

بررسی و مقایسه خاصیت ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی و ضد التهابی عصاره آبی چند گیاه معطر بومی شهرستان میمند در استان فارس

شبنم بهزادی^۱، درنوش جعفرپور^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

^۲ گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

*نویسنده مسئول: Do.Jafarpour@iau.ac.ir; d.jafarpour84@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴

چکیده

گیاهان دارویی و معطر با ترکیبات زیست فعال آنتی اکسیدانی، ضد التهابی و ضد میکروبی، نقش مهمی در طب سنتی و صنایع دارویی دارند و شهرستان میمند فارس یکی از زیستگاه های اصلی آن هاست. این پژوهش به بررسی و مقایسه خواص زیستی عصاره آبی چهار گیاه معطر بومی شهرستان میمند فارس شامل آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.)، نعنای (*Mentha spicata* L.)، گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) و بیدمشک (*Salix aegyptiaca* L.) پرداخته است. خواص ضد میکروبی با استفاده از آزمون چاهک آگار و تعیین حداقل غلظت مهار کننده (MIC) و حداقل غلظت کشنده (MBC) علیه باکتری های *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* سنجیده شد. توان آنتی اکسیدانی با روش مهار رادیکال آزاد DPPH و فعالیت ضد التهابی با آزمون مهار آنزیم ۵-لیپوآکسیژناز (LOX-۵) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که نوع گیاه اثر معنی داری بر همه شاخص ها دارد ($P < 0.01$). در میان عصاره های مورد آزمایش، آویشن شیرازی بالاترین قدرت ضد میکروبی و ضد التهابی را نشان داد؛ کمترین مقادیر MIC و MBC برای هر دو باکتری و بیشترین درصد مهار آنزیم LOX-۵ متعلق به این گیاه بود. نعنای در رتبه دوم، گل محمدی در سطح متوسط و بیدمشک با کمترین فعالیت قرار گرفت. حساسیت *S. aureus* به عصاره ها بیشتر از *E. coli* بود که به تفاوت ساختار دیواره سلولی نسبت داده شد. در سنجش آنتی اکسیدانی، آویشن شیرازی با بیشترین مهار رادیکال DPPH (۹۶/۳ درصد در غلظت ۲۵۰ $\mu\text{g/mL}$) عملکرد برتر داشت که با محتوای بالای فنل کل (۱۲۰/۳۳ mg GAE/g) و فلاونوئید کل (۶۹/۷۱ mg QE/g) آن همخوانی داشت. جمع بندی نتایج نشان می دهد که آویشن شیرازی می تواند به عنوان یک جایگزین طبیعی مؤثر برای ترکیبات سنتتیک در صنایع غذایی و دارویی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ضد میکروبی، آنتی اکسیدانی، عصاره آبی، بیدمشک، نعنای، آویشن شیرازی، گل محمدی.

مقدمه

مواد غذایی علاوه بر نقش اصلی خود در تأمین انرژی و مواد مغذی مورد نیاز بدن، امروزه به عنوان عامل ارتقاء سلامت و پیشگیری از بیماری‌ها شناخته می‌شوند. مفهوم غذاهای عملکردی در دهه‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای در پژوهش‌های علوم غذایی و تغذیه پیدا کرده است. این محصولات علاوه بر تأمین نیازهای تغذیه‌ای، حاوی ترکیبات زیست‌فعال هستند که می‌توانند خطر ابتلا به بیماری‌های غیرواگیر نظیر بیماری‌های قلبی-عروقی، سرطان و اختلالات التهابی مزمن را کاهش دهند (Hashemi et al., 2022). در این راستا، استفاده از ترکیبات طبیعی با خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی به عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود کیفیت و ایمنی مواد غذایی و کاهش وابستگی به نگهدارنده‌های سنتتیک مورد توجه قرار گرفته است (Pilevar et al., 2024). فساد میکروبی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در زنجیره تولید و نگهداری مواد غذایی است و منجر به کاهش ماندگاری، تغییر ویژگی‌های حسی و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های منتقله از غذا می‌شود. به همین دلیل، کنترل رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و همچنین باکتری‌های عامل فساد از اهداف اصلی صنایع غذایی است (Barbosa et al., 2021). اگرچه روش‌های متداول مانند فرآوری حرارتی، بسته‌بندی اصلاح‌شده اتمسفر و استفاده از افزودنی‌های شیمیایی سنتزی در کنترل بار میکروبی و افزایش ماندگاری مواد غذایی مؤثر هستند، نگرانی‌های فزاینده‌ای در مورد آثار سوء مصرف بلندمدت این ترکیبات مصنوعی وجود دارد. شواهد علمی نشان می‌دهد که برخی از این نگهدارنده‌ها می‌توانند با عوارض نامطلوبی از جمله پتانسیل سرطان‌زایی، ایجاد اختلالات غدد درون‌ریز و متابولیک و همچنین تسریع در ظهور و گسترش سویه‌های

مقاوم باکتریایی همراه باشند (Kordali et al., 2005; Morteza-Semnani et al., 2008). این دغدغه‌ها لزوم جستجو برای یافتن جایگزین‌های طبیعی، ایمن و سازگار با سلامت مصرف‌کننده را بیش از پیش آشکار ساخته است. گیاهان دارویی و معطر یکی از غنی‌ترین منابع ترکیبات زیست‌فعال به شمار می‌روند و از دیرباز در طب سنتی برای درمان بیماری‌ها استفاده شده‌اند. ترکیبات ثانویه‌ای مانند فنولیک‌ها، فلاونوئیدها، تانن‌ها، تریپنئیدها و آلکالوئیدها، که در این گیاهان وجود دارند، اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی شناخته‌شده‌ای دارند (Barbosa et al., 2021). مکانیسم عمل این ترکیبات شامل تخریب غشای سلولی میکروارگانیسم‌ها، مهار آنزیم‌های متابولیک، جلوگیری از تشکیل بیوفیلم و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد است (Mamadaliyeva et al., 2020). علاوه بر این، توانایی آن‌ها در کاهش التهاب از طریق مهار آنزیم‌های مسیری لپوکسیژناز و سیکلواکسیژناز می‌تواند در پیشگیری از اختلالات التهابی مزمن نقش داشته باشد (Tawfeek et al., 2021). استان فارس و به‌ویژه شهرستان میمند به دلیل شرایط اقلیمی و تنوع زیستی غنی، رویشگاه بسیاری از گیاهان معطر و دارویی است. این گیاهان علاوه بر ارزش دارویی و اقتصادی، بخشی از دانش بومی و فرهنگ تغذیه‌ای مردم منطقه را تشکیل می‌دهند. چهار گونه مهم از این گیاهان شامل آویشن شیرازی (*Zataria multiflora* Boiss.)، نعناع (*Mentha spicata* L.)، گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.) و بیدمشک (*Salix aegyptiaca* L.) هستند که هر یک ویژگی‌های فیتوشیمیایی و زیستی منحصر به فردی دارند. آویشن شیرازی از خانواده نعناعیان است که سرشار از ترکیبات مونوتروپنی

حدود ۱۶۰۰ متر از سطح دریا) در اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ در زمان گلدهی و رشد فعال گیاهان برداشت شدند. بخش‌های مصرفی هر گیاه (برگ، گل یا اندام هوایی) پس از شستشو با آب جاری و آب مقطر استریل، در محیط سایه و جریان هوای ملایم پیش‌خشک گردیدند. سپس گیاهان در آون با دمای ۳۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد تا وزن ثابت خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده آسیاب و از الک مش ۴۰ عبور داده شدند تا پودر یکنواخت حاصل شود.

