salvia multicaulis*

Table 3. *Salvia multicaulis* essential oil compounds

Compounds	Compounds structure	Percentage of compounds in essential oils									
		RI	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
α -pinene	monoterpenoid	924	24.8	5.1	32.1	27.9	9.5	30.3	12.2	1.3	26.3
camphene		946	4.5	-	6.2	4.1	2.1	5.5	1.3	-	3.9
β -pinene		974	1.9	-	2.2	1.5	0.6	2.0	0.4	-	1.6
myrcene		988	1.9	-	1.5	1.4	0.7	1.1	-	-	1.0
α -phellandrene		1002	6.6	1.1	6.3	6.0	2.9	7.0	2.9	2.3	2.1
ρ -cymene		1020	0.4	-	0.7	-	-	0.7	-	-	0.4
1,8-Cineol		1026	13.1	4.0	12.1	1.3	1.0	7.0	3.9	7.3	17.2
γ -terpinene		1054	0.5	-	0.4	0.5	-	0.6	-	-	0.3
camphor		1141	0.9	0.9	2.4	0.5	0.6	2.1	1.0	2.4	0.8
borneol		1165	2.0	2.9	4.3	2.0	2.3	2.1	2.6	7.6	2.4
terpinen-4-ol		1174	0.3	-	0.3	-	-	-	-	0.7	-
myrtenol		1194	-	0.8	0.7	-	0.8	-	-	1.4	0.5
bornyl acetate		1284	11.3	8.1	7.0	8.8	16.2	10.3	11.2	12.4	12.8
myrtenyl-acetate	1324	0.4	-	0.3	-	2.3	0.7	-	0.6	0.8	
α -copaene	sesquiterpenoid	1374	-	-	0.5	-	0.6	-	-	-	0.4
β -caryophyllene		1417	15.0	40.6	11.6	21.6	9.1	17.8	37.6	32.2	11.2
β -copaene		1426	-	-	0.5	-	-	-	0.6	-	-
calarene		1428	1.4	2.5	0.6	2.2	0.8	-	2.8	2.7	0.4
aromadendrene		1439	0.7	1.7	0.5	0.8	0.6	0.8	1.4	1.4	0.5
α -humulene		1452	0.6	0.9	-	0.7	-	-	1.1	1.2	0.3
α -amorphene		1483	0.6	0.6	-	0.5	0.9	-	1.1	0.7	0.5
δ -cadinene		1522	1.2	3.0	0.7	2.3	3.8	0.7	2.4	2.3	0.7
α -cadinene		1534	0.9	-	2.2	2.0	0.6	0.9	0.9	2.9	0.9
α -calacarene		1548	1.2	3.5	1.3	1.7	3.2	1.7	2.2	2.4	1.4
germacrene B		1560	1.6	4.5	1.3	4.1	8.2	2.4	3.6	5.7	2.1
spatheneul		1577	1.0	0.8	-	1.1	5.0	-	1.9	0.9	1.0
caryophyllenol oxide		1582	1.4	9.3	1.6	3.0	11.2	2.1	2.6	4.7	2.9
viridiferol		1592	0.5	1.5	0.4	0.5	1.6	0.7	0.7	0.8	0.6
carotol		1594	1.1	2.0	0.4	1.9	4.6	0.7	1.7	1.9	0.9
β -eudesmol	1649	0.6	1.0	0.2	0.7	1.5	0.6	0.7	0.7	0.7	
Total			96.4	94.8	98.3	97.1	90.7	97.8	96.8	96.5	94.6
Essential oil content (%)			0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.2	0.2	0.5	0.2

S1: Asad abad, S2: Hamekasi, S3: Gamasiab, S4: Abbas Abad, S5: Ganjnameh, S6: Gian, S7: Ekbatan Dam, S8: Heidareh, S9: Boghrati.

و ۶۰/۵ درصد از کل ترپن‌ها، گروه غالب به ترتیب در مناطق ۲، ۵، ۷ و ۸ بودند. به همین ترتیب مناطق نمونه‌گیری به لحاظ درصد ترپن‌های اکسیژن‌دار و ترپن‌های هیدروکربنی باهم تفاوت داشتند. در این رابطه، به غیر از منطقه ۵ که ترکیب‌های ترپنی اکسیژن‌دار با ۴۷/۱٪ گروه غالب بودند، در بقیه مناطق، ترپن‌های هیدروکربنی گروه غالب موجود در اسانس بودند.

آنالیز DCCA و RDA

براساس نتایج آنالیز DCCA، همه بردارها طول گرادیان کمتر از ۱ داشتند، از این رو در مرحله بعد، آنالیز داده‌ها با استفاده از روش RDA انجام شد. براساس نتایج RDA، مقدار ۴۸/۲٪ از کل واریانس سیستم حول مؤلفه اصلی اول (افقی)، ۲۵/۹٪ از واریانس کل حول مؤلفه اصلی دوم و ۱۲/۶٪ حول مؤلفه اصلی سوم توزیع شده بود و در مجموع، سه مؤلفه اول ۸۶/۷٪ از کل واریانس تجمعی سیستم را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

ترکیب شیمیایی اسانس در مناطق مختلف نمونه‌گیری آنالیز اسانس گیاه مریم‌گلی نشان داد که ترکیب شیمیایی آن در مناطق مختلف متفاوت است (جدول ۳)، با این حال به لحاظ ترکیب اسانس‌ها در کلیه مناطق، آلفا-پینن، آلفا-فلاندرن، ۸،۱-سینئول، بورنیل استات و بتا-کاریوفیلین به عنوان ترکیب‌های غالب شناسایی شدند. در این میان، اسانس‌های مناطق ۲ و ۸ تا حدی پروفایل ترکیب‌های مؤثره متفاوتی از بقیه مناطق داشتند، به طوری که در منطقه ۲، کاریوفیلین اکساید و در منطقه ۸ بورنئول از اجزاء غالب اسانس بودند، از این رو این دو ترکیب نیز به عنوان ترکیب‌های غالب در آنالیز RDA و خوشه‌بندی لحاظ شدند. همچنین در مورد مجموع مونو و سسکویی‌ترین‌ها بین مناطق مختلف تفاوت وجود داشت، به طوری که مونوترپن‌ها با مقادیر ۶۸/۷، ۷۶/۵، ۵۴/۳۰، ۶۹/۳ و ۷۰/۱ درصد از کل ترپن‌ها (شناسایی شده و شناسایی نشده)، گروه غالب به ترتیب در مناطق ۱، ۳، ۴، ۶ و ۹ بودند و سسکویی‌ترین‌ها با مقادیر ۷۱/۸، ۵۱/۷، ۶۱/۲

جدول ۴- مقادیر ویژه و نسبت تجمعی سهم در آنالیز RDA

Table 3. Eigenvalues and contribution cumulative ratio in RDA analysis

Axes	1	2	3	4	Total variance
Eigenvalues	0.5	0.3	0.1	0.1	1.0
Species-environment correlations	1	1	1	1	
Cumulative percentage variance of species data	48.2	74.1	86.7	94.8	
Sum of all eigenvalues					1.0
Sum of all canonical eigenvalues					0.9

