شیمی نساجی

بهینه‌سازی شرایط فرآیند عمل پارچه پنبه‌ای با عصاره Terminalia chebula برای کاربرد ضد باکتری

مترجم : امین رضایی

چکیده

عصاره‌های متانولی میوه‌های Terminalia chebula به عنوان عامل ضدباکتری و سیتریک اسید به عنوان عامل ایجادکننده پیوند عرضی روی پارچه پنبه‌ای با بافت ساده به کار گرفته شد و سپس پارچه‌های عمل شده از نظر خواص ضد باکتری در برابر باکتری‌هایی مانند استافیلوکوک اورئوس و اشریشیا کولای با استفاده از تست نفوذ آگار و ارزیابی‌های کمی بررسی شدند. نتایج نشان داد که پارچه پنبه‌ای عمل شده فعالیت ضد باکتریایی واضحی را با منطقه بازدارنده ۳۸-۲۷ میلی‌متر در تست نفوذ آگار در برابر باکتری‌های اشاره شده دارد. نمونه‌های عمل شده در ارزیابی‌های کمی کاهش ۹۳/۳۳٪ در برابر استافیلوکوک اورئوس و کاهش ۸۲/۱۴٪ را در برابر اشریشیا کولای نشان دادند. نمونه‌های تکمیل شده از نظر خواص فیزیکی مانند استحکام کششی، استحکام پارگی، جذب آب و نفوذپذیری نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. پارامترهای فرآیند برای عملکرد بهتر با استفاده از روش‌شناسی رویه پاسخ و طراحی Box-behnken بهینه‌سازی شدند و معادلات رگرسیون برای خواص پارچه به دست آمد. پارامترهای فرآیند بهینه شده برای رسیدن به فعالیت ضد باکتری بالاتر نمونه عمل شده با خواص فیزیکی بهینه عبارت است از غلظت عصاره ۲۵٪، عامل ایجاد کننده پیوند عرضی ۷/۵٪ و دمای پخت ۹۴/۱۶°C.

مقدمه

منسوجات محیطی مناسب برای تولید و پخش میکروارگانیزم‌ها هستند. در بین خواص کاربردی متفاوت، خاصیت ضد باکتری در مورد پارچه‌ها به دلیل اینکه در تماس مستقیم با بدن انسان هستند بسیار مهم است. کربوهیدرات موجود در الیاف سلولزی می‌تواند به عنوان یک ماده مغذی برای رشد میکرو ارگانیزم‌ها عمل کند. رشد میکرو ارگانیزم در لباس‌ها موجب ایجاد بوی نامطبوع، لک و از بین رفتن استحکام مکانیکی و همچنین مشکلات مرتبط با سلامتی برای مصرف کننده شود. از این رو، فراهم کردن محافظت لازم در برابر میکرو ارگانیزم و ایجاد خاصیت ضد باکتری برای پارچه از اهمیت بالایی برخوردار است. مواد ضد باکتری متفاوتی برای بهبود خواص کاربردی لباس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما اخیراً گیاهان طبیعی به دلیل ذات دوستدار طبیعت و بی‌خطر بودن آن‌ها برای سلامتی، توجه فراوانی را به عنوان عوامل ضد باکتری به خود جلب کرده‌اند.

قبل از این، فعالیت ضد باکتری عصاره‌های Terminalia chebula در برابر باکتری‌های مختلف گزارش شده بود. پیشرفت در بخش زخم‌بندی بهبود قابل توجهی را در حوزه‌های کاربرد پارچه پنبه‌ای به عنوان لایه تماسی زخم که در آن پنبه با تکمیل‌های مختلف برای محافظت زخم در برابر باکتری‌ها و عفونت‌ها پوشش داده شده نشان داده است. عصاره‌های قسمت‌های مختلف گونه‌های متنوع گیاهان مانند ریشه، گل، برگ‌ها و دانه‌ها که خواص ضدباکتری دارند، برای کاربردهای بهداشتی و محافظت زخم روی پنبه به کار گرفته می‌شود.

فعالیت ضد باکتری پارچه عمل شده با عصاره میوه Terminalia chebula با استفاده از هر دو عصاره آبی و متانولی پیش از این

گـزارش شـده اسـت. ایـن تحقیـق بـا هـدف بررسـی اثـر عمـل ضـد باکتـری روی خـواص فیزیکـی پارچـه انجـام شـده اسـت. عصـاره متانولـی میـوه Terminalia chebula بـه همـراه یـک عامـل ایجـاد کننـده پیونـد عرضـی (سـیتریک اسـید) بـه منظـور بهبـود مانـدگاری عملیـات روی پارچـه پنبـه‌ای بـه کار گرفتـه شـد. اثـرات پارامترهـای فرآینـد مختلـف روی خـواص پارچـه نیـز آنالیـز شـد.

