

## توسعه زخم‌پوش‌های پنبه‌ای آنتی‌باکتریال با استفاده از رنگزای طبیعی قنبیله و دندانه‌های گیاهی: ارزیابی اثر روش‌های دندانه‌دهی بر مهار پاتوژن‌های بیمارستانی

فاطمه سعیدفر<sup>۱</sup>، فاطمه شاه مرادی قهه<sup>۲\*</sup>، سیده رحمانه اطیابی<sup>۳</sup>، زهرا صادقی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموز متوسطه دوم دبیرستان امام محمد باقر علیه السلام

<sup>۲</sup> گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی شیمی و مواد پیشرفته، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

<sup>۳</sup> گروه زیست‌شناسی سلولی مولکولی و میکروبیولوژی، دانشکده علوم و فناوری های زیستی، دانشگاه اصفهان، دانشگاه اصفهان

f.shahmoradi1598@uut.ac.ir

### چکیده

عفونت‌های ناشی از باکتری‌هایی چون سودوموناس آئروژینوزا، استافیلوکوکوس اورئوس و اشرشیا کلی از عوامل تهدیدکننده سلامت بیماران محسوب می‌شوند. زخم‌پوش‌های پنبه‌ای متداول فاقد خاصیت ضد میکروبی‌اند و شرایط مناسبی برای رشد باکتری‌ها فراهم می‌کنند که موجب تأخیر در ترمیم زخم و افزایش خطر عفونت‌های ثانویه و مقاومت آنتی‌بیوتیکی می‌شوند. استفاده از زخم‌پوش‌های حاوی رنگدانه‌های گیاهی با خواص ضدباکتریایی به‌عنوان راهکاری نوین در کنترل عفونت‌ها مورد توجه قرار گرفته است. هدف این پژوهش، استفاده از رنگزای طبیعی استخراج‌شده از پرز میوه قنبیله (ضایعه کشاورزی) جهت رنگرزی باند و گاز پنبه‌ای بود. این گیاه با داشتن ترکیبات فنولی و تانی، خاصیت ضد میکروبی بالایی دارد. به‌منظور تقویت خاصیت رنگ‌پذیری و افزایش فعالیت ضدباکتریایی، از عصاره‌های گیاهی چای سیاه، بارهنگ، پوست انار، هلیله سیاه و زیره به‌عنوان دندانه در دو روش پیش‌دندانه و پس‌دندانه بهره گرفته شد. نتایج نشان داد نمونه‌های رنگرزی‌شده با عصاره‌های پوست انار، بارهنگ و چای سیاه، خاصیت ضدباکتریایی مؤثری در برابر استافیلوکوکوس اورئوس و سودوموناس آئروژینوزا دارند. بیشترین اثر بازدارندگی در نمونه‌هایی مشاهده شد که ابتدا با رنگ طبیعی قنبیله رنگرزی و سپس با بارهنگ و پوست انار دندانه‌دار شده بودند. این یافته‌ها بیانگر ظرفیت بالای ترکیبات گیاهی مطالعه‌شده در تولید زخم‌پوش‌های ضدباکتریایی و کاربردهای درمانی آن‌هاست. کلمات کلیدی: قنبیله، خواص ضدباکتریایی، زخم‌پوش پنبه‌ای، سنتز سبز، عفونت‌های بیمارستانی

## Development of Antibacterial Cotton Wound Dressings Using Kamala Natural Dye and Bio-Mordants: Evaluating the Efficacy of Mordanting Techniques Against Nosocomial Pathogens

Fatemeh Saeedfar<sup>1</sup>, Fatemeh Shahmoradi Ghaheh<sup>2\*</sup>, Sayyede Rahmeh Atyabi<sup>3</sup>, Zahra Sadeghi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> High School Student, Imam Mohammad Bagher High School, Iran

<sup>2</sup> Faculty of Chemical Engineering and Advanced Materials, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

<sup>3</sup> Department of Cell and Molecular Biology and Microbiology, Faculty of Biological Science and Technology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

f.shahmoradi@uut.ac.ir

### Abstract

Infections caused by bacteria such as *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, and *Escherichia coli* are among the factors threatening the health of patients. Conventional cotton wound dressings lack antimicrobial properties and provide suitable conditions for bacterial growth, leading to delayed wound healing, increased risk of secondary infections, and antibiotic resistance. The use of wound dressings containing plant pigments with antibacterial properties has been considered as a novel approach for infection control. The aim of this study was to use a natural dye extracted from the fuzz of Kamala fruit (agricultural waste) for dyeing cotton bandages and gauze. This plant has high antimicrobial activity due to its phenolic and tannin compounds. In order to enhance dyeability and increase antibacterial activity, aqueous extracts of black tea, plantain, pomegranate peel, black myrobalan, and cumin were used as bio-mordants in both pre-mordanting and post-mordanting methods. The results showed that samples dyed with pomegranate peel, plantain, and black tea extracts had effective antibacterial activity against *S. aureus* and *P. aeruginosa*. The highest inhibitory effect was observed in samples that were first dyed with Kamala natural dye and then mordanted with plantain and pomegranate peel. These findings demonstrate the high potential of the studied plant compounds for producing antibacterial wound dressings and their therapeutic applications.

Keywords: Kamala, Antibacterial properties, Cotton wound dressing, Green synthesis, Hospital infections

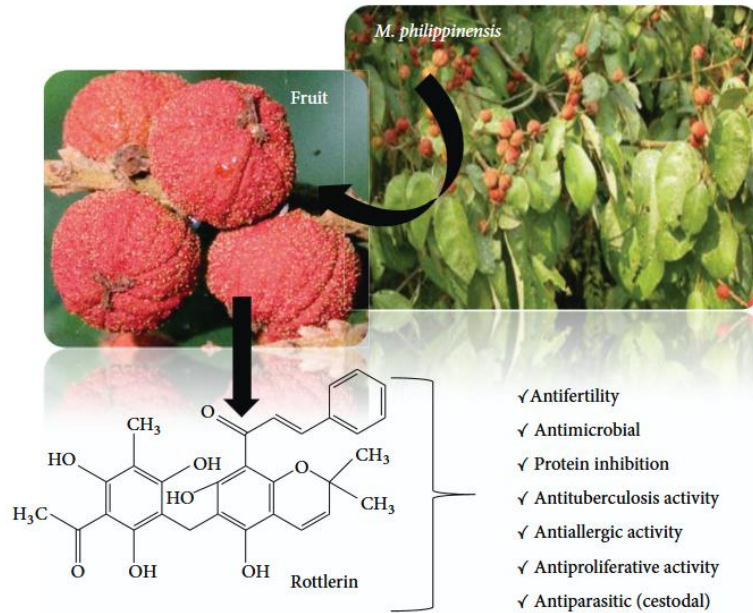
## ۱. مقدمه

پوست انسان به عنوان بزرگترین اندام بدن، نخستین سد دفاعی در برابر عوامل بیماری زا محسوب می شود. هرگونه آسیب به این سد طبیعی، مانند زخم ها، سوختگی ها یا جراحی ها، می تواند مسیر ورود میکروارگانیسم ها را به بافت های بدن فراهم کند. باکتری هایی مانند *Escherichia*, *Staphylococcus aureus* و *Pseudomonas aeruginosa* از مهم ترین عوامل ایجاد عفونت در زخم ها هستند. حضور این میکروارگانیسم ها نه تنها روند طبیعی بهبود زخم را مختل می کند، بلکه با تشکیل لایه های مقاوم باکتریایی (بیوفیلم)، درمان عفونت را دشوارتر کرده و هزینه های درمان و مراقبت های پزشکی را، به ویژه در بیماران دیابتی و سالمندان، افزایش می دهد. مطالعات نشان داده اند که استفاده از زخم پوش های حاوی ترکیبات ضد میکروبی می تواند میزان عفونت های بیمارستانی را تا حدود ۴۰ درصد کاهش داده و سرعت ترمیم زخم را بهبود بخشد [۱، ۲].

