

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Evaluation of Phytochemical Compounds in the Essential Oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Cultivated in Various Regions of Sistan and Baluchestan Province

Shahrakinia¹, M., Dahmardeh^{2*}, M. and Jahantighi³, H.

1 and 2. Msc Graduated Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.

3. Ph.D in Horticultural Sciences, Agricultural Jihad of Sistan and Baluchistan Province, Zahedan, Iran.

*: Corresponding Author Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

Received: 2024/10/24

Accepted: 2025/04/29

Introduction

Iran is a region that is incredibly rich in terms of both the number and variety of medicinal plants. The province of Sistan and Baluchestan is not only one of the richest provinces in terms of medicinal plants in the country, but it is also a major center for the distribution of cumin in Iran. Green cumin (*Cuminum cyminum* L.) is an annual, herbaceous, and aromatic plant, native to the East Asian region. The seeds of cumin are the most important part of this plant and are considered the main source of its active compounds. Considering the medicinal and economic importance of cumin, this research was conducted to investigate, compare, and identify the various phytochemical compounds present in the essential oil of cultivated cumin in different regions of Sistan and Baluchestan province. This study aims to determine areas with potential for high essential oil yield and phytochemical compounds to develop the cultivation of cumin in the province and utilize the results of this study in future research.

Materials and methods

This research was conducted to evaluate the quantitative and qualitative aspects of the essential oil of cumin cultivated in various regions of Sistan and Baluchestan province. For this purpose, seeds grown in four selected farms within the geographical areas of the targeted counties, including Mirjaveh, Zabol, Taftan, and Khash, were harvested. The essential oil was extracted using water distillation, and after measuring the amount of essential oil, the separation and identification of compounds were performed using gas chromatography and gas chromatography coupled with mass spectrometry. The experiment was conducted in a completely random design with three replications. The main components found in cumin seeds obtained from four different regions of Sistan and Baluchestan province include cumin essential oil and 15 distinct phytochemical compounds. These compounds consist of gamma-terpinen-7-al, α -terpinene-7-al, cumin aldehyde, 4-trans-caranone, gamma-terpinen, 1,8-cineole, limonene, p-cymene, α -terpinene, α -phellandrene, myrcene, beta-pinene, sabinene, α -pinene and α -thujene.

Results and discussion

Based on the results of green cumin harvested from different regions of Sistan and Baluchestan province, a significant difference in the percentage of essential oil was observed. The difference ranged from 2.44% to 3.56%. The highest and lowest percentages of essential oil were in the Taftan and Zabol regions, respectively. In addition to the essential oil, 15 phytochemical compounds with different percentages were identified in the cultivation of the following regions. The highest and lowest amounts of myrcene were related to the green cumin of the Khash and Taftan, respectively. Green cumin cultivated in the Khash region exhibited the highest concentration of α -phellandrene. According to the results, the green cumin from the Khash region has the highest amount of aromatic essential oil due to having the highest amount of myrcene and α -phellandrene. The results related to α -phellandrene phytochemical composition showed that the Khash region had the highest amount (0.915%) and Taftan had the lowest amount (0.348%). According to the results, the highest and lowest amounts of phytochemical composition of p-cymene were related to Zabol (8.43%) and Khash (5.48%) regions, respectively. The results of the comparison of mean cumin aldehyde showed that the regions of Mirjaveh (14.52%), Zabol (14.56%), and Taftan (12.96%) had the highest amounts of cumin aldehyde. The results showed that the phytochemical compounds gamma-terpinene (26.34%), gamma-terpinene-7-al (25.46%) and β -pinene (18.59%) are the most (in total more than 70% of phytochemical compounds present in cumin) and phytochemical compounds α -terpinene (0.19%), 1,8-cineole (0.28%), limonene (0.36%) and α -thujene (0.39%) the least (in total one percent of the phytochemical compounds in cumin) constitute the total amount of identified phytochemical compounds.

The correlation relationships between the phytochemical compounds in green cumin in this study showed that these relationships can be used as indicators to estimate the amounts of other phytochemical compounds. The biplot results demonstrated a wide diversity among Sistan and Baluchestan province regions regarding the phytochemical composition of their green cumin.

Conclusions

In this study, the percentage of essential oil from green cumin cultivated in different regions varied between 2.44% and 3.56%. Analysis of the results showed that there were significant differences among the studied regions in terms of five phytochemical compounds. Accordingly, the highest percentage of essential oil was found in cultivated green cumin p in the Taftan region, the highest percentage of myrcene and alpha-felandrene in cultivated green cumin in the Khash region, and the highest percentage of cuminaldehyde and p-cymene in cultivated green cumin in the Zabol region. The results of this research indicate the impact of higher altitudes (Taftan and Khash) on the cultivation of essential oil and some essential oil components. Thus, with the increase in altitude above sea level and consequently increased rainfall and decreased temperature, the percentage of essential oil and essential oil compounds such as myrcene and α -phellandrene increased, while with decreasing altitude and consequently reduced rainfall and increased temperature in the Zabol region, the phytochemical compounds cuminaldehyde and p-cymene increased. Therefore, these areas can be used for the cultivation of cumin rich in these compounds. Additionally, these regions can be introduced as suitable locations for further research in the field of producing these phytochemical compounds.

Keywords: Alpha-phellandrene, Essential oil, PCA, Secondary metabolites, Taftan.

Citations: Shahrakinia, M., Dahmardeh, M. and Jahantighi, H. (2025). Evaluation of Phytochemical Compounds in the Essential Oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Cultivated in Various Regions of Sistan and Baluchestan Province, *Plant Production Technology*, 25(1), 69-85. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30042.2139>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Online ISSN: 2476-5651

Print ISSN: 2476-6321

ارزیابی ترکیبات فیتوشیمیایی اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) کشت شده در برخی

مناطق استان سیستان و بلوچستان

Evaluation of Phytochemical Compounds in the Essential Oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Cultivated in Various Regions of Sistan and Baluchestan Province

معصومه شهرکی نیا^۱، مهدی دهمرده^{۲*} و حسین جهان تیغی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

(مقاله پژوهشی)

چکیده

این پژوهش با هدف ارزیابی کمی و کیفی اسانس زیره سبز کشت شده در برخی مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت. بدین منظور، ابتدا بذور کشت شده از چهار مزرعه انتخابی در حوزه جغرافیایی شهرستان‌های هدف شامل میرجاوه، زابل، تفتان و خاش برداشت شد. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب انجام شده و پس از اندازه‌گیری مقدار اسانس، جداسازی و شناسایی ترکیبات با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. براساس نتایج، بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب مربوط به زیره سبز مناطق تفتان (۳/۵۶) و زابل (۲/۴۴) بود. به‌طورکلی تعداد ۱۵ ترکیب فیتوشیمیایی در اسانس زیره کشت شده در مناطق مورد بررسی شناسایی شد. نتایج نشان داد که ترکیبات فیتوشیمیایی گاما-تریپنین (۲۶/۳۴ درصد)، گاما-تریپنین-۷-آل (۲۵/۴۶ درصد) و بتا-پینن (۱۸/۵۹ درصد) بیش از ۷۰ درصد از کل ترکیبات فیتوشیمیایی شناسایی شده را تشکیل می‌دهند. نتایج بای‌پلات نشان‌دهنده تنوع گسترده بین این مناطق از نظر ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در زیره سبز بود. بیشترین میزان مایر سین و آلفا-فلاندرن در ترکیبات اسانس زیره سبز منطقه خاش و بیشترین میزان پی-سیمن و کومین آلدئید در ترکیبات اسانس زیره سبز شهرستان زابل مشاهده شد. باتوجه به میزان اسانس استحصالی و نیز برخی ترکیبات ارزشمند اسانس نظیر مایر سین و آلفا-فلاندرن در زیره سبز کشت شده در مناطق تفتان و خاش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد، ارتفاع از سطح دریا تأثیر مثبتی در عملکرد کیفی این محصول دارد و مناطق مذکور برای تولید اقتصادی زیره سبز، مطلوب‌تر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آلفا-فلاندرن، اسانس، تفتان، متابولیت‌های ثانویه، PCA

ارجاع به مقاله: شهرکی نیا، م.، دهمرده، م. و جهان تیغی، ح. (۱۴۰۴). ارزیابی ترکیبات فیتوشیمیایی اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) کشت شده در برخی مناطق استان سیستان و بلوچستان، مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۲۵(۱)، ۸۵-۶۹. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30042.2139>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۲۴۷۶-۶۳۲۱

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱

۱ و ۲. به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳. دکتری علوم باغبانی، جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

