



***Cuminum cyminum* L. husk extract: Identification of active compounds and evaluation of antimicrobial and antioxidant properties**

Razieh Niazmand^{1*}, Elham merrikhi Ardebili² and Abdollah Jamshidi²

1*. Corresponding author, Department of food hygiene and aquaculture, faculty of veterinary medicine, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2. Department of food chemistry, research institute of food science and technology, Mashhad, Iran

Received: 23/06/2025

Revised: 14/07/2026

Accepted: 15/07/2026

Abstract

Background and objectives: *Cuminum cyminum* L., which contains numerous bioactive compounds, including flavonoids, terpenoids, and phenolics, is a valuable source of medicinal and therapeutic compounds. However, the generation of processing waste, particularly cumin husks, is a major challenge in the cumin industry, as these residues are often discarded or underutilized. This study investigated different extraction methods for recovering bioactive compounds from *C. cyminum* husks and evaluated the antioxidant and antimicrobial activities of the resulting extracts. The main objective was to promote agricultural waste valorization by converting cumin husks into value-added resources with potential therapeutic and industrial applications.

Methodology: Green cumin husks were collected as processing waste from a cumin-processing factory in Mashhad, Iran. The husks were thoroughly washed to remove soil and other impurities, air-dried on cotton cloth under shade, and subsequently ground using a semi-industrial mill. Bioactive compounds were extracted using three solvent systems: aqueous, alcoholic, and hydroalcoholic. Total phenolic content (TPC) was determined using the Folin–Ciocalteu method, with gallic acid used as the standard. The chemical composition of the extracts was characterized using chromatographic analyses. Antioxidant activity was evaluated using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical-scavenging assay. Antimicrobial activity was assessed using the broth microdilution method to determine the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC). Three pathogenic bacterial strains, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli*, were evaluated. The data were analyzed using Minitab software, and differences among treatment means were assessed using Tukey's test at a 95% confidence level.

Results: Extraction yield varied substantially among the extraction methods, reaching 25.00% for the aqueous extract, 5.00% for the alcoholic extract, and 8.76% for the hydroalcoholic extract. The alcoholic extract had the highest total phenolic content (251.76 ± 0.01 mg gallic acid equivalents/g), whereas the aqueous extract had the lowest content (152.80 mg/g). Chemical analysis identified several major compounds, including 6-methoxy-8-nitroquinoline, benzoic acid, and *p*-xylene. Among the three extraction methods, the hydroalcoholic extract exhibited the strongest antimicrobial activity. At concentrations of 500, 800, and 1000 mg/mL, the inhibition zones against *S. aureus* were 15.0, 19.0, and 22.5 mm, respectively. For *P.*

aeruginosa, the corresponding inhibition zones were 11.0, 12.0, and 13.0 mm, respectively. In contrast, no inhibitory activity was detected against *E. coli*, indicating a limited antimicrobial spectrum. Overall, the results demonstrated that the extraction method substantially influenced both extraction yield and the biological activity of the resulting extracts.

Conclusion: The findings demonstrate that cumin husks, despite being largely underutilized as an industrial by-product, represent a promising source of phenolic and other bioactive compounds. Among the extraction methods evaluated, hydroalcoholic extraction produced the most favorable results regarding antioxidant and antimicrobial activities. Valorization of cumin husks could therefore provide an effective approach for utilizing agricultural waste and developing natural products with potential medicinal and industrial applications.

Keywords: Bioactive components, *Cuminum cyminum* husk, antimicrobial properties, antioxidant properties, extract

عصاره غلاف زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.): شناسایی ترکیبات مؤثره و ارزیابی ویژگی‌های ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی

راضیه نیازمند^{۱*}، الهام مریخی اردبیلی^۲ و عبدالله جمشیدی^۳

۱- استاد، گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد، گروه بهداشت مواد غذایی و آبیان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۲

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۵/۰۴/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: زیره سبز، با دارا بودن ترکیبات فعال زیستی متعدد از جمله فلاونوئیدها، ترپنوئیدها و فنولیک‌ها شناخته شده و به عنوان یک منبع با ارزش برای خواص دارویی و درمانی است. یکی از چالش‌های عمده در این صنعت، ضایعات حاصل از فرایند تولید، به ویژه غلاف‌های زیره سبز است که اغلب بدون استفاده باقی می‌مانند. این مطالعه بر روی ضایعات غلاف زیره سبز متمرکز است تا به بررسی و توسعه روش‌های مختلف استخراج ترکیبات زیست‌فعال از این ضایعات پرداخته و ویژگی‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات را ارزیابی کند. هدف اصلی این تحقیق، ارتقاء استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی و تبدیل آنها به منابع ارزشمند با کاربردهای درمانی و صنعتی و معرفی نوآوری‌های علمی در فرآیندهای استخراج و بهره‌برداری از این منابع است.

مواد و روش‌ها: غلاف‌های زیره سبز به عنوان ضایعات کارخانه تولید زیره در مشهد جمع‌آوری شدند. پس از شستشوی کامل با آب برای حذف ذرات خاک، نمونه‌ها به دقت صاف شده و روی پارچه نخی در سایه خشک گردیدند. پس از خشک شدن، غلاف‌ها از طریق آسیاب نیمه‌صنعتی پودر شدند. به منظور استخراج ترکیبات زیست‌فعال، از روش استخراج حلالی و سه نوع حلال استفاده شد. میزان ترکیبات فنولی کل موجود در هر عصاره با استفاده از روش فولین-سیوکالتو و با استاندارد اسید گالیک اندازه‌گیری گردید و با استفاده از روش کروماتوگرافی شناسایی شدند. برای ارزیابی توان آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها، از آزمون به دام‌اندازی رادیکال آزاد DPPH استفاده شد. بررسی خواص ضد میکروبی عصاره‌ها از طریق روش برات میکرو دایلوژن انجام شد که امکان تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) را فراهم کرد. سه گونه باکتری بیماری‌زا شامل *Staphylococcus aureus*، *Pseudomonas aeruginosa* و *Escherichia coli* برای بررسی اثرهای ضد میکروبی استفاده شدند. نتایج حاصل با استفاده از نرم‌افزار مینی تب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تفاوت‌های معنی‌دار بین میانگین‌ها از طریق آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی شد.

نتایج: نتایج این مطالعه نشان داد که میزان بازده استخراج در میان روش‌های مختلف متغیر بود. به طوری که عصاره آبی دارای بازده ۲۵ درصد، عصاره الکلی ۵ درصد و عصاره هیدروالکلی ۸/۷۶ درصد بود. بیشترین میزان ترکیبات فنولی کل متعلق به عصاره الکلی با مقدار ۲۵۱/۷۶ میلی‌گرم برابر گالیک اسید در گرم و کمترین مقدار متعلق به عصاره آبی با ۱۵۲/۸۰ میلی‌گرم برابر گالیک اسید در گرم بود. ترکیبات غالب شناسایی شده در عصاره‌ها شامل کینولین ۶-متوکسی ۸-نیترو، بنزن استیک اسید و پارازایلون بودند. در بررسی خاصیت ضدباکتریایی، عصاره هیدروالکلی بیشترین اثربخشی را نشان داد. این عصاره در غلظت‌های ۵۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر توانست هاله عدم رشد با قطرهای به ترتیب ۱۵، ۱۹ و ۵/۲۲

میلی متر در مقابل *S. aureus*، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ میلی متر در مقابل باکتری *P. aeruginosa* نشان دهد، در حالی که در مقابل باکتری *E. coli* هاله عدم رشد مشاهده نگردید.

نتیجه گیری: این پژوهش نشان داد که غلاف زیره سبز، با وجود نادیده گرفته شدن در صنعت به عنوان ضایعات کشاورزی، دارای ظرفیت بالایی در تأمین ترکیبات فنولی و زیست فعال است. استخراج عصاره به روش هیدروالکلی از غلاف زیره سبز به عنوان برترین روش از نظر فعالیت های آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی شناسایی شد. این یافته ها می توانند زمینه ساز بهره برداری های علمی و صنعتی از این ضایعات گیاهی و توسعه فراورده های دارویی و طبیعی نوین باشند. واژه های کلیدی: ترکیبات زیست فعال، غلاف زیره، ویژگی های ضد میکروبی، ویژگی های آنتی اکسیدانی، عصاره.

