Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Variation in Bioactive Compounds of *Thymus fedtschenkoi* in Relation to Soil Physicochemical and Microbial Properties in Baladeh Rangelands, Mazandaran Province

Narges Imani[1], Reza Erfanzadeh[*2], Hamid Ahadi[3], Hasan Ghelichnia[4]

[1.] PhD. Student in Rangeland Science, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.
[2.] Corresponding author; Associate Prof., Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. E-mail: Rezaerfanzadeh@modares.ac.ir
[3.] Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drugs Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
[4.] Department of Forest and Rangeland Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Sari, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

2026; Vol 20, Issue 3

Article history:
Received: 04.12.2025
Revised: 27.04.2026
Accepted: 08.05.2026

Keywords:
Thymus fedtschenkoi,
Carvacrol,
Bioactive Compound,
Kam rangelands.

Abstract

Background and Objective: *Thymus fedtschenkoi* (Lamiaceae) is a valuable medicinal plant rich in phenolic compounds and widely used in pharmaceutical, food, and cosmetic industries. The composition and concentration of its bioactive constituents in rangeland ecosystems are strongly influenced by ecological conditions and soil physicochemical and biological characteristics. Understanding the relationship between essential oil composition and soil properties is essential for identifying optimal habitats with maximum yield and quality. This study aimed to evaluate the association between soil properties and essential oil constituents of *T. fedtschenkoi* in Baladeh rangelands, Mazandaran Province, Iran.

Methodology: Three habitats (one in Kam and two in Halopooshteh rangelands) located in the Central Alborz Mountains were selected, and five sampling sites were established in each habitat. Plant and soil sampling was conducted during the flowering stage in late spring 2024. Flowering aerial parts from three randomly selected plants per site were collected for essential oil extraction using hydrodistillation. Soil samples were taken from two depths (0–5 and 5–10 cm) and analyzed for moisture, pH, electrical conductivity, organic carbon, nitrogen, phosphorus, texture, and basal microbial respiration. Essential oil constituents were identified and quantified using GC and GC–MS. Data were analyzed using SPSS and redundancy analysis (RDA) in R software.

Results: Regression analysis revealed significant relationships between several essential oil components and soil properties at both depths. At 0–5 cm depth, camphene showed a positive relationship with basal microbial respiration (R^2= 0.49), while α-phellandrene (R^2= 0.46), thymol (R^2= 0.45), and 1,8-cineole (R^2= 0.49) were negatively correlated with clay content. Carvacrol (R^2= 0.73) was positively associated with silt but negatively correlated with phosphorus and nitrogen. Linalool (R^2 = 0.85) showed positive relationships with phosphorus and basal microbial respiration and negative correlations with moisture and silt. At 5–10 cm depth, thymol (R^2= 0.45) was positively correlated with sand percentage, while α-phellandrene (R^2= 0.81) was positively associated with nitrogen and negatively correlated with clay and phosphorus. Other compounds, including α-thujene, α-terpinol, α-pinene, and geranyl acetate, also showed significant

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

correlations with certain soil characteristics, whereas cinnamaldehyde and α-Humulene did not show significant relationships at either depth. RDA indicated that the first two axes (RDA1 and RDA2) explained a substantial proportion of variation in essential oil composition, with RDA1 clearly separating the Kam habitat from the two Halopooshteh habitats.

Conclusion: The essential oil composition of *T. fedtschenkoi* is significantly influenced by soil physicochemical and biological properties, with depth-dependent effects. Soil texture, nutrient availability, and microbial activity play crucial roles in regulating secondary metabolite synthesis. These findings emphasize the importance of soil characteristics in identifying and managing suitable rangelands for the targeted utilization of *T. fedtschenkoi* with desirable essential oil quality.

Cite this article: Imani, N., R. Erfanzadeh, H. Ahadi, H. Ghelichnia, 2026. Variation in Bioactive Compounds of *Thymus fedtschenkoi* in Relation to Soil Physicochemical and Microbial Properties in Baladeh Rangelands, Mazandaran Province. Journal of Rangeland, 20(3): 287-302.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5

Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

تغییرات ویژگی‌های مواد مؤثره دارویی گونه آویشن قره‌باغی در ارتباط با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی خاک در مراتع بلده، استان مازندران

نرگس ایمانی[۱]، رضا عرفانزاده*[۲]، حمید احدی[۳]، حسن قلیچ‌نیا[۴]

[۱] دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

[۲] نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: Rezaerfanzadeh@modares.ac.ir

[۳] پژوهشکده گیاهان دارویی و مواد اولیه، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

[۴] گروه تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات آموزش و کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ساری، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

۱۴۰۵؛ جلد ۲۰، شماره ۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۹/۱۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۸

واژه‌های کلیدی:
آویشن قره‌باغی،
Carvacrol،
مواد موثره،
مراتع کام.

چکیده

سابقه و هدف: آویشن قره‌باغی با نام علمی *Thymus fedtschenkoi* Ronniger از گونه‌های دارویی ارزشمند تیره Lamiaceae است که به‌دلیل دارا بودن ترکیبات فنولی از اهمیت بالایی در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی برخوردار است. ترکیب و مقدار مواد موثره این گیاهان در اکوسیستم‌های مرتعی تحت تأثیر شرایط اکولوژیکی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک قرار دارد. درک ارتباط بین کمیت و کیفیت مواد موثره و شرایط خاک برای شناسایی رویشگاه‌های بهینه که حداکثر عملکرد مواد موثره را دارند ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه بین خصوصیات خاک و ترکیبات شیمیایی اسانس آویشن قره‌باغی در مراتع استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها: سه رویشگاه (یک رویشگاه در مراتع کام و دو رویشگاه در مراتع هلوپشته) در ارتفاعات البرز مرکزی انتخاب و در هر رویشگاه ۵ سایت نمونه‌برداری تعیین شد. نمونه‌گیری از پوشش گیاهی و خاک در مرحله گلدهی گیاه آویشن قره‌باغی، در اواخر بهار ۱۴۰۳ انجام گرفت. سه پایه از گیاه آویشن قره‌باغی به صورت تصادفی انتخاب و سرشاخه‌های گلدار گیاه برای استخراج اسانس جمع‌آوری و با روش تقطیر با آب آماده شدند. نمونه‌های خاک از عمق‌های ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر در پنج نقطه تصادفی هر سایت برداشت و برای بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های گیاهی پس از خشک‌کردن و آسیاب، با روش تقطیر با آب اسانس‌گیری شدند و سپس با دستگاه‌های GC و GC-MS تجزیه و تحلیل شدند. خصوصیات خاک شامل رطوبت، pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، بافت و تنفس میکروبی اندازه‌گیری شد. داده‌ها با نرم‌افزار SPSS و آنالیز تجزیه و تحلیل کاهشی (RDA) در نرم‌افزار R برای بررسی ارتباط بین خصوصیات خاک و ترکیبات مؤثره گیاه تحلیل شدند.

نتایج: آنالیز رگرسیون نشان داد که برخی ترکیبات اسانس آویشن قره‌باغی با ویژگی‌های خاک در هر دو عمق ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر رابطه معناداری دارند. در عمق ۰-۵ سانتی‌متر، Camphene با تنفس میکروبی پایه (R^2=۰/۴۹) و α-Phellandrene (R^2=۰/۴۶)، Thymol (R^2=۰/۴۵) و ۱،۸-سینئول (R^2=۰/۴۹) با رس رابطه منفی داشتند، در حالی که Carvacrol (R^2=۰/۷۳) با سیلت رابطه مثبت و با فسفر و نیتروژن رابطه منفی داشت. رابطه Linalool (R^2=۰/۸۵) با فسفر و تنفس میکروبی پایه مثبت و با رطوبت و سیلت منفی بود. در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر، Thymol (R^2=۰/۴۵) با درصد شن و α- Phellandrene (R^2=۰/۸۱) با نیتروژن رابطه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

مثبت و با رس و فسفر رابطه منفی داشتند. ترکیبات α-Thujene، α-Terpinol، α-Pinene و Geranyl acetate نیز در هر دو عمق با برخی ویژگی‌های خاک رابطه معنی‌داری نشان دادند، در حالی که Cinnamaldehyde و α-Humulene در عمق‌های مورد بررسی رابطه معنی‌داری نداشتند. نتایج حاصل از تحلیل RDA نشان داد که دو محور اصلی (RDA1) و (RDA2) بخش عمده‌ای از تغییرات ترکیبات شیمیایی اسانس در عمق‌های ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر را بر اساس ویژگی‌های خاکی توضیح می‌دهند. محور اول بیشترین تغییرات را توضیح داده و نمونه‌های منطقه کام را از دو منطقه هلوپشته متمایز می‌کند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیب شیمیایی اسانس آویشن قره‌باغی به‌طور معناداری تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک قرار دارد و این تأثیر در عمق‌های مختلف خاک متفاوت است. روابط مشاهده شده بین برخی ترکیبات اسانس با بافت خاک، عناصر غذایی و تنفس میکروبی بیانگر نقش مهم شرایط خاک در تنظیم سنتز مواد موثره این گونه دارویی است. در لایه سطحی خاک، ویژگی‌های بافتی و عناصر غذایی نقش پررنگ‌تری در تغییرات ترکیبات اسانس داشتند، به‌طوری که برخی مانند کارواکرول و لینالول به تغییرات سیلت، فسفر، نیتروژن و فعالیت بیولوژیکی خاک حساس بودند. در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر نیز ارتباط برخی ترکیبات با درصد شن و نیتروژن نشان‌دهنده اهمیت لایه‌های زیرسطحی خاک در شکل‌گیری الگوی شیمیایی اسانس است. به‌طور کلی، این یافته‌ها بر اهمیت توجه به ویژگی‌های خاک در شناسایی و مدیریت مراتع مناسب برای بهره‌برداری هدفمند از آویشن قره‌باغی با کیفیت اسانس مطلوب تأکید می‌کند.