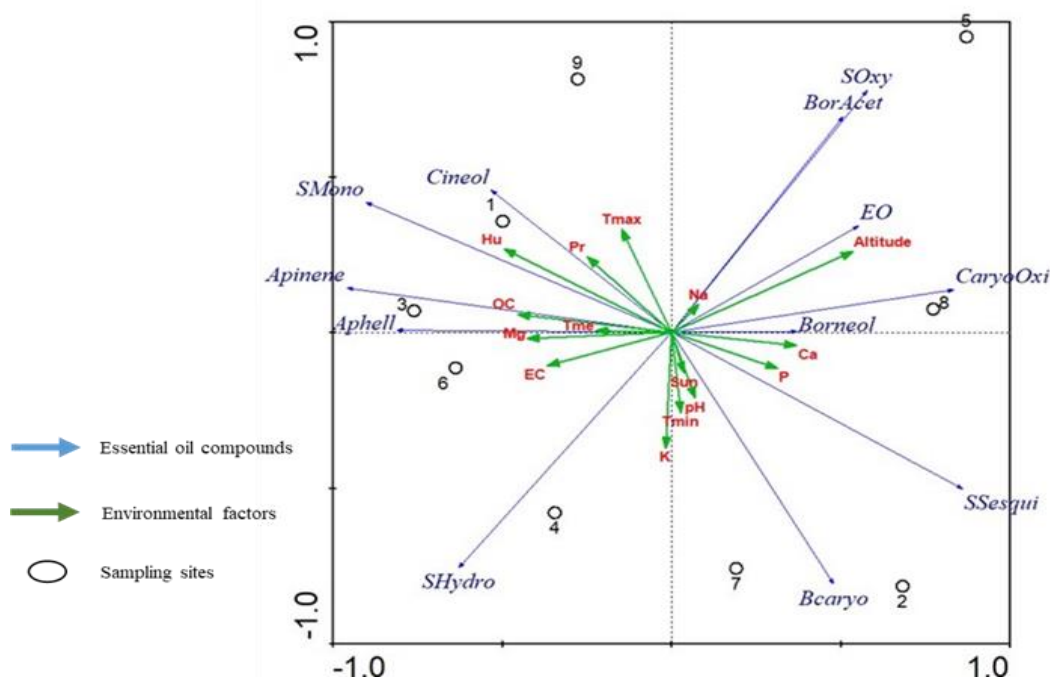
بارندگی و همین‌طور کربن آلی خاک داشتند. در طرف مقابل، سسکویی‌ترین‌ها همبستگی مثبت و بالایی با فسفر و تا حدی کلسیم خاک نشان دادند و با رطوبت نسبی و بارندگی رابطه معکوس داشتند. یک همبستگی مثبت بین ترپن‌های اکسیژن‌دار و ارتفاع از سطح دریا و همین‌طور محتوای اسانس مشاهده شد. این ترکیب‌ها بالاترین مقدار را در منطقه ۵ داشتند. در مقابل،

براساس نتایج RDA، محتوای اسانس (بازده اسانس) همبستگی مثبت و نزدیکی با ارتفاع از سطح دریا داشت و با افزایش ارتفاع محتوای اسانس افزایش یافت و بالاترین محتوای اسانس در منطقه ۵ مشاهده شد (شکل ۱). همچنین، یک همبستگی بالا و منفی بین محتوای اسانس و EC خاک مشاهده گردید. در مجموع، مونوترپن‌ها همبستگی مثبت و بالایی با رطوبت نسبی و

خوشه‌بندی مناطق

در خوشه‌بندی که براساس ترکیب‌های غالب انتخاب شده در کل مناطق انجام شد، مناطق در دو گروه اصلی گروه‌بندی شدند (شکل ۲). مهمترین ویژگی مشترک مناطق موجود در گروه دوم (G2)، درصد بالای سسکویی‌ترین بتا-کاروفیلین بود، در عین حال، درصد مونوترپن‌های آلفا-پینن و آلفا-فلاندرن در این مناطق به‌طور نسبی پایین بود. در مقابل، در مناطق گروه اول (G1) درصد بتا-کاروفیلین پایین و درصد مونوترپن‌های ذکر شده به‌طور نسبی بالاتر بود.

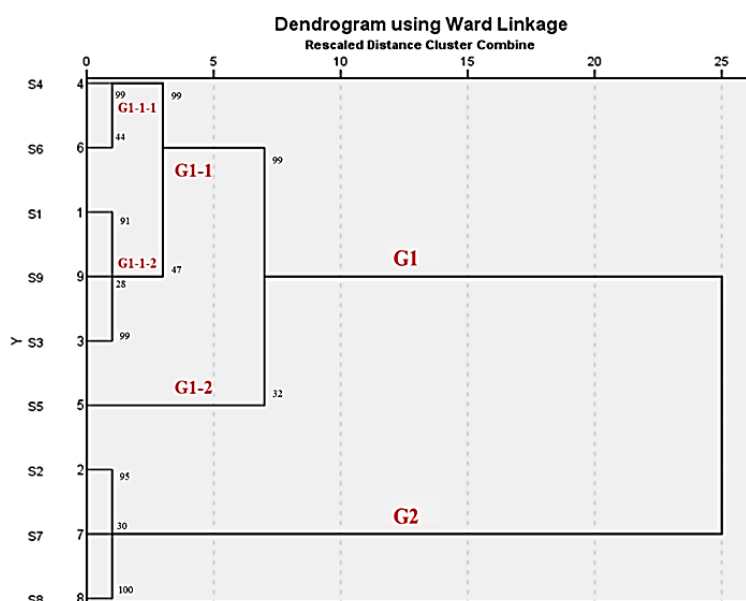
ترین‌های هیدروکربنی با ارتفاع از سطح دریا رابطه معکوس داشته و بالاترین میزان را در منطقه ۴ داشتند. آلفا-پینن به‌عنوان مهمترین جزء مونوترپن‌ها، همبستگی مثبت و بالایی با کربن آلی و منیزیم خاک و همین‌طور رطوبت نسبی داشت و بالاترین درصد آن در منطقه ۳ مشاهده شد. اما بتا-کاروفیلین به‌عنوان مهمترین سسکویی‌ترین یک رابطه معکوس با رطوبت نسبی و بارندگی داشت و بالاترین میزان این ترکیب در مناطق ۲ و ۷ مشاهده شد.



شکل ۱- توزیع ترکیب‌های اسانس گونه *Salvia multicaulis* در آنالیز RDA

Figure 1. Distribution of *Salvia multicaulis* essential oil compounds in RDA analysis

SHydro: total hydrocarbon compounds; SOxy: total oxygenated compounds; SSESqui: total sesquiterpenes; SMono: total monoterpenes; Bcaryo: β -caryophyllene; Borneol: borneol; CaryoOxi: caryophyllene oxide; EO: essential oil content; Cineol: 1,8-cineol; APhell: α -phellandrene; Apinene: α -pinene; BorAcet: bornyl acetate



شکل ۲- تجزیه خوشه‌ای رویشگاه‌های مختلف مورد مطالعه گونه *Salvia multicaulis* در استان همدان بر اساس ترکیب‌های غالب اسانس

Figure 2. Cluster analysis of *Salvia multicaulis* different study habitats in Hamadan province based on essential oil major compounds

Bootstrap values (100 replicates) are presented at each node (Coph. corr. 0.85)

(S1: Asad abad, S2: Hamekasi, S3: Gamasiab, S4: Abbas Abad, S5: Ganjnameh, S6: Gian, S7: Ekbatan Dam, S8: Heidareh, S9: Boghrati)

بحث

پارامترهای خاک

تحت تأثیر عوامل بسیار زیادی است که تفسیر تغییرات آن را بسیار پیچیده می‌کند. در این مطالعه محتوای بالای کربن آلی در مناطق ۱ تا ۳ و تا حدودی در منطقه ۹ می‌تواند ناشی از غنای نسبی بالاتر پوشش گیاهی در این مناطق باشد.

ترکیب شیمیایی اسانس

در این تحقیق، با وجود تفاوت در ترکیب اسانس گیاه *Salvia multicaulis* در مناطق مختلف، ترکیب‌های غالب شناسایی شده در آن با تحقیقات پیشین همسو بود. مونوترپن‌های آلفا-پینن، ۱،۸-سینئول و بورنیل استات در بیشتر مناطق جزء ترکیب‌های غالب اسانس این گونه بودند که در بسیاری از تحقیقات پیشین نیز جزء ترکیب غالب و مهم در اسانس *Salvia multicaulis* معرفی شده‌اند (Morteza-Semnani et al., 2005؛ Kintzios, 2006؛ Senatore et al., 2006؛ Kamatou et al., 2010؛ Amiri, 2012؛ Shahriari et al., 2019).