هـدف از ایـن تحقیـق ارزیابـی خـواص ضـد باکتـری پارچـه عمـل شـده بـا عصـاره Terminalia chebula بـدون تغییـر زیـاد در خـواص فیزیکـی اسـت. خـواص فیزیکـی ماننـد اسـتحکام کششـی، اسـتحکام پارگـی، جذب آب و نفوذپذیـری پارچـه اهمیـت بالایـی در حیـن کاربـرد پارچـه بـه عنوان مـواد بهداشـتی بـرای بهبـود عملکـرد دارد. از ایـن رو، خـواص فیزیکـی پارچـه پنبـه‌ای تکمیل‌شـده ارزیابـی شـد و پارامترهـای فرآینـد ماننـد غلظـت عصـاره، دمـای پخـت و درصـد عامـل ایجـاد کننـده پیونـد عرضی بـرای عملکـرد بهتـر پارچـه تکمیل‌شـده بـا اسـتفاده از روش‌شناسـی رویـه پاسـخ (طراحـی Box-behnken) کـه یـک طـرح عاملـی کسـری بـرای ۳ متغیـر مسـتقل اسـت، بهینه‌سـازی شـد. بـرای بـرآورد کـردن ۱۰ ضریـب مـدل بـا اسـتفاده از آنالیزهـای رگرسـیون خطـی چندگانـه ۱۵ آزمایـش لازم بـود.

مواد و روش‌ها

عصاره گیاهی

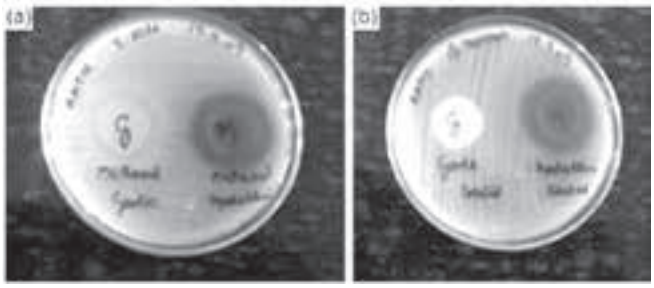
میوه‌هـای Terminalia chebula کـه بـرای ایـن مطالعـه انتخـاب شـده بودنـد از بازارهـای تجـاری Coimbatore District, Tamilnadu, India خریـداری شـدند. ایـن میوه‌هـا در سـایه خشـک شـده و بـه صـورت پـودر درآمدنـد. عصـاره متانولـی ایـن پـودر بـه دسـت آمـد. ۱۰۰۰۰ میلی‌گـرم از پـودر بـه صـورت جداگانـه در ۱۰۰ میلی‌لیتـر از متانـول بـه مـدت ۲۴ سـاعت خیسـانده شـد تـا محلولـی بـا غلظـت ٪۱۰ بـه دسـت آمـد و مـواد فعـال در متانـول حـل شـدند. عصـاره بـه دسـت آمـده فیلتـر شـد و بـرای تکمیـل ضـد باکتـری مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت.

میکرو ارگانیزم

باکتری‌هـای اسـتافیلوکوک اورئـوس (MTCC 737) و اشریشـیا کـولای (MTCC 1687) مـورد اسـتفاده در این تحقیق از IMTECH,Chandigarh Microbial Type Culture Collection (MTCC) تهیه شد.

عملیات تکمیل

پارچـه پنبـه‌ای بـا بافـت سـاده بـا تعـداد تـار در اینـچ ۱۴۰ و پـود در اینـچ ۷۸، قبـل از انجـام تکمیـل ضـد باکتـری، آهارگیـری، شسـته و سـفیدگری شـد. پارچـه در حمامـی بـا نسـبت L:R ۱:۱۰ بـا عصاره‌هـای متانولـی Terminalia chebula آغشـته و سـپس پـد، خشـک و در دمـای ۱۰۰°C



شکل ۱- تست نفوذ آگار روی پارچه پنبه‌ای عمل شده [منطقه بازدارنده در برابر (a) اشریشیا کولای و (b) استافیلوکوک اورئوس]

پختـه شـد. افزایـش بیشـتر دمـای پخـت تـا ۱۲۰°C موجـب زردی و تجزیـه پارچـه می‌شـود و بـه همیـن دلیـل دمـای پخـت تـا ۱۱۰°C محـدود می‌شـود. در نهایـت، نمونه‌هـای پارچـه بـر اسـاس اسـتانداردهای AATCC از نظـر فعالیـت ضـد باکتـری آزمایـش شـدند.

