Informatics in Biology, Health, and Food

Interdisciplinary Explorations in Life Science

Volume 3. Number 2. Dec. 2026 DOI: 10.22034/ibhf.2026.584051.1055

Original Article

In Vitro Assessment of the Antibacterial Activity of *Lavandula angustifolia* Essential Oil: Implications for Natural Antimicrobial Agent

Fatemeh Zahra Adabi Abkouh*, Hossein Ashofteh, Mohammad Shayan Faridi

Department of biology, Mashhad Branch, Islamic Azad university, Mashhad, Iran

Received: 2026/05/30 **Revised:** 2026/07/24 **Accepted:** 2026/08/06

Abstract:

The increasing prevalence of antibiotic resistance has renewed interest in plant essential oils as potential alternative antimicrobial agents. *Lavandula angustifolia* essential oil, rich in bioactive compounds such as linalool and linalyl acetate, has demonstrated promising antibacterial properties. This study evaluated the antibacterial activity of *L. angustifolia* essential oil against *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, and 11 clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. Antibacterial activity was assessed using the agar well diffusion assay and broth microdilution method to determine the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) over a concentration range of 0.03–16 mg/mL. Bacterial growth was quantified by measuring optical density at 600 nm. No inhibition zone was observed against Gram-negative bacteria in the agar well diffusion assay, except for one P. aeruginosa isolate, which produced a 10-mm inhibition zone with undiluted essential oil. In contrast, Gram-positive bacteria showed clear inhibition zones. The MIC of the essential oil was 16 mg/mL for *S. aureus*, *B. cereus*, *E. coli*, and five *P. aeruginosa* isolates. Five additional *P. aeruginosa* isolates exhibited MIC values >16 mg/mL, whereas one isolate was highly susceptible with an MIC of 2 mg/mL. MBC/MIC ratios indicated bactericidal activity against *S. aureus* (1), *E. coli* (4), and two *P. aeruginosa* isolates (4), while the remaining isolates exhibited predominantly bacteriostatic responses. These findings demonstrate that *L. angustifolia* essential oil exerts concentration-dependent antibacterial activity, particularly against Gram-positive bacteria and selected *P. aeruginosa* isolates, highlighting its potential as a natural antibacterial agent. Further studies are needed to elucidate its mechanism of action and optimize its therapeutic application.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, *Lavandula angustifolia*, Antimicrobial activity

Cite this article: Adabi Abkouh F. Z., Ashofteh H., Faridi M.S. In Vitro Assessment of the Antibacterial Activity of Lavandula angustifolia Essential Oil: Implications for Natural Antimicrobial Agent. *Informatics in Biology, Health, and Food*. 2026;3(2):1-9.

Copyright©: The Authors. Published by Shandiz Institute of Higher Education

Corresponding author: Fatemeh Zahra Adabi Abkouh **Email**: fateme.adabi1998@gmail.com

انفورماتیک در زیست‌شناسی، بهداشت و غذا
کاوش‌های بین رشته‌ای در علوم زیستی

دوره ۳. شماره ۲. آذر ۱۴۰۵ DOI: 10.22034/ibhf.2026.584051.1055

مقاله پژوهشی

ارزیابی برون‌تنی فعالیت ضدباکتریایی اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا*: چشم‌انداز کاربرد آن به‌عنوان یک عامل ضدمیکروبی طبیعی

فاطمه زهرا ادبی آبکوه*، حسین آشفته، محمد شایان فریدی

[۱] گروه زیست شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

دریافت: ۱۴۰۵/۳/۹ **بازنگری:** ۱۴۰۵/۵/۲ **پذیرش:** ۱۴۰۵/۵/۱۵

چکیده

با افزایش مقاومت آنتی‌بیوتیکی، توجه به ترکیبات طبیعی مانند اسانس‌های گیاهی به عنوان جایگزین‌های بالقوه افزایش یافته است. اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا* به دلیل ترکیبات زیست‌فعال از جمله لینالول و لینالیل استات، دارای فعالیت ضدباکتریایی می‌باشد. این مطالعه با هدف بررسی اثرات ضدباکتریایی اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا* بر روی باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشریشیا کلی*، *باسیلوس سرئوس* و ۱۱ ایزوله بالینی *سودوموناس آئروژینوزا* انجام شد. اسانس از شرکت ایرانی زردبند، تهران تهیه و فعالیت ضدباکتریایی آن با استفاده از روش انتشار از چاهک و تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) به روش براث میکرودایلوشن در غلظت‌های ۰/۰۳ تا ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر ارزیابی گردید. رشد باکتری‌ها با اندازه‌گیری جذب نوری (OD) در طول موج ۶۰۰ نانومتر کمی‌سازی شد. در آزمون انتشار از چاهک، هیچ ناحیه مهارشدگی علیه سویه‌های گرم‌منفی مشاهده نشد، به‌جز یک ایزوله *سودوموناس آئروژینوزا* که در غلظت خالص اسانس، هاله‌ای به قطر ۱۰ میلی‌متر ایجاد کرد، در حالی که سویه‌های گرم‌مثبت نواحی مهارشدگی مشخصی نشان دادند. نتایج MIC نشان داد که اسانس اثر مهاری ثابتی علیه باکتری‌های گرم‌مثبت (*باسیلوس سرئوس* و *استافیلوکوکوس اورئوس*) و باکتری‌های گرم منفی شامل *اشریشیا کلی* و ۵ ایزوله *سودوموناس آئروژینوزا* دارد (MIC برابر ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر). در حالی‌که ۵ ایزوله دیگر MIC بالاتر از ۱۶ و یک ایزوله MIC معادل ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نشان داد که بیانگر حساسیت متفاوت سویه‌ها است. بررسی نسبت MBC/MIC نشان داد که اسانس بر روی *اشریشیا کلی* (به نسبت=۴)، *استافیلوکوکوس اورئوس* (به نسبت=۱) و دو ایزوله *سودوموناس آئروژینوزا* (به نسبت=۴) اثر کشندگی دارد، در حالی که بر روی *باسیلوس سرئوس* و اکثر ایزوله‌های *سودوموناس آئروژینوزا* عمدتاً اثر مهارکنندگی دارد. اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا* علیه باکتری‌های گرم‌مثبت و برخی ایزوله‌های *سودوموناس آئروژینوزا* اثر مهاری وابسته به غلظت دارد و می‌تواند به عنوان یک کاندیدای ضدباکتریایی طبیعی مطرح باشد، هرچند نیاز به بررسی‌های بیشتر در زمینه مکانیسم‌های اثر و بهینه‌سازی غلظت‌های مؤثر ضروری است.