* نویسنده مسئول Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه با پیشرفت علم و درک عمیق‌تر از مضرات داروهای شیمیایی در سلامت انسان، گرایش و رویکرد جهانی به مصرف گیاهان دارویی افزایش یافته است. از همین حیث استان سیستان و بلوچستان واقع در جنوب شرق ایران، به واسطه تنوع آب و هوایی، غنی از انواع گیاهان دارویی بوده و یکی از مراکز پراکنش زیره سبز در ایران محسوب می‌شود (Mohammadghasemi et al., 2021). زیره سبز (Cuminum cyminum L.) گیاهی یک‌ساله، علفی و معطر، بومی منطقه شرق آسیا می‌باشد که امروزه به‌طور گسترده در ایران، هند، چین و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه کشت می‌شود. دانه‌های زیره مهم‌ترین بخش این گیاه و منبع اصلی ترکیبات فعال آن به‌شمار می‌روند (Singh et al., 2017). این گیاه به‌واسطه ترکیبات مؤثری همچون اسانس، تانن و روغن، خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و ضد میکروبی دارد. این خواص می‌تواند در سلامت گوارش، تقویت سیستم ایمنی و محافظت از بدن در برابر بیماری‌های مختلف مؤثر باشد (Korinek et al., 2021). در همین راستا میزان اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در گیاهان دارویی، نقش تعیین‌کننده‌ای در اثربخشی آن‌ها ایفا می‌نمایند که، شناخت دقیق نوع و مقدار این ترکیبات، راه را برای استفاده بهینه از گیاهان در درمان بیماری‌ها و ارتقای سلامت انسان هموار می‌سازد (Allaq et al., 2020).

اسانس زیره سبز حاوی ۳۷ ترکیب مختلف می‌باشد که هر کدام نقشی اساسی در عطر و خواص درمانی این گیاه دارند. آلدهید^۱، پینن^۲ و سیمن^۳ از جمله ترکیباتی هستند که به‌عنوان مهم‌ترین اجزای اسانس زیره سبز شناخته می‌شوند. همچنین لیمونن^۴، اگنول^۵ و پینن از دیگر ترکیباتی هستند که علاوه بر عطر، به‌واسطه اثرات ضدالتهابی، آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی نقش مهمی در خواص درمانی زیره سبز دارند (Nollet, 2023). در مطالعه‌ای گزارش شد که میزان اسانس موجود در بذر زیره سبز متفاوت بوده و در محدوده دو تا پنج درصد قرار

دارد. بررسی‌ها نشان داده که مهم‌ترین ترکیب آلدهیدی موجود در این اسانس، کومین آلدهید^۶ با فرمول مولکولی $C_{10}H_{12}O$ است که دارای خاصیت ضدباکتریایی قوی می‌باشد. این ترکیب گیاهی نقش کلیدی در خواص بیولوژیکی و کاربردهای زیره سبز ایفا می‌نماید (Nirmala et al., 2020). پس از کومین آلدهید عمده ترکیبات سازنده اسانس زیره سبز را هیدروکربن‌های منوترپنی و سزکوئنی تشکیل می‌دهند. از جمله این ترکیبات می‌توان به آلفا-پینن^۷، بتا-پینن^۸، پی-سیمن^۹، آلفا-ترپینول^{۱۰}، گاما-ترپینن^{۱۱} و لیمونن اشاره کرد (Bahrami et al., 2024). در مطالعه‌ای بر روی اسانس دانه‌های زیره سبز جمع‌آوری شده از کشورهای مختلف جهان شامل هند، مراکش، ایران، سوریه، ترکیه، پاکستان، عراق و افغانستان گزارش شد که بازده استخراج اسانس در محدوده ۱۶/۹۸-۱/۱ درصد متغیر بود. دو کموتایپ^{۱۲} اصلی شناسایی شده در این مطالعه پی-متا-۴،۱-دین-۷-آل^{۱۳} و آلدهید بود. آلدهید زیره غالب‌ترین ترکیب در نمونه‌های هندی (۶۷/۵-۳۹/۳ درصد) و پی-متا-۴،۱-دین-۷-آل نمونه غالب در سایر نقاط (۵۸/۸-۴۲/۱ درصد) بود (Karik et al., 2021). پژوهشگران در بررسی تنوع ترکیب و عملکرد اسانس ۲۰ توده زیره سبز ایرانی گزارش نمودند که، در مجموع ۲۳ ترکیب شیمیایی در اسانس زیره سبز شناسایی شد که شامل ترپینن (۲۶/۳۷-۵۳/۸۱ درصد)، آلدهید (۲۰/۶۶-۹/۴۵ درصد)، الکل زیره سبز (۱۵/۲۲-۱/۶۳ درصد) و پینن (۱۳/۸۴-۸/۳۲ درصد) بودند. نتایج ایشان نشان داد که بین توده‌های مختلف زیره سبز ایرانی از نظر محتوای اسانس، عملکرد اسانس و نسبت ترکیبات اساسی تفاوت معنی‌داری مشاهده شده است. در بین توده‌های موردبررسی، توده یزد بیشترین میزان اسانس، عملکرد اسانس و آلدهید را نشان داد (Moghaddam and Pirbalouti, 2017). همچنین ارزیابی تنوع کیفی و کمی اسانس زیره سبز

۶. Cuminaldehyde

۷. α -Pinene

۸. β -Pinene

۹. P-cymene

۱۰. α -terpineol

۱۱. γ -terpinene

۱۲. Chemotype

۱۳. P-mentha-1,4,-dien-7-al

1. Aldehyd

2. Pinene

3. Cymene

4. Limonene

5. Agnol

(Layegh Haghighi et al., 2017)، آویشن باغی (Thymus vulgaris L.) (Torras et al., 2007)، و آویشن دناپی (Thymus daenensis) (Ghasemi Pirbalouti et al., 2013) همبستگی مثبتی بین ارتفاع از سطح دریا و میزان اسانس مشاهده شده است.

تأثیر عوامل اقلیمی روی ترکیبات اسانس نیز تا حدودی مشابه تأثیر عوامل مذکور روی میزان اسانس می‌باشد. برخی گزارش‌ها، حاکی از رابطه منفی بین ارتفاع از سطح دریا و برخی از اجزاء اسانس نظیر کارواکرول در ثومون (Thymus capitatus) و مرزه (Satureja thymbra) (Karousou et al., 2005) و ۸، ۱- سینئول^۵ در آویشن باغی (Thymus vulgaris L.) (Torras et al., 2007) می‌باشد. درحالی‌که بین میزان برخی دیگر از ترکیبات اسانس نظیر تیمول^۶ در ثومون (Thymus capitatus) و مرزه (Satureja thymbra) (Karousou et al., 2005) و لینالول^۷ در آویشن باغی (Thymus vulgaris L.) (Torras et al., 2007) و آویشن کوهی (Thymus kotschyanus) (Habibi et al., 2006) رابطه مثبتی وجود داشته است.

لازم به ذکر است که زیره سبز به واسطه اهمیت اقتصادی بالا می‌تواند جایگزین مناسبی برای الگوهای کشت سنتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مانند سیستان و بلوچستان، به‌ویژه در شرایط کمبود آب باشد. این گیاه دارای ترکیباتی با ارزشی است و به‌علت نیاز آبی کم و مقاومت به خشکی می‌تواند در شرایط اقلیمی نامناسب نیز به‌طور بهینه رشد کند. در نتیجه ضمن حفظ حاصلخیزی خاک به حفظ منابع آبی نیز کمک می‌نماید. علاوه‌براین کشت زیره سبز از نظر اقتصادی می‌تواند منافع قابل‌توجهی برای کشاورزان و مردم منطقه به ارمغان آورد (Karimi Afshar et al., 2021). با توجه به اهمیت دارویی و اقتصادی زیره سبز، این پژوهش با هدف بررسی، مقایسه و شناسایی ترکیب‌های فیتوشیمیایی مختلف موجود در اسانس زیره سبز کشت‌شده در مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان انجام شد. هدف از این بررسی، تعیین مناطق مستعد با بازده اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی بالا در