مواد مغذی خاک یکی از مهمترین عوامل تعیین‌کننده رشد گیاهان و همچنین تولید ترکیب‌های آلی از جمله ترکیب‌های ثانویه در آنها هستند (Burney et al., 2012؛ Yang et al., 2018). محتوای مواد معدنی خاک به‌طور عمده تحت تأثیر جنس اولیه خاک و همین‌طور برخی عوامل اقلیمی مانند میزان رطوبت و بارندگی هستند و در نتیجه خاک‌شویی و میزان تبخیر تغییر می‌کنند (Azarnivand & Zare Chahouki, 2014). در این مطالعه، محتوای بالای کاتیون‌های تک ظرفیتی مانند سدیم، پتاسیم و منیزیم در مناطق ۶-۹ با شوری نسبی بالاتر و همچنین pH بالاتر خاک در این مناطق همسو بود. با توجه به محلولیت بالاتر کاتیون‌های تک ظرفیتی در آب و نقش آنها در تعیین pH، این نتایج منطقی به نظر می‌رسد. در عین حال، محتوای کربن آلی به‌طور عمده تحت تأثیر پوشش گیاهی می‌باشد که خود پوشش گیاهی

همچنین، بتا-کاریوفیلین نیز مهمترین سسکویی‌ترین غالب در بیشتر مناطق بود که در منابع به‌عنوان سسکویی‌ترین غالب در اسانس مریم‌گلی در نظر گرفته شده است (Shahriari et al., 2012; Amiri, 2012; Kintzios, 2006). به همین ترتیب، بورتول از جمله مونوترپن‌های غالب گزارش شده برای اسانس مریم‌گلی در منابع است (Amiri, 2012; Morteza-Semnani et al., 2005) که در این تحقیق فقط در منطقه ۸ جزء ترکیب‌های غالب بود. همانطور که قبلاً بیان شد اسانس مریم‌گلی دارای اثرهای بیولوژیک متعددی مانند اثر ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی می‌باشد که این اثرها به‌طور عمده به ترکیب‌های غالب موجود در اسانس آن منتسب می‌شود (Tada et al., 1994; Yousefzadi et al., 2008; Hamidpour et al., 2013; Sardi et al., 2013). در این میان و براساس تحقیقات گذشته، بیشتر ترکیب‌های غالب شناسایی شده در اسانس *Salvia multicaulis* در این تحقیق دارای اثرهای بیولوژیک و دارویی هستند. در این رابطه، آلفا-پینین به‌عنوان یکی از ترکیب‌های غالب مهم در اسانس *Salvia multicaulis* اثرهای ضد میکروبی، ضد قارچی، ضد التهابی و ضد سرطانی از خود نشان داده است (Tada et al., 1994; Dorman & Deans, 1996; Cuvelier et al., 2000; Morteza-Semnani et al., 2005; Miguel, 2010; Kim et al., 2015). با این حال، یادآوری می‌شود که آلفا-پینین با توجه به ماهیت فرار و رایحه مطلوب خود در صنعت عطرسازی و بهداشتی-آرایشی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ahmed et al., 1994).

۸-۱- سینئول نیز از ترکیب‌های غالب اسانس این گونه است که به دلیل داشتن اثرهای بیولوژیک متعدد اهمیت درمانی بالایی دارد. این ترکیب نیز دارای اثرهای ضد میکروبی، ضد قارچی، ضد التهابی و ضد درد (Tada et al., 1994; Pitarokili et al., 2002; Li et al., 2014; Miladinović et al., 2015; Moo et al., 2021) است که بیانگر اهمیت آن در صنایع دارویی می‌باشد. همچنین ۸-۱- سینئول با توجه به عطر و بوی خاص خود در صنایع

بهداشتی-آرایشی و عطرسازی نیز دارای اهمیت بالایی بوده و به‌طور وسیعی استفاده می‌شود (Villa, Kubelka, 2011). بتا-کاریوفیلین مهمترین سسکویی‌ترین غالب در اسانس *Salvia multicaulis* بود که برای این ترکیب نیز اثرهای بیولوژیک و درمانی متعددی در منابع ذکر شده است. تحقیقات پیشین حکایت از اثرهای مفید بتا-کاریوفیلین در درمان دیابت (Basha & Sankaranarayanan, 2014)، اضطراب و افسردگی (Bahi et al., 2014)، سرطان (Legault & Pichette, 2008)، آلزایمر (Cheng et al., 2014)، آرتريت مفصلی (Rufino et al., 2015) و ایسکمی مغزی (Chang et al., 2013) دارد. تحقیقات انجام شده روی بورنیل استات یکی دیگر از ترکیب‌های غالب در اسانس *Salvia multicaulis* و یا اسانس‌های غنی از بورنیل استات حکایت از اثرهای ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، خاصیت ضد التهاب و آرام‌بخشی این ترکیب دارد (Wu et al., 2005; Yang et al., 2014; Rabib et al., 2020). در عین حال، این ترکیب نیز به لحاظ داشتن رایحه ویژه خود در ساخت عطرهای مختلف نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این میان، آلفا-فلاندرن نیز از جمله ترکیب‌هایی است که اثرهای درمانی متعددی مانند ضد دیابتی، ضد افسردگی و ضد التهابی (Piccinelli et al., 2015)، اثرهای ضد سرطانی (Lin et al., 2016)، ضد درد (Lima et al., 2012) و ضد قارچی (Zhang et al., 2017) از خود نشان داده است. بورتول نیز از جمله متابولیت‌های ثانویه‌ای است که اثرهای ضد میکروبی و ضد قارچی و ضد التهابی برای آن گزارش شده است (Dorman & Deans, 2000; Hamidpour et al., 2013). در مجموع می‌توان بیان کرد که بیشتر ترکیب‌های غالب شناسایی شده در اسانس گونه مورد مطالعه دارای اثرهای بیولوژیک و دارویی بوده و با توجه به میزان استفاده از آنها در صنایع دارویی و بهداشتی-آرایشی دارای اهمیت اقتصادی هستند.

در این تحقیق، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، با وجود مشابهت نسبی اسانس‌ها در مناطق مختلف بر مبنای

باین حال، در بسیاری از تحقیقات پیشین، افزایش ارتفاع موجب افزایش بازده اسانس در بسیاری از گونه‌های گیاهی شده است که به نوعی می‌توان آن را یک واکنش طبیعی گیاه برای محافظت از خود در مقابل شرایط خشن محیطی توصیف کرد. در این رابطه، گزارش شده است که افزایش ارتفاع موجب افزایش بازده اسانس در گونه‌های مریم‌گلی (Sonboli et al., 2009؛ Bagheri & Yadegari, 2021)، نعنا (Viljoen et al., 2006)، آویشن (Habibi et al., 2007)، ترخون (Omer et al., 2007)، چای کوهی (Alimohammadi et al., 2017) و شیرین بیان (Hemati et al., 2015) شده است.

شوری خاک یکی دیگر از عوامل محیطی است که ممکن است بازده اسانس را در گونه‌های مختلف تحت تأثیر قرار دهد. ضریب هدایت الکتریکی یکی از شاخص‌های مهم تعیین‌کننده شوری خاک محسوب می‌شود که بالا بودن این ضریب می‌تواند به‌عنوان یک عامل تنش، برای رشد و نمو گیاه محسوب شود و به‌همین دلیل می‌تواند تولید ترکیب‌های آلی از جمله متابولیت‌های ثانویه در گیاهان را کاهش دهد (El-Keltawi & Croteau, 1987؛ Aghaei Joubani et al., 2015؛ Mohsenpour et al., 2017). گزارش‌های موجود در منابع نشان‌دهنده اثرهای منفی EC بر عملکرد اسانس در بسیاری از گونه‌های گیاهی مانند رازیانه (Ashraf & Orooj, 2006)، زنیان (Ashraf et al., 2004)، مورد (Mir-Azadi et al., 2013) و به‌طور کلی خانواده نعنائیان از جمله مریم‌گلی (El-Keltawi & Croteau, 1987؛ Demirkaya et al., 2016؛ Ozturk et al., 2004؛ Mohsenpour et al., 2017) است.