کلمات کلیدی: *سودوموناس آئروژینوزا*، *لاواندولا آنگوستیفولیا*، فعالیت ضدباکتریایی.

Cite this article: Adabi Abkouh F. Z., Ashofteh H., Faridi M.S. In Vitro Assessment of the Antibacterial Activity of Lavandula angustifolia Essential Oil: Implications for Natural Antimicrobial Agent. *Informatics in Biology, Health, and Food*. 2026;3(2):1-9.

Copyright©: The Authors. Published by Shandiz Institute of Higher Education

Corresponding author: Fatemeh Zahra Adabi Abkouh **Email**: fateme.adabi1998@gmail.com

مقدمه

امروزه عفونت‌های بیمارستانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات نظام‌های بهداشتی و درمانی در سطح جهان مطرح هستند. از میان عوامل ایجادکننده این عفونت‌ها، باکتری *سودوموناس آئروژینوزا*[1] جایگاه ویژه‌ای دارد. این باکتری گرم منفی، هوازی و میله‌ای شکل، به دلیل ویژگی‌های خاص زیستی و فیزیولوژیک خود، از جمله توانایی بالای سازگاری با محیط‌های مختلف، تولید بیوفیلم و مقاومت طبیعی و اکتسابی به داروهای ضد میکروبی، به‌عنوان یکی از عوامل اصلی عفونت‌های بیمارستانی شناخته می‌شود (۱). به‌طور خاص، *سودوموناس آئروژینوزا* عامل طیف وسیعی از عفونت‌ها از جمله عفونت‌های زخم، سوختگی، مجاری ادراری، تنفسی و عفونت‌های مرتبط با تجهیزات پزشکی می‌باشد (۲).

یکی از چالش‌های جدی در درمان عفونت‌های ناشی از *سودوموناس آئروژینوزا*، ظهور سویه‌های مقاوم به چند دارو(MDR)[2]، مقاوم به طیف وسیعی از داروها (XDR)[3] و حتی مقاوم به تمامی داروهای موجود (PDR)[4] است (۴،۳). مقاومت این باکتری به دلیل مکانیسم‌های متعددی از جمله تولید آنزیم‌های تخریب‌کننده آنتی‌بیوتیک، تغییر در ساختار و نفوذپذیری دیواره سلولی، و فعالیت پمپ‌های خروجی دارو[5] می‌باشد (۵). این ویژگی‌ها باعث شده است که جستجوی روش‌های درمانی جدید و جایگزین به‌ویژه از منابع طبیعی و گیاهی، به یکی از اولویت‌های پژوهشی در حوزه میکروب‌شناسی پزشکی تبدیل شود.

گیاهان دارویی به دلیل دارا بودن ترکیبات فعال زیستی با اثرات ضد میکروبی، ضد التهابی و آنتی‌اکسیدانی، در سال‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند (۶). در این میان، *لاواندولا آنگوستیفولیا*[6]، یکی از گیاهان شناخته‌شده در طب سنتی ایران و جهان، به دلیل دارا بودن اسانس های معطر با ترکیباتی نظیر لینالول و لینالیل استات، کاربردهای مختلفی در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی دارد (۷). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا* دارای اثرات ضد میکروبی قابل توجهی در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی است (۸). با این حال داده‌های دقیق و کافی در خصوص تأثیر این اسانس بر روی سویه‌های *سودوموناس آئروژینوزا* به‌ویژه در شرایط بالینی و بیمارستانی در ایران محدود است.

اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* با بهره‌گیری از ماهیت آبگریز ترکیبات زیست‌فعال خود، از طریق مکانیسم‌های چندگانه‌ای اثر ضدباکتریایی خود را اعمال میکند که عمدتاً شامل اختلال در یکپارچگی غشای سلولی و در نتیجه نشت محتویات سیتوپلاسمی، مهار تشکیل بیوفیلم از طریق تداخل با فرایندهای چسبندگی و حس حد نصاب، و نیز مهار پمپ‌های خروجی جهت افزایش غلظت درون‌سلولی آنتی‌بیوتیک‌ها و بازیابی کارایی آن‌ها می‌شود (۹). افزون بر این، این اسانس با القای تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS)، استرس اکسیداتیو را در سلول باکتری تشدید کرده و مسیر مرگ سلولی را تسریع می‌بخشد (۱۰). مجموع این سازوکارهای هم‌افزا، *لاواندولا انگوستیفولیا* را به گزینه‌ای کارآمد در مقابله با عفونت‌های مزمن و سویه‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک تبدیل کرده است که پرداختن به ظرفیت‌های درمانی آن را در پژوهش‌های نوین ضروری می‌سازد.

