

Eucalyptus (*Eucalyptus* spp) Essential Oil in Northern Iran: A Comparative Analysis of Chemical Composition with International Standards and Leading Global Producers

Z. Ziaei Movahhed¹, A. Yadollahi^{1*}, L. Samiei², M. T. Ebadi¹, A. Mokhtassi-Bidgoli³

1- Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Department of Horticulture and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(*- Corresponding author's Email: yadollah@modares.ac.ir)

Received: 20 April 2025

Revised: 24 August 2025

Accepted: 08 September 2025

Available Online: 08 September 2025

How to cite this article:¹

Ziaei Movahhed, Z., Yadollahi, A., Samiei, L., Ebadi, M. T., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2026). Eucalyptus (*Eucalyptus* spp) essential oil in Northern Iran: A comparative analysis of chemical composition with international standards and leading global producers. *Journal of Horticultural Science*, 40(1), 129-144. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93102.1425>

Introduction

Eucalyptus essential oils are among the most commercially important plant-derived oils due to their high content of bioactive terpenoid compounds, particularly 1,8-cineole and α -pinene, which are widely used in pharmaceutical, food, cosmetic, and hygienic products. In recent years, the increasing global demand for natural and plant-based ingredients has further enhanced the industrial significance of eucalyptus essential oils. Although various *Eucalyptus* species have been introduced and cultivated in different regions of Iran, comprehensive comparative information on the yield and chemical quality of locally produced oils, especially in relation to international standards, remains limited. Among the cultivated species, *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus camaldulensis* are of particular economic and industrial importance. Evaluating their essential oil characteristics under local climatic conditions is crucial for assessing their suitability for industrial applications and their potential competitiveness in global markets. Therefore, the present study aimed to analyze and compare the essential oil yield and chemical composition of *E. globulus* and *E. camaldulensis* cultivated in Northern Iran, with special emphasis on their conformity with ISO 770:2002 and ISO 3065:2011 standards and their potential industrial value.

Materials and Methods

Fresh leaves of *E. globulus* and *E. camaldulensis* were collected from mature trees grown in the Behshahr region of Mazandaran Province, Northern Iran, an area characterized by a humid temperate climate. To minimize the loss of volatile compounds, the leaves were shade-dried under controlled conditions at 24 °C and 40% relative humidity. Essential oils were extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus for three hours, and oil yield was calculated on a dry weight basis. The chemical composition of the extracted essential oils was determined using gas chromatography (GC) and gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) equipped with a DB-5 capillary column. Compound identification was carried out by comparing mass spectra and retention indices with those reported in the Wiley7 and Adams spectral libraries. The resulting chemical profiles were evaluated and interpreted in accordance with the requirements of ISO 770:2002 and ISO 3065:2011 standards.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93102.1425>

Results and Discussion

The results demonstrated a clear difference in essential oil yield between the two species. *E. globulus* exhibited a higher oil yield (2.6%) compared with *E. camaldulensis* (1.2%), indicating superior productivity under the studied environmental conditions. In both species, oxygenated monoterpenes constituted the dominant class of compounds; however, their relative proportions varied substantially. In the essential oil of *E. globulus*, 1,8-cineole was the predominant compound, accounting for 83.19% of the total oil composition. This value fully satisfied the minimum cineole requirements specified in both ISO 770:2002 and ISO 3065:2011 standards, confirming the high quality of this oil and its suitability for pharmaceutical, food-grade, and medicinal applications. Comparative evaluation with previously reported data from other regions indicated that the chemical profile and yield of *E. globulus* essential oil produced in Northern Iran are highly competitive at the international level. In contrast, the essential oil of *E. camaldulensis* contained a lower proportion of 1,8-cineole (39.46%), which did not meet the cineole thresholds defined by the ISO standards. Nevertheless, this oil exhibited a more chemically diverse composition, characterized by notable amounts of α -pinene (13.28%), p-cymene (11.83%), spathulenol (7.38%), and caryophyllene oxide (2.33%). The broader distribution of monoterpene and sesquiterpene compounds suggests that, despite its lower cineole content, *E. camaldulensis* essential oil may be advantageous for specialized industrial applications requiring a more complex terpene profile, such as fragrance formulation, antimicrobial products, and functional additives.

Conclusion

This study demonstrates the high potential of Iranian Eucalyptus essential oils. *E. globulus* showed superior yield and composition in line with global quality standards, rendering it suitable for pharmaceutical and food industries. *E. camaldulensis*, with its chemically diverse profile, offers promising opportunities for broader industrial applications. Given Iran's availability of suitable cultivation zones and the growing demand for sustainable plant-based raw materials, the expansion of Eucalyptus farming and essential oil production could strengthen Iran's position in the international essential oil sector. Further research is encouraged to improve cultivation practices and support industrial-scale development.

Acknowledgements

This research was financially supported by Tarbiat Modares University, for which the authors are sincerely grateful.

Keywords: Gas chromatography, ISO standard, Monoterpene, Sesquiterpene

اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus spp*) در شمال ایران: مقایسه ترکیبات با استانداردهای جهان

و تولیدکننده‌های برتر

زکيه ضيائي موحد^۱ - عباس يداللهی^{۱*} - ليلا سمیعی^۲ - محمدتقی عبادی^۱ - علی مختصی بيدگلی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷

چکیده

اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus spp*) به دلیل داشتن ترکیباتی نظیر ۱،۸-سینئول و آلفاپینن، در صنایع مختلف از جمله دارویی و غذایی کاربرد زیادی دارد. با وجود معرفی گونه‌های مختلف این گیاه در ایران، مطالعات تطبیقی اندکی در زمینه مقایسه کیفیت و کمیت اسانس‌ها با گونه‌های دیگر در ایران و کشورهای دیگر صورت گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی ترکیبات شیمیایی اسانس *E. globulus* و *E. camaldulensis* در شمال ایران و مقایسه آن با استانداردهای جهانی انجام شد. برگ‌ها از منطقه بهشهر جمع‌آوری و اسانس به روش تقطیر با آب استخراج گردید. بازده اسانس‌ها با فرمول وزنی-وزنی محاسبه و ترکیبات شیمیایی با روش‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی شناسایی شد. بازده در *E. globulus* ۲/۶ درصد و در *E. camaldulensis* ۱/۲ درصد بود. ۱،۸-سینئول، ترکیب غالب هر دو گونه بود. *E. globulus* با ۸۳/۱۹ درصد ۱،۸-سینئول کاملاً منطبق با استاندارد ISO 3065:2011 بود، درحالی‌که مقدار ۱،۸-سینئول در *E. camaldulensis* (به مقدار ۳۹/۴۶ درصد) پایین‌تر از حد استاندارد قرار داشت. آلفاپینن در *E. globulus* به مقدار ۷/۲۴ درصد در محدوده استاندارد و در *E. camaldulensis* به مقدار ۱۳/۲۸ درصد بالاتر از حد استاندارد قرار داشت. مقدار ترکیب ۱،۸-سینئول *E. globulus* در محدوده استاندارد ISO 770:2002 قرار داشت و آلفاپینن اندکی کمتر از حداقل استاندارد بود. مطابقت ترکیب اصلی *E. globulus* با استانداردها، آن را به گزینه مناسبی به منظور استفاده در صنایع دارویی و غذایی تبدیل می‌کند. هرچند *E. camaldulensis* از نظر مقدار ۱،۸-سینئول با استانداردها مطابقت نداشت، اما دارا بودن درصد بالای آلفاپینن و ترکیبات متنوع‌تر، این اسانس را برای کاربردهایی که به مونوترپن‌های متنوع نیاز دارد، مناسب می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: استاندارد ایزو، سزکوئی‌ترین، کروماتوگرافی گازی، مونوترپن

مقدمه

اکالیپتوس (*Eucalyptus spp*) بزرگ‌ترین جنس خانواده میرتاسه^۴ است که بیش از ۹۰۰ گونه و زیرگونه را شامل می‌شود. این جنس دامنه وسیعی از گیاهان از جمله درختچه‌های کوچک انعطاف‌پذیر تا درختان مرتفع و گسترده را در برمی‌گیرد. خاستگاه اصلی آن استرالیا است، اما امروزه در بسیاری از کشورهای جهان کشت می‌شود (Yost

et al., 2021). در بین گونه‌های مختلف، *E. camaldulensis* و *E. globulus* از نظر اقتصادی و صنعتی اهمیت ویژه‌ای دارد. *E. camaldulensis* به دلیل رشد سریع، تحمل بالا در برابر خشکی و مقاومت به شرایط محیطی سخت، بیشتر در مناطق نیمه‌خشک و خشک کاشته می‌شود و علاوه بر تولید چوب و کاغذ، به عنوان منبع اسانس‌های دارویی کاربرد دارد و در فضای سبز شهری نیز مورد استفاده است (Hirsch et al., 2020). در مقابل، *E. globulus* عمدتاً به عنوان منبع اصلی تولید تجاری اسانس اکالیپتوس شناخته می‌شود. این گونه به رطوبت بیشتری نیاز داشته و در مناطق مرطوب رشد بهتری دارد (Costa et al., 2022). در حال حاضر، بیش از ۱۳ میلیون هکتار از اراضی جهان به کشت اکالیپتوس اختصاص یافته است که بخش عمده آن در تولید محصولات دارویی و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایران حدود ۹۵۰۰ هکتار *E.*