ارزیابی خاصیت ضد باکتریایی

روش نفوذ آگار (SN 195920: 1992)

نمونه‌هـای عمـل شـده و عمـل نشـده در آگار بازدارنـده رشـد باکتـری AATCC کـه قبـلاً بـا ارگانیزم‌هـای مـورد آزمایـش (اسـتافیلوکوک اورئـوس و اشریشـیا کـولای) آغشـته شـده بـود قـرار گرفتنـد. بعـد از انکوباسـیون، یـک منطقـه از رشـد بی‌وقفـه در زیـر و پیرامـون نمونـه نشـان‌دهنده کارایـی ضـد باکتـری پارچـه اسـت. منطقـه بازدارنـده مقیاسـی کیفـی بـرای فعالیـت ضـد باکتـری اسـت.

ارزیابی کمی (AATCC-100:2004)

نمونه‌هـای عمـل شـده بـه صـورت دایره‌هایـی بـا قطـر ۴/۸ سـانتی‌متر بریـده شـدند. پارچه‌هـا داخـل ظـرف شیشـه‌ای قـرار گرفتنـد تـا ۱ میلی‌لیتر از مـاده کشـت بـه طـور کامـل جـذب شـود. سـپس نمونه‌هـا بـا غلظـت مشـخصی از تعلیـق باکتـری تـکان داده شـدند و کاهـش فعالیـت باکتریایی در زمـان اسـتاندارد بـا اسـتفاده از روش رقیق‌سـازی‌های متوالـی بـا آب مقطـر بـرای دو باکتـری مـورد نظـر اندازه‌گیـری شـد. بـازده عمـل ضـد باکتـری کـردن بـا مقایسـه کاهـش غلظـت باکتـری نمونـه عمـل شـده بـا نمونـه کنتـرل تعییـن و بـه صـورت درصـد کاهـش زمـان اسـتاندارد بیـان شـد. بـرای محاسـبه درصـد کاهـش باکتـری از فرمـول زیـر اسـتفاده شـد:

$$R=[(B-A)/B]\times 100 \quad (۱)$$

$$R=[(C-A)/C]\times 100 \quad (۲)$$

کـه در آن R، درصـد کاهـش؛ A، تعـداد باکتـری بازیافتـی از نمونـه عمـل شـده بعـد از زمـان تمـاس مطلـوب (۲۴ سـاعت)؛ B، تعـداد باکتـری بازیافتـی از نمونـه عمـل شـده بلافاصلـه بعـد از آغشته‌سـازی (زمـان صفـر)؛ و C، تعـداد باکتـری بازیافتـی از نمونـه عمـل نشـده بلافاصلـه بعـد

جدول ۱- درصد کاهش رشد باکتری با ارزیابی کمی

اشریشیا کولای			استافیلوکوک اورئوس			رقیق‌سازی
زمان تماس ۲۴ ساعت	زمان تماس صفر		زمان تماس ۲۴ ساعت	زمان تماس صفر		
	CFU عمل شده	CFU کنترل		CFU عمل شده	CFU کنترل	
TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	۱۰۰
TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	TNTC	۱۰۱
TNTC	TNTC	TNTC	۱۶۸(۰/۹)	TNTC	TNTC	۱۰۲
TNTC	TNTC	TNTC	۹۲(۲/۳)	۲۴۲(۴/۱)	۲۵۲(۳/۵)	۱۰۳
۷۱(۱/۲)	۲۵۴(۱/۵)	۲۷۸(۱/۲)	۵۴(۳/۰)	۲۰۴(۰/۵)	۱۹۲(۲/۴)	۱۰۴
۹۴(۳/۶)	۱۶۸(۴/۵)	۱۷۴(۲/۱)	TFTC	۸۰(۱/۸)	۸۴(۱/۰)	۱۰۵
درصد کاهش ٪۸۲/۱۴			درصد کاهش ٪۹۳/۳۳			

TNTC تعداد خیلی زیاد، TFTC تعداد خیلی کم

از آغشته‌سازی (زمان صفر). اگر B و C یکسان نباشند، مقدار بیشتر باید استفاده شود.