در سال های اخیر، افزایش نگرانی ها درباره مقاومت آنتی بیوتیکی و آلودگی های زیست محیطی ناشی از مواد شیمیایی باعث شده توجه پژوهشگران از مواد سنتزی به سمت ترکیبات طبیعی جلب شود. رنگزاهای سنتزی اگرچه ثبات رنگی بالایی دارند، اما بسیاری از آن ها دارای اثرات زیست محیطی نامطلوب و سمیت بالقوه برای انسان هستند. در مقابل، رنگزاهای طبیعی به دلیل زیست تخریب پذیری، سمیت کمتر و سازگاری بهتر با محیط زیست، به عنوان جایگزین های مناسبی مطرح شده اند. بسیاری

از این رنگزاهای علاوه بر ایجاد رنگ، دارای خواص عملکردی ارزشمندی مانند فعالیت آنتی اکسیدانی، محافظت در برابر اشعه فرابنفش و اثرات ضد میکروبی هستند [۳، ۴]. اخیراً، پسماندهای کشاورزی به عنوان منابع پایدار رنگزاهای طبیعی با خواص ضد میکروبی مورد توجه قرار گرفته اند. موادی مانند پوست انار، تفاله قهوه و میوه قنبیله حاوی ترکیبات فنولی و تاننی هستند که می توانند خاصیت ضد میکروبی قابل توجهی ایجاد کنند. این ترکیبات طبیعی علاوه بر کاهش آلودگی های محیطی، ارزش افزوده ای برای پسماندهای کشاورزی ایجاد می کنند و امکان تولید محصولات زیست پایه را فراهم می سازند [۴، ۵].

بهره گیری از گیاهان دارویی راهکاری نوین در تسریع ترمیم زخم است؛ چراکه عفونت باکتریایی مانع اصلی بهبودی بوده و برخورداری از خاصیت ضد میکروبی، ویژگی حیاتی زخم پوش ها محسوب می شود [۵]. گیاه قنبیله با نام علمی *Mallotus philippinensis* از خانواده *Euphorbiaceae*، یکی از گیاهان دارویی شناخته شده در طب سنتی آسیا است. این گیاه در مناطق گرمسیری مانند هند، عربستان، سیلان، استرالیا و برخی مناطق آفریقا رشد می کند. درخت قنبیله معمولاً ارتفاعی کمتر از ۱۰ متر دارد و میوه های آن با لایه ای از گرد قرمز رنگ پوشیده شده اند. این گرد که به نام «کامالا» شناخته می شود، از غده ها و تارهای سطح میوه به دست می آید و حاوی ترکیبات زیست فعال متعددی است [۶-۸].



شکل ۱- درخت و میوه قنبیله به همراه ساختار شیمیایی ماده موثره آن [۱۰].

ضدمیکروبی قابل توجهی به منسوجات ببخشد. با این حال، استفاده از این رنگزا در منسوجات پزشکی به‌ویژه بسترهای پنبه‌ای مانند باند و گاز هنوز به طور کامل بررسی نشده است. از سوی دیگر، چالش‌هایی مانند جذب محدود رنگزاهای طبیعی بر روی الیاف سلولزی و ثبات پایین آن‌ها در برابر شستشو، ضرورت توسعه روش‌های بهینه تثبیت این ترکیبات را نشان می‌دهد [۷]. با توجه به اهمیت توسعه زخم‌پوش‌های زیست‌پایه و سازگار با بدن، استفاده از رنگزاهای طبیعی دارای خاصیت ضدمیکروبی می‌تواند رویکردی نوین در طراحی پانسمان‌های پزشکی باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، تهیه و ارزیابی یک زخم‌پوش مقاوم در برابر باکتری‌ها با استفاده از عصاره طبیعی قنبیله است. در این مطالعه، برای نخستین بار رنگزای قنبیله بر روی باند و گاز پنبه‌ای به کار گرفته شد و زخم‌پوش با استفاده از روش سنتز سبز تهیه

مطالعات فیتوشیمیایی نشان داده‌اند که گرد کاملاً سرشار از ترکیبات فنولی، تانن‌ها و فلاونوئیدها است که می‌تواند اثرات زیستی مهمی از جمله خواص ضدمیکروبی، آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی ایجاد کنند. یکی از مهم‌ترین ترکیبات فعال موجود در این گیاه، روتلرین (Rottlerin) است که به عنوان عامل اصلی ایجاد رنگ قرمز-نارنجی در این ماده شناخته می‌شود و نقش مهمی در فعالیت‌های زیستی آن دارد (شکل ۱). به همین دلیل، قنبیله علاوه بر کاربردهای دارویی سنتی، در سال‌های اخیر به عنوان یک رنگزای طبیعی با قابلیت‌های عملکردی مورد توجه پژوهشگران حوزه نساجی و زیست‌مواد قرار گرفته است [۸، ۹]. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که رنگزای قنبیله می‌تواند برای رنگرزی الیاف مختلف از جمله پشم، ابریشم و برخی الیاف مصنوعی مورد استفاده قرار گیرد و در عین حال خواص

رنگ می‌شود؛ از این رو باید با رنگ‌زا سازگار بوده و در حمام رنگ‌ریزی قابل اختلاط/حل باشد. نوع دندان‌ه نیز متناسب با نوع الیاف انتخاب می‌گردد.

در این پژوهش، دندان‌دادن و رنگ‌ریزی با دو روش پیش‌دندان‌ه و پس‌دندان‌ه در حمام حاوی یکی از دندان‌های طبیعی شامل جای سیاه، بارهنگ، زیره، پوست انار و هلیله سیاه انجام شد. در روش پیش‌دندان‌ه، پارچه باند و گاز ابتدا در محلول دندان‌ه (به صورت عصاره) با غلظت ۲۰٪ نسبت به وزن پارچه در  $40^{\circ}\text{C}$  در حمام با  $L:R=1:20$  قرار گرفت؛ سپس دما طی مدت زمان ۳۰ دقیقه تا  $100^{\circ}\text{C}$  افزایش یافت و عملیات دندان‌دادن به مدت ۴۵ دقیقه در این دما انجام شد. فرآیند رنگ‌ریزی نیز با غلظت ۵۰٪ نسبت به وزن کالا از عصاره رنگ‌زا در حمام با  $L:R=1:20$  در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  آغاز و پس از افزایش دما تا  $100^{\circ}\text{C}$  در بازه زمانی ۳۰ دقیقه، به مدت ۶۰ دقیقه در این دما ادامه یافت. سپس نمونه‌ها در زیر آب سرد آبکشی شده و در دمای اتاق خشک شد. روش پس‌دندان‌ه مطابق روش فوق بوده و فقط رنگ‌ریزی در مرحله اول انجام شده و سپس عملیات دندان‌دار کردن صورت گرفته است. پس از انجام فرآیند رنگ‌ریزی و دندان‌دار کردن، نمونه‌های پنبه‌ای در شرایط محیطی آزمایشگاه در دمای  $25\pm 2$  درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در طول این مدت، شرایط رطوبت نسبی محیط نیز کنترل گردید تا یکنواختی نمونه‌ها حفظ شود [۱۱].

[۱۲]

گردید. سپس خواص ضد میکروبی این پانسمان‌ها با استفاده از آزمون دیسک دیفیوژن<sup>۱</sup> در برابر باکتری‌های گرم منفی *E.coli* و *P.aeruginosa* و همچنین باکتری گرم مثبت *S. aureus* مورد بررسی قرار گرفت تا کارایی این سامانه در تولید زخم‌پوش‌های زیست‌فعال ارزیابی شود.

## ۲. تجربیات

### ۱-۲- استخراج رنگ‌زاهای گیاهی

پودر رنگ‌زای قنبیله از شرکت گیاهان دارویی عطارک (پاسداران، تهران) تهیه، خشک و آسیاب شد و برای یکنواختی اندازه ذرات از مش نایلونی شماره ۴۰ عبور داده شد [۱۰]. سپس  $40^{\circ}\text{C}$  گرم پودر در  $400$  میلی‌لیتر آب مقطر در ارلن مایر متصل به کندانسور به مدت ۶۰ دقیقه در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  استخراج شد و در پایان محلول حاصل از فیلتر واتمن شماره ۴۲ عبور داده شد تا محلول رنگی تصفیه‌شده به دست آید.