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۳- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(Email: yadollah@modares.ac.ir)(*)- نویسنده مسئول: <https://doi.org/10.22067/jhs.2025.93102.1425>

4- Myrtaceae

camaldulensis در استان‌های گرمسیری جنوب کشور مانند خوزستان، هرمزگان و بوشهر کشت شده است و حدود ۱۰۰ هزار هکتار در استان خوزستان به‌عنوان مناطق مستعد به‌منظور کشت اکالیپتوس شناسایی شده است (National Poplar and Fast-growing Trees Commission of Iran, 2024). گسترش جهانی کشت اکالیپتوس به عواملی همچون فراوانی گونه‌ها و تنوع ژنتیکی بالا، سازگاری اکولوژیک بالا، تحمل به تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری، قابلیت رشد در خاک‌های فقیر، مقاومت نسبی در برابر تغییرات اقلیمی و مقاومت بالا به آفات و بیماری‌ها بستگی دارد. این ویژگی‌ها همراه با کاربردهای گسترده در صنایع مختلف به‌ویژه صنایع دارویی و غذایی موجب توجه روزافزون به این جنس شده است. اسانس حاصل از برگ‌ها و پوست ساقه اکالیپتوس در طب سنتی و پزشکی کاربرد گسترده دارد (Abiri et al., 2020). در حوزه تجارت جهانی اسانس‌های گیاهی، اسانس اکالیپتوس تا سال ۲۰۲۰ پس از اسانس مرکبات، دومین اسانس پرکاربرد در صنایع مختلف از جمله داروسازی بوده و یکی از شش اسانس پرکاربرد در صنایع غذایی جهان به شمار می‌رود (Sharmeen et al., 2021). اگرچه گونه‌های مختلف اکالیپتوس از سال‌ها پیش به ایران وارد شده و پژوهش‌های متعددی درباره سازگاری، عملکرد و محصولات آن‌ها انجام شده است، اما داده‌های موجود درباره مقایسه کمی و کیفی اسانس‌های تولیدشده در شرایط اقلیمی ایران با استانداردهای بین‌المللی و نمونه‌های سایر کشورها محدود است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ترکیب شیمیایی اسانس‌های *E. globulus* و *E. camaldulensis* در شمال ایران و مقایسه آن‌ها با استانداردهای جهانی ISO 3065:2011 (British Standards Institution, 2012) و ISO 770:2002 (International Organization for Standardization, 2002) و نتایج گزارش‌شده از نقاط دیگر ایران و تولیدکنندگان برتر جهان انجام شده است. این مطالعه با رویکرد مقایسه هم‌زمان درون‌گونه‌ای و بین‌المللی، می‌تواند به شناخت بهتر پتانسیل‌های صنعتی و تجاری اسانس اکالیپتوس داخل کشور کمک کرده و امکان ارزیابی جایگاه رقابتی آن را در بازار جهانی اسانس فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

برگ درختان *E. globulus* و *E. camaldulensis* در شهریورماه و در یک روز از درختان بالغ با بیش از ۳۰ سال سن در ایستگاه تحقیقات زاغمرز در منطقه بهشهر واقع در استان مازندران با مشخصات جغرافیایی ۵۳° و ۳۲' طول شرقی و ۳۶° و ۴۱' عرض شمالی و ارتفاع ۱۵ متری از سطح دریا جمع‌آوری گردید. منطقه بهشهر به‌دلیل قرارگیری در کوهپایه‌های شمالی رشته‌کوه البرز، از

آب‌وهوای معتدل خزری برخوردار است. میانگین رطوبت نسبی سالانه بین ۷۳ تا ۸۵ درصد و میانگین بارندگی سالانه در حدود ۴۰۵ تا ۶۳۸ میلی‌متر گزارش شده است (Eskandari & Jalilvand, 2017). این پژوهش در آزمایشگاه گروه باغبانی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گردید. برگ‌ها در سایه و به دور از نور خورشید به مدت یک هفته در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰ درصد خشک گردید. ۴۰ گرم از نمونه‌های برگ به مدت سه ساعت با استفاده از دستگاه کلونجر و به‌روش تقطیر با آب (در سه تکرار) اسانس‌گیری شد. پس از جداسازی کامل اسانس، آب جزئی موجود در اسانس به‌وسیله سدیم سولفات حذف گردید و اسانس‌ها در ظروف تیره‌رنگ در دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Chen et al., 2021). درصد بازده اسانس با استفاده از فرمول بازده اسانس تعیین گردید (Jaimand & Rezaee, 2004).

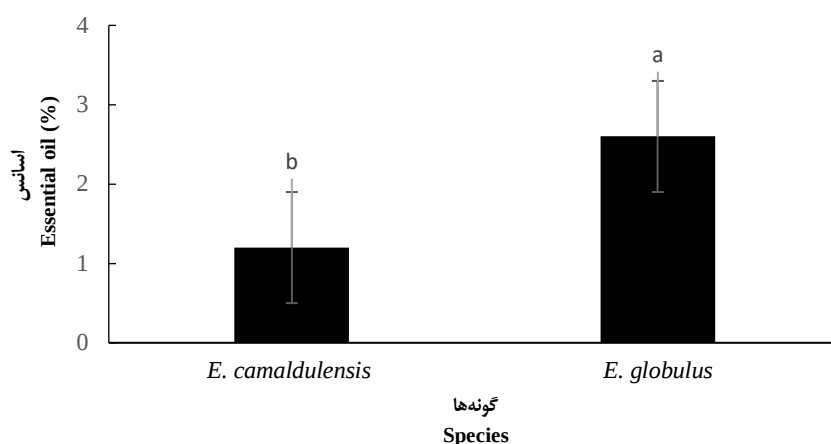
۱۰۰ × (وزن خشک گیاه/وزن اسانس) = درصد بازده اسانس
تعیین درصد و نوع ترکیبات شیمیایی اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی^۱ و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی^۲ در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور صورت گرفت. کروماتوگرافی گازی Agilent 7890A مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله و ستون موئین DB-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. برنامه دمایی از ۶۰ درجه سانتی‌گراد آغاز و با سرعت ۳ و ۲۰ درجه در دقیقه به‌ترتیب تا دمای ۲۲۰ و سپس ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. تجزیه و تحلیل کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی توسط دستگاه Agilent 7890A/5975C با ستون DB-5 به طول ۱۲ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر انجام شد. برنامه دمایی مشابه کروماتوگرافی گازی بود و دما به مدت ۵ دقیقه در ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. گاز حامل هلیوم با سرعت ۳۰/۶ سانتی‌متر بر ثانیه و نسبت تقسیم ۱:۱۰۰ به کار رفت. ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت و محدوده جرم بین ۴۰ تا ۳۰۰ واحد جرمی اتمی تنظیم شد. شناسایی ترکیبات با تطبیق طیف جرمی نمونه‌ها با کتابخانه‌های طیفی Wiley7 و Adams انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این تحقیق، بازده اسانس *E. globulus* و *E. camaldulensis* به‌ترتیب ۱/۲ درصد و ۲/۶ درصد محاسبه گردید که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار میزان تولید اسانس بین دو گونه بود (شکل ۱).

1- Gas Chromatography (GC)

2- Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)



شکل ۱- بازده متوسط اسانس در دو گونه اکالیپتوس
Figure 1- Average essential oil yield in two *Eucalyptus* species

حروف متفاوت در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد احتمال براساس آزمون t با واریانس نابرابر است.