استناد: ایمانی، ن.، ر.عرفانزاده، ح. احدی، ح. قلیچ‌نیا، ۱۴۰۵. تغییرات ویژگی‌های مواد مؤثره دارویی گونه آویشن قره‌باغی در ارتباط با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی خاک در مراتع بلده، استان مازندران. مرتع، ۲۰(۳): ۲۸۷-۳۰۲.

DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

مقدمه

مراتع علاوه بر تولید علوفه، نقش مهمی در تولید گیاهان دارویی و صنعتی ایفا می‌کنند. شناخت عوامل موثر بر ترکیبات دارویی گیاهان در عرصه‌های مرتعی یکی از گام‌های اساسی در زمینه توسعه پایدار و مدیریت صحیح اکوسیستم‌های مرتعی است (۲۶). برای این منظور داشتن شناخت و اطلاعات کافی از اجزاء و ارتباط بین عوامل محیطی و گیاهان دارویی ضروری است. به‌طور کل، گونه‌های گیاهی، اصلی‌ترین جزء اکوسیستم‌های مرتعی را تشکیل می‌دهند که تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارند (۳۰). در یک اقلیم مشخص، پوشش گیاهی و خاک ارتباط نزدیکی با هم دارند و هر کدام می‌توانند بر دیگری تأثیرگذار باشند (۴۳).

بنابراین، تعاملات گیاه-خاک نقش مهمی در ساختار و عملکرد جوامع گیاهی و در نتیجه عملکرد اکوسیستم دارد. موضوع مهمی است که هم تأثیر فاکتور خاک بر جوامع گیاهی و هم نقش پیچیده اکولوژیکی و تنوع گونه‌ای جوامع گیاهی بر ویژگی‌های خاک و خدمات اکوسیستم را نشان می‌دهد (۹). خاک مهم‌ترین عامل تحریک کننده تولید مواد مؤثره محسوب می‌شود (۷)، یک سیستم پیچیده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که نه تنها تعیین کننده میزان رشد گونه است بلکه بر شدت رشد، توزیع طبیعی آن و چگونگی توسعه و کیفیت گیاه و توانایی آن برای تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه نیز اثرگذار می‌باشد. تجمع متابولیت‌های ثانویه در گیاهان به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد؛ به گونه‌ای که در اغلب گیاهان، تغییر در یک عامل منفرد می‌تواند محتوای این ترکیبات را دگرگون سازد، حتی در شرایطی که سایر عوامل ثابت باقی بمانند. در حالی که سازگاری مورفولوژیک گیاهان به‌طور تقریبی آسان‌تر قابل مشاهده است، سازگاری بیوشیمیایی آن‌ها کمتر به‌طور مستقیم قابل تشخیص است. افزون بر این، سنتز برخی ترکیبات طبیعی می‌تواند به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر عوامل غیرزنده دچار تغییر گردد (۵۰).

جنس Thymus از تیره Lamiaceae یکی از جنس‌های مهم گیاهان دارویی به شمار می‌رود که بیش از ۳۰۰ گونه در نواحی مختلف جهان دارد و بخش قابل توجهی از آن در ایران پراکنش یافته‌است (۴۱). گونه‌های این جنس به عنوان منابع غنی از ترکیبات معطر و متابولیت‌های ثانویه نظیر تیمول، کارواکرول، فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فنولیک شناخته می‌شوند. این ترکیبات دارای خواص ضدباکتری، ضدقارچ، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی هستند و به همین دلیل در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی اهمیت بالایی دارند (۲۲). گونه‌های Thymus اغلب در مراتع کوهستانی و خشک رشد می‌کنند و نسبت به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و تغییرات دما سازگاری نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها موجب شده است که Thymus به عنوان مدلی ارزشمند برای بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر سنتز متابولیت‌های ثانویه مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

مطالعات مختلفی به بررسی تأثیر خصوصیات خاک بر میزان متابولیت‌های ثانویه گونه‌های آویشن پرداخته‌اند، به‌طور مثال صادقی‌منش و همکاران (۱۴۰۳) به منظور بررسی تأثیر عوامل محیطی بر کمیت و کیفیت اسانس گونه *T. lancifolius* Celak. در رویشگاه‌های استان همدان به این نتایج دست یافتند که درصد اسانس با میزان آهک، سیلت، پتاسیم و فسفر ارتباط مثبت و با میزان شن ارتباط منفی داشته‌است. همچنین همبستگی زیادی بین درصد تیمول با ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب وجود داشت. ارقیدی و همکاران (۲۰۲۵) با مطالعه‌ی تأثیر فاکتورهای ارتفاع از سطح دریا، دما، میزان بارندگی، نوع خاک و کربن آن بر گونه *T. saturejoides* نشان دادند که تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر ترکیبات تیمول، لینالول، پاراسیمین، کارواکرول و بورنئول معنی‌دار بوده اما با هیچ یک از فاکتورهای دیگر ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. جارت و همکاران (۲۰۲۵) مطالعه‌ای روی *T. capitatus* در سه منطقه فلسطین انجام دادند که ترکیبات اصلی اسانس، مانند تیمول، کارواکرول و γ-ترپینن، بین جمعیت‌های مختلف در این زیستگاه‌ها به‌طور قابل توجهی متفاوت است. این تفاوت‌ها به‌طور عمده به تغییرات ویژگی‌های خاک، ارتفاع از سطح دریا، اقلیم و دیگر عوامل اکولوژیکی نسبت داده شد.

شناخت گیاهان داروئی بومی و انحصاری هر کشور و تعیین شرایط بهینه رشد و بازدهی بیشتر اسانس آن‌ها می‌تواند در بهره‌برداری پایدار این گیاهان نقش مهمی ایفا نماید (۳). از این رو مطالعه اثرهای متقابل بین خاک و

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

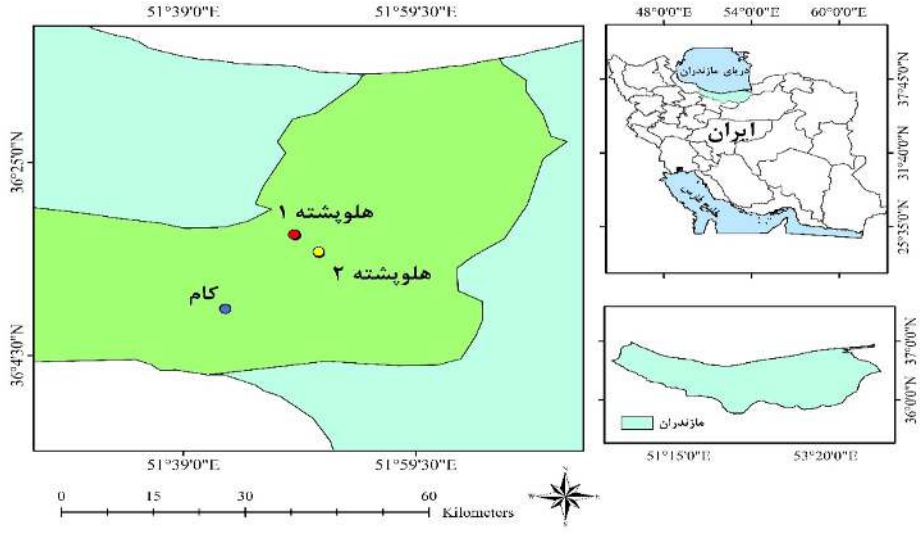
[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