### ۲-۲- آماده‌سازی پارچه برای رنگ‌ریزی

برای رنگ‌ریزی از پارچه باند تاری-پودی بافته شده از نخ پنبه یک‌لا (پارچه باند و گاز متداول) با ابعاد  $200 \times 7/5$  سانتی متر (گاز صفا طب، ایران) استفاده شد. برای حذف ناخالصی‌ها و روغن‌های ریسندگی از باند، در محلول یک گرم در لیتر شوینده آنیونی در دمای  $80$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه شسته شد.

### ۳-۲- دندان‌دادن و رنگ‌ریزی

دندان‌ه در فرایند رنگ‌ریزی نقش تثبیت‌کننده دارد و با افزایش تمایل رنگ‌زا به برهم‌کنش و نفوذ در الیاف، موجب بهبود ثبات و شفافیت

<sup>1</sup> Kirby-Bauer

تمامی آزمایش‌ها به صورت سه تکرار مستقل انجام شد و نتایج به صورت میانگین گزارش گردید.

#### ۴-۲- بررسی خاصیت ضد میکروبی پانسمان قنبیله

فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌ها با استفاده از روش انتشار در محیط کشت مطابق دستورالعمل استاندارد (CLSI (2024) مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۳]. در این آزمون سویه‌های استاندارد شامل

*Escherichia coli* ATCC 25922 و

*Pseudomonas aeruginosa* و

ATCC 27956 تهیه شده از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی

ایران استفاده شدند. پس از تلقیح باکتری‌ها به مقدار استاندارد نیم

مک فارلند ( $CFU = 1.5 \times 10^8$ ) بر روی محیط کشت استریل

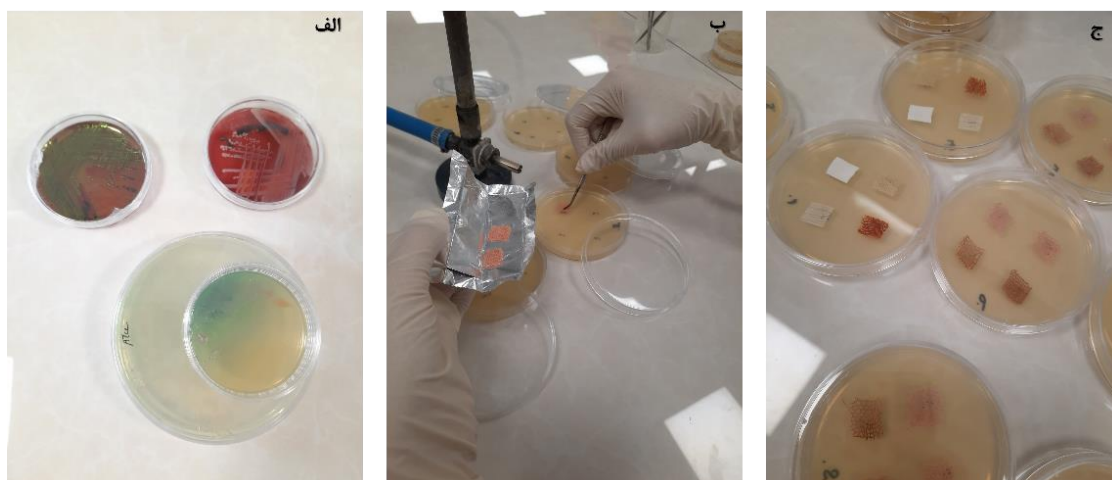
مولر هینتون آگار به قطر ۵ میلی متر، نمونه‌های زخم پوش

استریل به اندازه  $1 \times 1$  سانتی متر بر روی سطح محیط کشت قرار

داده شدند. سپس پلیت‌ها به مدت ۱۸-۱۶ ساعت در دمای  $35 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد انکوبه گردیدند. پس از طی زمان ذکر شده پلیت‌ها از انکوباتور خارج و روند بررسی حضور هاله عدم رشد اطراف پانسمان‌ها بررسی و قطر هاله عدم رشد باکتری در پلیت‌ها براساس واحد میلی‌متر، اندازه‌گیری شد. نمونه شاهد، باند و گاز پنبه‌ای عمل نشده با ماده قنبیله بود.

تصاویری از انجام کار در ذیل ارائه شده است (شکل ۲).

به منظور اطمینان از صحت نتایج حاصله، از نمونه پانسمان پنبه‌ای پخت و سفیدگری شده (بدون فرایند رنگرزی) به عنوان کنترل منفی استفاده شد. همچنین یک نمونه مرجع دارای خاصیت ضدباکتری به عنوان کنترل مثبت در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت تا امکان مقایسه عملکرد نمونه‌های عمل شده فراهم گردد.



شکل ۲- تست ضد میکروبی نمونه‌های دنداندار و رنگرزی شده با عصاره استخراجی از پودر قنبیله. الف: سویه‌های استاندارد میکروبی، ب و ج: آزمون ضد میکروبی به روش انتشار در محیط کشت.

## ۳. بحث و نتایج

می‌دهد. این پودر به عنوان ضایعات صنعت کشاورزی بوده است که در کار تحقیقاتی حاضر از آن برای تولید زخم‌پوش کاملاً دوستدار محیط زیست با خاصیت ضد باکتریایی قوی استفاده شده است.

یکی از مزایای کار تحقیقاتی حاضر استفاده از یک ضایعات کشاورزی می باشد که به بهترین نحو استفاده گردیده است. شکل ۳ تصویر دقیقی از پودر قنبیله چسبیده به میوه نشان

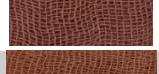
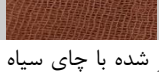


شکل ۳- ویژگی‌های ریخت‌شناسی درخت (a) *Mallotus philippensis* شاخه‌ای با برگ‌های تخم‌مرغی، (b) گل‌آذین انتهایی که به میوه تبدیل می‌شود و (c) تصویر دقیقی از پودر قنبیله چسبیده به میوه‌های سه حفره‌ای (کپسول) حاوی کرک‌های غده‌ای قرمز [۱۴].

یکی از مهمترین نوآوری‌های کار تحقیقاتی حاضر رنگ‌ری باند و گاز با رنگ‌زای طبیعی قنبیله (با قدرت رنگی بالا) برای اولین بار است. باند و گاز از جنس پنبه می باشند. پلیمر پنبه یک پلیمر سلولز خطی با واحد تکرار شونده سلوبیوز می باشد. گروه‌های شیمیایی مهم روی پلیمر پنبه، گروه‌های هیدروکسیل می- باشند. پنبه در آب دارای بار جزئی منفی بوده و چون رنگ‌زاهای طبیعی نیز دارای بار منفی می‌باشند بنابراین به علت دافعه ایجاد شده بین بارهای منفی، تمایلی به جذب روی پنبه ندارند و این یک چالش اصلی بر سر رنگ‌ری کالای پنبه ای با رنگ‌زاهای طبیعی می باشد.

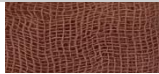
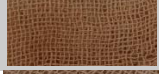
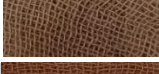
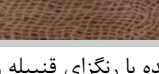
نتایج بصری پارچه‌های باند و گاز رنگ شده با استفاده از رنگ‌زای طبیعی قنبیله در حضور ترکیبات چای سیاه، بارهنگ، پوست انار، هلیله و زیره به دو روش پیش دندان و پس دندان در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد، پارچه باند و گاز دندان دار نشده و رنگ‌ری شده با رنگ‌زای قنبیله از قدرت رنگی بالایی برخوردار است که نشان دهنده قدرت بسیار خوب این رنگ‌زا در رنگ‌ری باند و گاز پنبه ای است. علاوه بر این نتایج نشان داد در صورت استفاده از ترکیبات گیاهی ترکیبات چای سیاه، بارهنگ، پوست انار، هلیله و زیره به دو روش پیش دندان و پس دندان فام‌های متنوعی ایجاد شده است.