مقدمه

زیره سبز (*Cuminum cyminum*) یکی از گیاهان دارویی و معطری است که از دیرباز در طب سنتی و آشپزی به کار می رود (Mnif & Aifa, 2015). زیره سبز با داشتن ترکیبات فعال زیستی متعدد، از جمله فلاونوئیدها، تریئوئیدها و ترکیبات فنولی، دارای خواص دارویی و درمانی فراوانی است (Srinivasan, 2018). در کشورهای مختلف، زیره سبز به عنوان یک ادویه مهم در غذاهای محلی استفاده می شود و به دلیل خواص آنتی اکسیدانی و ضد التهابی، در تهیه داروهای گیاهی و محصولات بهداشتی نیز کاربرد دارد (Alaq et al., 2020; Johri, 2011).

زیره سبز به دلیل دارا بودن طیف وسیعی از ترکیبات فعال زیستی، به ویژه ترکیبات فنولی، مورد توجه بسیاری از محققان و صنعتگران قرار گرفته است (Singh et al., 2021). ترکیبات فنولی به عنوان آنتی اکسیدانهای قوی عمل می کنند و می توانند با مهار رادیکال های آزاد، از آسیب های سلولی جلوگیری کنند (Gohari & Saeidnia, 2011). این خواص باعث شده تا زیره سبز در تحقیقات علمی و صنعتی به عنوان یک منبع غنی از ترکیبات زیست فعال مورد توجه قرار گیرد (Singh et al., 2017). مطالعات متعددی نشان داده اند که عصاره های گیاهی حاوی ترکیبات فنولی می توانند در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری ها مانند سرطان، بیماری های قلبی و عروقی و دیابت مؤثر باشند (Al-Snafi, 2016; Belal et al., 2017; Mughal, 2022).

علاوه بر خواص آنتی اکسیدانی، زیره سبز دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی نیز می باشد (Nirmala et

2011; Sahana et al., 2020). این خواص می توانند در مبارزه با عفونت های میکروبی و کاهش بار میکروبی مفید باشند (Agarwal et al., 2017; Sowbhagya, 2013). به ویژه در عصر حاضر که مقاومت به آنتی بیوتیک ها یک چالش بزرگ برای سیستم های بهداشتی جهان محسوب می شود، استفاده از ترکیبات طبیعی با خاصیت ضدباکتریایی می تواند به عنوان راهکاری مؤثر و پایدار مورد استفاده قرار گیرد (Bhat et al., 2014; Nadeem & Riaz, 2012; Patil et al., 2017).

یکی دیگر از مزایای زیره سبز، تأثیرات مثبت آن بر سیستم گوارش است (Bhat et al., 2014; Milan et al., 2008). مصرف زیره سبز می تواند به بهبود هضم و کاهش مشکلات گوارشی مانند نفخ و سوء هاضمه کمک کند (Mohammed et al., 2024). ترکیبات موجود در زیره، از جمله کومینالدهید (*Cuminaldehyde*)، می تواند با تحریک آنزیم های گوارشی، فرآیند هضم را تسریع کرده و جذب مواد مغذی را بهبود بخشد (Koohsari et al., 2020). این ویژگی ها، زیره سبز را به یک افزودنی مهم در رژیم های غذایی سالم تبدیل کرده است (Akbar et al., 2019).

غلاف زیره، که به عنوان یکی از ضایعات گیاهی در فرآیند تولید زیره محسوب می شود، می تواند منبعی غنی از ترکیبات زیست فعال باشد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Ghasemi et al., 2019). با توجه به افزایش توجه به استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی و کاهش پسماندها، بررسی و استخراج ترکیبات فعال از غلاف زیره می تواند ارزش افزوده ای به این محصول ببخشد (Mehdizadeh et

و زیست‌محیطی فراهم می‌کند (Sowbhagya, 2019; Sowbhagya et al., 2007; Bouchra Sayed Ahmad et al., 2018).

پیشنهاد می‌شود که به منظور افزایش بهره‌وری و کاهش ضایعات، برنامه‌ریزی‌هایی برای توسعه فناوری‌های جدید و فرآیندهای بهینه در این حوزه انجام شود. این اقدامات می‌تواند شامل تحقیق و توسعه در زمینه‌های استفاده از ضایعات زیره سبز و تبدیل آن به محصولات جدید و با ارزش افزوده باشد. به این ترتیب، علاوه بر کاهش ضایعات، می‌توان به ایجاد فرصت‌های شغلی جدید و ارتقاء ارزش اقتصادی این محصول کمک کرد. در نهایت، توجه به این نکته که ضایعات زیره سبز می‌توانند به یک منبع ارزشمند تبدیل شوند، می‌تواند راهگشای بسیاری از چالش‌ها در صنعت کشاورزی و تولید زیره باشد.

هدف اصلی این مطالعه، دستیابی به عصاره با مناسب‌ترین خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی بود. با توجه به موجود بودن کارهای بسیار سایر محققان در مورد ارزیابی نوع حلال و روش استخراج، در این پژوهش روش استخراج حلالی با سه نوع حلال مختلف براساس کارهای پیشین انتخاب شد. همچنین شناسایی ترکیبات شیمیایی موجود در عصاره‌های مختلف با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مانند کروماتوگرافی مایع-طیف‌سنجی جرمی (LC-MS) می‌تواند به درک بهتر از خواص و کاربردهای بالقوه این ضایعات گیاهی کمک کند. تحقیق در زمینه بهره‌برداری از ضایعات زیره سبز می‌تواند به شناسایی ترکیبات زیست‌فعال با ارزش و طراحی فرآیندهای بهینه استخراج این مواد کمک نماید. با تحلیل دقیق این ضایعات و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته استخراج، می‌توان محصولات جدیدی مانند مکمل‌های غذایی، مواد آرایشی و داروهای طبیعی تولید کرد که به کاهش ضایعات، افزایش ارزش افزوده و ایجاد فرصت‌های شغلی جدید منجر می‌شود. این رویکرد نه تنها به بهبود اقتصاد و حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه به بهره‌برداری بهینه از منابع کشاورزی و ارتقاء صنعت تولید محصولات طبیعی نیز یاری می‌رساند.

(al., 2017). استخراج ترکیبات فعال از غلاف زیره می‌تواند به توسعه محصولات جدید و بهبود فرآیندهای استخراج ترکیبات زیست‌فعال از منابع طبیعی کمک کرده و به بهره‌برداری بهینه از ضایعات کشاورزی یاری رساند (Rana et al., 2018).

زیره سبز یکی از محصولات کشاورزی با ارزش و پرکاربرد در ایران، به‌ویژه در استان خراسان، به‌شمار می‌آید. این استان با شرایط اقلیمی مناسب و تجربیات دیرینه در کشت زیره، یکی از تولیدکنندگان اصلی این محصول در کشور است. با این حال، بخش قابل توجهی از محصول تولیدی به ضایعات تبدیل می‌شود که عمدتاً به خوراک دام اختصاص می‌یابد. این ضایعات، اگرچه در حال حاضر به عنوان یک کالای کم‌ارزش مورد استفاده قرار می‌گیرند اما ظرفیت تبدیل شدن به محصولاتی با ارزش افزوده بالا را دارند.

در صنعت فراوری زیره، پس از استخراج روغن یا اسانس، مقدار قابل توجهی از دانه به صورت کیک یا تفاله باقی می‌ماند که می‌تواند ۸۰ تا ۹۰ درصد وزن اولیه دانه را شامل شود (Sowbhagya, 2019). این ضایعات سرشار از فیبر غذایی (بیش از ۶۰ درصد)، پروتئین (حدود ۳۰ درصد)، مواد معدنی و ترکیبات زیست‌فعال مانند پلی‌فنول‌ها و فلاونوئیدها هستند (Sowbhagya et al., 2007; Bouchra Sayed Ahmad et al., 2018). بقایای زیره پس از استخراج روغن و اسانس، دارای ۶۲ درصد فیبر کل، ۵۱ درصد فیبر نامحلول و ۱۰ درصد فیبر محلول هستند که این میزان فیبر از بسیاری از میوه‌ها و سبزیجات بالاتر است (Sowbhagya et al., 2007). همچنین، این ضایعات حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی بوده و می‌توانند در تولید مواد غذایی غنی از فیبر، مکمل‌های تغذیه‌ای، مواد زیست‌پایه و حتی کربن فعال برای کاربردهای زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند (Sowbhagya, 2019; Sowbhagya et al., 2007; Bouchra Sayed Ahmad et al., 2018).

