Phytochemical Analysis of *Ocimum sanctum* L. in a Unique Hot-Humid Ecosystem: Hormozgan as a Potential Cultivation Zone

Pages 37-52

N. Bahari[1] , A. Yavari*[2] and H. Hasaneian Khoshro[3]

1 & 2) Department of Horticultural Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
3) Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

*Corresponding author**: yavari@hormozgan.ac.ir**

Received date: 2024.09.18 **Accepted date: 2024.12.17**

Abstract

***Ocimum sanctum* L., commonly known as holy basil and which is a perennial plant belonging to Lamiaceae family, is valued for its medicinal properties and bioactive compounds, particularly its rich essential oils, widely used in pharmaceutical and cosmetic industries. This study, for the first time, investigates the quantity and quality of the essential oil of this plant in the hot and humid climate of Hormozgan Province, Iran. Plant samples were collected at the full flowering stage (May 2022) from experimental fields in Bandar Abbas, and their essential oils were extracted using hydrodistillation. The yield and chemical composition of the essential oil were analyzed using gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results revealed an average essential oil yield of 1.9 ± 0.15% (w/w, based on dry weight), higher than that reported in drier regions of Iran. In total, 28 chemical compounds were identified, constituting 88.7% of the essential oil. Oxygenated monoterpenes (78.9%), particularly linalool (44.6%) and methyl chavicol (25.2%), were predominant. Sesquiterpenes (4.9%), such as (*E*)-caryophyllene and *trans*-α-bergamotene, were also identified. These compounds are notable for their antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties, enhancing the oil's medicinal and industrial value. The findings indicate the adaptability of holy basil to Hormozgan's climate and its potential for commercial cultivation. This study provides baseline data for adaptability and sustainable utilization of this species, highlighting the need for further research on optimized cultivation and management of environmental stresses. These results can contribute to sustainable agriculture and diversification of medicinal products in Iran's tropical regions.**

Keywords: Essential oil, Holy basil, Hormozgan, Linalool and Phytochemistry.

بررسی فیتوشیمیایی ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.) در اکوسیستم منحصربه‌فرد گرم و مرطوب: استان هرمزگان به عنوان منطقه مستعد کشت

شماره صفحات
۳۷-۵۲

نسیم بهاری[۱] ، علیرضا یاوری*[۲] و حمید حسنیان خوشرو[۳]

۱ و۲) گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران.
۳) موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.

* نویسنده مسئول: **yavari@hormozgan.ac.ir:**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۷

چکیده

ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.)، که گیاهی چندساله و به خانواده نعناع (Lamiaceae) تعلق دارد، به دلیل خواص دارویی و ترکیبات فعال زیستی از جمله اسانس‌های غنی، در صنایع دارویی و آرایشی اهمیت دارد. این پژوهش برای اولین بار به بررسی کمیت و کیفیت اسانس این گیاه در اقلیم گرم و مرطوب استان هرمزگان پرداخته است. نمونه‌های گیاهی در مرحله گلدهی کامل (اردیبهشت ۱۴۰۱) از مزارع تحقیقاتی بندرعباس جمع‌آوری و اسانس آن‌ها با روش تقطیر با آب استخراج شد. ترکیبات شیمیایی اسانس‌ها با دستگاه‌های GC و GC-MS مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد اسانس ۰/۱۵ ± ۱/۹ درصد (وزنی/وزنی) بود که نسبت به مناطق خشک‌تر ایران بالاتر است. در مجموع، ۲۸ ترکیب شیمیایی شناسایی شد که ۸۸/۷ درصد اسانس را تشکیل می‌دادند. مونوترپن‌های اکسیژن‌دار (۷۸/۹ درصد)، به‌ویژه لینالول (۴۴/۶ درصد) و متیل‌کاویکول (۲۵/۲ درصد)، غالب بودند. سسکویی‌ترپن‌ها (۴/۹ درصد) مانند (*E*)-کاریوفیلن و ترنس-α-برگاموتن نیز شناسایی شدند. این ترکیبات به دلیل خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، ارزش دارویی و صنعتی بالایی دارند. نتایج حاکی از سازگاری ریحان مقدس با اقلیم هرمزگان و پتانسیل آن برای کشت تجاری است. این مطالعه داده‌های پایه‌ای برای امکان‌سنجی قابلیت سازگاری و بهره‌برداری پایدار از این گونه ارائه می‌دهد و بر ضرورت تحقیقات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی کشت و مدیریت تنش‌های محیطی تأکید دارد. همچنین، این یافته‌ها می‌توانند به توسعه کشاورزی پایدار و تنوع‌بخشی به محصولات دارویی در مناطق گرمسیری ایران کمک کنند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، ریحان مقدس، لینالول، فیتوشیمی و هرمزگان.