جدول ۱ - باند و گاز دنداندار شده با ترکیبات طبیعی به روش پیش دندان و رنگریزی شده با قنبیله

| عنوان نمونه | K/S   | L*    | a*   | b*    | تصویر نمونه                                                                       |
|-------------|-------|-------|------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>    | ۸/۶۴  | ۳۶/۹۳ | ۷/۷۳ | ۸/۵۴  |  |
| <b>B</b>    | ۱۰/۱۴ | ۳۸/۵۴ | ۷/۰۴ | ۹/۱۲  |  |
| <b>C</b>    | ۱۲/۹۵ | ۳۸/۱۴ | ۶/۹۲ | ۹/۵۴  |  |
| <b>D</b>    | ۱۳/۵۷ | ۳۳/۳۶ | ۷/۷۱ | ۹/۹۳  |  |
| <b>E</b>    | ۱۳/۸۷ | ۳۴/۳۵ | ۷/۴۱ | ۱۱/۶۶ |  |
| <b>F</b>    | ۱۴/۳۵ | ۲۹/۳۵ | ۷/۰۶ | ۱۰/۳۶ |  |

**A**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله (بدون دندان)، **B**- پارچه باند و گاز دنداندار شده با چای سیاه و سپس رنگریزی شده با رنگزای قنبیله، **C**- پارچه باند و گاز دنداندار شده با بارهنگ و سپس رنگریزی شده با رنگزای قنبیله، **D**- پارچه باند و گاز دنداندار شده با پوست انار و سپس رنگریزی شده با رنگزای قنبیله، **E**- پارچه باند و گاز دنداندار شده با هلیله و سپس رنگریزی شده با رنگزای قنبیله، **F**- پارچه باند و گاز دنداندار شده با زیره و سپس رنگریزی شده با رنگزای قنبیله.

جدول ۲- باند و گاز رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با ترکیبات طبیعی (به روش پس دندان)

| عنوان نمونه | K/S   | L*    | a*   | b*   | تصویر نمونه                                                                         |
|-------------|-------|-------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>    | ۸/۱۰  | ۳۸/۹۸ | ۷/۵۷ | ۵/۷  |  |
| <b>B</b>    | ۹/۲۸  | ۳۸/۶۴ | ۷/۴۹ | ۶/۴۳ |  |
| <b>C</b>    | ۸/۱۴  | ۴۱/۰۴ | ۷/۴۱ | ۶/۷۹ |  |
| <b>D</b>    | ۱۲/۹۸ | ۳۵/۳۷ | ۷/۲۵ | ۷/۶۹ |  |
| <b>E</b>    | ۱۲/۸۸ | ۳۴/۰۲ | ۷/۳۱ | ۷/۵۵ |  |
| <b>F</b>    | ۱۳/۱۷ | ۳۴/۱۷ | ۶/۹۲ | ۸/۲۲ |  |

**A**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله (بدون دندان)، **B**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله و سپس دنداندار شده با چای سیاه، **C**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله و سپس دنداندار شده با بارهنگ، **D**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله و سپس دنداندار شده با پوست انار، **E**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله و سپس دنداندار شده با هلیله، **F**- پارچه باند و گاز رنگریزی شده با رنگزای قنبیله و سپس دنداندار شده با زیره.

شکل ۴ نیز این یافته‌ها را به صورت یک نمودار ستونی

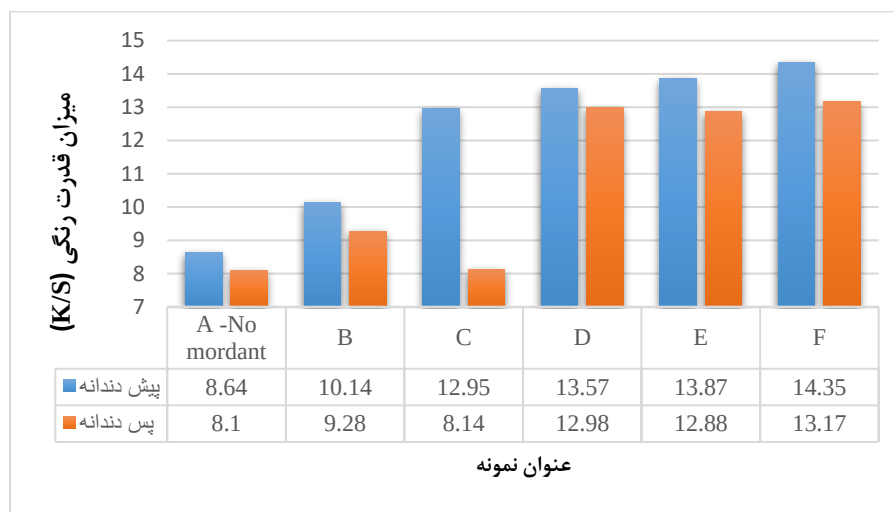
رنگی نمونه‌ها را نشان می‌دهد و رنگ آبی مربوط به

نشان می‌دهد. در نمودار زیر محور عمودی میزان قدرت

نمونه‌های رنگریزی شده به روش پیش دندان و رنگ

نارنجی مربوط نمونه‌های رنگ‌رزی شده به روش پس دندان

است.



شکل ۴- پارچه‌های باند و گاز دندان‌دار شده با ترکیبات طبیعی متعدد و رنگ‌رزی شده با رنگ‌زای طبیعی قنبیله به روش پیش دندان و پس دندان

با توجه به نتایج موجود در جدول ۱ و ۲، مقادیر مثبت پارامتر  $a^*$  نشان‌دهنده تمایل رنگ نمونه‌ها به سمت محدوده طیف قرمز بوده، در حالی که مقادیر مثبت پارامتر  $b^*$  بیانگر افزایش مؤلفه زردی در نمونه‌ها است. این تغییرات می‌تواند ناشی از ساختار کروموفوری رنگ حاصل از گیاه قنبیله (کامالا) و همچنین حضور ترکیبات فنولی موجود در دندان‌های گیاهی مورد استفاده باشد که بر روی برهم‌کنش بین رنگ و الیاف پنبه تأثیر می‌گذارند.

از دیگر دستاوردهای مهم این تحقیق می‌توان به کاهش مصرف آب در فرآیند رنگ‌رزی و تولید پساب کاملاً سازگار با محیط‌زیست اشاره کرد. پساب حاصل از این فرآیند، فاقد هرگونه مواد شیمیایی خطرناک بوده و حتی قابلیت استفاده در آبیاری کشاورزی را دارد. این ویژگی از اهمیت بالایی در

این پژوهش برای اولین بار موفق به رنگ‌رزی منسوجات پزشکی پنبه‌ای با رنگ‌زای طبیعی قنبیله شده است. نکته حائز اهمیت این است که پنبه به‌عنوان یک پلیمر طبیعی دارای گروه‌های هیدروکسیل است که در محیط آبی بار منفی ایجاد می‌کنند. از آنجا که رنگ‌زاهای طبیعی نیز عموماً دارای بار منفی هستند، این هم‌بار بودن معمولاً منجر به دفعه الکترواستاتیکی و کاهش جذب رنگ‌زا می‌شود. با این حال، در این تحقیق با بهینه‌سازی شرایط رنگ‌رزی، این چالش فنی به‌خوبی مرتفع شده است [۱۵]. نتایج مربوط به قدرت رنگی (K/S) نشان داد که نوع دندان به کار رفته و روش دندان‌دار کردن (پیش دندان و پس دندان) تأثیر قابل توجهی بر میزان جذب رنگ در الیاف پنبه داشته است.

شرایط فعلی که صنایع نساجی با چالش جدی در مدیریت پساب مواجه هستند، برخوردار است.

می‌گیرد تا تأثیر همزمان دندان‌های طبیعی و رنگزای قنبیله بر خواص زیستی منسوجات مشخص گردد.

