



Investigation of essential oil content and composition, and antioxidant properties of different ecotypes of *Satureja bachtiarica* Bunge

Behzad Omidpour¹, Ali Asghar Hatamnia^{2*} and Nayer Mohammadkhani³

1- M.Sc. student, Department of Biology, Ilam University, Ilam, Iran

2*- Corresponding Author, Department of Biology, Ilam University, Ilam, Iran, E-mail: a.hatamnia@ilam.ac.ir

3- Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 28/01/2025

Revised: 14/10/2025

Accepted: 27/10/2025

Abstract

Background and Objective: *Satureja bachtiarica* belongs to the Lamiaceae family and contains valuable compounds such as thymol, *p*-cymene, and carvacrol. Sixteen aromatic plant species of the genus *Satureja* grow in Iran. In this study, different ecotypes of *S. bachtiarica* were collected from Ilam, Kermanshah, Kurdistan, and West Azerbaijan provinces. Since ecological and environmental factors influence the quantity and quality of phytochemical compounds in aromatic plants, this research investigated and compared the phytochemical composition and antioxidant properties of *S. bachtiarica* essential oil across different habitats.

Methodology: Samples were collected during the flowering season from various habitats with distinct ecological conditions in the provinces of Ilam, Kermanshah, Kurdistan, and West Azerbaijan. Dried plant powder was used for extraction and essential oil isolation. Total phenol, flavonoid content, total antioxidant capacity, and DPPH radical scavenging capacity were measured using spectrophotometric methods. Essential oil was extracted by hydrodistillation, and both quantitative and qualitative analyses of the essential oil were conducted using gas chromatography (GC) and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

Results: The data showed that extracts of samples collected from Baneh and Gilan-e-Gharb had the highest and lowest phenolic content (4.648 and 2.034 mg gallic acid/g dry weight) and flavonoid content (0.164 and 0.090 mg quercetin/g dry weight), respectively. Likewise, the highest and lowest antioxidant activity were recorded in the Baneh (42.67%) and Gilan-e-Gharb (27.06%) samples, respectively. The strongest DPPH radical scavenging capacity (percentage inhibition) was observed in samples from Baneh (43.16%), while the weakest was found in samples from Gilan-e-Gharb (31.87%). A significant positive correlation ($r > 0.9$) at the 1% probability level was detected between total phenol content and both antioxidant capacity and DPPH radical scavenging capacity, as well as between antioxidant capacity and DPPH radical scavenging capacity. A significant positive correlation ($r > 0.875$) at the 1% probability level was also observed between total flavonoid content and both antioxidant capacity and DPPH radical scavenging capacity, in addition to a significant correlation between total phenol and total flavonoid content. The main constituents of *S. bachtiarica* essential oil included thymol, *p*-cymene, and gamma-terpinene, with their levels varying by region. Comparison of essential oil components in the studied habitats indicated that thymol (28.8-42.78%) was the dominant compound in four of the habitats, whereas *p*-cymene (35.2%) was the major constituent in the



Miandoab habitat. Correlation analysis revealed a negative and significant relationship between thymol (the principal essential oil component) and total flavonoid content, antioxidant capacity, and DPPH radical scavenging capacity. Although thymol also showed a negative correlation with total phenol content, this correlation was not significant. The highest and lowest essential oil yields were observed in samples collected from Miandoab (2.75%) and Baneh (0.87%), respectively.

Conclusion: The findings demonstrated that the principal components of *S. bachtiarica* essential oil collected from regions with varying ecological conditions include thymol, *p*-cymene, and gamma-terpinene, with their levels differing across habitats. Overall, essential oil yield and the quantitative and qualitative composition of essential oil constituents depend on ecological and environmental factors, which play a crucial role in shaping the phytochemical characteristics of aromatic plants.

Keywords: *Satureja bachtiarica* Bunge, phenolic compounds, antioxidant capacity, essential oil.

بررسی محتوای اسانس و خاصیت پاداکسایشی اکوتیپ‌های مختلف مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge)

بهزاد امیدپور^۱، علی اصغر حاتم‌نیا^{۲*} و نیر محمدخانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، پست الکترونیک: a.hatamnia@ilam.ac.ir

۳- دانشیار، مرکز آموزش عالی شهید باکری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۹

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۷/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: مرزه بختیاری (*Satureja bachtiarica* Bunge) گیاهی از خانواده نعناع (Lamiaceae) است که حاوی ترکیب‌های ارزشمندی مانند تیمول، پارا-سیمین و کارواکرول می‌باشد. در ایران ۱۶ گونه گیاهی معطر از جنس مرزه رشد می‌کنند. در این مطالعه اکوتیپ‌های مختلف مرزه بختیاری از استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان و آذربایجان غربی جمع‌آوری شدند. از آنجایی که عوامل اکولوژیکی و محیطی بر کمیت و کیفیت ترکیب‌های فیتوشیمیایی موجود در گیاهان معطر تأثیر دارند، از این رو در این پژوهش به بررسی و مقایسه ترکیب‌های فیتوشیمیایی و خواص پاداکسایشی اسانس مرزه بختیاری در رویشگاه‌های مختلف پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌ها در فصل گلدهی از رویشگاه‌های مختلف با شرایط اکولوژیکی متفاوت در استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان و آذربایجان غربی جمع‌آوری شدند. برای عصاره‌گیری و اسانس‌گیری از پودر نمونه‌های خشک شده استفاده شد. سنجش محتوای فنول، فلاونوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و ظرفیت جاروب‌کنندگی رادیکال‌های DPPH عصاره‌ها با استفاده از روش اسپکتروفتومتری انجام شد. اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب و مطالعه کمی و کیفی اسانس نیز با استفاده از کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) انجام گردید.

نتایج: داده‌ها نشان داد که عصاره نمونه‌های جمع‌آوری شده از بانه و گیلانغرب به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان محتوای فنول (۴/۶۴۸ و ۲/۰۳۴ میلی‌گرم اسید گالیک/ گرم ماده خشک) و فلاونوئید (۰/۱۶۴ و ۰/۰۹۰ میلی‌گرم کوئرستین/ گرم ماده خشک) بوده‌اند. همچنین بیشترین و کمترین فعالیت پاداکسایشی به‌ترتیب در نمونه‌های بانه (۴۲/۶۷ درصد) و گیلانغرب (۲۷/۰۶ درصد) مشاهده گردید. بیشترین ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH (درصد بازدارندگی) در نمونه‌های جمع‌آوری شده از بانه (۴۳/۱۶ درصد) و کمترین میزان ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده از گیلانغرب (۳۱/۸۷ درصد) بود. همبستگی مثبت معنی‌داری ($r > 0/9$) در سطح احتمال ۱ درصد بین محتوای فنول کل با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد بازدارندگی DPPH و بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد بازدارندگی DPPH مشاهده گردید. بین محتوای فلاونوئید کل با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد بازدارندگی DPPH و بین محتوای فنول کل و محتوای فلاونوئید کل همبستگی مثبت معنی‌داری ($r = 0/875$) در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه بختیاری شامل تیمول، پارا-سیمین و گاما-ترپینن بود که میزان آنها در مناطق مختلف متفاوت بود. مقایسه ترکیب‌های متشکله اسانس مرزه بختیاری در رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که در چهار رویشگاه تیمول ترکیب اصلی بوده (۲۸/۸ تا ۴۲/۷ درصد) و در رویشگاه میاندوآب، پارا-سیمین (۳۵/۲ درصد) ترکیب اصلی می‌باشد. نتایج همبستگی نشان داد که بین ترکیب تیمول (ترکیب اصلی اسانس) با محتوای فلاونوئید کل، ظرفیت پاداکسایشی و ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH همبستگی منفی و معنی‌داری بود، البته بین تیمول و محتوای فنول کل نیز همبستگی منفی وجود دارد ولی با این حال این همبستگی معنی‌دار نبود. بیشترین و کمترین میزان بازدهی اسانس در نمونه‌های جمع‌آوری شده از میاندوآب (۲/۷۵ درصد) و بانه (۰/۸۷ درصد) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: مشاهدات ما نشان داد که ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه بختیاری جمع‌آوری شده در مناطق مختلف با شرایط اکولوژیکی مختلف شامل تیمول، پارا-سیمن و گاما-ترپین بود که میزان آنها در مناطق مختلف متفاوت بودند. به‌طور کلی بازدهی اسانس و میزان کمی و کیفی ترکیب‌های اسانس به عوامل اکولوژیکی و محیطی وابسته می‌باشد که می‌تواند روی میزان ترکیب‌های اسانس گیاهان تأثیر بگذارد.