Different letters above the columns indicate a significant difference at the 1% level of probability based on the t-test with unequal variances

ترکیبات اسانس *E. camaldulensis*

نتایج نشان داد که از مجموع ۳۱ ترکیب شناسایی شده در اسانس *E. camaldulensis* ترکیب ۱-۸-سینئول^۱ به مقدار ۳۹/۴۶ درصد ترکیب غالب بود. دومین ترکیب آلفا پینن^۲ به مقدار ۱۳/۲۸ درصد شناسایی گردید. پاراسایمن^۳ به مقدار ۱۱/۸۳ درصد، اسپاتولنول^۴ به مقدار ۷/۳۸ درصد و کرایپتون^۵ به مقدار ۵/۸۸ درصد به ترتیب دیگر ترکیبات غالب بودند. این ترکیبات نزدیک به ۷۸ درصد از کل ترکیبات موجود در اسانس را شامل شد و ۲۶ ترکیب باقی‌مانده تنها ۲۲ درصد از مجموع ترکیبات اسانس بود. دو ترکیب ۱-۸-سینئول و آلفا پینن بیش از ۵۰ درصد از ترکیبات *E. camaldulensis* را تشکیل داد. در اسانس *E. globulus* در مجموع ۱۸ ترکیب شناسایی شد که بیشترین ترکیب ۱-۸-سینئول به مقدار ۸۳/۱۹ درصد و آلفا پینن به مقدار ۷/۲۴ درصد بود. ۱-۸-سینئول و آلفا پینن بیش از ۹۰ درصد ترکیبات را در بر گرفت و دیگر ترکیبات باقی‌مانده ۱۰ درصد اسانس را تشکیل داد (جدول ۱).

اجزای اسانس *E. globulus* و *E. camaldulensis*

ترکیبات شیمیایی شناسایی شده در اسانس *E. camaldulensis* به دو گروه مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌ها تقسیم گردید. مونوترپن‌ها شامل مونوترپن‌های هیدروکربنی (۳۰/۱۱ درصد) و مونوترپن‌های

اکسیژن‌دار (۵۱/۷۲ درصد) بود. مجموع درصد مونوترپن‌ها ۸۱/۸۳ درصد از کل اسانس را تشکیل داد. سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنی ۱/۰۶ درصد و سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن‌دار ۱۰/۹۲ درصد بود. مجموع ترکیبات هیدروکربنی مونوترپنی و سزکوئی‌ترینی ۳۱/۱۷ درصد از کل اسانس و مجموع ترکیبات اکسیژن‌دار مونوترپنی و سزکوئی‌ترینی ۶۲/۶۴ درصد از اسانس بود. در اسانس *E. globulus* مونوترپن‌ها ۹۶/۵ درصد از ترکیبات را شامل شد. مونوترپن‌های اکسیژن‌دار و هیدروکربنی به ترتیب ۸۸/۷ درصد و ۷/۸ درصد ترکیبات را تشکیل داد. سزکوئی‌ترین‌ها با ۲/۸ درصد، سهم کمتری از ترکیبات را داشت و سهم سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن‌دار و هیدروکربنی به ترتیب ۲/۳ درصد و ۰/۵ درصد بود. در مجموع، اسانس هر دو گونه اکالیپتوس بیشتر از ترکیبات اکسیژن‌دار تشکیل شد، اما درصد ترکیبات اکسیژن‌دار در *E. globulus* بیشتر از *E. camaldulensis* بود. اسانس *E. camaldulensis* عمدتاً از مونوترپن‌ها تشکیل شده بود؛ اما درصد ترکیب ۱-۸-سینئول آن نسبت به *E. globulus* کمتر بود و در عوض سهم بیشتری از سزکوئی‌ترین‌ها مانند اسپاتولنول و کریوفیلن اکساید^۶ را دارا بود (جدول ۲).

مقایسه ترکیبات اصلی اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus* با استاندارد ISO 3065:2011 اکالیپتوس‌های استرالیایی

در تحقیق حاضر، مقدار ۱-۸-سینئول *E. globulus* به مقدار ۸۳/۱۹ درصد مطابق با استانداردهای ISO 3065:2011 بود؛ اما

- 1- 1,8-Cineole
- 2- α -Pinene
- 3- ρ -Cymene
- 4- Spathulenol
- 5- Cryptone

مقدار ۱٫۸-سینئول *E. camaldulensis* (۳۹/۴۶ درصد) کمتر از استاندارد بود. آلفا پینن *E. globulus* به مقدار ۷/۲۴ درصد مطابق با استاندارد بود. آلفا پینن *E. camaldulensis* به مقدار ۱۳/۲۸ استاندارد بود، اما مقدار آلفا پینن *E. camaldulensis* به مقدار ۱۳/۲۸ استاندارد بود، درصد بیشتر از استاندارد ISO 3065:2011 بود (جدول ۳).

جدول ۱- ترکیب‌های اسانس در *E. globulus* و *E. camaldulensis*
Table 1- Essential oil components of *E. camaldulensis* and *E. globulus*

شماره Number	ترکیب Compound	<i>E. camaldulensis</i>		<i>E. globulus</i>	
		شاخص بازداری Retention index (RI)	درصد Percentage	شاخص بازداری Retention index (RI)	درصد Percentage
1	α -Thujene	928	0.8		
2	α -Pinene	939	13.28	940	7.24
3	β -Pinene	982	0.63	983	0.23
4	Myrcene	987	0.56	989	0.25
5	α -Phellandrene	1009	0.47		
6	ρ -Cymene	1030	11.83		
7	Limonene	1035	4.32		
8	1,8-Cineole	1041	39.46	1045	83.19
9	γ -Terpinene	1062	0.35		
10	Linalool	1099	0.52	1103	0.24
11	Dihydro Sabina Ketone	1124	0.36		
12	Trans-Pinocarveol + Trans-Sabinol	1139	0.66	1140	1.16
13	Trans-Verbenol	1142	0.27		
	Pinocarvone			1156	0.27
14	Borneol	1164	0.65		
15	Terpinen-4-ol	1169	1.8	1169	0.26
16	Cryptone	1176	5.88	1174	0.5
17	α -Terpineol	1179	1.62	1180	1.24
18	Verbenone	1213	0.35		
19	Cumin Aldehyde	1249	1.15	1250	0.33
20	Dihydrolinalool Acetate	1283	0.56		
21	Methyl Myrtenate	1296	0.35		
22	α -Terpinyl Acetate	1338	0.8	1338	0.53
23	Aromadendrene	1441	0.67	1441	0.53
24	Allo-Aromadendrene	1462	0.39		
25	Bicyclogermacrene	1490	0.6		
26	Spathulenol	1568	7.38	1566	0.31
27	Caryophyllene Oxide	1574	2.33	1574	1.51
28	Viridiflorol	1581	0.47	1580	0.32
29	Guaiol	1606	0.33		
30	β -Atlantol	1610	0.49		
31	Allo-Aromadendrene Epoxide	1634	0.39	1633	0.22
32	Unknown			1657	0.67
	جمع Total	38550	99.7	24575	99

جدول ۲- گروه‌های اجزای اسانس *E. globulus* و *E. camaldulensis*

Table 2- Compound groups of essential oils from *E. camaldulensis* and *E. globulus*

ترکیب Compound	<i>E. camaldulensis</i>		<i>E. globulus</i>	
	درصد Percentage	جمع Total	درصد Percentage	جمع Total
مونوترپن هیدروکربنی Monoterpene hydrocarbons	30.11	8	7.8	3
مونوترپن اکسیژن‌دار Oxygenated monoterpenes	51.72	12	88.7	8
سزکوئی‌ترپن هیدروکربنی Sesquiterpene hydrocarbons	1.06	3	0.5	1
سزکوئی‌ترپن اکسیژن‌دار Oxygenated sesquiterpenes	10.92	6	2.3	4
غیر ترپن Non-terpenes	19.6	2	0.8	2

جدول ۳- استاندارد و پروفایل کروماتوگرافی BS ISO 3065:2011 اسانس اکالیپتوس‌های استرالیایی

Table 3- Standard and chromatographic profile of australian eucalyptus essential oils according to BS ISO 3065:2011

ویژگی Characteristic	مشخصات Description
ظاهر Appearance	مایع شفاف و سیال Clear and fluid liquid
رنگ Color	بی‌رنگ تا زرد کم‌رنگ Colorless to pale yellow
بو Odor	تازه، معطر و مشخصه ۱،۸-سینئول Fresh, aromatic, and characteristic of 1,8-cineole
چگالی نسبی در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Relative density at 20°C	حداقل: ۰/۹۰۶، حداکثر: ۰/۹۲۸ Minimum: 0.906, Maximum: 0.928
ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Refractive index at 20°C	حداقل: ۱/۴۵۷، حداکثر: ۱/۴۶۵ Minimum: 1.457, Maximum: 1.465
چرخش نوری در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Optical rotation at 20°C	حداقل: ۰°، حداکثر: ۵° Minimum: 0°, Maximum: +5°
انحلال‌پذیری در اتانول ۷۰ درصد در ۲۰ درجه سانتی‌گراد Solubility in 70% ethanol at 20°C	برای انحلال ۱ واحد حجم اسانس، حداکثر ۳ واحد حجم اتانول ۷۰ درصد مورد نیاز است. To dissolve 1 volume of essential oil, a maximum of 3 volumes of 70% ethanol is required
نقطه اشتعال Flash point	میانگین نقطه اشتعال: ۴۸°C اندازه‌گیری‌شده با دستگاه پنسکی-مارتنس Average flash point: 48 °C measured using Pensky-Martens apparatus
پروفایل کروماتوگرافی Chromatographic profile	
ترکیب Compound	حداکثر- حداقل Minimum & maximum
آلفا‌پینن α-Pinene	0.1-9
۱،۸-سینئول 1,8-Cineole	80-85