در این تحقیق، بارندگی و رطوبت به همراه محتوای مواد آلی خاک از جمله عواملی بودند که موجب افزایش درصد مونوترین‌ها شدند. این عوامل از مهمترین پارامترهای دخیل در رشد و نمو گیاهان محسوب می‌شوند. با توجه به اینکه متابولیت‌های ثانویه از متابولیت‌های اولیه سنتز شده در متابولیسم اولیه گیاهان مشتق می‌شوند (Mahajan et al., 2020)، از این رو هر گونه بهبود در رشد و نمو گیاهان به‌ویژه

ترکیب‌های غالب، به لحاظ پروفایل کلی ترکیب‌های مؤثره، بین مناطق مختلف تفاوت وجود داشت که این تفاوت‌ها در مورد برخی مناطق مانند مناطق ۲ و ۸ در مقایسه با سایر مناطق چشمگیر بود. دلایل متعددی برای تفاوت‌های موجود بین ترکیب اسانس بدست آمده از گونه‌های یکسان در مناطق مختلف بیان شده است. بخشی از این تفاوت‌ها به تفاوت‌های ژنتیکی نسبت داده شده است (Azizi et al., 2009؛ Falco et al., 2013). باین حال، مطالعات گسترده انجام شده در این زمینه حکایت از این واقعیت دارد که بخش بزرگی از تفاوت‌ها ناشی از تأثیر عوامل محیطی می‌باشد (Tommasi et al., 2007؛ Jafarian et al., 2020). پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که به‌صورت اختصاصی فاکتورهای اقلیمی و توپوگرافی محل رویش گونه‌های گیاهی، از عوامل اصلی تأثیرگذار بر کمیت و ترکیب متابولیت‌های ثانویه از جمله انواع موجود در اسانس‌ها محسوب می‌شوند (Viljoen et al., 2006؛ Maxwell & Jones, 2007؛ Oloumi & Hassibi, 2012) که در بخش بعدی جزئیات بیشتری در این زمینه ارائه شده است.

آنالیز RDA

ارتفاع از سطح دریا مهمترین عامل محیطی بود که محتوای اسانس یا بازده اسانس را تحت تأثیر قرار داد و با افزایش ارتفاع بازده اسانس افزایش یافت. ارتفاع از سطح دریا یکی از عوامل محیطی است که به‌دلیل تأثیر آن بر بسیاری از عوامل محیطی دیگر مانند دمای هوا، شدت تابش خورشید و نور فرابنفش، میزان بارندگی و تبخیر، میزان رطوبت نسبی و شدت وزش باد و در نتیجه تغییر شرایط اکوفیزیولوژیکی گیاهان در بیشتر موارد می‌تواند هم بر رشد و هم بر تولید متابولیت‌های ثانویه در آنها تأثیرگذار باشد (Mahzooni-Kachapi et al., 2007؛ Alonso-Amelot et al., 2014؛ Bagheri & Yadegari, 2016؛ Aissi et al., 2021). اثرهای ارتفاع بر محتوای اسانس با توجه به گونه گیاهی و محدوده تغییر در ارتفاع می‌تواند متفاوت باشد،

ارتفاعات بالاتر است (Gholami, 2013). عموماً در شرایط محیطی با تنش بالا ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری توسط گیاهان سنتز می‌شود. در این میان، تحقیقات انجام شده حکایت از قدرت آنتی‌اکسیدانی بالاتر ترین‌های اکسیژن‌دار بوده و خاصیت آنتی‌اکسیدانی عمده اسانس‌ها به محتوای ترین‌های اکسیژن‌دار نسبت داده شده است (Amorati *et al.*, 2013). این موضوع می‌تواند مهمترین عامل بالاتر بودن درصد ترین‌های اکسیژن‌دار در ارتفاعات بالاتر در این تحقیق باشد.

مطالعات انجام شده حکایت از اثرهای متفاوت عوامل محیطی بر ترکیب اسانس و اجزای سازنده آنها دارد که دلیل این موضوع به‌طور دقیق مشخص نشده است، با این حال، اثرهای مختلف عوامل محیطی بر اجزای متابولیت‌های ثانویه می‌تواند ناشی از اثرهای متفاوت این عوامل بر مسیرهای بیوسنتزی و بیان ژن‌های درگیر در سنتز این ترکیب‌ها یا نقش‌های متفاوت هر یک از این متابولیت‌ها در فیزیولوژی گیاه باشد (Milos *et al.*, 2001; Graven *et al.*, 1990; Karousou *et al.*, 2005; Aghaei Joubani *et al.*, 2015).

اطلاعات موجود در منابع در رابطه با اثرهای عوامل محیطی بر ترکیب‌های غالب شناسایی شده در اسانس مریم‌گلی در این تحقیق بسیار محدود می‌باشد، با این حال، داده‌های موجود حکایت از نقش تعیین‌کننده عوامل اقلیمی و پارامترهای خاک بر درصد برخی از ترکیب‌ها دارد (Karousou *et al.*, 2005). در این رابطه، Jalas (۱۹۸۲) و Sefidkon و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که عوامل اقلیمی مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر درصد ۸،۱-سینئول هستند که نتایج این تحقیق با این یافته‌ها همسو است. به‌طور مشابهی Hosseinzadegan و Bakhshi Khaniki (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که بارندگی و رطوبت با درصد ۸،۱-سینئول همبستگی مثبت دارند. همچنین براساس نتایج Jafarian و همکاران (۲۰۲۰) اسیدیته خاک یکی دیگر از عوامل محیطی مؤثر بر سنتز متابولیت‌های ثانویه است، به‌طوری که خاک‌های اسیدی موجب افزایش درصد

در مناطق خشک به دلیل بهبود شرایط محیطی از جمله افزایش بارندگی و ترکیب‌های آلی خاک می‌تواند منجر به افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه نیز شود، زیرا مواد مغذی اضافه بر نیاز رشد می‌تواند وارد مسیرهای سنتزی متابولیت‌های ثانویه گردد (Mahajan *et al.*, 2020). در این رابطه، Carrillo و Fernández-Sestelo (۲۰۲۰) در تحقیق خود روی اسانس لاواندر به این نتیجه رسیدند که تولید اسانس در گیاهان به وضوح با شرایط آب‌وهوایی مرتبط است. آنان همچنین نشان دادند که افزایش بارندگی سالانه و خاک‌های غنی از نظر مواد آلی تولید ترکیب‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها را بالا می‌برد. به‌طور مشابهی، نتایج تحقیقات دیگر نیز حکایت از این واقعیت است که بهبود شرایط خاک، به‌ویژه افزایش مواد آلی خاک میزان ترکیب‌های ثانویه را در گیاهان دارویی افزایش می‌دهد (Habibi *et al.*, 2007; Rajeswara Rao *et al.*, 1990; Dehghan *et al.*, 2014; Figueiredo *et al.*, 2008). از سوی دیگر، نعنایان از جمله گیاهان رطوبت‌پسند بوده و براساس گزارش‌ها افزایش بارندگی یا آبیاری موجب افزایش میزان اسانس آنها می‌شود (Zaouali *et al.*, 2010; Bagheri & Yadegari, 2021). در مقابل، شرایط خشکی، علاوه بر کاهش سنتز مونوترپن‌ها، ممکن است با توجه به فرآیند بالای مونوترپن‌ها و سنگین بودن مولکول‌های سسکویی‌ترین‌ها، منجر به افزایش درصد سسکویی‌ترین‌ها و کاهش سهم مونوترپن‌ها در این آزمایش شده باشد. همچنین، تحقیقات پیشین حکایت از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر سسکویی‌ترین‌ها در مقایسه با مونوترپن‌ها دارد (Ben Jemia *et al.*, 2015; Guetat, 2014). از این رو میزان تنش اکسیداتیو بالاتر در شرایط تنش خشکی ممکن است یکی دیگر از دلایل افزایش درصد سسکویی‌ترین‌ها و ارتباط معکوس آن با میزان بارندگی و رطوبت در این تحقیق باشد.

همانطور که قبلاً اشاره شد، با افزایش ارتفاع، شرایط محیطی برای گیاهان در مجموع خشن‌تر شده و تنش‌های مختلف یکی از دلایل بالاتر بودن محتوای اسانس در

۸،۱-سینئول نسبت به بقیه اعضای گروه G1 بود. در نهایت خود زیر گروه G1-1 نیز به دو گروه فرعی تقسیم شد که زیر گروه فرعی دوم (G1-1-2) شامل مناطق ۳، ۹ و ۱ با ویژگی محتوای بالای ۸،۱-سینئول از بقیه مناطق که در زیر گروه فرعی اول (G1-1-1) قرار گرفتند متمایز بودند.