در مناطق مختلف استان خراسان رضوی نشان‌دهنده تنوع قابل‌توجه در تعداد ترکیبات موجود در اسانس این گیاه بود. با این‌که تعداد ترکیبات شناسایی‌شده در اسانس زیره سبز، مختلف، متفاوت بود، اما نه ترکیب شامل گاما-ترپینن، ترپینن-۴-آل^۱، کومین آلدهید، گاما-ترپینن-۷-آل^۲، آلفا-فلاندرن^۳، پی-سینن، سابینن^۴، بتا-پینن و آلفا-پینن در اسانس زیره سبز برداشت شده از تمامی مناطق مشترک بود. از این‌رو تنوع در ترکیب اسانس زیره سبز را به عوامل مختلفی از جمله ژنوتیپ، شرایط آب‌وهوایی، خاک و روش‌های کاشت و برداشت منسوب دانستند (Abbaszadeh et al., 2021). نتایج تحقیقات متعدد بیانگر این موضوع است که، کیفیت و کمیت ترکیبات موجود در گیاهان دارویی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ژنتیک، شرایط آب و هوایی، نوع و بافت خاک، میزان نور دریافتی، ارتفاع محل رویش و روش‌های استخراج قرار می‌گیرد. علاوه‌بر این، در مراحل مختلف رشد گیاه و در رویشگاه‌های متفاوت، تنوع در ترکیب و مقدار اسانس این گیاهان مشاهده شده است. درک این پیچیدگی‌ها برای حداکثر بهره‌برداری از خواص دارویی گیاهان و تولید محصولات با کیفیت ضروری به نظر می‌رسد (Abbaszadeh et al., 2021; Priya et al., 2015). تأثیر پارامترهای محیطی نظیر دما، رطوبت و خاک روی میزان اسانس و ترکیبات گیاهان معطر در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته (Karousou et al., 2005) و روابط متفاوتی بین ارتفاع از سطح دریا و میزان اسانس گیاهان دارویی مشاهده شده است. در گیاهانی نظیر پونه‌سای بی‌کرک (Nepeta nuda L.) (Kofidis et al., 2008)، مرزنجوش (Origanum Vulgare L. ssp) (Vokou et al., 1993)، آویشن آذربایجانی (Thymus migricus) (Gholami et al., 2012)، مرزه بختیاری (Satureja bachtiarica) (Khadivi-Khub et al., 2014) و آویشن کوهی (Thymus kotschyanus) (Habibi et al., 2006) رابطه منفی بین ارتفاع از سطح دریا و میزان اسانس گزارش شده است. برعکس در گیاهانی نظیر پونه‌سای کوهی (Nepta pogonosperma)

۱. Terpinen-4-al
۲. γ-terpinene-7-al
۳. α-phellandrene
۴. Sabinene

۵. 1,8- cineol
۶. Thymol
۷. Linalool

شهرکی‌نیا و همکاران: ارزیابی ترکیبات فیتوشیمیایی اسانس زیره ...

جهت توسعه سطح زیر کشت زیره سبز در استان و بهره‌گیری از نتایج این مطالعه در تحقیقات بعدی می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

در پاییز سال ۱۴۰۱، چهار مزرعه زیره سبز در حوزه جغرافیایی چهار شهرستان (شامل میرجاوه، زابل، تفتان و خاش) با در نظر گرفتن مواردی همچون همزمانی کاشت، تشابه وضعیت فیزیکی خاک و مدیریت مزرعه، همراهی کشاورز و سایر موارد انتخاب شد. لازم به ذکر است کلیه این مزارع با استفاده از توده بذری یکسان تولید شده توسط "شرکت کشت و صنعت زیره و زعفران ایرانیان" ایجاد شده بود که به شکل تخصصی در این زمینه فعالیت دارد. برداشت محصول تقریباً به‌طور هم‌زمان در دهه سوم خرداد ماه ۱۴۰۲ (در مرحله زرد شدن کامل ۸۰ درصد بوته‌ها) انجام شد. پس از خرمن‌کوبی، سه نمونه ۳۰۰ گرمی دانه از نقاط مختلف خرمن هر مزرعه، به‌صورت تصادفی برداشت شد. سپس نمونه‌های بذر برای تعیین میزان اسانس، شناسایی و تعیین مقدار ترکیبات اسانس به آزمایشگاه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور واقع در شهر کرج ارسال گردید. آزمایش در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی و با سه تکرار اجرا شد.

استخراج اسانس با استفاده از روش تقطیر با آب و با دستگاه کلونجر (Clevenger) انجام گرفت. بدین‌منظور ۵۰ گرم از بذور خشک شده هر تیمار پس از آسیاب کردن، در یک لیتر آب مقطر به مدت سه ساعت جوشانده شد. پس از فرآیند اسانس‌گیری، اسانس به‌وسیله سدیم سولفات رطوبت‌زدایی شد و درصد اسانس با تعیین درصد رطوبت گیاه در زمان اسانس‌گیری بر حسب وزن خشک نمونه با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Haghir Ebrahimabadi et al., 2018).

[رابطه ۱] $100 \times \text{وزن خشک ماده اولیه (گرم)} / \text{وزن}$

اسانس (گرم) = درصد اسانس

شناسایی ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) و بر حسب واحد درصد انجام شد. برای تعیین کیفیت ماده مؤثره، اسانس حاصل با روش‌های کروماتوگرافی گازی تجزیه‌ای متصل به طیف‌نگار جرمی مورد بررسی قرار گرفت (Adams, 1994). دستگاه گاز کروماتوگراف (مدل HP-5890، شرکت Hewlett-Packard، ساخت آمریکا) دارای سیستم تله یونی است که در آن انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید منبع یون تنظیم می‌گردد. رقیق کردن نمونه‌ها به‌روش شکافت با نسبت ۱:۱۰۰ انجام می‌شود. ستون موئینه به طول ۵۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۰ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۲۵ میکرومتر و ذرات از جنس متیل سیلیکون کراس لینک‌شده می‌باشند. دتکتور از نوع انتخاب‌گر جرمی (HP-5970 mass-selective detector-USA) می‌باشد. برنامه حرارتی از ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با تغییرات چهار درجه در دقیقه استفاده می‌گردد. از هلیوم فوق خالص با سرعت عبور یک میلی‌لیتر در دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده می‌شود. انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و درجه حرارت ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید منبع یون تنظیم می‌گردد. شناسایی هر ترکیب بر اساس زمان بازداری و جرم ثبت شده آن‌ها انجام می‌گیرد (Askari et al., 2019). مختصات جغرافیایی مناطق جمع‌آوری نمونه‌های زیره سبز در استان سیستان و بلوچستان در جدول ۱ ارائه شده است. براساس اطلاعات این جدول مرتفع‌ترین و پست‌ترین مناطق به‌ترتیب تفتان با ۱۶۳۹ متر و زابل با ۴۸۲ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد.

Table 1: Geographical coordinates of the regions for cultivated samples of cumin in the Sistan and Baluchestan province

Cumin cultivation regions	Latitude & Longitude	Altitude (m)
Mirjaveh	& 29.0161521 N 61.4493842 E	837
Taftan	28.5404375 N & 60.7605864 E	1639
Khash	& 28.2197 N 61.2131 E	1410
Zabol	61.4978 E & 31.0297 N	482

۲/۲۰-۱/۳۶ درصد متغیر است. آن‌ها همچنین بیان کردند که ژنتیک تأثیر بسزایی بر محتوای اسانس دارد (Hashemian et al., 2013). در پژوهش انجام شده در کشور ترکیه، بازده اسانس زیره سبز در تیمار کنترل به ۲/۴۳ درصد رسید (Haghirsadat et al., 2011).

باتوجه به برتری قابل توجه مناطق مرتفع تر (تفتان و خاش) به لحاظ تولید اسانس و برخی ترکیبات آن در آزمایش، به نظر می‌رسد با افزایش ارتفاع از سطح دریا و به تبع آن افزایش بارندگی و کاهش دما، درصد اسانس و ترکیبات اسانس نظیر مایر سین و آلفا-فلاندرن در زیره سبز افزایش یافته است که این یافته با نتایج سایر پژوهش‌ها نیز همخوانی دارد. در پژوهشی روی گیاه پونه‌سای بینالودی (*Nepeta binaludensis*) مشخص شد این گیاه در مناطق مرتفع تر با میزان بارندگی بیشتر و هوای خنک تر، اسانس بیشتری نسبت به مناطق پست تر تولید نموده است (Hashemi moghadam et al., 2023). این نتایج نشان می‌دهند که تنوع زیره سبز در نقاط مختلف متفاوت است و این گیاه می‌تواند با محتوای اسانس متفاوت، به کاربردهای مختلفی در صنایع داروسازی، غذایی و بهداشتی منجر شود. از این رو، گونه‌هایی از زیره سبز که بازده اسانس بالاتری دارند می‌توانند در صنایع مختلف توجه بیشتری به خود جلب نمایند.