از آنجا که شرایط اقلیمی، الگوی مصرف آنتی‌بیوتیک و ویژگی‌های ژنتیکی سویه‌های باکتری در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد، لازم است این قبیل مطالعات به‌صورت محلی انجام شوند تا بتوان بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، راهکارهای مناسب و مبتنی بر شواهد برای کنترل عفونت‌های بیمارستانی تدوین کرد (۱۱). این امر ضرورت شناسایی و توسعه روش‌های درمانی مکمل و جایگزین را دوچندان می‌کند. همانطور که گفته شد، اسانس‌های گیاهی می‌توانند به‌عنوان گزینه‌هایی کم‌هزینه، در دسترس و با عوارض جانبی کمتر مطرح شوند. بنابراین، انجام تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر ضد میکروبی اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا* بر روی سویه‌های *سودوموناس آئروژینوزا* جدا شده از بیماران بستری در بیمارستان امام رضا (ع) مشهد، گامی مؤثر در جهت تکمیل دانش موجود و فراهم‌سازی شواهد علمی لازم برای به‌کارگیری فرآورده‌های طبیعی در کنترل عفونت‌های مقاوم به درمان در ایران خواهد بود.

مواد و روش‌ها

آماده سازی باکتری‌ها و تهیه اسانس

[1] *Pseudomonas aeruginosa*
[2] Multidrug resistance
[3] Extensively drug-resistant
[4] Pan drug resistance
[5] Efflux pump
[6] *Lavandula angustifolia*

Under Proof

اسانس لاواندولا آنگوستیفولیا به طور تجاری از شرکت زردبند، ایران تهیه شد. سویه‌های استاندارد شامل *سودوموناس آئروژینوزا* ATCC 27853، *اشریشیا کلی* ATCC 25922 ، *باسیلوس سرئوس* ATCC 11778 ، *استافیلوکوکوس اورئوس* ATCC 23235، از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران، کرج تهیه شد. ۱۱ جدایه بالینی *سودوموناس آئروژینوزا* در مهرماه ۱۴۰۳ از آزمایشگاه میکروب‌شناسی بیمارستان امام رضا (ع) مشهد جمع‌آوری شدند. برای شناسایی جدایه‌ها از آزمون‌های کاتالاز، اکسیداز و اوره‌آز همراه با تست‌های بیوشیمیایی اختصاصی شامل محیط قند سه‌گانه-آهن (TSI)[1] ، سیترات، آزمون اکسیداسیون-تخمیر (OF)[2]. همچنین جهت اطمینان از جدایه‌های *سودوموناس آئروژینوزا* کشت روی محیط انتخابی و اختصاصی سیتریماید آگار[3] و گرماگذاری در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد انجام شد. کلیه ایزوله‌ها در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد در محیط ذخیره‌سازی BHI[4] با ۱۵درصد گلیسرول، تا زمان استفاده ذخیره شدند.

بررسی خاصیت ضدمیکروبی اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا*

روش انتشار از چاهک[5]

برای بررسی خاصیت ضدمیکروبی با روش انتشار از چاهک، مطابق با استاندارد CLSI، باکتری‌ها روی محیط نوترینت آگار کشت و به مدت یک شبانه روز در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرماگذاری شدند. سپس از کشت تازه سوسپانسیون باکتریایی با غلظت معادل ۱۰^۸ × (۱/۵) CFU/ml تهیه شده و روی محیط مولرهینتون آگار کشت چمنی داده شد. تحت شرایط استریل چاهک‌هایی به قطر ۶–۸ میلی‌متر در آگار ایجاد شد. جهت جلوگیری از نفوذ اسانس به کف پلیت‌ها، ته آنها با محیط کشت مذاب استریل مسدود گردید. در هر چاهک ۵۰ میکرولیتر از محلول اسانس تهیه شده با غلظت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد ریخته شد. لازم به ذکر است که در ابتدا اسانس در استون ۲ درصد حل و سپس غلظت‌های درصدی تهیه شد. در هر پلیت چاهک‌های کنترل شامل حلال استون ۲ درصد به تنهایی، آب مقطر استریل و دیسک آنتی‌بیوتیک سفتازیدیم نیز گنجانده شد. پلیت‌ها به مدت ۱۸–۲۴ ساعت در در دمای ۲± ۳۵ درجه‌سانتی‌گراد به مدت یک شبانه‌روز گرماگذاری شدند.

تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC)[6]

حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا* علیه باکتری‌های گرم‌مثبت و گرم‌منفی استاندارد و بالینی انتخابی، با استفاده از روش رقت‌سازی در محیط مایع (براث میکرودایلوشن) و بر اساس توصیه‌های مؤسسه استانداردهای بالینی و آزمایشگاهی (پروتکل M07-A9) تعیین گردید (۱۲). در بررسی MIC جدایه‌ها و سویه‌های استاندارد با روش رقت‌سازی سریالی با میکروپلیت‌های ۹۶تایی در محیط مولرهینتون براث[7] انجام شد. برای این منظور ابتدا محلول استوک ۳۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر اسانس به نسبت ۱:۱ (v/v) توئین ۸۰ (مرک، آلمان) اماده شد (۱۳). در مرحله بعد غلظت‌های متوالی از اسانس (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر ۰/۰۳ تا ۱۶) در محیط مولرهینتون براث تهیه شد. سپس سوسپانسیون باکتریایی با غلظت نهایی ۱۰^۶ CFU/mL در محیط کشت مولر-هینتون براث (MHB؛ ساخت شرکت ایبرسکو، ایران) استفاده شد. چاهک حاوی محیط کشت و باکتری بدون اسانس به عنوان کنترل رشد مثبت و چاهک محیط کشت با اسانس بدون باکتری، کنترل منفی در نظر گرفته شد. میکروپلیت‌ها به مدت یک شبانه روز در دمای ۲± ۳۵ درجه‌سانتی‌گراد گرماگذاری شدند. کمترین غلظتی از اسانس که مانع رشد مرئی (عدم کدر شدن محیط) شد به عنوان MIC در نظر گرفته شد. برای تعیین MBC از چاهک‌هایی که رشد نداشتند ۵ میکرولیتر بر روی مولرهینتون آگار کشت تلقیح و پس از یک شبانه روز بررسی شد؛ پایین‌ترین غلظت که عدم رشد باکتری روی محیط آگار مشاهده شد به‌عنوان MBC گزارش گردید.

برای تعیین ماهیت اثر ضدباکتریایی اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا*، نسبت حداقل غلظت کشندگی (MBC) به حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) برای هر سویه باکتریایی محاسبه گردید. بر اساس معیارهای استاندارد، در صورتی که نسبت MBC/MIC کمتر یا مساوی ۴ باشد، ترکیب مورد نظر اثر کشندگی (باکتری‌ساید) داشته و قادر به از بین بردن جمعیت باکتریایی است. در حالی‌که نسبت MBC/MIC بزرگتر از ۴ نشان‌دهنده اثر مهارکنندگی (باکتری‌استات) بوده و ترکیب صرفاً از رشد باکتری جلوگیری می‌کند بدون اینکه منجر به مرگ سلولی شود (۱۴).

[1] Triple sugar- iron agar
[2] Oxidation-Fermentation test
[3] Cetrimide agar
[4] Brain Heart Infusion Broth
[5] Well diffusion agar
[6] Minimum Inhibitory Concentration
[7] Mueller–Hinton broth (MHB)

Under Proof

همچنین در مواردی که مقدار MBC بیش از بالاترین غلظت آزمایش‌شده (۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) گزارش شود، ترکیب فاقد اثر کشندگی در دامنه غلظت‌های مورد بررسی بوده و صرفاً به عنوان یک عامل مهارکننده تلقی می‌گردد. این رویکرد تفسیری امکان تمایز دقیق بین ترکیبات با اثر باکتری‌ساید و باکتری‌استات را فراهم آورده و در ارزیابی پتانسیل درمانی اسانس‌ها کاربرد گسترده‌ای دارد.

برای بررسی کمی اثرات مهاری غلظت‌های مختلف اسانس، میزان رشد باکتری‌ها با دستگاه الایزاریدر در طول موج ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد مهار رشد با فرمول زیر محاسبه شد:

$$Inhibition\ \% = \frac{(OD_C - OD_T)}{OD_C} \times 100$$

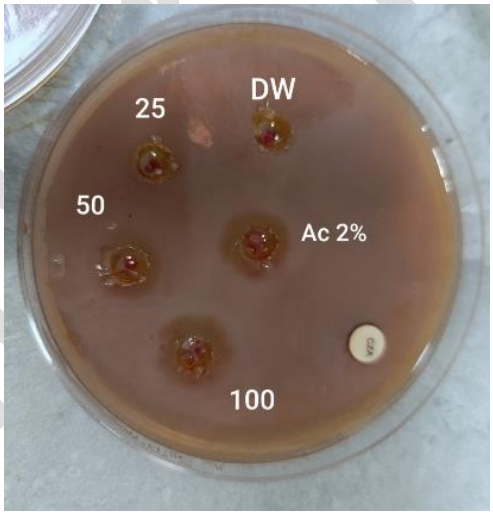
OD_C (کنترل مثبت): میزان رشد باکتری در چاهک کنترل مثبت.

OD_T (نمونه): میزان رشد باکتری در لوله‌های آزمایشی (۱۵)

نتایج

نتایج مربوط به اثرات ضدباکتریایی اسانس نشان داد که در تمامی جدایه‌های گرم منفی استاندارد و *سودوموناس آئروژینوزا* بالینی هاله عدم رشد در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ درصد نشان ندادند. همچنین از بین ۱۱ جدایه فقط یک ایزوله بالینی در غلظت ۱۰۰درصد اسانس هاله مهاری به قطر ۱۰ میلی‌متر نشان داد (شکل ۱).

نتایج حاصل از بررسی فعالیت ضدباکتریایی اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* بر روی چهار سویه استاندارد باکتریایی باکتریایی *استافیلوکوکوس اورئوس*، *سودوموناس آئروژینوزا* و *اشرشیاکلی* در قالب قطر هاله عدم رشد (بر حسب میلی‌متر) نشان داد که اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* در غلظت‌های مختلف (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد از اسانس) اثر مهارکنندگی وابسته به دوز را اعمال می‌کند. به‌طوری‌که در اسانس مورد بررسی، بیشترین قطر هاله عدم رشد مربوط به غلظت ۱۰۰ درصد علیه *استافیلوکوکوس اورئوس* (به‌ترتیب۰/۳ ± ۲۴ میلی متر) و *باسیلوس سرئوس* (۰/۴ ± ۱۷ میلی متر) به عنوان گرم مثبت مشاهده شد. در مقابل در تمامی جدایه‌های گرم منفی استاندارد و *سودوموناس آئروژینوزا* بالینی هاله عدم رشد در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ درصد نشان ندادند. همچنین از بین ۱۱ جدایه فقط یک ایزوله بالینی در غلظت ۱۰۰درصد اسانس هاله مهاری به قطر ۱۰ میلی‌متر نشان داد.