پوشش گیاهی می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در رابطه با تعیین مناطق جغرافیایی مناسب برای تولید هر یک از ترکیبات ارزشمند در اسانس آن و یا فراهم آوردن شرایط محیطی مطلوب برای تولید تجاری این گیاه و بهره‌برداری از ترکیب‌های موثره آن فراهم آورد (۴۵). با وجود مطالعات گسترده در زمینه ترکیب شیمیایی گونه‌های مختلف Thymus، همچنان شکاف قابل توجهی در خصوص درک نقش دقیق ویژگی‌های خاک در تغییرپذیری مواد موثره این جنس وجود دارد. بخش زیادی از تحقیقات پیشین بر روی شناسایی ترکیبات اسانس یا ارزیابی فعالیت‌های بیولوژیکی متمرکز بوده‌اند، در حالی که کمتر به تأثیر مستقیم ویژگی‌های خاک بر سنتز مواد موثره پرداخته شده است. هدف از این پژوهش یافتن چگونگی ارتباط و همبستگی مواد موثره آویشن قره‌باغی و خصوصیات خاک، همچنین تأثیر خصوصیات خاک بر مواد ثانویه جهت معرفی مناسب‌ترین رویشگاه‌ها برای به‌دست آوردن بیشترین میزان مواد موثره در آویشن قره‌باغی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال ایران، در محدوده استان مازندران واقع شده‌است. روستای کام در مراتع جنوب بلده و روستای هلوپشته در مراتع شمال بلده قرار دارند (شکل ۱). روستای کام در ۳۶ درجه و ۹ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه و ۴۲ ثانیه جنوبی است. همچنین روستای هلوپشته ۱ در ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه و ۴۰ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه و ۵۷ ثانیه جنوبی و روستای هلوپشته ۲ در ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه و ۱۲ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه و ۱۳ ثانیه جنوبی است. گیاهان غالب در مراتع هلوپشته ۱ و ۲ شامل گونه‌های *Onobrychis cornuta*، *Juniperus sabina*، *Berberis integerrima* و *Bromus tomentellus* و در مراتع کام گونه‌های *Thymus fedtschenkoi*، *Bromus tomentellus* و *Onobrychis cornuta* هستند.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه واقع در استان مازندران. سه مکان نمونه‌برداری در مراتع کام، هلوپشته ۱ و هلوپشته ۲ مشخص شده‌اند.

نمونه‌برداری پوشش گیاهی و خاک

نمونه‌گیری از پوشش گیاهی و خاک در اواخر فصل بهار ۱۴۰۳ در مرحله گلدهی گیاه به‌طور همزمان از کلیه رویشگاه‌ها انجام گرفت. به منظور جمع‌آوری نمونه گیاهی، سه پایه از گیاه آویشن قره‌باغی به صورت تصادفی انتخاب و سرشاخه‌های گلدار آن برداشت شد. جهت بررسی خصوصیات خاک در هر سایت ۵ نقطه به صورت تصادفی انتخاب و از عمق‌های ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام گرفت (۲۰) و نمونه‌های خاک برای بررسی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل شدند.

اسانس‌گیری و شناسایی ترکیبات شیمیایی

نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده در سایه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته خشک شدند. ۱۰۰ گرم از نمونه‌های گیاهی آسیاب شده، سپس با روش تقطیر با آب به‌مدت ۳ ساعت با استفاده از دستگاه کلونجر اسانس‌گیری شدند (۸) و تا زمان تزریق در دستگاه کروماتوگرافی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در ظروف شیشه‌ای تیره و دربسته در یخچال نگهداری شدند (۱۶). تجزیه و تحلیل GC با استفاده از دستگاه Thermo-quest-Finnigan Trace GC instrument (TermoFisher Scientific, USA) متصل به دتکتور FID و نوع ستون DB-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ mm و ضخامت فیلم ۰/۲۵ µm و دمای دتکتور و تزریق کننده به‌ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۰ درجه سلسیوس و گاز حامل نیتروژن با سرعت جریان ۱/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و برنامه دمایی آون در ابتدا دمای ۶۰ درجه برای ۱ دقیقه و سپس افزایش از ۶۰ درجه به ۲۵۰ با سرعت ۴ درجه در دقیقه و در انتها ۱۰ دقیقه هم دما و حجم تزریق برابر با ۰/۲ ماکرولیتر و اسپلیت ۵۰ شد. تجزیه و تحلیل GC-MS با استفاده از دستگاه Thermoquest-Finnigan Trace GC-MS instrument (Termo Fisher Scientific, USA) و دتکتور TRACE mass (Manchester, UK) با استفاده از گاز حامل هلیوم با ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و فشار قبل از ستون ۷۰ کیلوپاسکال و دمای منبع یونی و رابط به‌ترتیب ۲۰۰ و ۲۵۰ درجه سلسیوس و دامنه مس بین ۳۵ تا ۴۵۶ amu و برنامه دمایی آون منطبق با برنامه دمایی GC تنظیم شده بود. شناسایی ترکیبات با استفاده از نرم‌افزار Xcalibur و مقایسه الگوی طیف‌های جرمی و اندیس‌های زمان بازداری (RI) با ملاحظه داده‌های طیف‌های جرمی Adams و NIST انجام گرفت (۲).

اندازه‌گیری خاک

نمونه‌های خاک به منظور انجام آزمایشات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هوای آزاد خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و پارامترهای رطوبت خاک از روش وزنی (۳۴)، اسیدیته خاک با دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه EC سنج در عصاره گل اشباع (۱۸) درصد کربن آلی خاک از روش سوختن (۴۹)، نیتروژن کل به روش کجلدال (۴)، فسفر از روش اسپکتوفتومتر (۳۳) و بافت خاک به روش هیدرومتری (۵) اندازه‌گیری شدند. علاوه بر این از نمونه‌های خاک موجود در سردخانه برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی پایه و برانگیخته (۳۱) استفاده گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک بررسی شد. از آنالیز رگرسیون خطی گام به گام پیش رونده، به منظور بدست آوردن ارتباط بین خصوصیات خاک و مواد موثره آویشن قره‌باغی استفاده شد. هر کدام از ترکیبات دارویی موجود در اسانس (به‌طور کلی ۳۷ ترکیب در مناطق مورد مطالعه یافت شد که ترکیبات شیمیایی غالب و مشترک در سه رویشگاه جهت انجام تجزیه و تحلیل آماری انتخاب شدند.) به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به عنوان متغیر مستقل به مدل وارد شدند. از ضریب تورم واریانس VIF جهت تشخیص متغیرهای مستقل استفاده شد (VIF< ۵). تمامی تجزیه و تحلیل‌ها با نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام گرفت. همچنین پس از انجام تجزیه و تحلیل قوس‌گیری شده (DCA)، به علت وجود طول گرادیان کمتر از ۳، از آزمون تجزیه و تحلیل کاهشی (RDA) به منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های شیمیایی خاک و ترکیبات ثانویه اسانس در سه منطقه‌ی مختلف (کام، هلوپشته ۱ و هلوپشته ۲) انجام و برای این منظور از نرم‌افزار R نسخه ۴/۵ استفاده شد.

نتایج

ترکیبات شیمیایی و درصد اسانس آویشن قره‌باغی

بر اساس نتایج حاصل، ۲۸ ترکیب شیمیایی در مراتع کام و ۳۴ ترکیب شیمیایی در مراتع هلوپشته (۱ و ۲) شناسایی گردید. میزان درصد اسانس در کام ۱/۴۱، در هلوپشته (۱) ۰/۷۱ و در هلوپشته (۲) ۰/۵۹ بوده است.

نتایج آنالیز رگرسیون

نتایج رگرسیون در عمق‌های ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر نشان داد که برخی از ترکیبات اسانس رابطه معناداری با ویژگی‌های خاک دارند. در عمق ۰-۵ سانتی‌متر، camphene با تنفس میکروبی پایه رابطه منفی و معنی‌دار

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

داشت. ترکیب α-Phellandrene، Thymol و ۱و ۸-سینئول رابطه منفی و معنی‌دار با رس داشتند. Carvacrol با فسفر و نیتروژن رابطه منفی و با سیلت رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. رابطه Linalool با فسفر و تنفس میکروبی پایه مثبت و معنادار و با رطوبت خاک و سیلت رابطه منفی و معنادار بوده‌است (جدول ۱). در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر ترکیب ۱ و ۸- سینئول ارتباط منفی و معنی‌داری با pH خاک داشت. همچنین Thymol نیز رابطه مثبت و معنی‌داری با درصد شن نشان داد. ترکیب α-Phellandrene ارتباط منفی و معنی‌داری با درصد رس و فسفر نشان داد اما با درصد نیتروژن رابطه مثبت و معنی‌داری داشته است. همچنین Carvacrol رابطه منفی و معنی‌داری با فسفر نشان داد. Myrcene با فسفر و تنفس میکروبی بر انگیخته رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. رابطه ترکیب Linalool با فسفر مثبت و معنی‌دار و با ماده آلی خاک رابطه منفی و معنی‌دار بود (جدول ۲). علاوه بر این در هر دو عمق ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر ترکیبات α-Thujene، α-Terpinol، α-Pinene، Geranyl acetate و درصد اسانس دارای نتایج مشابه بودند، به‌طوری که α-Thujene در هر دو عمق همبستگی مثبت و معناداری با pH خاک نشان داد. اما ترکیب α-Pinene همبستگی منفی و معنی‌داری با pH خاک داشت. همچنین در هر دو عمق ترکیب α-Terpinol و Germacrene D رابطه مثبت و معنی‌داری با رس داشتند و درصد اسانس در هر دو عمق رابطه منفی و معنی‌دار با فسفر نشان داد. اما Aromadendrene تنها در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر رابطه مثبت و معنی‌دار با رس داشت و علاوه بر این در مورد ترکیب Geranyl acetate نتایج حاکی از وجود رابطه منفی و معنی‌دار با رس در هر دو عمق بود (جدول ۱ و ۲). Camphene در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر و Myrcene در عمق ۰-۵ سانتی‌متر رابطه معنی‌داری با ویژگی‌های خاک نداشت و Cinnamaldehyde و α-Humulene در هر دو عمق معنی‌دار نبودند.