در تحقیقی که توسط Jassbi و همکاران (۲۰۱۲) روی گونه‌های مختلف مریم‌گلی انجام شد، ترکیب‌های ثانویه موجود در اسانس آنها در چهار گروه (کمو تایپ) تقسیم‌بندی شدند که خوشه‌بندی اسانس مریم‌گلی براساس ترکیب‌های غالب در این تحقیق تا حد زیادی با این گروه‌بندی مطابقت دارد. براساس این تقسیم‌بندی، ترکیب‌های موجود در گروه اول با ویژگی محتوای بالای مونوترپن‌هایی مانند آلفا-پینن و الکل‌هایی مانند ۸،۱-سینئول با گروه G1 در این تحقیق همخوانی دارد. بر همین اساس، گروه دوم در پژوهش این محققان با ویژگی محتوای متعادل سسکویی‌ترین‌ها و مونوترپن‌ها با زیر گروه G1-1 مطابقت دارد. همچنین گروه سوم با محتوای بالای سسکویی‌ترین‌ها به‌ویژه بتا-کاریوفیلین با گروه G2 در این تحقیق مطابقت دارد. در نهایت، گروه آخر در این تقسیم‌بندی با محتوای بالای الکل‌ها و آلدئیدها با زیر گروه فرعی G1-2-1 با محتوای بالای ۸،۱-سینئول مشابهت دارد.

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که در مجموع براساس نتایج این تحقیق، با وجود مشابهت نسبی ترکیب‌های غالب در اسانس *Salvia multicaulis* در بیشتر مناطق مورد مطالعه، ترکیب اسانس (درصد اجزاء اصلی و جزئی) در مناطق مختلف متفاوت بود. در بین عوامل محیطی، ارتفاع از سطح دریا مهمترین عامل مؤثر (همبستگی مثبت) بر بازده اسانس و درصد ترپن‌های اکسیژن‌دار بود که به نوعی می‌تواند گویای اهمیت رویشگاه‌های مرتفع به لحاظ محتوای اسانس و ترکیب‌های با خاصیت آنتی‌میکروبی و آنتی‌اکسیدانی بالاتر برای این گیاه باشد. براساس این یافته‌ها، عوامل اقلیمی شامل میزان بارندگی و رطوبت نسبی مهمترین پارامترهای مؤثر بر درصد مونو- و سسکویی‌ترین‌ها بودند، به‌طوری که شرایط آب و هوایی

۸،۱-سینئول می‌گردد که در این آزمایش نیز pH پایین‌تر خاک مقدار این ترکیب را افزایش داد. در تحقیقی دیگر، Carrillo و Fernández-Sestelo (۲۰۲۰) گزارش کردند که ۸،۱-سینئول با محتوای مواد آلی خاک و همین‌طور EC خاک همبستگی مثبت دارد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. به‌طور مشابهی Yeddes و همکاران (۲۰۱۸) نیز محتوای ماده آلی خاک را یکی از مهمترین عوامل محیطی تعیین‌کننده درصد ۸،۱-سینئول در اسانس رزماری گزارش کردند.

همچنین مشابه با نتایج این تحقیق، برخی گزارش‌ها در منابع حکایت از همبستگی مثبت بین بارندگی و رطوبت نسبی با درصد آلفا-پینن دارد (Hosseinzadegan & Bakhshi Khaniki, 2013). البته یک همبستگی مثبت نیز بین شاخص‌های شوری خاک از جمله EC و درصد آلفا-پینن و آلفا-فلاندرن گزارش شده است (Aghaei Joubani et al., 2015). همچنین در تحقیق دیگری، Davies (۱۹۹۰) گزارش کرد که برخی از مینرال‌های خاک به‌ویژه فسفر با سسکویی‌ترین‌ها همبستگی مثبت دارد که با نتایج این تحقیق همسوست. گزارش‌های مشابهی نیز در رابطه با اثر مثبت کلسیم بر سسکویی‌ترین‌ها وجود دارد (Figureiredo et al., 2008؛ Karousou et al., 2005).

خوشه‌بندی مناطق

در این تحقیق مناطق مختلف بر مبنای ترکیب‌های غالب خوشه‌بندی شدند، بر این اساس، در مجموع مناطق در دو گروه اصلی گروه‌بندی شدند که ویژگی اصلی گروه G2 محتوای بالای بتا-کاریوفیلین بود که با توجه به ماهیت این ترکیب و اثرهای متعدد درمانی آن، این گروه می‌تواند حائز اهمیت باشد. در عین حال، مناطق گروه G1 با محتوای بالای مونوترپن‌های آلفا-پینن و آلفا-فلاندرن نیز خود به دو گروه فرعی تقسیم شدند که منطقه ۵ در گروه فرعی دوم (G1-2) و بقیه مناطق در گروه فرعی اول (G1-1) قرار گرفتند که ویژگی خاص منطقه ۵ محتوای بالای کاریوفیلین اکساید و محتوای نسبتاً پایین آلفا-پینن و

- extract of *Salvia multicaulis* Vahl. Journal of Medicinal Plants, 11(41): 111-117.
- Amorati, R., Foti, M.C. and Valgimigli, L., 2013. Antioxidant activity of essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(46): 10835-10847.
 - Andrade, E.H.A., Alves, C.N., Guimarães, E.F., Carreira, L.M.M. and Maia, J.G.S., 2011. Variability in essential oil composition of *Piper dilatatum* L.C. Rich. Biochemical Systematics and Ecology, 39: 669-675.
 - Ashraf, M. and Orooj, A., 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). Journal of Arid Environments, 64: 209-220.
 - Ashraf, M., Rehman, S. and Rha, E., 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed (*Ammi majus* L.). Photosynthetica, 42: 543-550.
 - Azarnivand, H. and Zare Chahouki, M.A., 2014. Rangeland Ecology. University of Tehran Press, 338p.
 - Azizi, A., Yan, F. and Honermeier, B., 2009. Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. Industrial Crops and Products, 29: 554-561.
 - Bagheri, F. and Yadegari, M., 2021. Properties of essential oil of *Salvia syriaca* L. under different phenological stages and climatic conditions in Chaharmahal and Bakhtiari province. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 16: 94-105.
 - Bahi, A., Al Mansouri, S., Al Memari, E., Al Ameri, M., Nurulain, S.M. and Ojha, S., 2014. β -Caryophyllene, a CB2 receptor agonist produces multiple behavioral changes relevant to anxiety and depression in mice. Physiology & Behavior, 135: 119-124.
 - Basha, R.H. and Sankaranarayanan, C., 2014. β -Caryophyllene, a natural sesquiterpene, modulates carbohydrate metabolism in streptozotocin-induced diabetic rats. Acta Histochemica, 116(8): 1469-1479.
 - Bauer, K., Garbe, D. and Surburg, H., 2001. Common Fragrance and Flavour Materials: Preparation, Properties and Uses. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 293p.
 - Ben Jemia, M., Tundis, R., Pugliese, A., Menichini, F., Senatore, F., Bruno, M., Kchouk, M.E. and Loizzo, M.R., 2015. Effect of bioclimatic area on the composition and bioactivity of Tunisian *Rosmarinus officinalis* essential oils. Natural Product Research, 29: 213-222.
 - Burney, O.T., Davis, A.S. and Jacobs, D.F., 2012. Phenology of foliar and volatile terpenoid production for *Thuja plicata* families under differential nutrient
- مرطوب تر موجب تغلیظ مونوترین‌ها و شرایط خشک‌تر موجب تغلیظ سسکوویی‌ترین‌ها گردید. خوشه‌بندی مناطق مورد مطالعه بر مبنای ترکیب‌های غالب موجب تقسیم آنها به دو گروه متمایز مونوترین‌ها و سسکوویی‌ترین‌ها شد. این یافته‌ها برای استحصال اسانس *Salvia multicaulis* با ویژگی‌های خاص در مراتع طبیعی، یا برای کشت تجاری این گیاه با هدف استخراج ترکیب‌های ثانویه مورد نظر موجود در اسانس این گیاه می‌تواند حائز اهمیت باشند.
- ### References
- Adams, R.P., 2007. Review of Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois, 804p.
 - Aghaei Joubani, K., Taei, N., Kanani, M.R. and yazdani, M., 2015. Effect of salt stress on some physiological and biochemical parameters of two *Salvia* species. Journal of Plant Process and Function, 3: 85-96.
 - Ahmadi, L. and Mirza, M., 1999. Essential oil of *Salvia multicaulis* Vahl. from Iran. Journal of Essential Oil Research, 11: 289-290.
 - Ahmed, M., Ting, I.P. and Scora, R.W., 1994. Leaf oil composition of *Salvia hispanica* L. from three geographical areas. Journal of Essential Oil Research, 6(3): 223-228.
 - Aissi, O., Boussaid, M. and Messaoud, C., 2016. Essential oil composition in natural populations of *Pistacia lentiscus* L. from Tunisia: Effect of ecological factors and incidence on antioxidant and antiacetylcholinesterase activities. Industrial Crops and Products, 91: 56-65.
 - Ale Omrani Nejad, S.M.H., Naghdi Badi, H., Mehrafarin, A., Abdossi, V. and Khalighi-Sigaroodi, F., 2019. The impact of macro environmental factors on essential oils of *Oliveria decumbens* Vent. from different regions of Iran. Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products, 14(2): e59456.
 - Alimohammadi, M., Yadegari, M. and Shirmardi, H., 2017. Effect of elevation and phenological stages on essential oil composition of *Stachys*. Turkish Journal of Biochemistry, 42(6): 647-656.
 - Alonso-Amelot, M.E., Oliveros-Bastidas, A. and Calcagno-Pisarelli, M.P., 2007. Phenolics and condensed tannins of high altitude Pteridium arachnoideum in relation to sunlight exposure, elevation, and rain regime. Biochemical Systematics and Ecology, 35: 1-10.
 - Amiri, H., 2012. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil and methanolic