شکل ۱. اثر ضد میکروبی اسانس در یکی از سویه‌های بالینی *سودوموناس آئروژینوزا*.

Figure 1. Antimicrobial activity of the essential oil against a clinical isolate of *P. aeruginosa*.

نتایج بررسی حداقل غلظت مهاری اسانس با روش میکرودایلوشن نشان داد که از بین ۱۱ جدایه بالینی *سودوموناس آئروژینوزا*، پنج جدایه به غلظت‌های مورد بررسی از ۰/۰۳ تا ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مقاومت داشتند و MIC> ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نشان دادند. نکته جالب توجه این‌که فقط یک جدایه، MIC برابر با ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نشان داد. سویه‌های استاندارد مورد بررسی به طور یکسانMIC معادل ۱۶ نشان دادند. جدول ۱ نتایج مربوط به MIC و MBC را نشان می‌دهد.

Under Proof

جدول ۱. نتایج مربوط به MIC و MBC.

Table 1. Results of the MIC and MBC assays.

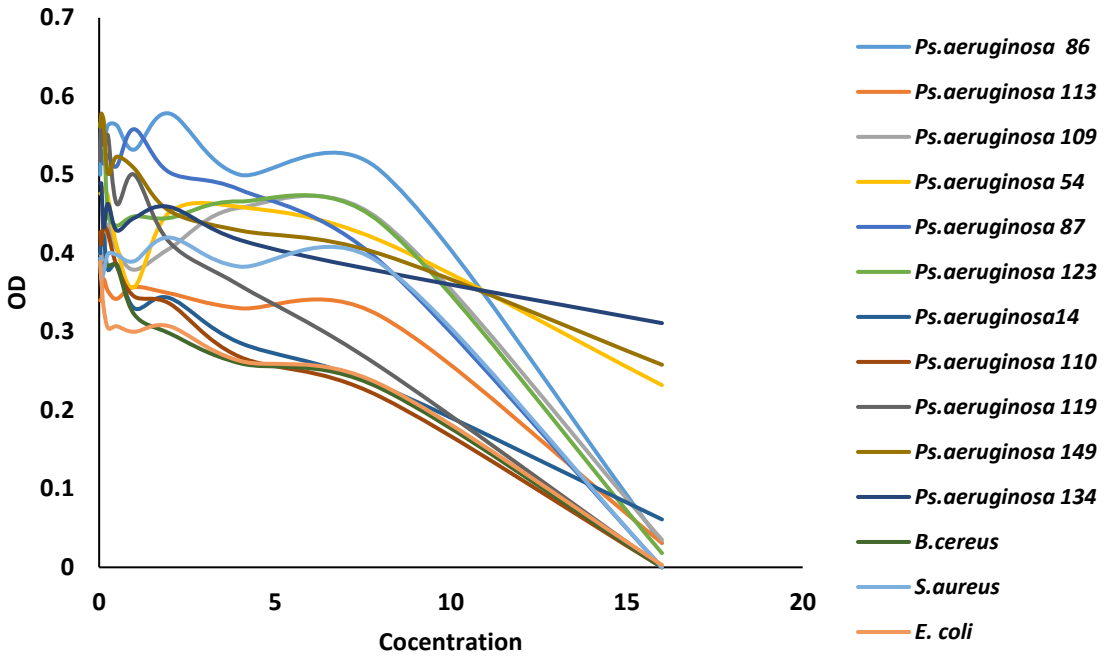
Bacteria	MIC (mg/ml)	MBC (mg/ml)	MBC/MIC
E. coli	۱۶	۶۴	۴
B. cereus	۱۶	>۱۶	>۱
S. aureus	۱۶	۱۶	۱
Ps. aeruginosa	۱۶	>۱۶	>۱
Ps. aeruginosa 86	۱۶	>۱۶	>۱
Ps. aeruginosa 113	۲	۸	۴
Ps. aeruginosa 109	>۱۶	>۱۶	نامشخص
Ps. aeruginosa 54	>۱۶	۶۴	نامشخص
Ps. aeruginosa 87	۱۶	۶۴	۴
Ps. aeruginosa 123	۱۶	>۱۶	>۴
Ps. aeruginosa 149	>۱۶	>۱۶	نامشخص
Ps. aeruginosa 14	>۱۶	۱۶	نامشخص
Ps. aeruginosa 110	۱۶	>۱۶	>۱
Ps. aeruginosa 134	>۱۶	۶۴	نامشخص
Ps. aeruginosa 119	۱۶	>۱۶	>۱

بر اساس آزمون MBC، برای شش ایزوله بالینی *سودوموناس آئروژینوزا* ، MBC بیشتر از ۶۴ تعیین شد. سه ایزوله دیگر MBC معادل ۶۴ و ایزوله حساس MIC پایین، MBC معادل ۸ مشاهده شد. برای باکتری‌های گرم‌مثبت، MBC برابر با MIC بود. مقایسه MIC و MBC نشان داد که فعالیت کشتن باکتریایی اسانس بر اساس غلظت، وابسته به سویه و نوع باکتری متفاوت است.