بنابراین، استفاده بهینه از ضایعات زیره سبز نه تنها می‌تواند به کاهش ضایعات کشاورزی و آلودگی زیست‌محیطی کمک کند، بلکه فرصت‌های اقتصادی جدیدی را برای صنایع غذایی

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

غلاف زیره سبز از ضایعات کارخانه زیره ایران واقع در مشهد تهیه و برای خاک‌زدایی با آب شسته و بعد صاف گردید. سپس روی پارچه نخی در سایه خشک شده و با آسیاب نیمه‌صنعتی پودر گردید. پودر حاصل تا زمان استفاده در جای خنک و به دور از نور آفتاب نگهداری شد.

محلول ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH)، اتانول و محیط‌های کشت آگار مولر هینتون آگار و سابروز دکستروز از شرکت مرک (Merck) تهیه شد. سویه‌های باکتری شامل *E. coli* S. aureus (ATCC:25923) و *P. aeruginosa* (ATCC:27853) و (NCTC:12900) گروه بهداشت مواد غذایی (دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد) تهیه گردید و فعال‌سازی در شرایط کاملاً استریل انجام شد.

تهیه عصاره

به‌منظور استخراج عصاره غلاف زیره، ۳ نوع حلال هیدروالکلی، الکلی و آبی به شرح ذیل استفاده شد.

عصاره هیدروالکلی غلاف زیره

برای تهیه عصاره، مقدار ۵۰ گرم پودر غلاف زیره با نسبت ۱ به ۶ با حلال استخراج مخلوط شد (یعنی به ازای هر گرم پودر، ۶ میلی‌لیتر حلال در نظر گرفته شد). حلال مورد استفاده، مخلوطی از اتانول ۹۶ درصد و آب مقطر به نسبت حجمی ۷۵ به ۲۵ بود؛ به عبارت دیگر، ۳۰۰ میلی‌لیتر حلال کلی شامل ۲۲۵ میلی‌لیتر اتانول و ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه گردید. پس از اختلاط، مخلوط به مدت ۳ ساعت در حمام فراصوت در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس عصاره حاصل با استفاده از فیلتر تحت خلأ صاف شده و الک آن توسط دستگاه تبخیرکننده دوار (روتاری اواپراتور) حذف گردید. پودر خشک عصاره تا زمان انجام آزمون در دمای یخچال نگهداری شد (Bettaieb Rebey et al., 2014; Tuzcu et al., 2017).

عصاره الکلی غلاف زیره

۲۰ گرم پودر غلاف زیره با ۶۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد مخلوط و به‌طور مرتب روزانه تا مدت ۷ روز هم زده شد و بعد با فیلتر تحت خلأ توسط کاغذ صافی جدا شده و در روتاری حلال‌زدایی گردید. نمونه به دست آمده در دمای یخچال تا زمان مصرف نگهداری شد (Al Juhaimi & Ghafoor, 2013).

عصاره آبی غلاف زیره

۱۰۰ گرم پودر غلاف زیره با ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (نسبت ۱ به ۴) مخلوط و با همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت مخلوط و بعد صاف گردید. عصاره بدست آمده در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۸ ساعت خشک شده و تا زمان مصرف عصاره در یخچال نگهداری شد (Al., 2020; Bettaieb et al., 2010).

اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنلی کل (TPC)

میزان ترکیبات فنولی کل براساس روش رنگ‌سنجی فولین سیو کالتیو (Folin-Ciocalteu) و برحسب اسید گالیک اندازه‌گیری شد (Niazmand & Razavizadeh, 2021). ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره (نسبت ۰/۲۵ گرم در ۲۵ میلی‌لیتر) با ۲/۵ میلی‌لیتر واکنشگر فولین سیوکالتیو ۱۰ درصد مخلوط و به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. سپس ۲ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد سدیم کربنات به آن اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در مکان تاریک در دمای اتاق نگهداری شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۰ نانومتر توسط طیف‌سنج مرئی فرابنفش اندازه‌گیری شد. مقادیر فنول کل عصاره با استفاده از منحنی استاندارد براساس میکروگرم برابر گالیک اسید در گرم عصاره اندازه‌گیری و گزارش گردید.

اندازه‌گیری خاصیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور تعیین خاصیت آنتی‌اکسیدانی از روش به دام‌اندازی رادیکال DPPH استفاده شد (Soleimanifar et al., 2019). ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۴ میکرولیتر محلول

متانولی DPPH ۰/۰۸ میلی مول بر لیتر مخلوط و ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. جذب نمونه در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه گیری شد. میزان درصد مهار رادیکال آزاد DPPH با استفاده از فرمول ۱ تعیین مقدار شد.

$$RSC (\%) = (A_{blank} - A_{sample} / A_{blank}) \times 100 \quad (1)$$

A_{sample} میزان جذب نمونه و A_{blank} میزان جذب شاهد می باشد

تعیین ترکیبات عصاره هیدروالکلی غلاف زیره با LC-MS برای تعیین نوع و میزان ترکیبات موجود در عصاره هیدروالکلی غلاف زیره، از روش کروماتوگرافی مایع-طیف سنجی جرمی (LC-MS) به صورت جداگانه استفاده شد. آنالیز LC-MS با استفاده از دستگاه Waters Alliance 2695 انجام شد. ستون کروماتوگرافی از نوع C18 با اندازه ذرات ۳ میکرون و ابعاد ۱۰۰×۲/۱ میلی متر بود. به عنوان بخش متحرک، از ترکیب دو حلال شامل حلال C (استونیتریل به همراه ۰/۱ درصد اسید فرمیک) و حلال B (آب مقطر به همراه ۰/۱ درصد اسید فرمیک) استفاده شد. دمای ستون در طول آنالیز ۳۵ درجه سانتی گراد حفظ شد و میزان جریان بخش متحرک ۲/۰ میلی لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد. همچنین حجم تزریق نمونه برابر با ۵ میکرولیتر بود.

تعیین خاصیت ضد میکروبی

در این مطالعه از روش برات میکرو دایلوژن (Broth micro dilution method) برای تعیین MIC استفاده شد. به این ترتیب که سویه باکتریایی (*S. aureus* (ATCC:25923 و *E. coli* (NCTC:12900)، *P. aeruginosa* (ATCC:27853) در محیط مولر هینتون مایع کدورتی برابر ۰/۵ مک فارلند (معادل غلظت $10^8 \times 1/5$ واحد تشکیل کلنی در میلی لیتر) تهیه شد و پس از رقت سازی، سوسپانسیونی با غلظت $10^4 \times 1$ واحد تشکیل کلنی در میلی لیتر به دست آمد.

همچنین، از عصاره هیدروالکلی غلاف زیره با غلظت ۸۰۰ میلی گرم در میلی لیتر در محیط برات تهیه گردید و در میکروپلیت ۹۶ خانه، ۱۰۰ میکرولیتر از رقت ۸۰۰ عصاره ریخته شد. سپس ۸۰ میکرولیتر از محیط کشت برات اضافه و بعد به روش میکرو دایلوژن رقت سازی شد و ۲۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری ها اضافه گردید. این آزمون در سه تکرار انجام شد. همچنین چاهک های حاوی ۲۰۰ میکرولیتر محیط کشت برات با باکتری به عنوان کنترل مثبت و یک چاهک حاوی محیط کشت با حلال دی متیل سولفوکساید، به عنوان کنترل منفی در نظر گرفته شد. سپس میکروپلیت لرزانده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرمخانه گذاری گردید. پس از ۲۴ ساعت، کدورت در طول موج ۶۲۰ نانومتر به کمک الایزاریدر (آمریکا--ELX 808-BioTeh) خوانده شد و نتایج ثبت گردید.