مقایسه ترکیبات اصلی اسانس *E. globulus* با استاندارد
ISO 770:2002

در استاندارد ISO 770:2002، مقدار ۱٫۸-سینئول ۶۰ درصد و بیشتر تعریف شده است. در تحقیق حاضر، ۱٫۸-سینئول *E. globulus* به

جدول ۴- استاندارد و پروفایل کروماتوگرافی ISO 770:2002 اسانس *E. globulus*

Table 4- Standard and chromatographic profile of *E. globulus* essential oil according to ISO 770:2002

ویژگی Characteristic	اسانس خام Raw essential oil	اسانس تصفیه شده ۷۵-۷۰٪ Refined oil 70-75%	اسانس تصفیه شده ۸۵-۸۰٪ Refined oil 80-85%
ظاهر Appearance	مایع Liquid	مایع Liquid	مایع Liquid
رنگ Color	زرد تا زرد کم رنگ Yellow to pale yellow	بی رنگ Colorless	بی رنگ Colorless
بو Odor	سینئول Fresh, aromatic, characteristic of cineole	معطر، مشخصه سینئول Aromatic, cineole characteristic	معطر، مشخصه سینئول Aromatic, cineole characteristic
چگالی نسبی در ۲۰ درجه سانتی گراد Relative density at 20 °C	0.905-0.925	0.904-0.920	0.906-0.920
ضریب شکست در ۲۰ درجه سانتی گراد Refractive index at 20°C	1.457-1.475	1.460-1.468	1.458-1.468
چرخش نوری در ۲۰ درجه سانتی گراد Optical rotation at 20°C	- 2° - +8°	0° - +10°	- 2° - +10°
انحلال پذیری در اتانول (۷۰٪) Solubility in 70% Ethanol at 20°C	حداکثر حجم انحلال پذیری ۷: Max volume required: 7	حداکثر حجم انحلال پذیری ۱۰: Max volume required: 10	حداکثر حجم انحلال پذیری ۵: Max volume required: 5
نقطه اشتعال Flash point	44C°	51C°	51C°
پروفایل کروماتوگرافی Chromatographic profile			
ترکیب Compound	اسانس خام Raw essential oil	اسانس تصفیه شده ۷۵-۷۰٪ Refined oil 70-75%	اسانس تصفیه شده ۸۵-۸۰٪ Refined oil 80-85%
	حداکثر (%) Max (%)	حداکثر (%) Max (%)	حداکثر (%) Max (%)
	حداقل (%) Min (%)	حداقل (%) Min (%)	حداقل (%) Min (%)
آلفا پینن α-Pinene	22	10	10
۱٫۸-سینئول Cineole-1,8	—	70	80

مقدار ۸۳/۱۹ درصد مطابق با استاندارد بود و آلفا پینن به مقدار ۷/۲۴ درصد اندکی کمتر از حداقل استاندارد (۱۰ درصد) بود (جدول ۴).

آلفا-فلاندرن^۲ در نمونه سنگال (۴۵/۳ درصد) در مقایسه با مقدار آن در نمونه‌های شمال ایران (۰/۴۷ درصد) از نکات قابل توجه بود (جدول ۵).

مقایسه داده‌های اجزای ترکیبات اسانس *E. globulus* در شمال ایران با مناطق دیگر نشان داد که ۱/۸-سینئول اسانس *E. globulus* شمال ایران به مقدار ۸۳/۱۹ درصد به‌طور قابل توجهی بیشتر از گزارش‌های منتشرشده از مناطق دیگر ایران از جمله نوشهر به مقدار ۳۹/۵۹ درصد (Pashazanousi et al., 2012)، تهران به مقدار ۷۶/۶۵ درصد (Abdossi et al., 2015)، گیلان غرب به مقدار ۴۰/۰۹ درصد، قصر شیرین به مقدار ۴۰/۰۱ درصد، سرپل ذهاب به مقدار ۴۲/۰۹ درصد (Gerdkaneh et al., 2018)، اهواز به مقدار ۵۰/۶۷ درصد (Asgari et al., 2023) و کرج به مقدار ۷۲/۷۱ درصد (Mahmoodi et al., 2012) بود. همچنین مقایسه با داده‌های سایر کشورها نیز نشان داد که ترکیب ۱/۸-سینئول در اسانس استخراج‌شده از *E. globulus* شمال ایران تقریباً برابر با نمونه مورد بررسی در برزیل به مقدار ۸۳/۸ درصد (Maciel et al., 2010) بود؛ اما از اسانس استخراج‌شده از کشورهای دیگر از جمله هند به مقدار ۵۴/۷ درصد (Joshi et al., 2016) و ویتنام به مقدار ۳۵/۰۳ درصد در آسیا (Ngo et al., 2020) اکوادور به مقدار ۶۷/۴ درصد (Pino et al., 2021) در آمریکای جنوبی، مکزیک به مقدار ۷۷/۹۱ درصد در آمریکای مرکزی (Flores-Macías et al., 2021)، تانزانیا به مقدار ۵۱/۶ درصد (Almas et al., 2021)، الجزایر به مقدار ۸۱/۵ درصد (Djellouli et al., 2024)، اتیوپی به مقدار ۶۲/۳۸ درصد (Bachheti, 2015)، مراکش به مقدار ۶۲/۳۲ درصد (Ait Akolade et al., 2024) و نیجریه (گزارش نشد) (Benlabchir et al., 2024) (Faria et al., 2012) در آفریقا، پرتغال به مقدار ۷۰/۳ درصد (Čmiková et al., 2023) و اسپانیا به مقدار ۶۳/۱ درصد (2011) اروپا بیشتر بود. آلفاپین به‌عنوان دومین ترکیب غالب در اسانس *E. globulus* شمال ایران از نمونه نوشهر و تهران به‌ترتیب با ۲/۳۸ درصد و ۵/۶۵ درصد بیشتر بود؛ اما از نمونه‌های دیگر گزارش‌شده از جنوب، غرب و مرکز ایران از جمله گیلان غرب (۱۲/۶۲ درصد)، اهواز (۱۷/۴۸ درصد)، سرپل ذهاب (۱۱/۲۳ درصد)، قصر شیرین (۱۲/۴۱ درصد) و همچنین نمونه گزارش‌شده از کرج (۹/۲۲ درصد) کمتر بود.

مقایسه ترکیبات اصلی اسانس *E. camaldulensis* و *E. globulus* با ترکیبات اسانس مناطق دیگر

ترکیب غالب اسانس *E. camaldulensis* در شمال ایران ۱/۸-سینئول بود (۳۹/۴۶ درصد) بود که در مقایسه با اسانس به‌دست‌آمده از درختان *E. camaldulensis* در مناطق دیگر ایران از جمله شوشتر (Chaghakaboodi et al., 2024)، ارومیه به مقدار ۳۶/۶۲ درصد (Etemadi et al., 2020) و کاشان به مقدار ۲۶/۱ درصد (Sefidkon et al., 2006) مقدار بالاتری داشت و تنها نمونه ممسنی در استان فارس با ۴۸/۸ درصد (Shaker et al., 2003) حاوی ۱/۸-سینئول بالاتری بود. مقدار ۱/۸-سینئول در اسانس *E. camaldulensis* شمال ایران در مقایسه با اسانس مناطق دیگر جهان از جمله مونتنگرو به مقدار ۲/۸۹ درصد (Grbović et al., 2010) و اسپانیا به مقدار ۲/۳۱ درصد (Verdeguer et al., 2020) در اروپا، سنگال به مقدار ۴/۸ درصد (Ndiaye et al., 2021)، مصر به مقدار ۰/۸۶ درصد (El-Ghorab et al., 2002)، الجزایر به مقدار ۱/۲۲ درصد (Barboucha et al., 2024)، موزامبیک به مقدار ۳۷ درصد (Pagula et al., 2000) و سودان به مقدار ۰/۹ درصد (Mubarak et al., 2015) در آفریقا، تایلند به مقدار ۳۶/۳۷ درصد (Siramon & Ohtani, 2007)، ترکیه به مقدار ۱۳/۹۲ درصد (Sahin Basak & Candan, 2010) و فلسطین به مقدار ۶/۴۵ درصد (Jaradat et al., 2023) در آسیا و آمریکا به مقدار ۲/۷۱ درصد (Pappas & Sheppard-Hanger, 2000) بیشتر بود. تنها ترکیبات گزارش‌شده از پرتغال به مقدار ۵۰/۸ درصد (Faria et al., 2011)، عراق به مقدار ۵۹/۰۹ درصد (Kheder et al., 2020) و پاکستان به مقدار ۴۰/۰۵ درصد (Ashraf et al., 2010)، ۱/۸-سینئول بالاتری داشتند. آلفاپین به‌عنوان دومین ترکیب غالب در اسانس *E. camaldulensis* نیز در مقایسه با گزارش‌های منتشرشده از مناطق دیگر ایران و همچنین مناطق جهان، به‌استثناء ترکیب گزارش‌شده از پرتغال (۳۱/۶ درصد) از درصد بالاتری برخوردار بود. مقدار پاراسایمن به‌عنوان سومین ترکیب غالب در اسانس *E. camaldulensis* شمال ایران (۱۱/۸۳ درصد) در مقایسه با نمونه ارومیه (۱/۵۵ درصد) بیشتر و از نمونه ممسنی در استان فارس (۱۶/۳ درصد) و کاشان (۱۴/۴ درصد) کمتر بود. در مقایسه با کشورهای دیگر، پاراسایمن در اسانس *E. camaldulensis* شمال ایران از مقادیر گزارش‌شده عراق (۶/۵۵ درصد)، مصر (۵/۳۹ درصد) و پرتغال (۰/۵ درصد) بیشتر بود. تفاوت قابل توجه در مقدار ترکیب گاما-ترپین^۱ در نمونه سودان (۷۲/۵ درصد) و نمونه شوشتر (۹/۹۷ درصد) نسبت به مقدار این ترکیب در نمونه مورد بررسی (۰/۳۵ درصد) و نیز مقدار قابل توجه