نتایج مقایسه میانگین ترکیبات فیتوشیمیایی زیره سبز مناطق مختلف شامل اسانس، آلفا-فلاندرن، پی-سیمن، کومین آلدهید و مایر سین در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین، بیشترین درصد اسانس مربوط به زیره سبز منطقه تفتان (۳/۴۰ درصد) بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با درصد اسانس منطقه خاش نداشت. همچنین کمترین درصد اسانس مربوط به زیره سبز تولیدی منطقه زابل (۲/۴۴ درصد) بود که از لحاظ آماری با درصد اسانس زیره تولیدی میرجاوه در یک گروه قرار گرفتند. طبق نتایج، مقدار مایر سین در زیره سبز منطقه خاش (۱/۱۸ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر مناطق بود. همچنین کمترین مقدار این ترکیب مربوط به زیره سبز تولیدی تفتان (۰/۹۷ درصد) بود که اختلاف معنی‌داری با درصد مایر سین در منطقه زابل نداشت (جدول ۳). اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار

پس از انجام هر آزمایش داده‌ها در نرم‌افزار Excel وارد و سپس آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کولموگوروف اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) انجام شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. ترکیبات فیتوشیمیایی زیره سبز

نتایج تجزیه واریانس ترکیبات فیتوشیمیایی زیره سبز شامل اسانس، گاما-تریپنین-۷-آل، آلفا-تریپنین-۷-آل، کومین آلدهید، ۴-ترنس-کارانون، گاما-تریپنین، ۱ و ۸ سینئول، لیمونن، پی-سیمن، آلفا-تریپنین، آلفا-فلاندرن، مایر سین، بتا-پینن، سابینن، آلفا-پینن و آلفا-توجن برای زیره‌های سبز مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان در جدول ۲ ارائه شده است. براساس این نتایج، بین ترکیبات فیتوشیمیایی زیه سبز کشت‌شده در مناطق مختلف اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برای پنج ترکیب شامل اسانس، آلفا-فلاندرن، پی-سیمن، کومین آلدهید و مایر سین مشاهده شد. نتایج نشان‌دهنده تنوع فیتوشیمیایی بین زیره سبز تولیدی مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. باتوجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که امکان انتخاب با رویکردهای متفاوت در زیره سبز کشت‌شده در مناطق مختلف استان وجود دارد و بسته به هدف مورد نظر می‌توان اقدام به انتخاب ترکیب فیتوشیمیایی مورد نظر نمود. بر همین اساس می‌توان اظهار نمود که، این چهار منطقه می‌توانند به‌عنوان مناطقی با مزیت بالا برای کشت زیره سبز معرفی شوند.

براساس نتایج مقایسه میانگین، زیره کشت‌شده در چهار منطقه علاوه بر تفاوت در درصد اسانس، از نظر ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در اسانس نیز متفاوت بودند. مقدار اختلاف درصد اسانس بین ۲/۴۴-۳/۵۶ درصد متغیر بود. بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب مربوط به شهرستان‌های تفتان و زابل بود (جدول ۳). در همین راستا در مطالعه‌ای روی توده‌های مختلف زیره سبز، میزان اسانس را ۲/۴ درصد گزارش نمودند (Hasimi et al., 2014). همچنین محققین با بررسی توده‌های بومی زیره سبز در مناطق مختلف ایران به این نتیجه رسیدند که درصد اسانس در این توده‌ها بین

Table 2: Analysis of variance for phytochemical compounds of cultivated cumin in various regions of Sistan and Baluchestan province (including Zabol, Taftan, Mirjaveh and Khash)

Mean squares									
S.O.V	df	Essential oil	α -thujene	α -Pinene	Sabinene	β -Pinene	Myrcene	α -phellandrene	α - terpinene
Cultivated Cumin in each region	3	**0.856	0.004 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.007 ^{ns}	1.47 ^{ns}	0.023 ^{**}	0.183 ^{**}	0.004 ^{ns}
Error	8	0.025	0.001	0.006	0.001	0.73	0.001	0.002	0.001
C.V (%)		5.25	8.40	8.60	4.36	4.60	3.42	7.78	6.05
Mean squares									
S.O.V	df	p-cymene	limonene	1,8-cineol	γ -Terpinene	trans-4 caranon	cuminaldehyde	α -Terpinene-7-al	γ -Terpinene-7-al
Cultivated Cumin in each region	3	5.29 ^{**}	0.001 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.77 ^{ns}	0.006 ^{ns}	**17.86	0.44 ^{ns}	9.34 ^{ns}
Error	8	0.32	0.003	0.008	9.27	0.001	1.26	0.45	3.67
C.V (%)		7.66	20.90	23.25	11.55	14.33	8.76	21.17	7.53

ns and **: non- significant and significant at 1% of probability levels, respectively

Table 3: Mean comparisons of phytochemical compounds of cultivated cumin in various regions of Sistan and Baluchistan province

Cumin cultivation regions	Essential oil (%)	Myrcene (%)	α -phellandrene (%)	p-cymene (%)	Cuminaldehyde (%)
Khash	3.40±0.23 ^a	1.18±0.05 ^a	0.91±0.06 ^a	5.47±0.32 ^b	9.37±0.65 ^b
Mirjaveh	2.73±0.15 ^b	1.10±0.05 ^b	0.69±0.05 ^b	7.74±0.45 ^a	14.52±0.69 ^a
Zabol	2.44±0.10 ^b	1.03±0.04 ^c	0.49±0.05 ^c	8.43±0.52 ^a	14.56±0.74 ^a
Taftan	3.56±0.20 ^a	0.97±0.04 ^c	0.35±0.04 ^d	8.03±0.43 ^a	12.596±0.59 ^a

In each column, means with at least one similar letter had no significant difference based on LSD at 5% of probability level.

شناسایی کرد و از پتانسیل‌های آن در تحقیقات و برنامه‌های مرتبط با کاربردهای صنعتی، دارویی و آروماتراپی بهره‌برداری کرد.

در رابطه با ترکیب فیتوشیمی پی-سیمن نتایج نشان داد که بیشترین مقدار این ترکیب مربوط به منطقه زابل با مقدار ۸/۴۳ درصد بود که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با درصد پی-سیمن موجود در اسانس زیره‌های مناطق تفتان و میرجاوه نداشت. همچنین کمترین مقدار پی-سیمن (۵/۴۸ درصد) مربوط به زیره سبز تولیدی منطقه خاش بود. طبق نتایج، اختلاف بین مقدار ترکیب فیتوشیمی پی-سیمن شهرستان‌های زابل و خاش ۳۵ درصد بود. پی-سیمن یک ترکیب فیتوشیمیایی متعلق به کلاس هیدروکربن‌های معطر بهنام مونوترپن‌ها است. این ماده، بی‌رنگ با بوی مطبوع است و در اسانس گیاهان مختلف یافت می‌شود. فرمول مولکولی پی-سیمن $C_{10}H_{14}$ است و ساختار شیمیایی آن از یک حلقه بنزن با یک گروه ایزوپروپیل متصل به آن تشکیل شده است. پی-سیمن معمولاً در گیاهانی مانند آویشن، زیره، پونه کوهی و مرکبات یافت می‌شود و به عطر و طعم خاص این گیاهان کمک می‌کند. پی-سیمن علاوه بر خواص معطر، فعالیت‌های بیولوژیکی بالقوه‌ای را نیز از خود نشان می‌دهد. پی-سیمن برای اثرات ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی آن شناخته می‌شود. با این حال، توجه به این نکته مهم است که ترکیب فیتوشیمیایی و غلظت پی-سیمن می‌تواند بسته به گونه‌های گیاهی، موقعیت جغرافیایی و روش‌های استخراج متفاوت باشد (Ravi et al., 2013; Mandal and Mandal, 2016).

ترکیب فیتوشیمیایی دیگری که تاکنون تنها در اسانس دانه‌های زیره شناسایی شده است، آلدئید می‌باشد که با نام کومین آلدئید نیز شناخته می‌شود، این ترکیب فیتوشیمیایی دارای عطر و طعم خاصی است که متمایزکننده زیره می‌باشد (Koohsari et al., 2020). بر اساس نتایج، بیشترین درصد کومین آلدئید در منطقه زابل با میانگین ۱۴/۵۶ مشاهده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با درصد کومین آلدئید موجود در اسانس زیره‌های تولیدی مناطق تفتان و میرجاوه نداشت (جدول ۳). همچنین کمترین درصد کومین آلدئید در زیره سبز منطقه خاش با میانگین ۹/۳۷ درصد مشاهده شد که

ترکیب فیتوشیمی مایرسین در مناطق خاش و تفتان ۱۷ درصد بود.