عصاره‌گیری

عصاره آبی با نسبت ۱:۱۰ پودر خشک گیاه به آب مقطر تهیه شد. مخلوط ۱۰۰ g پودر و ۱ L آب در ۷۰-۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه استخراج، صاف و تحت فشار کاهش‌یافته در ۴۵ درجه سانتی‌گراد تغلیظ گردید. عصاره در ویال‌های تیره در ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

سنجش خاصیت ضد میکروبی عصاره‌های گیاهی

آزمون انتشار چاهک در مولر-هینتون آگار برای ارزیابی عصاره‌های گیاهی علیه *S. aureus* (گرم مثبت) و *E. coli* (گرم منفی) انجام شد. سوسپانسیون باکتری (۵/۰ مک فارلند، $CFU/mL \approx 1 \times 10^8$) روی پلیت‌ها پخش و چاهک‌های ۶ میلی‌متری ایجاد گردید. در هر چاهک، ۱۰۰ μL عصاره (۱۰۰ mg/mL) ریخته شد و پلیت‌ها ۲۴ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. قطر هاله عدم رشد با کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری و جنتامایسین و آب مقطر به ترتیب به عنوان کنترل مثبت و منفی استفاده شدند.

اندازه‌گیری حداقل غلظت بازدارندگی و حداقل غلظت

کشندگی

روش ماکرودایلوشن در مولر-هینتون براث برای تعیین MIC به کار رفت. رقت‌های دوتایی عصاره (تا ۱۰,۰۰۰ $\mu g/mL$)

مانند تیمول و کارواکرول می‌باشد که دارای اثرات قوی ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی است (Langroodi et al., 2018). نعنای از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) دارای فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک است و اثرات ضدباکتری و ضدویروس آن در مطالعات متعددی تأیید شده است (Nikšić et al., 2018). گل محمدی از خانواده Rosaceae است که به دلیل وجود ترکیبات معطر مانند سیترونلول و ژرانیول علاوه بر کاربرد در صنایع اسانس‌گیری، خاصیت ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی دارد (Shameh et al., 2018). بیدمشک یک درخت از خانواده بید است و دارای گل‌های زرد کمرنگ دم‌گره‌ای می‌باشد؛ این گیاه حاوی سالیسین، تانن و ترکیبات فنولیک است و در طب سنتی به عنوان آرام‌بخش و تب‌بر شناخته می‌شود، هرچند تحقیقات علمی در مورد خواص ضد میکروبی آن کمتر انجام شده است (Tawfeek et al., 2021). با توجه به اهمیت فزاینده ایمنی و سلامت مواد غذایی و تمایل مصرف‌کنندگان به محصولات دارای برچسب پاک؛ شناسایی منابع طبیعی با خواص چندگانه (ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی) اهمیت استراتژیک دارد. بنابراین، هدف مطالعه حاضر بررسی و مقایسه ویژگی‌های ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی عصاره‌های آبی چهار گیاه معطر بومی شهرستان میمند فارس و شناسایی گونه‌هایی با بیشترین پتانسیل کاربرد در صنعت غذا به عنوان نگهدارنده‌های طبیعی است.

مواد و روش کار

آماده‌سازی گیاهان دارویی

چهار گونه گیاه بیدمشک، نعنای، آویشن شیرازی و گل محمدی از رویه شگانه‌های طبیعی شهرستان میمند (استان فارس؛ عرض جغرافیایی 29°00' N و طول 53°45' E، ارتفاع

¹ Clean label

فلاونوئید کل به روش واکنش با آلومینیوم کلرید سنجیده شد. مقدار ۰/۵ mL عصاره با ۱/۵ mL متانول، ۰/۱ mL محلول آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد (در اتانول) و ۰/۱ mL استات پتاسیم ۱ M مخلوط شد. سپس ۲/۸ mL آب مقطر اضافه و نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی نگهداری شدند. جذب محلول در طول موج ۴۱۵ nm نسبت به بلانک با اسپکتروفتومتر (CINTRA6) UV اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری خاصیت ضد التهابی

فعالیت آنزیم LOX-۵ طبق روش Baylac & Racine, 2003 در صفحه ۹۶ چاهی سنجیده شد. هر چاهک حاوی ۱۵۰ μL بافر فسفات، ۲۰ μL عصاره، ۱۶۰ μL سید لینولئیک و ۲۰ μL آنزیم LOX-۵ بود. مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در ۲۵ °C نگهداری و جذب در طول موج ۴۳۴ nm اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های همه آزمون‌ها با نرم‌افزار SPSS v22 تحلیل شدند و ترسیم نتایج با Microsoft Excel انجام گرفت. تفاوت میان تیمارها با آزمون ANOVA بررسی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون Tukey در سطح ۱ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

فعالیت ضد میکروبی عصاره‌ها

نتایج آزمون دیسک دیفیوژن

براساس جدول ۱، عصاره آویشن در هر دو باکتری بیشترین اثر ضد میکروبی را نشان داد. در مورد باکتری *S. aureus* میانگین قطر هاله عدم رشد برابر با ۲۱/۶۳ میلی‌متر به دست آمد، درحالی‌که همین عصاره در برابر *E. coli* قطر ۱۸/۵۵ میلی‌متر ایجاد کرد. این اختلاف، اگرچه جزئی است، اما گویای

تهیه و با سوسپانسیون باکتری در 2 ± 35 درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۸-۲۰ ساعت انکوبه شدند. آخرین لوله فاقد کدورت به‌عنوان MIC ثبت شد. برای MBC، محتویات لوله‌های بدون رشد ($MIC \leq$) روی آگار کشت و پس از ۱۶-۱۸ ساعت پایین‌ترین غلظت بدون رشد به‌عنوان MBC تعیین گردید.

اندازه‌گیری میزان فعالیت آنتی اکسیدانی^۲

آزمون مهار رادیکال آزاد DPPH به روش Pourmorad و همکاران (۲۰۰۶) برای ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌های متانولی انجام شد. محلول DPPH (0.1 mM) با عصاره در غلظت‌های مختلف مخلوط و ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای محیط واکنش داده شد. جذب محلول‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید و درصد مهار طبق فرمول زیر محاسبه شد:

$$DPPH \text{ درصد مهار} = [1 - (A_{\text{sample}}/A_{\text{control}})] \times 100$$

که در آن A_{sample} جذب نمونه حاوی عصاره و A_{control} جذب محلول شاهد (فاقد عصاره) است. در نهایت، با رسم نمودار درصد مهار رادیکال DPPH نسبت به غلظت‌های مختلف عصاره، غلظت لازم برای مهار ۵۰ درصد رادیکال (IC_{50}) به عنوان شاخص کمی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره تعیین شد.

اندازه‌گیری مقدار فنل کل

کل فنل عصاره‌ها به روش فولین-سیو کالتیو (Singleton & Rossi, 1965) اندازه‌گیری شد. ۰/۵ mL عصاره با ۵ mL معرف فولین مخلوط و پس از ۳ دقیقه، ۴ mL سدیم کربنات ۱ M افزوده شد. نمونه‌ها ۱۵ دقیقه در دمای اتاق و تاریکی واکنش داده و جذب در ۷۶۵ nm با اسپکتروفتومتر UV سنجیده شد.