جدول ۱: نتایج آنالیز رگرسیون خطی بین مشخصه‌های خاک و ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی در عمق ۰-۵ سانتی‌متر (ویژگی‌های خاکی که تأثیر معنی‌داری بر روی ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی داشتند، نشان داده می‌شود.)

ترکیب	مشخصه خاک	t	معنی‌داری	آماره B	آماره Beta	SE	R Square	Adjusted R
camphene	BR	-۳/۲۶	۰/۰۱	-۰/۹۵	-۰/۷	۰/۲۹	۰/۴۹	۰/۴۴
α-Pinene	pH	-۳/۳۵	<۰/۰۱	-۰/۵۸	-۰/۶۸	۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۴۲
α-Phellanderene	Clay	-۳/۰۷	۰/۰۱	-۰/۳۲	-۰/۶۸	۰/۱۰	۰/۴۶	۰/۴۱
Geranyl acetate	Clay	-۲/۵۷	<۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۶۱	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۳۲
α-Terpinol	Clay	۲/۹۲	۰/۰۱	۱/۵۶	۰/۶۳	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۳۵
Thymol	Clay	-۳/۲۵	<۰/۰۱	-۳/۸۲	-۰/۶۷	۱/۱۸	۰/۴۵	۰/۴۰
1,8-Cineole	Clay	-۳/۵۴	<۰/۰۱	-۰/۸۴	-۰/۷	۰/۲۴	۰/۴۹	۰/۴۵
Carvacrol	P	-۴/۶۴	<۰/۰۱	-۰/۰۶	-۰/۷۴	۰/۰۱	۰/۷۳	۰/۶۶
	N	-۲/۵۰	<۰/۰۵	-۱/۳۴	۰/۳۹	۰/۵۴		
	Silt	۲/۳۳	<۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۳۷	۰/۰۱		
Linalool	P	۴/۵۱	<۰/۰۱	۱/۱۵	۰/۶۱	۰/۲۵	۰/۸۵	۰/۷۵
	Moisture	-۳/۴۷	<۰/۰۱	-۰/۶۳	-۰/۴۸	۰/۱۸		
	Silt	-۴/۸۸	<۰/۰۱	-۱/۳۰	-۰/۶۴	۰/۲۷		
	BR	۲/۵۱	<۰/۰۵	۱۹/۳۳	۰/۳۶	۷/۷۰		
α-Thujene	pH	۵/۸۰	<۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۸۵	۰/۰۸	۰/۷۲	۰/۷۰
Germacrene D	Clay	۳/۵۱	<۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۷۰	۰/۰۲	۰/۴۹	۰/۴۵
Essential	P	-۲/۷۶	۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۶۱	۰/۰۲	۰/۳۷	۰/۳۲

BR: تنفس میکروبی پایه، pH: اسیدیته خاک، Clay: رس، N: نیتروژن، Silt: سیلت، P: فسفر، Moisture: رطوبت

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

جدول ۲: نتایج آنالیز رگرسیون خطی بین مشخصه‌های خاک و ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر (ویژگی‌های خاکی که تأثیر معنی‌داری بر روی ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی داشتند، نشان داده می‌شود.)

ترکیب	مشخصه خاک	t	معنی‌داری	آماره B	آماره Beta	SE	R Square	Adjusted R
α-Thujene	pH	۷/۷۶	<۰/۰۱	۰/۵۱	۰/۹۱	۰/۰۷	۰/۸۲	۰/۸۱
1,8-Cineole	pH	-۳/۱۲	<۰/۰۱	-۳/۳۱	-۰/۶۵	۱/۰۶	۰/۴۳	۰/۳۸
Thymol	Sand	۳/۲۹	<۰/۰۱	۱۳۵/۹۷	۰/۶۷	۴۱/۳۷	۰/۴۵	۰/۴۱
α-Terpinol	Clay	۳/۶۶	<۰/۰۱	۱/۵۵	۰/۷۱	۰/۴۲	۰/۵۱	۰/۴۷
Geranyl acetate	Clay	-۲/۵۱	<۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۶۰	۰/۰۱	۰/۳۶	۰/۳۱
α-Phellanderene	Clay	-۶/۱۲	<۰/۰۱	-۰/۳۸	-۱/۰۳	۰/۰۶	۰/۸۱	۰/۷۵
	P	-۳/۶۵	<۰/۰۱	-۲/۷۳	-۰/۶۷	۰/۷۵		
	N	۲/۳۳	<۰/۰۵	۴/۲۵	۰/۳۸	۱/۸۲		
α-Pinene	pH	-۲/۶۴	<۰/۰۵	-۰/۵۱	-۰/۵۹	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۳۰
Carvacrol	P	-۲/۳۶	<۰/۰۵	-۰/۷۴	-۰/۵۵	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۵
Myrcene	P	۳/۵۲	<۰/۰۱	۱/۱۷	۰/۷۰	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۴۷
	SIR	۲/۳۴	<۰/۰۵	۲/۰۱	۰/۴۷	۰/۸۶		
Linalool	P	۳/۳۲	<۰/۰۱	۲۱/۴۴	۰/۶۶	۶/۴۵	۰/۵۷	۰/۵۰
	OM	-۲/۴۹	<۰/۰۵	-۷/۵۵	-۰/۵۰	۳/۰۳		
Aromadendrene	Clay	۲/۹۶	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۰۵	۰/۴۰	۰/۳۶
Germacrene D	Clay	۴/۶۵	<۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۷۹	۰/۰۲	۰/۶۲	۰/۶۰
Essential	P	-۲/۱۷	<۰/۰۵	-۰/۷۷	-۰/۵۲	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۲۱

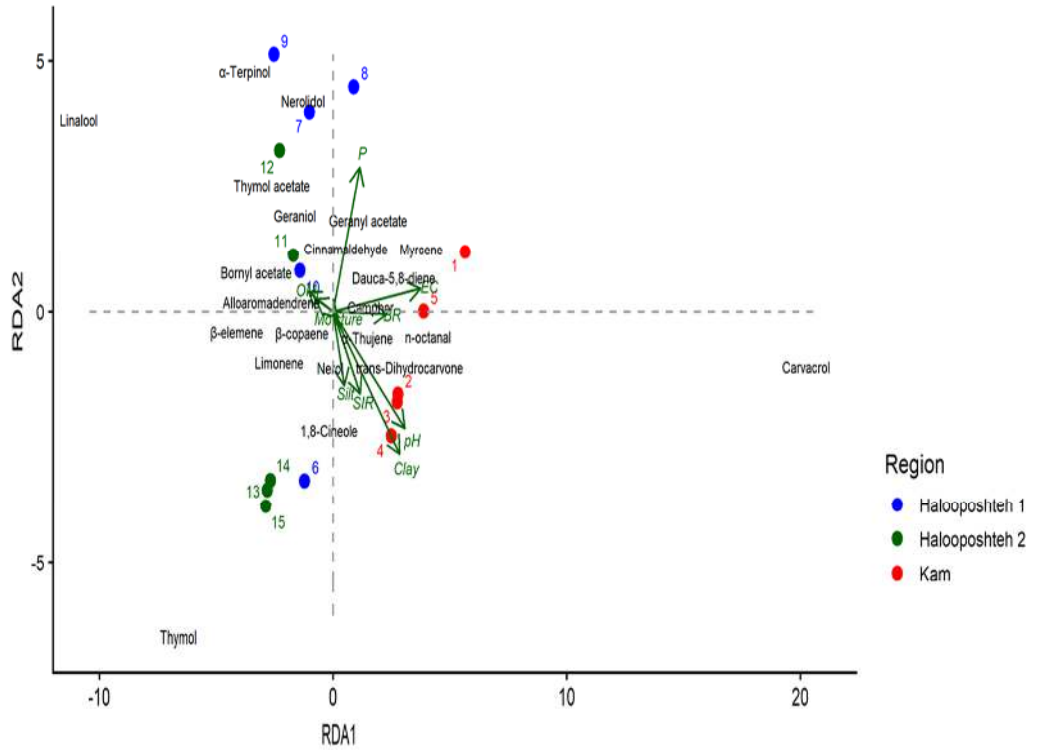
Sand: شن، OM: ماده آلی، SIR: تنفس میکروبی برانگیخته، pH: اسیدیته خاک، Clay: رس، N: نیتروژن، P: فسفر