مایرسین یک مونوترپن است که به‌عنوان هیدروکربن طبقه‌بندی می‌شود. این ترکیب به‌عنوان یک متابولیت گیاهی، دارای خواص آنابولیک، معطر، طعم‌دهنده و یک جزء روغن فرار است. که علاوه بر این خواص، اثرات بالقوه درمانی ازجمله ضد التهاب، ضددرد و آرام‌بخش دارد (Surendran et al., 2021). بنابراین می‌توان از زیره‌های کشت‌شده در مناطق خاش و تفتان به‌منظور استخراج مایرسین در راستای اهداف دارویی و سایر خواص آن استفاده نمود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که، بذور تولیدی هر چهار منطقه، از لحاظ میزان ترکیب آلفا-فلاندرون دارای اختلاف معنی‌داری بودند. بر همین اساس در ترکیب اسانس زیره‌های کشت‌شده در منطقه خاش بیشترین (۹۱/۰ درصد) مقدار این ترکیب به‌دست آمد که نسبت به مناطق میرجاوه، زابل و تفتان افزایش ۲۴، ۶۶ و ۶۱ درصدی نشان داد. آلفا-فلاندرون مانند مایرسین به‌عنوان یک ترکیب فیتوشیمیایی در گیاهان مختلف، به‌ویژه در اسانس گونه‌های گیاهی خاص یافت می‌شود. این ترکیب فیتوشیمیایی به کلاس ترپن‌ها تعلق دارد که به‌طور خاص به‌عنوان مونوترپن طبقه‌بندی می‌شود. آلفا-فلاندرون یک هیدروکربن دو حلقه‌ای با رایحه مشخص شبیه نعنای فلفلی است. گیاهان مختلفی مانند اکالیپتوس، اسطوخودوس، نعنای فلفلی و رازیانه و زیره حاوی آلفا-فلاندرون هستند. همچنین در اسانس برخی از مرکبات مانند پرتقال و لیمو نیز یافت می‌شود. آلفا-فلاندرون به‌دلیل خواص ضد میکروبی، ضد التهابی و آنتی‌اکسیدانی بالقوه آن شناخته شده است. همچنین آلفا-فلاندرون به‌دلیل رایحه دل‌پذیری که دارد در عطرها استفاده می‌شود (Thangaleela et al., 2022). باتوجه به نتایج حاضر، می‌توان بیان کرد که زیره سبز کشت‌شده در منطقه خاش، به‌دلیل داشتن بیشترین مقدار مایرسین و آلفا-فلاندرون، دارای بیشترین مقدار اسانس معطر است. از این‌رو منطقه خاش می‌تواند به‌عنوان یکی از مناطق مناسب برای تحقیقات بعدی در زمینه تولید این ترکیبات فیتوشیمیایی معرفی گردد. همچنین با بررسی سایر شرایط تأثیرگذار بر رشد و نمو زیره سبز در این منطقه و تحلیل مقادیر مایرسین و آلفا-فلاندرون، می‌توان بهترین شرایط رشد در جهت تولید اسانس معطر زیره سبز را

کاهش ۳۶ درصدی نسبت به حداکثر مقدار کومین آلدئید نشان داد. یکی از کاربردهای آلدئید زیره خاصیت طعم‌دهندگی آن می‌باشد. این ترکیب فیتوشیمیایی به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک ترکیب طعم‌دهنده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از خصوصیات دیگر این ترکیب فیتوشیمیایی خواص ضد میکروبی در برابر باکتری‌ها و قارچ‌های مختلف است. این ترکیب فیتوشیمیایی ممکن است کاربردهای دیگری در توسعه نگهدارنده‌های طبیعی و عوامل ضد میکروبی برای محصولات غذایی، دارویی و آرایشی نیز داشته باشد. همچنین این ترکیب دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی است به‌طوری که می‌تواند به خشتی کردن رادیکال‌های آزاد مضر و محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو کمک نماید (Karik et al., 2021). این فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن را به‌طور بالقوه در توسعه محصولات غنی از آنتی‌اکسیدان یا به‌عنوان نگهدارنده طبیعی مواد غذایی مفید می‌کند. آلدئید زیره از نظر فواید بالقوه آن برای سلامتی انسان مانند خواص ضد التهابی، ضد سرطانی و محافظ کبد مورد بررسی قرار گرفته است (Srinivasan, 2022). با این حال، تحقیقات بیشتری برای درک کامل مکانیسم عمل و پتانسیل درمانی آن مورد نیاز است. همچنین این ترکیب فیتوشیمی در صنعت عطر سازی استفاده می‌شود و به‌عنوان یک جزء معطر در عطرها، ادکلن‌ها و سایر محصولات معطر استفاده می‌شود (Chaudhry et al., 2020). نتایج این مطالعه نشان داد که زیره کشت‌شده در مناطق زابل، تفتان و میرجاوه دارای بیشترین مقدار ترکیبات فیتوشیمیایی پی-سیمن و کومین آلدئید بود. باتوجه به سازگاری زیره در مناطق خشک، می‌توان از این مناطق برای تولید زیره غنی از این ترکیبات استفاده نمود.

تعداد و درصد کل ترکیبات فیتوشیمیایی شناسایی شده اسانس زیره سبز در مناطق مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. در این تحقیق به‌طور میانگین، ۱۰۰ درصد از ترکیب‌های فیتوشیمیایی تشکیل‌دهنده اسانس زیره سبز در مناطق مورد مطالعه شناسایی گردید. نتایج مربوط به میانگین کل ترکیبات فیتوشیمیایی نشان داد که، ترکیبات عمده شامل گاما-ترپنین (۲۶/۳۴ درصد)، گاما-ترپنین-۷-آل (۲۵/۴۶ درصد) و بتا-پنین (۱۸/۵۹ درصد) بودند که در مجموع بیش از ۷۰ درصد ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در زیره سبز را به خود اختصاص

دادند. همچنین یک درصد از کل ترکیبات فیتوشیمیایی شناسایی شده موجود در زیره سبز مناطق مختلف مربوط به ترکیبات آلفا-ترپنین (۰/۱۹ درصد)، ۱ و ۸ سینئول (۰/۲۸ درصد)، لیمونن (۰/۳۶ درصد) و آلفا-توجن (۰/۳۹ درصد) بود که به‌عبارتی، کمترین مقدار را در بین ۱۵ ترکیب شناسایی‌شده داشتند (جدول ۴). نتایج مطالعه بر روی ۲۰ توده زیره ایرانی نشان داد که تنوع بسیار گسترده‌ای در مقدار ترکیبات فیتوشیمیایی این زیره‌ها وجود دارد. همچنین گزارش شد که در مجموع، ۲۳ ترکیب فیتوشیمیایی مختلف با مقادیر متفاوت شناسایی شده است. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های سایر پژوهش‌ها هم‌خوانی دارد (Moghaddam and Pirbalouti, 2017; Mughal, 2022). براساس نتایج، مناطق میرجاوه (۲۷/۰۸ درصد) و تفتان (۲۶/۲۶ درصد) دارای بیشترین مقدار ترکیب فیتوشیمیایی گاما-ترپنین و مناطق تفتان (۲۶/۶۱ درصد) و خاش (۲۷/۲۵ درصد) دارای بیشترین مقدار ترکیب فیتوشیمیایی گاما-ترپنین-۷-آل بودند. همچنین کمترین مقدار ترکیب فیتوشیمیایی شناسایی شده در بین سه شهرستان میرجاوه (۰/۱۴ درصد)، خاش (۰/۲۳ درصد) و زابل (۰/۱۸ درصد) مربوط به آلفا-ترپنین بود. درحالی که کمترین ترکیب فیتوشیمیایی شناسایی شده برای شهرستان تفتان (۰/۱۶ درصد) مربوط به ۱ و ۸ سینئول بود (جدول ۴). گاما-ترپنین با فرمول شیمیایی $C_{10}H_{16}$ ، یک ترکیب آلی از دسته مونوترپن‌ها است که به‌طور طبیعی در بسیاری از گیاهان از جمله کاج (*Pinus*)، درخت عرعر (*Ailanthus altissima*)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، زیره سبز و لیمو ترش (*Citrus limon*) یافت می‌شود. این ترکیب دارای طعمی قوی و بوی خاص است. گاما-ترپنین با خواص متعدد در صنایع مختلف کاربرد دارد. از این ترکیب در تولید داروهای ضد عفونی‌کننده، ضد قارچ، ضد التهاب و آرام‌بخش استفاده می‌شود. همچنین، گاما-ترپنین به‌عنوان یک ماده معطر در تولید عطر، لوازم آرایشی و محصولات غذایی به‌کار می‌رود. در صنعت کشاورزی، این ترکیب به‌عنوان حشره‌کش و دافع حشرات استفاده می‌شود (Elyasi et al., 2022).

در پژوهش حاضر، به‌وضوح تنوع فیتوشیمیایی بین ترکیبات زیره سبز تولیدی چهار منطقه مشاهده شد. این تنوع نشان‌دهنده پتانسیل بالای مناطق مورد مطالعه است که می‌توان

براساس هدف موردنظر از بین آن‌ها انتخاب نمود. این نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات موجود در زیره به‌عنوان یک منبع غنی از ترکیبات فیتوشیمیایی می‌توانند در داروهای گیاهی و صنعت بهداشت نقش مهمی ایفا کنند (Allaq et al., 2020). از طرفی، تنوع موجود در ترکیبات فیتوشیمیایی نشان‌دهنده اهمیت تحقیقات بیشتر بر روی این گیاه است. در مطالعه‌ای تنوع بین توده‌های زیره موردبررسی به ژنتیک و شرایط محیطی رشد گیاه، نسبت داده شد (Moghaddam and Pirbalouti, 2017). تحقیقات روی توده‌ها و ارقام مختلف زیره در نقاط متفاوت به ما کمک می‌کند تا بهترین مکان با شرایط محیطی مختلف را برای استفاده در موارد مختلف انتخاب کرد. از طریق شناسایی و بررسی ترکیبات فیتوشیمیایی، می‌توان بهترین شرایط رشد برای گیاه زیره را شناسایی کرده و این گیاه را با خصوصیات مورد نظر تولید کرد. همچنین با تحلیل ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در زیره، می‌توان خواص دارویی و بهداشتی آن را بهبود بخشید.