E. camaldulensis
جدول ۵- مقایسه اجزاء ترکیبات اسانس
Table 5- Comparison of essential oil components in *E. camaldulensis*

شماره No.	ترکیب Compound	بهبهر (ایران) Behshahr (Iran)	شوشتر (ایران) Shoushtar (Iran)	ارومیه (ایران) Urmia (Iran)	ممسنی (ایران) Mamasani (Iran)	کاشانی (ایران) Kashan (Iran)	ایران USA	تایلند Thailand	اسپانیا Spain	پرتغال Portugal	مصر Egypt	سودان Sudan	مونتسنگرو Monte negro	سنگال Senegal	موزامبیک Mozambique	الجزایر Algeria	فلسطین Palestine	پاکستان Pakistan	ترکیه Turkey	عراق Iraq
1	α -thujene	0.8					4.25		0.43				2.68	2.3			0.57		0.34	
2	α -pinene	13.29	3.36	11.17			1.36	0.97		31.6	12.68	0.7	1.66	3.3	0.8		0.94	12.43	3.45	3.75
3	β -pinene	0.63		7.76		12.6	0.10			0.4			0.94	0.2	0.1		0.03	2.33		
4	Myrcene	0.56					0.87						0.77	1	0.1		0.09			
5	α -phellandrene	0.47					0.32		0.11	0.8		0.2	4.26	45.3			0.27			
6	p-cymene	11.83			16.3	14.4	34.99	40.2		0.5	5.39	14.6	28.6	17.1		15.53	38.64		68.43	6.55
7	Limonene	4.32			2.8				0.87	3.3		0.8			1				2.84	
8	1,8-cineole	39.46		36.62	48.8	26.1	2.71	36.37	2.31	50.8	0.86	0.9	2.89	4.8	37	1.22	6.45	40.05	13.92	59.09
9	γ -terpinene	0.35	9.97		2.3		0.47		0.12			72.5	1.12	4.8			0.34	7.48	0.77	10.4
10	Linalool	0.52					3.39					0.3	0.81							
11	Borneol	0.65		0.27								6.7	4.21	1.7			0.19			
12	Terpinen-4-ol	1.8	4.78		0.7		5.72	1.98	2.89				7.25				3.04			
13	Cryptone	5.88					13.70		0.17			0.2	0.58	0.5						
14	α -terpineol	1.62	3.53				1.21	2.66	0.93	1.2							0.09			
15	Cumin aldehyde	1.15	2.54				3.65		4.15				2.57							
16	α -terpinyl acetate	0.8	5.29				0.19													
17	Aromadendrene	0.67		2.07	1.4		0.35				17.99		0.3	2.8				2.78		0.7
18	Bicyclogermacrene	0.6		0.32							2.94		3.73							
19	Spathulenol	7.38		0.33	3.7	13.2	4.30				0.74			0.2						
20	Viridiflorol	0.47	2.2	0.69								0.1		2.4				2.76		

جدول ۶- مقایسه اجزاء ترکیبات اسانس *E. globulus*
Table 6- Comparison of essential oil components in *E. globulus*

شماره Compound No.	ترکیب Compound	منطقه Region																			
1	1,8-cineole	83.1 9	39.5 9	76.6 5	40.1 9	50.6 7	42.0 9	72.7 1	40.0 1	63.1	54.7	51.6	83.8	70.3	62.32	62.38		67.4	81.5	35.03	77.91
2	Terpinen-4-ol	0.26		0.37				0.34			0.03				2.43		23.46			1.45	
3	myrcene				0.03	1.05	0.04		0.06	1.7	0.3	8.7			1.51			0.4			0.62
4	α -Terpineol	1.24	0.71	1.96	4.08		3.88		4.01	0.1				0.6						4.75	
5	α -pinene	7.24	2.38	5.65	12.6 2	17.4 8	11.2 3	9.22	12.4 1	7.3	11.46	23.6	4.1	15.5	4.15		4.16	12.8	4.10	17.86	4.33
6	β -pinene	0.23		0.31		0.79		0.39		3	18.54			0.2	0.86	1.01		0.6		11.02	1.97
7	Caryophyllene oxide	1.51			0.13		0.08														
8	Spathulenol	0.31															8.94			1.87	
9	Viridiflorol	0.32	1.51													0.34					

و ضدقارچی دارد (Venkataraman et al., 2023). این ترکیب به مقدار ۰/۲ تا ۱۵ میلی گرم به عنوان تسکین دهنده در قرص های خوراکی بدون نسخه به کار می رود (Kainat & Nadeem, 2019). آلفاپین در پیشگیری و درمان عفونت های میکروبی و قارچی نقش دارد و با کاهش تنش اکسیداتیو، در مهار سرطان مؤثر است (Tan, 2024). خاصیت ضدالتهابی آلفاپین و تأثیر آن در کاهش ضایعات دهانی و جلوگیری از تشکیل پلاک، اهمیت آن را در تولید محصولات مربوط به بهداشت دهان و دندان نشان می دهد (Potocka et al., 2023). ۱،۸-سینئول، با عطر مطبوع و ساختار شیمیایی مونوترپنی حاوی اکسیژن، به طور گسترده ای به عنوان افزودنی طعم دهنده در محصولات غذایی و کالاهای شیمیایی استفاده می شود. انجمن تولیدکنندگان عصاره، ۱،۸-سینئول را به عنوان یکی از طعم دهنده های ایمن مورد تأیید قرار داده است. غلظت های مختلف ۱،۸-سینئول در محصولات غذایی و نوشیدنی ها با هدف طعم دهنده گی و افزایش مقبولیت مصرف کنندگان به کار می رود. به عنوان مثال، در نوشیدنی ها ۱،۸-سینئول با دوز ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم کاربرد دارد. در سایر مواد خوراکی و غذاها، از این ترکیب به میزان ۵ میلی گرم بر کیلوگرم استفاده می شود. ۱،۸-سینئول در آب نبات ها و شیرینی ها به منظور ایجاد طعم دلپذیر و افزایش خواص ضد میکروبی با غلظت ۱۵ میلی گرم بر کیلوگرم کاربرد دارد. ۱،۸-سینئول با دوز ۰/۵ تا ۹ میلی گرم بر میلی لیتر به عنوان نگهدارنده در مواد غذایی استفاده می شود و سبب افزایش ماندگاری و جلوگیری از فساد مواد خوراکی می گردد (Eisenbrand et al., 2021). در سال های اخیر، کشورهای مختلف با توجه به مزایای اسانس اکالیپتوس، برنامه های مختلفی را به منظور ورود به بازار اسانس این محصول برنامه ریزی کرده اند. در کشور نیوزیلند به منظور گسترش صنعت اسانس، ۵۰۰۰ هکتار از مناطق خشک این کشور در قالب یک برنامه در فاصله زمانی بین سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ زیرکشت اکالیپتوس خواهد رفت. برآوردهای این تحقیق بیان می دارد که ۲۰ تا ۳۰ سال پس از شروع برداشت، ورود به بازار اسانس اکالیپتوس در مقیاس بزرگ قابل اجرا می باشد (Rajapaksha et al., 2023). در چین در دهه ۱۹۸۰، مساحت جنگل های اکالیپتوس ۴۵۰ هزار هکتار بود؛ اما کشت این محصول در سال های اخیر افزایش یافته و به بالای ۴/۵ میلیون هکتار رسیده است، به طوری که این کشور رتبه اول در کشت اکالیپتوس در جهان را دارا می باشد (Chen et al., 2020). دلیل این افزایش فزاینده به خصوص در دو دهه اخیر را می توان به ترکیبی از عوامل از جمله افزایش شناخت پتانسیل سودآوری این محصول و پیشرفت های عمده در بهره وری ارائه شده توسط شرکت های تحقیق و توسعه نسبت داد. توسعه صنعت کشت

