Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Industries
Vol. 16, No. 2, Page 219 - 237 (2025)

DOI: 10.22034/ijwp.2025.2043598.1685

Studying the antibacterial properties of papers treated with extracts of leaves, bark and wood of two species of oak and eucalyptus

Noureddin Nazarnejad[1*], Mehran parastar[2], Nagin Kazemi[3], Erfan Ghadirzadeh[4]

1- Corresponding author, Associate Professor, Department of Science Engineering and Wood and Paper Industries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Sari. Iran. Email: nazarnezhad91@gmail.com
2- PhD students in the field of wood industry and cellulose products, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Sari. Iran
3- Master's student in Wood industry and Cellulose Products Industries, University of Tehran, Tehran, Iran
4- Graduated from the medical field of Sari University of Medical Sciences. Sari. Iran

Received: October 2024 Accepted: March 2025

Abstract

Problem definition and objectives: This study aims to investigate the antibacterial properties of papers treated with plant extracts derived from the leaves, bark, and wood of oak and eucalyptus trees. Given the growing bacterial resistance to antibiotics and the increasing demand for hygienic packaging, utilizing natural antibacterial compounds from plant sources can provide an effective solution for the food and healthcare industries. Plant extracts contain active compounds such as flavonoids and tannins, which can disrupt bacterial cell structures and inhibit their growth. In this research, ultrasonic extraction was employed to maximize the efficiency of extracting bioactive compounds. Handcrafted paper with a grammage of 120 g/m² was produced, and then the extracted solutions were sprayed onto the paper surface, followed by assessment of antibacterial and mechanical properties.

Methodology: The methodology involved preparing kraft pulp from long-fiber wood, extracting plant compounds, and producing paper. Plant extraction was conducted using ultrasound in acetone as a solvent to ensure high-yield extraction in a shorter time. The extracts were treated at two different ultrasound amplitude levels, and the prepared paper samples were treated with the extracts and air-dried before undergoing various tests, including antibacterial and mechanical evaluations. The antibacterial properties were assessed by measuring the inhibition zones against gram-positive *Staphylococcus aureus* a, *Escherichia coli* b.

Results: The results showed that leaf and bark extracts of oak and eucalyptus exhibited stronger antibacterial activity compared to wood extracts. Staphylococcus aureus was particularly sensitive, forming inhibition zones of varying diameters. Among the extracts, oak leaf and bark were most effective against Escherichia coli, with inhibition zones of 13 and 18 mm, respectively, while wood extracts showed lower activity. This difference was attributed to active compounds such as flavonoids and tannins in the leaves and bark, which can more effectively penetrate bacterial cell walls. Mechanical tests revealed that adding the extracts led to a noticeable decrease in the mechanical strength of treated paper compared to the control. This reduction was mainly due to the

weakening of hydrogen bonds between cellulose fibers and the presence of hydrophilic compounds in the extracts.

Conclusion: In conclusion, this research demonstrates that plant extracts from the leaves and bark of oak and eucalyptus trees can serve as potent natural sources for producing antibacterial papers. However, due to the adverse effects on paper's mechanical properties, incorporating reinforcing additives alongside these extracts is recommended. This approach can foster the development of antibacterial paper products suitable for hygienic and food packaging applications, offering a sustainable and safe solution for maintaining public health and hygiene.

Keywords: extractive, eucalyptus, oak, antibacterial, packaging paper.

مطالعه خواص ضد باکتری کاغذهای تیمار شده با عصاره‌های برگ، پوست و چوب دو گونه بلوط و اکالیپتوس

نورالدین نظرنژاد[۱*]، مهران پرستار[۲]، نگین کاظمی[۳]، عرفان قدیرزاده[۴]

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: nazarnezhad91@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری رشته صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- فارغ‌التحصیل رشته پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۴

چکیده

بیان مساله و اهداف: در این پژوهش، هدف بررسی خواص ضد باکتریایی کاغذهای آغشته به عصاره‌های گیاهی استخراج شده از برگ، پوست و چوب درختان بلوط و اکالیپتوس بود. با توجه به افزایش مقاومت باکتری‌ها نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها و همچنین نیاز روزافزون به بسته‌بندی‌های بهداشتی، کاربرد ترکیبات ضد باکتریایی طبیعی از منابع گیاهی می‌تواند راهکار مناسبی در صنایع غذایی و بهداشتی ارائه دهد. عصاره‌های گیاهی حاوی ترکیبات فعالی مانند فلاونوئیدها و تانن‌ها هستند که می‌توانند بر ساختار سلولی باکتری‌ها تأثیر بگذارند و از رشد آن‌ها جلوگیری کنند. در این مطالعه، عصاره‌ها به روش التراسونیک استخراج شدند تا بیشترین کارایی در استخراج ترکیبات فعال حاصل شود. کاغذ دست‌ساز با گراماژ ۱۲۰ گرم بر مترمربع تهیه شد و سپس عصاره‌های استخراج شده به سطح کاغذ اسپری و خواص ضد باکتریایی و مکانیکی آن‌ها ارزیابی گردید.

مواد و روشها: روش کار شامل آماده‌سازی خمیرکاغذ از کرافت الیاف بلند، تهیه عصاره گیاهی و ساخت کاغذ بود. عصاره‌گیری گیاهان به روش التراسونیک و با حلال استون انجام شد تا ترکیبات فعال در زمان کوتاه و با راندمان بالا استخراج شود. عصاره‌ها با دو دامنه آمپلی‌تود مختلف فراصوتی تیمار شدند. سپس کاغذهای تولید شده به عصاره‌ها آغشته و پس از خشک شدن، آزمون‌های مختلفی از جمله آزمون‌های ضد باکتریایی و مکانیکی بر روی آن‌ها انجام گرفت. خواص ضد باکتریایی عصاره‌ها از طریق اندازه‌گیری قطر هاله‌های عدم رشد باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشریشیاکلای مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، مقاومت‌های مکانیکی کاغذهای تیمار شده شامل آزمون کشش، پاره شدن و ترکیدن، طبق استانداردهای TAPPI اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان داد که عصاره‌های برگ و پوست بلوط و اکالیپتوس خواص ضدباکتریایی قوی‌تری نسبت به عصاره‌های چوب دارند. استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به عصاره‌ها حساسیت بیشتری نشان داد و هاله‌های عدم رشد با قطرهای مختلف تشکیل شد. در بین عصاره‌ها، برگ و پوست بلوط با قطر هاله‌های ۱۳ و ۱۸ میلی‌متر در برابر اشریشیاکلای مؤثرتر بودند، در حالی که عصاره‌های چوب اثر کمتری داشتند. این تفاوت به ترکیبات فعال مانند فلاونوئیدها و تانن‌ها در برگ و پوست نسبت داده شد که نفوذ بهتری به دیواره سلولی باکتری‌ها دارند. آزمون‌های مکانیکی نشان داد افزودن عصاره‌ها باعث کاهش مقاومت مکانیکی کاغذ نسبت به نمونه شاهد شد، که علت آن تضعیف پیوندهای هیدروژنی بین الیاف سلولزی و وجود ترکیبات آب‌دوست در عصاره‌ها است.