ارزیابی خواص فیزیکی

نمونه پارچه‌های پنبه‌ای عمل شده برای ارزیابی خواص فیزیکی بر اساس روش‌های استاندارد مورد آزمایش قرار گرفتند. ۱۰ نمونه برای هر تست استفاده شد و مقدار میانگین اندازه‌گیری شد. استانداردهای مورد استفاده شامل ASTM D-5035 برای استحکام کششی، ASTM D-1424-96 برای استحکام پارگی، ASTM D 737-99 برای نفوذپذیری و AATCC 39-1980 برای جذب آب بودند.

بهینه‌سازی فرآیند با روش‌شناسی رویه پاسخ

روش‌شناسی رویه پاسخ یک تکنیک مدل‌سازی تجربی برای ارزیابی رابطه یک مجموعه از عوامل آزمایشی کنترل شده و نتایج مشاهده شده است. در این تحقیق، متغیرهایی مانند غلظت عصاره (٪۱۵، ٪۲۰ و ٪۲۵)، درصد عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (۵، ۱۰ و ۱۵) و دمای پخت (۹۰°C، ۱۰۰°C و ۱۱۰°C) متغیرهای معنی‌دار هستند که به ترتیب با X_1، X_2 و X_3 مشخص شده‌اند. سطوح پایین، وسط و بالای متغیرها به ترتیب با ۱-، ۰ و ۱+ مشخص می‌شوند. محاسبه با استفاده از آنالیزهای رگرسیون چندگانه و روش حداقل مربعات انجام شد. معادلات چندجمله‌ای درجه دوم، رابطه ریاضی ۳ متغیر مستقل X_1، X_2 و X_3روی سیستم پاسخ را تقریب زد. معادله عبارت بود از:

$$Y=C_0+C_1X_1+C_2X_2+C_3X_3+C_{12}X_1X_2+C_{13}X_1X_3+C_{23}X_2X_3+C_{11}X_1^2+C_{22}X_2^2+C_{33}X_3^2$$

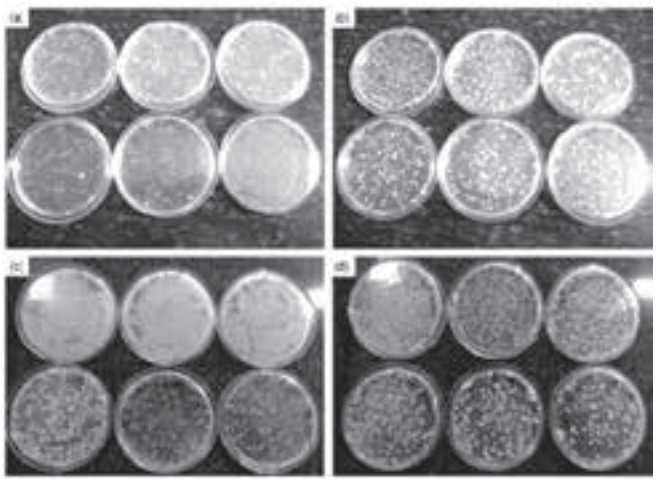
که Y، پاسخ پیش‌بینی شده؛ C_0، مقدار ثابت، C_1، C_2 و C_3، ضرایب خطی؛ C_{12}، C_{13} و C_{23}، ضرایب ضرب خارجی؛ و C_{11}، C_{22} و C_{33}، ضرایب درجه دوم هستند. ضرایب با استفاده از آنالیزهای رگرسیون چندگانه برای پیش‌بینی پاسخ به دست آمدند. طراحی آزمایش با استفاده از طراحی‌های Box-Behnken با ۳ متغیر انجام شد. بازدارندگی باکتری و خواص فیزیکی مانند استحکام کششی، استحکام پارگی، جذب آب و نفوذپذیری نیز ارزیابی شد.