همچنین برای تأیید بیشتر به تمام خانه های هر پلیت ۵۰ میکرولیتر محلول تری فنیل تترازیلوم کلراید با غلظت ۰/۰۱ درصد برای تأیید اضافه شد. پس از گذشت این مدت، میکروپلیت از گرمخانه خارج و از نظر ایجاد رنگ قرمز بررسی شد.

به منظور تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) ۲۰ میکرولیتر از چاهک ها برداشته و در پلیت های حاوی محیط کشت مولر هینتون جامد کشت داده شد. این پلیت ها به مدت ۲۴-۴۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد گرمخانه گذاری شدند و پس از این مدت عدم افزایش کدورت نشان دهنده حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) و عدم رشد باکتری در غلظت هایی که عدم افزایش کدورت داشتند نشان دهنده حداقل غلظت های کشنده آن عصاره (MBC) در نظر گرفته شد. همه آزمایش ها سه بار تکرار شد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش تجزیه و تحلیل داده ها توسط نرم افزار Minitab در سطح معنی داری ۵ درصد انجام شد. تمامی آزمون ها در سه تکرار انجام شدند. مقایسه میانگین ها

الکلی غلاف زیره سبز ۲۵۱/۷۶ (۰/۰۱ میلی گرم برابر گالیک اسید بر گرم عصاره) و کمترین مربوط به عصاره آبی غلاف زیره سبز ۱۵۲/۸۰ (۰/۰۱ میلی گرم برابر گالیک اسید بر گرم) بود.

خاصیت آنتی اکسیدانی

نتایج نشان داد که بیشترین میزان خاصیت آنتی اکسیدانی مربوط به عصاره هیدروالکلی و کمترین مربوط به عصاره الکلی غلاف زیره سبز بود. نتایج نشان داد که میزان مهار رادیکال آزاد DPPH در عصاره آبی غلاف زیره سبز ۶۳/۵۶، عصاره الکلی غلاف زیره سبز ۳۲/۴ و عصاره هیدروالکلی غلاف زیره سبز ۷۱/۹۱ درصد بود. جدول ۱ خاصیت آنتی اکسیدانی، مقدار ترکیبات فنولی کل و درصد استخراج عصاره‌های مختلف غلاف زیره سبز را نشان می‌دهد (جدول ۱).

با استفاده از آزمون توکی انجام گردید و در تمام ارزیابی‌ها $P < 0.05$ به عنوان حد معنی داری در نظر گرفته شد.

نتایج

درصد استخراج (بازده وزنی)

عصاره‌گیری به سه روش آبی، الکلی و هیدروالکلی از غلاف زیره سبز انجام شد. درصد بازدهی وزنی عصاره به ترتیب برای این سه روش، ۲۵ درصد، ۵ درصد و ۸/۷۶ درصد به دست آمد. بازده وزنی به صورت نسبت وزن عصاره خشک به وزن نمونه اولیه و برحسب درصد محاسبه و گزارش شد. نتایج نشان داد که روش آبی بیشترین بازده وزنی را در مقایسه با دو روش دیگر داشت.

محتوای فنول کل عصاره

طبق نتایج، بیشترین میزان فنول کل مربوط به عصاره

جدول ۱- فعالیت آنتی اکسیدانی، محتوای ترکیبات فنولی کل و بازده استخراج عصاره‌های مختلف غلاف زیره سبز

Table 1. Antioxidant activity, total phenolics content, and extraction yield of various *Cuminum cyminum* husk extracts

Extract type	Yield (%)	Total phenolics content (mg GAE.g ⁻¹)	Radical Scavenging Capacity (%)
Water	25±1.2 ^b	152.8±9.2 ^c	63.56±4.32 ^b
Alcoholic	5±1.2 ^e	251.76±12.28 ^a	32.4±1.84 ^d
Hydroalcoholic	8.76±0.38 ^d	196.14±7.58 ^b	71.91±2.55 ^a

Means±SD with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Tukey test).

شناسایی ترکیبات عصاره شده توسط کروماتوگرافی

با توجه به وجود بیشترین مقدار خاصیت آنتی اکسیدانی در عصاره هیدروالکلی، ترکیبات این عصاره توسط روش کروماتوگرافی مورد شناسایی قرار گرفت. جدول ۲ ترکیبات شیمیایی عصاره غلاف زیره سبز شناسایی شده با روش LC-MS را نشان می‌دهد.

در این میان، حضور ترکیبات مهمی مانند فرولیک اسید، روتین و کوئرستین نیز با روش‌های کروماتوگرافی تأیید شد. این ترکیبات دارای خواص شیمیایی و درمانی قابل توجهی هستند. فرولیک اسید با فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی، ظرفیت توسعه مواد زیست‌پایه برای کاربردهای پزشکی و

غذایی را دارد (Ghosh et al., 2017; Zduńska et al., 2018; Silva et al., 2025). روتین و کوئرستین نیز به عنوان فلاونوئیدهای کلیدی، دارای اثر قوی آنتی اکسیدانی، ضدالتهابی و ضدسرطانی هستند و حتی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو و التهابی مؤثرند (Muvhulawa et al., 2022; Ghanbari-Movahed et al., 2021; Başaran et al., 2022; Bispo da Silva et al., 2020). این ترکیبات همچنین با مهار رشد باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم، ظرفیت بالایی برای مقابله با مقاومت آنتی‌بیوتیکی دارند (Cherrak et al., 2016). مطالعات جدید نشان داده‌اند که این فلاونوئیدها در مدل‌های حیوانی و سلولی باعث کاهش کلسترول، تنظیم

نشان می‌دهد (Ghosh *et al.*, 2017; Muvhulawa *et al.*, 2022; Ghanbari-Movahed *et al.*, 2021; Başaran *et al.*, 2022; Bispo da Silva *et al.*, 2020; Cherrak *et al.*, 2016; Habtemariam, 2016)

متابولیسم و افزایش سطح استرادیول می‌شوند که می‌تواند در بهبود اختلالات متابولیک و باروری مؤثر باشد (Habtemariam, 2016). به‌طور کلی، شناسایی این ترکیبات با روش‌های کروماتوگرافی مدرن، اهمیت آنها را به عنوان عوامل مؤثر در توسعه داروهای گیاهی و مکمل‌های غذایی

جدول ۲- شناسایی ترکیبات شیمیایی عصاره هیدروالکلی غلاف زیره سبز با روش کروماتوگرافی مایع-طیف‌سنج جرمی

Table 2. Identification of chemical compounds in the hydroalcoholic extract of *Cuminum cyminum* husk by liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS)

No.	Compound	RT (min)	[M-H] m/z	Main fragment (m/z)	Molecular weight	Reference
1	Ferulic acid	1.55	195	192/71, 169/55, 135/52, 87, 104/2	194.18	PubChem CID 445858
2	Xylene	2.54	107	51/10, 105/10, 77/10, 106/10, 91/10	106.16	PubChem CID 7809
3	2(3H)-Furanone, 5-methyl	3.98	99	98/10, 55/10, 42/10, 105/10, 41/10	98.09	PubChem CID 102550
4	Benzene, 1-ethyl-4-methyl	5.40	121.2	117/10, 91/10, 77/10, 120/10, 105/10	120.19	NIST SRD 69
5	Glycerin	5.87	93.2	44/10, 105/10, 43/10, 61/10	92.09	PubChem CID 753
6	Hemellitene	7.95	121.19	91/10, 119/10, 77/10, 105/10, 120/10	120.16	PubChem CID7247
7	Undecane	9.64	157.31	85/10, 71/10, 41/10, 57/10, 43/10	156.31	PubChem CID 14257
8	Rutin	10.59	611	464, 450, 434, 535/94, 520	610	PubChem CID 5280805
9	Dodecane	11.71	171.30	85/20, 71/10, 41/10, 57/10	170.33	PubChem CID 8182
10	Cuminaldehyde	12.58	149.2	77/10, 119/10, 148/10, 105/10, 133/10	148.21	PubChem CID 326
11	α -D-glucopyranuronic acid	13.19	195.14	105/10, 57/10, 44/10, 43/10, 75/10	194.14	PubChem CID 444791
12	α -Longipinene	15.96	205.35	91/10, 121/10, 105/10, 119/10, 93/10	204.35	PubChem CID 520957
13	Quercetin	16.48	303.2	300, 288, 232, 157/63	302.2	PubChem CID 5280343
14	Betulin	17.87	442.72	236, 308, 425/14, 400, 353/218, 190/277, 208	442.72	PubChem CID 72326
15	β -Selinene	18.80	204.35	55/10, 157/10, 156/10, 204/10, 83/10	204.35	PubChem CID 442393