در مقایسه با کشورهای دیگر، آلفاپین اندازه گیری شده در *E. globulus* شمال ایران از مقدار آلفاپین موجود در اسانس *E. globulus* مکزیک (۴/۳۳ درصد)، الجزایر (۴/۱۰ درصد)، مراکش (۴/۱۵ درصد)، برزیل (۴/۱ درصد) و نیجریه (۴/۱۶ درصد) بیشتر بود و با مقدار آن در نمونه اسپانیا (۷/۳ درصد) تقریباً برابر بود. در پژوهش های دیگر نیز این ترکیب به عنوان ترکیب اصلی *E. globulus* معرفی شد (Rodríguez et al., 2006; Shiferaw et al., 2019; Hassani Moghaddam et al., 2020). در آرژانتین، بیشترین مقدار آن در *E. globulus* ssp. *bicostata* با ۹۰/۷ درصد گزارش شد (Carmen et al., 2003). در اسانس *E. globulus* شمال ایران ترکیب اسپاتولنول و ویدی فلورول^۱ و کاریوفیلن اکسید نیز شناسایی گردید که در اکثر گزارش ها مشاهده نشد (جدول ۶). تفاوت های مشاهده شده در بین ترکیبات اسانس مناطق مختلف به عوامل محیطی و اکولوژیک ارتباط دارد. عواملی از جمله اقلیم، نوع و ترکیب خاک، ارتفاع از سطح دریا، سن گیاه و زمان برداشت به طور مستقیم مسیرهای بیوسنتزی و تجمع متابولیت های ثانویه را تحت تأثیر قرار می دهد. علاوه بر این، روش استخراج اسانس نقش مهمی در ترکیب نهایی آن دارد؛ به عنوان مثال، اگرچه تقطیر با آب روش استاندارد و رایجی است، اما به دلیل حرارت طولانی ممکن است باعث کاهش یا تخریب ترکیبات حساس از جمله برخی از مونوترپن ها شود. روش هایی مانند تقطیر بخار تحت خلأ یا استخراج با دی اکسید کربن فوق بحرانی می تواند درصد ترکیبات سبک تر و از جمله ۱،۸-سینئول را افزایش دهد. از سوی دیگر، هرچند شناسایی ترکیبات با استفاده از GC-MS و GC دقت بالایی دارد، اما هم زمانی پیک ها و نزدیکی شاخص بازداری می تواند باعث اختلاف در گزارش درصد ترکیبات جزئی شود؛ بنابراین، تفاوت های مشاهده شده در مطالعات مختلف نتیجه تعامل پیچیده ای از عوامل اکولوژیک، سن گیاه، روش برداشت، روش استخراج و فن های تحلیلی است.

امروزه در علم پزشکی و صنایع غذایی محصولاتی که دارای برچسب "طبیعی" هستند، توجه بیشتری را به خود جلب می کند. اسانس ها از جمله این موارد هستند که کاربرد آن ها در ساخت داروها و مواد غذایی روز به روز در حال افزایش است. مطالعات نشان می دهد که اسانس ها عوارض جانبی کمی از خود نشان می دهد و در این بین، اسانس های حاوی ترپن ها از جمله ۱،۸-سینئول و آلفاپین به دلیل سازگاری بالا و عملکرد چندانگانه و با دارا بودن ویژگی های طعم دهنده گی، نگهدارندگی طبیعی و خواص بیولوژیکی مفید، پتانسیل بالایی در جایگزینی ترکیبات شیمیایی مصنوعی در صنایع غذایی و دارویی دارد. ۱،۸-سینئول خواص ضدالتهابی، ضدسرطانی، ضدباکتری

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اسانس دو گونه *E. globulus* و *E. camaldulensis* در شمال ایران از نظر بازده و ترکیبات شیمیایی در سطح مناسب و قابل مقایسه با گزارش‌های جهانی قرار دارد. ترکیب غالب ۱،۸-سینئول در اسانس *E. globulus* و پراکندگی متوازن‌تر ترکیبات در *E. camaldulensis* هر دو نشان‌دهنده ظرفیت ارزشمند این گونه‌ها به‌منظور استفاده در صنایع دارویی، غذایی و صنایع دیگر از جمله عطرسازی است. بنابراین، این منابع گیاهی را می‌توان به‌عنوان گزینه‌هایی با هدف توسعه و گسترش کاربردهای صنعتی و تجاری اسانس‌ها در منطقه معرفی کرد؛ هرچند تحقق این هدف مستلزم انجام مطالعات تکمیلی و آزمون‌های کارایی در مقیاس عملی و صنعتی است. با توجه به شرایط اکولوژیک و وجود اراضی مستعد کشت گیاهان صنعتی و دارویی در ایران، امکان دستیابی به جایگاه مناسب در صنعت جهانی اسانس وجود دارد. دستیابی به این جایگاه نیازمند به‌کارگیری روش‌های استخراج بهینه، استانداردسازی فرآیندها و تقویت همکاری‌های علمی و فناورانه با مراکز بین‌المللی است. همچنین سرمایه‌گذاری هدفمند در زمینه کشت پایدار و فرآوری استانداردشده اکالیپتوس می‌تواند زمینه‌ساز ارتقای کیفیت، افزایش رقابت‌پذیری در بازارهای جهانی و ایجاد فرصت‌های علمی، صنعتی و اقتصادی برای کشور باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی و پشتیبانی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. بدینوسیله مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خود را ابراز می‌داریم.

اکالیپتوس‌ها در چین با گردش مالی سالانه به ارزش بیش از ۳۰۰ میلیارد یوان، سهم مهمی در اقتصاد ملی و معیشت تعداد قابل توجهی از مردم چین دارد (Xie et al, 2017). در ایران در سال‌های اخیر با توجه به توقف بهره‌برداری از جنگل‌های صنعتی شمال ایران، برنامه‌هایی با هدف کشت درختان و گیاهان مناسب در مناطق و اقلیم‌های مختلف ارائه شده است. به‌عنوان مثال در سال ۱۴۰۰، طرحی به‌منظور شناسایی اراضی مناسب کشت اکالیپتوس در جنوب کشور و به‌ویژه در استان خوزستان اجرا گردید. همچنین تحقیقاتی در زمینه شناسایی اراضی مستعد کشت اکالیپتوس در جنوب ایران انجام شد. نتایج این تحقیقات نشان داد که استان خوزستان، منطقه مناسبی جهت کشت اکالیپتوس می‌باشد (Eskandari et al., 2022).

این مطالعه، اطلاعاتی در زمینه بازده و ترکیبات شیمیایی اسانس دو گونه *E. globulus* و *E. camaldulensis* در شمال ایران ارائه داد. بازده اسانس هر دو گونه قابل مقایسه با گزارش‌های دیگر بود. سلواکومار و همکاران (Selvakumar et al., 2012)، بازده اسانس *E. globulus* را ۰/۷ درصد گزارش کرد. بازده اسانس *E. camaldulensis* در چین ۰/۲۵ تا ۰/۴۶ درصد و بازده اسانس *E. globulus* ۱/۳ تا ۲/۷ درصد وزن تازه گزارش شد (Zhang et al., 2010). نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی نشان داد که اسانس *E. globulus* با دارا بودن سطح مطلوب و استاندارد ۱،۸-سینئول، از ظرفیت بالایی به‌منظور استفاده در صنایع دارویی و غذایی برخوردار است. در مقابل، توزیع متوازن‌تر ترکیبات در اسانس *E. camaldulensis* می‌تواند مزیتی مهم در گسترش کاربردهای صنعتی و تجاری آن محسوب شود.