نتایج و بحث

کارایی ضد باکتری

تست نفوذ آگار

شکل ۱ کارایی ضد باکتری پارچه‌های عمل شده را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان دهنده حضور منطقه بازدارنده با قطر ۳۲ و ۳۴ میلی‌متر برای پارچه عمل شده با عصاره متانولی در برابر



شکل ۲- کاهش باکتری در رقیق‌سازی‌های مختلف در زمان تماس صفر (a) اشریشیا کولای و (b) استافیلوکوک اورئوس و در زمان تماس ۲۴ ساعت (c) اشریشیا کولای و (d) استافیلوکوک اورئوس

جدول ۲- طراحی Box-Behnken برای ۳ متغیر مستقل

خواص فیزیکی				منطقه بازدارندگی، mm		دمای پخت، °C	عامل ایجاد کننده پیوند عرضی، ٪	غلظت عصاره، ٪
جذب آب، s	نفوذپذیری، $cc/cm^2/s$	استحکام پارگی، kg	استحکام کششی، lbs	گرم منفی (اشریشیا کولای)	گرم مثبت (استافیلوکوک اورئوس)			
۱۸	۱۳/۹	۲۵	۱۴۰	۲۳	۳۲	۱۰۰	۵	۱۵
۲۳	۸/۱۰	۲۵	۱۶۰	۲۴	۳۶	۱۰۰	۵	۲۵
۲۷	۸/۱۰	۲۷	۱۴۰	۲۹	۲۹	۱۰۰	۱۵	۱۵
۱۸	۴/۱۱	۳۲	۱۵۵	۲۶	۲۸	۱۰۰	۱۵	۲۵
۳۰	۳/۱۱	۳۹	۱۲۵	۲۹	۲۶	۹۰	۱۰	۱۵
۲۵	۱۲/۸	۳۱	۱۱۰	۳۱	۳۴	۹۰	۱۰	۲۵
۴۰	۷۲/۹	۲۷	۱۵۵	۲۷	۳۲	۱۱۰	۱۰	۱۵
۳۱	۴/۱۱	۲۳	۱۵۰	۲۷	۳۳	۱۱۰	۱۰	۲۵
۳۲	۱۰	۳۹	۱۲۵	۲۱	۳۰	۹۰	۵	۲۰
۳۹	۶/۹	۳۰	۱۴۰	۲۰	۲۹	۹۰	۱۵	۲۰
۵۷	۶۶/۸	۲۳	۱۵۰	۲۹	۳۱	۱۱۰	۵	۲۰
۲۸	۴/۹	۳۲	۱۳۰	۳۲	۲۷	۱۱۰	۱۵	۲۰
۲۰	۳/۱۲	۲۵	۱۴۵	۲۷	۲۹	۱۰۰	۱۰	۲۰
۲۰	۳/۱۲	۲۵	۱۴۵	۲۷	۲۹	۱۰۰	۱۰	۲۰
۲۰	۳/۱۲	۲۵	۱۴۵	۲۷	۲۹	۱۰۰	۱۰	۲۰

میکرو ارگانیزم‌های استافیلوکوک اورئوس (گرم مثبت) و اشریشیا کولای (گرم منفی) است. پارچه عمل نشده (کنترل) رشد باکتری در زیر نمونه را نشان می‌دهد. در شکل ۱، رنگ قهوه‌ای نشان دهنده انتشار عصاره گیاهی از پارچه است. در حین دوره انکوباسیون، عصاره در بین آگار مهاجرت می‌کند. اگر ماده ضد باکتری اتصال با ثباتی به پارچه داشته باشد (مثلاً کووالانسی)، به دلیل ممانعت از نفوذ آن به آگار نباید انتظار منطقه بازدارنده را داشت.

در این مورد فعالیت ضد میکروبی تنها در زیر نمونه قابل مشاهده است. اگر ماده ضد باکتری بتواند به داخل آگار نفوذ کند، یک منطقه بازدارنده آشکار می‌شود که اندازه آن نشان دهنده توان فعالیت ضد باکتری یا نرخ آزادسازی عامل فعال است. با این حال، استفاده از عامل ایجاد کننده پیوند عرضی به عنوان یک عامل تثبیت کننده بین پارچه و عصاره برای جلوگیری از آزادسازی سریع آن از پارچه ضروری است.

مطالعات HPLC روی عصاره میوه Terminalia chebula نشان داده است که ساپونین، آسکوربیک اسید و گالیک اسید مواد فعال مسئول فعالیت ضد میکروبی هستند. در این مورد، سیتریک اسید یکی از شناخته شده ترین مواد ضد باکتری است.

مطالعات مقدماتی نشان داده است که توانایی ضد باکتری سیتریک اسید در غلظت‌های پایین (۵٪) کمتر است و در غلظت ۱۵٪ منطقه بازدارنده با قطر ۲۶-۲۴ میلی‌متر را در برابر استافیلوکوک اورئوس و اشریشیا کولای به وجود می‌آورد. از این رو، فعالیت ضد میکروبی کلی پارچه پنبه‌ای عمل شده (۳۴-۳۲ میلی‌متر)، ترکیبی از عصاره گیاهی و سیتریک اسید است.