نتایج آنالیز تجزیه و تحلیل کاهشی (RDA)

نتایج حاصل نشان داد که در عمق ۰-۵ سانتی‌متر، دو محور اصلی اول و دوم (RDA1 و RDA2) بخش عمده‌ای از تغییرات ترکیبات شیمیایی اسانس را بر اساس فاکتورهای خاکی توضیح می‌دهند. محور نخست بیشترین تغییرات را در داده‌ها توضیح داده و تفکیک روشنی میان منطقه کام و دو منطقه هلوپشته ایجاد کرده‌است. نمونه‌های مربوط به منطقه‌ی کام در سمت راست محور RDA1 قرار گرفتند و با متغیرهای خاکی رس، اسیدیته و کربن آلی همبستگی مثبتی را نشان دادند. در همین راستا، کارواکرول و تا حدودی n-Octanal نیز در این جهت قرار گرفتند. در مقابل، ترکیباتی نظیر تیمول، لینالول و ۱ و ۸- سینئول در سمت چپ محور RDA1 قرار گرفته‌اند که بیانگر ارتباط معکوس آن‌ها با pH و رس خاک است. محور دوم بیشتر تفاوت‌های بین دو منطقه هلوپشته را نشان می‌دهد. نمونه‌های مربوط به هلوپشته ۱ در قسمت بالایی محور RDA2 و در ارتباط مثبت با فسفر قرار گرفتند. ترکیباتی نظیر Linalool، α-Terpinolو Nerolidol در همین جهت پراکنده شده‌اند. اما نمونه‌های هلوپشته ۲ در قسمت پایینی محور RDA2 قرار گرفته و با سیلت همبستگی بیشتری نشان داده‌است. ترکیباتی مانند تیمول و ۱ و ۸- سینئول در این محور قرار دارند (شکل ۱).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]



شکل ۱: نتایج حاصل از آزمون RDA بین مواد موثره آویشن قره‌باغی و خصوصیات خاک در عمق ۰-۵ سانتی‌متر

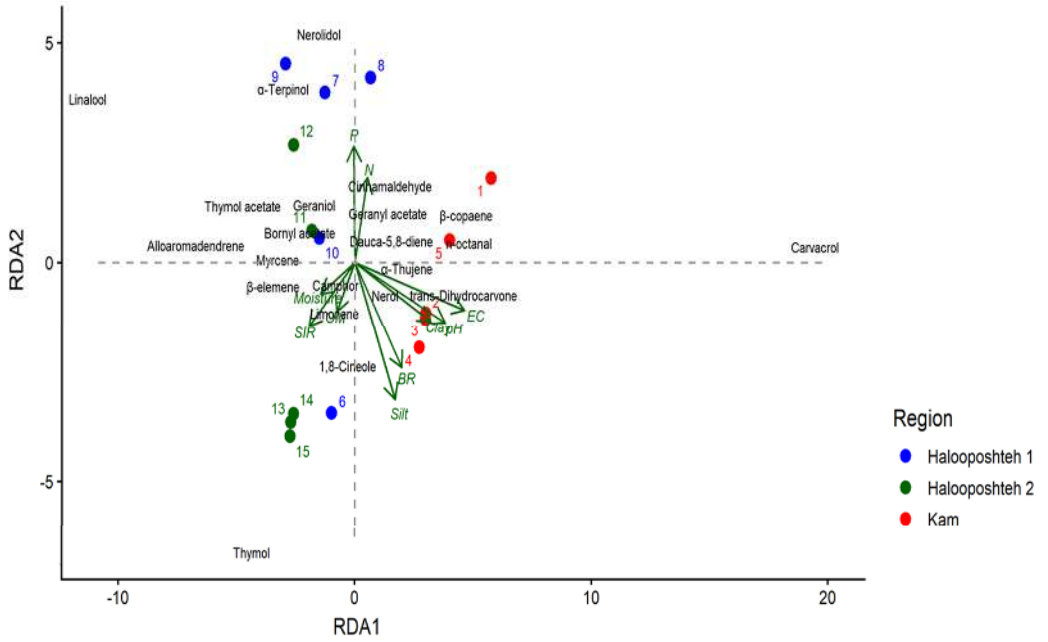
جدول ۳: مقادیر ویژه و درصد واریانس استخراج شده از RDA در عمق ۰-۵ سانتی‌متر

محورها	محور اول	محور دوم	محور سوم	محور چهارم
مقادیر ویژه	۵۱۸/۷۸	۲۱۶/۵۴	۴۱/۱۳	۲۵/۵۸
درصد واریانس	۵۸/۹۸	۲۴/۶۲	۴/۶۸	۲/۹۱

در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر نیز محور نخست بیشترین سهم را در تعیین تغییرات ترکیبات شیمیایی اسانس داشت و منطقه کام به‌طور واضح از دو منطقه دیگر تفکیک شده‌است. نمونه‌های مربوط به کام در سمت مثبت محور RDA1 قرار گرفته و با متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی و رس همبستگی مثبت نشان دادند و کارواکرول در مجاورت این محور قرار گرفته‌است. اما ترکیباتی مانند تیمول، لینالول و ۱ و ۸- سینئول در بخش منفی محور RDA1 قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده رابطه معکوس با pH و رس است. در محور دوم نمونه‌های هلوپشته ۱ در نیمه بالایی نمودار قرار گرفته‌اند و با متغیر فسفر همبستگی مثبت دارند. ترکیباتی مانند لینالول، α-Terpinol و Nerolidol در همین جهت مشاهده شده‌است. نمونه‌های هلوپشته ۲ در قسمت پایینی نمودار قرار گرفتند و با سیلت بیشترین همبستگی را نشان داده‌است. این محور با ترکیباتی مانند تیمول و ۱ و ۸- سینئول مشخص شد (شکل ۲). نمونه‌های مربوط به هلوپشته ۱ بیشتر در امتداد مثبت محور RDA2 پراکنش داشتند و ارتباط نزدیک‌تری با فسفر نشان دادند. در همین راستا، ترکیبات Nerolidol و α-Terpinol نیز در این جهت مشاهده شدند. در مقابل، نمونه‌های هلوپشته ۲ بیشتر در بخش منفی محور RDA2 قرار گرفتند و با متغیرهای ماده آلی، سیلت همبستگی نشان دادند. این محور با ترکیبی مانند ۱ و ۸-سینئول مشخص شد (شکل ۲).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]



شکل۲: نتایج حاصل از آزمون RDA بین مواد موثره آویشن قره‌باغی و خصوصیات خاک در عمق ۵-۱۰سانتی‌متر

جدول ۴: مقادیر ویژه و درصد واریانس استخراج شده از RDA در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر

محورها	محور اول	محور دوم	محور سوم	محور چهارم
مقادیر ویژه	۴۸۰/۰۶	۲۴۱/۰۷	۴۴/۴۳	۲۸/۱۶
درصد واریانس	۵۴/۵۸	۲۷/۴۱	۵/۰۵	۳/۲۰

بحث و نتیجه‌گیری

تأثیر ویژگی‌های فیزیکی خاک بر ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی

یافته‌های حاضر نشان داد که برخی ترکیبات آویشن قره‌باغی با ویژگی‌های خاک رابطه معناداری دارند. در عمق ۵-۰ سانتی‌متر با افزایش درصد رس خاک ترکیب تیمول کاهش یافته که با نتایج برخی پژوهش‌ها همسو است (۵۲) اما با نتایج پژوهش محمدیان و همکاران (۲۰۱۴) تفاوت داشت، به‌طوری که یافته‌های آن‌ها نشان داد که همبستگی معناداری بین تیمول و درصد رس خاک وجود ندارد. همچنین α-Phellandrene در هر دو عمق با افزیش درصد رس خاک روند کاهشی را نشان داد. لینالول در عمق ۵-۰ سانتی‌متر با افزیش سیلت، کاهش نشان داد که با نتایج ابوخالد و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت داشت. اما با نتایج یاوری و همکاران (۲۰۱۰) متفاوت است. یافته‌ها همچنین نشان داد که ۱ و ۸-سینئول در عمق ۵-۰ سانتی‌متر با افزایش رس، کاهش داشت، که با نتایج تحقیق محزونی و همکاران (۱۳۹۴) همسو است؛ با این حال، ایمانی و همکاران (۲۰۲۰) در گونه *T. pubescens* رابطه مثبت گزارش کرده‌اند. در تحقیقی Said-Al Ahi و همکاران (۲۰۲۱) بر روی گونه *T. vulgaris* دریافتند که تولید برخی ترکیبات اسانس در خاک‌های شنی بیشتر از رسی است. Germacrene D، α-Terpinol در عمق ۵-۰ سانتی‌متر و Aromadendrene در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر با افزایش درصد رس، میزان درصد این ترکیبات نیز افزایش داشت. در تحقیقی حسینی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که افزایش مقدار رس تأثیر قابل توجهی بر تأمین آب خاک، جذب مواد غذایی و کیفیت ترکیبات شیمیایی گیاه دارد. در پژوهش چاوکی و همکاران (۲۰۲۳) همبستگی مثبت و معناداری بین درصد رس و متابولیت‌های ثانویه گونه زعفران (*Crocus sativa* L.) یافت شده‌است. در عمق ۵-۰ سانتی‌متر رابطه کارواکرول با سیلت معنی‌دار بود و با

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

افزایش سیلت میزان کارواکرول نیز افزایش یافت که با نتایج محمدیان و همکاران (۲۰۱۴) همسو نیست. آن‌ها گزارش کردند که بین کارواکرول و سیلت یک همبستگی منفی و معنادار وجود دارد. به‌طور کل بافت خاک یکی از عوامل کلیدی و تعیین‌کننده در اکوسیستم‌های زمینی است، زیرا میزان نفوذپذیری، ظرفیت نگهداشت آب، تهویه و تحرک عناصر غذایی را کنترل می‌کند (۶). این ویژگی به عنوان یک متغیر محیطی مهم می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر تولید، تنظیم و تجمع متابولیت‌های ثانویه نظیر فنول‌ها، فلاونوئیدها و ترپن‌ها در گیاه تأثیر بگذارد. تفاوت در بافت خاک، از طریق تغییر در توان نگهداری رطوبت، دسترسی پذیری عناصر غذایی و فعالیت میکروبی ریزوسفر، مسیرهای متابولیکی گیاه را دچار دگرگونی کرده و در نتیجه منجر به تغییر کیفیت و کمیت ترکیبات شیمیایی گیاه می‌شود (۳۶). به عنوان مثال در خاک‌های رسی، ریشه‌ها به دلیل تماس بهتر با ذرات خاک، قادر به جذب مؤثر آب و مواد مغذی هستند (۴۶) و این موضوع می‌تواند منجر به تغییر در میزان تولید ترکیبات شیمیایی گیاه شود (۲۸). میزان لینالول در عمق ۰-۵ سانتی‌متر با درصد رطوبت خاک رابطه منفی و معناداری داشت، این در حالی است که یافته‌های صادقی منش و همکاران (۲۰۲۵) نشان داده‌است که رابطه معناداری بین لینالول و درصد رطوبت خاک وجود ندارد. تنش‌های خشکی اغلب موجب افزایش غلظت ترکیبات ثانویه در گیاهان دارویی می‌شوند (۱۲).

تأثیر ویژگی‌های شیمیایی خاک بر ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی

اسیدیته خاک با تأثیر بر جذب عناصر غذایی عامل مهمی در سنتز ترکیبات فرار است (۱۱). α-Thujene در هر دو عمق ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر رابطه معنی‌دار با pH خاک داشته به‌طوری که افزایش pH با افزایش مقدار این ترکیب همراه بود. در تحقیقی چاوکی و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که برخی از ترکیبات زعفران (*Crocus sativa* L.) با افزایش میزان pH افزایش می‌یابند. در واقع اسیدیته خاک شرایط محیطی مناسبی برای واکنش‌های شیمیایی فراهم می‌کند و بر سنتز و تجزیه مواد و همچنین جذب آنیون‌ها و کاتیون‌ها توسط ریشه گیاه تأثیر دارد. همچنین تأثیر قابل توجهی بر حاصلخیزی خاک و انتقال و تبدیل مواد مغذی دارد (۳۵). نتایج نشان داده‌است که با افزایش نیتروژن و فسفر، مقدار کارواکرول در عمق ۰-۵ سانتی‌متر روند کاهشی داشت، این یافته‌ها با نتایج محمدیان و همکاران (۲۰۱۴) همسو است و اما با نتایج صادقی منش و همکاران (۲۰۲۵) مطابقت ندارد. آن‌ها بیان کردند که بین کارواکرول و فسفر رابطه معناداری وجود ندارد. این در حالی است که در پژوهش وایسیولیت و همکاران (۲۰۲۲) بر روی گونه *T. pulegioides* نشان داده شد که میزان کارواکرول با افزایش گوگرد و فسفر و کاهش مقادیر سدیم افزایش می‌یابد. لینالول ترکیبی بود که در هر دو عمق ۰-۵ و ۵-۱۰ سانتی‌متر رابطه معنی‌داری با فسفر نشان داد و با افزایش میزان فسفر خاک، مقدار این ترکیب نیز افزایش یافت. این یافته با نتایج یاوری و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت ندارد. آن‌ها گزارش کردند که لینالول با درصد فسفر، پتاسیم و کلسیم رابطه منفی و معنادار دارد. علاوه بر این درصد اسانس در هر دو عمق با فسفر رابطه منفی و معنی‌دار داشت که با نتایج صادقی‌منش و همکاران (۲۰۲۵) همسو نمی‌باشد. نتایج آن‌ها نشان داد که بین درصد اسانس و فسفر رابطه معناداری وجود ندارد. عناصر غذایی موجود در خاک نقش تعیین کننده در رشد و نمو گیاه و تولید ترکیبات ثانویه گیاهان دارند (۱۱). تأمین فسفر قابل دسترس در خاک، در رشد گیاه نقش داشته و مسیرهای بیوسنتزی را تحریک می‌کند (۳۷). البته گاهی شرایط استرس غذایی ترشح برخی از ترکیبات شیمیایی در گیاه را افزایش می‌دهد (۴۴). در تحقیقی که خوارزمی و همکاران (۱۴۰۲) انجام دادند، نشان داده شد که کمبود فسفر باعث افزایش محتوای برخی اجزای اسانس در گونه‌های مریم گلی باغی (*Salvia officinalis*) و پونه آبی (*Satureja hortensis*) شده‌است، به‌طوری که درصد آلفا-پینن، بتا-پینن و ۱،۸-سینئول در اسانس مریم گلی باغی و ترکیبات پولگون، لیمونن و الواندولیل استات در اسانس پونه افزایش یافت. همچنین لینالول در عمق ۵-۱۰ سانتی‌متر با درصد ماده آلی خاک رابطه منفی و معنادار داشت، این یافته با نتایج یاوری و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. در پژوهش زمانی و همکاران (۱۴۰۲) بر روی گونه چای کوهی (*Stachys lavandulifolia*) نیز به وجود ارتباط این ترکیب با ماده آلی

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

و هدایت الکتریکی اشاره شده‌است. در تحقیقی مارتینز-نوگورل و همکاران (۲۰۲۳) بر روی گونه *Crithmum maritimum* نشان دادند که سطوح پایین‌تر ماده آلی خاک و عناصر پر مصرف می‌تواند تجمع بیشتر thymol methyl ether را تقویت کند و کاهش ریزمغذی‌ها نیز موجب افزایش میزان تجمع p-cymene در برگ‌ها می‌شود. در تحقیقی فرناندز و کاریلو (۲۰۲۰) گزارش کردند که خاک‌های غنی از ماده آلی و مواد معدنی، اگرچه موجب افزایش تولید اسانس شدند، اما کیفیت آن را کاهش دادند. در پژوهش لیو و همکاران (۲۰۲۰) نیز به وجود ارتباط منفی میان متابولیت‌های ثانویه موجود در ریشه گیاه شیرین‌بیان با اکثر مواد مغذی خاک از جمله کربن، فسفر، پتاسیم، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب و همچنین مواد آلی خاک اشاره شده‌است. همچنین در تحقیقی ونکوا و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تأثیر رویشگاه بر متابولیت‌های ثانویه میوه گونه *Vaccinium myrtillus* L. دریافتند که اگرچه رابطه معناداری میان میزان ترکیبات فنولی با اسیدیته خاک، سطح نیتروژن و جهت شیب رویشگاه مشاهده نشد، اما ارتباط معکوسی بین حاصل‌خیزی خاک و تجمع تانن‌های متراکم وجود داشت. به‌عبارت دیگر، سطح آنتوسیانین‌ها در گیاهان رشد یافته در خاک‌های فقیرتر بیشتر بود. در تحقیق رضاپور و همکاران (۲۰۲۳) بر روی گونه *T. fallax* Fisch. & C.A.Mey. c به این نتیجه دست یافتند که بین خصوصیات خاک و ترکیبات اسانس رابطه خاصی وجود ندارد.