### ۳-۱- نتایج تست ضد میکروبی

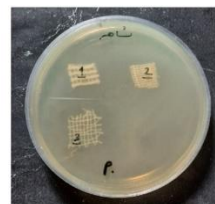
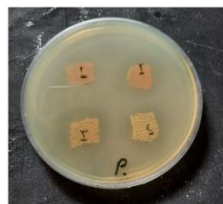
در این مطالعه، به منظور ارزیابی فعالیت ضدباکتریایی عصاره‌های طبیعی، نمونه‌های پنبه‌ای تحت عملیات پیش‌دندان و پس‌دندان با عصاره‌های منتخب قرار گرفته و با رنگزای طبیعی قنبیله رنگری شدند. مشخصات نمونه‌های آماده‌سازی شده شامل نوع عصاره و ترتیب دندان‌دهی در جدول ۳ خلاصه شده است.

در ادامه، نتایج حاصل از تست هاله عدم رشد<sup>۱</sup> سویه‌های باکتریایی در نمونه‌های جدول ۳ مورد بحث و بررسی قرار

شکل ۵، نشان دهنده نتایج تست ضد میکروبی نمونه شاهد (باند و گاز پنبه‌ای عمل نشده با ماده قنبیله) و نمونه عمل شده با عصاره‌های متعدد گیاهی به‌عنوان پیش‌دندان و رنگری شده با رنگزای قنبیله در برابر باکتری گرم منفی *P. aeruginosa* است. نمونه‌های دندان‌دار شده با بارهنگ و پوست انار به‌عنوان پیش‌دندان هاله خیلی خوب و نمونه دندان‌دار شده با چای سیاه به‌عنوان پیش‌دندان هاله خوب نشان داده است.

جدول ۳- مشخصات نمونه‌های پنبه‌ای دندان‌دار شده و رنگری شده با قنبیله

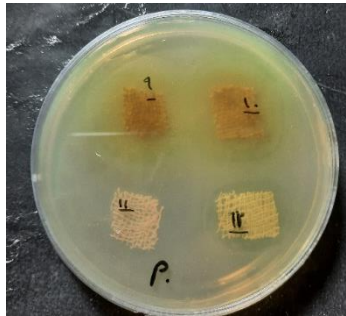
| شماره | عنوان نمونه                                            | شماره | عنوان نمونه                                                |
|-------|--------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------|
| ۱     | نمونه بدون دندان و رنگری شده با قنبیله                 | ۷     | نمونه بدون دندان و رنگری شده با قنبیله                     |
| ۲     | نمونه دندان‌دار شده با چای سیاه و رنگری شده با قنبیله  | ۸     | نمونه رنگری شده با قنبیله و سپس دندان‌دار شده با چای سیاه  |
| ۳     | نمونه دندان‌دار شده با بارهنگ و رنگری شده با قنبیله    | ۹     | نمونه رنگری شده با قنبیله و سپس دندان‌دار شده با بارهنگ    |
| ۴     | نمونه دندان‌دار شده با پوست انار و رنگری شده با قنبیله | ۱۰    | نمونه رنگری شده با قنبیله و سپس دندان‌دار شده با پوست انار |
| ۵     | نمونه دندان‌دار شده با هلیله و رنگری شده با قنبیله     | ۱۱    | نمونه رنگری شده با قنبیله و سپس دندان‌دار شده با هلیله     |
| ۶     | نمونه دندان‌دار شده با زیره سیاه و رنگری شده با قنبیله | ۱۲    | نمونه رنگری شده با قنبیله و سپس دندان‌دار شده با زیره سیاه |



شکل ۵- نتایج ضد میکروبی (الف) نمونه شاهد و (ب) نمونه پیش‌دندان با عصاره‌های گیاهی، در برابر *P. aeruginosa*. نمونه ۱: نمونه بدون دندان و رنگری شده با قنبیله، نمونه ۲: نمونه دندان‌دار شده با چای سیاه و رنگری شده با قنبیله، نمونه ۳: نمونه دندان‌دار شده با بارهنگ و رنگری شده با قنبیله، نمونه ۴: نمونه دندان‌دار شده با پوست انار و رنگری شده با قنبیله.

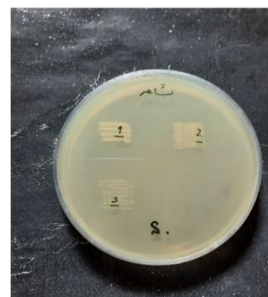
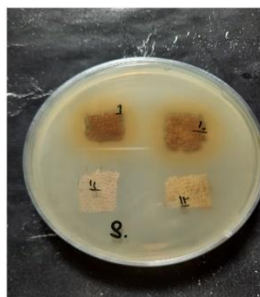
<sup>1</sup> Inhibition Zone

شکل ۶، نشان دهنده نتایج تست ضد میکروبی نمونه شاهد (باند و گاز پنبه‌ای عمل نشده با ماده قنبیله) و نمونه عمل شده با عصاره‌های متعدد گیاهی به‌عنوان پس دندان و رنگریزی شده با رنگزای قنبیله در برابر باکتری گرم منفی *P. aeruginosa* است. نمونه‌های باند و گاز دنداندار شده با بارهنگ و پوست انار به‌عنوان پس دندان هاله خیلی خوب و زیره به‌عنوان پس دندان هاله خوب نشان داده است.



شکل ۶- نتایج ضد میکروبی نمونه‌های پس دندان شده با عصاره‌های گیاهی در برابر گرم منفی *P. aeruginosa*. ۹: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با بارهنگ، ۱۰: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با پوست انار، ۱۱: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با هلیله، ۱۲: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با زیره سیاه.

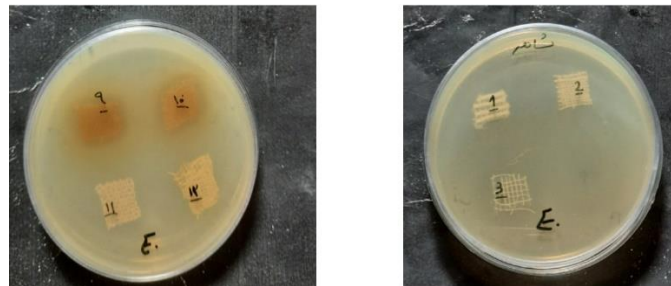
نتایج تست ضد میکروبی نمونه شاهد (باند و گاز پنبه‌ای عمل نشده با ماده قنبیله) و نمونه عمل شده با عصاره‌های متعدد گیاهی به‌عنوان پس دندان و رنگریزی شده با رنگزای قنبیله در برابر باکتری گرم مثبت *S. aureus*، در شکل ۷ قابل مشاهده است. نمونه‌های باند و گاز رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با بارهنگ و پوست انار هاله خیلی خوب نشان داده است.



شکل ۷- نتایج ضد میکروبی راست: نمونه شاهد و چپ: نمونه پس دندان شده با عصاره‌های گیاهی در برابر *S. aureus*. ۹: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با بارهنگ، ۱۰: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با پوست انار، ۱۱: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با هلیله، ۱۲: نمونه رنگریزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با زیره سیاه.

نتایج تست ضد میکروب نمونه شاهد (باند و گاز پنبه‌ای عمل نشده با ماده قنبیله) و نمونه عمل شده با عصاره‌های متعدد گیاهی به‌عنوان پس دندان و رنگریزی شده با رنگزای قنبیله (در برابر باکتری گرم منفی *E. coli*، در شکل ۸ قابل مشاهده است.

نمونه‌های باند و گاز رنگ‌رزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با بارهنگ و پوست انار هاله خیلی خوب نشان داده است.



شکل ۸- نتایج ضد میکروبی راست: نمونه شاهد و چپ: نمونه پس دنداندار شده با عصاره‌های گیاهی در برابر *E. coli*: ۹: نمونه رنگ‌رزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با بارهنگ، ۱۰: نمونه رنگ‌رزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با پوست انار، ۱۱: نمونه رنگ‌رزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با هلیله، ۱۲: نمونه رنگ‌رزی شده با قنبیله و سپس دنداندار شده با زیره سیاه.