ارزیابی کمی

در فرآیند ارزیابی کمی، نمونه با قطر ۴/۸ سانتی‌متر برای جذب ۱ میلی‌لیتر ماده کشت مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که نمونه‌های عمل شده (B) و نمونه کنترل (C) مشابه نیستند و همچنین مقدار نمونه کنترل از نمونه عمل شده در زمان صفر بیشتر است، مقادیر C برای محاسبه درصد کاهش باکتری استفاده شد. نتایج در جدول ۱ جمع‌آوری شده است.

این نتایج نشان دهنده درصد کاهش باکتری بالای نمونه‌های عمل شده در برابر هر دو نوع باکتری بیماری‌زا است. نمونه عمل شده میانگین کاهش ۹۳/۳۳٪ را در برابر استافیلوکوک اورئوس و کاهش ۸۲/۱۴٪ را در برابر اشریشیا کولای نشان می‌دهد. نتایج واحدهای تشکیل دهنده کولنی (CFU) که میانگینی از دو تکرار است و انحراف معیار بین آزمایش‌ها در جدول ۱ آمده است. شکل ۲ نشان دهنده مقادیر مختلف واحدهای کولنی تشکیل شده در حین رقیق‌سازی در محدوده ۱۰۰ تا ۱۰۵ است.

جدول ۳- مدل‌های تجربی

تست در برابر	معادله پاسخ	R^2٪	R^2٪	نسبت F	مقدار p
گرم مثبت	$Y_1=-26+0.9X_1+2X_2+0.650X_3-0.050X_1X_2-0.035X_1X_3-0.015X_2X_3+0.085X_{12}+0.005X_{22}+0.001X_{32}$	۹۳/۲	۹/۸۶	۶۸۰/۳	۰/۰۸۳
گرم منفی	$Y_2=77+0.2X_1+0.85X_2-1.325X_3-0.04X_1X_2-0.01X_1X_3+0.02X_2X_3+0.03X_{12}+0.09X_{22}+0.008X_{32}$	۶۶	۴۴	۴۳۱/۰	۰/۸۷۱
استحکام کششی	$Y_3=-1061.5-10.17X_1+72.10X_2+23X_3-0.171X_1X_2+0.078X_1X_3-0.836X_2X_3+0.079X_{12}+2.237X_{22}-0.105X_{32}$	۸۳/۷	۱/۷۰	۳۰۱/۱	۰/۴۰۵
استحکام پارگی	$Y_4=53.4+1.792X_1-69.77X_2-8.09X_3+0.298X_1X_2-0.021X_1X_3+0.474X_2X_3-0.015X_{12}+0.298X_{22}+0.034X_{32}$	۹۷/۱	۴/۹۴	۳۲۱/۹	۰/۰۱۲
نفوذپذیری	$Y_5=-79.02-2.44X_1+4.627X_2+2.185X_3-0.031X_1X_2+0.031X_1X_3+0.040X_2X_3-0.014X_{12}-1.286X_{22}-0.015X_{32}$	۹۱/۳	۳/۸۳	۱۵۴/۰	۰/۹۲۳
جذب آب	$Y_6=1753.0-8.756X_1+52.35X_2-34.313X_3-0.331X_1X_2+0.89X_1X_3-0.715X_2X_3-0.005X_{12}+3.768X_{22}+0.174X_{32}$	۹۱/۹	۴/۸۴	۰۱۴/۳	۰/۱۱۹

بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند

طراحی آزمایش

متغیرهـای فرآینـد، مقـدار فعالیـت ضـد باکتـری در برابـر اسـتافیلوکوک اورئـوس و اشریشـیا کـولای و خـواص فیزیکـی پارچه‌هـای عمـل شـده در جـدول ۲ مشـاهده می‌شـود.