واژه‌های کلیدی: مرزه بختیاری، ترکیب‌های فنول، ظرفیت پاداکسایشی، اسانس.

مقدمه

تیره نعناع (Lamiaceae) از لحاظ اقتصادی و دارویی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این خانواده دارای تعداد زیادی گونه‌های گیاهی معطر می‌باشد. مواد معطر این گیاهان به دلیل اسانس‌هایی می‌باشد که در کرک‌های غده‌ای سنتز و ذخیره شده‌اند. این کرک‌های غده‌ای در قسمت‌هایی هوایی (مانند برگ‌ها) گونه‌های ذکر شده قرار دارند (Turner *et al.*, 1999). از جمله گیاهان معطر خانواده نعناع، گونه‌های جنس مرزه می‌باشد که به‌طور سنتی دارای خواص ضداسهال، ضدالتهابی و ضد میکروبی می‌باشد (Hajhashemi *et al.*, 2000؛ Fierascu *et al.*, 2018). قسمت‌های هوایی این گیاهان در صنایع دارویی و غذایی استفاده می‌شوند. گونه‌های این جنس در مناطق مختلف جهان از جمله ایران رشد کرده و در ایران ۱۶ گونه یکساله و چند ساله وجود دارد که ۹ گونه آن بومی ایران می‌باشد (Mozaffarian, 2004). مرزه بختیاری با نام محلی مرزه کوهی یک گیاه دارویی و معطر شناخته شده است که به‌طور سنتی به عنوان یک عامل ضد درد و ضد عفونی‌کننده استفاده می‌شود (Soleimani-Ahmadi *et al.*, 2017).

منوترین‌ها و سزکوئی‌ترین‌ها ترکیب‌های اصلی اسانس در گیاهان معطر تیره نعناع هستند. این ترکیب‌ها عامل عطر و طعم این گیاهان می‌باشند، به‌طوری‌که از اسانس این گیاهان برای تولید عطر و مواد آرایشی استفاده می‌شود. علاوه بر این، اسانس این گیاهان برای اهداف دارویی از اهمیت خاصی برخوردار است و دارای خواص آنتی‌اکسیدانتی و ضد میکروبی می‌باشد (Stammati *et al.*, 1999).

گیاهان دارای دو نوع ترکیب‌های اولیه و ثانویه هستند. ترکیب‌های اولیه توسط متابولیسم مسیرهای اولیه سنتز

می‌شوند و در همه موجودات زیستی نقش اساسی را بر عهده دارند و برای موجودات زنده حیاتی و ضروری هستند. در مقابل ترکیب‌های ثانویه که شامل ترین‌ها، آلکالوئیدها، فنول‌ها و ترکیب‌های وابسته می‌باشند از طریق مسیرهای اسید شیکمیک، اسید مالونیک، اسید موالونیک و متیل اریتریتول فسفات تولید می‌شوند (De La Rosa *et al.*, 2019).

به‌طور کلی ترکیب‌های فنولی از طریق متابولیسم فنیل پروپانوئید سنتز می‌شوند که شامل حضور پیش‌سازهایی است که توسط دو مسیر اصلی اسید شیکمیک و اسید مالونیک سنتز می‌شوند. اگرچه هر دو مسیر در بیوسنتز ترکیب‌های فنولی در گیاهان شرکت می‌کنند، اما مسیر اسید شیکمیک مسیر اصلی بوده و مسئول تولید پیش‌سازهای بیشتر ترکیب‌های فنولی در گیاهان می‌باشد. متابولیسم فنیل پروپانوئید منجر به تولید مولکول‌های متعددی مانند اسیدهای هیدروکسی سینامیک، اسیدهای هیدروکسی بنزوئیک، فلاونوئیدها و لیگنین می‌شود. سایر اسیدهای هیدروکسی بنزوئیک به‌طور مستقیم از یک واسطه در مسیر اسید شیکمیک (۳-دهیدروکسی اسید شیکمیک) سنتز می‌شوند (De La Rosa *et al.*, 2019).

ترکیب‌های فنولی به دلیل گروه‌های عملکردی ویژه‌ای که دارند دارای فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی، ضدالتهابی، ضد عفونی و ضدسرطانی هستند. فعالیت آنتی‌اکسیدانتی ترکیب‌های فنولی به دلیل ظرفیت این ترکیب‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد سلولی می‌باشد. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون لیپیدها، دنا توره شدن پروتئین‌ها و اکسیداسیون DNA و آسیب‌های سلولی می‌شوند. ترکیب‌های فنولی قابلیت حذف این رادیکال‌های آزاد را دارند، بنابراین دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانتی بالایی هستند

(Masibo & He, 2008).

متابولیسم اولیه و ثانویه گیاه فرایندهای مرتبط با یکدیگر هستند، این متابولیت‌ها نقش مهمی در کاهش تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (Austen et al., 2019). متابولیت‌های ثانویه برای رشد و تولیدمثل گیاه ضروری نیستند، اما نقش حیاتی در تعامل بین گیاهان و محیط دارند و سنتز آنها به‌طور قابل توجهی بر پاسخ به تنش‌های مختلف تأثیر می‌گذارد (Yang et al., 2018). تحقیقات نشان داده است که بیوسنتز ترکیب‌های ثانویه نه تنها به عوامل ژنتیکی بلکه به عوامل محیطی نیز وابسته می‌باشد، به‌طوری‌که بازدهی و عملکرد مواد گیاهی و ترکیب اسانس در گیاهان دارویی و معطر تحت تأثیر عوامل مختلفی هستند. ازجمله این عوامل می‌توان به زمان برداشت، شرایط اکولوژیکی و آب و هوایی، میزان نور و دمای محیط، تنوع ژنتیکی، نوع خاک و تغذیه معدنی اشاره کرد (Pintó-Marijuan et al., 2017; Naghdi Badi et al., 2022; Miransari et al., 2017; Bakhshian et al., 2022).

Omwango و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی گیاهان دارویی در مناطق مختلف اقلیمی کنیا نشان دادند که پارامترهای مختلف اقلیمی به‌طور قابل توجهی روی میزان محتوای فنول و فلاونوئید کل تأثیر دارد. Bvenura و Kambizi (۲۰۲۴) با بررسی متابولیت‌های ثانویه در *Schinus molle* در ۱۲ مکان مختلف در آفریقای جنوبی نشان دادند که میزان ترکیب‌های فنولی تحت تأثیر شرایط اقلیمی، محیطی و جغرافیایی می‌باشد. Tavakoli و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که فاکتورهای اکولوژیکی میزان ترکیب‌های فنولی را در گونه *Salvia multicaulis* Vahl تحت تأثیر قرار می‌دهند.