اندازه‌گیری محتوای تام فلاونوئیدی

² DPPH Assay

۱۹/۰۰ میلی‌متر گزارش شد که نسبت به آویشن کمتر بوده ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با بیدمشک داشته است. در مورد *E. coli* نیز این عصاره با میانگین ۱۴/۶۱ میلی‌متر اثر نسبتاً مناسبی از خود نشان داد. خاصیت ضد باکتریایی نعنای به وجود ترکیباتی مانند منتول، منتون و فلاونوئیدهای آنتی‌اکسیدانی بازمی‌گردد که توانایی نفوذ در غشای سلولی و اختلال در تعادل یونی داخل باکتری را دارند (Du et al., 2019; El Atki et al., 2015). گل محمدی نیز در رده بعدی قرار گرفت و عملکردی نسبتاً متوسط اما متعادل در برابر هر دو باکتری داشت. قطر هاله عدم رشد در برابر *S. aureus* برابر با ۱۸/۴۵ میلی‌متر و در برابر *E. coli* معادل ۱۷/۱۰ میلی‌متر بود. این اثر را می‌توان به حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و اسیدهای فنولی مانند گالیک اسید و کوئرستین نسبت داد که در عصاره گل محمدی وجود دارند. با این‌که غلظت این ترکیبات در عصاره آبی کمتر از اسانس است، اما توان مهارتی نسبی آن‌ها قابل قبول است. در مطالعه Bhandari و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان داده شد که عصاره گل محمدی اثر قوی‌تری بر *S. aureus* نسبت به *E. coli* دارد، که با نتایج این پژوهش هم‌راستا می‌باشد. به‌علاوه، پژوهش Alizadeh و همکاران (۲۰۲۵) که بر استفاده از نانوذرات زیستی گل محمدی تمرکز داشته، بیان کرده که این عصاره‌ها به‌ویژه در برابر باکتری‌های گرم‌مثبت عملکرد بهتری دارند. کم‌اثرترین عصاره در هر دو باکتری، عصاره بیدمشک بود. در *S. aureus* میانگین قطر هاله عدم رشد ۱۶/۲۱ میلی‌متر و در *E. coli* تنها ۱۲/۹۹ میلی‌متر گزارش شد. این عملکرد ضعیف را می‌توان به ترکیبات غالب بیدمشک همچون تانن‌ها و سالیسیلات‌ها نسبت داد که بیشتر دارای خاصیت آرام‌بخش، قابض و ضدالتهابی هستند تا فعالیت مستقیم ضد باکتریایی

حساسیت بیشتر *S. aureus* نسبت به ترکیبات موجود در آویشن است. این پدیده را می‌توان با ویژگی‌های ساختاری باکتری‌های گرم‌مثبت توضیح داد؛ *S. aureus* فاقد غشای خارجی است و تنها دارای یک لایه ضخیم پپتیدوگلیکان می‌باشد که برای ترکیبات قطبی همچون تیمول و کارواکرول موجود در آویشن، نفوذپذیرتر است (Memar et al., 2017; Corona-Gómez et al., 2022). این ترکیبات با نفوذ به غشای سیتوپلاسمی باکتری، باعث تخریب آن، نشت محتویات سلولی و در نهایت مرگ باکتری می‌شوند (Rúa et al., 2010; Mathela et al., 2019). پژوهش Dorman & Deans (۲۰۰۰) نیز نشان داد که ترکیبات آویشن حتی بر سویه‌های مقاوم به متی‌سیلین *S. aureus* مانند MRSA اثر مهاری دارد، که یافته‌های حاضر را پشتیبانی می‌کند. در سوی دیگر، باکتری *E. coli* که ساختار دیواره آن شامل غشای خارجی لیپوپولی‌ساکاریدی مقاوم‌تری نسبت به ترکیبات آنتی‌باکتریال است، واکنش ضعیف‌تری به عصاره‌های گیاهی از خود نشان داد. با این‌حال، همان‌طور که در نمودار مشخص است، عصاره آویشن با میانگین ۱۸/۵۵ میلی‌متر، همچنان بیشترین اثر مهاری را بر *E. coli* داشته است. این موضوع به ساختار لیپوفیلیک تیمول و کارواکرول مربوط می‌شود که می‌توانند به غشای خارجی نفوذ کرده و با اختلال در عملکرد آنزیم‌های سلولی، کاهش پتانسیل غشایی و نشت محتویات داخل سلول، منجر به مرگ باکتری شوند (Kachur & Suntres, 2020; Memar et al., 2017). به‌علاوه، تحقیق Mathela و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کرده است که این ترکیبات در برابر هر دو نوع باکتری اثرگذار هستند، هرچند در باکتری‌های گرم‌مثبت قوی‌تر عمل می‌کنند. پس از آویشن، عصاره نعنای در هر دو باکتری عملکرد قابل‌قبولی داشته است. در برابر *S. aureus*، میانگین قطر هاله عدم رشد

(Ghasemi et al., 2010; Albadawi et al., 2025). کمپلکس با پروتئین‌ها دارند و اغلب نمی‌توانند به راحتی از غشای سلولی باکتری‌های گرم منفی عبور کنند.

جدول ۱- میانگین قطر (میلی متر) هاله عدم رشد باکتری‌های *S. aureus* و *E. coli* توسط عصاره‌های گیاهی

عصاره/کنترل	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
بیدمشک	۱۳/۰۰ Db	۱۶/۳۱ Da
نعناع	۱۴/۶۱ Cb	۱۹/۰۰ Ba
آویشن	۱۸/۵۵ Ab	۲۱/۶۳ Aa
گل محمدی	۱۷/۱۱ Bb	۱۸/۴۵ Ca

- حروف کوچک (a, b): تفاوت بین *S. aureus* و *E. coli* در هر گیاه

- حروف بزرگ (A, B, C, ...): تفاوت بین عصاره‌ها در یک باکتری خاص

نتایج آزمون MIC و MBC

می‌شوند (Hudz et al., 2023). نتایج این مطالعه با یافته‌های

Motlagh و همکاران (۲۰۱۳) که گزارش کردند اثر عصاره آبی نعناع بیشتر بازدارنده است تا کشنده هم‌راستا است. در مقابل، عصاره گل محمدی و بیدمشک دارای اثرات به مراتب ضعیف‌تری بودند. عصاره گل محمدی با MIC برابر ۲/۴۵ و MBC برابر ۴/۳۸ mg/ml برای *S. aureus* و به ترتیب ۳/۷۸ و ۷/۰۱ mg/ml برای *E. coli* نشان داد که تنها در غلظت‌های بالا می‌تواند باعث مهار یا کشتن باکتری شود. ترکیبات فعال این گیاه شامل فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، و فنول‌های سبک مانند کوئرستین و گالیک اسید هستند که بیشتر خاصیت آنتی‌اکسیدانی و تنظیم ایمنی دارند تا اثر ضدباکتری مستقیم (Pereira, 2021). عصاره بیدمشک با مقادیر MIC و MBC معادل ۲/۵۲ و ۵/۲۱ mg/ml برای *S. aureus* و ۳/۹۴ و ۸/۰۹ mg/ml برای *E. coli*، ضعیف‌ترین عملکرد را در این آزمون‌ها نشان داد. این عصاره عمدتاً حاوی ترکیباتی نظیر سالیسیلات‌ها، تانن‌ها و گلیکوزیدهاست که اثر مهار رشد باکتری را به صورت غیرمستقیم از طریق تأثیر بر محیط سلولی اعمال می‌کنند و برای اثرگذاری کامل نیاز به غلظت‌های بالا و زمان تماس طولانی دارند (Al Musayeib et al., 2022). تفاوت بین باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی نیز نقش مهمی در نتایج دارد. باکتری *S. aureus* به دلیل

براساس جدول ۲، عصاره آویشن با کمترین مقادیر MIC (۱/۰۳ mg/ml برای *S. aureus* و ۱/۶۳ mg/ml برای *E. coli*) و MBC (به ترتیب ۲/۰۳ و ۲/۶۱ mg/ml) بیشترین اثربخشی را در میان عصاره‌های بررسی شده نشان داد. ترکیبات اصلی موجود در این عصاره شامل تیمول و کارواکرول هستند که به عنوان ترکیبات فنولی لیپوفیلیک شناخته می‌شوند. این مولکول‌ها با نفوذ به غشای سیتوپلاسمی باکتری‌ها، اختلال در عملکرد آنزیم‌های تنفسی، القای نشت یون‌ها و در نهایت تخریب کامل غشا باعث مرگ سلول باکتری می‌شوند (Hudz et al., 2023). مطالعات متعدد از جمله پژوهش Majedi و همکاران (۲۰۲۴) نیز مؤید آن هستند که آویشن یکی از قوی‌ترین گیاهان دارویی در مهار رشد هر دو باکتری گرم مثبت و گرم منفی است.