- Fernández-Sestelo, M. and Carrillo, J.M., 2020. Environmental effects on yield and composition of essential oil in wild populations of spike lavender (*Lavandula latifolia* Medik.). *Agriculture*, 10(12): 626.
- Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. and Scheffer, J.J.C., 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4): 213-226.
- Ghahraman, A., 1988. *Color Flora Iran*. Iranian Research Institute of Rangelands and Forests.
- Gholami, B., 2013. Secondary metabolites of plants and their possible biological application in agricultural ecosystems. *Proceeding of third National Conference on the Development of Application of Biological Materials and Optimal Use of Fertilizer and Poison*, Agricultural Research Institute of Seed and Plant Improvement, Karaj, 790p.
- Graven, E.H., Webber, L., Venter, M. and Gardner, J.B., 1990. The development of *Artemisia afra* (Jacq.) as a new essential oil crop. *Journal of Essential Oil Research*, 2: 215-220.
- Guetat, A., 2014. 1,8-Cineole, α -pinene and verbenone chemotype of essential oil of species *Rosmarinus officinalis* L. from Saudi Arabia. *International Journal of Herbal Medicine*, 2(2): 137-141.
- Habibi, H., Mazaheri, D., Majnoun Hosseini, N., Chaeichi, M.R., Fakhr Tabatabaei, M. and Bigdeli, M., 2007. Effect of altitude on essential oil and components in wild thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss.) Taleghan region. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 19: 2-10.
- Hamidpour, R., Hamidpour, S., Hamidpour, M. and Shahlari, M., 2013. Sage: The functional novel natural medicine for preventing and curing chronic illnesses. *International Journal of Case Reports and Images*, 4(12): 671-677.
- Hemati, K.H., Hemati, N. and Ghaedi, A., 2015. The effect of habitat, root diameter, and type of tissue on some secondary metabolites content of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) in Khorasan Razavi (Ghoochan). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 10(3): 1-10.
- Hosseinzadegan, R. and Bakhshi Khaniki, G., 2013. Investigation of chemical composition of essential oil of *Teucrium polium* L. in different habitats of Mazandaran province. *New Cellular & Molecular Biotechnology Journal*, 3: 47-55.
- Jafarian, Z., Goldansaz, M., Safaeeian, R., Sonboli, A. and Kargar, M., 2020. The effect of environmental factors on the amount of essential oil of *Nepeta asterotricha* Rech.f. using RDA technique. *Desert Management*, 7(14): 167-180.
- availability. *Environmental and Experimental Botany*, 77: 44-52.
- Busatta, C., Mossi, A., Rodrigues, M.R., Cansian, R. and Oliveira, J., 2007. Evaluation of *Origanum vulgare* essential oil as antimicrobial agent in sausage. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38: 610-616.
- Carta, C., Moretti, M.D.L. and Peana, A.T., 1996. Activity of the oil of *Salvia officinalis* L. against *Botrytis cinerea*. *Journal of Essential Oil Research*, 8: 399-404.
- Chang, H.J., Kim, J.M., Lee, J.C., Kim, W.K. and Chun, H.S., 2013. Protective effect of β -caryophyllene, a natural bicyclic sesquiterpene, against cerebral ischemic injury. *Journal of Medicinal Food*, 16: 471-480.
- Cheng, Y., Dong, Z. and Liu, S., 2014. β -Caryophyllene ameliorates the Alzheimer-like phenotype in APP/PS1 Mice through CB2 receptor activation and the PPAR γ pathway. *Pharmacology*, 94: 1-12.
- Cuvelier, M.E., Richard, H. and Berset, C., 1996. Antioxidative activity and phenolic composition of pilot-plant and commercial extracts of sage and rosemary. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73: 645-652.
- Davies, N.W., 1990. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicon and carbowax 20m phases. *Journal of Chromatography A*, 503: 1-24.
- Dehghan, Z., Sefidkon, F., Emami, S.M. and Kalvandi, R., 2014. The effects of ecological factors on essential oil yield and composition of *Ziziphora clinopodioides* Lam. subsp. *rigida* (Boiss.) Rech.f. *Journal of Plant Research*, 27: 61-71.
- Demirkaya, E., Acikel, C., Hashkes, P., Gattorno, M., Gul, A., Ozdogan, H., Turker, T., Karadag, O., Livneh, A., Ben-Chetrit, E. and Ozen, S., 2016. Development and initial validation of international severity scoring system for familial Mediterranean fever (ISSF). *Annals of the Rheumatic Diseases*, 75(6): 1051-1056.
- Dorman, H.J.D. and Deans, S.G., 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2): 308-316.
- El-Keltawi, N.E. and Croteau, R., 1987. Salinity depression of growth and essential oil formation in spearmint and marjoram and its reverse foliar applied cytokinin. *Phytochemistry*, 26(5): 1333-1334.
- Falco, E., Mancini, E., Roscigno, G., Mignola, E., Tagliatalata-Scafati, O. and Senatore, F., 2013. Chemical composition and biological activity of essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* L. under different growth conditions. *Molecules*, 18(12): 14948-14960.