تحقیقات نشان داده است که شرایط محیطی مانند دما باعث افزایش آلکالوئیدها و ترکیب‌های فنلی در برخی از گیاهان مفید می‌شود (Zhang et al., 2017; Ullrich et al., 2019). Dobhal و همکاران (۲۰۲۴) ضمن بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر روی گیاهان معطر نشان دادند که تغییرات آب و هوایی می‌تواند تولید اسانس را تحت تأثیر قرار دهد، به‌طوری‌که افزایش دما فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی

را تحریک کرده و بر ترکیب متابولیت‌های ثانویه ازجمله بازدهی اسانس و غلظت ترکیب‌های فرار تأثیر می‌گذارد. مطالعات نشان داده است که میزان اسانس گیاه دارویی متأثر از زمان برداشت بود، به‌طوری‌که Barakat و همکاران (۲۰۱۳) با برداشت نمونه‌ای آویشن زوفایی در ماه‌های مختلف سال نشان دادند که میزان اسانس نمونه‌های جمع‌آوری شده بین ۳/۵ تا ۶/۶ درصد متغیر می‌باشد. همچنین تحقیقات نشان داده است که خشکی می‌تواند تأثیر مثبتی روی میزان بازدهی اسانس گیاهان دارویی داشته باشد (Tatrai et al., 2016; Khazaie et al., 2008).

تحقیقات نشان داده که ترکیب‌های اصلی اسانس گونه‌های مختلف جنس *Satureja* شامل تیمول، کارواکرول، گاما-ترپینن، لینالول و آلفا-ترپینول می‌باشد. Moeina و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه بختیاری شامل تیمول و گاما-ترپینن است. Baydar و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که ترکیب‌های اصلی *Satureja cuneifolia* شامل کارواکرول و گاما-ترپینن می‌باشد و Copra-Janicijevic و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که لینالول و آلفا-ترپینول ترکیب‌های اصلی اسانس *Satureja montana* هستند.

به‌طورکلی می‌توان گفت که عوامل اکولوژیکی و محیطی مختلف روی ترکیب‌های فیتوشیمیایی اسانس و میزان بازدهی اسانس تأثیر دارند. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش اندازه‌گیری ترکیب‌های فیتوشیمیایی اسانس مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های مختلف و بررسی تأثیر شرایط اکولوژیکی روی میزان کمی و کیفی ترکیبات فیتوشیمیایی اسانس نمونه‌های مختلف و اندازه‌گیری میزان فنول، فلاونوئید و بررسی خواص پاداکسایشی نمونه‌های مختلف مرزه بختیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری و شناسایی گیاه مورد مطالعه

نمونه‌های مربوط به مرزه بختیاری از رویشگاه‌های مختلف با شرایط اکولوژیکی متفاوت در استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان و آذربایجان غربی جمع‌آوری شدند.

آنگاه برای عصاره‌گیری به آزمایشگاه منتقل شدند. جزئیات مربوط به اکوتیپ‌های مختلف در جدول ۱ آمده است.

سپس، قسمت‌های مربوط به اندام‌های هوایی جمع‌آوری و در سایه خشک شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن در سایه به‌وسیله هاون چینی به حالت پودر خیلی ریز درآمدند.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مناطق جمع‌آوری اکوتیپ‌های مرزه بختیاری

Table 1. Geographical characteristics of *Satureja bachtiarica* ecotypes collecting sites

Samples	Collection site	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Average temperature (°C)	Precipitation (mm)	Relative humidity (%)
S1	Ilam- Kabir Kouh Mountain	1818	33 27' 02"	46 39' 03"	22.6	628.6	38
S2	Kermanshah- Gilan-e- Gharb	1246	34 02' 59"	46 04' 14"	28.4	253.6	42
S3	Kurdistan- Bane	1980	35 46' 43"	45 52' 32"	12.3	660	44
S4	West Azarbijan- Bukan	1465	36 32' 28"	46 17' 12"	13.3	373.8	50
S5	West Azarbijan- Miandoab	1302	36 57' 28"	45 55' 59"	11.1	453.2	53

کلرید آلومینیوم به روش Lenucci و همکاران (۲۰۰۶) تعیین شد. ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره و ۰/۹ میلی‌لیتر آب دیونیزه با ۱ میلی‌لیتر ۲٪ $AlCl_3$ (محلول ۵٪ اسید استیک در متانول) مخلوط شد و بعد از ۳۰ دقیقه جذب در ۴۳۰ نانومتر خوانده شد. منحنی استاندارد با غلظت‌های مختلف کوئرستین تهیه شد. محتوای فلاونوئیدی عصاره‌ها برحسب میلی‌گرم کوئرستین در گرم وزن خشک گزارش گردید.

سنجش ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی کل

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل عصاره‌ها به روش فسفومولیدات تجزیه شد (Pulido et al., 2000). ۳ میلی‌لیتر معرف فسفومولیدات (اسید سولفوریک ۰/۶ مولار، سدیم فسفات ۲۸ میلی‌مولار و آمونیوم مولیدات ۴ میلی‌مولار) به ۳۰۰ میکرولیتر از عصاره‌ها اضافه گردید و به مدت ۹۰ دقیقه در حمام آب گرم ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. اسید آسکوربیک برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. جذب نمونه‌ها در ۶۹۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانتی کل به صورت میکروگرم اسید آسکوربیک بر گرم وزن خشک نمونه گزارش شد.

ظرفیت جاروب‌کنندگی رادیکال‌های DPPH

آزمایش مهار رادیکال آزاد برای اولین بار توسط Blois

تهیه عصاره‌های گیاهی برای سنجش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی

برای تهیه عصاره گیاهی جهت مطالعه فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانتی از روش Wijeratne و همکاران (۲۰۰۶) استفاده شد. ابتدا ۳ گرم از هریک از پودر نمونه‌های گیاهی با ۵۰ میلی‌لیتر متانول مخلوط شدند. سپس عصاره‌گیری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سوکسوله و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد.

تعیین محتوای فنول کل

تعیین محتوای فنولی به روش فولین- سیوکالتثو (Tsantili et al., 2010) انجام شد. ۰/۲ میلی‌لیتر عصاره با ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۷٪)، ۰/۲ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتثو و ۲/۶ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط شده و ۹۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه گردید. جذب این محلول در ۷۶۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با غلظت‌های مختلف اسید گالیک تهیه شد و محتوای فنولی برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در گرم وزن خشک گزارش گردید.

تعیین محتوای فلاونوئید

محتوای فلاونوئیدی با استفاده از روش رنگ‌سنجی

در سال ۱۹۵۸ انجام شد و در حال حاضر پس از اصلاحات توسط تحقیقات بی‌شمار به شکل کنونی انجام می‌شود. روش DPPH یکی از پرکاربردترین روش‌های مورد استفاده برای تخمین محتوای آنتی‌اکسیدانسی می‌باشد. فعالیت جاروب کردن رادیکال‌های آزاد با استفاده از رادیکال آزاد ۱ و ۱-دی فنیل - ۲- پیکریل هیدرازیل (DPPH) به روش Blois

(۱۹۵۸) اندازه‌گیری شد. ۱ میلی‌لیتر عصاره با ۱ میلی‌لیتر DPPH متانولی ۰/۲ میلی‌مول مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در °C ۲۵ قرار گرفت. میزان جذب در ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. متانول فاقد عصاره به عنوان شاهد استفاده و فعالیت جاروب رادیکال‌های آزاد با فرمول زیر محاسبه شد (Blois, 1958).

$$\text{Inhibition (\%)} = 100 \times [(\text{OD control} - \text{OD sample}) / \text{OD control}]$$

%inhibition: درصد مهار رادیکال‌های آزاد (درصد بازدارندگی آنتی‌اکسیدانسی در برابر رادیکال‌های آزاد)
OD control: جذب شاهد
OD sample: جذب نمونه

روش اسانس‌گیری

عمل اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب (به نسبت ۵:۱ ماده خشک گیاهی به آب مقطر) و با استفاده از دستگاه کلونجر (به مدت ۳ ساعت) انجام شد و درصد اسانس به صورت میلی‌لیتر بر صد گرم ماده خشک محاسبه گردید (Maral et al., 2017).