داد. جالب‌توجه اینکه عصاره خالص قنبیله به‌تنهایی اثر بازدارندگی قابل‌توجه بر رشد باکتری‌ها نشان نداد. بنابراین، نتایج آزمون ضدباکتری نشان داد که نمونه‌های رنگ‌رزی شده با رنگ کاملاً و دنداندار شده با دندانهای گیاهی دارای فعالیت مهارکنندگی قابل‌توجهی در برابر باکتری‌های مورد بررسی هستند. بیشترین قطر هاله عدم رشد مربوط به نمونه دنداندار شده با پوست انار به روش پس دنداندار و رنگ‌رزی شده با عصاره گیاه بود که در برابر باکتری *P. aeruginosa* هاله‌ای به قطر ۳۰ میلی‌متر ایجاد کرد. این پدیده را می‌توان به حضور ترکیبات فنولی و تانن‌های موجود در پوست انار نسبت داد که قادر به تخریب دیواره سلولی باکتری‌ها و مهار رشد آن‌ها هستند [۱۶، ۱۷].

تانن‌های موجود در پوست انار که از مشتقات اسید گالیک هستند [۱۸]، مانند اسید تانیک به دلیل دارا بودن ساختار پلی‌فنولیک گسترده، از قابلیت ضد میکروبی برجسته‌ای برخوردار است. این ترکیب از دو طریق عمده موجب مهار رشد

بر اساس داده‌های حاصل از آزمون‌های ضد میکروبی، نمونه‌های باند و گاز آغشته به عصاره‌های گیاهی پوست انار، چای سیاه و بارهنگ - اعم از نمونه‌های پیش‌دنداندار شده و پس‌دنداندار شده که با رنگ طبیعی قنبیله رنگ‌رزی شده‌اند - از فعالیت ضدباکتریایی قابل‌توجهی در برابر باکتری‌های *S. aureus* و *P. aeruginosa* برخوردار می‌باشند. بر اساس یافته‌ها، نمونه‌هایی که ابتدا با قنبیله رنگ‌رزی و سپس با عصاره‌های بارهنگ و پوست انار دنداندار شده‌اند، بیشترین اثر بازدارندگی را از خود نشان داده‌اند. این نمونه‌ها توانسته‌اند هاله‌های عدم رشد به قطر ۳۰ میلی‌متر در برابر *P. aeruginosa* و هاله‌های ۱۲ تا ۱۴ میلی‌متری در مقابل *S. aureus* ایجاد نمایند که بیانگر اثربخشی چشمگیر این ترکیبات گیاهی می‌باشد. علاوه بر این باند و گاز دنداندار شده با چای سیاه و سپس رنگ‌رزی شده با قنبیله نیز هاله عدم رشد ۱۱ میلی‌متری در برابر باکتری *P. aeruginosa* نشان

میکروارگانیس‌ها می‌گردد: ۱- اثر مستقیم: گروه‌های هیدروکسیل فنولی با ایجاد اختلال در ساختار غشاء سلولی باکتری‌ها، موجب تخریب یکپارچگی غشا و نشت مواد سلولی می‌شوند. ۲- اثر غیرمستقیم: تشکیل کمپلکس‌های پایدار با یون‌های فلزی ضروری (به‌ویژه آهن)، پروتئین‌ها و آنزیم‌های میکروبی منجر به محرومیت تغذیه‌ای میکروارگانیس‌ها از این عناصر حیاتی می‌گردند و موجب مهار فعالیت باکتری‌ها می‌شوند [۱۹]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شدت اثر ضد میکروبی تانن‌ها ارتباط مستقیمی با درجه پلیمریزاسیون و آرایش فضایی گروه‌های فنولی دارد [۲۰]. وجود ترکیبات فنولی در پوست انار نقش مهمی در تقویت خاصیت ضد میکروبی نمونه‌ها دارد.

همچنین روتلرین<sup>۱</sup> موجود در قنبیله اثر باکتری‌کشی قوی حتی در برابر سویه‌های مختلف مقاوم به کلاریترومایسین و مترونیدازول را نشان داده است. اثر ضدآلرژی روتلرین نیز با مسدود کردن دگرانولاسیون ماست‌سل‌های القا شده توسط IgE اثبات شده است. این گزارش‌ها استفاده از روتلرین را در اختلالات آلرژیک ناشی از ماست‌سل‌ها از جمله کهیر و آسم آلرژیک پیشنهاد می‌کند [۲۱]. پیش از این نیز ثابت کرده‌اند که روتلرین و ترکیب قرمز موجود در *M. philippensis* فعالیت‌های قوی علیه مجموعه‌ای از باکتری‌های گرم مثبت، از جمله *S. aureus* مقاوم به متی‌سیلین<sup>۲</sup> (MRSA) دارد.

همچنین مهار انتقال پلاسمیدهای pKM101، TP114، pUB307 و R6K را در بین سویه‌های *E. coli* در غلظت زیر بازدارندگی<sup>۳</sup> گزارش کرده‌اند [۲۲]. همچنین در یک تحقیق جامع، تاثیر ضد میکروبی عصاره‌های مشتق شده از میوه‌های *M. philippensis* بررسی شد. این عصاره‌ها با طیفی از ترکیبات زیست فعال ذاتی گیاه، شامل فلاونوئیدها، تانن‌ها و ترکیبات فنلی، غنی شده‌اند. هر یک از این ترکیبات، اثر ضد باکتریایی قابل توجهی در برابر پاتوژن‌های شایع مانند *E. coli*، *S. aureus* و *P. aeruginosa* را گزارش نمودند [۱۹]. گزارش‌های قبلی، یافته‌های پژوهش ما را تأیید می‌کند که هم افزایی<sup>۴</sup> بین ترکیبات فعال قنبیله و تانن‌های پوست انار یا ترکیبات موجود در بارهنگ و چای سیاه می‌تواند منجر به ایجاد اثرات ضد میکروبی تقویت‌شده گردد. اندازه قطر هاله عدم رشد نمونه‌های باند و گاز عمل شده با قنبیله در جدول ۴ قابل مشاهده است.

علاوه بر ترکیبات فنولی و تاننی، حضور سایر متابولیت‌های ثانویه در عصاره میوه قنبیله نیز می‌تواند در فعالیت ضدباکتریایی نقش داشته باشد. در یک پژوهش با آنالیز فیتوشیمیایی حضور آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، ساپونین‌ها و گلیکوزیدها در عصاره میوه این گیاه گزارش کردند [۱۸]. نحوه عملکرد چندین دسته آلکالوئید مانند ایزوکینولین و

<sup>۳</sup> sub-minimal inhibitory concentration (sub-MIC)<sup>۴</sup> synergistic<sup>۱</sup> Rottlerin<sup>۲</sup> Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*

مهار می‌کند. این امر از ترجمه و بیان ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک جلوگیری می‌کند و حساسیت باکتری‌ها را نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، پلی‌آمین، یکپارچگی و پایداری غشای سلولی را به خطر می‌اندازد و نفوذپذیری غشا را از طریق دیپلریزاسیون افزایش می‌دهد و منجر به نشت محتویات سیتوپلاسمی و به دنبال آن مرگ سلولی می‌شود [۲۳]

پلی‌آمین اخیراً به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. گزارش شده است که ایزوکینولین مانند کلریترین دارای دو مکانیسم در مهار رشد سلول‌های باکتریایی از طریق مهار تقسیم سلولی و سنتز اسید نوکلئیک است. ایزوکینولین با دستکاری پروتئین FtsZ، پروتئینی که برای تشکیل حلقه Z در طول تقسیم سلولی ضروری است، تقسیم سلولی را مهار می‌کند. علاوه بر این، سنتز اسیدهای نوکلئیک نیز مهار می‌شود زیرا ایزوکینولین عملکرد توپوایزومرازهای نوع I را