- action. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 64(2): 283-292.
- Lin, J.J., Hsu, S.C., Lu, K.W., Ma, Y.S., Wu, C.C., Lu, H.F. and Chen, J.C., 2016. Alpha-phellandrene-induced apoptosis in mice leukemia WEHI-3 cells in vitro. *Environmental Toxicology*, 31(11): 1640-1651.
 - Mahajan, M., Kuiry, R. and Pal, P.K., 2020. Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18: 100255.
 - Mahzooni-Kachapi, S.S., Mahdavi, M., Jouri, M., Akbarzadeh, M. and Rouzbeh, L., 2014. The effects of altitude on chemical compositions and function of essential oils in *Stachys lavandulifolia* Vahl. (Iran). *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 4: 107-116.
 - Maxwell, A. and Jones, P., 2007. Factors Affecting the Growth and Secondary Metabolism of Medicinal Plants. North Mississippi Research and Extension Center 5421 S Hwy 145, Verona, MS 38879.
 - Miguel, M.G., 2010. Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: a short review. *Molecules*, 15(12): 9252-9287.
 - Miladinović, D.L., Ilić, B.S. and Kocić, B.D., 2015. Chemoinformatics approach to antibacterial studies of essential oils. *Natural Product Communications*, 10(6): 1063-1066.
 - Milos, M., Radonic, A., Bezic, N. and Dunkic, V., 2001. Localities and seasonal variations in the chemical composition of essential oils of *Satureja montana* L. and *S. cuneifolia* Ten. *Flavour and Fragrance Journal*, 16: 157-160.
 - Mir-Azadi, Z., Pilehvar, B. and Tajalli, A.A., 2013. Description of some ecological factors in three forest sites in lorestan province and their impact on myrtle (*Myrtus communis* L.) essential oil yield and chemical components. *Journal of Crop Production and Processing*, 2(6): 43-52.
 - Mohsenpour, M., Vafadar, M., Vatankhah, E. and Meighani, H., 2017. The impact of the environmental factors on yield and chemical compositions of essential oil of water mint, *Mentha aquatica* L. from different habitats of Mazandaran province. *Journal of Plant Research*, 30(2): 440-451.
 - Moo, C.L., Osman, M.A., Yang, S.K., Yap, W.S., Ismail, S., Lim, S.H.E., Chong, C.M. and Lai, K.S., 2021. Antimicrobial activity and mode of action of 1,8-cineol against carbapenemase-producing *Klebsiella pneumoniae*. *Scientific Reports*, 11: 20824.
 - Morteza-Semnani, K., Saedi, M., Changizi, S. and Vosoughi, M., 2005. Essential oil composition of *Salvia Virgata* Jacq. from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 8: 330-333.
 - Jalas, J., 1982. *Thymus*, Flora of Turkey and East Aegean Island. Edinburgh University Press, Edinburgh.
 - Jassbi, A.R., Asadollahi, M., Masroor, M., Schuman, M.C., Mehdizadeh, Z., Soleimani, M. and Miri, R., 2012. Chemical classification of the essential oils of the Iranian *Salvia* species in comparison with their botanical taxonomy. *Chemistry & Biodiversity*, 9(7): 1254-1271.
 - Kamatou, G.P.P., Viljoen, A.M. and Steenkamp, P., 2010. Antioxidant, antiinflammatory activities and HPLC analysis of South African *Salvia* species. *Food Chemistry*, 119: 684-688.
 - Karami, M., Hossini, E., Shahbi Majd, N., Ebrahimzadeh, M.A. and Alemy, S., 2015. *Salvia limbata*: Botanical, chemical, pharmacological and therapeutic effects. *Clinical Excellence*, 3(2): 1-14.
 - Karousou, R., Koureas, D.N. and Kokkini, S., 2005. Essential oil composition is related to the natural habitats: *Coridothymus capitatus* and *Satureja thymbra* in NATURA 2000 sites of Crete. *Phytochemistry*, 66(22): 2668-2673.
 - Kim, M.K., Park, G.H., Eo, H.J., Song, H.M., Lee, J.W., Kwon, M.J., Koo, J.S. and Jeong, J.B., 2015. Tanshinone I induces cyclin D1 proteasomal degradation in an ERK1/2 dependent way in human colorectal cancer cells. *Fitoterapia*, 101: 162-168.
 - Kintzios, S.E., 2006. Terrestrial plant-derived anticancer agents and plant species used in anticancer research. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(2): 79-113.
 - Konare, H., Yost, R., Doumbia, M., McCarty, G., Jarju, A. and Kablan, R., 2010. Loss on ignition: Measuring soil organic carbon in soils of the Sahel, West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 5(22): 3088-3095.
 - Kubelka, W., 2011. Teedrogen und Phytopharmaka. *Scientia Pharmaceutica*, 79: 703-703.
 - Legault, J. and Pichette, A., 2008. Potentiating effect of beta-caryophyllene on anticancer activity of alpha-humulene, isocaryophyllene and paclitaxel. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 59(12): 1643-1647.
 - Leicach, S.R. and Chludil, H., 2014. Plant secondary metabolites: Structure-activity relationships in human health prevention and treatment of common diseases. *Studies in Natural Products Chemistry*, 42: 267-304.
 - Li, L., Li, Z.W., Yin, Z.Q., Wei, Q., Jia, R.Y., Zhou, L.J. and Xu, J., 2014. Antibacterial activity of leaf essential oil and its constituents from *Cinnamomum longepaniculatum*. *International Journal of Clinical and Experimental medicine*, 7(7): 1721-1727.
 - Lima, D.F., Brandão, M.S., Moura, J.B., Leitão, J.M., Carvalho, F.A., Miúra, L.M. and Leite, J.R., 2012. Antinociceptive activity of the monoterpene α -phellandrene in rodents: possible mechanisms of

- Gurushantha, K. and Santosh, M.S., 2020. Facile green synthesis of silver oxide nanoparticles and their electrochemical, photocatalytic and biological studies. *Inorganic Chemistry Communications*, 111: 107580.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids: 417-435. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, R.H., Loeppert, P.N., Soltanpour, M.A., Tabatabai, C.T., Johnston, M.E. and Sumner, E., (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, John Wiley & Sons, USA, 1424p.
 - Rufino, A., Ribeiro, M., Sousa, C.T., Judas, F., Salgueiro, L., Cavaleiro, C. and Mendes, A., 2015. Evaluation of the anti-inflammatory, anti-catabolic and pro-anabolic effects of E-caryophyllene, myrcene and limonene in a cell model of osteoarthritis. *European Journal of Pharmacology*, 750:141-150.
 - Sardi, J.C.O., Scorzoni, L., Bernardi, T., Fusco-Almeida, A.M. and Mendes Giannini, M.J.S., 2013. *Candida* species: current epidemiology, pathogenicity, biofilm formation, natural antifungal products and new therapeutic options. *Journal of Medical Microbiology*, 62: 10-24.
 - Schauer, N., Steinhäuser, D., Strelkov, S., Schomburg, D., Allison, G., Moritz, T. and Lundgren, K., 2005. GC-MS libraries for the rapid identification of metabolites in complex biological samples. *FEBS Letters*, 579(6): 1332-1337.
 - Sefidkon, F., Kalvandi, R., Atri, M. and Barazandeh, M., 2005. Essential oil variability of *Thymus eriocalyx* (Ronniger) Jalas. *Flavour and Fragrance Journal*, 20: 521-524.
 - Senatore, F., Apostolides, N., Piozzi, F. and Formisano, C., 2006. Chemical composition of the essential oil of *Salvia microstegia* Boiss. et Balansa growing wild in Lebanon. *Journal of Chromatography A*, 1108: 276-278.
 - Shahriari, S., Barekatin, M., Shahtalebi, M. and Farhad, S., 2019. Evaluation of preventive antibacterial properties of a glass-ionomer cement containing purified powder of *Salvia officinalis*: an in vitro study. *International Journal of Preventive Medicine*, 10: 110.
 - Sharmeen Jugreet, B., Kouadio Ibrahime, S., Zengin, G., Abdallah, H.H. and Fawzi Mahomoodally, M., 2021. GC/MS profiling, in vitro and in silico pharmacological screening and principal component analysis of essential oils from three exotic and two endemic plants from mauritius. *Chemistry & Biodiversity*, 18(3): e2000921.
 - Singh, R., 2015. Medicinal plants: a review. *Journal of Plant Sciences*, 3: 50-55.
 - Sonboli, A., Kanani, M.R., Yousefzadi, M. and Mojarad, M., 2009. Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1983. Total carbon, organic carbon, and organic matter. 539-579. In: Page, A.L., (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, US, 1159p.
 - Oloumi, H. and Hassibi, N. 2012. Study the content of some secondary metabolites in roots of *Glycyrrhiza glabra* gathered from different natural localities in kerman province of Iran. *Journal of Medicinal Plants*, 11: 137-144.
 - Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dept. of Agriculture, Washington, 19p.
 - Omer, B., Krebs, S., Omer, H. and Noor, T.O., 2007. Steroid-sparing effect of wormwood (*Artemisia absinthium*) in Crohn's disease: a double-blind placebo-controlled study. *Phytomedicine*, 14: 87-95.
 - Ozturk, A., Ünlükara, A., Ipek, A. and Gürbüz, B., 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 36(4): 787-792.
 - Pehlivan, M. and Sevindik, M., 2018. Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Salvia multicaulis*. *Turkish Journal of Agriculture- Food Science and Technology*, 6(5): 628-631.
 - Piccaglia, R., Marotti, M. and Dellacecca, V., 1997. Effect of planting density and harvest date on yield and chemical composition of sage oil. *Journal of Essential Oil Research*, 9: 187-191.
 - Piccinelli, A.C., Santos, J.A., Konkiewitz, E.C., Oesterreich, S.A., Formagio, A.S., Croda, J., Ziff, E.B. and Kassuya, C.A., 2015. Antihyperalgesic and antidepressive actions of (R)-(+)-limonene, α -phellandrene, and essential oil from *Schinus terebinthifolius* fruits in a neuropathic pain model. *Nutritional Neuroscience*, 18(5): 217-224.
 - Pitarokili, D., Couladis, M., Petsikos-Panayotarou, N. and Tzakou, O., 2002. Composition and antifungal activity on soil-borne pathogens of the essential oil of *Salvia sclarea* from Greece. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23): 6688-6691.
 - Rabib, H., Elagdi, C., Hsaine, M., Fougrach, H., Koussa, T. and Badri, W., 2020. Antioxidant and antibacterial activities of the essential oil of Moroccan (*Tetraclinis articulata* Vahl.) masters. *Biochemistry Research International*, 2020: 9638548.
 - Rajeswara Rao, B.R., Sastry, K.P., Prakasa Rao, E.V.S. and Ramesh, S.I., 1990. Variation in yields and quality of geranium (*Pelargonium graveolens* L' Hér. ex Aiton) under varied climatic and fertility conditions. *Journal of Essential Oil Research*, 2(2): 73-79.
 - Rashmi, B.N., Harlapur, S.F., Avinash, B., Ravikumar, C.R., Nagaswarupa, H.P., Anil Kumar, M.R.,