به کارگیری کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی

گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS)

برای محاسبه درصد ترکیب‌های اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent-6890 ساخت کمپانی Agilent آمریکا با آشکارساز یونش شعله‌ای (FID) و گاز نیتروژن به عنوان گاز حامل استفاده شد. ستون مورد استفاده در کروماتوگرافی گازی دارای طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فاز ساکن آن ۰/۲۵ میکرومتر بود. آنالیز GC/MS ترکیب‌های اسانس با دستگاه کروماتوگراف گازی Finnigan Thermo که با سیستم مس اسپکترومتری (model GC TRACE; TRACE MS plus) جفت شده بود، انجام شد. از ستون غیر قطبی (30 m X 0.250 mm, 0.25 µm film HP-5MS thickness) استفاده

شد. پروفیل دمایی به صورت زیر بود: ابتدا دما روی ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه تنظیم شد و بعد با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا رسیدن به دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، در نهایت دما با سرعت ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه به ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و ۲ دقیقه در دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سرعت جریان گاز حامل هلیوم ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه و انرژی یونیزاسیون 70 eV بود. بعد از تزریق اسانس به دست آمده به دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی، با توجه به الگوی خروج آلکان‌های نرمال، شاخص بازدارندگی برای ترکیب‌ها محاسبه و در نهایت مقایسه آنها با شاخص‌های مرجع، ترکیب‌های عمده تشکیل‌دهنده اسانس شناسایی شدند.

تجزیه آماری

با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی، تفاوت آماری بین داده‌های حاصل از مناطق مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای همه آزمایش‌های انجام شده سه تکرار در نظر گرفته شد. اختلاف بین نمونه‌ها به صورت مقادیر میانگین و خطای استاندارد (SE) بیان شدند. اختلاف‌ها با استفاده از آنالیز واریانس تک‌سویه (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون Tukey در سطح آماری ۵ درصد ($P < 0.05$) انجام شد. همچنین برای تجزیه واریانس از روش GLM (General Linear Mode) استفاده شد.

نتایج

نتایج مربوط به خاصیت آنتی اکسیدانی

فنول کل، فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی اکسیدانی و ظرفیت جمع آوری رادیکال DPPH برای نمونه‌های مرزه مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود.

جدول ۲ تجزیه واریانس خاصیت آنتی اکسیدانی را برای نمونه‌های مرزه بختیاری نشان می‌دهد. تفاوت در محتوای

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر اکوتیپ بر برخی صفات مرزه بختیاری

Table 2. ANOVA of ecotype effects on some *Satureja bachtiarica* traits

S.O.V.	d.f.	M.S.			
		Total phenols	Total flavonoids	Total antioxidant capacity	DPPH
Ecotype	4	3.294**	0.003**	143.12**	59.268**
Experimental error	10	0.008	0.000	0.779	0.145
C.V. (%)		6.96	5.89	4.84	2.91

** : significant at 1% probability level.

محتوای فنول کل

نمونه‌های مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از بانه و کبیرکوه ایلام محتوای فنول کل بیشتری (۴/۶۴۸ میلی گرم اسید گالیک/ گرم وزن خشک) را نسبت به سایر نمونه‌ها نشان دادند و از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی داری با همدیگر نداشتند (جدول ۳). نمونه مرزه جمع‌آوری شده از گیلانغرب کرمانشاه کمترین محتوای فنول کل (۲/۰۳۴ میلی گرم اسید گالیک/ گرم وزن خشک) را در بین نمونه‌ها داشت. نتایج نشان داد که محتوای فنول کل نمونه‌ها کاملاً تابع ارتفاع بوده و با افزایش ارتفاع محتوای فنول کل نمونه‌های مرزه نیز افزایش یافت. نمونه‌های مرزه جمع‌آوری شده از مرتفع‌ترین نقاط که مربوط به کردستان و ایلام بود، بیشترین محتوای فنول کل را نیز نشان دادند.

محتوای فلاونوئید کل

نمونه مرزه جمع‌آوری شده از بانه (۰/۱۶۴ میلی گرم کوئرستین/ گرم وزن خشک) بیشترین محتوای فلاونوئید کل را نشان داد. نمونه مرزه گیلانغرب (۰/۰۹۰ میلی گرم کوئرستین/ گرم وزن خشک) کمترین محتوای فلاونوئید کل را در بین نمونه‌ها داشت. محتوای فلاونوئید کل نمونه‌ها نیز تا حدودی تابع ارتفاع است. نمونه‌های کردستان و ایلام با بیشترین ارتفاع، بیشترین مقدار فلاونوئید کل را در بین نمونه‌ها داشتند و نمونه کرمانشاه با کمترین ارتفاع، کمترین

مقدار فلاونوئید کل را داشت (جدول ۳).

ظرفیت آنتی اکسیدانی

جدول ۳ ظرفیت آنتی اکسیدانی کل را در نمونه‌های مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از نقاط مختلف نشان می‌دهد. نمونه‌های مرزه جمع‌آوری شده از بانه و ایلام (به ترتیب ۴۲/۶۷ و ۴۰/۵۱ درصد) بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی کل را نشان دادند و در سطح احتمال ۵ درصد با همدیگر تفاوت معنی دار نداشتند. نمونه مرزه بوکان در مرتبه بعدی قرار داشت و کمترین میزان ظرفیت آنتی اکسیدانی کل مربوط با نمونه گیلانغرب با ۲۷/۰۶ درصد بود.

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل نمونه‌های مرزه تابع ارتفاع رویشگاه نمونه‌ها بود و با افزایش ارتفاع ظرفیت آنتی اکسیدانی کل نمونه‌ها نیز افزایش یافت. نمونه‌های کردستان و ایلام با بیشترین ارتفاع، بیشترین ظرفیت آنتی اکسیدانی کل را نشان دادند.

ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH (درصد بازدارندگی) مربوط به نمونه مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از بانه (۴۳/۱۶ درصد) و کمترین میزان ظرفیت جمع‌آوری رادیکال DPPH مربوط به نمونه جمع‌آوری شده از گیلانغرب (۳۱/۸۷ درصد)

می‌باشد. نتایج نشان داد که نمونه‌های جمع‌آوری شده از بوکان و میاندوآب باهم تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳).

نتایج نشان داد که محتوای فنول کل، فلاونوئیدها کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی کل و ظرفیت جمع‌آوری DPPH نمونه‌ها کاملاً تابع ارتفاع بوده و با افزایش ارتفاع و کاهش

میانگین دمایی پارامترهای ذکرشده نیز افزایش یافته، به‌طوری‌که نمونه‌های مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از مرتفع‌ترین (نمونه بانه) و پست‌ترین مکان (نمونه گیلانغرب) به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین محتوای فنول کل، فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانتی کل و ظرفیت جمع‌آوری DPPH می‌باشند (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی صفات مرزه بختیاری تحت تأثیر اکوتیپ

Table 3. Means comparison of some *Satureja bachtiarica* traits affected by ecotype

Ecotype	Total phenols (mg gallic acid.g ⁻¹ DW)	Total flavonoids (mg Quercetin.g ⁻¹ DW)	Total antioxidant capacity (μg ascorbic acid.g ⁻¹ DW)	DPPH radical scavenging (%)	Essential oil (%)
S1	4.409 ± 0.051 ^a	0.154 ± 0.0083 ^{ab}	40.51 ± 0.311 ^a	38.00 ± 0.253 ^b	2.11 ± 0.055 ^b
S2	2.034 ± 0.048 ^d	0.090 ± 0.0057 ^d	27.06 ± 0.766 ^c	31.87 ± 0.292 ^d	1.42 ± 0.037 ^c
S3	4.648 ± 0.049 ^a	0.164 ± 0.0077 ^a	42.67 ± 0.694 ^a	43.16 ± 0.177 ^a	0.87 ± 0.043 ^d
S4	3.748 ± 0.069 ^b	0.114 ± 0.0079 ^{cd}	32.16 ± 0.110 ^b	35.06 ± 0.244 ^c	1.62 ± 0.047 ^c
S5	3.192 ± 0.032 ^c	0.129 ± 0.0060 ^{bc}	29.27 ± 0.345 ^c	35.06 ± 0.029 ^c	2.75 ± 0.051 ^a

S1, S2, S3, S4, and S5: populations from Ilam- Kabir Kouh Mountain, Kermanshah- Gilan-e- Gharb, Kurdistan- Bane, West Azarbijan- Bukan, and West Azarbijan- Miandoab, respectively.; In each column, means (± SE) with common letters are in the same statistical group at 1% probability level (Tukey test).