References

1. Abdossi, V., Yaghooti Moghaddam, E., & Hadipanah, A. (2015). Chemical composition of *E. globulus* grown in Iran. Biological Forum – An Intern: <https://www.researchgate.net/publication/280944359>
2. Abiri, R., Atabaki, N., Abdul-Hamid, H., Sanusi, R., Ab Shukor, N., Shaharuddin, N., Ahmad, S., & Malik, S. (2020). The prospect of physiological events associated with the micropropagation of *Eucalyptus* sp. *Forests*, 11(11), 1211. <https://doi.org/10.3390/f11111211>
3. Ait Benlabchir, A., Fikri-Benbrahim, K., Motawalli, A., Alanazi, M. M., Halmoune, A., Benkhoulil, F. Z., Oubihi, A., Kabra, A., Hanoune, E., Assila, H., & Ouaritini, Z. B. (2024). GC–MS characterization and bioactivity study of *E. globulus* Labill. (Myrtaceae) essential oils and their fractions: Antibacterial and antioxidant properties and molecular docking modeling. *Pharmaceuticals*, 17(11), 1552. <https://doi.org/10.3390/ph17111552>
4. Akolade, J. O., Olajide, O. O., Afolayan, M. O., Akande, S. A., Idowu, D. I., & Orishadipe, A. T. (2012). Chemical composition, antioxidant and cytotoxic effects of *E. globulus* grown in north-central Nigeria. *Journal of Natural Products and Plant Resources*, 2(1), 1-8
5. Almas, I., Innocent, E., Machumi, F., & Kisinza, W. (2021). Chemical composition of essential oils from *E. globulus* and *Eucalyptus maculata* grown in Tanzania. *Scientific African*, 12, e00758. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00758>
6. Asgari, M., Kazemi, M., Mahmoudi Sourastani, M., & Sharififard, M. (2023). Chemical analysis of eucalyptus and rosemary essential oils using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) and evaluation of their

- toxicity against the most common urban pest. *Analytical Methods in Environmental Chemistry Journal*, 6(3), 89-102. <https://doi.org/10.24200/amecj.v6.i03.256>
7. Ashraf, M., Ali, Q., Anwar, F., & Hussain, A. I. (2010). Composition of leaf essential oil of *Eucalyptus camaldulensis*. *Asian Journal of Chemistry*, 22(3), 1779-1786
 8. Bachheti, R. K. (2015). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from the leaves of *E. globulus* collected from Haramaya University, Ethiopia. *Der Pharma Chemica*, 7(2), 209-214. <https://doi.org/10.4172/0975-413X.1000273>
 9. Barboucha, G., Rahim, N., Boulebd, H., Bramki, A., Andolfi, A., Salvatore, M. M., & Masi, M. (2024). Chemical composition, *in silico* investigations and evaluation of antifungal, antibacterial, insecticidal and repellent activities of *E. camaldulensis* Dehn. leaf essential oil from Algeria. *Plants*, 13(22), 3229. <https://doi.org/10.3390/plants13223229>
 10. British Standards Institution. (2012). BS ISO 3065:2011. Oil of Eucalyptus Australian Type, Containing A Volume Fraction of 80% to 85% of 1,8-Cineole. British Standards Institution. <https://doi.org/10.3403/30191763>
 11. Carmen, I., Viturro, A., Molina, C., & Cecilia, I. (2003). Volatile components of *E. globulus* Labill. ssp. Bicostata from Jujuy, Argentina. *Journal of Essential Oil Research*, 15(3), 206-208
 12. Chaghakaboodi, Z., Kahrizi, D., & Nasiri, J. (2024). Chemical composition and antimicrobial potential of *E. camaldulensis* essential oil from Shushtar, Iran. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 3(3), 691-702. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/jmpb.2024.365950.1700>
 13. Chen, H., Gu, Z., Yang, L., Yang, R., Ji, Y., Zeng, Q., Xiao, F., & Huang, P. (2021). Optimization extraction of rosemary essential oils using hydrodistillation with extraction kinetics analysis. *Food Science & Nutrition*, 9(6), e2549. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2549>
 14. Chen, W., Zheng, Q., Dang, Y., & Sakari, T. (2020). Eucalyptus productivity increase in China comes from newly afforested plantations. *Europe PMC*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-81375/v1>
 15. Čmíková, N., Galovičová, L., Schwaržová, M., Schwaržová, M., Vukic, M., Vukovic, N., Kowalczewski, P., Bakay, L., Kluz, M., Puchalski, C., & Kačániová, M. (2023). Chemical composition and biological activities of *E. globulus* essential oil. *Journal of Plants*, 12(5), 1076. <https://doi.org/10.3390/plants12051076>
 16. Costa, J., Silva, J. S., Deus, E., Pinho, S., Pinto, J. F., & Borralho, N. (2022). The genetics and ecology of post-fire *E. globulus* recruitment in an isolated stand in central Portugal. *Forests*, 13(5), 680. <https://doi.org/10.3390/f13050680>
 17. Djellouli, M., Ziane, L., & Elhendi, H. (2024). Essential oil composition and antibacterial activity of *E. globulus* from Southwest Algeria. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, 5(2), 1-12. <https://doi.org/10.54021/seesv5n2-560>
 18. Eisenbrand, G., Cohen, M., Fukushima, S., Gooderham, N., Guengerich, F., Hecht, S., Rietjens, I., Rosol, T., Davidsen, J., Harman, C., & Taylor, S. (2021). FEMA GRAS assessment of natural flavor complexes: Eucalyptus oil and other cyclic ether-containing flavoring ingredients. *Food and Chemical Toxicology*, 155, 112357. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112357>
 19. El-Ghorab, A. H., Fadel, H. M., & El-Massry, K. F. (2002). The Egyptian *E. camaldulensis* var. *brevirostris*: Chemical compositions of the fruit volatile oil and antioxidant activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 17(4), 306-312. <https://doi.org/10.1002/ffj.1085>
 20. Eskandari, S., & Jalilvand, H. (2017). The effect of climate change on fire regime of Neka and Behshahr forests. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 15(1), 30-39. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2017.107772.1219>
 21. Eskandari, S., Behnamfar, K., Pourghasemi, H. R., & Tiefenbacher, J. P. (2022). Provision of eucalyptus wood farming potential map in Iran: An application of land cover, ecological, climatic, hydrologic, and edaphic analysis in a GIS-based fuzzy AHP framework. *Ecological Indicators*, 136, 108621. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108621>
 22. Etemadi, R., Moghadam, P., & Yousefi, F. (2020). Evaluation of chemical composition and antimicrobial activities of *E. camaldulensis* essential oil on dental caries pathogens. *Journal of Basic Research in Medical Sciences*, 7(1), 43-49.
 23. Faria, J. M. S., Lima, A. S., Mendes, M. D., Leiria, R., Geraldés, D. A., Figueiredo, A. C., Trindade, H., Pedro, L. G., Barroso, J. G., & Sanches, J. (2011). Eucalyptus from Mata Experimental do Escaroupim (Portugal): Evaluation of the essential oil composition from sixteen species. *Acta Horticulturae*, 925, 51-58. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.925.7>
 24. Flores-Macías, A., Reyes-Zarate, G. G., Gomes da Camara, C. A., López-Ordaz, R., Campos Guilln, J., & Ramos-López, M. Á. (2021). Chemical composition and phytotoxic potential of *E. globulus* essential oil against *Lactuca sativa* and two herbicide-resistant weeds: *Avena fatua* and *Amaranthus hybridus*. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-8. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.303>