توسعه مدل تجربی

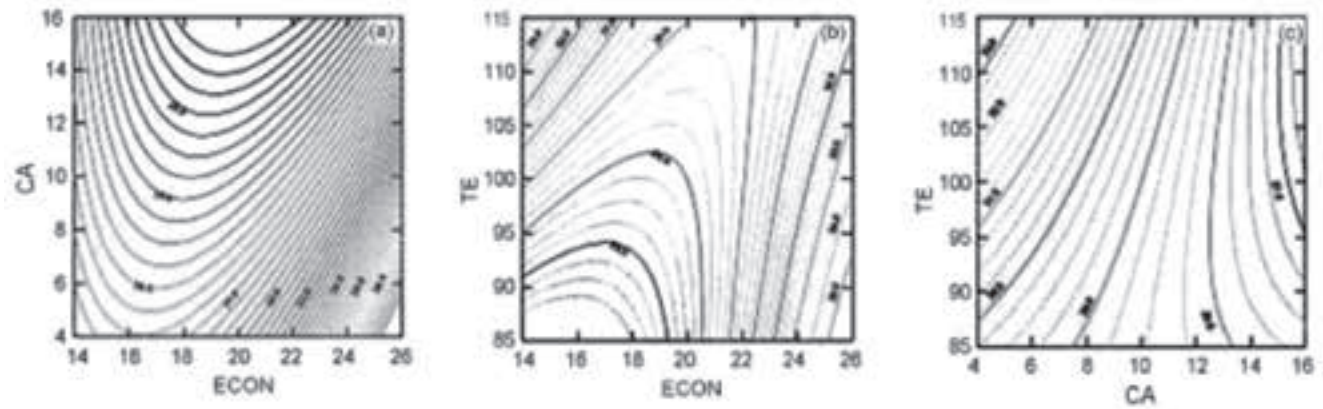
جـدول ۳ روابـط تجربـی بیـن پارامترهـای اصلـی فرآینـد، یعنـی غلظـت عصـاره (X_1 (ECON، درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی (CA) X_2 و دمـای پخـت (X_3 (TEM را نشـان می‌دهـد. معادلـه رگرسـیون بـه دسـت آمـده بعـد از تحلیـل واریانـس، سـطح کارایـی ضـد باکتـری پارچـه عمـل شـده را در برابـر باکتری‌هـای گـرم مثبـت و گـرم منفـی و خـواص فیزیکـی پارچـه ماننـد اسـتحکام کششـی، اسـتحکام پارگـی، نفوذپذیـری و جـذب آب را بـه صـورت تابعـی از غلظـت، درصـد عامـل ایجادکننـده پیوند عرضـی و دمـای پخـت مختلـف مشـخص می‌کنـد.

در اینجـا Y_6،...،Y_1،Y_2 بـه ترتیـب پاسـخ‌های پیش‌بینـی شـده بـرای اسـتافیلوکوک اورئـوس و اشریشـیا کـولای، اسـتحکام کششـی، اسـتحکام پارگـی، نفوذپذیـری و جـذب آب هسـتند. بـرای تمـام پاسـخ‌ها سـطح معنـی‌دار معادلـه رگرسـیون درجـه دو و مجـذور رگرسـیون بـه همـراه نسـبت F و مقادیـر P در جـدول ۳ آمـده اسـت.

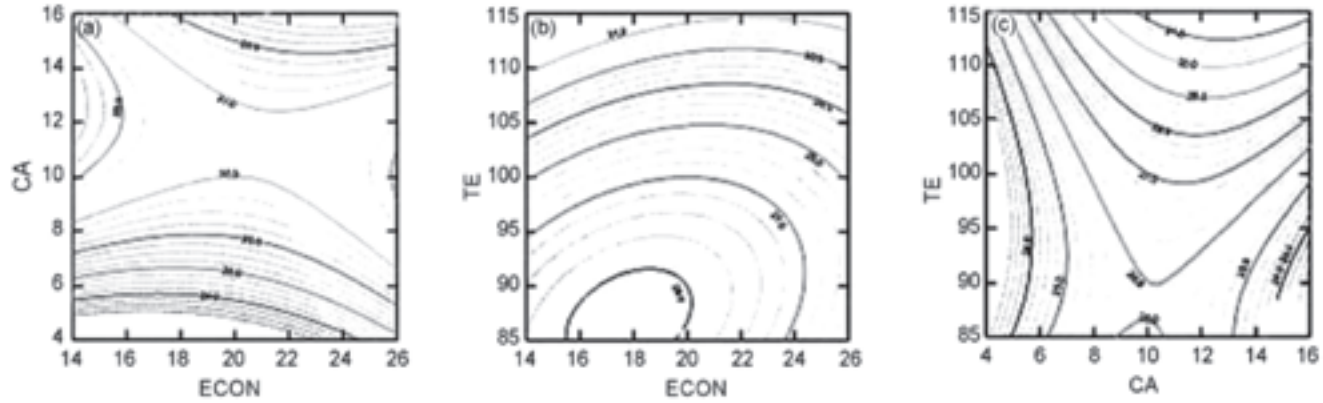
مقادیـر P بـه عنـوان وسـیله‌ای بـرای بررسـی معنـی‌دار بـودن هـر ضریـب بـه کار مـی‌رود کـه نشـان دهنـده شـدت تعامـل بیـن هـر متغیـر مسـتقل نیـز می‌باشـد.