جدول ۴- اندازه قطر هاله عدم رشد نمونه‌های باند و گاز عمل شده با قنبيله (میلی متر)

| عنوان نمونه / قطر هاله عدم رشد                            | <i>S. aureus</i> | <i>P. aeruginosa</i> | <i>E. coli</i> |
|-----------------------------------------------------------|------------------|----------------------|----------------|
| نمونه دنداندار شده با چای سیاه و رنگری شده با قنبيله      | -                | ۱۱×۱۱                | -              |
| نمونه دنداندار شده با بارهنگ و رنگری شده با قنبيله        | -                | ۱۱×۱۱                | -              |
| نمونه دنداندار شده با پوست انار و رنگری شده با قنبيله     | -                | ۱۱×۱۱                | -              |
| نمونه رنگری شده با قنبيله و سپس دنداندار شده با بارهنگ    | ۱۲×۱۲            | ۳۰×۳۰                | -              |
| نمونه رنگری شده با قنبيله و سپس دنداندار شده با پوست انار | ۱۴×۱۴            | ۳۰×۳۰                | -              |

بنابراین، فعالیت ضدباکتریایی مشاهده‌شده در زخم‌پوش توسعه‌یافته در این پژوهش، احتمالاً نتیجه اثر هم‌افزایی مجموعه این ترکیبات زیست‌فعال است که از عصاره قنبيله به سطح الیاف پنبه منتقل شده‌اند.

نتایج حاصل از این پژوهش، به‌ویژه تشکیل هاله‌های بازدارندگی رشد در آزمون‌های میکروبی به‌ویژه در برابر باکتری *P. aeruginosa* نشان‌دهنده کارایی بالای زخم‌پوش‌های سنتز شده است. این محصولات که با بهره‌گیری از ترکیبات کاملاً طبیعی و عاری از پسماندهای شیمیایی تولید شده‌اند، ضمن دارا بودن خواص ضد میکروبی

فلاونوئیدها نیز با مهار فاکتورهای بیماری‌زایی نظیر: پمپ افلاکس، تشکیل بیوفیلم، سنتز پوشش سلولی، سنتز اسید نوکلئیک و حرکت باکتری، و با اختلال در غشا، اثر ضد میکروبی خود را نشان می‌دهند [۲۴].

سپونین‌ها به دلیل خاصیت سورفکتانتی، نفوذپذیری غشای باکتری را افزایش داده و باعث لیز سلولی می‌شوند [۲۵]. گلیکوزیدها با مهار آنزیم باکتریایی و همچنین از طریق اثر هم‌افزایی با آنتی‌بیوتیک‌ها، فعالیت ضدباکتریایی قابل توجهی علیه MRSA دارند [۲۶].

ذاتی، از زیست‌سازگاری مطلوبی برخوردارند. ویژگی‌های مذکور، این زخم‌پوش‌ها را به گزینه‌ای راهبردی در کاربردهای بالینی، از جمله مدیریت زخم‌های مزمن، درمان سوختگی‌ها و کنترل عفونت‌های پس از عمل جراحی تبدیل کرده است. این دستاورد علمی که تلفیقی از دانش بومی و فناوری نوین پزشکی است، احتمال زیاد می‌تواند نویدبخش تحولی اساسی در عرصه مراقبت‌های درمانی بوده و گامی مؤثر در جهت توسعه فناوری‌های سبز در صنعت نساجی پزشکی محسوب شود.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به عدم انجام آزمون‌های زیست‌سازگاری و سمیت سلولی (مانند آزمون MTT)، عدم بررسی عملکرد نمونه‌ها در شرایط *in-vivo* و عدم ارزیابی پایداری طولانی‌مدت خاصیت ضدباکتریایی پس از شستشو اشاره نمود. بررسی این موارد می‌تواند در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش مقاومت باکتری‌ها نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های متداول، توسعه زخم‌پوش‌های حاوی ترکیبات طبیعی با خاصیت ضد میکروبی به‌عنوان رویکردی پایدار و ایمن در کنترل عفونت‌ها اهمیت یافته است. در این پژوهش، رنگ طبیعی استخراج‌شده از پسماند گیاهی قنبیله برای رنگرزی باند و گاز پنبه‌ای به‌کار گرفته شد و عملکرد ضدباکتریایی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از

ضایعات کشاورزی این گیاه علاوه بر ایجاد ارزش افزوده، امکان تولید زخم‌پوشی زیست‌پایه و سازگار با محیط‌زیست را فراهم می‌کند.

نتایج آزمون‌های ضد میکروبی نشان داد که نمونه‌های رنگرزی‌شده با عصاره قنبیله و دندان‌های گیاهی شامل پوست انار، چای سیاه و بارهنگ دارای فعالیت ضد میکروبی قابل‌توجهی در برابر باکتری‌های *P. aeruginosa* و *S. aureus* هستند. بیشترین اثر بازدارندگی در نمونه‌هایی مشاهده شد که ابتدا با عصاره قنبیله رنگرزی و سپس با عصاره‌های بارهنگ و پوست انار دندان‌دهی شده بودند، به‌طوری‌که قطر هاله عدم رشد برای *P. aeruginosa* به ۳۰ میلی‌متر و برای *S. aureus* به ۱۲ تا ۱۴ میلی‌متر رسید. همچنین نمونه‌های دندان‌دهی‌شده با عصاره چای سیاه و سپس رنگرزی‌شده با قنبیله نیز هاله عدم رشد ۱۱ میلی‌متری در برابر *P. aeruginosa* ایجاد کردند.

وجود ترکیبات فنولی به‌ویژه تانن‌ها، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، ساپونین‌ها نقش مهمی در تقویت خاصیت ضد میکروبی ازخم پوش‌ها دارد. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از رنگرزی طبیعی قنبیله در کنار دندان‌های گیاهی غنی از ترکیبات فنولی می‌تواند رویکردی مؤثر برای تولید منسوجات پزشکی با خاصیت ضد میکروبی باشد و زمینه توسعه زخم‌پوش‌های طبیعی، ایمن و سازگار با محیط‌زیست را فراهم کند. به‌منظور ارتقای نتایج این تحقیق و استمرار مسیر پژوهش، چند محور پژوهشی پیشنهاد می‌گردد. نخست،

بهره‌گیری از نانوذرات طبیعی به منظور بهبود تثبیت رنگ‌زاهای گیاهی بر بستر زخم‌پوش مدنظر قرار گیرد. این رویکرد می‌تواند پایداری خواص ضد میکروبی را در بازه زمانی طولانی تضمین نماید. در ادامه، ترکیب مکمل‌های زیست‌پایه همچون عصاره قنبیله با پلیمرهایی نظیر کیتوسان توصیه می‌شود. همچنین افزودن عوامل ضد میکروبی سنتی مانند عسل و روغن‌های گیاهی با هدف ایجاد هم‌افزایی و گسترش طیف اثربخشی علیه سویه‌های مقاوم پیشنهاد می‌گردد. اجرای آزمون‌های درون‌تنی بر روی مدل‌های حیوانی جهت ارزیابی ایمنی و کارایی بالینی الزامی است تا ضمن بررسی عدم حساسیت‌زایی، سرعت ترمیم زخم در شرایط فیزیولوژیک واقعی سنجیده شود. در نهایت، اصلاح فرمولاسیون برای زخم‌های خاص نظیر زخم‌های دیابتی و سوختگی‌های شدید در دستور کار قرار گیرد تا پانسمان‌های هوشمند با قابلیت مراقبت ویژه تولید شوند.