نتیجه‌گیری: در نتیجه‌گیری، این پژوهش نشان می‌دهد که عصاره‌های گیاهی برگ و پوست بلوط و اکالیپتوس می‌توانند به‌عنوان منابع طبیعی مؤثر برای تولید کاغذهای ضد باکتریایی استفاده شوند، اگرچه به دلیل تأثیر منفی بر خواص مکانیکی کاغذ، نیاز به استفاده از افزودنی‌های مقاومتی در کنار عصاره‌ها وجود دارد. این اقدام می‌تواند به توسعه

محصولات کاغذی ضد باکتریایی برای بسته‌بندی‌های بهداشتی و مواد غـذایی کمـک کنـد و راهکـاری پایـدار و ایمـن در جهت حفظ بهداشت و سلامت عمومی ارائه دهد.

واژه های کلیدی: عصاره، اکالیپتوس، بلوط، ضد باکتری، کاغذ بسته‌بندی.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، مقاومت باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها چالشی جدی در حوزه بهداشت و درمان شده است. کاهش اثربخشی درمان‌های موجود و افزایش مرگ‌ومیر ناشی از عفونت‌های باکتریایی از نتایج این معضل است. یکی از راه‌های مقابله، جستجوی ترکیبات ضد باکتریایی از منابع طبیعی مانند گیاهان است که حاوی ترکیبات فعال زیستی هستند. استفاده از کاغذهای ضد باکتری در بسته‌بندی‌های بهداشتی و غذایی اهمیت یافته و با توجه به رقابت در صنعت غذا، بهره‌گیری از فناوری‌های جدید برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات ضروری است [۱]. بسته‌بندی‌ها برای حفظ سلامت محصولات و افزایش ماندگاری آن‌ها طراحی شده است. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی و مقاومت باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها، کاغذهای ضد باکتریایی به‌عنوان راهکاری مؤثر و پایدار برای کاهش انتقال عفونت‌ها و حفظ ایمنی مواد غذایی و تجهیزات پزشکی مورد توجه قرار گرفته‌اند[۲]. کاغذهای ضد باکتری به‌عنوان یک جایگزین پایدار برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی به ظهور رسیده‌اند و هم‌زمان با سازگاری زیست‌محیطی، حفاظت بهبود یافته‌ای از محصولات فراهم می‌آورند. این کاغذها می‌توانند با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله پوشش دهی سطحی با مواد هیدروفوبیک و ضد باکتری، استفاده از عصاره‌های گیاهی، و افزودن نانو ذرات تولید شوند[۳،۴،۵]. گیاهان، حاوی گستره وسیعی از ترکیبات مؤثر نظیر ترکیبات فنلی، مواد فتوشیمیایی، رنگدانه‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و ترکیبات ضدمیکروبی هستند که این ترکیبات به وفور در عصاره‌های گیاهی یافت می‌شوند. مطالعات اخیر نشان داده است که عصاره‌های گیاهی و ترکیبات ثانویه آن‌ها خواص ضد باکتریایی قابل‌توجهی در برابر پاتوژن‌های مختلف از جمله سویه‌های مقاوم به چند دارو نشان داده‌اند[۶،۷] تحقیقات روی گونه‌های مختلف درختی وجود ترکیبات ضد باکتریایی را در پوست و برگ آن‌ها آشکار کرده است[۸]. گونه‌های اکالیپتوس، به‌ویژه Eucalyptus camaldulensis و Eucalyptus oleosa، خواص ضد میکروبی قابل‌توجهی در برابر عوامل بیماری‌زا دارند، عصاره‌های استخراج‌شده از قسمت‌های مختلف گیاه (برگ‌ها، پوست، ساقه، گل‌ها و میوه‌ها) فعالیت ضد باکتریایی در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی دارند و همچنین دارای اثرات ضد قارچی و ضدویروسی هستند و ترکیبات فعال اصلی شامل ۱،۸-سینئول، اسپاتولنول و γ-اودسمول می‌باشد[۹،۱۰،۱۱] به‌طور کلی گونه‌های اکالیپتوس متعلق به راسته myrtales و mytaceae هستند. این درختان معطر متعلق به مناطق نیمه گرمسیری جهان است. دارای حدود ۶۰۰ گونه و بوته با پوشش خوب می‌باشد. از آنجایی که این درخت سریع رشد می‌کند و ویژگی مناسبی برای تولید کاغذ دارد، جنگل‌های گسترده‌ای از درختان اکالیپتوس در جهان وجود دارد. در کنار اکالیپتوس، درختان بلوط نیز به دلیل ترکیبات زیست فعال موجود در پوست، میوه و برگ‌های خود، دارای خاصیت ضد باکتریایی قابل‌توجهی هستند. در کنار اکالیپتوس، درختان بلوط نیز به دلیل ترکیبات زیست فعال موجود در پوست، میوه و برگ‌های خود، دارای خاصیت ضد باکتریایی قابل‌توجهی هستند. در کنار اکالیپتوس، درختان بلوط نیز به دلیل ترکیبات زیست فعال موجود در پوست، میوه و برگ‌های خود، دارای خاصیت ضد باکتریایی قابل‌توجهی هستند. عصاره پوست بلوط می‌تواند رشد باکتری‌ها را متوقف کند و از ارتباط آن‌ها برای ایجاد عفونت جلوگیری کند. برخی ترکیبات موجود در این عصاره اثر مستقیم ضد باکتریایی دارند[۱۲]. همچنین، بخشی از عصاره تنه یک نوع بلوط دارای موادی است که می‌توانند باکتری‌های مضر را از بین ببرند[۱۳]. میوه بلوط و لایه داخلی پوست آن، به همراه دهان‌شویه‌ای که حاوی عصاره بلوط است، خاصیت ضدمیکروبی دارند، اما قدرت تأثیر آن‌ها از محلول‌های ضدعفونی‌کننده قوی مانند کلرهگزیدین کمتر است [۱۴]. علاوه بر این، برگ و ساقه برخی گونه‌های مختلف بلوط نیز خاصیت ضدمیکروبی دارند و یکی از ترکیبات مهم موجود در آن‌ها در مقابله با باکتری‌ها نقش دارد[۱۵]. پوست بلوط از قرون وسطی در طب عامیانه اروپا برای درمان اسهال، استوماتیت، فارنژیت و التهاب‌های پوستی استفاده شده است. معروف‌ترین کاربرد عصاره پوست بلوط درمان اسهال خفیف، التهاب جزئی غشای مخاطی دهان یا پوست است. همچنین پودر پوست بلوط برای پیشگیری از اسهال در دام‌هایی مانند گاو، اسب، خوک، گوسفند و مرغ استفاده می‌شود[۱۶]. استدلال شناخته‌شده برای استفاده درمانی از پوست بلوط، فعالیت ضد باکتریایی مستقیم آن

در برابر بسیاری از باکتری‌های پاتولوژیک برای انسان‌ها و حیوانات است. اثر ضد میکروبی استخراج‌های پوست بلوط مدیترانه‌ای (Quercus ilex) پیش‌تر در برابر باکتری‌هایی مانند Brucella، Enterobacter، Escherichia، Neisseria، Pseudomonas و Bacillus نشان داده شده است، در حالی که اثرات ضد باکتریایی نسبتاً قوی نیز در برابر سویه‌های Escherichia coli مشاهده شده است[۱۷ .] این پژوهش به منظور بررسی فعالیت‌های ضد میکروبی عصاره‌های پوست، چوب و برگ درختان اکالیپتوس و بلوط در برابر باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی می‌باشد تا آن‌ها را به‌عنوان یک عامل ضد میکروبی بالقوه معرفی کند.