مقدمه

گیاهان دارویی به دلیل دارا بودن ترکیبات فعال زیستی نظیر اسانس‌ها، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها و آلکالوئیدها، از دیرباز به‌عنوان منبعی ارزشمند در تأمین نیازهای دارویی، غذایی و صنعتی جوامع بشری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Mofokeng *et al.*, 2022). این گیاهان نه‌تنها در طب سنتی بلکه در صنایع مدرن داروسازی، آرایشی و بهداشتی نیز جایگاه ویژه‌ای دارند. در میان گونه‌های دارویی، ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.)، متعلق به خانواده نعناع (Lamiaceae)، به دلیل خواص دارویی گسترده‌اش از جمله اثرات ضدمیکروبی، ضدالتهابی، آنتی‌اکسیدانی و ضداسترس، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است (Prakash and Gupta, 2005). این گیاه که در فرهنگ‌های مختلف با نام‌هایی مانند تولسی (Tulsi) و یا ریحان درختی شناخته می‌شود، در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان به‌صورت خودرو یا کشت‌شده یافت می‌شود و به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی متنوع، پتانسیل بالایی برای امکان بررسی سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف و بهره‌برداری اقتصادی دارد (Mondal *et al.*, 2009). ایران به‌عنوان یکی از مراکز مهم تنوع زیستی در خاورمیانه، میزبان گونه‌های گیاهی متعددی است که بسیاری از آن‌ها دارای ارزش دارویی و اقتصادی هستند (Ghahreman and Attar, 1999). استان هرمزگان، واقع در جنوب ایران، به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب، یکی از مناطق منحصربه‌فرد از نظر تنوع زیستی محسوب می‌شود. این منطقه تحت تأثیر نزدیکی به خلیج فارس و دریای عمان، دارای دماهای بالا، رطوبت نسبی زیاد و بارندگی‌های فصلی است که شرایطی ایده‌آل برای رشد گونه‌های گیاهی مقاوم به گرما و خشکی فراهم می‌کند (Alavi and Sharifi, 2015). با این حال، به دلیل تمرکز مطالعات گیاه‌شناسی و فیتوشیمیایی بر مناطق مرکزی و شمالی ایران، اطلاعات محدودی درباره پتانسیل گیاهان دارویی بومی یا سازگار با شرایط اقلیمی هرمزگان وجود دارد. این کمبود اطلاعات، ضرورت انجام پژوهش‌های جامع در این منطقه را بیش از پیش برجسته می‌کند (Emami *et al.*, 2016). اسانس‌های گیاهی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات ثانویه گیاهان دارویی، به دلیل کاربرد گسترده در صنایع دارویی، آرایشی و غذایی، از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردارند (Pergola *et al.*, 2024). کمیت و کیفیت اسانس‌ها به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر دما، رطوبت، نوع خاک، شدت نور و حتی تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار دارد (Mansinhos *et al.*, 2024). ریحان مقدس به دلیل دارا بودن اسانسی غنی از ترکیبات فعال مانند اوژنول[1]، لینالول [2] و متیل‌کاویکول[3]، یکی از گونه‌های مورد توجه در مطالعات فیتوشیمیایی است (Chukwuma *et al.*, 2023). با این حال، تنوع فیتوشیمیایی اسانس این گیاه در مناطق مختلف جغرافیایی به دلیل تفاوت‌های اقلیمی و ژنتیکی، موضوعی است که نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که ترکیبات اسانس ریحان مقدس تحت تأثیر شرایط محیطی و ژنوتیپ‌های مختلف، تغییرات قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. به‌عنوان

[1]- Eugenol
[2]- Linalool
[3]- Methyl chavicol

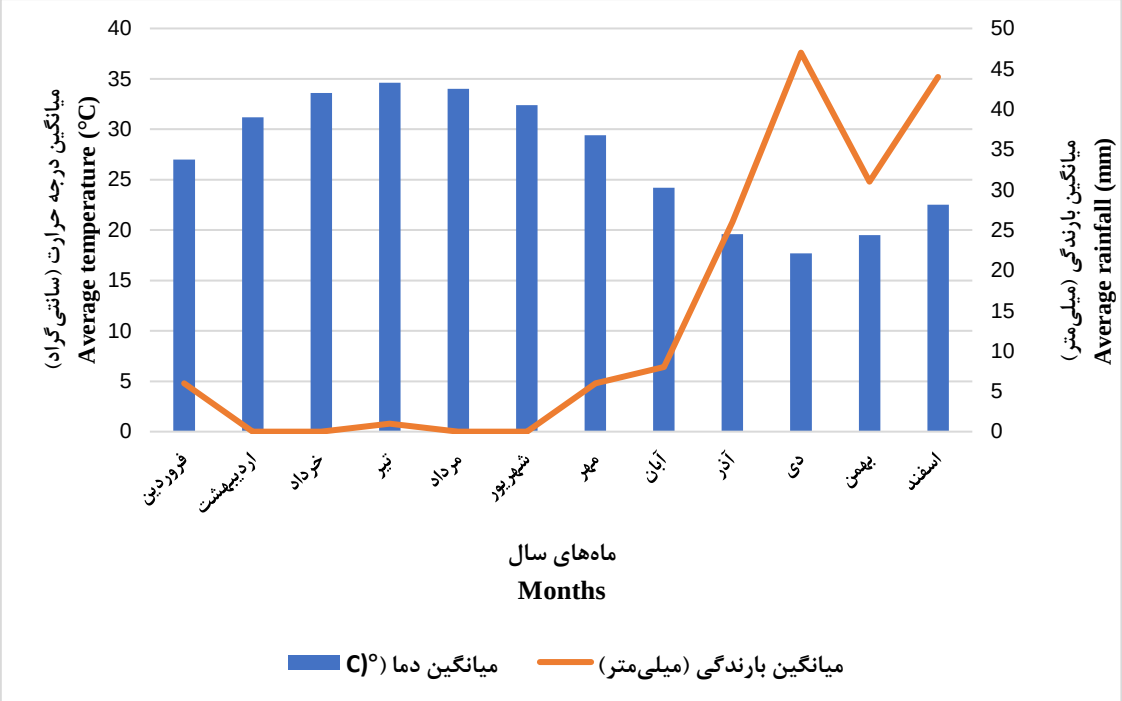
مثال، در مطالعه‌ای در مناطق شمالی هند گزارش گردید که اسانس ریحان مقدس کشت‌شده در شرایط گرم و مرطوب، حاوی درصد بالایی از اوژنول (تا ۶۰٪) است؛ این در حالی است که در مناطق خشک‌تر، ترکیباتی مانند متیل‌کاویکول غالب بودند (Verma *et al*., 2013). همچنین، در پژوهشی دیگر در مورد تنوع فیتوشیمیایی اسانس این گیاه در فیصل آباد پاکستان، مشخص شد که تفاوت‌های اقلیمی می‌تواند منجر به تغییرات کیفی و کمی در ترکیبات اسانس، از جمله نسبت‌های اوژنول (۲۲ درصد)، بتا- المن (۱۹ درصد) و بتا- کاریوفیلن (۱۹ درصد) شود (Hussain *et al*., 2016). در ایران، مطالعه‌ای بر روی گونه‌های مختلف جنس *Ocimum* نشان داد که شرایط اقلیمی گرم و خشک مناطق جنوبی کشور می‌تواند عملکرد اسانس را افزایش دهد، اما اطلاعات خاصی درباره ریحان مقدس در هرمزگان گزارش نشده است (Saharkhiz *et al*., 2014; Akbarpour and Nezhadali, 2023). این مطالعات بر اهمیت بررسی منطقه‌ای ویژگی‌های فیتوشیمیایی اسانس تأکید دارند و نشان‌دهنده شکاف پژوهشی در زمینه ریحان مقدس در اقلیم هرمزگان هستند. امکان‌سنجی سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف گیاهان دارویی، به‌ویژه گونه‌هایی مانند ریحان مقدس که پتانسیل کشت در مقیاس تجاری را دارند، می‌تواند به حفاظت از منابع طبیعی و کاهش فشار بر جمعیت‌های وحشی این گیاهان کمک کند (Ramawat and Arora, 2021). بهره‌برداری بی‌رویه از گیاهان دارویی خودرو در بسیاری از مناطق ایران، تهدیدی جدی برای تنوع زیستی محسوب می‌شود. از این‌رو، مطالعه فیتوشیمیایی و شناسایی ویژگی‌های اسانس ریحان مقدس در هرمزگان، نه‌تنها به شناخت بهتر این گونه در شرایط محلی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان گامی در جهت امکان‌سنجی سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف و کشت پایدار آن مطرح شود. علاوه بر این، معرفی گیاهان دارویی سازگار با شرایط اقلیمی خاص هرمزگان، می‌تواند به تنوع‌بخشی به محصولات کشاورزی، ایجاد فرصت‌های اقتصادی جدید و توسعه کشاورزی پایدار در این منطقه منجر شود (Hassanpouraghdam *et al*., 2022). با توجه به اهمیت ریحان مقدس به‌عنوان یک گونه دارویی با ارزش و کمبود اطلاعات علمی درباره ویژگی‌های فیتوشیمیایی آن در هرمزگان، این پژوهش برای اولین بار به بررسی کمیت و کیفیت اسانس این گیاه در شرایط اقلیمی گرم و مرطوب این استان می‌پردازد. این مطالعه با هدف شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس، ارزیابی عملکرد کمی و کیفی آن در هرمزگان و ارائه داده‌های پایه برای امکان‌سنجی سازگاری با شرایط آب و هوایی مختلف و بهره‌برداری پایدار از این گونه انجام شده است. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش، اطلاعات جدیدی درباره پتانسیل دارویی و اقتصادی ریحان مقدس در مناطق گرمسیری ایران ارائه دهد و به توسعه کشاورزی پایدار در هرمزگان کمک کند.