عصاره نعناع نیز با مقادیر MIC و MBC به ترتیب برابر با ۲/۱۶ و ۴/۱۸ mg/ml علیه *S. aureus* و ۳/۶۱ و ۶/۰۳ mg/ml برای *E. coli*، در رتبه دوم قرار گرفت. اگرچه عملکرد آن نسبت به آویشن ضعیف‌تر بود، اما همچنان تأثیرگذاری نسبتاً خوبی از خود نشان داد. ترکیبات غالب این عصاره مانند منتول و منتون، از طریق تأثیر بر غشای سلولی، اختلال در سنتز ATP و مهار آنزیم‌های کلیدی باعث مهار رشد باکتری

به عنوان گزینه‌ای مؤثر برای کاربردهای آنتی‌میکروبیال در صنایع غذایی و دارویی مطرح است. عصاره نعناع نیز با اثر مهارکنندگی متوسط، پتانسیل استفاده به عنوان مکمل ترکیبی را دارد. در مقابل، عصاره‌های گل محمدی و بیدمشک بیشتر برای اهداف غیرمستقیم مانند تقویت ایمنی و اثرات آنتی‌اکسیدانی پیشنهاد می‌شوند.

جدول ۲- حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) و حداقل غلظت کشندگی (MBC) برحسب mg/ml عصاره‌های گیاهی مختلف علیه باکتری‌های *E. coli* و *S. aureus*

نمونه	میکروارگانیزم	حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) (mg/ml)	حداقل غلظت کشندگی (MBC) (mg/ml)
عصاره آبی بیدمشک	<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>	۲/۵۲ ^{Ba}	۵/۲۲ ^{Ba}
	<i>اشریشیا کلائی</i>	۳/۹۴ ^{Aa}	۸/۱۰ ^{Aa}
عصاره آبی نعناع	<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>	۲/۱۶ ^{Ba}	۴/۱۹ ^{Bb}
	<i>اشریشیا کلائی</i>	۳/۶۱ ^{Aa}	۶/۰۳ ^{Ac}
عصاره آبی آویشن	<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>	۱/۰۳ ^{Bb}	۲/۰۴ ^{Bc}
	<i>اشریشیا کلائی</i>	۱/۶۳ ^{Ab}	۲/۶۱ ^{Ad}
عصاره آبی گل محمدی	<i>استافیلوکوکوس اورئوس</i>	۲/۴۵ ^{Ba}	۴/۳۹ ^{Bb}
	<i>اشریشیا کلائی</i>	۳/۲۸ ^{Aa}	۷/۴۶ ^{Ab}

- حروف بزرگ (A, B): تفاوت بین *S. aureus* و *E. coli* در هر گیاه

- حروف کوچک (a, b, c, ...): تفاوت بین عصاره‌ها در یک باکتری خاص

هیدروکسیل، توانایی بالایی در اهدای الکترون به رادیکال‌های پایدار دارند (Liu et al., 2023). مکانیسم عملکرد این ترکیبات شامل انتقال هیدروژن از گروه OH- فنولی به رادیکال DPPH و تشکیل مشتقات پایدارتر است که از فعالیت رادیکالی جلوگیری می‌کند (Apostolova- Kuzova et al., 2023). در مورد عصاره نعناع، علی‌رغم آن‌که در غلظت‌های بالا (۲۰۰ و ۲۵۰ µg/ml) درصد مهار نزدیک به آویشن و برابر با ۹۶/۶۰ درصد بود، در غلظت‌های

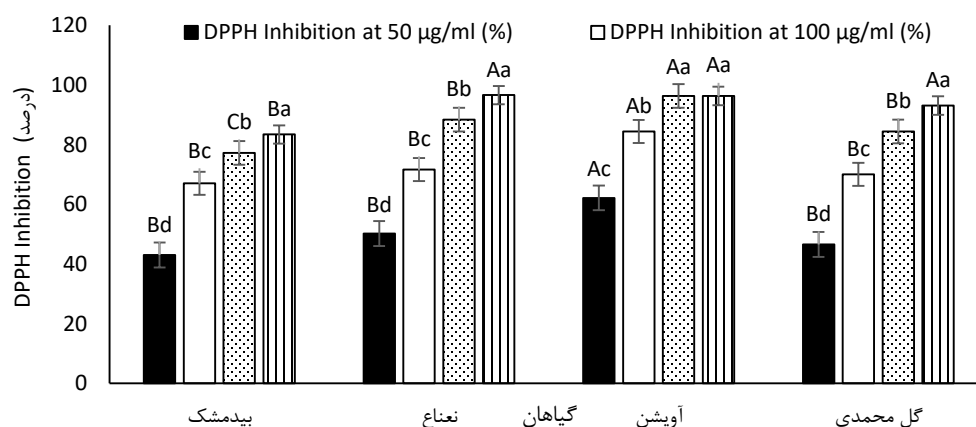
فعالیت آنتی‌اکسیدانی

درصد مهار رادیکال DPPH

شکل ۱ نشان می‌دهد که عصاره آویشن در تمامی غلظت‌ها بیشترین اثر آنتی‌اکسیدانی را نشان داده است. در غلظت ۲۵۰ میکروگرم، درصد مهار DPPH توسط عصاره آویشن به ۹۶/۳ درصد رسید. این عملکرد قوی به حضور ترکیبات فنولی آزاد و ساختار ساده‌ای مانند تیمول و کارواکرول نسبت داده می‌شود که با داشتن حلقه‌های آروماتیک و گروه‌های

غلظت $50 \mu\text{g/ml}$). این نتیجه احتمالاً ناشی از تمرکز ترکیبات آن بر سالیسیلات‌ها، فلاون‌ها و تانن‌ها است که اگرچه خاصیت ضدالتهابی خوبی دارند، اما مستقیماً در احیای رادیکال‌های آزاد نقش قوی ندارند (Zaman et al., 2024). همچنین، بسیاری از ترکیبات موجود در بیدمشک در آب به خوبی حل نمی‌شوند یا به راحتی به DPPH دسترسی پیدا نمی‌کنند. با افزایش غلظت عصاره‌ها، درصد مهار رادیکال به طور خطی افزایش یافت که نتیجه مستقیم افزایش تراکم ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است. این روند، مطابق با تئوری‌های موجود در خصوص واکنش DPPH با پلی‌فنول‌ها و آنتی‌اکسیدان‌هاست که بیان می‌کند: «میزان حذف رادیکال‌های آزاد وابسته به مقدار کل گروه‌های فنولی قابل واکنش می‌باشد» (Lu et al., 2022). در مجموع، آویشن با بیشترین درصد مهار رادیکال در تمامی غلظت‌ها، به عنوان قوی‌ترین عصاره آنتی‌اکسیدانی شناخته شد. نعنای و گل محمدی نیز به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند، در حالی که عصاره بیدمشک عملکرد ضعیف‌تری داشت و کاربرد آن بیشتر به جنبه‌های ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی غیر مستقیم محدود می‌شود.

پایین‌تر مانند $50 \mu\text{g/ml}$ ، عملکرد آن کاهش یافت و در گروه آماری پایین‌تری قرار گرفت. این موضوع احتمالاً به غلظت پایین‌تر ترکیبات فنولی مؤثر و نیز فرم گلیکوزیده و قطبیت بالای برخی از آن‌ها مانند اسید رزمارینیک، منتون و منتول در عصاره آبی مربوط می‌شود. ترکیباتی مانند رزمارینیک اسید، اگرچه آنتی‌اکسیدان‌های قوی هستند، اما در فرم‌های قطبی، دسترسی زیستی پایین‌تری نسبت به DPPH که رادیکالی لیپوفیل است دارند (Dhanani et al., 2017; Hudz et al., 2023). عصاره گل محمدی نیز در غلظت‌های بالا، درصد مهاری بیش از ۹۰ درصد نشان داد که به دلیل وجود ترکیباتی مانند آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدهایی مانند کوئرستین و گالیک‌اسید می‌باشد. این ترکیبات از طریق مکانیسم اهدای الکترون و کاهش رادیکال آزاد عمل می‌کنند (Yaghoubi et al., 2022). با این حال، ساختار گلیکوزیده بسیاری از فلاونوئیدهای گل محمدی، مانند کوئرستین-گلیکوزید، و قطبیت زیاد آن‌ها می‌تواند موجب کاهش سرعت و میزان واکنش با رادیکال‌های هیدروفوبی مانند DPPH شود (Dwibedi & Rath, 2022). عصاره بیدمشک در تمامی غلظت‌ها، پایین‌ترین درصد مهار را نشان داد (۴۲/۹۸ درصد در



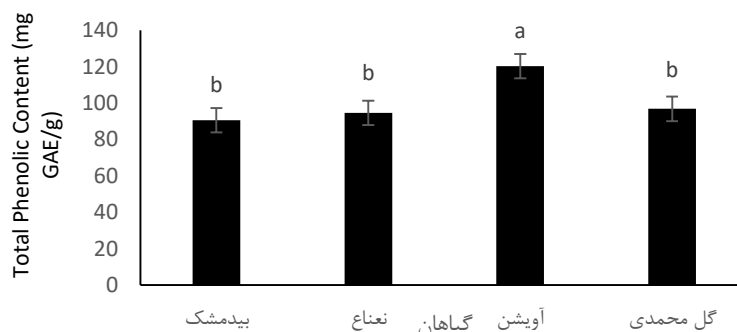
شکل ۱- فعالیت آنتی‌اکسیدانی درصد مهار DPPH در ۴ غلظت ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ در عصاره‌های گیاهی.