جدول ۴ همبستگی بین شاخص‌های مختلف را نشان می‌دهد. در نمونه‌های مرزه بختیاری بین محتوای فنول کل با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد بازدارندگی DPPH و بین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد بازدارندگی DPPH همبستگی مثبت معنی‌داری ($r > 0.9$) در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده گردید (جدول ۴). بین محتوای فلاونوئید کل با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و درصد بازدارندگی DPPH و بین محتوای فنول کل و محتوای فلاونوئید کل همبستگی مثبت

معنی‌داری ($r > 0.8$) در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. نتایج جدول همبستگی نشان داد که بین تیمول (ترکیب اصلی اسانس) با محتوای فلاونوئید کل، ظرفیت پاداکسایشی و درصد بازدارندگی DPPH همبستگی منفی و معنی‌داری بود، البته بین تیمول و محتوای فنول کل نیز همبستگی منفی وجود دارد ولی با این حال این همبستگی معنی‌دار نبود (جدول ۴).

جدول ۴- همبستگی صفات اکوتیپ‌های مرزه بختیاری

Table 4. Traits correlation in *Satureja bachtiarica* ecotypes

		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Total phenols	1	0.875**	0.921**	0.902**	-0.177	-0.428	-0.210	0.096
2	Total flavonoids		1	0.859**	0.874**	-0.072	-0.684**	0.157	-0.225
3	Total antioxidant capacity			1	0.920**	-0.377	-0.543*	-0.134	-0.223
4	DPPH				1	-0.374	-0.547*	0.057	-0.206
5	Essential oil					1	-0.253	0.387**	0.184
6	Thymol						1	-0.689**	0.702**
7	p-Cymene							1	-0.669**
8	γ-Terpinene								1

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس

درصد ترکیب‌های اسانس نمونه‌های مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از مناطق مختلف غرب و شمال‌غرب ایران با شرایط اکولوژیکی مختلف در جدول ۵ آورده شده است. دو ترکیب تیمول و پارا-سیمن ترکیب‌های اصلی اسانس را در نمونه‌های مرزه بختیاری تشکیل می‌دهند. در نمونه‌های مرزه جمع‌آوری شده از گیلانغرب، کردستان، ایلام و بوکان ترکیب تیمول بیشترین درصد اسانس را تشکیل می‌دهد که در محدوده بین ۲۸/۸ تا ۴۲/۷ درصد متغیر می‌باشد، در حالی که در نمونه جمع‌آوری شده از میاندوآب ترکیب پارا-سیمن با

۳۵/۲ درصد بیشترین درصد اسانس را تشکیل می‌دهد. در نمونه‌های میاندوآب، گیلانغرب و ایلام ترکیب کارواکرول در رتبه بعدی قرار دارد. بیشترین درصد اسانس مربوط به نمونه بوکان است و نمونه‌های ایلام، میاندوآب، گیلانغرب و کردستان در رده بعدی قرار دارند. همچنین ترکیب گاما-ترپینن با ۲۰/۵ درصد در نمونه بوکان یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده اسانس به‌شمار می‌رود، این ترکیب در نمونه‌های میاندوآب، ایلام، کردستان و گیلانغرب درصد کمتری را دارا بود.

جدول ۵- ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس اکوتیپ‌های مختلف مرزه بختیاری

Table 5. Essential oil compounds in different *Satureja bachtiarica* ecotypes

Compound	RI	Compound amount in ecotypes (%)				
		S1	S2	S3	S4	S5
1 α -thujene	929	0.3	0.9	0.3	0.5	0.4
2 α -pinene	934	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
3 camphene	949	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
4 β -pinene	975	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
5 β -myrcene	985	0.8	0.7	0.7	0.9	1.0
6 α -phellandrene	1002	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2
7 α -terpinene	1014	1.8	1.5	1.4	2.8	2.2
8 p-cymene	1023	26.2	28.5	29.4	19.3	35.2
9 limonene	1026	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0
10 γ-terpinene	1056	10.3	8.2	8.3	20.5	11.9
11 Cis-sabinene hydrate,	1066	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
12 α -terpinolene	1086	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
13 linalool	1097	0.8	4.9	1.3	0.6	0.9
14 borneol	1168	0.3	0.6	0.7	0.0	0.3
15 terpinene-4-ol	1180	0.3	0.6	0.5	0.2	0.3
16 p-cymene -8-ol	1193	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
17 thymol	1292	28.8	37.3	30.4	42.7	30.7
18 menthyl acetate	1294	7.6	1.1	6.6	4.4	2.7
19 indol	1299	10.9	0.0	6.3	5.5	0.0
20 carvacrol	1305	8.4	10.7	0.0	0.0	11.5
21 thymyl acetate	1350	0.3	0.5	0.4	0.0	0.4
22 carvacryl acetate	1373	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
23 Trans-caryophyllene	1425	0.5	0.9	0.8	0.8	0.6
24 β -bisabolene	1509	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
25 spathulenol	1578	0.3	0.2	0.7	0.2	0.1
26 caryophyllene oxide	1584	0.7	0.8	1.8	0.5	0.3
Total		99.7	99.8	90.1	99.6	98.8

S1, S2, S3, S4, and S5: populations from Ilam- Kabir Kouh Mountain, Kermanshah- Gilan-e- Gharb, Kurdistan- Bane, West Azarbijan- Bukan, and West Azarbijan- Miandoab, respectively.

بنابراین ترکیب‌های اصلی تشکیل‌دهنده اسانس در نمونه‌های مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از غرب و شمال غرب ایران به ترتیب زیر می‌باشد.

نمونه ایلام- کبیرکوه (S1): تیمول (۲۸/۸٪)، پارا-سیمن (۲۶/۲٪)، ایندول (۱۰/۹٪) و گاما-ترپینن (۱۰/۳٪).

نمونه کرمانشاه- گیلانغرب (S2): تیمول (۳۷/۳٪)، پارا-سیمن (۲۸/۵٪)، کارواکول (۱۰/۷٪) و گاما-ترپینن (۸/۲٪).

نمونه کردستان-بانه (S3): تیمول (۳۰/۴٪)، پارا-سیمن (۲۹/۴٪)، گاما-ترپینن (۸/۳٪) و متیل استات (۶/۶٪).

نمونه بوکان (S4): تیمول (۴۲/۷٪)، گاما-ترپینن (۲۰/۵٪)، پارا-سیمن (۱۹/۳٪) و ایندول (۵/۵٪).

نمونه میاندوآب (S5): پارا-سیمن (۳۵/۲٪)، تیمول (۳۰/۷٪)، گاما-ترپینن (۱۱/۹٪) و کارواکول (۱۱/۵٪).

بازده اسانس (درصد) نمونه‌های مرزه بختیاری جمع‌آوری شده در جدول ۳ نشان داده شده است. نمونه مرزه میاندوآب بیشترین بازده اسانس (با میانگین ۲/۷۵ درصد) را بین نمونه‌های مرزه داشت، نمونه ایلام (با میانگین ۲/۱۱ درصد) در رده بعدی بود، نمونه‌های بوکان (۱/۶۲ درصد) و گیلانغرب (۱/۴۲ درصد) با همدیگر تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. نمونه بانه (۰/۸۷ درصد) کمترین بازده اسانس را دارا بود، همچنین این نمونه کمترین درصد ترکیب‌های اسانس را بین نمونه‌ها داشت.