۳-۲. همبستگی بین ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در زیره

سبز

یکی از ابزارهای آماری مهم برای بررسی ارتباط بین دو متغیر کمی، ضریب همبستگی است. درک ارتباط و همبستگی بین متغیرها و انتخاب صفات مناسب می‌تواند به نتایج صحیح‌تر در برنامه‌های مختلف منجر شود و بدون درک صحیح ارتباط و همبستگی بین متغیرها، ممکن است در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها خطاهای ناخواسته رخ دهد. نتایج همبستگی بین ترکیبات فیتوشیمی در زیره سبز چهار منطقه مورد بررسی شامل اسانس، گاما-ترپین-۷-آل، آلفا-ترپین-۷-آل، کومین آلدهید، ۴-ترنس-کارانون، گاما-ترپین، ۱ و ۸ سینئول، لیمون، پی-سیمن، آلفا-ترپین، آلفا-فلاندرن، مایرسین، بتا-پینن، ساینن، آلفا-پینن و آلفا-توجن در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بین برخی از صفات همبستگی مثبت یا منفی و بین برخی دیگر عدم همبستگی وجود دارد. نتایج همبستگی برای اسانس زیره نشان داد که این ترکیب با هیچ‌یک از ترکیبات فیتوشیمیایی دیگر همبستگی خاصی نداشت و تنها با کومین آلدهید همبستگی منفی داشت. نتایج همبستگی بین محتوای آلفا-توجن با بقیه ترکیبات

فیتوشیمی نشان داد که مقدار آلفا-توجن با دو ترکیب مایرسین و آلفا-فلاندرن دارای همبستگی مثبت می‌باشد. براساس نتایج محتوای آلفا-پینن با محتوای پی-سیمن همبستگی منفی و متوسطی به مقدار ۰/۶۱ درصد داشت. محتوای ساینن با برخی از ترکیبات فیتوشیمی موجود در زیره همبستگی مثبت (شامل بتا-پینن ۰/۸۵ درصد، مایرسین ۰/۷۵ درصد، آلفا-فلاندرن ۰/۶۱ درصد و آلفا-ترپین ۰/۶۵ درصد) و با برخی همبستگی منفی (پی-سیمن ۰/۷۰- و کومین آلدهید ۰/۷۱-) نشان داد. نتایج ضرایب همبستگی برای محتوای بتا-پینن نشان داد که این ترکیب که با محتوای مایرسین همبستگی مثبت و با محتوای کومین آلدهید همبستگی منفی و در سطح پنج درصد داشت. محتوای مایرسین با محتوای آلفا-فلاندرن همبستگی مثبت و قابل‌توجهی در سطح یک درصد نشان داد. همچنین ترکیب پی-سیمن همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داد ($r = -0.74$). آلفا-فلاندرن با محتوای پی-سیمن همبستگی منفی و شدیدی نشان داد، در حالی که با سایر ترکیبات همبستگی نداشت. نتایج همبستگی بین محتوای پی-سیمن با ترکیب کومین آلدهید، همبستگی مثبت و در سطح یک درصد و با ترکیبات فیتوشیمی آلفا-پینن، ساینن، مایرسین و آلفا-فلاندرن همبستگی منفی در سطح یک و پنج درصد داشت. نتایج همبستگی دو ترکیب فیتوشیمی لیمون و گاما-ترپین نشان داد که این ترکیبات فیتوشیمی با هیچ ترکیب دیگر در زیره‌های سبز مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان همبستگی نداشت. محتوای کومین آلدهید با محتوای گاما-ترپین-۷-آل همبستگی متوسط و در سطح یک درصد و منفی ($r = -0.68$) داشت که می‌توان از این میزان همبستگی به‌عنوان شاخصی برای انتخاب در برنامه‌ها و مطالعات بعدی استفاده نمود. همچنین محتوای آلفا-ترپین-۷-آل با هیچ کدام از ترکیبات فیتوشیمی همبستگی خاصی نشان نداد (جدول ۵). روابط همبستگی بین ترکیبات فیتوشیمیایی زیره سبز در این مطالعه نشان داد که می‌توان از این روابط به‌عنوان شاخصی برای تخمین مقادیر ترکیبات فیتوشیمیایی دیگر استفاده کرد. با بررسی روابط همبستگی بین ترکیبات فیتوشیمیایی زیره سبز، می‌توان با دقت بیشتری مقادیر ترکیبات دیگر را تخمین زد و از آن‌ها در برنامه‌های صنعتی، دارویی و سایر کاربردهای مرتبط بهره‌برداری کرد.

Table 4: The number and percentage of phytochemical compounds of cultivated cumin in various regions of Sistan and Baluchestan province

Name of the region	Number of combinations identified	Essential oil (%)	α -thujene (%)	α -Pinene (%)	Sabinene (%)	β -Pinene (%)	Myrcene (%)	α -phellandrene (%)	α -terpinene (%)	The percentage of identified compounds
Mirjaveh	15	2.63	0.42	0.89	0.98	18.01	1.11	0.70	0.14	100
Taftan	15	3.46	0.33	0.92	0.97	18.35	0.98	0.35	0.18	100
Khash	15	3.31	0.40	3.40	1.07	19.61	1.18	0.92	0.23	99.12
Zabol	15	2.35	0.39	1.00	0.96	18.38	1.03	0.49	0.18	100
Average phytochemical compounds		3.04	0.39	1.55	0.99	18.59	1.07	0.61	0.19	
Name of the region	Number of combinations identified	p-cymene (%)	limonene (%)	1,8-cineol (%)	γ -Terpinene (%)	trans-4 caranone (%)	cuminaldehyde (%)	α -Terpinene-7-al (%)	γ -Terpinene-7-al (%)	The percentage of identified compounds
Mirjaveh	15	7.74	0.24	0.30	27.08	1.00	14.52	3.47	23.52	100
Taftan	15	8.04	0.25	0.16	26.26	0.50	12.96	3.26	26.61	100
Khash	15	5.48	0.29	0.34	25.97	0.31	9.37	3.40	27.25	99.12
Zabol	15	8.44	0.65	0.32	26.05	0.59	14.57	2.63	24.44	100
Average phytochemical compounds		7.42	0.36	0.28	26.34	0.60	12.86	3.19	25.46	

Table 5: Correlation coefficients between phytochemical compounds cultivated cumin in various regions of Sistan and Baluchestan province

Phytochemical compounds	Essential oil	α -thujene	α -Pinene	sabinene	β -Pinene	Myrcene	α -phellandrene	α -terpinene	p-cymene	limonene	1,8-cineol	γ -Terpinene	4-trans-caranone	cuminaldehyde	α -Terpinene-7-al	γ -Terpinene-7-al
Cumin essential oil	1															
α -thujene	-0.43 ^{ns}	1														
α -Pinene	0.23 ^{ns}	0.17 ^{ns}	1													
sabinene	0.38 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.41 ^{ns}	1												
β -Pinene	0.37 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.85 ^{**}	1											
Myrcene	0.03 ^{ns}	0.70 [*]	0.38 ^{ns}	0.75 ^{**}	0.58 [*]	1										
α -phellandrene	0.04 ^{ns}	0.59 [*]	0.45 ^{ns}	0.61 [*]	0.36 ^{ns}	0.90 ^{**}	1									
α -terpinene	0.47 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	0.45 ^{ns}	0.65 [*]	0.65 [*]	0.40 ^{ns}	0.41 ^{ns}	1								
p-cymene	-0.42 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.61 [*]	-0.70 [*]	-0.48 ^{ns}	-0.74 ^{**}	-0.81 ^{**}	-0.70 ^{**}	1							
limonene	-0.34 ^{ns}	0.06 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.14 ^{ns}	1						
1,8-cineol	-0.40 ^{ns}	0.30 ^{ns}	0.57 [*]	0.28 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.48 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.31 ^{ns}	-0.44 ^{ns}	0.26 ^{ns}	1					
γ -Terpinene	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-0.10 ^{ns}	0.06 ^{ns}	1				
4-trans-caranone	-0.52 ^{ns}	0.39 ^{ns}	-0.34 ^{ns}	-0.38 ^{ns}	-0.48 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.11 ^{ns}	-0.84 ^{**}	0.49 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.14 ^{ns}	1			
cuminaldehyde	-0.58 [*]	0.02 ^{ns}	-0.52 ^{ns}	-0.71 ^{**}	-0.70 [*]	-0.54 ^{ns}	-0.56 ^{ns}	-0.79 ^{**}	0.83 ^{**}	0.42 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.72 ^{**}	1		
α -Terpinene-7-al	0.39 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.29 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	1	
γ -Terpinene-7-al	0.45 ^{ns}	-0.46 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.53 ^{ns}	-0.54 ^{ns}	0.28 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.28 ^{ns}	-0.73 ^{**}	-0.68 [*]	-0.28 ^{ns}	1

ns, *and **: non- significant and significant at 5% and 1% of probability levels , respectively