مواد و روش‌ها

مواد

خمیرکاغذ الیاف بلند کرافت از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. برگ، پوست و چوب درختان اکالیپتوس کاملدولنسیس و بلوط بلندمازو، از محوطه آموزشی و گلخانه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شد. نشاسته کاتیونی و استون از شرکت مرک تهیه شد.

آماده‌سازی خمیر الیاف بلند

ابتدا ورق کاغذ کرافت الیاف بلند را به اندازه کوچک و حدود یک در یک سانتی‌متر خرد کرده و به آن آب مقطر اضافه شد تا الیاف خیس بخورد. مخلوط آب و خرده کاغذ به مدت ۲۴ ساعت کنار گذاشته شد و پس از آن به وسیله هم‌زن، به خوبی هم‌زده شد تا الیاف از هم جدا شود. خمیرکاغذ با دستگاه پالایشگر آزمایشگاهی PFI-MILL ساخت اتریش برای رسیدن به درجه روانی ۴۵۰ میلی‌لیتر پالایش شد.

آماده‌سازی نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی، به مقدار ۰/۰۴۸ گرم بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ آماده‌سازی و به سوسپانسیون خمیرکاغذ افزوده شد. بدین منظور نشاسته اندازه گیری شده به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه تحت هم زدن پیوسته قرار داده شد. پس از طی زمان آزمایش، ۱۰۰ میلی-لیتر آب هم دما به محلول اضافه شد.

تهیه عصاره به روش التراسونیک

نمونه‌های برگ، پوست و چوب درختان اکالیپتوس و بلوط پس از تهیه خشک شده و سپس خرد و به پودر تبدیل شدند. پودر حاصل با مش‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ الک شده و پودر باقیمانده بر روی الک مش ۸۰ جهت عصاره‌گیری انتخاب گردید. عصاره گیری به روش التراسونیک و در حلال استون انجام می‌شود. به همین منظور در دمای آزمایشگاه و در مدت ۳ دقیقه به وسیله‌ی امواج التراسونیک با دو دامنه آمپلیتوت (AMPLITOT) ۴۰ و ۶۰ تیمار شدند. در نهایت حلال تبخیر شده و ماده جامد آن جمع‌آوری گردید.

ساخت کاغذ دست‌ساز

کاغذ دست‌ساز با گراماژ ۱۲۰ گرم بر مترمربع بر طبق استاندارد شماره T205 sp-95 از آیین‌نامه TAPPI تهیه شد. بدین جهت ۲۴ گرم خمیرکاغذ پالایش شده بر اساس وزن خشک را به بشر انتقال داده و سپس نشاسته کاتیونی به آن افزوده شد. جهت اختلاط بهتر نشاسته کاتیونی، سوسپانسیون خمیرکاغذ و نشاسته به مدت ۱۰ دقیقه هم‌زده شد. سپس قبل از خشک شدن کاغذها، ۱۰ سی‌سی از عصاره‌های تهیه‌شده با غلظت‌های مختلف روی سطح آن‌ها اسپری شده و به مدت ۲۴ ساعت در داخل رینگ‌ها خشک‌کن، هوا خشک شدند.

آزمون‌ها

ابتدا محیط کشت مولر هینتون در پتری دیش‌های استریل شده به قطر ۱۰ سانتیمتر آماده شدند. سپس به وسیله‌ی باکتری‌های اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس محیط کشت آغشته شدند و در نهایت عصاره‌ها به روش چاهک‌گذاری و از نمونه‌های کاغذی قرص‌های به قطر یک سانتی‌متر تهیه و به محیط کشت اضافه گردید و سپس محیط کشت آماده شده در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت انکوباتور رشد داده شدند. پس از پایان آزمایش کشت قارچ‌ها، قطر ناحیه هاله عدم رشد به‌طور دقیق اندازه‌گیری شد. این روش پیش‌تر در

مطالعات مشابه نیز به کار رفته است[۱۸ و ۱۹]، در سه تکرار مستقل انجام شد و میانگین قطر هاله بازدارنده محاسبه و گزارش گردید. آزمون ضد باکتری، در این آزمون هاله عدم رشد باکتری‌های گرم مثبت و منفی اشریشیاکلای[1]و استافیلوکوکوس اورئوس اندازه گیری و نتایج به‌دست‌آمده ثبت شد.

آزمون مقاومت به کشش کاغذ بر اساس دستورالعمل آیین‌نامه T494 om-01 استاندارد تاپی انجام شد.

آزمون مقاومت به پاره شدن کاغذ بر اساس دستورالعمل آیین‌نامه T414 om-04 استاندارد تاپی انجام شد.

آزمون مقاومت به ترکیدن بر اساس دستورالعمل آیین‌نامه T403 om-04 استاندارد تاپی انجام شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

جهت تجزیه‌وتحلیل آماری این پژوهش از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و داده‌ها به‌صورت آزمایش‌ها فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از تکنیک تجزیه واریانس مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