- Wu, Y.B., Ni, Z.Y., Qing, S., Dong, M., Kiyota, H., Gu, Y.C. and Cong, B., 2012. Constituents from *Salvia* species and their biological activities. *Chemical Reviews*, 11: 5967-6026.
- Yang, H., Zhao, R., Chen, H., Jia, P., Bao, L. and Tang, H., 2014. Bornyl acetate has an anti-inflammatory effect in human chondrocytes via induction of IL-11. *IUBMB Life*, 66(12): 854-859.
- Yang, L., Wen, K.S., Ruan, X., Zhao, Y.X., Wei, F. and Wang, Q., 2018. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4): 762.
- Yavari, A., Nazeri, V., Sefidkon, F. and Hassani, M.E., 2010. Influence of some environmental factors on the essential oil variability of *Thymus migricus*. *Natural Product Communications*, 5(6): 943-948.
- Yazdinezhad, A. and Malekzadeh, M., 2015. Evaluation of antioxidant effect, total phenols, anthocyanins and flavonoids contents of methanolic extract of *Salvia viridis* L. collected from Zanjan name and address. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research*, 23: 100-108.
- Yeddes, W., Aidi Wannes, W., Hammami, M., Smida, M., Chebbi, A., Marzouk, B. and Saidani Tounsi, M., 2018. Effect of environmental conditions on the chemical composition and antioxidant activity of essential oils from *Rosmarinus officinalis* L. growing wild in Tunisia. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21: 972-986.
- Yousefzadi, M., Sonboli, A., Nejad Ebrahimi, S. and Hashemi, S., 2008. antimicrobial activity of essential oil and major constituents of *Salvia chloroleuca*. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 63: 337-340.
- Zaouali, Y., Bouzaine, T. and Boussaid, M., 2010. Essential oils composition in two *Rosmarinus officinalis* L. varieties and incidence for antimicrobial and antioxidant activities. *Food and Chemical Toxicology*, 48: 3144-3152.
- Zhang, J.H., Sun, H.L., Chen, S.Y., Zeng, L. and Wang, T.T., 2017. Anti-fungal activity, mechanism studies on α -Phellandrene and Nonanal against *Penicillium cyclopium*. *Botanical Studies*, 58: 13.
- *Salvia hydrangea* from two localities of Iran. *Journal of Medicinal Plants*, 8: 20-28.
- Tada, M., Okuno, K., Chiba, K., Ohnishi, E. and Yoshii, T., 1994. Antiviral diterpenes from *Salvia officinalis*. *Phytochemistry*, 35(2): 539-541.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and Soil Acidity: 475-490. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, R.H., Loeppert, P.N., Soltanpour, M.A., Tabatabai, C.T., Johnston, M.E. and Sumner, E., (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, John Wiley & Sons, USA, 1424p.
- Tommasi, L., Negro, C., Cerfeda, A., Nutricati, E., Zuccarello, V., De Bellis, L. and Miceli, A., 2007. Influence of environmental factors on essential oil variability in *Thymbra capitata* (L.) Cav. growing wild in Southern Puglia (Italy). *Journal of Essential Oil Research*, 19: 572-580.
- Verma, N. and Shukla, S., 2015. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2: 105-113.
- Viljoen, A.M., Petkar, S., van Vuuren, S.F., Figueiredo, A.C., Pedro, L.G. and Barroso, J.G., 2006. The chemo-geographical variation in essential oil composition and the antimicrobial properties of "Wild Mint" - *Mentha longifolia* subsp. *polyadena* (Lamiaceae) in Southern Africa. *Journal of Essential Oil Research*, 18: 60-65.
- Villa, C., 2018. Green Cosmetic Ingredients and Processes: 303-330. In: Salvador, A. and Chisvert, A., (Eds.). *Analysis of Cosmetic Products*. Elsevier, Boston. 630p.
- Walker, J., Sytsma, K., Treutlein, J. and Wink, M., 2004. *Salvia* (Lamiaceae) is not monophyletic: Implications for the systematics, radiation, and ecological specializations of *Salvia* and tribe Mentheae. *American Journal of Botany*, 91(7): 1115-1125.
- Wu, X., Xiao, F., Zhang, Z., Li, X. and Xu, Z., 2005. Research on the analgesic effect and mechanism of bornyl acetate in volatile oil from *amomum villosum*. *Zhong Yao Cai*, 28: 505-507.

Study on some environmental factors effects on *Salvia multicaulis* Vahl. essential oil composition in Hamadan province

M. Tavakoli^{1*}, S. Soltani², M. Tarkesh Esfahani² and R. Karamian³

1*- Corresponding author, Ph.D. student, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
E-mail: Mahdieh.tavakoli@na.iut.ac.ir

2- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Department of Biology, Faculty of Science, Bu- Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: May 2022

Revised: August 2022

Accepted: August 2022

Abstract

The *Salvia* species are of great importance in food, pharmaceutical, and cosmetic industries for their secondary metabolites. Although the production of secondary metabolites is encoded by the plant genetic, however, environmental factors have a great influence on their production and composition in plants. In this study, to investigate the effects of some climatic factors, topography, and soil parameters on *Salvia multicaulis* essential oil composition, the plant samples were collected from nine different habitats in Hamadan province during the flowering season. The soil samples were also taken for each plant in the sampling sites. The essential oil was extracted by hydrodistillation (Clevenger apparatus) and its composition was identified by GC and GC/MS. The soil factors were measured according to the relevant protocols and the climatic records were collected from the meteorological stations of Hamadan province. The RDA analysis was used to investigate the effects of different environmental factors on the essential oil composition. Clustering of the studied habitats was performed based on the major compounds of essential oils using the Wards method. The essential oil composition was different in different habitats. The compounds α -pinene (1.3-32.1%), α -phellandrene (1.1-7%), 1,8-cineole (1-17.2%), bornyl acetate (7-16.2%), and β -caryophyllene (9.1-40.6%) were the major ones of this plant essential oil. The RDA results showed that the essential oil content and oxygenated terpenoids percentage increased with increasing altitude, but the hydrocarbon terpenes percentage had an inverse correlation with altitude. The monoterpenes had a positive correlation with the relative humidity, rainfall, and soil organic carbon, but the sesquiterpenes had an inverse relationship with these factors and showed a positive correlation with phosphorus and to some extent with calcium of the soil. The studied habitats clustered into two distinct groups with predominance of monoterpenes and sesquiterpenes in the essential oil. These findings could be important for commercial exploitation of sage with the aim of extracting specific secondary metabolites in its essential oil.

Keywords: Essential oils, *Salvia multicaulis* Vahl., medicinal plants, soil elements, climatic factors.