بحث

نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان محتوای فنول و فلاونوئید کل در عصاره مرزه بختیاری مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده از بانه و کرمانشاه می‌باشد. از آنجایی که منطقه جمع‌آوری نمونه در استان کرمانشاه مربوط به شهرستان گیلانغرب است و دارای شرایط آب و هوایی گرمتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد و نسبت به محل جمع‌آوری در بانه دارای سطح ارتفاع پایین‌تر، میزان

بارندگی کمتر و میانگین دمایی بیشتر می‌باشد، بنابراین تولید ترکیب‌های اسانس در مرزه بختیاری این منطقه زودتر از سایر مناطق شروع شده است و از سوی دیگر ترکیب‌های فنولی و ترپنی در گیاهان از مسیرهای متفاوتی تولید می‌شوند، ولی با این حال مسیر اسید موالونیک مسیر مشترک بین ترکیب‌های فنولی و ترپنی می‌باشد. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی و اکولوژیکی گیاه پیش‌سازهای اسید موالونیک به سمت بیوسنتز ترکیب‌های فنولی یا ترپنی می‌روند (Naghdi Badi et al., 2017). با توجه به شرایط اکولوژیکی و اقلیمی متفاوت مناطق جمع‌آوری نمونه‌های مرزه بختیاری، به نظر می‌رسد که در نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه گرمسیری گیلانغرب (میانگین دمایی بالاتر، بارش سالیانه کمتر و ارتفاع پایین‌تر) احتمالاً میزان بیشتری از پیش‌سازها به سمت تولید ترکیب‌های ترپنی و تولید اسانس رفته و در این منطقه میزان ترکیب‌های فنولی کمتر و بازدهی اسانس بیشتر می‌باشد. در منطقه بانه (میانگین دمایی پایین‌تر، بارش سالیانه بیشتر و ارتفاع بالاتر) شرایط متفاوت بوده و نسبت به مناطق دیگر دارای ترکیب‌های فنولی بیشتر و بازدهی اسانس کمتری می‌باشد، به نحوی که در این مطالعه همبستگی منفی بین درصد اسانس با محتوای ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی وجود دارد، هرچند این همبستگی منفی معنی‌دار نمی‌باشد. Tavakoli و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی تأثیر شرایط اکولوژیکی بر میزان ترکیب‌های فنولی گونه *Salvia multicaulis* Vahl نشان دادند که دمای پایین‌تر و بارش سالیانه بیشتر سبب افزایش محتوای ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی شده که در موافقت با نتایج این تحقیق می‌باشد.

ترکیب‌های فنولی به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل قابلیت احیاء گونه‌های فعال اکسیژن و خنثی‌سازی این ترکیب‌ها را دارند و ترکیب‌های فنولی دارای فعالیت پاداکسایشی می‌باشند (Craft et al.,

(۲۰۲۰) نشان داد که نمونه‌های مرزه جمع‌آوری شده از ارتفاع پایین‌تر نسبت به ارتفاع بالاتر دارای بازدهی بیشتر اسانس و درصد بالاتری از تیمول می‌باشد، این محققان علت این موضوع را به اختلافات دمایی، رطوبت، بارندگی و میزان نور خورشید در دو ارتفاع نسبت داده‌اند. کمترین میزان تیمول مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایلام (۲۸/۷۶ درصد) و بانه (۳۰/۳۸ درصد) می‌باشد. این مناطق نسبت به مناطق دیگر دارای ارتفاع بیشتر، میزان بارش بیشتر و میانگین دمایی کمتری می‌باشند، بنابراین نمونه‌های گیاهی این منطقه انرژی خورشید کمتری جذب کرده و سرعت تبدیل ترکیب‌های واسطه‌ای گاما-ترینین و پارا-سیمن به محصول نهایی تیمول به میزان کمتری انجام شده است. بنابراین می‌توان گفت که شرایط اکولوژیکی و محیطی تأثیر عمده‌ای روی تبدیل این ترکیب‌ها دارد. به‌طوری‌که شرایط دمایی بالا سبب تبدیل ترکیب‌های واسطه‌ای گاما-ترینین و پارا-سیمن به محصول نهایی تیمول می‌شود و در شرایط دمایی پایین‌تر میزان تبدیل ترکیب‌های واسطه‌ای به محصول نهایی کمتر می‌باشد، به‌طوری‌که وجود همبستگی منفی و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بین تیمول و پارا-سیمن و بین پارا-سیمن و گاما-ترینین تأییدکننده موارد ذکرشده می‌باشد.

Sefidkon و Jamzad (۲۰۰۵) ترکیب‌های شیمیایی اسانس سه گونه مختلف مرزه (*Satureja mutica*, *Satureja macrantha*, *Satureja intermedia*) را مورد مطالعه دادند. این محققان تعداد ۴۵ ترکیب شیمیایی مختلف از گونه *S. mutica* را شناسایی کردند که ترکیب‌های اصلی آن شامل کارواکرول، تیمول، گاما-ترینین و پارا-سیمن بود. از اسانس گونه گیاهی *S. macrantha*، ۶۵ ترکیب شیمیایی مختلف شناسایی شد که ترکیب‌های اصلی آن شامل پارا-سیمن، لیمون و تیمول می‌باشد. همچنین از اسانس گونه گیاهی *S. intermedia* تعداد ۳۸ ترکیب شیمیایی مختلف شناسایی شده‌اند و ترکیب‌های اصلی اسانس این گونه

(2012). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ترکیب‌های فنولی با فعالیت پاداکسایشی تأییدکننده این واقعیت می‌باشد (Hatamnia et al., 2014). نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه بانه با بیشترین میزان ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی دارای بیشترین فعالیت پاداکسایشی بوده و عصاره مرزه بختیاری شده از گیلانغرب با کمترین میزان ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی دارای کمترین فعالیت پاداکسایشی می‌باشد. مطالعات نشان داده است که میزان ترکیب‌های ثانویه مانند ترکیب‌های فنولی و فلاونوئیدی هم به زمان برداشت محصول در فصول مختلف و هم ارتفاع برداشت وابسته می‌باشد، به‌طوری‌که Gelgelo و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که میزان این ترکیب‌ها در نمونه‌های جمع‌آوری شده در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال می‌باشد، همچنین میزان این ترکیب‌ها در نمونه‌های جمع‌آوری شده در مناطقی با ارتفاع میانه بیشتر از مناطقی با ارتفاع پایین است.

مقایسه ترکیب‌های متشکله اسانس مرزه بختیاری در رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که در چهار رویشگاه تیمول ترکیب اصلی بوده (۲۸/۷۶ تا ۴۲/۷۴ درصد) و در رویشگاه میاندوآب، پارا-سیمن (۳۵/۲۴ درصد) ترکیب اصلی می‌باشد. به‌طورکلی ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه بختیاری در ۵ منطقه مختلف شامل تیمول، پارا-سیمن و گاما-ترینین می‌باشد که میزان این ترکیب‌ها متغیر می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر عوامل اکولوژیکی و محیطی مختلف است. به‌طورکلی مراحل سنتز ترکیب‌های منوترپنی مانند تیمول در گیاهان آروماتیک از مسیر اسید موالونیک و متیل اریتریتول فسفات می‌باشد که طی مراحل پایانی گاما-ترینین به پارا-سیمن و نهایتاً به تیمول تبدیل می‌گردند (Friedman, 2014). بنابراین نمونه‌های گیاهی که از مناطقی با ارتفاع بالا مانند نمونه‌های کردستان و ایلام جمع‌آوری شده‌اند نسبت به بقیه نمونه‌ها با ارتفاع کمتر دارای شرایط اکولوژیکی متفاوتی می‌باشد که روی تبدیل این ترکیب‌ها و تولید ترکیب نهایی تأثیر دارند. نتایج تحقیق Khalil و همکاران

اقلیمی مختلفی مانند میزان بارش سالیانه، تنش سرمای زمستان و گرمای تابستان، تبخیر و تعرق تأثیر معنی‌داری بر بازدهی و ترکیب اسانس جمعیت‌های مختلف گونه *Thymus algeriensis* در تونس دارند، به‌طوری‌که میزان ترکیب کارواکرول با افزایش دما، تنش خشکی تابستان، تبخیر و تعرق افزایش یافته و همبستگی مثبتی بین این فاکتورها و افزایش کارواکرول مشاهده شد. بنابراین، به‌طور کلی عوامل مختلفی از جمله عوامل اکولوژیکی و محیطی می‌توانند روی میزان کمی و کیفی ترکیب‌های فیتوشیمیایی اسانس گیاهان تأثیر بگذارند.