آزمون ضد باکتریایی عصاره‌های استخراج شده

آزمون ضد باکتریایی جهت بررسی واکنش باکتری‌های اشریشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس[2] نسبت به عصاره‌های استخراج شده از برگ، پوست و چوب درختان بلوط و اکالیپتوس انجام شد. شکل۱ واکنش باکتری‌های اشریشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به عصاره‌های استخراج شده با روش التراسونیک را نشان می‌دهند. همچنین بررسی جدول۱ نشان می‌دهد که اندازه قطر هاله عدم رشد برای باکتری گرم منفی اشریشیاکلای برای عصاره استخراج شده از برگ و پوست بلوط به ترتیب۱۳ میلی‌متر و ۱۸ میلی‌متر می‌باشد، درحالی که هاله عدم رشد در نمونه مربوط به عصاره استخراج شده چوب بلوط مشاهده نشد. اندازه قطر هاله عدم رشد برای باکتری گرم مثبت اشریشیاکلای برای عصاره استخراج شده از برگ و پوست بلوط به ترتیب۱۱ میلی‌متر و۱۲ میلی‌متر می‌باشد، درحالی که در نمونه مربوط به عصاره استخراج شده چوب بلوط و چوب اکالیپتوس و پوست اکالیپتوس تشکیل هاله عدم رشد مشاهده نشد. در این مطالعه، نتایج حاصل از آزمون ضد باکتریایی نشان می‌دهد که عصاره‌های استخراج شده از برگ، پوست و چوب درختان بلوط و اکالیپتوس دارای تأثیرات متفاوتی بر روی باکتری‌های گرم منفی اشریشیاکلای و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس هستند. به طور خاص، عصاره‌های برگ و پوست بلوط در مقایسه با عصاره چوب بلوط و عصاره‌های مربوط به اکالیپتوس فعالیت ضد باکتریایی قابل‌توجه‌تری از خود نشان داده‌اند. این تفاوت‌ها می‌تواند به ترکیبات شیمیایی موجود در هر بخش از گیاه، از جمله فلاونوئیدها، تانن‌ها و سایر ترکیبات زیست فعال، مربوط باشد که به میزان و نوع استخراج نیز وابسته است[۱۸]. همچنین عصاره‌های اکالیپتوس در تحقیقات دیگر به دلیل وجود ترکیبات فرار مانند سینئول و ترپنوئیدها، تأثیر قابل‌توجهی در برابر اشریشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس نشان داده‌اند، هرچند که اثرات مختلفی بر اساس روش استخراج و نوع باکتری مشاهده شده است ولی نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که اسانس برگ اکالیپتوس دارای فعالیت ضد میکروبی در برابر باکتری‌های گرم منفی اشریشیاکلای و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس است[۲۱]. همان‌طور که گفته شد عصاره‌های استخراج شده از برگ و پوست بلوط به ترتیب هاله‌هایی با قطر ۱۳ میلی‌متر و ۱۸ میلی‌متر در برابر باکتری اشرشیاکلای ایجاد کرده‌اند، این امر می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت ضد باکتریایی قابل توجه باشد. این اثر می‌تواند به دلیل حضور ترکیبات پلی‌فنولیک و فلاونوئیدها باشد که در تحقیقات دیگر نیز به‌عنوان عوامل مؤثر در بازداری رشد باکتری‌های گرم منفی معرفی شده‌اند[۱۸]. عصاره چوب بلوط تأثیری در برابر باکتری‌ها نشان نداده، که احتمالاً به ترکیبات کم‌فعال تر موجود در چوب نسبت به برگ و پوست بازمی‌گردد. عصاره‌های برگ و پوست بلوط در برابر این باکتری استافیلوکوکوس اورئوس فعالیت نشان داده‌اند، اما با قطر هاله‌های کوچک‌تر (۱۱ و ۱۲ میلی‌متر)، که حاکی از تأثیر کمتر نسبت به اشرشیاکلای است. این یافته مطابق با تحقیقات قبلی است که نشان

[1] Enterotoxigenic E. coli

[2] Staphylococcus aureus

داده‌اند ترکیبات موجود در عصاره گیاهانی مانند بلوط و اکالیپتوس معمولاً تأثیر بیشتری بر باکتری‌های گرم منفی دارند تا گرم مثبت[۱۸،۲۱]. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که عصاره‌های گیاهی می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای آنتی‌بیوتیک‌های مصنوعی در درمان عفونت‌های باکتریایی مورد استفاده قرار گیرند، اما تأثیر آن‌ها بستگی به نوع عصاره و باکتری هدف دارد.

جدول ۱ قطرهاله‌های عدم رشت باکتری‌های اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به عصاره نمونه‌ها

نوع نمونه	قطر هاله عدم (mm)	
	اشرشیاکلای	استافیلوکوکوس اورئوس
برگ بلوط	۱۳	۱۱
چوب بلوط	-	-
پوست بلوط	۱۸	۱۲
چوب اکالیپتوس	۱۵	-
برگ اکالیپتوس	۱۵	۱۴
پوست اکالیپتوس	۱۶	-

علامت – به معنی تشکیل نشدن هاله عدم رشد می‌باشد

شکل ۱ واکنش باکتری اشرشیاکلای و باکتری استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به عصاره‌های استخراج شده با روش التراسونیک

بررسی غلظت بهینه مصرف عصاره در سطح کاغذ

جهت دستیابی به غلظت بهینه مصرف، عصاره برگ اکالیپتوس به‌عنوان نمونه مورد آزمایش در نظر گرفته شد و با توجه به بررسی منابع و آزمایش‌های مقدماتی سه غلظت ۰/۳۶، ۰/۴۸ و۰/۶۰ گرم بر لیتر، تهیه شد و به سطح کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده، اسپری گردید. سپس جهت مشاهده واکنش باکتری‌های اشریشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به غلظت‌های مورد نظر کشت باکتری‌های مورد نظر انجام گرفت. شکل۲ واکنش باکتری اشریشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس نسبت به عصاره‌های استخراج شده از برگ اکالیپتوس با روش