۳-۳. تجزیه مؤلفه‌های اصلی ترکیبات فیتوشیمیایی موجود

در زیره سبز

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به منظور تقلیل ابعاد، شناسایی مؤلفه‌های کلیدی و استخراج اطلاعات نهفته در داده‌ها به کار می‌رود. این روش با کاهش تعداد متغیرها و تمرکز بر ابعاد دارای بیشترین واریانس، پیچیدگی داده‌ها را کم کرده و به درک عمیق‌تر روابط بین صفات کمک می‌نماید. نتایج PCA نشان داد که دو مؤلفه اول (PC1 و PC2) بیش از ۸۱ درصد از کل تغییرات ژنتیکی را توجیه کرده‌اند (شکل ۱). زاویه بین بردارها نشان داد که ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در چهار منطقه استان سیستان و بلوچستان به طور کلی به سه گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل ترکیبات فیتوشیمیایی کومین آلدهید، ۴- ترنس-کارانون، گاما- ترپینن، لیمونن و پی-سیمن که دارای همبستگی مثبت بالایی با یکدیگر بودند. گروه دوم شامل ترکیبات فیتوشیمیایی آلفا- ترپینن-۷-آل، ۱ و ۸ سینئول، آلفا- فلاندرن، مایر سین و آلفا- توجن) را دارا بود. زیره کشت شده در مناطق تفتان و زابل در بای پلات دو بعدی دارای جایگاه متفاوتی بودند به طوری که می‌توان آن‌ها را در یک گروه قرار داد با این تفاوت که زیره منطقه زابل دارای بیشترین مقدار از ترکیبات فیتوشیمیایی گروه اول بود، در حالی که زیره شهرستان تفتان دارای بیشترین مقدار از ترکیبات گروه اول و گروه سوم بود. براساس نتایج بای پلات دو بعدی PCA می‌توان نتیجه گرفت که تنوع بین ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان بالا بوده و بنا بر هدف مورد نظر می‌توان اقدام به انتخاب زیره کشت شده در این چهار منطقه نمود.

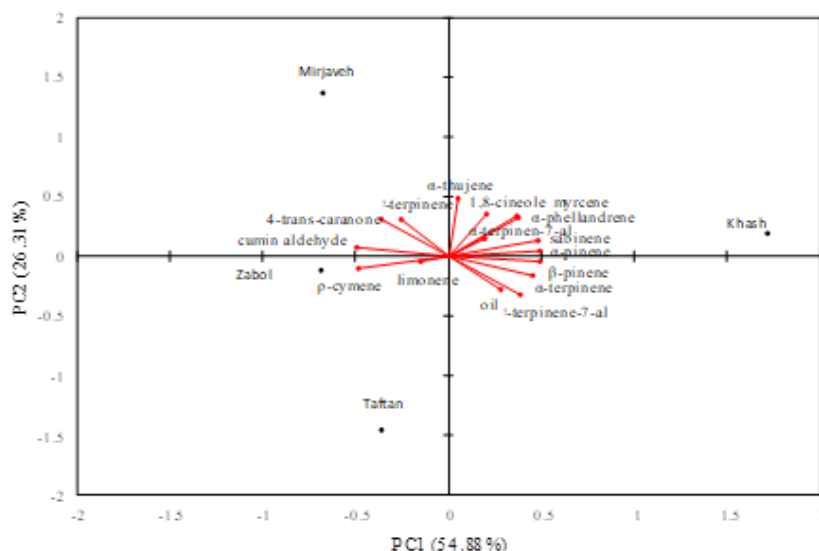


Fig 1: Two-dimensional PCA biplot for phytochemical compounds in four regions of Sistan and Baluchestan province

۴. نتیجه گیری کلی

بلوچستان، به عنوان یک ضرورت انکارناپذیر، اهمیتی دوچندان می یابد. براساس نتایج بای پلات دو بعدی PCA می توان اظهار نمود که تنوع بین ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در مناطق مختلف استان سیستان و بلوچستان بالا بوده و بنابر هدف مورد نظر می توان اقدام به انتخاب زیره کشت شده در این مناطق نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا و به تبع آن افزایش بارندگی و کاهش دما، درصد اسانس ترکیبات اسانس نظیر مایرسین و آلفا-فلاندرن و با کاهش ارتفاع و در نتیجه کاهش بارندگی و افزایش دما، ترکیبات فیتوشیمیایی کومین آلدهید و پی سیمن افزایش یافتند. باتوجه به میزان اسانس استحصالی و نیز برخی ترکیبات ارزشمند اسانس در زیره سبز کشت شده در مناطق تفتان و خاش، می توان نتیجه گیری کرد، ارتفاع از سطح دریا تأثیر مثبتی در عملکرد کیفی این محصول دارد و مناطق مذکور برای تولید اقتصادی زیره سبز، مطلوب تر می باشند. همچنین این مناطق می توانند به عنوان مکان مناسب برای تحقیقات بعدی در زمینه تولید این ترکیبات فیتوشیمیایی معرفی گردند. با توجه به این که ترکیبات فیتوشیمیایی گیاهان دارویی تحت تأثیر فیزیک و شیمی خاک قرار می گیرند، و این که تجزیه خاک در این مطالعه انجام نشده است، پیشنهاد می گردد که برای دستیابی به نتایج کاملاً دقیق تر در این خصوص، باید مطالعات آتی با انجام آنالیز خاک توأم باشد.

به طور کلی و براساس نتایج حاصل از این مطالعه، زیره کشت شده در چهار منطقه علاوه بر تفاوت در درصد اسانس، از نظر ترکیبات فیتوشیمیایی موجود در اسانس نیز متفاوت بودند و در مجموع ۱۵ ترکیب فیتوشیمیایی با مقادیر متفاوت شناسایی شد. ترکیب شیمیایی اسانس های گیاهی تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی قرار گرفت. در این پژوهش درصد اسانس زیره های سبز تولیدی مناطق مختلف در محدوده ۳/۵۶-۲/۴۴ درصد متغیر بود. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که، مناطق مورد بررسی از نظر پنج ترکیب فیتوشیمیایی دارای اختلاف معنی دار بودند و بر این اساس، بیشترین درصد اسانس در زیره سبز تولیدی منطقه تفتان، بیشترین درصد مایرسین و آلفا-فلاندرن در زیره سبز تولیدی منطقه خاش و بیشترین درصد کومین آلدهید و پی سیمن در زیره سبز تولیدی منطقه زابل به دست آمد. باتوجه به اثرات دارویی گسترده زیره سبز، وجود بازار جهانی برای این محصول و شرایط خاص اکولوژیکی مورد نیاز برای کشت آن، یافتن مناطق مستعد با بازده اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی بالا مطابق با استانداردهای جهانی، حائز اهمیت است؛ بنابراین، تعیین مقدار اسانس، شناسایی انواع ترکیبات فیتوشیمیایی و ارتباط بین آنها و همچنین ارزیابی پتانسیل تولید متابولیت های ثانویه گیاهی در شرایط اقلیمی و اکولوژیکی استان سیستان و

۵. منابع

- Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Faravani, M., Zeinali, H., Amiri Larijani, B., Roshan Sarvestani, V., Jalilian, N., Kudori, M.H., Goodarzi, Gh., Balaei, Zh., Sefidkon, F., Azimi, R., Naderi, B., Valizadeh, N. and Palooj, A. (2021). Evaluation of phytochemical diversity of *cuminum cyminum* L. essential oil components collected from different farms in Khorasan Razavi province. *Technology of Medicinal and Aromatic Plants of Iran*, 3(2): 15-30. (In Persian).
<https://doi.org/10.22092/mpt.2021.353802.1071>
- Adams, R. P. (1994). Identification of essential oil components by Gas chromatography/Mass spectroscopy. Allured publishing corporation, Illinois.
- Allaq, A. A., Sidik, N. J., Abdul-Aziz, A. and Ahmed, I. A. (2020). Cumin (*Cuminum cyminum* L.): A review of its ethnopharmacology, phytochemistry. *Biomedical Research and Therapy*, 7(9): 4016-4021.
<https://doi.org/10.15419/bmrar.v7i9.634>
- Askari, F., Mirza, M., Golipour, M. and Qomi, S. F. (2019). Essential oil compositions of wild and cultivated *Achillea millefolium* L. subsp. *elbursensis*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 35(1): 1-11.
- Bahrani, H., Armin, M., Jamimoeini, M. and Abhari, A. (2024). Yield and essential Oil Quality of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) in Relation to Irrigation Regimes under Conventional and Organic Conditions. *National Academy Science Letters*, 47: 323-237. <https://doi.org/10.1007/s40009-023-01276-1>.
- Chaudhry, Z., Khera, R. A., Hanif, M. A., Ayub, M. A. and Sumrra, S.H. (2020). Cumin. In *Medicinal plants of South Asia* (pp. 165-178). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00013-6>
- Elyasi, R., Majdi, M., Krause, S.T., Kucukay, N., Azizi, A. and Degenhardt, J. (2022). Identification and functional characterization of a γ -terpinene synthase in *Nigella sativa* L (black cumin). *Phytochemistry*, 202, p.113290.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113290>