— حروف کوچک (d, c, b, a): مقایسه بین غلظت‌های مختلف DPPH در یک گیاه
— حروف بزرگ (D, C, B, A): مقایسه بین عصاره‌های گیاهی مختلف در یک غلظت خاص

فنل کل

یافته‌های مربوط به اندازه‌گیری میزان فنل کل عصاره‌های گیاهان مورد مطالعه نشان داد که بین گونه‌های گیاهی از نظر محتوای فنل کل تفاوت آماری معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.01$). بر اساس نتایج، عصاره آویشن دارای بیشترین میزان ترکیبات فنولی بود ($120/33$ میلی گرم معادل گالیک اسید بر گرم عصاره خشک)، در حالی که سایر عصاره‌ها از جمله نعناع ($94/59$)، گل محمدی ($96/87$) و بیدمشک ($90/68$) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.01$) (شکل ۲). بالا بودن محتوای فنل کل در عصاره آویشن به‌وضوح با نتایج بخش‌های قبلی این پژوهش، به‌ویژه شاخص‌های MIC و MBC، هم‌خوانی دارد. این همبستگی مثبت قوی نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از خاصیت ضدباکتریایی آویشن ناشی از غلظت بالای ترکیبات فنولی آن است. ترکیباتی مانند تیمول، کارواکرول و فلاونوئیدهای شبه‌فنولی موجود در آویشن، از توان بالایی در تخریب دیواره سلولی، مهار آنزیم‌های حیاتی و کاهش نفوذپذیری غشای باکتریایی برخوردار هستند (Majedi et al., 2024). در مطالعه Majedi و همکاران (2024)، نیز گزارش شد که میزان فنل کل در عصاره آبی آویشن تا حدود 118 mg GAE/g اندازه‌گیری شد که در محدوده داده‌های این پژوهش قرار می‌گیرد. همچنین در مطالعه Dorman و Deans (2000) رابطه مستقیم و خطی بین میزان فنل کل و قدرت ضدباکتریایی عصاره‌ها به اثبات رسید. در مقابل، عصاره‌های گل محمدی، بیدمشک و نعناع دارای میزان فنل کل به‌مراتب پایین‌تری بودند. اگرچه این گیاهان نیز حاوی ترکیبات فنولی همچون فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و تانن‌ها هستند، اما این ترکیبات به لحاظ ساختاری اغلب دارای ویژگی‌های قطبی و

وزن مولکولی بالاتر بوده و نفوذپذیری کمتری به درون غشای باکتری دارند (Piotrowicz et al., 2021). به‌ویژه در مورد گل محمدی، اگرچه ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند کوئرستین و گالیک اسید حضور دارند، ولی مطالعه Pereira (2021) نشان داد که این ترکیبات بیشتر در تنظیم فعالیت آنزیم‌های سلولی نقش دارند تا تخریب مستقیم ساختار سلولی. همچنین در عصاره نعناع، ترکیباتی مانند منتول و منتون نقش اصلی را در عملکرد ضد میکروبی ایفا می‌کنند و نه ترکیبات فنولی. از این‌رو، مشاهده این که میزان فنل کل در نعناع نسبتاً پایین است ولی هنوز خاصیت ضدباکتریایی متوسطی دارد، تأییدی است بر آن که سایر ترکیبات غیرفنولی نیز نقش مهمی در فعالیت زیستی این گیاه دارند. این نکته نیز در مطالعه Motlagh و همکاران (2013) تأیید شده است که میان ترکیبات تربنوییدی و اثر مهارکنندگی نعناع رابطه‌ای مستقل از محتوای فنولی مشاهده شده است. مطابق یافته‌ها می‌توان گفت که میانگین بالاتر فنل کل در عصاره آویشن به‌عنوان یک شاخص کمی، به‌خوبی قدرت ضد میکروبی آن را توجیه می‌کند. اما در سایر گیاهان، نقش ترکیبات غیرفنولی یا ساختارهای متفاوت فنول‌ها می‌تواند منجر به کاهش اثربخشی مستقیم ضدباکتریایی شود. لازم به ذکر است که نحوه استخراج، دمای خشک‌کردن، pH محیط استخراج و زمان تماس نیز بر میزان استخراج ترکیبات فنولی تأثیرگذار هستند و می‌توانند بخشی از تفاوت‌های مشاهده‌شده در مطالعات مختلف را توجیه کنند. بنابراین، نتایج این بخش ضمن تأیید نقش اساسی ترکیبات فنولی در فعالیت زیستی عصاره‌های گیاهی، گویای آن است که تنها بالا بودن میزان فنل کل نمی‌تواند تضمین‌کننده فعالیت کامل ضد میکروبی باشد، بلکه نوع و ساختار این ترکیبات و تعامل آن‌ها با سایر مواد فعال زیستی نیز باید مدنظر قرار گیرد.



شکل ۲- محتوای فنل کل عصاره‌های گیاهی.

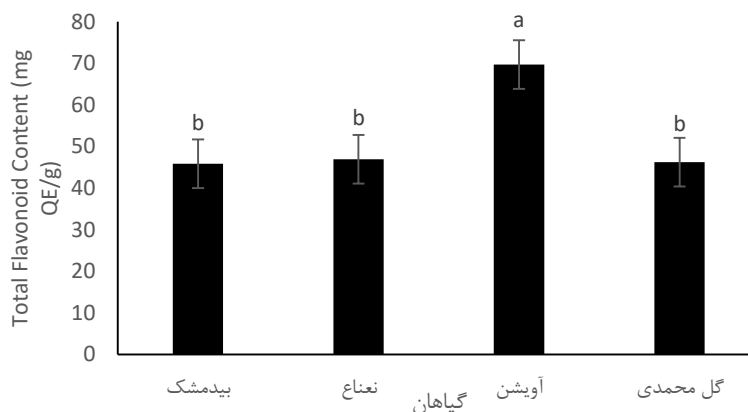
میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند، از لحاظ آماری باهم اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری ندارند.