مواد و روش‌ها

مکان اجرای آزمایش

این پژوهش در شهر بندرعباس، مرکز استان هرمزگان، واقع در جنوب ایران انجام شد. بندرعباس با مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و ۵۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۷ متر از سطح دریا، دارای اقلیم گرم و مرطوب است که

تحت تأثیر نزدیکی به خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد. میانگین دمای سالانه این منطقه حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی آن بین ۶۰ تا ۸۰ درصد است. در تصویر ۱ میانگین دمای ماهیانه و بارندگی سالانه در بندرعباس براساس میانگین بلند مدت ۲۰ ساله آورده شده است. این شرایط اقلیمی، بستر مناسبی برای رشد گونه‌های گیاهی مقاوم به گرما و رطوبت بالا، مانند *O. sanctum* را فراهم می‌کند.



شکل ۱: میانگین دمای ماهانه و بارندگی سالانه در بندرعباس

Figure 1: Average monthly temperature and annual rainfall in Bandar Abbas

ماده گیاهی

نمونه‌برداری از گیاهان چهار ساله ریحان مقدس کاشته‌شده در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهر بندرعباس انجام شد (تصویر ۲). نمونه‌ها در مرحله گلدهی کامل، که به‌عنوان بهترین زمان برای استخراج اسانس با حداکثر کمیت و کیفیت گزارش شده است (Sangwan *et al.*, 2001)، در اواسط اردیبهشت ۱۴۰۱ جمع‌آوری شدند. برای اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها، گیاهان از سه قطعه آزمایشی به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. قسمت‌های هوایی گیاه (شامل برگ‌ها، ساقه‌ها و گل‌ها) با استفاده از قیچی باغبانی استریل برداشت شده و بلافاصله در کیسه‌های کاغذی قرار گرفتند تا از تخریب ترکیبات فرار جلوگیری شود. نمونه‌ها سپس به آزمایشگاه گیاهان دارویی دانشگاه هرمزگان منتقل شده و در دمای اتاق (۲۴ الی ۲۶ درجه سانتیگراد) در سایه خشک شدند.

شکل ۲: گیاه ریحان مقدس (*O. sanctum*) کشت شده در بندرعباس

Figure 2: Holy basil (O. sanctum) cultivated in Bandar Abbas

استخراج اسانس

به‌منظور استخراج و تعیین درصد اسانس، از روش تقطیر با آب استفاده گردید. میزان ۱۰۰ گرم از ماده گیاهی خشک ریحان مقدس آسیاب شده با افزودن یک لیتر از آب مقطر به روش تقطیر با آب به کمک دستگاه کلونجر و براساس فارماکوپه بریتانیا (British Pharmacopoeia, 2007) به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری شدند و بازده اسانس (درصد وزن به وزن خشک) براساس ۳ تکرار محاسبه گردید. جهت حذف رطوبت موجود در اسانس استحصالی، از سولفات سدیم انیدرید استفاده شد. نمونه‌های اسانس استخراج شده تا زمان تزریق به دستگاه‌های GC و GC/MS در شیشه‌های کوچک تیره و دربسته در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند.

جداسازی و شناسایی ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس

برای جداسازی و شناسایی ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس، از دستگاه‌های کروماتوگراف گازی (GC) و کروماتوگراف گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) موسسه جنگل‌ها و مراتع کشور استفاده شد. درصد ترکیب‌های تشکیل دهنده هر اسانس پس از جداسازی به همراه شاخص بازداری محاسبه گردید. طیف‌های جرمی مربوط به ترکیب‌های موجود در اسانس به‌منظور بررسی کیفی (شناسایی) به‌دست آمد. شناسایی طیف‌ها به کمک محاسبه شاخص کواتس که با تزریق هیدروکربن‌های نرمال (C_6-C_{24}) تحت شرایط یکسان با تزریق اسانس‌ها صورت گرفت و با مقادیری که در منابع مختلف منتشر گردیده بود، مقایسه شد. بررسی طیف‌های جرمی نیز جهت شناسایی ترکیب‌ها انجام گرفت و شناسایی‌های صورت گرفته با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیب‌های استاندارد و استفاده از کتابخانه‌های مختلف تأیید گردید. درصد نسبی هر کدام از ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس‌ها با توجه به سطح زیر منحنی آن در طیف کروماتوگراف گازی به دست آمد و با مقادیری که در منابع مختلف با در نظر گرفتن اندیس کواتس منتشر شده، مقایسه گردید (Shibamoto, 1987).

مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده

۱- دستگاه کروماتوگراف گازی (GC)

برای آنالیز کمّی اسانس، از دستگاه کروماتوگراف گازی Agilent سری 7890A ساخت کشور آمریکا مجهز به داده‌پرداز با نرم افزار Chrom-card 2006، دارای ستون موئینه به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرومتر و با نام تجارتی DB-5 بود، استفاده گردید. برنامه‌ریزی ستون از دمای اولیه ۶۰ درجه سانتی‌گراد شروع شده و در هر دقیقه ۳ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده می‌شد تا به دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد می-رسید. سپس دما با سرعت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافته و در دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد. دمای محفظه تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و دمای آشکارساز ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. آشکارساز مورد استفاده در دستگاه کروماتوگرافی گازی از نوع FID (آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای) بود و از گاز نیتروژن به عنوان گاز حامل استفاده گردید و فشار ورودی آن به ستون برابر ۰/۷ میلی‌لیتر بر دقیقه تنظیم شد (Davies, 1998).

۲- دستگاه کروماتوگراف گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS)

برای آنالیز کیفی اسانس از دستگاه گاز کروماتوگراف متصل شده به طیف‌سنج جرمی (Agilent 7890A/5975C GC/MS) استفاده شد. ستون مورد استفاده از نوع DB-5 به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون بود. دمای آون از ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد، با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت. سپس دما با سرعت ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافته و در دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه در این دما نگه داشته شد. درجه حرارت محفظه تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت ترانسفرلاین ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم گردید. از گاز هلیم به عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفته است. سرعت خطی گاز هلیم ۳۰/۶ سانتی‌متر بر ثانیه، انرژی یونیزاسیون معادل ۷۰ الکترون ولت، زمان اسکن برابر یک ثانیه و ناحیه جرمی از ۴۰ تا ۳۰۰ a.m.u بود (Adams, 2012).

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای بررسی تفاوت‌های آماری بین نمونه‌ها از نظر بازده اسانس، از آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد و در ادامه، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.2) تجزیه و توسط همین نرم‌افزار انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد اسانس

استخراج اسانس از قسمت‌های هوایی گیاه ریحان مقدس که در مرحله گلدهی کامل (اواسط اردیبهشت ۱۴۰۱) از مزرعه

تحقیقاتی بندرعباس جمع‌آوری شده بود، میانگین عملکرد اسانس ۰/۱۵ ± ۱/۹ درصد (وزنی/وزنی بر اساس ماده خشک) را نشان داد (جدول ۱). این مقدار در سه تکرار آزمایشی محاسبه شد و ضریب تغییرات (CV) آن ۱۲/۵ درصد بود، که نشان‌دهنده یکنواختی نسبی در عملکرد اسانس است. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) تفاوت معنی‌داری بین قطعات آزمایشی نشان نداد (P>۰/۰۵)، که حاکی از ثبات عملکرد اسانس در شرایط کشت یکسان است (جدول ۱). این عملکرد در مقایسه با گزارش‌های قبلی از گونه‌های جنس *Ocimum* در ایران (۱/۱-۰/۶ درصد)، مانند مطالعه Saharkhiz *et al*. در سال ۲۰۱۴ و Kazerani *et al*. در سال ۲۰۱۴، بالاتر بود. همچنین، در مقایسه با پژوهش‌هایی دیگر، عملکرد اسانس در این مطالعه بیشتر از مقادیر گزارش‌شده برای ریحان مقدس در مناطق گرمسیری هند و شرایط آب و هوایی اروپا (۱/۵-۱/۰ درصد) بود (Pavela *et al*., 2023; Verma *et al*., 2013).

جدول ۱: تجزیه واریانس بازده اسانس ریحان مقدس

Table 1: The analysis of variance for the essential oil yield of *O. sanctum*

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS	مقدار F F value	مقدار P P value
بازده اسانس Essential oil yield	2	0.00335	0.447	0.660
خطا Error	2	0.00750	-	-
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		12.5		

از آنجا که تولید اسانس به‌عنوان ماده موثره تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط مختلف اکولوژیکی و ادافیکی محل کشت و کار قرار می‌گیرد، بررسی ارتباط شرایط محل کشت با مقدار اسانس می‌تواند الگوی مناسبی جهت انتخاب شرایط کاشت، داشت و برداشت و حتی شرایط مناسب برداشت در اختیار کشاورزان قرار دهد تا با اتخاذ الگوهای مناسب حداکثر عملکرد و ارزش افزوده را از تولید محصول ریحان مقدس کسب نمایند و توانایی رقابت در بازار را با تولید محصول با کیفیت با سایر تولید کنندگان از کشورهای مدعی در این زمینه داشته باشند (Nematollahi *et al*., 2017). از مهم‌ترین عوامل محیطی که تأثیر بسیار عمده‌ای بر کمیت و کیفیت مواد موثره گیاهان دارویی مانند اسانس می‌گذارد، می‌توان به درجه حرارت محیط، ارتفاع محل، شرایط خشک کردن و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اشاره کرد. تمام خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک روی رشد و نمو گیاه و تولید متابولیت های ثانویه تأثیر گذار هستند (Ormeno *et al*., 2008).