فعالیت ضد میکروبی عصاره هیدروالکلی غلاف زیره به روش ایجاد چاهک

هاله عدم رشد عصاره هیدروالکلی غلاف زیره با غلظت ۵۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم در میلی لیتر در مقابل باکتری *S. aureus* به ترتیب ۱۵، ۱۹ و ۲۲/۵ میلی متر، باکتری *P.*

aeruginos، ۱۲ و ۱۳ میلی متر بود، در حالی که در مقابل باکتری *E. coli* هاله عدم رشد مشاهده نگردید. قطر هاله عدم رشد باکتری در اطراف دیسک آنتی بیوتیک جنتامایسین به ترتیب ۳۰، ۳۳ و ۳۵ میلی متر بود (جدول ۳).

جدول ۳- قطر هاله عدم رشد (میلی متر) برای غلظت های مختلف عصاره هیدروالکلی غلاف زیره سبز و جنتامایسین

Table 3. Diameter of the growth inhibition zone (mm) for different concentrations of *Cuminum cyminum* hydroalcoholic husk extract and gentamicin

Microorganism	Hydroalcoholic concentration (mg.ml ⁻¹)			
	1000	800	500	Gentamicin
<i>Staphylococcus aureus</i>	22.1±5.25 ^c	19±0.87 ^b	15.41±1.0 ^a	35.33±2.0 ^c
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13.54±0.0 ^c	12.65±0.0 ^b	11.78±0.0 ^a	33.41±2.0 ^d
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	30

Means±SD with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Tukey test).

حداقل غلظت مهارکنندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) عصاره هیدروالکلی غلاف زیره حداقل غلظت مهارکنندگی عصاره هیدروالکلی غلاف زیره علیه باکتری *S. aureus* ۱۰۰ میلی گرم در میلی لیتر و حداقل غلظت کشندگی عصاره هیدروالکلی غلاف زیره علیه باکتری *S. aureus* در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در میلی لیتر بود. حداقل غلظت مهارکنندگی عصاره هیدروالکلی غلاف زیره علیه باکتری *P. aeruginosa* ۲۰۰ میلی گرم در میلی لیتر و حداقل غلظت کشندگی باکتری *P. aeruginosa* در عصاره هیدرو الکلی غلاف زیره غلظت ۴۰۰ میلی گرم در میلی لیتر بود (جدول ۴). رنگ قرمز به دست آمده در میکروپلیت با محلول تری فنیل تترازولیوم کلراید (Triphenyl tetrazolium chloride) ۰/۰۱ درصد پس از ۳ ساعت گرمخانه گذاری، با نتایج به دست آمده از الایزاریدر مطابقت داشت.

بحث

ترکیبات فنولی موجود در زیره سبز به عنوان آنتی اکسیدانهای قوی عمل کرده و با مهار رادیکال های آزاد، از آسیب های سلولی جلوگیری می کنند که این موضوع زیره

سبز را به منبعی غنی از ترکیبات زیست فعال برای تحقیقات علمی و صنعتی تبدیل کرده است (Derakhshan et al., 2021; Karik et al., 2010). مطالعات نشان داده اند که عصاره های گیاهی حاوی ترکیبات فنولی در پیشگیری و درمان بیماری هایی مانند سرطان، بیماری های قلبی و عروقی و دیابت مؤثر هستند (Sabet & Iacobellis et al., 2005; Mortazaeinezhad, 2018). علاوه بر این، زیره سبز دارای خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی بوده که می تواند در مبارزه با عفونت های میکروبی و کاهش بار میکروبی مفید باشد (Kedia et al., 2014; Abbazadegan et al., 2016). این خواص به ویژه در مواجهه با چالش مقاومت میکروبی به آنتی بیوتیک ها، استفاده از ترکیبات طبیعی با خاصیت ضد میکروبی را به عنوان راهکاری مؤثر و پایدار معرفی می کند (Mohammadpour et al., 2012). غلاف زیره که به عنوان ضایعات گیاهی در فرآیند تولید زیره محسوب می شود، می تواند منبعی غنی از ترکیبات زیست فعال باشد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به افزایش توجه به استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی و کاهش پسماندها، بررسی و استخراج ترکیبات فعال از غلاف زیره می تواند ارزش افزوده ای به این محصول بدهد و به طور قابل توجهی از

ضایعات کشاورزی جلوگیری کند.

در این مطالعه، بیشترین درصد میزان بازده وزنی استخراج در غلاف زیره مربوط به عصاره آبی و کمترین مربوط به عصاره الکلی بود. میزان فنل کل عصاره غلاف زیره مطابق با نتایج Fatima و همکاران (۲۰۱۸) و Shan و همکاران (۲۰۰۵) بود. در این مطالعه، با وجود اینکه عصاره الکلی غلاف زیره سبز حاوی میزان بالاتری از ترکیبات فنولی بود، خاصیت آنتی اکسیدانی آن کمتر از عصاره آبی بود. این موضوع می تواند به تفاوت در حلالیت و پایداری ترکیبات فنولی در حلال های مختلف، تغییرات ساختاری ناشی از حلال های الکلی، رقابت ترکیبات غیرفعال با فنول ها برای رادیکال های آزاد و احتمال وجود ناخالصی های مؤثر در عصاره الکلی مرتبط باشد. بنابراین، تأثیر حلال بر فعالیت بیولوژیکی ترکیبات نیاز به بررسی و تحلیل دقیق تری دارد. Merah و همکاران (۲۰۲۰) که در پژوهش خود ترکیبات شیمیایی و بیوشیمیایی زیره سبز را مورد ارزیابی قرار دادند، به نتایجی هم راستا با نتایج پژوهش اخیر دست یافتند. Alizadeh Behbahani و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی میزان ترکیبات فنلی اسانس زیره پرداختند که نتایج آنها مؤید نتایج این مطالعه بود. طبق مطالعات گذشته، محققان ترکیبات فنلی نسبتاً کمتری را در عصاره آبی در مقایسه با عصاره متانولی زیره گزارش کردند که عمدتاً به دلیل این واقعیت است که استخراج متانولی قادر به استخراج ترکیبات فنلی غیرقطبی و نیمه قطبی است (Thippeswamy & Naidu, 2005). در مطالعه دیگری، محتوای فنول کل عصاره دانه زیره سیاه به ترتیب ۱۲/۱، ۳۲/۱، ۲۷/۸ و ۷۸/۸ میلی گرم برابر اسید گالیک در هر گرم در عصاره های هگزانی، آب، متانولی خام و اتیل استات بود (Mariod et al., 2009). El-Ghorab و همکاران (۲۰۱۰) میزان کل ترکیبات فنلی عصاره متانولی را نسبت به عصاره هگزانی بالاتر گزارش کردند. این تغییرات را می توان به تغییرات آب و هوا و محل رشد گیاهان در ترکیب با استفاده از حلال های مختلف برای استخراج ترکیبات فعال زیستی نسبت داد. آنتی اکسیدانهای طبیعی می توانند فساد اکسایشی غذاها را

کاهش دهند (Deshmukh & Gaikwad, 2004; Rangaraj et al., 2021). ماهیت و غلظت ترکیبات پلی فنلی به طور کلی مسئول فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره های گیاهیست (Basavegowda & Baek, 2021). همان طور که نشان داده شد در تمام روش های استخراج عصاره، غلاف زیره دارای خاصیت آنتی اکسیدانی بود که بیشترین مقدار مربوط به عصاره هیدروالکلی غلاف زیره سبز و کمترین مقدار مربوط به عصاره الکلی غلاف زیره سبز بود. عصاره هیدروالکلی غلاف زیره دارای ترکیبات زیادی بود که مهمترین آنها شامل کینولین، اسید بنزوئیک، پارا-زایلون (p-Xylene) و تولوئن بود که مطابق با نتایج سایر محققان بود (Li & Jiang, 2004). نتایج نشان داد که عصاره هیدروالکلی غلاف زیره در برابر *E. coli* اثر ضد میکروبی نداشت ولی در مقابل *S. aureus* و *P. aeruginosa* اثر ضد میکروبی قابل قبولی داشت. با افزایش غلظت، خاصیت ضد میکروبی نیز افزایش یافت. Alizadeh Behbahani و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تمام غلظت های عصاره زیره به طور کلی بر رشد قارچ ها و باکتری های گرم مثبت مؤثر بود، اما هیچ اثر بازدارنده ای روی گونه های باکتری گرم منفی *E. coli* و *P. aeruginosa* مشاهده نشد.

حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت کشندگی عصاره هیدروالکلی غلاف زیره مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که این عصاره از خاصیت آنتی باکتریال مطلوبی برخوردار می باشد که هم راستا با نتایج سایر مطالعات بود (Merah et al., 2020). Alizadeh Behbahani و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که حداقل غلظت اسانس زیره که قادر به مهار رشد میکروبی یا کشتن میکروارگانیسم ها بود، برای مخمر *C. albicans* به دنبال گونه های باکتری گرم مثبت و گرم منفی کمتر بود. علاوه بر این، توجه به این نکته مهم است که باکتری های گرم منفی در مقایسه با باکتری های گرم مثبت، مقاومت بالاتری نسبت به اسانس زیره دارند، احتمالاً به دلیل ساختار پیچیده تر غشای سلولی مبتنی بر لیپیدی ساکارید در مقایسه با ساختار موکوپتیدیک تک لایه ای است. اثر ضد میکروبی عصاره غلاف زیره به دلیل حضور ترکیبات فعال

و ضد میکروبی طبیعی، روشن است. این تحقیق می‌تواند به توسعه محصولات جدید و بهره‌برداری بهینه از ضایعات کشاورزی کمک کرده و نقش مهمی در کاهش وابستگی به ترکیبات شیمیایی مصنوعی ایفا کند. استفاده بهینه از غلاف زیره سبز می‌تواند تأثیرات اقتصادی قابل توجهی داشته باشد. استخراج مؤثر ترکیبات ارزشمند از این ضایعات کشاورزی می‌تواند به کاهش هزینه‌های ضایعات و بهبود بهره‌وری اقتصادی کمک کند. علاوه بر این، ویژگی‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی غلاف زیره سبز موجب می‌شود که این ماده به عنوان یک افزودنی ارزشمند در صنایع غذایی و دارویی شناخته شود، که می‌تواند منجر به ایجاد فرصت‌های جدید تجاری و افزایش درآمد برای تولیدکنندگان و فرآوری‌کنندگان گردد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به بررسی روش‌های مختلف استخراج ترکیبات زیست‌فعال از غلاف زیره سبز و ارزیابی ویژگی‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آنها پرداخته شد. نتایج نشان داد که غلاف زیره، با وجود نادیده گرفته شدن به عنوان ضایعات کشاورزی، دارای ترکیبات فنولی قابل توجه و خواص دارویی مهمی است. استخراج ترکیبات فعال از این ضایعات می‌تواند به بهینه‌سازی منابع طبیعی و کاهش پسماندهای کشاورزی کمک کند. این مطالعه با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مانند انواع کروماتوگرافی، ترکیبات شیمیایی موجود در عصاره‌های مختلف را شناسایی کرد و نشان داد که غلاف زیره می‌تواند به عنوان یک منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال در صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد و مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی (RIFST) انجام شده است، از دست‌اندرکاران هر دو مجموعه قدردانی می‌گردد.

زیستی که از طریق مهار آنزیمی ترکیب اکسید شده یا واکنش با گروه‌های سولفیدریل پروتئین‌ها از طریق حالت‌های غیراختصاصی، نقش بازدارنده رشد میکروبی را ایجاد می‌کنند و عملکرد پروتئین را اصلاح می‌کنند.

در روش کروماتوگرافی، تحلیل ترکیبات فعال در غلاف زیره سبز می‌تواند به شناسایی مواد مؤثر در ویژگی‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن کمک کند. برای نمونه، نتایج مطالعات گذشته نشان داده‌اند که ترکیب کینولین به عنوان یک عامل ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی شناخته می‌شود (Mirjalili et al., 2018). تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که کینولین دارای فعالیت ضد میکروبی قوی علیه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی است و قادر به مهار فعالیت رادیکال‌های آزاد می‌باشد (Abu Ahmed et al., 2022; Elmongy et al., 2022). در عین حال، مطالعات دیگری تأثیرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی سایر ترکیبات شناسایی شده در غلاف زیره سبز را بررسی کرده‌اند (Jirovetz et al., 2005; Wanner et al., 2010). ترکیباتی مانند اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها نیز در این ضایعات شناسایی شده و نشان داده‌اند که به طور قابل توجهی به فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی کمک می‌کنند. نتایج این تحقیقات حکایت از آن دارد که ترکیبات مختلف در غلاف‌های زیره سبز می‌توانند اثرهای متنوعی بر گروه‌های مختلف میکروارگانیسم‌ها داشته باشند. در نهایت، استفاده از روش‌های کروماتوگرافی برای شناسایی و تحلیل ترکیبات فعال در غلاف زیره سبز، به درک بهتر از ویژگی‌های بیوشیمیایی این ماده و کاربردهای آن در صنایع مختلف منجر خواهد شد.

با وجود نتایج امیدوارکننده این مطالعه، چالش‌های متعددی مانند بهینه‌سازی روش‌های استخراج، افزایش بازدهی و کاهش هزینه‌های تولید ترکیبات زیست‌فعال از غلاف زیره سبز همچنان وجود دارد. همچنین، نیاز به تحقیقات بیشتر برای تعیین دوزهای مؤثر و ایمن و بررسی اثرهای جانبی احتمالی در کاربردهای صنعتی و دارویی این ترکیبات احساس می‌شود. با این حال، آینده این مطالعه با توجه به قابلیت‌های فراوان زیره سبز و غلاف آن در ارائه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی

References

- Abbaszadegan, A., Gholami, A., Ghahramani, Y., Ghareghhan, R., Ghareghhan, M., Kazemi, A., Iraj, A. and Ghasemi, Y., 2016. Antimicrobial and cytotoxic activity of *Cuminum cyminum* as an intracanal medicament compared to chlorhexidine gel. Iranian Endodontic Journal, 11(1): 44-50. <https://doi.org/10.7508/iej.2016.01.009>
- Abu Ahmed, S.E.S., Alshiteewi, S.A., Moawed, E.A. and Ayyad, S.N., 2022. Phytochemical composition of *Cuminum cyminum* and its biological activity. Scientific Journal for Damietta Faculty of Science, 12(1): 29-38. <https://doi.org/10.21608/sjdfs.2022.269864>
- Agarwal, U., Pathak, D.P., Kapoor, G., Bhutani, R., Roper, R., Gupta, V. and Kant, R., 2017. Review on *Cuminum cyminum* - nature's magical seeds. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 9(9): 180-187. <https://doi.org/10.21608/sjdfs.2022.269864>
- Akbar, A., Ali, I., Samiullah, N.U., Khan, S.A., Rehman, Z. and Rehman, S., 2019. Functional, antioxidant, antimicrobial potential and food safety applications of *Curcuma longa* and *Cuminum cyminum*. Pakistan Journal of Botany, 51(3): 1129-1135. <https://doi.org/10.30848/PJB2019-3>
- Al Juhaime, F. and Ghafoor, K., 2013. Extraction optimization and in vitro antioxidant properties of phenolic compounds from cumin (*Cuminum cyminum* L.) seed. International Food Research Journal, 20(4): 1669-1675. <https://www.researchgate.net/publication/286123665>
- Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M. and Falah, F., 2019. Cumin essential oil: Phytochemical analysis, antimicrobial activity and investigation of its mechanism of action through scanning electron microscopy. Microbial Pathogenesis, 136: 103716. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103716>
- 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/bmrat.v7i9.634>
- Al-Snafi, A.E., 2016. The pharmacological activities of *Cuminum cyminum*- A review. IOSR Journal of Pharmacy, 6(6): 46-65. <https://www.researchgate.net/publication/313742829>
- Başaran, E., Öztürk, A.A., Şenel, B., Demirel, M. and Sarıca, Ş., 2022. Quercetin, rutin and quercetin-rutin incorporated hydroxypropyl β -cyclodextrin inclusion complexes. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 174: 106202. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2022.106153>
- Basavegowda, N. and Baek, K.H., 2021. Synergistic antioxidant and antibacterial advantages of essential oils for food packaging applications. Biomolecules, 11(9): 1267. <https://doi.org/10.3390/biom11091267>
- Belal, A.A., Ahmed, F.B. and Ali, L.I., 2017. Antibacterial activity of *Cuminum cyminum* L. oil on six types of bacteria. American Journal of BioScience, 5(4): 70-73. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20170504.13>
- Bettaieb Rebey, I., Bourgou, S., Ben Slimen Debez, I., Jabri Karoui, I., Hamrouni Sellami, I., Msaada, K., Limam, F. and Marzouk, B., 2012. Effects of extraction solvents and provenances on phenolic contents and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Food and Bioprocess Technology, 5: 2827-2836. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-011-0625-4>
- Bettaieb Rebey, I., Kefi, S., Bourgou, S., Ouerghemmi, I., Ksouri, R., Tounsi, M.S. and Marzouk, B., 2014. Ripening stage and extraction method effects on physical properties, polyphenol composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Plant Foods for Human Nutrition, 69: 358-364. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0442-9>
- Bettaieb, I., Bourgou, S., Wannes, W.A., Hamrouni, I., Limam, F. and Marzouk, B., 2010. Essential oils, phenolics, and antioxidant activities of different parts of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(19): 10410-8. <https://doi.org/10.1021/jf102248j>
- Bhat, S.P., Rizvi, W. and Kumar, A., 2014. Effect of *Cuminum cyminum* L. seed extracts on pain and inflammation. Journal of Natural Remedies, 14(2): 186-192. <https://doi.org/10.18311/JNR/2014/81>
- Bispo da Silva, A., Coelho, P., Oliveira, M.N., Oliveira, J.L., Amparo, J., Costa da Silva, K., Soares, J., Pitanga, B.P., Souza, C.S., Lopes, G.P.F., Silva, V., Costa, M.D.F.D., Junier, M., Chneiweiss, H., Moura-Neto, V. and Costa, S., 2020. The flavonoid rutin and its aglycone quercetin modulate the microglia inflammatory profile, improving anti-glioma activity. Brain, Behavior, and Immunity, 87: 132-150. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.05.003>
- Bouchra Sayed Ahmad, M., El Sohaimey, S.A., Zeitoun, A.M. and Mehaya, F.M. 2018. Protein bread fortification with cumin and caraway seeds and by-product flour. Foods, 7(11): 186. <https://doi.org/10.3390/foods7030028>
- Cherrak, S., Mokhtari-Soulmane, N., Berroukeche, F., Bensene, B., Cherbonnel, A., Merzouk, H. and Elhabiri, M., 2016. In vitro antioxidant versus metal ion chelating properties of flavonoids: A structure-activity investigation. PLOS One, 11(10): e0165575. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165575>
- Derakhshan, S., Sattari, M. and Bigdeli, M., 2010.

- Effect of cumin (*Cuminum cyminum*) seed essential oil on biofilm formation and plasmid integrity of *Klebsiella pneumoniae*. *Pharmacognosy Magazine*, 6(21): 57. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.59967>
- Deshmukh, R.K. and Gaikwad, K.K., 2024. Natural antimicrobial and antioxidant compounds for active food packaging applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(4): 4419-4440. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02623-w>
 - El-Ghorab, A.H., Nauman, M., Anjum, F.M., Hussain, S. and Nadeem, M., 2010. A comparative study on chemical composition and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) and cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(14): 8231-8237. <https://doi.org/10.1021/jf101202x>
 - Elmongy, E.I., Ahmed, A.A., El Sayed, I.E.T., Fathy, G., Awad, H.M., Salman, A.U. and Hamed, M.A., 2022. Synthesis, biocidal and antibiofilm activities of new isatin-quinoline conjugates against multidrug-resistant bacterial pathogens along with their in silico screening. *Antibiotics*, 11(11): 150-157. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11111507>
 - Fatima, T., Beenish, N.B., Gani, G., Qadri, T. and Bhat, T.A., 2018. Antioxidant potential and health benefits of cumin. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6(2): 232-236. <https://www.plantsjournal.com/archives/?year=2018&vol=6&issue=2&part=D&ArticleId=808>
 - Ghanbari-Movahed, M., Farzaei, M. and Bishayee, A., 2021. Quercetin and rutin-based nano-formulations for cancer treatment: A systematic review of improved efficacy and molecular mechanisms. *Phytomedicine*, 91: 153652. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153909>
 - Ghasemi, G., Fattahi, M., Alirezalu, A. and Ghosta, Y., 2019. Antioxidant and antifungal activities of a new chemovar of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Food Science and Biotechnology*, 28(3): 669-677. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0506-y>
 - Ghosh, S., Basak, P., Dutta, S., Chowdhury, S. and Sil, P., 2017. New insights into the ameliorative effects of ferulic acid in pathophysiological conditions. *Food and Chemical Toxicology*, 103: 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.02.028>
 - Gohari, A.R. and Saeidnia, S., 2011. A review on phytochemistry of *Cuminum cyminum* seeds and its standards from field to market. *Pharmacognosy Journal*, 3(25): 1-5. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0506-y>
 - Habtemariam, S., 2016. Rutin as a natural therapy for Alzheimer's disease: Insights into its mechanisms of action. *Current Medicinal Chemistry*, 23(9): 860-873. <https://doi.org/10.2174/09298673236661602171243>
 - Iacobellis, N.S., Lo Cantore, P., Capasso, F. and Senatore, F., 2005. Antibacterial activity of *Cuminum cyminum* L. and *Carum carvi* L. essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(1): 57-61. <https://doi.org/10.1021/jf0487351>
 - Jafraian Asl, P., Niazmand, R. and Sherazi, S.T.H., 2021. Rapid determination of bioactive lipid-type materials of rapeseed oil deodorizer distillate by GC-MS. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 9(4): 351-362. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2020.198661.1137>
 - Jirovetz, L., Buchbauer, G., Stoyanova, A.S., Georgiev, E.V. and Damianova, S.T., 2005. Composition, quality control and antimicrobial activity of the essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds from Bulgaria that had been stored for up to 36 years. *International Journal of Food Science & Technology*, 40(3): 305-310. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00915.x>
 - Johri, R., 2011. *Cuminum cyminum* and *Carum carvi*: An update. *Pharmacognosy Reviews*, 5(9): 63. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.79101>
 - 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>
 - Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P.K. and Dubey, N., 2014. Antifungal and antiaflatoxicogenic properties of *Cuminum cyminum* (L.) seed essential oil and its efficacy as a preservative in stored commodities. *International Journal of Food Microbiology*, 168: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.10.008>
 - Koochsari, 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>
 - Li, R. and Jiang, Z.T., 2004. Chemical composition of the essential oil of *Cuminum cyminum* L. from China. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4): 311-313. <https://doi.org/10.1002/ffj.1302>
 - Mariod, A.A., Ibrahim, R.M., Ismail, M. and Ismail, N., 2009. Antioxidant activity and phenolic content of phenolic rich fractions obtained from black cumin (*Nigella sativa*) seedcake. *Food Chemistry*, 116(1): 306-312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.051>