محتوای تام فلاونوئیدی

نتایج حاصل از سنجش محتوای تام فلاونوئیدی (TFC) چهار عصاره گیاهی مورد بررسی، بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح ۱ درصد بین گیاهان مختلف بود ($P < 0.01$). عصاره آویشن با میانگین TFC برابر با 69.71 mg QE/g به‌صورت معنی‌داری دارای بیشترین مقدار فلاونوئید کل بود. در حالی‌که نعناع (46.94)، گل محمدی (46.21) و Bیدمشک (45.86) از لحاظ آماری تفاوت معناداری باهم نداشتند ($P > 0.01$). این اختلاف کمی و آماری، نشان‌دهنده نقش کلیدی گیاه آویشن به‌عنوان منبعی غنی از ترکیبات فلاونوئیدی مؤثر است. فلاونوئیدها به‌عنوان گروهی از ترکیبات فنولی با ساختار آروماتیک، دارای عملکرد چندوجهی در مهار رشد میکروبی هستند. مکانیسم‌های پیشنهادی برای اثرات ضدباکتریایی فلاونوئیدها شامل: ایجاد نشت از غشای سلولی، مهار آنزیم‌های حیاتی، ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی ضروری برای باکتری و القای استرس اکسیداتیو می‌باشد (Górniak et al., 2019). مطالعه جدید Omokhua-Uyi و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان داد که غلظت بالای فلاونوئیدها در عصاره آویشن، رابطه مستقیمی با اثربخشی بالای آن در مهار رشد *S. aureus* و *E. coli* دارد. این مطالعه مقدار

فلاونوئید کل آویشن را بین ۶۸ تا 75 mg QE/g گزارش نمود، که کاملاً منطبق با نتایج پژوهش حاضر است. از طرف دیگر، عصاره‌های گل محمدی، نعناع و Bیدمشک، علی‌رغم داشتن ترکیبات فلاونوئیدی، اثربخشی کمتری نسبت به آویشن نشان دادند. علت این امر را می‌توان به نوع و ساختار فلاونوئیدهای غالب در این گیاهان نسبت داد. در گل محمدی، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدهای گلیکوزیده مانند گالیک اسید و کوئرستین گلیکوزید، در سطح بالایی وجود دارند، اما به‌دلیل قطبیت بالا، نفوذپذیری ضعیفی از طریق غشای سلولی دارند (Meng et al., 2022). بنابراین این ترکیبات بیشتر نقش آنتی‌اکسیدانی و تنظیم‌کننده ایمنی دارند تا اثر مستقیم ضد میکروبی. عصاره نعناع نیز با وجود داشتن فلاونوئیدهایی مانند لوتئولین و هسپریدین، فعالیت زیستی خود را بیشتر مدیون ترکیبات فرار مانند منتول و منتون است تا فلاونوئیدها. در مطالعه Maia و همکاران (۲۰۱۸)، نیز به این نکته اشاره شده که محتوای فلاونوئیدی در عصاره‌های آبی نعناع معمولاً کمتر از عصاره‌های الکلی است و بنابراین فعالیت ضد میکروبی آن نیز وابسته به ترکیبات غیرفنولی است. در خصوص Bیدمشک، بررسی‌ها نشان می‌دهد که فلاونوئیدهای موجود در آن عمدتاً از نوع سالیسیلات‌ها و تانن‌های قابل هیدرولیز هستند که گرچه خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند، اما فاقد اثر مهار مستقیم

قطبیت فلاونوئیدها عامل تعیین کننده در اثربخشی آن‌هاست. این نکته می‌تواند مبنایی برای فرمولاسیون عصاره‌های ترکیبی قرار گیرد که در آن از گیاهان با فلاونوئیدهای قابل نفوذ و کوچک‌مولکول مانند تیمول و لوتئولین استفاده گردد.



شکل ۳- محتوای تام فلاونوئیدی در عصاره‌های گیاهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند، از لحاظ آماری باهم اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری ندارند.

(۲۰۲۴)، توانایی مهار بیش از ۷۰ درصد آنزیم (5-LOX) در غلظت‌های پایین را دارا هستند. این ترکیبات با جایگزینی در محل فعال آنزیم و حذف یون آهن ضروری برای فعالیت آن، مسیر التهابی را متوقف می‌کنند (Bošković et al., 2022). همچنین وجود فلاونوئیدهایی مانند آپیزنین در آویشن نقش کمکی مهمی در تقویت این اثر دارد. عصاره نعناع با ۶۳/۳۲ درصد مهار آنزیم، فعالیت ضدالتهابی متوسطی از خود نشان داد. اگرچه نعناع بیشتر به دلیل حضور ترکیبات فراری مانند منتول و منتون شناخته می‌شود، اما فلاونوئیدهایی مانند لوتئولین نیز در مهار آنزیم‌های التهابی نقش دارند. با این حال، طبق یافته‌های Baylac و Racine (۲۰۰۳)، فعالیت مهارکنندگی (5-LOX) نعناع کمتر از ترکیباتی با ساختار حلقوی فنولی مانند کارواکرول است. منتول ممکن است از طریق مسیرهای غیرآنزیمی مانند مهار آزادسازی Ca^{2+} نیز در کاهش التهاب مؤثر باشد (Jiang et al., 2022). عصاره گل محمدی با میانگین ۶۰/۵۶ درصد در مهار (5-LOX) دوره ۱۲ شماره ۲ تابستان ۱۴۰۴

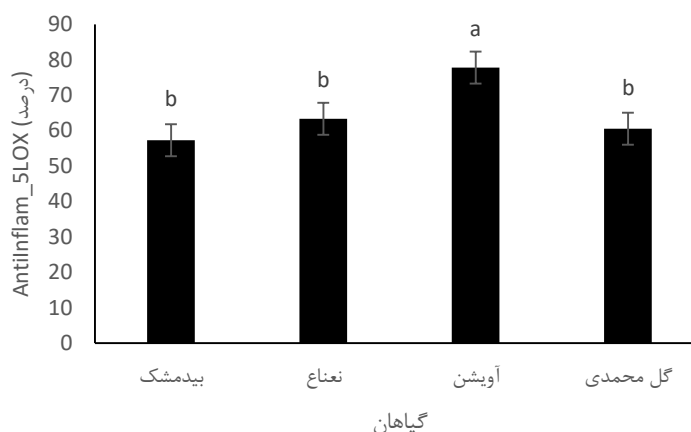
بر روی دیواره سلولی باکتری‌ها هستند (Enayat & Banerjee, 2014). در مجموع، با مقایسه مستقیم میان مقادیر فلاونوئید کل و فعالیت ضدباکتریایی عصاره‌ها، مشخص می‌شود که فقط مقدار بالا کافی نیست؛ بلکه نوع، ساختار و

بررسی فعالیت ضد التهابی

آنزیم ۵-لیپواکسیژناز (5-LOX) یکی از مسیرهای کلیدی در بروز التهاب‌های مزمن و حاد به شمار می‌رود که منجر به تولید لکوترین‌ها و سایر میانجی‌های التهابی از مسیر متابولیسم اسید آراشیدونیک می‌گردد. در این راستا، بررسی اثر مهار عصاره‌های گیاهی بر (5-LOX) می‌تواند شاخصی مهم از پتانسیل ضدالتهابی آن‌ها محسوب شود. نتایج نشان داد که تنها عصاره آویشن با میانگین ۷۷/۷۳ درصد عملکرد به‌مراتب بالاتری نسبت به سایر گیاهان داشته است. در مقابل، عصاره‌های گل محمدی (۶۰/۵۶ درصد)، نعناع (۶۳/۳۲ درصد) و بیدمشک (۵۷/۲۳ درصد) از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.01$) (شکل ۴). آویشن با بیشترین درصد مهار (5-LOX)، مؤثرترین عصاره در این آزمون بود. این اثر را می‌توان به ترکیبات فنولی قوی مانند تیمول و کارواکرول نسبت داد که طبق مطالعه‌ی Micale و Cristani

کمترین درصد مهار (5-LOX) را نشان داد (۵۷/۲۳ درصد)، اگرچه همچنان اثر ضدالتهابی قابل توجهی داشت. این گیاه حاوی سالیسیلات‌ها و پیش‌سازهای طبیعی اسید سالیسیلیک است که نقش قابل توجهی در مهار مسیر COX و کاهش درد دارد، اما بر (5-LOX) تأثیر مستقیمی ندارد (Chaudhary et al., 2025).

عملکردی مشابه نعنای و بیدمشک داشت. فلاونوئیدهای اصلی این گیاه نظیر کوئرستین، کامفرول و آنتوسیانین‌ها نقش آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی غیرمستقیم دارند، ولی اثر مستقیم کمتری بر مهار (5-LOX) دارند (Rajha et al., 2022). از این رو، علی‌رغم حضور ترکیبات زیست‌فعال، کارایی مهاری آن نسبت به آویشن پایین‌تر است. عصاره بیدمشک



شکل ۴- فعالیت ضد التهابی (5-LOX) عصاره‌های گیاهی.