نتایج حاصل از محاسبه نسبت MBC به MIC نشان داد که اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* بر روی سویه‌های مختلف باکتریایی دارای اثرات متفاوتی است. بر اساس معیار تفسیر (نسبت MBC/MIC ≤۴ معادل اثر کشندگی و نسبت۴ < MBC/MIC معادل اثر مهارکنندگی)، اسانس مورد بررسی بر روی باکتری‌های *اشریشیاکلی* (نسبت ۴)، *استافیلوکوکوس اورئوس* (نسبت ۱)، *سودوموناس آئروژینوزا* ۱۱۳ (نسبت ۴) و *سودوموناس آئروژینوزا* ۸۷ (نسبت ۴) دارای اثر کشندگی (باکتری‌ساید) بود. در مقابل، این اسانس بر روی (MBC >۱۶) *باسیلوس سرئوس*، *سودوموناس آئروژینوزا* استاندارد (MBC >۶۴) ، و سویه‌های *سودوموناس آئروژینوزا* با شماره‌های ۸۶، ۱۲۳، ۱۱۰ و ۱۱۹ (تمامی با MBC >۶۴) عمدتاً اثر مهارکنندگی (باکتری‌استات) از خود نشان داد. همچنین برای سویه‌هایی که مقدار MIC آنها بیش از ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر گزارش شد (از جمله *سودوموناس آئروژینوزا* ۱۰۹، ۵۴، ۱۴۹، ۱۴ و ۱۳۴)، به دلیل عدم تعیین دقیق MIC، امکان محاسبه نسبت میسر نبود، اما با توجه به مقادیر MBC گزارش شده (۶۴ یا بیشتر از ۶۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، این سویه‌ها نیز فاقد اثر کشندگی در دامنه غلظت‌های مورد بررسی بوده و صرفاً اثر مهارکنندگی داشتند.

شکل ۲ تغییرات جذب جدایه‌های مختلف *سودوموناس آئروژینوزا* و سویه‌های استاندارد (*اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *باسیلوس سرئوس*) را در غلظت‌های مختلف اسانس مورد بررسی نشان می‌دهد. با افزایش غلظت اسانس، مقدار *جذب نوری* در اغلب جدایه‌ها روندی کاهشی داشت که بیانگر کاهش رشد باکتریایی و افزایش اثر مهاری اسانس است. با این حال، میزان کاهش *جذب نوری* در میان جدایه‌ها یکسان نبود و تفاوت محسوسی در حساسیت آن‌ها مشاهده شد. برخی جدایه‌ها با افزایش غلظت، کاهش سریع و قابل توجهی در *جذب نوری* نشان دادند، در حالی که در تعدادی دیگر کاهش جذب تدریجی‌تر بوده و حتی در بالاترین غلظت‌ها نیز مقادیر نسبتاً بالاتری از *جذب نوری* مشاهده شد که حاکی از مقاومت نسبی این جدایه‌ها به ترکیب مورد مطالعه است. در سویه‌های استاندارد نیز روند کاهش *جذب نوری* وابسته به غلظت مشاهده شد که بیانگر فعالیت ضدباکتریایی اسانس علیه هر دو گروه باکتری‌های گرم‌مثبت و گرم‌منفی است. این الگو با اصل اندازه‌گیری رشد باکتری بر اساس کدورت محیط و جذب نوری سازگار بوده و کاهش *جذب نوری* نشان‌دهنده کاهش تراکم سلولی و مهار رشد میکروارگانیسم‌ها است.

Under Proof



شکل ۲. میزان رشد باکتری‌های مورد بررسی بر حسب جذب نوری نسبت به غلظت‌های مختلف (۰۳/. تا ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) اسانس *لاواندولا آنگوستیفولیا*.

Figure 2. Growth of the tested bacterial strains, expressed as optical density, at different concentrations (0.03–16 mg/mL) of Lavandula angustifolia essential oil.

درصد مهار رشد باکتری‌ها در غلظت‌های مختلف اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* محاسبه شد. نتایج نشان داد که میزان مهار رشد در اغلب سویه‌ها با افزایش غلظت اسانس افزایش یافت، اگرچه شدت این اثر در میان باکتری‌های مورد بررسی متفاوت بود. در غلظت ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، اسانس موجب مهار کامل رشد (۱۰۰٪) در *باسیلوس سرئوس*، *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشریشیا کلی* و برخی ایزوله‌های *سودوموناس آئروژینوزا* شد. در مقابل، تعدادی از ایزوله‌های *سودوموناس آئروژینوزا* حتی در بالاترین غلظت نیز درصد مهار پایین‌تری نشان دادند که بیانگر تفاوت در حساسیت ایزوله‌های بالینی به اسانس است. به طور کلی، درصد مهار رشد با افزایش غلظت اسانس روندی وابسته به غلظت[1] داشت و بیشترین اثر مهاری در غلظت‌های ۸ و ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مشاهده شد.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* دارای فعالیت ضدباکتریایی وابسته به غلظت است، اما میزان حساسیت در میان گونه‌ها و ایزوله‌های مختلف متفاوت بود. بیشترین فعالیت ضدباکتریایی علیه باکتری‌های گرم‌مثبت مشاهده شد، در حالی که اغلب ایزوله‌های *سودوموناس آئروژینوزا* و تا حدودی *اشریشیا کلی* مقاومت بیشتری نشان دادند. این الگوی پاسخ با بسیاری از مطالعات پیشین همخوانی دارد که گزارش کرده‌اند اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* معمولاً علیه باکتری‌های گرم‌مثبت مؤثرتر از باکتری‌های گرم‌منفی است(۱۶). حساسیت کمتر باکتری‌های گرم‌منفی احتمالاً به ساختار دیواره سلولی آن‌ها مربوط است. غشای خارجی غنی از لیپوپلی‌ساکارید (LPS) به‌عنوان یک سد نفوذپذیری عمل کرده و ورود ترکیبات آب‌گریز موجود در اسانس‌ها را محدود می‌کند. علاوه بر این، وجود پمپ‌های خروجی و کاهش نفوذپذیری پورین‌ها در *سودوموناس آئروژینوزا* می‌تواند غلظت داخل‌سلولی ترکیبات فعال را کاهش داده و موجب افزایش مقاومت شود (۱۸،۱۷).