تأثیر ویژگی‌های بیولوژیکی خاک بر ترکیبات شیمیایی آویشن قره‌باغی

یافته‌های ما نشان می‌دهند که ترکیب لینالول در عمق ۵-۰ سانتی‌متر با تنفس میکروبی پایه و Myrcene در عمق ۱۰-۵ سانتی‌متر با تنفس میکروبی برانگیخته رابطه مثبت و معنی‌دار داشتند اما رابطه Camphene در عمق ۰-۵ سانتی‌متر با تنفس میکروبی پایه بلعکس بوده‌است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که تعاملات بین گیاه و میکروارگانیسم‌های خاک تنها محدود به تأمین زیستگاه فیزیکی نیست، بلکه شامل تبادل پیچیده منابع غذایی برای میکروارگانیسم نیز می‌باشد. همچنین میکروبیوم خاک و ریشه با ترشح ترکیبات فرّار و متابولیت‌های میکروبی، مسیرهای متابولیسم ثانویه گیاه را تنظیم می‌کنند. بنابراین، یک رابطه همزیستی سودمند دو طرفه میان میکروارگانیسم و متابولیت گیاهی ممکن است نشان‌دهنده تمایل تغذیه‌ای به آن متابولیت، یا بیانگر این باشد که افزایش مقدار متابولیت نتیجه‌ی افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها است (۲۵ و ۵۰). شواهد موجود نشان می‌دهد که ترشح ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین، شامل متابولیت‌های اولیه و ثانویه، عامل کلیدی شکل‌گیری ساختار میکروبی ریزوسفر است (۳۵). گروهی از این متابولیت‌ها، نظیر فلاونوئیدها، کومارین‌ها، تری‌ترپن‌ها و بنزوکسازینوئیدها، قادرند شبکه‌ی میکروبی ریزوسفر را بازآرایی کرده و از این طریق بازخوردهای گیاه—خاک را تعدیل نمایند (۱۳، ۱۴، ۴۸ و ۵۳). تعاملات ترکیبی میکروارگانیسم‌ها می‌تواند نه تنها رشد گیاه و تجمع متابولیت‌های ثانویه را تقویت کند، بلکه در برخی موارد موجب تنظیم منفی ترکیبات گیاهی نیز شود (۲۴). این اثرات می‌تواند در نهایت منجر به تفاوت‌های کیفی قابل مشاهده در ترکیب اسانس‌ها و فعالیت دارویی گیاه در مناطق مختلف جغرافیایی شود (۴۲).

گیاهان حاوی اسانس بسته به نوع خاک از نظر عملکرد و کیفیت اسانس متفاوت عمل می‌کنند. این مسئله فرصتی فراهم می‌آورد تا انواع خاک‌های مناسب برای بیشترین میزان تولید اسانس با کیفیت شناسایی شوند (۴۶). نتایج بیانگر آن است که نوع خاک و سطح عناصر غذایی، نه تنها بر کمیت اسانس، بلکه بر کیفیت و ترکیب آن نیز اثرگذار است. بنابراین، مدیریت صحیح خاک می‌تواند به‌عنوان راهبردی مؤثر در افزایش تولید اسانس‌های با ارزش دارویی مورد توجه قرار گیرد. در مجموع، نتایج حاضر بر اهمیت انتخاب خاک مناسب برای بهینه‌سازی عملکرد و کیفیت اسانس گیاهان دارویی تأکید دارد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، علاوه بر ویژگی‌های خاک، نقش سایر عوامل محیطی مانند شرایط اقلیمی و تنوع ژنتیکی نیز در تولید متابولیت‌های ثانویه بررسی شود.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

References

1. Aboukhalid, K., Ch. Faiz, A. Douaik, M. Bakha, K. Kursa, M. Agacka-Mołdoch, N. Machon, F. Tomi & A. Lamiri, 2017. Influence of Environmental Factors on Essential Oil Variability in *Origanum compactum* BENTH. Growing Wild in Morocco. Journal of Chemistry & Biodiversity, 1-17.
2. Adams, R.P., 2017. Identification Of Essential Oil Components by Gas Chromatography-Mass Spectrometry, ed. 4.1.
3. Asri, Y. & M. Rabie., 2024. The effect of some environmental factors on morphological traits and essential oil compounds of the endemic species *Dracocephalum ghahremanii* Jamzad in Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 40(2): 367-387.
4. Black, C.A., D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger & F.E. Clark, 1965. Methods of Soil Analysis (Part 1). Physical and Mineralogical Properties Including Statistics of Measurements and Sampling. American Society of Agronomy Inc., Madison. doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.
5. Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54(5): 464-465.
6. Cardone, L., D. Castronuovo, M. Perniola, L. Scrano, N. Cicco & V. Candido, 2020. The Influence of Soil Physical and Chemical Properties on Saffron (*Crocus sativus* L.) Growth, Yield and Quality. Journal of Agronomy, 10:1-22.
7. Chaouqi, S., N. Moratalla-López, G.L. Alonso, C. Lorenzo, A. Zouahri, N. Asserar, E.M. Haidar & T. Guedira, 2023. Effect of Soil Composition on Secondary Metabolites of Moroccan Saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Plants, 12: 711.
8. European Pharmacopoeia., 2008. Directorate for the quality of medicines and healthcare of the Council of Europe (EDQM), Strasbourg, France, 1(6).
9. Faucon, M.P., 2020. Plant-Soil Interactions as Drivers of the Structure and Functions of Plant Communities. Journal of Diversity, 12(12): 452.
10. Fernández-Sestelo, M. & J.M. Carrillo, 2020. Environmental Effects on Yield and Composition of Essential Oil in Wild Populations of Spike Lavender (*Lavandula latifolia* Medik.). Journal of Agriculture, 10(12): 1-18.
11. Figueiredo, A.C., J.G. Barroso, L.G. Pedro & J.J.C. Scheffer, 2008. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. Flavour and Fragrance Journal, 23(4): 213-226.
12. Ghasemi, S., H. Hassani Kumleh, M. Kordrostami & M.H. Rezadoost, 2023. Drought stress-mediated alterations in secondary metabolites and biosynthetic gene expression in cumin plants: Insights from gene-specific and metabolite-level analyses. Journal of Plant Stress, 10:1-12.
13. Gfeller, V., J. Waelchli, S. Pfister, G. Deslandes- Hérold, F. Mascher, G. Glauser, Y. Aeby, A. Mestrot, C. AM Robert, K. Schlaeppi, M. Erb, 2023. Plant secondary metabolite-dependent plant- soil feedbacks can improve crop yield in the field. Journal of Elife Science, 1-20.
14. Hu, L., C.A.M. Robert, S. Cadot, X. Zhang, M. Ye, B. Li, D. Manzo, N. Chervet, T. Steinger, M.G.A.van der Heijden, K. Schlaeppi & M. Erb, 2018b. Root exudate metabolites drive plant-soil Feedbacks on growth and defense by shaping the Rhizosphere Microbiota. Journal of Nature Communications, 9: 2738.
15. Husaini, A.M., B. Hassan, M.Y. Ghani, J.A. Teixeira da Silva & N.A. Kirmani, 2010. Saffron (*Crocus sativus* Kashmirianus) cultivation in Kashmir: Practices and problems. Journal of Functional Plant Science and Biotechnology, 4(2): 108–115.
16. Hussain, A,. F. Anwar, Sh. Chatha, S. Latif, S. Sherazi, A. Ahmad, J. Worthington & S. Sarker, 2013. Chemical composition and bioactivity studies of the essential oils from two Thymus species from the Pakistani flora. Journal of LWT - Food Science and Technology, 50: 185-192.
17. Imani Dizajeyekan, Y., T. Ebrahimi Gajouti & A. Abdi Ghazi Jahan, 2020. Study about quantitative and qualitative variations type of *Thymus pubescens* essential oil affected by soil factors in Azerbaijan province. Journal of Plant Research, 33(2):257-265. (In Persian)
18. Jackson, M. L., 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall Inc.
19. Jaradat, N., A. Barkat, A. Khasati & M. Abuahasan, 2025. Variations of the chemical components and biological activities of *Thymus capitatus* essential oil from three regions in Palestine. Journal of Scientific Reports, 15(16305): 1-12.
20. Kabala, C., B. Galka & S. Yurkouski, 2021. New Topsoil Sampler for the Assessment and Monitoring of Forest Soil Contamination. Journal of Forests, 12(79):1-15.
21. Kharazmi, M., N. Mohammadkhani & M. Servati, 2023. Effect of phosphorus deficiency on growth properties and essential oil of *Salvia officinalis* L. and *Mentha aquatica* L. Journal of Plant Research, 36(1):1-15.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