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند، از لحاظ آماری باهم اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد آماری ندارند.

کردند. از نظر ضد التهابی، آویشن بیشترین مهار آنزیم ۵-لیپوآکسیژناز را داشت و نعنای در جایگاه دوم قرار گرفت. به‌طور کلی، آویشن شیرازی به‌عنوان مؤثرترین گیاه برای کاربردهای دارویی، غذایی و بهداشتی معرفی شد، نعنای گزینه مکمل مناسبی است و گل محمدی و بیدمشک اولویت کمتری برای توسعه فرآورده‌های درمانی دارند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان دادند که نوع گیاه بر همه ویژگی‌های زیستی سنجیده‌شده (ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی) اثر معناداری دارد. آویشن شیرازی قوی‌ترین عملکرد را داشت و کمترین مقادیر MIC و MBC را برای هر دو باکتری *S. aureus* و *E. coli* ثبت کرد. نعنای در رتبه دوم قرار گرفت، در حالی که گل محمدی و بیدمشک فعالیت‌های ضعیف‌تری داشتند. در بخش آنتی‌اکسیدانی، آویشن بیشترین توان خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد را نشان داد که با محتوای بالای فنل و فلاونوئید آن همخوانی دارد. نعنای عملکرد متوسطی داشت و گل محمدی و بیدمشک ضعیف‌ترین نتایج را ثبت

1. Al Musayeib N.M., Musarat A. and Maqsood F. 2022. Terpenes: A source of novel antimicrobials, applications and recent advances. *Eco-friendly Biobased Prod. Microb. Dis.* 247-270.
2. Albadawi B.Y., Agah M.I.H. and Nattouf A.H. 2025. Unveiling the potency: Antibacterial activities of four plants' extracts against isolated bacteria from burn wounds. *Res. J. Pharm. Technol.* 18(3): 1034-1039.
3. Alizadeh, Z., Fattahi, M., Farokhzad, A., Asghari, B., Yousefzadeh-Valendeh, S., Alipour, H., & Palazon, J. (2025). Green nanoparticles synthesized from damask rose petals: Evaluation of their antioxidant, antimicrobial, anti-diabetic, anti-Alzheimer, and photocatalytic properties. *Heliyon*, 11(4).
4. Apostolova-Kuzova E., Stoyanov K., Raycheva T. and Naimov S. 2023. *Crocus speciosus* (Iridaceae)—A new species for the Bulgarian flora. *Plants* 12(4): 932.
5. Barbosa J.R., da Silva S.B., da Silva Martins L.H., Bezerra F.W.F., Freitas L.C., Ferreira M.C.R. and de Carvalho Junior R.N. 2021. Microbial degradation of food products. In: *Recent Advances in Microbial Degradation*, Singapore: Springer Singapore, pp. 155-172.
6. Baylac S. and Racine P. 2003. Inhibition of 5-lipoxygenase by essential oils and other natural fragrant extracts. *Int. J. Aromatherapy* 13(2-3): 138-142.
7. Bhandari A., Shrestha K. and Parajuli P. 2024. A comparative study on the phytochemical profile, antimicrobial activity and antioxidant capacity of flowers and leaves from selected medicinal plants. *Nepal J. Biotechnol.* 12(2): 101-108.
8. Bošković J., Ružić D., Čudina O., Nikolic K. and Dobričić V. 2022. Design of dual COX-2 and 5-LOX inhibitors with iron-chelating properties using structure-based and ligand-based methods. *Lett. Drug Des. Discov.* 19(4): 279-292.
9. Chaudhary D., Patel S., Gururani R., Chak P., Jain S., Dwivedi J. and Sharma S. 2025. A comprehensive review on anti-inflammatory plants: a mechanistic insight through preclinical and clinical studies. *Inflammopharmacology* 1-30.
10. Corona-Gómez L., Hernández-Andrade L., Mendoza-Elvira S., Suazo F.M., Ricardo-González D.I. and Quintanar-Guerrero D. 2022. In vitro antimicrobial effect of essential tea tree oil (*Melaleuca alternifolia*), thymol, and carvacrol on microorganisms isolated from cases of bovine clinical mastitis. *Int. J. Vet. Sci. Med.* 10(1): 72-79.
11. Cristani M. and Micale N. 2024. Bioactive compounds from medicinal plants as potential adjuvants in the treatment of mild acne vulgaris. *Molecules* 29(10): 2394.

12. Dhanani T., Shah S., Gajbhiye N.A. and Kumar S. 2017. Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents and antioxidant activity of *Withania somnifera*. Arab. J. Chem. 10: S1193-S1199.
13. Dorman H.D. and Deans S.G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. J. Appl. Microbiol. 88(2): 308-316.
14. Du E., Gan L., Li Z., Wang W., Liu D. and Guo Y. 2015. In vitro antibacterial activity of thymol and carvacrol and their effects on broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. J. Anim. Sci. Biotechnol. 6(1): 58.
15. Dwibedi V. and Rath S.K. 2022. New insights into and updates on antimicrobial agents. Emerg. Modal. Mitigat. Antimicrob. Resist. 179-217.
16. El Atki Y., Aouam I., El Kamari F., Tarog A., Gouch A., Lyoussi B. and Abdellaoui A. 2019. Antibacterial efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of nosocomial infection-bacteria. J. Pharm. Sci. Res. 11(2): 306-309.
17. Enayat S. and Banerjee S. 2014. The ethanolic extract of bark from *Salix aegyptiaca* L. inhibits the metastatic potential and epithelial to mesenchymal transition of colon cancer cell lines. Nutr. Cancer 66(6): 999-1008.
18. Ghasemi P.A., Jahanbazi P., Enteshari S., Malekpoor F. and Hamedi B. 2010. Antimicrobial activity of some Iranian medicinal plants. Arch. Biol. Sci. 62(3): 633-641.
19. Górniak I., Bartoszewski R. and Króliczewski J. 2019. Comprehensive review of antimicrobial activities of plant flavonoids. Phytochem. Rev. 18(1): 241-272.
20. Hashemi S.M.B., Jafarpour D. and Gholamhosseinpour A. 2022. Antimicrobial activity of *Carum copticum* and *Satureja khuzestanica* essential oils and acetic acid in vapor phase at different relative humidities and temperatures in peanuts. J. Food Process. Preserv. 46(2): e16269.
21. Hudz N., Kobylinska L., Pokajewicz K., Horčinová Sedláčková V., Fedin R., Voloshyn M., ... and Lipok J. 2023. *Mentha piperita*: Essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products. Molecules 28(21): 7444.
22. Jiang S., Fan F., Yang L., Chen K., Sun Z., Zhang Y., ... and Meng X. 2022. Salidroside attenuates high altitude hypobaric hypoxia-induced brain injury in mice via inhibiting NF-κB/NLRP3 pathway. Eur. J. Pharmacol. 925: 175015.
23. Kachur K. and Suntres Z. 2020. The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol and thymol. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 60(18): 3042-3053.
24. Kordali S., Cakir A. and Ozer H. 2005. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from