بررسی ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده اسانس

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اسانس گیاه ریحان مقدس با استفاده از دستگاه‌های کروماتوگراف گازی (GC) و کروماتوگراف گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS)، ترکیبات متعددی را در اسانس استخراج‌شده از این گیاه در شرایط

آب و هوایی بندرعباس نشان دادند. این مطالعه که اولین گزارش از ترکیبات اسانس ریحان مقدس در استان هرمزگان است، اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت و کمیت اسانس این گیاه دارویی در یک منطقه گرمسیری ارائه می‌دهد. جدول ۲ اجزای شناسایی‌شده، درصد ترکیب، شاخص بازداری و گروه‌بندی ترکیبات را نشان می‌دهد. در این مطالعه، ۲۸ ترکیب در اسانس ریحان مقدس شناسایی شد که در مجموع ۸۸/۷ درصد از کل اسانس را تشکیل می‌دادند. مونوترپن‌های اکسیژن‌دار با ۷۸/۹ درصد، بیشترین سهم را در ترکیبات اسانس داشتند. لینالول با ۴۴/۶ درصد و متیل‌کاویکول با ۲۵/۲ درصد به‌عنوان ترکیبات اصلی در این گروه شناسایی شدند. این دو ترکیب به دلیل خواص دارویی و صنعتی خود، از جمله فعالیت‌های ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Pandey *et al.*, 2018). حضور این ترکیبات در درصدهای بالا نشان‌دهنده پتانسیل بالای اسانس ریحان مقدس برای استفاده در صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی و غذایی است. هیدروکربن‌های مونوترپنی با ۱/۷ درصد، هیدروکربن‌های سسکویی‌ترپنی با ۴/۹ درصد و سسکویی‌ترپن‌های اکسیژن‌دار با ۱/۷ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۲). ترکیباتی نظیر آلفا-پینن (۰/۳ درصد)، بتا-پینن (۰/۳ درصد)، لیمونن (۰/۳ درصد) و سابینن (۰/۴ درصد) از جمله هیدروکربن‌های مونوترپنی بودند که در مقادیر کم شناسایی شدند. این ترکیبات، اگرچه در درصدهای پایین حضور داشتند، ولی به دلیل خواص معطر و بیولوژیکی خود، به ارزش کلی اسانس می‌افزایند (Das and Prakas, 2024). در گروه سسکویی‌ترپن‌ها، ترکیباتی مانند (E)-کاریوفیلن (۰/۳ درصد)، ترنس-آلفا-برگاموتن (۱/۸ درصد)، β-(E)-فارنسن (۱/۳ درصد) و ژرماکرن D (۰/۵ درصد) شناسایی شدند. سایر ترکیبات شناسایی‌شده شامل کتون‌ها (مانند ۳-اوکتانون با ۰/۸ درصد) و الکل‌ها (مانند ۳-اوکتانول با ۰/۷ درصد) بودند که در مجموع ۱/۵ درصد از اسانس را تشکیل می‌دادند. این ترکیبات، اگرچه در مقادیر ناچیز حضور داشتند، می‌توانند به ویژگی‌های حسی و بیولوژیکی اسانس کمک کنند. به عنوان مثال، ۳-اوکتانون به دلیل رایحه خاص خود در صنایع عطرسازی کاربرد دارد (Ragavendran *et al.*, 2024). شرایط آب و هوایی بندرعباس، با دماهای بالا (میانگین دمای سالانه حدود ۲۷-۳۴ درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی زیاد (۸۰-۶۰ درصد) و تابش شدید خورشید، احتمالاً نقش مهمی در ترکیبات شیمیایی اسانس ریحان مقدس ایفا کرده است. تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که دماهای بالا می‌توانند سنتز مونوترپن‌های اکسیژن‌دار، به‌ویژه لینالول و متیل‌کاویکول، را تقویت کنند (Das and Prakash, 2024). این موضوع با درصد بالای این ترکیبات در اسانس مورد مطالعه همخوانی دارد. به طور خاص، لینالول به دلیل ساختار شیمیایی خود، در شرایط گرم و مرطوب به‌عنوان یک متابولیت ثانویه غالب تولید می‌شود که این امر توسط یافته‌های سایر پژوهشگران نیز تأیید شده است. علاوه بر دما، رطوبت بالا و تابش شدید خورشید می‌توانند باعث ایجاد استرس‌های محیطی در گیاه شوند که به تولید ترکیبات خاصی مانند سسکویی‌ترپن‌ها منجر می‌شود. به عنوان مثال، حضور ژرماکرن D و γ-کادینن در اسانس ممکن است نتیجه استرس اکسیداتیو ناشی از تابش UV باشد (Sharma, 2024). این ترکیبات به گیاه کمک می‌کنند تا با شرایط محیطی سخت مقابله کند و در عین حال ارزش دارویی اسانس را افزایش می‌دهند. همچنین، تنوع ترکیبات

سسکوی‌ترپن‌دار، اگرچه در مقادیر کمتر، به پتانسیل ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی اسانس کمک می‌کند (de Lavor *et al*., 2018). همچنین، حضور ترکیبات فرار مانند ۱،۸-سینئول (۰/۵ درصد) و کامفور (۱/۷ درصد) می‌تواند به عنوان مکانیسمی برای کاهش استرس گرمایی در گیاه عمل کند، همان‌طور که در پژوهشی پیش از این گزارش شده است (Mokat and Kharat, 2022).

جدول ۲: اجزای شناسایی شده در اسانس گیاه ریحان مقدس (*O. sanctum* L.) در شرایط آب و هوایی بندرعباس

Table 2: Identified components in the essential oil of *O. sanctum* in BandarAbbas weather conditions