- Mehdizadeh, L., Ghasemi Pirbalouti, A. and Moghaddam, M., 2017. Storage stability of essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a function of temperature. *International Journal of Food Properties*, 20(2): 1742-1750. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354018>
- Merah, O., Sayed-Ahmad, B., Talou, T., Saad, Z., Cerny, M., Grivot, S., Evon, P. and Hijazi, A., 2020. Biochemical composition of cumin seeds, and biorefining study. *Biomolecules*, 10(7): 1054. <https://doi.org/10.3390/biom10071054>
- Milan, K.M., Dholakia, H., Tikku, P.K. and Vishveshwaraiah, P., 2008. Enhancement of digestive enzymatic activity by cumin (*Cuminum cyminum* L.) and role of spent cumin as a bionutrient. *Food Chemistry*, 110(3): 678-683. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.062>
- Mirjalili, S., Kavooosi, B. and Peyro, Y., 2018. Assessment of vase life and postharvest quality of cut rose (*Rosa hybrida* cv. Angelina) flowers by application of cumin (*Cuminum cyminum* L.) essential oil and 8-hydroxyquinoline sulfate. *Advances in Horticultural Science*, 32(3): 363-370. <https://doi.org/10.13128/ahs-22320>
- Mnif, S. and Aifa, S., 2015. Cumin (*Cuminum cyminum* L.) from traditional uses to potential biomedical applications. *Chemistry & Biodiversity*, 12(5): 733-742. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201400305>
- Mohammadpour, H., Moghimipour, E., Rasooli, I., Fakoor, M.H., Astaneh, S.A., Moosaie, S.S. and Jalili, Z., 2012. Chemical composition and antifungal activity of *Cuminum cyminum* L. essential oil from Alborz mountain against *Aspergillus* species. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 7(2): 50. <https://doi.org/10.17795/jjnpp-3445>
- Mohammed, F.S., Sevindik, M., Uysal, İ., Česko, C. and Koraqi, H., 2024. Chemical composition, biological activities, uses, nutritional and mineral contents of cumin (*Cuminum cyminum*). *Measurement: Food*, 14: 100157. <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2024.100157>
- Mughal, S.S., 2022. A review on potential antioxidant effects of cumin (*Cuminum cyminum*), phytochemical profile and its uses. *Global Scientific Journal*, 8(9): 1-20. <https://doi.org/10.22541/au.166401164.45578619/v1>
- Muvhulawa, N., Dlodla, P., Ziqubu, K., Mthembu, S., Mthiyane, F.T., Nkambule, B. and Mazibuko-Mbeje, S., 2022. Rutin ameliorates inflammation and improves metabolic function: A comprehensive analysis of scientific literature. *Pharmacological Research*, 175: 106035. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106163>
- Nadeem, M. and Riaz, A., 2012. Cumin (*Cuminum cyminum*) as a potential source of antioxidants. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22(2): 101-107. <https://www.academia.edu/78964020>
- Niazmand, R. and Razavizadeh, B.M., 2021. *Ferula asafoetida*: chemical composition, thermal behavior, antioxidant and antimicrobial activities of leaf and gum hydroalcoholic extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 58(6): 2148-2159. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04724-8>
- 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*, 15: 795-807. <https://doi.org/10.2147/IJN.S230893>
- Patil, A., Baghel, R., Nayak, S., Malapure, C., Govil, K., Kumar, D. and Yadav, P.K., 2017. Cumin (*Cuminum cyminum*): As a feed additive for livestock. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(3): 365-369. <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2017&vol=5&issue=3&ArticleId=1829>
- Rana, A., Kumar, V., Mirza, A. and Panghal, A., 2018. Efficacy of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a bionutrient and its management. *Annals of Applied Biology*, 34(2): 218-222. <https://www.researchgate.net/publication/326667804>
- Rangaraj, V.M., Rambabu, K., Banat, F. and Mittal, V., 2021. Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, 43: 101251. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>
- Rebey, I.B., Zakhama, N., Karoui, I.J. and Marzouk, B., 2012. Polyphenol composition and antioxidant activity of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seed extract under drought. *Journal of Food Science*, 77(6): 734-739. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02731.x>
- Sabet, H. and Mortazaeinezhad, F., 2018. Yield, growth and Fe uptake of cumin (*Cuminum cyminum* L.) affected by Fe-nano, Fe-chelated and Fe-siderophore fertilization in the calcareous soils. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50: 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.020>
- Sahana, K., Nagarajan, S. and Rao, L.J.M., 2011. Cumin (*Cuminum cyminum* L.) seed volatile oil: Chemistry and role in health and disease prevention: 417-427. In: Preedy, V.R., Watson, R.R. and Patel, V.B., (Eds.). *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. Elsevier, 1189p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10050-7>
- Shan, B., Cai, Y.Z., Sun, M. and Corke, H., 2005. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and

- characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20): 7749-7759. <https://doi.org/10.1021/jf051513y>
- Silva, T., Oliveira, C., Borges, F. and Cagide, F., 2025. Ferulic acid derivatives: A patent review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 258: 115723. <https://www.sciencedirect.com/journal/european-journal-of-medicinal-chemistry/vol/258>
 - Singh, N., Yadav, S.S., Kumar, S. and Narashiman, B., 2021. A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and clinical research of dietary spice *Cuminum cyminum* L. *Phytotherapy Research*, 35(9): 5007-5030. <https://doi.org/10.1002/ptr.7133>
 - Singh, R.P., Gangadharappa, H. and Mruthunjaya, K., 2017. *Cuminum cyminum*— A popular spice: An updated review. *Pharmacognosy Journal*, 9(3): 292-301. <https://doi.org/10.5530/pj.2017.3.51>
 - Soleimanifar, M., Niazmand, R. and Jafari, S.M., 2019. Evaluation of oxidative stability, fatty acid profile, and antioxidant properties of black cumin seed oil and extract. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1): 383-389. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9953-7>
 - Sowbhagya, H.B., 2019. Value-added processing of by-products from spice industry. *Food Quality and Safety*, 3(2): 77-89. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy029>
 - Sowbhagya, H.B., Sampathu, S.R., Krishnamurthy, N. and Rao, M.R., 2007. Spent residue from cumin – A potential source of dietary fiber. *Food Chemistry*, 104(3): 1229-1233. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01>
 - Sowbhagya, H., 2013. Chemistry, technology, and nutraceutical functions of cumin (*Cuminum cyminum* L.): An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(1): 1-10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.500223>
 - Srinivasan, K., 2018. Cumin (*Cuminum cyminum*) and black cumin (*Nigella sativa*) seeds: Traditional uses, chemical constituents, and nutraceutical effects. *Food Quality and Safety*, 2(1): 1-16. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx031>
 - Thippeswamy, N. and Naidu, K.A., 2005. Antioxidant potency of cumin varieties-cumin, black cumin and bitter cumin-on antioxidant systems. *European Food Research and Technology*, 220: 472-476. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1087-y>
 - Tuzcu, Z., Koclar, G., Agca, C.A., Aykutoglu, G., Dervisoglu, G., Tartik, M. and Sahin, K., 2017. Antioxidant, antimicrobial and anticancer effects of different extracts from wild edible plant *Eremurus spectabilis* leaves and roots. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 10(3): 4787-4797. <https://acikerisim.bingol.edu.tr/handle/20.500.12898/4516>
 - Vieira, I.R.S., de Carvalho, A.P.A.d. and Conte-Junior, C.A., 2022. Recent advances in biobased and biodegradable polymer nanocomposites, nanoparticles, and natural antioxidants for antibacterial and antioxidant food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(4): 3673-3716. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12990>
 - Wanner, J., Bail, S., Jirovetz, L., Buchbauer, G., Schmidt, E., Gochev, V., Girova, T., Atanasova, T. and Stoyanova, A., 2010. Chemical composition and antimicrobial activity of cumin oil (*Cuminum cyminum*; Apiaceae). *Natural Product Communications*, 5(9): 1934578X1000500904. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500904>
 - Zduńska, K., Dana, A., Kolodziejczak, A. and Rotsztein, H., 2018. Antioxidant properties of ferulic acid and its possible application. *Skin Pharmacology and Physiology*, 31(6): 332-336. <https://doi.org/10.1159/000491755>