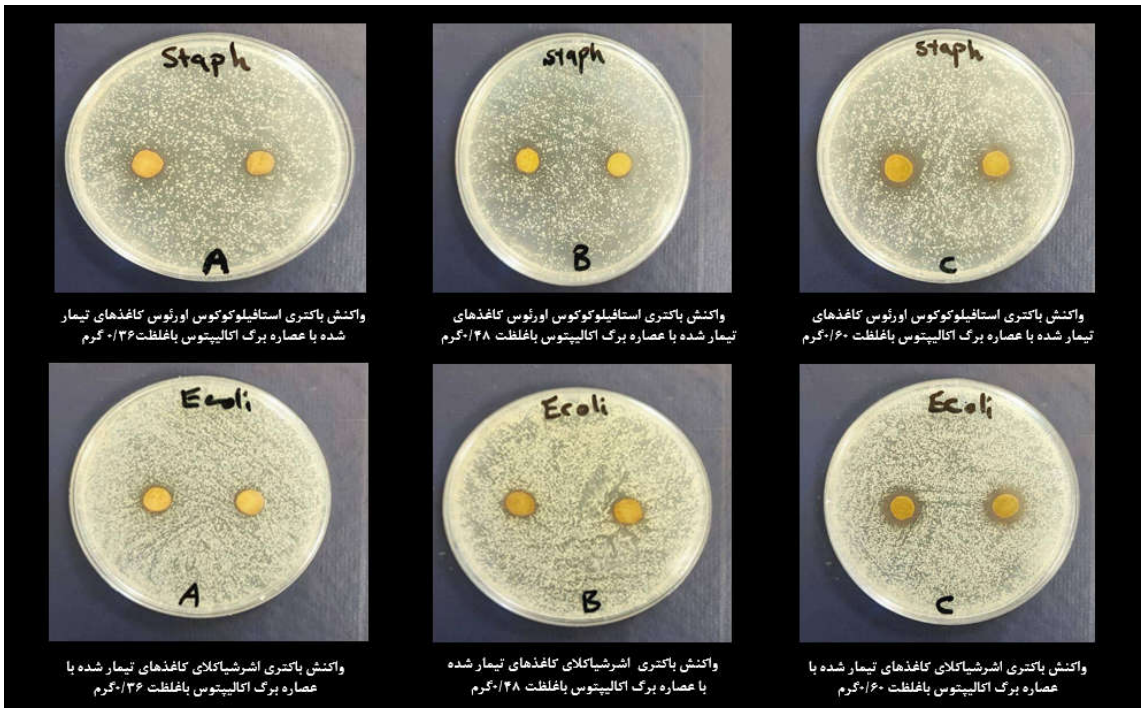
التراسونیک را در سه غلظت ۰/۳۶، ۰/۴۸ و۰/۶۰ گرم را نشان می‌دهند. همچنین بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که اندازه قطر هاله عدم رشد برای باکتری گرم مثبت اشریشیاکلای و گرم منفی استافیلوکوکوس اورئوس برای عصاره استخراج شده از برگ اکالیپتوس در غلظت۰/۶۰ گرم برای باکتری گرم مثبت اشریشیاکلای و گرم منفی استافیلوکوکوس اورئوس به ترتیب ۱۴ و ۱۳ میلی‌متر بوده است در صورتیکه قطر هاله‌های عدم رشد در سایر نمونه‌ها ۱۰ میلی‌متر می‌باشد که نشان دهنده مقاومت باکتری نسب به عصاره می‌باشد. غلظت بالاتر عصاره اکالیپتوس (۰/۶۰ گرم) نسبت به غلظت‌های پایین‌تر بازداری بهتری از رشد باکتری‌ها داشته است، که نشان‌دهنده افزایش تراکم ترکیبات فعال در عصاره می‌باشد. تحقیقات پیشین نیز نشان داده‌اند که غلظت بالاتر ترکیبات فیتوشیمیایی مانند فلاونوئیدها و تانن‌ها، که در عصاره اکالیپتوس یافت می‌شوند، موجب افزایش فعالیت ضد باکتریایی می‌شود[۲۲]. این ترکیبات از طریق تخریب دیواره سلولی باکتری‌ها یا مهار آنزیم‌های مهم در رشد آن‌ها عمل می‌کنند. تفاوت‌های مشاهده شده در اثرگذاری عصاره اکالیپتوس بر باکتری‌های اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس نیز قابل‌توجه است. به‌طور کلی، باکتری‌های گرم منفی مانند اشرشیاکلای دارای دیواره سلولی پیچیده‌تری هستند که معمولاً نسبت به عوامل ضد باکتریایی مقاوم‌ترند[۱۸]. با این حال، عصاره اکالیپتوس توانسته است رشد این باکتری را در غلظت‌های بالا به طور قابل‌توجهی مهار کند، که این یافته با مطالعات قبلی سازگار است و به احتمال زیاد به دلیل وجود ترکیبات فرار مانند سینئول و پینن در اکالیپتوس است[۲۲]. در غلظت‌های پایین‌تر (۰,۳۶ و ۰,۴۸ گرم)، اندازه کوچک‌تر هاله عدم رشد (۱۰ میلی‌متر) نشان‌دهنده مقاومت بیشتر باکتری‌ها به عصاره است. این موضوع به خوبی نشان می‌دهد که در برخی از باکتری‌ها، تنها غلظت‌های بالاتر قادر به ایجاد اثر مهاری قابل‌توجه هستند. این یافته‌ها می‌تواند به بهینه‌سازی استفاده از عصاره‌های گیاهی در سطح کاغذ کمک کند. در نتیجه، این پژوهش نشان می‌دهد که غلظت بالاتر عصاره اکالیپتوس برای دستیابی به بهترین اثرات ضد باکتریایی به ویژه در برابر باکتری‌های مقاوم‌تر مانند اشرشیاکلای ضروری است.

جدول ۲ قطرهاله‌های عدم رشت باکتری اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذهای تیمار شده با عصاره برگ اکالیپتوس در غلظت‌های مختلف

نوع نمونه	غلظت عصاره (g)	قطر هاله *(MM)*	
		استافیلوکوکوس اورئوس	اشریشیاکلای
A	۰/۴۸	۱۰	۱۰
B	۰/۳۶	۱۰	۱۰
C	۰/۶۰	۱۴	۱۳

ویژگی ضد باکتریایی عصاره‌های استخراج شده در سطح کاغذ

اثر ضد باکتریایی کاغذهای تیمار شده با عصاره‌های چوب، برگ و پوست اکالیپتوس و بلوط بر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (باکتری گرم مثبت) و اشریشیاکلی (باکتری گرم منفی) در شکل ۳ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در جدول۳ مشاهده می‌شود، برای استافیلوکوکوس اورئوس، عصاره چوب اکالیپتوس با ایجاد قطر هاله عدم رشد ۲۲ میلی‌متر بیشترین فعالیت ضد باکتریایی را دارد. پس از آن، عصاره‌های پوست و برگ اکالیپتوس به ترتیب با ۱۷ و ۱۶ میلی‌متر قطر هاله در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. عصاره‌های چوب، برگ و پوست بلوط نیز اثرات ضد باکتریایی کمتری نشان دادند و به ترتیب قطر هاله‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۴ میلی‌متر ایجاد کردند. برای باکتری اشریشیاکلای (باکتری گرم منفی)، هیچ هاله عدم رشدی در حضور عصاره‌های مورد آزمایش مشاهده نشد. این یافته نشان می‌دهد که عصاره‌های مورد استفاده توانایی مهار رشد این باکتری را نداشتند یا اثر آن‌ها بسیار محدود بوده است. این نتایج نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیر در واکنش باکتری‌های گرم مثبت و منفی به عصاره‌های گیاهی مختلف است. همان‌طور که گفته شد عصاره‌های چوب اکالیپتوس، برگ اکالیپتوس، و پوست اکالیپتوس به ترتیب با قطر هاله‌های ۲۲، ۱۶ و ۱۷ میلی‌متر بیشترین فعالیت ضد باکتریایی را نشان دادند.