ردیف No.	نام ترکیب Compound name	شاخص بازداری محاسبه شده Calculated RI	شاخص بازداری رفرنس Reference RI	درصد ترکیب Oil content (%)	نوع ترکیب Class of compounds
1	*α*-pinene	939	941	0.3	MH
2	sabinene	979	978	0.4	MH
3	*β*-pinene	982	982	0.3	MH
4	3-octanone	984	985	0.8	ketone
5	myrcene	986	987	tr	MH
6	3-octanol	989	990	0.7	alcohol
7	limonene	1036	1037	0.3	MH
8	1,8-cineole	1041	1042	0.5	OM
9	*β*–ocimene	1050	1051	0.4	MH
10	*cis*-sabinene hydrate	1077	1078	0.5	OM
11	linalool	1105	1107	44.6	OM
12	camphor	1147	1148	1.7	OM
13	borneol	1163	1164	0.3	OM
14	methyl chavicol	1212	1211	25.2	OM
15	geraniol	1256	1257	5.8	OM
16	geranyl acetate	1375	1365	0.3	OM
17	(*E*)-caryophyllene	1428	1428	0.3	SH
18	*trans*-*α*-bergamotene	1438	1439	1.8	SH
19	*β* -farnesene	1455	1456	1.3	SH
20	*cis*-muurola-4(14), 5-diene	1470	1470	tr	SH
21	germacrene D	1488	1489	0.5	SH
22	bicyclogermacrene	1502	1500	0.2	SH
23	γ-cadinene	1517	1517	0.8	SH
24	δ-cadinene	1524	1524	tr	SH
25	spathulenol	1572	1572	0.2	OS
26	1,10-di-*epi*-cubenol	1624	1627	0.2	OS
27	*epi*-*α*-cadinol	1652	1652	1.3	OS
28	*α*-cadinol	1665	1665	tr	OS

گروه‌بندی ترکیبات Grouping of compounds	درصد ترکیب Oil content (%)
هیدروکربن‌های مونوترپنی Monoterpene hydrocarbons (MH)	1.7
مونوترپن‌های اکسیژن‌دار Oxygenated monoterpens (OM)	78.9
هیدروکربن‌های سسکویی‌ترپنی Sesquiterpene hydrocarbons (SH)	4.9
سسکویی‌ترپن‌های اکسیژن‌دار (OS) Oxygenated sesquiterpenes (OS)	1.7
سایر ترکیبات Others	1.5
جمع کل (درصد) Total identified (%)	88.7

tr (trace) = مقدار ناچیز (کمتر از ۰/۱ درصد)

مقایسه نتایج این مطالعه با تحقیقات انجام شده در سایر مناطق جغرافیایی نشان‌دهنده تفاوت‌ها و شباهت‌هایی در ترکیبات اسانس ریحان مقدس است. به عنوان مثال، Verma و همکاران، ۲۰۱۳، گزارش کردند که در مناطق معتدل، درصد لینالول در اسانس ریحان مقدس معمولاً بین ۲۰-۳۰ درصد است، در حالی که در این مطالعه، این مقدار به ۴۴/۶ درصد می‌رسد. این تفاوت

احتمالاً به دلیل تأثیر شرایط اقلیمی گرم و مرطوب بندرعباس است که سنتز لینالول را تقویت کرده است. از سوی دیگر، درصد متیل‌کاویکول در این مطالعه (۲۵/۲ درصد) مشابه مقادیر گزارش شده در مناطق گرمسیری هند (۳۰-۲۰ درصد) است که نشان‌دهنده شباهت‌های اقلیمی بین این دو منطقه است (Das and Prakash, 2024). در مقایسه با مطالعات انجام شده در مناطق خشک، مانند گزارشی در مورد اسانس ریحان مقدس در راجستان هند، درصد سسکویی‌ترپن‌ها در مطالعه حاضر کمتر است. این تفاوت ممکن است به دلیل رطوبت بالاتر در بندرعباس باشد که سنتز مونوترپن‌ها را نسبت به سسکویی‌ترپن‌ها تقویت می‌کند (Dharsono *et al*., 2022). همچنین، حضور ترکیبات جزئی مانند اسپاتولنول (۰/۲ درصد) و α-*epi*-کادینول (۱/۳ درصد) در اسانس بندرعباس، که در برخی مطالعات دیگر گزارش نشده‌اند، می‌تواند به شرایط خاص خاک و آب و هوای این منطقه نسبت داده شود. ترکیبات شناسایی‌شده در اسانس ریحان مقدس، به‌ویژه لینالول و متیل‌کاویکول، پتانسیل بالایی برای کاربردهای دارویی، آرایشی و صنعتی دارند. لینالول به دلیل خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و آرام‌بخش شناخته شده است و در ساخت محصولات دارویی مانند کرم‌های ضدالتهاب و داروهای ضداضطراب استفاده می‌شود (Pandey *et al*., 2018). متیل‌کاویکول نیز به دلیل فعالیت ضدباکتریایی و آنتی‌اکسیدانی، در صنایع غذایی به‌عنوان یک نگهدارنده طبیعی و در صنایع آرایشی به‌عنوان یک ماده معطر کاربرد دارد (Senthoorraja *et al*., 2021). سسکویی‌ترپن‌هایی مانند (*E*)-کاریوفیلن و ترنس-α-برگاموتن نیز به دلیل خواص ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی مورد توجه هستند. به عنوان مثال، (*E*)-کاریوفیلن به‌عنوان یک آگونیست گیرنده کانابینوئید نوع ۲ (CB2) شناخته شده است که می‌تواند در درمان بیماری‌های التهابی مانند آرتریت روماتوئید مؤثر باشد (Ricardi *et al*., 2024; Tomar *et al*., 2023). این ویژگی‌ها اسانس ریحان مقدس را به یک منبع بالقوه برای توسعه داروهای جدید تبدیل می‌کند. علاوه بر کاربردهای دارویی، اسانس ریحان مقدس می‌تواند در کشاورزی به‌عنوان یک آفت‌کش طبیعی استفاده شود. ترکیباتی مانند لیمونن و ۱،۸-سینئول به دلیل خواص دافع حشرات، در فرمولاسیون‌های زیست‌محیطی برای کنترل آفات کاربرد دارند (Abdelgaleil *et al*., 2024). این موضوع به‌ویژه در مناطقی مانند هرمزگان، که کشاورزی در آن با چالش‌های آفات مواجه است، اهمیت دارد. یکی از چالش‌های این مطالعه، شناسایی تنها ۸۸/۷ درصد از ترکیبات اسانس بود که نشان‌دهنده وجود ترکیبات ناشناخته یا مقادیر ناچیز (trace) است. این موضوع ممکن است به دلیل محدودیت‌های دستگاه GC-MS یا پیچیدگی ترکیبات شیمیایی اسانس باشد. همچنین، این مطالعه تنها بر شرایط یک فصل خاص در بندرعباس متمرکز بود، در حالی که تغییرات فصلی می‌توانند بر ترکیبات اسانس تأثیر بگذارند (Mehalaine and Chenchouni, 2021). برای تأیید نتایج و بررسی تأثیر عوامل فصلی، انجام مطالعات تکمیلی در فصول مختلف توصیه می‌شود. تحقیقات بیشتر برای بهینه‌سازی روش‌های استخراج اسانس، مانند استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مانند استخراج با سیال فوق بحرانی، می‌تواند به افزایش بازده و کیفیت اسانس کمک کند. همچنین، بررسی تأثیر فاکتورهای محیطی مانند نوع خاک، آبیاری و شدت نور بر ترکیبات اسانس می‌تواند به درک بهتر از پتانسیل این گیاه در شرایط مختلف منجر شود. علاوه بر این، آزمایش‌های