در آزمون انتشار از چاهک، اسانس تقریباً هیچ هاله مهاری علیه باکتری‌های گرم‌منفی ایجاد نکرد، در حالی که در آزمون براث میکرودایلوشن اثر مهاری مشاهده شد. این اختلاف در مطالعات متعدد نیز گزارش شده است و عمدتاً ناشی از ماهیت آب‌گریز و فرار اسانس‌ها است. ترکیبات اسانس در محیط آگار به‌خوبی منتشر نمی‌شوند و بنابراین آزمون انتشار از چاهک ممکن است قدرت ضدباکتریایی واقعی آن‌ها را کمتر از مقدار واقعی نشان دهد،

[1] Dose-dependent

در حالی که روش میکرودایلوشن به دلیل تماس مستقیم اسانس با سلول‌های باکتری، برآورد دقیق‌تری از MIC و MBC ارائه می‌دهد (۱۶).

در این پژوهش، یک ایزوله *سودوموناس آئروژینوزا* دارای MIC برابر ۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود، در حالی که پنج ایزوله MIC برابر ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و پنج ایزوله دیگر MIC بیش از ۱۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نشان دادند. این اختلاف قابل توجه بیانگر ناهمگونی فنوتیپی و ژنتیکی میان ایزوله‌های بالینی است. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اند که ایزوله‌های بالینی *سودوموناس آئروژینوزا* از نظر بیان پمپ‌های خروجی، تشکیل بیوفیلم، نفوذپذیری غشاء و تولید آلژینات تفاوت زیادی دارند و همین ویژگی‌ها می‌تواند موجب اختلاف در حساسیت به اسانس‌های گیاهی شود (۱۸).

بررسی نسبت MBC/MIC نشان داد که اسانس در *استافیلوکوکوس اورئوس*، *اشریشیا کلی* و دو ایزوله *سودوموناس آئروژینوزا* اثر باکتری‌کش داشت، در حالی‌که در سایر ایزوله‌ها عمدتاً اثر باکتریواستاتیک مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که نوع اثر اسانس تنها به غلظت آن وابسته نیست، بلکه ویژگی‌های ذاتی هر سویه نیز نقش مهمی در تعیین پاسخ ضدباکتریایی ایفا می‌کند. چنین تفاوتی در مطالعات نیز گزارش شده و دامنه وسیعی از مقادیر MIC و MBC برای اسانس اسطوخودوس ذکر شده است (۱۶).

فعالیت ضدباکتریایی مشاهده‌شده را می‌توان به حضور ترکیبات غالب اسانس، به‌ویژه لینالول و لینالیل استات، نسبت داد. مطالعات مکانیسمی نشان داده‌اند که لینالول با افزایش نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی، نشت یون‌ها و پروتئین‌های داخل سلولی، کاهش پتانسیل غشاء، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و اختلال در متابولیسم انرژی، موجب مهار رشد یا مرگ سلول‌های باکتریایی می‌شود (۱۹).

اگرچه نتایج این پژوهش اثربخشی اسانس را تأیید می‌کند، اما مقادیر MIC به‌دست‌آمده نسبت به برخی مطالعات بیشتر بود. این اختلاف احتمالاً ناشی از تفاوت در منشأ گیاه، شرایط اقلیمی، مرحله برداشت، روش استخراج، ترکیب شیمیایی اسانس، نوع امولسیون‌کننده، روش انجام آزمون و ویژگی‌های سویه‌های باکتریایی است. Truong و Mudgil نیز نشان داده‌اند که مقادیر MIC گزارش‌شده برای اسانس اسطوخودوس در مطالعات مختلف دامنه بسیار وسیعی دارند و مقایسه مستقیم آن‌ها بدون در نظر گرفتن تفاوت‌های روش‌شناختی امکان‌پذیر نیست (۱۶).

نتیجه‌گیری

اسانس *لاواندولا انگوستیفولیا* می‌تواند به‌عنوان یک عامل ضدباکتریایی طبیعی، به‌ویژه علیه باکتری‌های گرم‌مثبت و برخی ایزوله‌های حساس *سودوموناس آئروژینوزا* ، مورد توجه قرار گیرد. با این حال، تنوع پاسخ ایزوله‌های بالینی نشان می‌دهد که پیش از کاربرد درمانی، بررسی ترکیب شیمیایی اسانس با GC–MS، ارزیابی اثر آن بر بیوفیلم و ژن‌های مقاومت و نیز مطالعه اثرات هم‌افزایی آن با آنتی‌بیوتیک‌های متداول ضروری است.

تقدیر و تشکر

از سرکار خانم دکتر شکرزاده، به‌پاس مشاوره‌های علمی و تخصصی و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان در انجام این پژوهش، صمیمانه قدردانی می‌کنیم.