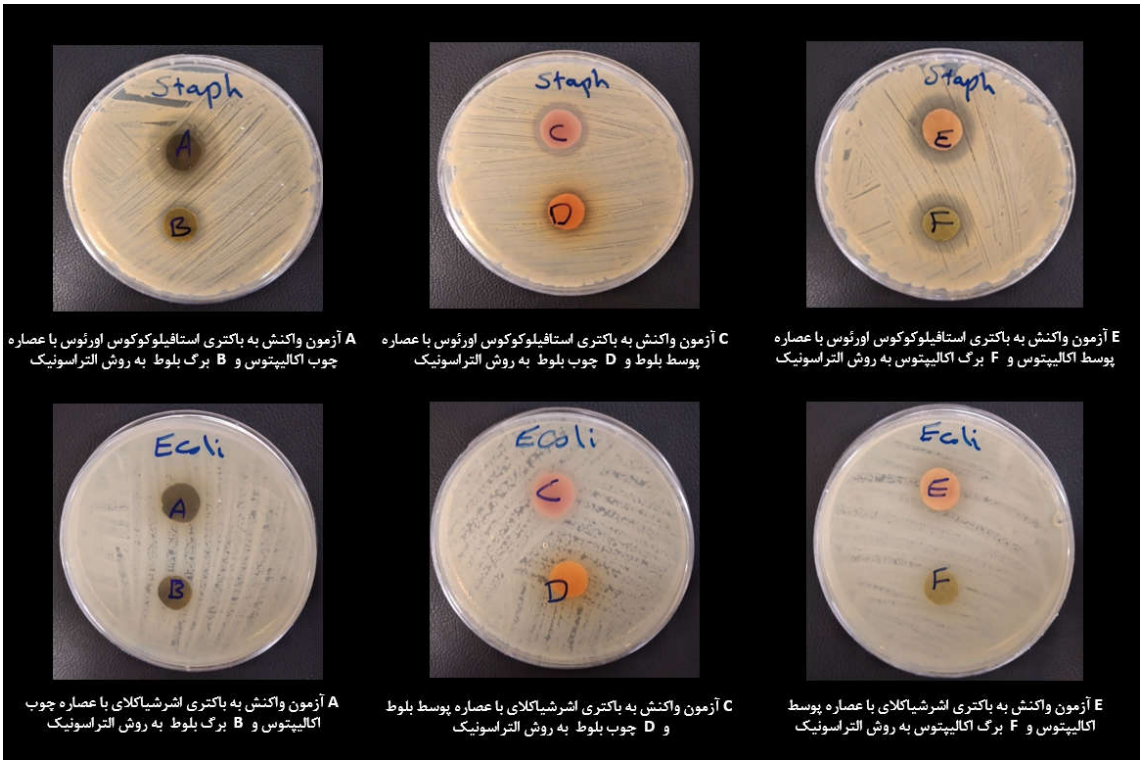


شکل ۲ واکنش باکتری اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذهای تیمار شده با عصاره برگ اکالیپتوس در غلظت‌های مختلف

این امر نشان‌دهنده تأثیر بیشتر ترکیبات فرار موجود در چوب اکالیپتوس است که شامل سینئول و ترکیبات ترپنوئیدی است و اثر مهاری قوی‌تری بر استافیلوکوکوس اورئوس دارد. مطالعات نشان داده‌اند که ترکیبات سینئول و پینن موجود در عصاره‌های اکالیپتوس می‌توانند به خوبی در تخریب دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت مؤثر باشند[۲۳]. همچنین، پوست اکالیپتوس نیز با قطر هاله ۱۷ میلی‌متر نشان‌دهنده فعالیت قابل‌قبولی است؛ که این موضوع به احتمال زیاد به ترکیبات پلی‌فنولیک و فلاونوئیدها بازمی‌گردد که به‌عنوان عوامل ضد باکتریایی طبیعی شناخته شده‌اند[۲۴]. این ترکیبات می‌توانند از طریق تداخل با عملکرد غشاء سلولی و آنزیم‌های حیاتی باکتری، به بازداری رشد آن‌ها کمک کنند، همچنین در این پژوهش، هیچ هاله‌ای برای باکتری اشریشیا کلی (باکتری گرم منفی) در حضور عصاره‌ها مشاهده نشد. این نتیجه نشان‌دهنده مقاومت بالای اشریشیا کلی به عصاره‌های مورد استفاده است در مطالعات مقایسه‌ای بین عصاره‌های مختلف گیاهی و تأثیر آن‌ها بر باکتری‌های مختلف، نتایج نشان می‌دهند که باکتری‌های گرم منفی معمولاً نسبت به عصاره‌های گیاهی مقاوم‌تر هستند[۲۵]؛ که با نتایج به‌دست‌آمده طی این پژوهش مطابقت دارد. به طور کلی، این نتایج اهمیت ترکیب شیمیایی و روش استخراج عصاره‌ها در فعالیت ضد باکتریایی را برجسته می‌کنند. عصاره‌های اکالیپتوس، به ویژه چوب آن، پتانسیل بیشتری برای مهار باکتری‌های گرم مثبت دارند، در حالی که باکتری‌های گرم منفی ممکن است به مقاومت بیشتری در برابر این عصاره‌ها نشان دهند.

جدول ۳ قطرهاله‌های عدم رشد باکتری اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذهای تیمار شده با عصاره‌ها

نوع نمونه	قطر هاله (mm)	
	استافیلوکوکوس اورئوس	اشریشیاکلای
چوب اکالیپتوس	۲۲	-
برگ اکالیپتوس	۱۶	-
پوست اکالیپتوس	۱۷	-
چوب بلوط	۱۰	-
برگ بلوط	۱۲	-
پوست بلوط	۱۴	-



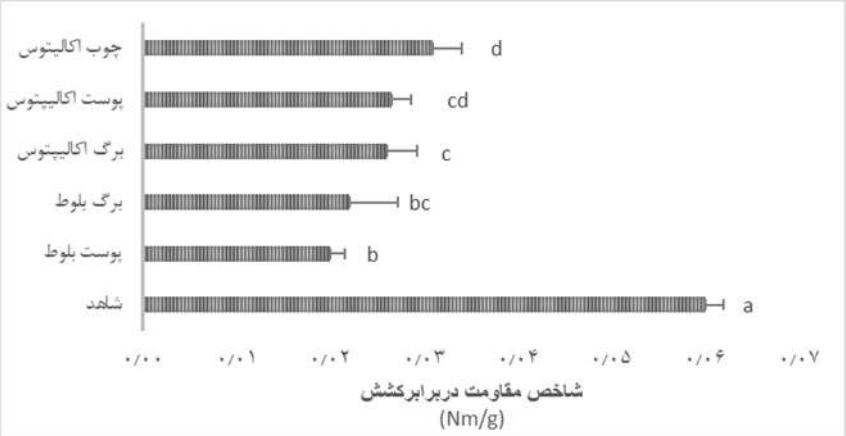
شکل ۳ واکنش باکتری اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس در کاغذهای تیمار شده با عصاره‌ها

ویژگی‌های مقاومتی در کاغذهای تیمار شده با عصاره

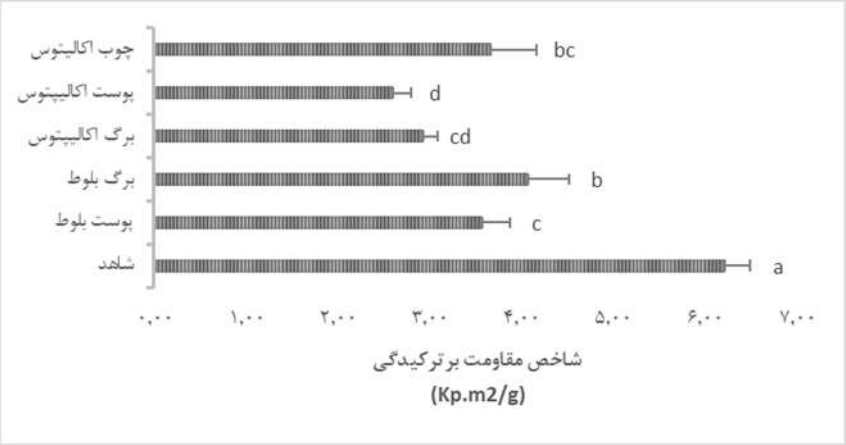
شکل ۴ شاخص مقاومت به کشش کاغذهای تیمار شده با عصاره پوست بلوط، برگ بلوط، برگ اکالیپتوس، پوست اکالیپتوس، چوب اکالیپتوس و نمونه شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله شاخص مقاومت به کشش نمونه شاهد بیشترین و نمونه مربوط به پوست بلوط کمترین مقاومت به کشش را دارند، در ادامه شکل ۵ شاخص مقاومت بر ترکیدگی کاغذهای تیمار شده با عصاره پوست بلوط، برگ بلوط، برگ اکالیپتوس، پوست اکالیپتوس، چوب اکالیتوس و نمونه شاهد را نشان می‌دهد. نتایج حاصله شاخص مقاومت بر ترکیدگی نمونه شاهد بیشترین و نمونه مربوط به پوست اکالیپتوس کمترین مقاومت در برابر ترکیدگی را نشان می‌دهند، همچنین شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای تیمار شده با عصاره پوست بلوط، برگ بلوط، برگ اکالیپتوس، پوست اکالیپتوس، چوب اکالیتوس و نمونه شاهد در شکل ۶ قابل مشاهده است. با توجه به نتایج حاصله شاخص مقاومت به پاره شدن نمونه شاهد بیشترین و نمونه مربوط به پوست اکالیپتوس کمترین شاخص مقاومت به پاره

شدن را دارند به طور کلی با افزودن عصاره به سطح کاغذ افت مقاومت‌های مکانیکی در تمامی نمونه‌ها مشهود است.