25. Garzoli, S. (2023). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils. *Plants*, 12(4), 800. <https://doi.org/10.3390/plants12040800>
26. Gerdkaneh, M., Mohammadi, N., & Arji, I. (2018). Composition and quantitative seasonal variation of *E. globulus* essential oil in the three regions of Kermanshah province. *Iranian Journal of Medicinal Plants*, 17(66), 50-62. (In Persian with English abstract)
27. Grbović, S., Orčić, D., Couladis, M., Jovin, E., Bugarin, D., Balog, K., & Mimica-Dukić, N. (2010). Variation of essential oil composition of *E. camaldulensis* (Myrtaceae) from the Montenegro coastline. *Acta Periodica Technologica*, 41(41), 151-158. <https://doi.org/10.2298/APT1041151G>
28. Hassani Moghaddam, E., Karamian, R., Shaaban, M., & Mohammadian, A. (2020). Identification and comparison of some essential oils components in seven *Eucalyptus* species cultivated in Khorramabad. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 9, 59-66. <https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.121751>
29. Hirsch, H., Allsopp, M. H., Canavan, S., Cheek, M., Geerts, S., Geldenhuys, C. J., Harding, G., Hurley, B. P., Jones, W., Keet, J. H., Klein, H., Ruwanza, S., van Wilgen, B. W., Wingfield, M. J., & Richardson, D. M. (2020). *E. camaldulensis* in South Africa – past, present, future. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 75(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/0035919X.2019.1669732>
30. International Organization for Standardization. (2002). ISO 770:2002. Crude or Rectified Oils of *E. globulus* (*E. globulus* Labill.). ISO. <https://www.iso.org/standard/31688.html>
31. Jaimand, K., & Rezaee, M. B. (2004). Investigation on chemical constituents of essential oils from *Achillea millefolium* L. Subsp. *Millefolium* by distillation methods. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 20, 181-190. (In Persian with English abstract)
32. Jaradat, N., Al-Maharik, N., Hawash, M., Qadi, M., Issa, L., Anaya, R., Daraghmeh, A., Hijleh, L., Daraghmeh, T., Alyat, A., & Aboturabi, R. (2023). *E. camaldulensis* Dehnh leaf essential oil from Palestine exhibits antimicrobial and antioxidant activity but no effect on porcine pancreatic lipase and α -amylase. *Plants*, 12(22), 3805. <https://doi.org/10.3390/plants12223805>
33. Joshi, A., Sharma, A., Bachheti, R. K., & Pandey, D. P. (2016). A comparative study of the chemical composition of the essential oil from *E. globulus* growing in Dehradun (India) and around the world. *Oriental Journal of Chemistry*, 32(1), 331-340. <https://doi.org/10.13005/ojc/320137>
34. Kainat, R., & Nadeem, Z. (2019). Derivatization of essential oil of eucalyptus to obtain valuable market products – A comprehensive review. *International Journal of Chemical and Biochemical*, 15, 58-68
35. Kheder, D. A., Al-Habib, O. A. M., Gilardoni, G., & Vidari, G. (2020). Components of volatile fractions from *E. camaldulensis* leaves from Iraqi-Kurdistan and their potent spasmolytic effects. *Molecules*, 25(4), 804. <https://doi.org/10.3390/molecules25040804>
36. Maciel, M. V., Morais, S. M., Bevilacqua, C. M. L., Silva, R. A., Barros, R. S., Sousa, R. N., Sousa, L. C., Brito, E. S., & Souza-Neto, M. A. (2010). Chemical composition of *Eucalyptus* spp. essential oils and their insecticidal effects on *Lutzomyia longipalpis*. *Veterinary Parasitology*, 167(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.053>
37. Mahmoodi, A., Roomiani, L., Soltani, M., Akhondzadeh Basti, A., Kamali, A., & Taheri, S. (2012). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils and extracts from *Rosmarinus officinalis*, *Zataria multiflora*, *Anethum graveolens*, and *E. globulus*. *Global Veterinaria*, 9(1), 73-79. <https://doi.org/10.5829/idosi.gv.2012.9.1.6426>
38. Mubarak, E. E., Ali, L. Z., Ahmed, I. F. A., Ahmed, A. B. A., & Taha, R. M. (2015). Essential oil compositions and cytotoxicity from various organs of *Eucalyptus camaldulensis*. *International Journal of Agriculture & Biology*, 17(2), 320-326.
39. National Poplar and Fast-growing Trees Commission of Iran. Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jahad. (2024). Country Report on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment: Period 2020 to 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations
40. Ndiaye, E. H. B., Gueye, M. T., Diop, S. M., Thiam, A., Sanghare, C. H., Diop, M. B., & Fauconnier, M. L. (2021). Chemical composition of essential oils and floral waters of *E. camaldulensis* (Dehnh) from two locations in Senegal. *Journal of Applied Biological Sciences*, 15(3), 318-329
41. Ngo, T. C. Q., Tran, T. H., & Le, X. T. (2020). The effects of influencing parameters on the *E. globulus* leaves essential oil extraction by hydrodistillation method. In 5th International Conference of Chemical Engineering and Industrial Biotechnology (ICCEIB 2020), Kuala Lumpur, Malaysia (IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 991, 012126). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012126>
42. Pagula, F. P., Baser, K. H. C., & Kurkcuglu, M. (2000). Essential oil composition of *E. camaldulensis* Dehn. from Mozambique. *Journal of Essential Oil Research*, 12(3), 333-335. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699530>

43. Pappas, R. S., & Sheppard-Hanger, S. (2000). Essential oil of *E. camaldulensis* Dehn. from South Florida: A high cryptone/low cineole eucalyptus. *Journal of Essential Oil Research*, 12(6), 383-384. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9699541>
44. Pashazanousi, M. B., Delfanian, C., Hejazi, S. M., & Khalilzadeh, M. A. (2012). Measurement of essential oil components of *E. globulus* subsp. using gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). *Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy*, 2(6), 33-38.
45. Pino, J. A., Moncayo-Molina, L., Spengler, I., & Pérez, J. C. (2021). Chemical composition and antibacterial activity of the leaf essential oil of *E. globulus* Labill. From two highs of the canton Cañar, Ecuador. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 52(1), 26-33.
46. Potocka, W., Assy, Z., Bikker, F., & Laine, M. (2023). Current and potential applications of monoterpenes and their derivatives in oral health care. *Molecules*, 28(20), 71-78. <https://doi.org/10.3390/molecules28207178>
47. Rahaman, A., Chaudhuri, A., Sarkar, A., Chakraborty, S., Bhattacharjee, S., & Mandal, D. (2022). Eucalyptol targets PI3K/Akt/mTOR pathway to inhibit skin cancer metastasis. *Carcinogenesis*, 43(6), 571-583. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgac020>
48. Rajapaksha, C., Greaves, P., & Clemens, M. (2023). Economic potential of essential oil production from New Zealand-grown *Eucalyptus bosistoana*. *Scientific Reports*, 13(1), 14083. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40632-5>
49. Rodríguez, P., Sierra, W., Rodríguez, S., & Menéndez, P. (2006). Biotransformation of 1,8-cineole, the main product of Eucalyptus oils. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(3), 232-236. <https://doi.org/10.2225/vol9-issue3-28>
50. Sahin Basak, S., & Candan, F. (2010). Chemical composition and in vitro antioxidant and antidiabetic activities of *E. camaldulensis* Dehn. essential oil. *Iranian Chemical Society*, 7(1), 216-226.
51. Sefidkon, F., Assareh, M. H., Abravesh, Z., & Mirza, M. (2006). Chemical composition of the essential oils of five cultivated eucalyptus species in Iran: *E. intertexta*, *E. platypus*, *E. leucoxylon*, *E. sargentii* and *E. camaldulensis*. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 9(3), 245-250. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2006.10643498>
52. Selvakumar, P., Edhayanaveena, B., & Dprakash, S. (2012). Studies on the antidandruff activity of the essential oil of *Coleus amboinicus* and *E. globulus*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(2), 715-719. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(12\)60250-3](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(12)60250-3)
53. Shaker, H., Barazandeh, M. M., & Rezaei, M. B. (2003). The effect of collection region on the essential oil yield and composition of Eucalyptus camaldulensis Dehn. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, (15), 33-48. (In Persian with English abstract)
54. Sharmeen, J., Mahomoodally, F., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*, 26(3), 666. <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>
55. Shiferaw, Y., Kassahun, A., Tedla, A., Feleke, G., & Abebe, A. (2019). Investigation of essential oil composition variation with age of *E. globulus* growing in Ethiopia. *Research Article*, 7(2). <https://doi.org/10.35248/2329-6836.19.7.360>
56. Siramon, P., & Ohtani, Y. (2007). Antioxidative and antiradical activities of *E. camaldulensis* leaf oils from Thailand. *Journal of Wood Science*, 53(6), 498-504. <https://doi.org/10.1007/s10086-007-0887-7>
57. Tan, J. (2024). Preventive effect of alpha-pinene on cisplatin-induced kidney injury by oxidative stress, inflammation, and apoptosis via NF-κB signaling pathway. *Letters in Drug Design & Discovery*, 21(12), 2416-2422. <https://doi.org/10.2174/1570180820666230719121723>
58. Venkataraman, B., Almarzooqi, S., Raj, V., Bhongade, A., Patil, R., Subramanian, V., Attoub, S., Rizvi, T., Adrian, T., Sandeep, B., & Subramanya, S. (2023). Molecular docking identifies 1, 8-cineole (eucalyptol) as a novel PPARγ agonist that alleviates colon inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 61. <https://doi.org/10.3390/ijms24076160>
59. Verdeguer, M., Castañeda, L. G., Torres-Pagan, N., Llorens-Molina, J. A., & Carrubba, A. (2020). Control of *Erigeron bonariensis* with *Thymbra capitata*, *Mentha piperita*, *Eucalyptus camaldulensis*, and *Santolina chamaecyparissus* Essential Oils. *Molecules*, 25(3), 562. <https://doi.org/10.3390/molecules25030562>
60. Xie, Y., Arnold, R., Wu, Z., Chen, W., Du, A., & Luo, J. (2017). Advances in eucalypt research in China. *Frontiers in Agricultural Science and Engineering*, 4(4), 380-390. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2017171>
61. Yost, J., Wise, S., Love, N., Steane, D., Jones, R., Ritter, M., & Potts, B. (2021). Origins, diversity, and naturalization of *E. globulus* (Myrtaceae) in California. *Forests*, 12(8), 1129. <https://doi.org/10.3390/f12081129>
62. Zhang, J., An, M., Wu, H., Stanton, R., & Lemerle, D. (2010). Chemistry and bioactivity of eucalyptus essential oils. *Allelopathy Journal*, 25(2), 313-330