به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت هدف از این تحقیق مقایسه محتوای اسانس، میزان فنول، فلاونوئید و خاصیت پاداکسایشی اکوتیپ‌های مختلف گیاه دارویی مرزه بختیاری در مناطق مختلفی از استان‌های غربی ایران بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان ترکیب‌های فنول، فلاونوئید کل و فعالیت پاداکسایشی مربوط به عصاره مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از استان کردستان (بانه) می‌باشد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین محتوای فنول و فلاونوئید کل با فعالیت پاداکسایشی نشان‌دهنده این واقعیت است که فعالیت پاداکسایشی وابسته به میزان ترکیب‌های فنول و فلاونوئید می‌باشد. ترکیب‌های اصلی اسانس مرزه بختیاری جمع‌آوری شده در مناطق مختلف با شرایط اکولوژیکی مختلف شامل تیمول، پارا-سیمن و گاما-ترپین بود که میزان آنها در مناطق مختلف متفاوت بودند. بنابراین، به‌طور کلی می‌توان گفت که بازدهی اسانس و میزان کمی و کیفی ترکیب‌های اسانس به عوامل اکولوژیکی و محیطی از جمله ارتفاع از سطح دریا، دما، میزان بارندگی و زمان برداشت بستگی دارد که می‌توانند روی میزان ترکیب‌های اسانس گیاهان تأثیر بگذارند.

شامل تیمول، گاما-ترپین و پارا-سیمن می‌باشد. نتایج تحقیق ما با اسانس گونه *S. intermedia* مطابقت بیشتری دارد. Khadivi-Khub و همکاران (۲۰۱۴) ترکیب‌های اسانس جمعیت مختلف مرزه بختیاری را در ایران مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که ترکیب‌های عمده اسانس شامل تیمول، کارواکرول، پارا-سیمن و گاما-ترپین می‌باشد.

نتایج نشان داد که کمترین بازدهی اسانس مربوط به مرزه بختیاری جمع‌آوری شده از بانه (۰/۸۷ درصد) می‌باشد که دارای ارتفاع بیشتر و بارش سالیانه بیشتر نسبت به مناطق دیگر می‌باشد و بیشترین میزان بازدهی اسانس مربوط به میاندوآب (۲/۷۵ درصد) است. نتایج Kizil (۲۰۱۰) نشان داد که نه تنها محل جمع‌آوری نمونه بلکه ارتفاع محل نمونه نیز می‌تواند روی بازدهی اسانس تأثیر بگذارد. این نتایج نشان‌دهنده این واقعیت است که میزان اسانس در مرزه بختیاری متأثر از شرایط محیطی بوده و در نواحی با ارتفاع پایین که دارای شرایط محیطی گرمتری می‌باشند بازدهی اسانس بیشتر است. Stešević و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی جمعیت‌های مختلف مرزنگوش وحشی در ارتفاعات مختلف نشان دادند که جمعیت‌های جمع‌آوری شده در ارتفاع پایین‌تر نسبت به ارتفاع بالاتر دارای بازدهی اسانس بیشتری می‌باشند.

محققان دیگر هم نشان دادند نور، درجه حرارت محیط و تابش خورشیدی از جمله عوامل محیطی هستند که روی ترکیب‌های فیتوشیمیایی اسانس گیاهان تأثیر دارند و این عوامل می‌توانند روی میزان ترکیب‌ها و ساختار آنها در اسانس تأثیر بگذارند (Rezaei et al., 2019; Navarro-Rocha et al., 2020). نتیجه تحقیق Jaouadi و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که فاکتورهای

References

- Austen, N., Walker, H.J., Lake, J.A., Phoenix, G.K. and Cameron, D.D., 2019. The regulation of plant secondary metabolism in response to abiotic stress:

- interactions between heat shock and elevated CO₂. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1463. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01463>
- Bakhshian, M., Naderi, M.R., Javanmard, H.R. and

- Bahreinejad, B., 2022. The growth of summer savory (*Satureja hortensis*) affected by fertilization and plant growth regulators in temperature stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43: 102371. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102371>
- Barakat, A., Wakim, L.H., Apostolides, N.A., Srou, G. and El Beyrouthy, M., 2013. Variation in the essential oils of *Thymbra spicata* L. growing wild in Lebanon according to the date of harvest. *Journal of Essential Oil Research*, 25(6): 506-511. <https://doi.org/10.1080/10412905.2013.809321>
 - Baydar, H., Sağdıç, O., Özkan, G. and Karadoğan, T., 2004. Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey. *Food Control*, 15(3): 169-172. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(03\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(03)00028-8)
 - Blois, M.S., 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181: 1199-1200. <http://dx.doi.org/10.1038/1811199a0>
 - Bvenura, C. and Kambizi, L., 2024. Geographic based phenolic compound variations in south African *Schinus molle* L. peppercorns. *Biochemical Systematics and Ecology*, 117: 104905. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2024.104905>
 - Copra-Janicijevic, A., Vidic, D. and Maksimovic, M., 2020. Characterisation of *Satureja montana* L. essential oil and headspace volatiles. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 7: 22-34. <https://doi.org/10.37929/nveo.743706>
 - Craft, B.D., Kerrihard, A.L., Amarowicz, R. and Pegg, R.B., 2012. Phenol-based antioxidants and the in vitro methods used for their assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(2): 148-173. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00173.x>
 - Dobhal, P., Purohit, V.K., Chandra, S., Rawat, S., Prasad, P., Bhandari, U., Trivedi, V.L. and Nautiyal, M.C., 2024. Climate-induced changes in essential oil production and terpene composition in alpine aromatic plants. *Plant Stress*, 12: 100445. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100445>
 - De La Rosa, L.A., Moreno-Escamilla, J.O., Rodrigo-García, J. and Alvarez-Parrilla, E., 2019. Phenolic compounds: 253-271. In: Yahia, E.M. and Carrillo-Lopez, A., (Eds.). *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Woodhead Publishing, 476p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9>
 - Fierascu, I., Dinu-Pirvu, C.E., Fierascu, R.C., Velescu, B.S., Anuta, V., Ortan, A. and Jinga, V., 2018. Phytochemical profile and biological activities of *Satureja hortensis* L.: A review of the last decade. *Molecules*, 23(10): 2458. <https://doi.org/10.3390/molecules23102458>
 - Friedman, M., 2014. Chemistry and multibeneficial bioactivities of carvacrol (4-isopropyl-2-methylphenol), a component of essential oils produced by aromatic plants and spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(31): 7652-7670. <https://doi.org/10.1021/jf5023862>
 - Gergelo, K., Kechero, Y. and Andualem, D., 2024. Seasonal and altitudinal dynamics in secondary metabolite composition of *Commelina* forage species in Konso zone, southern Ethiopia. *PloS one*, 19(11): e0314358. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314358>
 - Hajhashemi, V., Sadraei, H., Ghannadi, A.R. and Mohseni, M., 2000. Antispasmodic and anti-diarrhoeal effect of *Satureja hortensis* L. essential oil. *Journal of Ethnopharmacology*, 71(1-2): 187-192. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(99\)00209-3](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(99)00209-3)
 - Hatamnia, A.A., Abbaspour, N. and Darvishzadeh, R., 2014. Antioxidant activity and phenolic profile of different parts of bene (*Pistacia atlantica* subsp. *kurdica*) fruits. *Food Chemistry*, 145: 306-311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.031>
 - Jaouadi, R., Boussaid, M. and Zaouali, Y., 2023. Variation in essential oil composition within and among Tunisian *Thymus algeriensis* Boiss et Reut. (Lamiaceae) populations: Effect of ecological factors and incidence on antiacetylcholinesterase and antioxidant activities. *Biochemical Systematics and Ecology*, 106: 104543. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104543>
 - Khadivi-Khub, A., Salehi-Arjmand, H. and Hadian, J., 2014. Morphological and phytochemical variation of *Satureja bachtiarica* populations from Iran. *Industrial Crops and Products*, 54: 257-265. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.039>
 - Khazaie, H.R., Nadjafi, F. and Bannayan, M., 2008. Effect of irrigation frequency and planting density on herbage biomass and oil production of thyme (*Thymus vulgaris*) and hyssop (*Hyssopus officinalis*). *Industrial Crops and Products*, 27(3): 315-321. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.11.007>
 - Khalil, N., El-Jalel, L., Yousif, M. and Gonaïd, M., 2020. Altitude impact on the chemical profile and biological activities of *Satureja thymbra* L. essential oil. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 20: 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-02982-9>
 - Kizil, S., 2010. Determination of essential oil variations of *Thymbra spicata* var. *spicata* L. naturally growing in the wild flora of east