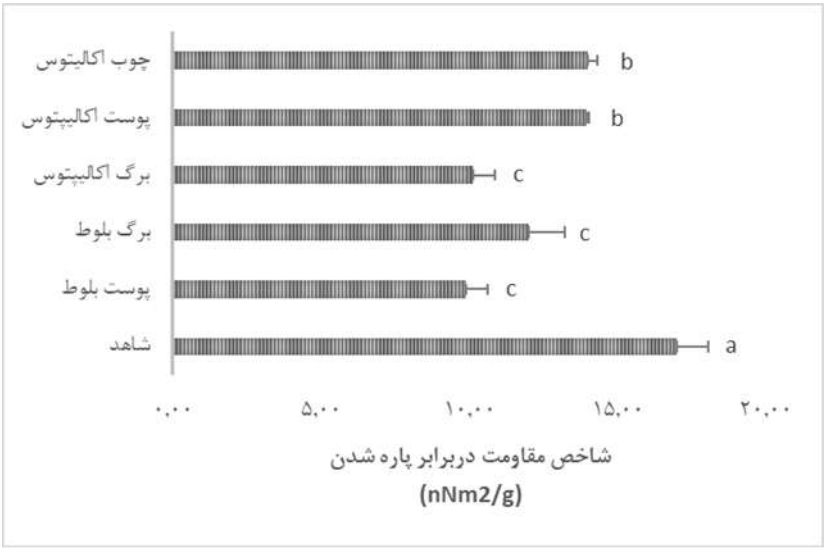
این افت در مقاومت مکانیکی را می‌توان به چندین عامل مختلف نسبت داد. یکی از دلایل اصلی کاهش مقاومت مکانیکی کاغذهای آغشته به عصاره‌های گیاهی، تغییر در پیوند بین فیبری کاغذ است. ترکیبات موجود در عصاره‌ها می‌توانند به داخل فیبرهای سلولزی نفوذ کنند و پیوندهای هیدروژنی بین فیبرها را تضعیف نمایند. پیوندهای هیدروژنی نقش اساسی در استحکام و یکپارچگی ساختار کاغذ دارند. تضعیف این پیوندها به دلیل نفوذ ترکیبات شیمیایی موجود در عصاره‌ها می‌تواند منجر به کاهش مقاومت مکانیکی کاغذ شود. این عمل ممکن است به دلیل تأثیر حلال عصاره‌ها در کاهش پیوندیابی بین الیاف باشد و یا به دلیل قرار گرفتن ترکیبات موجود در عصاره‌ها در بین الیاف و کاهش اتصال بین الیاف باشد. از دیگر عوامل مهمی که می‌تواند به کاهش مقاومت مکانیکی کاغذ منجر شود، وجود رطوبت و ترکیبات آب‌دوست در عصاره‌های گیاهی است. افزایش رطوبت و ترکیبات آب‌دوست پس از پرس کاغذ منجر به تخریب برخی پیوندهای هیدرژنی بین فیبری و ترکیب این ترکیبات قطبی با نقاط واکنش‌پذیر الیاف شود. همچنین ترکیبات اسیدی موجود در برخی عصاره‌ها می‌توانند باعث هیدرولیز سلولز و پیوند بین آن‌ها شود که نتیجه آن تضعیف ساختار فیبری کاغذ است. بعلاوه، ممکن است واکنش‌های اکسیداسیونی بین ترکیبات موجود در عصاره‌ها و فیبرهای سلولزی رخ دهد که می‌تواند باعث تخریب و تضعیف ساختار کاغذ شود. این تغییرات شیمیایی می‌توانند به طور مستقیم بر مقاومت مکانیکی کاغذ تأثیر بگذارند و باعث کاهش مقاومت به کشش، ترکیدگی و پارگی شوند. بالاخص که پوشش سطوح کاغذ یکنواخت نباشد که در آن صورت برخی از بخش‌های کاغذ ضعیف‌تر از بخش‌های دیگر خواهد بود و محلی برای شروع پارگی یا ترکیدگی می‌باشد. به طور کلی کاهش مقاومت مکانیکی کاغذهای آغشته به عصاره‌های گیاهی یک نتیجه طبیعی از تغییرات ساختاری و شیمیایی است که در اثر افزودن عصاره‌ها به وجود می‌آید؛ بنابراین این کاهش مقاومت می‌تواند به دلیل تضعیف پیوندهای بین فیبری، افزایش رطوبت و تورم کاغذ، واکنش‌های شیمیایی نامطلوب و توزیع ناهمگن عصاره‌ها باشد.



شکل ۴ شاخص مقاومت به کشش کاغذهای تیمار شده با عصاره



شکل ۵ شاخص مقاومت بر ترکیدگی کاغذهای تیمار شده با عصاره



شکل ۶ شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای تیمار شده با عصاره

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هدف اصلی بررسی خاصیت ضد باکتریایی و مقاومت مکانیکی کاغذهای آغشته به عصاره‌های گیاهی مختلف بود. عصاره‌های استخراج شده از پوست و برگ بلوط، چوب، برگ و پوست اکالیپتوس با استفاده از روش اولتراسونیک تهیه شدند و سپس خواص ضد باکتریایی آن‌ها در برابر باکتری‌های اشرشیاکلای و استافیلوکوکوس اورئوس بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره‌های گیاهی برگ، پوست و چوب اکالیپتوس و همچنین برگ و پوست بلوط دارای خواص ضد باکتریایی قابل‌توجهی به ویژه در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس هستند. با این حال، افزودن این عصاره‌ها به کاغذ باعث کاهش اثر ضد باکتریایی این عصاره شد ولی در غلظت‌های بالای عصاره مؤثرتر بوده و توانستند هاله عدم رشد تشکیل بدهند. همچنین مقاومت مکانیکی کاغذهای تیمار شده نیز نسبت به نمونه شاهد کاهش قابل توجه‌ای داشته‌اند. به همین دلیل جهت بهبود مقاومت‌های مکانیکی کاغذهای تیمار شده با عصاره‌ها حتماً لازم است از افزودنی‌های بهبود دهند مقاومت‌های مکانیکی استفاده شود. این اقدامات می‌توانند به توسعه محصولات کاغذی نوآورانه با خواص ضد باکتریایی و مکانیکی مناسب کمک کنند.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح پژوهشی مصوب در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به شماره قرارداد: ۱۰-۱۴۰۱-۰۴ که در تاریخ: ۱۴۰۱/۰۹/۱۶ به تصویب نهایی رسیده است استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از مسئولان پژوهشی دانشگاه را به عمل‌آورند.