به طور کلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از رنگ طبیعی قنبیله همراه با دندان‌های گیاهی می‌تواند علاوه بر

## ۵. منابع

1. Fattahi, F. and Zamani, T. (2019). Investigation into the Effects of Nano-fibrous Wound Dressings on Wound Healing Process in Animal Models, *Journal of Textile Science and Technology*, 8(4), 29-48. doi: 20.1001.1.21517162.1398.8.4.3.0
2. Khan, R., Xiangyang, S., Ahmad, A., and Mo, X., (2018). Electrospinning of crude plant extracts for antibacterial and wound healing applications: a

- review, *SM Journal of Biomedical Engineering*, 4(1), 1024.
3. Desai, J., Chauhan, J., Mankad, A., and Maitreya, B., (2023). Natural colourants: A review, *International Association of Biologicals and Computational Digest*, 2(1), 261-270. <https://doi.org/10.56588/iabcd.v2i1.121>
4. Naveed, R., Bhatti, I. A., Adeel, S., Ashar, A., Sohail, I., Khan, M. U., Masood, N., Iqbal, M., and

## تقدیر و تشکر:

گروه نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت نیکان‌تکس به‌دلیل فراهم کردن امکان استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی مربوط به رنگ‌رزی با دستگاه پلی‌مت و همچنین از آزمایشگاه پژوهشی دانشکده علوم و فناوری های زیستی دانشگاه اصفهان به‌دلیل در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز برای انجام آزمون‌های ضد میکروبی، اعلام می‌دارند. همچنین نویسندگان از ریاست محترم پژوهشسرای دانش آموزی شهید شهریار - اصفهان جهت فراهم آوردن امکانات لازم برای انجام پژوهش برای خانم فاطمه سعیدفر نهایت تشکر و تقدیر را دارند.

- Nazir, A., (2022). Microwave assisted extraction and dyeing of cotton fabric with mixed natural dye from pomegranate rind (*Punica granatum* L.) and turmeric rhizome (*Curcuma longa* L.), Journal of Natural Fibers, 19(1), 248-255. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1738309>
5. Shojaeizad, S., Tavakoli, R. A., and Sheikholeslami, M. A., (2020). Investigation of the properties of chitosan film containing nettle extract, Research Journal of Shahid Beheshti University of Medical Sciences, 44(3), 454-459. <http://pejouhesh.sbmu.ac.ir/article-1-2028-fa.html>
6. Kumar, R., Tripathi, Y. C., and Kaushik, P. K., (2016). Process optimization for extraction of natural dye from *M. philippinensis* fruits and its application on different fabrics, World Journal of Pharmaceutical Research, 5(4), 927-945. <https://doi.org/10.20959/WJPR20164-5876>
7. Kumar, A., Patil, M., Kumar, P., Bhatti, R. C., Kaur, R., Sharma, N. K., and Singh, A. N., (2021). *Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.: A review on its pharmacology and phytochemistry, Journal of Herbmed Pharmacology, 10(1), 31-50. <https://doi.org/10.34172/jhp.2021.03>
8. Hewageegana HGSP and Hewageegana AU, Medicinal Potential and Scientific Validations of *Mallotus philippinensis* (Lam.) Muell. Arg. (Kampillaka): A Review, Journal of Natural & Ayurvedic Medicine, 5(3), 1-17. <https://doi.org/10.23880/jonam-16000314>
9. Gangwar, M., Goel, R. K., and Nath, G., (2014). *Mallotus philippinensis* Muell. Arg (*Euphorbiaceae*): ethnopharmacology and phytochemistry review, BioMed Research International, 2014(1), 213973. <https://doi.org/10.1155/2014/213973>
10. Tehrani, M., Shahmoradi Ghaheh, F., and Jahanbazi, S., (2023). Dyeing silk fabric using anthocyanin pigments extracted in different solvents from *Hibiscus sabdariffa* L, Journal of Textile Science and Technology, 12(1), 27-39. [dor: 20.1001.1.21517162.1402.12.1.3.2](https://doi.org/10.1001.1.21517162.1402.12.1.3.2)
11. F. Shahmoradi Ghaheh, M.K. Moghaddam, M. Tehrani. (2021). Comparison of the effect of metal mordants and bio-mordants on the colorimetric and antibacterial properties of natural dyes on cotton fabric. Coloration Technology, 6:137,689-698 <https://doi.org/10.1111/cote.12569>
12. A. Haji, F. Shahmoradi Ghaheh, L. Mohammadi. (2023). Dyeing of polyamide 6 fabric with new bio-colorant and bio-mordants. Environmental Science and Pollution Research, 13:30,37981-37996. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24862-0>
13. Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), (2024). Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests. 14th ed. CLSI document M02-Ed14. Wayne, PA
14. Kumar, A., Patil, M., Kumar, P., Bhatti, R. C., Kaur, R., Sharma, N. K., and Singh, A. N., (2020). *Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.: A comprehensive review on ethnomedicinal uses, Ethnobiology and Conservation, 9, 1-15. <https://doi.org/10.15451/ec2020-05-9.19-1-44>
15. Kamali Moghaddam, M., (2022). Principles of Textile Dyeing, University of Bonab.
16. Alqahtani, A., Mohamed, A.A., Ahmad, I., Alraey, Y., Asiri, M., Kopel, J., and Alshahrani, M.M., (2023). Pomegranate peel extract is an effective agent against MDR bacteria, Cellular and Molecular Biology, 69(5), 6-11. <https://doi.org/10.14715/cmb/2023.69.5.2>
17. Saini, S., Mishra, P., Balhara, M., Dutta, D., Ghosh, S., and Chaudhuri, S., (2023). Antimicrobial potency of *Punica granatum* peel extract: Against

- multidrug resistant clinical isolates, *Gene Reports*, 30, 101744.  
<https://doi.org/10.1016/j.genrep.2023.101744>
18. Ali, A., Chen, H., Xu, H., Wang, S., and Yao, S., (2024). Accessing the medicinal potential of *Mallotus philippensis*: Comprehensive exploration of antioxidant and antibacterial properties through phytochemical analysis and extraction techniques, *Separations*, 11(6), 165.  
<https://doi.org/10.3390/separations11060165>
19. Jafari, H., Ghaffari-Bohloul, P., Niknezhad, S.V., Abedi, A., Izadifar, Z., Mohammadinejad, R., Varma, R.S., and Shavandi, A., (2022). Tannic acid: a versatile polyphenol for design of biomedical hydrogels, *Journal of Materials Chemistry B*, 10(31), 5873-5912.  
<https://doi.org/10.1039/d2tb01056a>
20. Alegbe, E.O., and Uthman, T.O., (2024). A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes, *Heliyon*, 10(13), e33678.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33646>
21. Bodas, K. S., Bagul, C. D., and Shinde, V. M., (2022). Evaluation of wound healing effect of *Mallotus philippensis* (Lam.) Mull. Arg. by *in silico* multitargets directed for multiligand approach, *In Silico Pharmacology*, 10(1), 19.  
<https://doi.org/10.1007/s40203-022-00134-0>
22. Akiyama, H., Fujii, K., Yamasaki, O., Oono, T., and Iwatsuki, K., (2001). Antibacterial action of several tannins against *Staphylococcus aureus*, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 48(4), 487-491. <https://doi.org/10.1093/jac/48.4.487>
23. Łojewska, E. and Sakowicz, T., (2021). An alternative to antibiotics: selected methods to combat zoonotic foodborne bacterial infections, *Current Microbiology*, 78(12), 4037-4049.  
<https://doi.org/10.1007/s00284-021-02665-9>
24. Biharee, A., Sharma, A., Kumar, A., and Jaitak, V., (2020). Antimicrobial flavonoids as a potential substitute for overcoming antimicrobial resistance, *Fitoterapia*, 146, 104720.  
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2020.104720>
25. Grzywaczyk, A., Rojewska, M., Smulek, W., McNaughton, D. A., Prochaska, K., Gale, P. A., and Kaczorek, E., (2025). Glycyrrhiza glabra L. saponins modulate the biophysical properties of bacterial model membranes and affect their interactions with tobramycin, *Langmuir*, 41(18), 11701-11710.  
<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5c00927>
26. Jing, W., Guo, D., Ning, Z., Yang, Y., Liu, T., Wang, M., and Gao, H., (2022). New polyphenolic glycosides from the stems of *Caesalpinia cucullata* and their inhibitory effect on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* with different ways, *Bioorganic Chemistry*, 129, 106193.  
<https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2022.106193>