بالینی برای ارزیابی اثرات دارویی ترکیبات اصلی اسانس، به‌ویژه لینالول و (*E*)-کاریوفیلن، می‌تواند راه را برای توسعه محصولات دارویی جدید هموار کند.

نتیجه‌گیری کلی

این مطالعه نشان داد که اسانس ریحان مقدس با بازده متوسط ۱/۹ درصد (وزنی/وزنی بر اساس ماده خشک)، در شرایط آب و هوایی بندرعباس دارای تعداد زیادی از ترکیبات شیمیایی است که مونوترپن‌های اکسیژن‌دار، به‌ویژه لینالول (۴۴/۶ درصد) و متیل‌کاویکول (۲۵/۲ درصد)، غالب هستند. این ترکیبات به دلیل خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی، پتانسیل بالایی برای کاربرد در صنایع دارویی، آرایشی- بهداشتی و غذایی دارند. شرایط اقلیمی گرم و مرطوب بندرعباس، میانگین دمای سالانه حدود ۲۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۶۰ تا ۸۰ درصد، احتمالاً نقش کلیدی در تقویت سنتز مونوترپن‌ها نسبت به سسکویی‌ترپن‌ها ایفا کرده است. حضور سسکویی‌ترپن‌هایی مانند (*E*) -کاریوفیلن و ترنس-α-برگاموتن نیز ارزش دارویی اسانس را افزایش می‌دهد. این اولین گزارش از ترکیبات اسانس ریحان مقدس در استان هرمزگان است و اطلاعات ارزشمندی برای بهره‌برداری از این گیاه در مناطق گرمسیری ارائه می‌دهد. با این حال، برای بهره‌برداری بهینه از این منبع طبیعی، تحقیقات بیشتری در زمینه بهینه‌سازی روش‌های استخراج، بررسی تأثیر عوامل محیطی و ارزیابی اثرات بالینی ترکیبات اسانس مورد نیاز است. این مطالعه می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه کاربردهای صنعتی و دارویی ریحان مقدس در مناطق گرمسیری و بهبود اقتصاد کشاورزی در استان هرمزگان عمل کند.

منابع

Abdelgaleil, S. A. M., Gad, H. A., Ramadan, G. R., El-Bakry, A. M., & El-Sabrout, A. M. (2024). Monoterpenes: chemistry, insecticidal activity against stored product insects and modes of action—a review. *International Journal of Pest Management*, *70*(3), 267-289. https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1982067

Adams, R. P. (2012). *Identification of essential oils by ion trap mass spectroscopy*. Academic press.

Akbarpour, M., & Nezhadali, A. (2023). Aroma Profiles Study in Ocimum Sanctum L. During Plant Growth Using Head-Space Solid-Phase Microextraction. *Iranian Journal of Analytical Chemistry*, *10*(2), 72-78. https://doi.org/10.30473/ijac.2023.69578.1278

Alavi, S., & Sharifi, M. (2015). Climatic characteristics of Hormozgan province. *Journal of Environmental Studies*, 41(2), 123-134.

British Pharmacopoeia. (2007). *Appendix XI.* Vol. 2, London, HMSO, 137-138.

Chukwuma, I. F., Uchendu, N. O., Asomadu, R. O., Ezeorba, W. F. C., & Ezeorba, T. P. C. (2023). African and Holy Basil-a review of ethnobotany, phytochemistry, and toxicity of their essential oil: Current trends and prospects for antimicrobial/anti-parasitic pharmacology. *Arabian Journal of Chemistry*, *16*(7), 104870. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104870

Das, S., & Prakash, B. (2024). Effect of Environmental Factors on Essential Oil Biosynthesis, Chemical Stability, and Yields. In: Prakash, B., Dubey, N.K., Freitas Brilhante de São José, J. (eds) *Plant Essential Oils*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4370-8_10

Davies, N. W. (1998). Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicon and Carbowax 20M phases. *Journal of chromatography. A*, 503, 1-24.

de Lavor, É. M., Fernandes, A. W. C., de Andrade Teles, R. B., Leal, A. E. B. P., de Oliveira Júnior, R. G., Gama e Silva, M., ... & da Silva Almeida, J. R. G. (2018). Essential oils and their major compounds in the treatment of chronic inflammation: A review of antioxidant potential in preclinical studies and molecular mechanisms. *Oxidative medicine and cellular longevity*, *2018*(1), 6468593. https://doi.org/10.1155/2018/6468593

Dharsono, H. D. A., Putri, S. A., Kurnia, D., Dudi, D., & Satari, M. H. (2022). *Ocimum* species: A review on chemical constituents and antibacterial activity. *Molecules*, *27*(19), 6350.

Emami, S. A., Nadjafi, F., & Mousavi, S. M. (2016). Medicinal plants of Iran: Diversity and conservation. *Journal of Herbal Medicine*, *6*(3), 112-120.

Ghahreman, A., & Attar, F. (1999). Biodiversity of plant species in Iran. Tehran University Press.

Hassanpouraghdam, M. B., Ghorbani, H., Esmaeilpour, M., Alford, M. H., Strzemski, M., & Dresler, S. (2022). Diversity and distribution patterns of endemic medicinal and aromatic plants of iran: implications for conservation and habitat management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(3), 1552.