منابع

[1] Ismailzadeh, H., Sengpour, P., Khaksar, R. and Shahraz, F. 2013. The effect of zinc oxide nanoparticles on the growth of Bacillus subtilis and Escherichia coli O157:H7. Journal of Food Science and Nutrition, 11(3), pp.21–28. (In Persian).

[2] Jieying, S., Tingting, L., Caie, W., Dandan, Z., Gongjian, F. and Xiaojing, L., 2024. Paper-based material with hydrophobic and antimicrobial properties: Advanced packaging materials for food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 23(3), p.e13373. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13373.

[3] Lasheva, V., Todorova, D., Yavorov, N., Damyanova, S. and Kostova, I., 2023. Possibilities for imparting antibacterial properties to papers. Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 58(2), pp.302-309. DOI: 10.59957/jctm.v58i2.55.

[4] Huang, H., Mao, L., Wang, W., Li, Z. and Qin, C., 2023. A facile strategy to fabricate antibacterial hydrophobic, high-barrier, cellulose papersheets for food packaging. International Journal of Biological Macromolecules, 236, p.123630. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123630.

[5] Dheeraj, A. K., Anjali, and Anju., 2024. Unveiling the antibacterial properties of plant extracts: Insights and innovations for future therapies. International Journal of Future Medicine and Research, 6(4), July-August. https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i04.26034.

[6] Alibi, S., Crespo, D. and Navas, J., 2021. Plant-derivatives small molecules with antibacterial activity. Antibiotics, 10(3), p.231. https://doi.org/10.3390/antibiotics10030231.

[7] Metsämuuronen, S. and Siren, H., 2014. Antibacterial compounds in predominant trees in Finland: Review. J. Bioprocess. Biotech, 4(1). DOI: 10.4172/2155-9821.1000167

[8] Marzoug, H.N.B., Romdhane, M., Lebrihi, A., Mathieu, F., Couderc, F., Abderraba, M., Khouja, M.L. and Bouajila, J., 2011. Eucalyptus oleosa essential oils: chemical composition and antimicrobial and antioxidant activities of the oils from different plant parts (stems, leaves, flowers and fruits). Molecules, 16(2), pp.1695-1709. https://doi.org/10.3390/molecules16021695.

[9] Jahan, M., Warsi, M.K. and Khatoon, F., 2011. Studies on antibacterial property of eucalyptus-the aromatic plant. Int J Pharm Sci Rev Res, 7(2), pp.86-8. https://doi.org/10.61841/87ve8p25.

[10] Sabo, Verica Aleksic, and Petar Knezevic. "Antimicrobial activity of Eucalyptus camaldulensis Dehn. plant extracts and essential oils: A review." Industrial crops and products 132 (2019): 413-429. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.051.

[11] Deryabin, D.G. and Tolmacheva, A.A., 2015. Antibacterial and anti-quorum sensing molecular composition derived from Quercus cortex (Oak bark) extract. Molecules, 20(9), pp.17093-17108.https://doi.org/10.3390/molecules200917093.

[12] Serit, M., Okubo, T., Su, R. H., Hagiwara, N., Kim, M., Iwagawa, T., and Yamamoto, T., 1991. Antibacterial compounds from oak, Quercus acuta Thunb. Agricultural and biological chemistry, 55(1), 19-23. https://doi.org/10.1271/bbb1961.55.19.

[13] Babadi, F. and Rezaeifar, K., 2021. Compression of antibacterial effect of some herbal mouthwash containing oak extract. Jundishapur Scientific Medical Journal, 20(4), pp.300-311.https://doi.org/10.32598/JSMJ.20.4.2190.

[14] Subhashini, S., Begum, S.M. and Rajesh, G., 2016. Antimicrobial characterisation combining spectrophotometric analysis of different oak species. Int. J. Herb. Med, 4, pp.32-35. DOI:10.1155/2013/134656.

[15] EMEA (European Agency for the Evaluation of Medicinal Products, Veterinary Medicines Evaluation Unit), 1997. Tylosin: Summary Report (3). Committee for Veterinary Medicinal Products, London, UK, pp. 205–212.

[16] Gulluce, M., Sokmen, M., Sahin, F., Sokmen, A., Adiguzel, A. and Ozer, H., 2004. Biological activities of the essential oil and methanolic extract of Micromeria fruticosa (L) Druce ssp serpyllifolia (Bieb) PH Davis plants from the eastern Anatolia region of Turkey. Journal of the Science of Food and Agriculture, 84(7).http://doi.org/10.1002/jsfa.1728.

[17] Rohmatin, I.A. and Suparno, S., 2023. Effect of Cocoa Bean Extract Concentration on the Diameter of the Clear Zone Preparing Streptococcus Mutans Bacteria. Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 9(SpecialIssue), pp.1277-1283.https://doi.org/10.29303/jppipa.v9iSpecialIssue.4703

[18] Bibak, B., Bahmanyar, S., Feizi, P., Zarghami Moghaddam, P., and Alesheykh, P., 2015. Survey of antibacterial effect from different extracts of Viola

odrata on three chronic sinusitis bacteria. North Khorasan University of Medical Sciences, 6(4), 727–734.http://dx.doi.org/10.29252/jnkums.6.4.727.

[19] Chassagne, F., Samarakoon, T., Porras, G., Lyles, J.T., Dettweiler, M., Marquez, L., Salam, A.M., Shabih, S., Farrokhi, D.R. and Quave, C.L., 2021. A systematic review of plants with antibacterial activities: A taxonomic and phylogenetic perspective. Frontiers in pharmacology, 11, p.586548. https://doi.org/10.3389/fphar.2020.586548

[20] Bachir, R.G. and Benali, M., 2012. Antibacterial activity of the essential oils from the leaves of Eucalyptus globulus against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Asian Pacific journal of tropical biomedicine, 2(9), pp.739-742. https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60220-2.

[21] Salem, S.S., Elsayed, H.E., Shabana, S., Khazaal, M.T. and Moharram, F.A., 2023. Phytochemical profile and antimicrobial activity of essential oils from two Syzygium species against selected oral pathogens. BMC Complementary Medicine and Therapies, 23(1), p.448.https://doi.org/10.1186/s12906-023-04277-1.

[22] Sabo, V.A. and Knezevic, P., 2019. Antimicrobial activity of Eucalyptus camaldulensis Dehn. plant extracts and essential oils: A review. Industrial crops and products, 132, pp.413-429.https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.051

[23] Chouhan, S., Sharma, K. and Guleria, S., 2017. Antimicrobial activity of some essential oils—present status and future perspectives. Medicines, 4(3), p.58. https://doi.org/10.3390/medicines4030058.

[24] Sethi, M.H.H.B.A., Rasool, F. and Khurram, M., 2011. Antibacterial activity analysis of extracts of various plants against gram-positive and-negative bacteria. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 5(7), pp.887-893.https://doi.org/10.5897/AJPP11.215.