22. Kosakowska, O., Z. Węglarz & K. Bączek, 2021. The Effect of Open Field and Foil Tunnel on Yield and Quality of the Common Thyme (*Thymus vulgaris* L.) in Organic Farming. Journal of Agronomy, 11(2): 197.
23. Liu, Y., Y. Li, W. Luo, & Sh. Liu, 2020. Soil potassium is correlated with root secondary metabolites and root-associated core bacteria in licorice of different ages. Journal of Plant Soil, 456: 61-79.
24. Lv, J., SH. Yang, W. Zhou, Z. Liu, J. Tan & M. Wei, 2024. Microbial regulation of plant secondary metabolites: Impact, mechanisms and prospects. Journal of Microbiological Research, 283: 1-14.
25. Maggini, V., R. Vanessa, M. De Leo, A. Mengoni, E. Rosaria Gallo, E. Miceli, S. Biffi, R. Fani, F. Firenzuoli, P. Bogani & L. istelli, 2020. Volatile profile of Echinacea purpurea plants after in vitro endophyte infection. Journal of Natural Product Research. 34(15): 2232-2237.
26. Mahmoodi, A. & E. Jahantab., 2025. Investigation of Some Phytochemical and Morphological Characteristics of the Medicinal Plant *Cleome quinquenervia* Boiss. in the Rangelands of Darab City. Journal of Rangland, 18(3):467-482.
27. Martins-Noguerol, R., L. Matías, I.M, Pérez-Ramos, X. Moreira, M. Francisco, J. Pedroche, C. DeAndrés-Gil, E. Gutiérrez, J.J. Salas, A.J. Moreno-Pérez, A.J. Davy, S. Muñoz-Vallés, M.E. Figueroa & J. Cambrollé, 2023. Soil physicochemical properties associated with the yield and phytochemical composition of the edible halophyte *Crithmum maritimum*. Journal of Science of the Total Environmental, 869: 1-12.
28. Mehalaine, S. & H. Chenchouni., 2020. Plants of the same place do not have the same metabolic pace: soil properties affect differently essential oil yields of plants growing wild in semi arid Mediterranean lands. Arabian Journal of Geosciences, 13: 1263.
29. Mohammadian, A., R. Karamian, M. Mirza & A. Sepahvand, 2014. Effects of altitude and soil characteristics on essential of *Thymus fallax* Fisch.et C.A. Mey. in different habitats of Lorestan province. Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(4): 519-528.
30. Mousavi, A., 2004. Medicinal plants of Zanjan province. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 20(3):345-368.
31. Nelson, R. E., 1983. Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and microbiological properties, 9: 181-197.
32. Olsen, S. R. & L. E. Sommers., 1982. Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 2
33. Ouarghidi, A., I. Abbad & T. Mfuni, 2025. Factors Shaping Phenotypic Variation in *Thymus saturejoides*. Journal of Plants, 14: 1772.
34. Page, A.L., 1992. Methods of Soil Analysis. ASA and SSSA Publishers: Madison, WI. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3
35. Pang, Z., J. Chen, T. Wang, C. Gao, Z. Li, L. Guo, J. Xu & Y. Cheng, 2021. Linking plant secondary metabolites and plant Microbiomes: A review. Journal of Frontiers in Plant Science, 12: 621276. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621276.
36. Pant, P., S. Pandy & S. Dall'Acqua , 2021. The Influence of Environmental Conditions on Secondary Metabolites in Medicinal Plants: A Literature Review. Journal of Chemistry & Biodiversity, 18(11): 1-14.
37. Peng, L. & L. Ng., 2022. Impacts of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Biomass, Polyphenol Contents, and Essential Oil Yield and Composition of Vitex negundo Linn. Journal of Horticulturae, 9(9):1037.
38. Rezapour Renia, K., H.A. Naghdi Badi, M. Amini Dehaghi & A. Kordenaeej, 2023. Evaluation of essential oil diversity of different populations of *Thymus fallax* Fisch. & C.A. Mey. collected from some of its habitats in Iran. Journal of Medicinal Plants, 22(85): 59-75.
39. Sadeghimanesh, M., Z. Jafarian-Jeloudar, J. Ghorbani & R. Azimi, 2025. The Impact of Environmental Factors on the Quantity and Quality of Essential Oil (*Thymus lancifolius* Celak.) in Hamadan Province. Journal of Rangeland, 18(3): 355-371. (In Persian)
40. Said-Al Ahl, H.A., A.S. Sabra, A. Alataway, T. Astatkie, A. Mahmoud & E. Bloem, 2019. Biomass production and essential oil composition of *Thymus vulgaris* in response to water stress and harvest time. Journal of Essential Oil Research, 31(1): 63-68.
41. Salehi, B., A. Prakash Mishra, L. Shukla, M. Sharifi-Rad, M. del Mar Contreras, A. Segura-Carretero, H. Fathi, N. Nasri Nasrabadi, F. Kobarfard & J. Sharifi-Rad, 2018. Thymol, thyme, and other plant sources: Health and potential uses. Journal of Phytotherapy Research, 32(9): 1688–1706.
42. Su, J., Y. Wang, M. Bai, T. Peng, H. Li, H. Xu, G. Guo, H. Bai, N. Rong, S. Kumar, H. He, X. Liang, C. Jin, W. Liu, M. Strube, L. Gram, Y. Li, E. Wang, H. Liu & H. Wu, 2023. Soil conditions and the plant microbiome boost the accumulation of monoterpenes in the fruit of Citrus reticulata 'Chachi'. Journal of Microbiome, 11(61): 1-22.
43. Tang, L., Sh. Dong, Sh. Liu, X. Wang, Y. Li, X. Su, Y. Zhang, X. Wu & H. Zhao, 2015. The relationship between soil physical properties and alpine plant diversity on Qinghai- Tibet plateau. Eurassian Journal of Soil Science, 4(2): 88- 93.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]

44. Tang, S., K. Wei, H. Huang, X. Li, Y. Min, J. Tai, Y. Xu, L. Chen, S. Yan, Q. Xiong & X. Li, 2024. effect of soil factors on flavonoid metabolites in Striga asiatica using LC–MS based on untargeted metabolomics. Journal Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 11(89):1-17.
45. Tavakoli, M., S. Soltani, M. Tarkesh Esfahani & R. Karamian, 2022. Study on some environmental factors effects on *Salvia multicaulis* Vahl. essential oil composition in Hamadan province. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 38(4): 545-563.
46. Tursun, A., 2022. Impact of soil types on chemical composition of essential oil of purple basil. Saudi Journal of Biological Sciences, 29: 1-9.
47. Vanekova, Z., M. Vanek, J. Skvarenina & M. Nagy, 2020. The influence of local habitat and microclimate on the levels of secondary metabolites in Slovak bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits. Journal of Plants, 9: 1-11.
48. Voges, M., Y. Bai, P. Schulze-Lefert & E.S. Sattely, 2019. Plant-derived coumarins shape the composition of an arabidopsis synthetic root microbiome. Journal of Proceedings of the National Academy of Sciences, 116:12558–12565.
49. Walkley, A. & I.A. Black., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Journal of Soil science, 37(1): 29-38.
50. Wu, X., Y. Yang & H. Zhang, 2023. Microbial fortification of pharmacological metabolites in medicinal plants. Computational and Structural Biotechnology Journal, 21: 5066-5072.
51. Yang, L., K.S. Wen, X. Ruan, Y.X. Zhao, F. Wei & Q. Wang, 2018. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. Journal of Molecules, 23(4): 1-26.
52. Yavari, A., V. Nazeri, F. Sefidkon & M.H. Hassani, 2010. Influence of Some Environmental Factors on the Essential Oil Variability of *Thymus migricus*. Journal of Natural Product Communications, 5(6): 943-948.
53. Yu, P., X. He, M. Baer, S. Beirinckx, T. Tian, Y. Moya, X. Zhang, M. Deichmann, F.P. Frey, V. Bresgen, C. Li, B. S. Razavi, G. Schaaf, N. von Wirén, Z. Su, M. Bucher, K. Tsuda, S. Goormachtig, X. Chen & F. Hochholdinger, 2021. Plant Flavones enrich Rhizosphere Oxalobacteraceae to improve maize performance under nitrogen deprivation. Journal of Nature Plants, 7:481-499.
54. Zamani, Z., R. Tamartash, Q. Heydari & Z. Jafarian Jelodar, 2024. Investigating the effect of ecological factors on essential oil composition of medicinal species *Stachys lavandulifolia* Vahl. in Baghtilak rangeland of Sari. Iranian Journal of Range and Desert Research, 30(4):489-504.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1405.20.3.1.5]