Refrences

1. Sathe N, Beech P, Croft L, Suphioglu C, Kapat A, Athan E. Pseudomonas aeruginosa: Infections and novel approaches to treatment "Knowing the enemy" the threat of Pseudomonas aeruginosa and exploring novel approaches to treatment. Infect Med (Beijing). 2023;2(3):178–94. doi: 10.1016/j.imj.2023.05.003
2. Sanya DRA, Onésime D, Vizzarro G, Jacquier N. Recent advances in therapeutic targets identification and development of treatment strategies towards Pseudomonas aeruginosa infections. BMC Microbiology. 2023;23(1):86. doi: 10.1186/s12866-023-02832-x
3. Mendes Pedro D, Paulo SE, Santos CM, Fonseca AB, Melo Cristino J, Pereira Á A, et al. Extensively drug-resistant Pseudomonas aeruginosa: clinical features and treatment with ceftazidime/avibactam and ceftolozane/tazobactam in a tertiary care university hospital center in Portugal - A cross-sectional and retrospective observational study. Front Microbiol. 2024;15:1347521. doi: 10.3389/fmicb.2024.1347521
4. Magiorakos AP, Srinivasan A, Carey RB, Carmeli Y, Falagas ME, Giske CG, et al. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. Clin Microbiol Infect. 2012;18(3):268–81. doi:10.1111/j.1469 0691.2011.03570.x
5. Habib MB, Shah NA, Amir A, Alghamdi HA, Tariq MH, Nisa K, et al. Decoding MexB efflux pump genes: structural, molecular, and phylogenetic analysis of multidrug-resistant and extensively drug-resistant Pseudomonas aeruginosa. Front Cell Infect Microbiol. 2024;14:1519737. doi:10.3389/fcimb.2024.1519737
6. Mitropoulou G, Stavropoulou E, Vaou N, Tsakris Z, Voidarou C, Tsiotsias A, et al. Insights into Antimicrobial and Anti-Inflammatory Applications

Under Proof

of Plant Bioactive Compounds. Microorganisms. 2023;11(5). doi:10.3390/microorganisms11051156
7. de Rapper S, Viljoen A, van Vuuren S. The In Vitro Antimicrobial Effects of Lavandula angustifolia Essential Oil in Combination with Conventional Antimicrobial Agents. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2016;2016(1):2752739. doi: 10.1155/2016/2752739
8. Jaafar R, Al Hakawati N, Hayeck N, Usta J, Borjac J. Chemical Composition, Antibacterial, and Antioxidant Activities of L. angustifolia Essential Oil Against Human Pathogenic Clinical Bacterial Isolates. Bacteria. 2026;5(2):33. doi:10.3390/bacteria5020033
9. Nostro A, Germanò MP, D'Angelo V, Marino A, Cannatelli MA. Extraction methods and bioautography for evaluation of medicinal plant antimicrobial activity. Lett Appl Microbiol. 2000;30(5):379–84. doi:10.1046/j.1472-765x.2000.00731.x
10. Moon T, Wilkinson JM, Cavanagh HMA. Antibacterial activity of essential oils, hydrosols and plant extracts from Australian grown Lavandula spp. International Journal of Aromatherapy. 2006;16(1):9–14. DOI:10.1016/j.ijat.2006.01.007
11. Stamova S, Ermenlieva N, Tsankova G, Georgieva E. Antimicrobial Activity of Lavender Essential Oil from Lavandula angustifolia Mill.: In Vitro and In Silico Evaluation. Antibiotics (Basel). 2025;14(7). doi:10.3390/antibiotics14070656
12. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) W, PA, USA. Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically; Approved Standard—Ninth Edition2012.
13. Di Vito M, Mariotti M, Di Mercurio M, Coggiatti D, Rizzo S, Zhiri A, et al. Protocol for determining minimum inhibitory concentrations of essential oils against bacterial pathogens using broth microdilution. STAR Protoc. 2026;7(2):104587. doi:10.1016/j.xpro.2026.104587
14. Santi-Rocca J, Weber C, Guigon G, Sismeiro O, Coppée JY, Guillén N. The lysine- and glutamic acid-rich protein KERP1 plays a role in Entamoeba histolytica liver abscess pathogenesis. Cell Microbiol. 2008;10(1):202–17. doi: 10.1111/j.1462-5822.2007.01030.x
15. Nazzaro F, Fratianni F, De Martino L, Coppola R, De Feo V. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. Pharmaceuticals. 2013;6(12):1451–74. DOI: 10.3390/ph6121451
16. Truong S, Mudgil P. The antibacterial effectiveness of lavender essential oil against methicillin-resistant Staphylococcus aureus: a systematic review. Frontiers in Pharmacology. 2023;Volume 14 - 2023. DOI:10.3389/fphar.2023.1306003
17. Lucidi M, Visaggio D, Migliaccio A, Capecchi G, Visca P, Imperi F, et al. Pathogenicity and virulence of Acinetobacter baumannii: Factors contributing to the fitness in healthcare settings and the infected host. Virulence. 2024;15(1):2289769. doi: 10.1080/21505594.2023.2289769
18. Finlay BB, Falkow S. Common themes in microbial pathogenicity. Microbiol Rev. 1989;53(2):210–30.DOI: 10.1128/mr.53.2.210-230.1989
19. Pang Z, Raudonis R, Glick BR, Lin TJ, Cheng Z. Antibiotic resistance in Pseudomonas aeruginosa: mechanisms and alternative therapeutic strategies. Biotechnol Adv. 2019;37(1):177–92. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.013

Under Proof