- Ghasemi Pirbalouti, A.G., Hashemi, M. and Ghahfarokhi, F.T. (2013) Essential oil and chemical compositions of wild and cultivated *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*, 48:43–48. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.004>.
- Gholami, S.G., Hassani, A., Hassanpouraghdam, M. B., Meshkatsadat, M. and Pirzad, A. (2012) Essential oil content and composition of *Thymus migricus* Klokov & Desj-Shost. Affected by plant growth stage and wild habitat altitude. *Romanian Biotechnology Letters*, 17 (1):6982–6988. <https://www.researchgate.net/publication/233842876>
- Habibi, H., Mazaheri, D. M., Hosseini, N.C., Fakhr-Tabatabaee, M.R.M. and Bigdeli, M. (2006) Effect of altitude on essential oil and components in wild thyme (*Thymus kotschyanus* Boiss) Taleghan region. *Iran Pajouhesh Sazandegi*, 73:2–10 (In Persian)
- Haghir Ebrahimabadi, A. H., Hatami, M., Karimzadeh, A. and Ghorbanpour, M. (2018). Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essential oil constituents in *Cuminum cyminum* L. *Journal of Medicinal Plants*, 17(66): 74-90. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2018.17.66.3.1>
- Haghirsadat, B. B. F., Vahidi, A., Sabor, M. H., Azimzade, M., Kalantar, S. M. and Sharafadini, M. (2011). Evaluation of active components and antioxidant properties of essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) native Yazd province. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*, 19(4): 472-481. (In Persian)
- Hashemi Moghaddam, H., Jafari, A. A., Sefidkon, F. and Kalate Jari, S. (2023). Influence of climatic factors on essential oil content and composition of 20 populations of *Nepeta binaludensis* Jamzad from Iran. *Applied Biological Chemistry*, 66(2): 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13765-022-00750-6>
- Hashemian, N., Pirbalouti, A. G., Hashemi, M., Golparvar, A. and Hamed, B. (2013). Diversity in chemical composition and antibacterial activity of essential oils of cumin (*Cuminum cyminum* L.) diverse from northeast of Iran. *Australian Journal of Crop Science*, 7(11): 1752-1760. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.644964223146210>
- Hasimi, N., Tolan, V., Kizil, S. and Kilinc, E. (2014). Anason (*Pimpinella anisum* L.) ve kimyon (*Cuminum cyminum*) tohumlarının uçucu yağ içeriği, antimikrobiyal ve antioksidan özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 20(1): 19-26. <https://doi.org/10.15832/tbd.99197>
- Karik, U., Demirbolat, I., Toluk, Ö. and Kartal, M. (2021). Comparative study on yields, chemical compositions, antioxidant and antimicrobial activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seed essential oils from different geographic origins. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24(4): 724-735. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1983472>
- Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A. and Mohammadi-Nejad, G. (2021). Screening of Iranian Cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes under normal moisture and drought conditions using tolerance indices. *Journal of Ethno-Pharmaceutical Products*, 2(1): 17-22.
- Karousou, R., Koureas, D.N. and Kokkini, S. (2005) Essential oil composition is related to the natural habitats: *Coridothymus capitatus* and *Satureja thymbra* in NATURA 2000 sites of Crete. *Phytochemistry*, 66:2668–2673. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.09.020>
- 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>
- Kofidis, G. and Bosabalidis, A. M. (2008) Effects of altitude and season on glandular hairs and leaf structural traits of *Nepeta nuda* L. *Botanical Studies*, 49: 363–372.
- Koohsari, S., Sheikholeslami, M. A., Parvardeh, S., Ghafghazi, S., Samadi, S., Poul, Y. K., Pouriran, R. and Amiri, S. (2020). Antinociceptive and antineuropathic effects of cuminaldehyde, the major constituent of *Cuminum cyminum* seeds: Possible mechanisms of action. *Journal of ethnopharmacology*, 255: 112786. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112786>
- Korinek, M., Handoussa, H., Tsai, Y.H., Chen, Y. Y., Chen, M. H., Chiou, Z. W., Fang, Y., Chang, F. R., Yen, C. H., Hsieh, C. F. and Chen, B. H. (2021). Anti-inflammatory and antimicrobial volatile oils: Fennel and cumin inhibit neutrophilic inflammation via regulating calcium and MAPKs. *Frontiers in pharmacology*, 12: 674095. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.674095>
- Layegh Haghighi, M., Hassanpour Asil, M., Abbaszadeh, B., Sefidkon, F. and Matiniazadeh, M. (2017) Investigation of altitude on morphological traits and essential oil composition of *Nepeta pogonosperma* Jamzad and Assadi from Alamut region. *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 6(1):35–40. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2017.113148>
- Mandal, M. and Mandal, S. (2016). Cumin (*Cuminum cyminum* L.) oils. In essential oils in food preservation, flavor and safety (pp. 377-383). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00042-0>
- Moghaddam, M. and Pirbalouti, A.G. (2017). Agro-morphological and phytochemical diversity of Iranian *Cuminum cyminum* accessions. *Industrial crops and products*, 99: 205-213. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.003>
- Mohammadghasemi, M., Karim, M. H., Dahmardeh, M. and Ghasemi, A. (2021). The prospect of investment in medicinal plants at sisthan region1. *Journal of Medicinal plants and By-product*, 10(2): 127-132. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2021.342441.1195>
- Mughal, S. S. (2022). A review on potential antioxidant effects of Cumin (*Cuminum cyminum*), phytochemical Profile and its uses. *Authorea Preprints*, 2: 54-63. <https://doi.org/10.22541/au.166401164.45578619/v1>

- Nirmala, M. J., Durai, L., Rao, K. A. and Nagarajan, R. (2020). Ultrasonic nanoemulsification of cuminum cyminum essential oil and its applications in medicine. *International journal of nanomedicine*, 1: 795-807. <https://doi.org/10.2147/IJN.S230893>
- Nollet, L.M. (2023). Terpenes and Terpenoids Containing Food Spices. In *Analysis of Food Spices* (pp. 19-28). CRC Press.
- Priya, E. S., Selvan, P. S. and Yavanarajan, A. (2015). Chemotypic variation in clove oil and lemongrass oil obtained from three different geographical locations of India. *Journal of Pharmacognosy and Natural Products*, 1(102): 2472-2492. <https://doi.org/10.4172/2472-0992.1000102>
- Ravi, R., Prakash, M. and Bhat, K.K. (2013). Characterization of aroma active compounds of cumin (*Cuminum cyminum* L.) by GC-MS, E-Nose, and sensory techniques. *International Journal of Food Properties*, 16: 1048-1058. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.576356>
- Singh, R. P., Gangadharappa, H.V. and Mruthunjaya, K. (2017). Cuminum cyminum—A popular spice: An updated review. *Pharmacognosy journal*, 9(3): 245-253. <https://doi.org/10.5530/pj.2017.3.51>
- Srinivasan, K. (2022). Anti-inflammatory influences of culinary spices and their bioactives. *Food Reviews International*, 38: 1-17. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1839761>
- Surendran, S., Qassadi, F., Surendran, G., Lilley, D. and Heinrich, M. (2021). Myrcene-what are the potential health benefits of this flavouring and aroma agent. *Frontiers in nutrition*, 8: 1-14. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.699666>
- Thangaleela, S., Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., Tiyyamorn, T., Bharathi, M. and Chaiyasut, C. (2022). A narrative review on the bioactivity and health benefits of alpha-phellandrene. *Scientia Pharmaceutica*, 90: 57-63. <https://doi.org/10.3390/scipharm90040057>
- Torras, J., Grau, M. D., López, J.F. and De Las, H. F. X. C. (2007) Analysis of essential oils from chemotypes of *Thymus vulgaris* in Catalonia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87:2327–2333. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2995>
- Vokou, D., Kokkini, S. and Bessiere, J. M. (1993) Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils. *Biochemical Systematics and Ecology*, 21(2):287–295. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(93\)90047-U](https://doi.org/10.1016/0305-1978(93)90047-U)