Hussain, A. I., Chatha, S. A. S., Kamal, G. M., Ali, M. A., Hanif, M. A., & Lazhari, M. I. (2016). Chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Ocimum sanctum*. *International Journal of Food Properties*, *20*(7), 1569–1581. https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1214145

Kazerani, N., Saharkhiz, M., Javanmardi, J., Heidari, B., Rezaei, M. & Bayat, P. (2014). Changes in the herb yield, essential oil and some important growth parameters of holly basil (*Ocimum sanctum* L.) in response to different plant densities and nitrogen levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *30*(2), 299-308. doi: 10.22092/ijmapr.2014.6207

Mansinhos, I., Gonçalves, S., & Romano, A. (2024). How climate change-related abiotic factors affect the production of industrial valuable compounds in Lamiaceae plant species: a review. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1370810. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1370810

Mehalaine, S., & Chenchouni, H. (2021). Quantifying how climatic factors influence essential oil yield in wild-growing plants. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(13), 1257. https://doi.org/10.1007/s12517-021-07582-6

Mofokeng, M. M., Du Plooy, C. P., Araya, H. T., Amoo, S. O., Mokgehle, S. N., Pofu, K. M., & Mashela, P. W. (2022). Medicinal plant cultivation for sustainable use and commercialisation of high-value crops. *South African Journal of Science*, *118*(7-8), 1-7. https://doi.org/10.17159/sajs.2022/12190

Mokat, D. N., & Kharat, T. D. (2022). Essential oil composition in leaves of Ocimum species found in Western Maharashtra, India. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *25*(1), 1-8. https://doi.org/10.1080/0972060X.2022.2043190

Mondal, S., Mirdha, B. R., & Mahapatra, S. C. (2009). The science behind sacredness of Tulsi (*Ocimum sanctum* Linn.). *Indian J Physiol Pharmacol*, *53*(4), 291-306.

Nematollahi, A. R., Mirjalili, M. H., Hadian, J. and Yousefzadi, M. (2017). Chemical Diversity Among the Essential Oils of Natural *Salvia mirzayanii* (Lamiaceae) Populations from Iran, *9*(1), 1-16. doi: 10.22084/ppt.2017.2199

Ormeño, E., Baldy, V., Ballini, C., & Fernandez, C. (2008). Production and diversity of volatile terpenes from plants on calcareous and siliceous soils: effect of soil nutrients. *Journal of chemical ecology*, *34*, 1219-1229. https://doi.org/10.1007/s10886-008-9515-2

Pandey, A. K., Burlakoti, R. R., Kenyon, L., & Nair, R. M. (2018). Perspectives and challenges for sustainable management of fungal diseases of mungbean [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek var. radiata]: a review. *Frontiers in Environmental Science*, *6*, 53. https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00053

Pavela, R., Kaffková, K., Smékalová, K., Vrchotová, N., Bednář, J., & Tříska, J. (2023). Biomass yield potential of tulsi (*Ocimum sanctum* L.) in European conditions. *Industrial Crops and Products*, 194, 116365. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116365

Pergola, M., De Falco, E., Belliggiano, A., & Ievoli, C. (2024). The most relevant socio-economic aspects of medicinal and aromatic plants through a literature review. *Agriculture*, *14*(3), 405. https://doi.org/10.3390/agriculture14030405

Prakash, P., & Gupta, N. (2005). Therapeutic uses of *Ocimum sanctum* Linn (Tulsi). *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, *49*(2), 125-131.

Ragavendran, K., Selvakumaran, J., Muthukanagavel, M., Alharbi, N. S., Thiruvengadam, M., Mutheeswaran, S., ... & Ganesan, P. (2024). Chemical composition and mosquitocidal properties of essential oil from Indian indigenous plants *Ocimum tenuiflorum* L. and *Ocimum americanum* L. against three vector mosquitoes. *Experimental Parasitology*, *258*, 108709. https://doi.org/10.1016/j.exppara.2024.108709

Ramawat, K. G., & Arora, J. (2021). Medicinal plants domestication, cultivation, improvement, and alternative technologies for the production of high value therapeutics: an overview. *Medicinal plants: domestication, biotechnology and regional importance*, 1-29. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74779-4_1

Ricardi, C., Barachini, S., Consoli, G., Marazziti, D., Polini, B., & Chiellini, G. (2024). Beta-caryophyllene, a cannabinoid receptor type 2 selective agonist, in emotional and cognitive disorders. *International journal of molecular sciences*, *25*(6): 3203. https://doi.org/10.3390/ijms25063203

Saharkhiz, M. J., Kamyab, A. A., Kazerani, N. K., Zomorodian, K., Pakshir, K., & Rahimi, M. J. (2014). Chemical compositions and antimicrobial activities of Ocimum sanctum L. essential oils at different harvest stages. *Jundishapur journal of microbiology*, *8*(1): e13720. https://doi.org/10.5812/jjm.13720

Sangwan, N. S., Farooqi, A. H. A., Shabih, F., & Sangwan, R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant growth regulation*, *34*: 3-21. https://doi.org/10.1023/A:1013386921596

Senthoorraja, R., Subaharan, K., Manjunath, S., Pragadheesh, V. S., Bakthavatsalam, N., Mohan, M. G., ... & Basavarajappa, S. (2021). Electrophysiological, behavioural and biochemical effect of *Ocimum basilicum* oil and its constituents methyl chavicol and linalool on *Musca domestica* L. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 50565-50578. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14282-x

Sharma, M. K. (2024). Exploring the biochemical profiles of medicinal plants cultivated under stressful environmental conditions. *Current Agriculture Research Journal*, *12*(1), 81-103. http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.12.1.07

Shibamoto, T. (1987). *Retention indices in essential oil analysis* (Vol. 259). Huethig Verlag, New York.

Tomar, H., Rawat, A., Nagarkoti, K., Prakash, O., Kumar, R., Srivastava, R. M., ... & Rawat, D. S. (2023). *Ocimum gratissimum* L. and *Ocimum sanctum* L.: Comparative compositional analysis of essential oils and in-vitro biological activities with in-silico PASS prediction and ADME/Tox studies. *South African Journal of Botany*, *157*, 360-371. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.04.014

Verma, R. S., Padalia, R. C., Chauhan, A., & Thul, S. T. (2013). Exploring compositional diversity in the essential oils of 34 *Ocimum* taxa from Indian flora. *Industrial Crops and Products*, *45*, 7-19. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.005