- Turkish *Origanum acutidens*. *Biochem. Syst. Ecol.* 33(8): 855-866.
25. Langroodi A.M., Fathabad A.E., Moulodi F., Mashak Z. and Abad M.A.K. 2018. Antioxidant and antimicrobial activities of aqueous and ethanolic extracts of barberry and *Zataria multiflora* Boiss essential oil against some food-borne bacteria. *J. Kermanshah Univ. Med. Sci.* 22(2): e120xxx.
 26. Liu Y., Guo X., Wang N., Lu S., Dong J., Qi Z., ... and Wang Q. 2023. Evaluation of changes in egg yolk lipids during storage based on lipidomics through UPLC-MS/MS. *Food Chem.* 398: 133931.
 27. Lu Y., Foo L.Y. and Wong H. 2022. Antioxidant properties of major phenolic constituents in rosemary and thyme. *J. Funct. Foods* 90: 104986.
 28. Maia R.C., Vasconcelos F.C., Souza P.S. and Rumjanek V.M. 2018. Towards comprehension of the ABCB1/P-glycoprotein role in chronic myeloid leukemia. *Molecules* 23(1): 119.
 29. Majedi S., Yassen A.O. and Issa S.Y. 2024. Assessing the combination of three plant species: Thyme (*Thymus vulgaris*), Damask Rose (*Rosa damascena*), and Stachys lavandulifolia vahl, to determine their synergistic effects on antimicrobial properties. *Chem. Rev. Lett.* 7(2): 294-310.
 30. Mamadalieva N.Z., Hussain H. and Xiao J. 2020. Recent advances in genus *Mentha*: phytochemistry, antimicrobial effects, and food applications. *Food Frontiers* 1(4): 435-458.
 31. Mathela C.S., Singh K.K. and Gupta V.K. 2010. Synthesis and in vitro antibacterial activity of thymol and carvacrol derivatives. *Acta Pol. Pharm.* 67(4): 375-380.
 32. Memar M.Y., Raei P., Alizadeh N., Aghdam M.A. and Kafil H.S. 2017. Carvacrol and thymol: strong antimicrobial agents against resistant isolates. *Rev. Res. Med. Microbiol.* 28(2): 63-68.
 33. Meng X., Yan J., Ma J., Kang A.N., Kang S.Y., Zhang Q., ... and Zhang S. 2022. Effects of Jowiseungki-tang on high fat diet-induced obesity in mice and functional analysis on network pharmacology and metabolomics analysis. *J. Ethnopharmacol.* 283: 114700.
 34. Morteza-Semnani K., Saeedi M. and Babanezhad E. 2008. The essential oil composition of *Marrubium vulgare* L. from Iran. *J. Essent. Oil Res.* 20(6): 488-490.
 35. Motlagh M.K., Yahyaei M., Rezaei M. and Ghorbanpour M. 2013. Study on antibacterial effect of thyme and peppermint aqueous extracts on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* strains causing mastitis in camels. *Int. J. Trad. Herb. Med.* 1(4): 112-115.
 36. Nikšić H.A., Durić K., Omeragić E., Nikšić H.E., Muratović S. and Bečić F. 2018. Chemical characterization, antimicrobial and antioxidant properties of *Mentha spicata* L. essential oil. *Bull. Chem. Technol. Bosnia Herzegovina* 50: xx-xx.

37. Omokhua-Uyi A.G., Madikizela B., Aro A.O., Abdalla M.A., Van Staden J. and McGaw L.J. 2023. Flavonoids of *Chromolaena odorata* (L.) RM King & H. Rob. as potential leads for treatment against tuberculosis. S. Afr. J. Bot. 158: 158-165.
38. Pereira B.D.F. 2021. Activity of essential oils and hydroalcoholic extracts from 12 plants against food spoilage yeasts: evaluation of their potential as new biopesticides. Master's thesis, Univ. Minho Portugal.
39. Pilevar Z., Haglund K., Ranaei V., Taghizadeh M., Balasjin N.M. and Hosseini H. 2024. Emerging studies on *Zataria multiflora* Boiss L.: pioneering the antimicrobial and antifungal characteristics—a systematic review. Appl. Food Biotechnol. 11(1): e20-e20.
40. Piotrowicz Z., Tabisz Ł., Waligórska M., Pankiewicz R. and Łęska B. 2021. Phenol-rich alternatives for *Rosa × damascena* Mill. Efficient phytochemical profiling using different extraction methods and colorimetric assays. Sci. Rep. 11(1): 23883.
41. Pourmorad F., Hosseinimehr S.J. and Shahabimajd N. 2006. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. Afr. J. Biotechnol. 5(11): 1142-1145.
42. Rajha H.N., Paule A., Aragonès G., Barbosa M., Caddeo C., Debs E., ... and Edeas M. 2022. Recent advances in research on polyphenols: effects on microbiota, metabolism, and health. Mol. Nutr. Food Res. 66(1): 2100670.
43. Rúa J., Del Valle P., de Arriaga D., Fernández-Álvarez L. and García-Armesto M.R. 2019. Combination of carvacrol and thymol: antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and antioxidant activity. Foodborne Pathog. Dis. 16(9): 622-629.
44. Sayadi M., Eskandari Z., Jafarpour D. and Jamali N. 2024. Effect of sage seed gum edible coating incorporated with leaves of lemon verbena (*Aloysia citrodora*) essential oil nanoemulsion on chemical, microbial and sensory properties of fresh Turkey meat. J. Food Meas. Charact. 18(8): 6816-6828.
45. Shameh S., Hosseini B., Alirezalu A. and Maleki R. 2018. Phytochemical composition and antioxidant activity of petals of six *Rosa* species from Iran. J. AOAC Int. 101(6): 1788-1793.
46. Singleton V.L. and Rossi J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am. J. Enol. Vitic. 16(3): 144-158.
47. Tawfeek N., Mahmoud M.F., Hamdan D.I., Sobeh M., Farrag N., Wink M. and El-Shazly A.M. 2021. Phytochemistry, pharmacology and medicinal uses of plants of the genus *Salix*: An updated review. Front. Pharmacol. 12: 593856.
48. Yaghoubi N., Youssefi M., Rafat Panah H., Jarahi L. and Zahedi Avval F. 2022.

Evaluation of antioxidant status and oxidative stress markers in HTLV-1 infected individuals: correlation with the severity of virus-induced complications. J. Med. Microbiol. 71(4): 001408.

49. Zaman S., Ihsan M., Nisar M., Zahoor M., Rehman K.U. and Kudratovich K.K. 2024. Antioxidant properties of aromatic and medicinal plants. In: Plants as Medicine and Aromatics. CRC Press, pp. 394-412.

Comparative Evaluation of the Antimicrobial, Antioxidant, and Anti-inflammatory Properties of Aqueous Extracts from Several Indigenous Aromatic Plants of Meymand County, Fars Province

Behzadi, Sh.¹, Jafarpour, D.^{2*}

¹ M. Sc. Graduated of the Department of Food Science and Technology, Fa.C., Islamic Azad University, Fasa, Iran

² Department of Food Science and Technology, Fa.C., Islamic Azad University, Fasa, Iran

*Corresponding author: d.jafarpour84@yahoo.com; Do.Jafarpour@iaau.ac.ir

Abstract

Medicinal and aromatic plants, rich in bioactive compounds with antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties, play an important role in traditional medicine and pharmaceutical industries, and Meymand, Fars, is one of their main habitats. This study investigated and compared the bioactive properties of aqueous extracts from four aromatic plants native to *Meymand County*, Fars Province: *Zataria multiflora* (Shirazi thyme), *Mentha spicata* (spearmint), *Rosa damascena* (damask rose), and *Salix aegyptiaca* (willow). Antimicrobial activities were determined using the agar well diffusion assay and by measuring the minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. Antioxidant capacity was evaluated via the DPPH radical scavenging assay, and anti-inflammatory potential was assessed through inhibition of the 5-lipoxygenase (5-LOX) enzyme. Results revealed that plant species had a significant impact on all measured parameters ($P < 0.01$). Among the tested extracts, *Z. multiflora* exhibited the strongest antimicrobial and anti-inflammatory effects, with the lowest MIC and MBC values for both bacteria and the highest 5-LOX inhibition percentage. *M. spicata* ranked second, *R. damascena* showed moderate activity, and *S. aegyptiaca* displayed the weakest performance. *S. aureus* was generally more sensitive to the extracts than *E. coli*, a difference attributed to the structural variations in bacterial cell walls. Regarding antioxidant activity, *Z. multiflora* demonstrated the highest DPPH scavenging capacity (96.3% at 250 $\mu\text{g/mL}$), correlating with its high total phenolic content (120.33 mg GAE/g) and total flavonoid content (69.71 mg QE/g). Overall, the findings suggest that *Z. multiflora* possesses superior antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties compared to the other plants studied and may serve as an effective natural alternative to synthetic additives in food and pharmaceutical industries.

Keywords: Antimicrobial, Antioxidant, Aqueous extract, *Salix aegyptiaca*, *Mentha spicata*, *Zataria multiflora*, *Rosa damascene*.