- Mediterranean and southeastern Anatolia regions of Turkey. *Industrial Crops and Products*, 32(3): 593-600. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.07.008>
- Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G. and Dalessandro, G., 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(7): 2606-2613. <https://doi.org/10.1021/jf052920c>
 - Maral, H., Murat, T.Ü.R.K., Çaliskan, T. and Kirici, S., 2017. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of six Lamiaceae plants growing in southern Turkey. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 4(4): 62-68.
 - Masibo, M. and He, Q., 2008. Major mango polyphenols and their potential significance to human health. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 7(4): 309-319. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00047.x>
 - Miransari, M., Adham, S., Miransari, M. and Miransari, A., 2022. The physicochemical approaches of altering growth and biochemical properties of medicinal plants in saline soils. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(5): 1895-1904. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11838-w>
 - Moein, M., Karami, F., Tavallali, H. and Ghasemi, Y., 2012. Chemical composition of the essential oil of *Satureja bachtiarica* Bunge. from Iran. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 8(4): 277-281. <https://doi.org/10.22037/ijps.v8.40931>
 - Mozaffarian, V.A., 2004. Dictionary Names of Plants in Iran. Farhang Moaser, Tehran, 740p. <https://www.gisoom.com/book/1623365/>
 - Naghdi Badi, H.A., Abdollahi, M., Mehrafarin, A., Ghorbanpour, M., Tolyat, S.M., Qaderi, A. and Ghiaci Yekta, M., 2017. An overview on two valuable natural and bioactive compounds, thymol and carvacrol, in medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants*, 16(63): 1-32. <http://jmp.ir/article-1-1370-en.html>
 - Navarro-Rocha, J., Andrés, M.F., Díaz, C.E., Burillo, J. and González-Coloma, A., 2020. Composition and biocidal properties of essential oil from pre-domesticated Spanish *Satureja montana*. *Industrial Crops and Products*, 145: 111958. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111958>
 - Omwango, E., Onguso, J., Ochora, J., Kirira, P., Kinyua, Z. and Mandela, E., 2024. Phytochemical variability of selected medicinal plants from different agro-climatic zones in Kenya. *Biochemical Systematics and Ecology*, 117: 104915. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2024.104915>
 - Pintó-Marijuan, M., Cotado, A., Fleta-Soriano, E. and Munné-Bosch, S., 2017. Drought stress memory in the photosynthetic mechanisms of an invasive CAM species, *Aptenia cordifolia*. *Photosynthesis Research*, 131: 241-253. <https://doi.org/10.1007/s11120-016-0313-3>
 - Pulido, R., Bravo, L. and Saura-Calixto, F., 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8): 3396-3402. <https://doi.org/10.1021/jf9913458>
 - Rezaei, M., Razmjoo, J., Ehtemam, M.H., Karimmojeni, H. and Zahedi, M., 2019. The interaction between shade and drought affects essential oil quantity and quality of *Vitex agnus-castus* L. leaves and seeds. *Industrial Crops and Products*, 137: 460-467. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.059>
 - Sefidkon, F. and Jamzad, Z., 2005. Chemical composition of the essential oil of three Iranian *Satureja* species (*S. mutica*, *S. macrantha* and *S. intermedia*). *Food Chemistry*, 91(1): 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.027>
 - Soleimani-Ahmadi, M., Abtahi, S.M., Madani, A., Paksa, A., Abadi, Y.S., Gorouhi, M.A. and Sanei-Dehkordi, A., 2017. Phytochemical profile and mosquito larvicidal activity of the essential oil from aerial parts of *Satureja bachtiarica* Bunge. against malaria and lymphatic filariasis vectors. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(2): 328-336. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1305919>
 - Stamatii, A., Bonsi, P., Zucco, F., Moezelaar, R., Alakomi, H.L. and Von Wright, A., 1999. Toxicity of selected plant volatiles in microbial and mammalian short-term assays. *Food and Chemical Toxicology*, 37(8): 813-823. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(99\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(99)00075-7)
 - Stešević, D., Jaćimović, Ž., Šatović, Z., Šapčević, A., Jančan, G., Kosović, M. and Damjanović-Vratnica, B., 2018. Chemical characterization of wild growing *Origanum vulgare* populations in Montenegro. *Natural Product Communications*, 13(10): 1934578X1801301031. <https://doi.org/10.1177/1934578X1801301031>
 - Tatrai, Z.A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F. and Gianquinto, G., 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*, 1: 4165750. <https://doi.org/10.1155/2016/4165750>
 - Tavakoli, M., Esfahani, M.T., Soltani, S., Karamian, R. and Aliarabi, H., 2022. Effects of ecological factors on phenolic compounds in *Salvia multicaulis* Vahl. (Lamiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 104: 104484. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104484>

- Tsantili, E., Shin, Y., Nock, J.F. and Watkins, C.B., 2010. Antioxidant concentrations during chilling injury development in peaches. *Postharvest Biology and Technology*, 57(1): 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.02.002>
- Turner, G., Gershenzon, J., Nielson, E.E., Froehlich, J.E. and Croteau, R., 1999. Limonene synthase, the enzyme responsible for monoterpene biosynthesis in peppermint, is localized to leucoplasts of oil gland secretory cells. *Plant Physiology*, 120(3): 879-886. <https://doi.org/10.1104/pp.120.3.879>
- Ullrich, S.F., Rothauer, A., Hagels, H. and Kayser, O., 2017. Influence of light, temperature, and macronutrients on growth and scopolamine biosynthesis in *Duboisia* species. *Planta Medica*, 83(11): 937-945. <https://doi.org/10.1055/s-0043-106435>
- Wijeratne, S.S., Abou-Zaid, M.M. and Shahidi, F., 2006. Antioxidant polyphenols in almond and its coproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(2): 312-318. <https://doi.org/10.1021/jf051692j>
- 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. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>
- Zhang, C., Yang, D., Liang, Z., Liu, J., Yan, K., Zhu, Y. and Yang, S., 2019. Climatic factors control the geospatial distribution of active ingredients in *Salvia miltiorrhiza* Bunge. in China. *Scientific Reports*, 9(1): 904. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36729-x>