هرچـه مقـدار P کمتـر باشـد معنـی‌دار بـودن ضریـب متناظـر بـا آن بیشـتر خواهـد بـود. R_2 نشـان دهنـده نسـبتی اسـت کـه مـدل می‌توانـد بـرای تغییـر پاسـخ‌ها توضیـح دهـد.

مدل‌هایـی بـا مقـدار R_2 بالاتـر از ۰/۶ (۶۰٪) می‌تواننـد بـه عنـوان مـدل معتبـر در نظـر گرفتـه شـوند.



شکل ۳- بهینه‌سازی (a) غلظت عصاره (ECON) با عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (CA)، (b) غلظت عصاره با دمای پخت (TE) و (c) عامل ایجاد کننده پیوند عرضی با دمای پخت روی باکتری گرم مثبت



شکل ٤- بهینه‌سازی (a) غلظت عصاره (ECON) با عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (CA)، (b) غلظت عصاره با دمای پخت (TE) و (c) عامل ایجاد کننده پیوند عرضی با دمای پخت روی باکتری گرم منفی

اثر پارامترهای فرآیند روی فعالیت ضد میکروبی

استافیلوکوک اورئوس

شکل ۳(a) نمودار کانتور مقدار فعالیت ضد میکروبی را که در مقابل غلظت عصاره و درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی ترسیم شده است نشان می‌دهد. در اینجا فعالیت نمونه عمل شده با افزایش غلظت عصاره افزایش و با افزایش درصد عامل ایجاد کننده پیوند عرضی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار منطقه بازدارنده با قطر ۳۶ میلی‌متر در غلظت عصاره ٪۲۶-۲۴ و غلظت عامل ایجاد کننده پیوند عرضی ٪۶-۴ مشاهده شد.

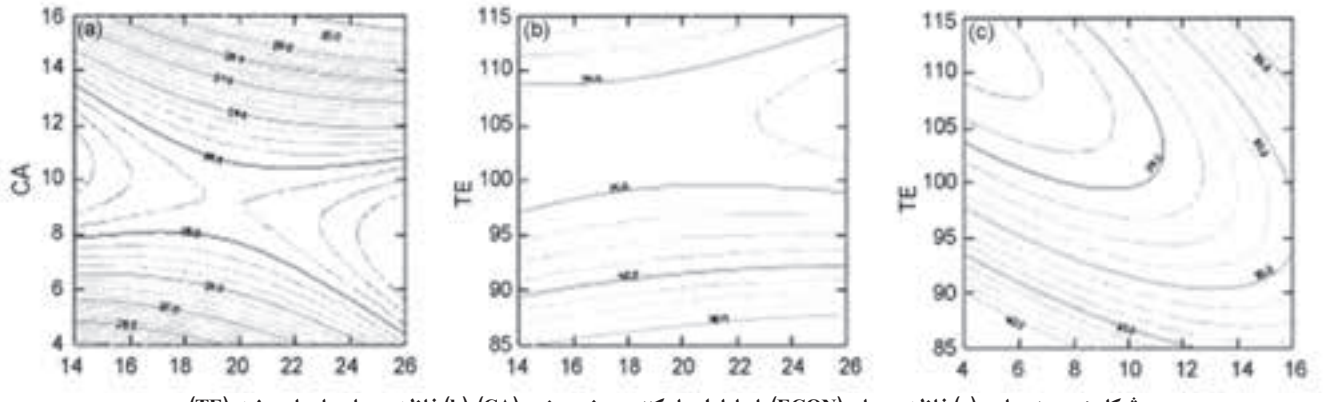
نمودار کانتور شکل ۳(b) منطقه بازدارنده را در مقابل غلظت عصاره و دمای پخت نشان می‌دهد. در اینجا، فعالیت ضد میکروبی با افزایش غلظت عصاره و دما افزایش می‌یابد. فعالیت ضد میکروبی در غلظت عصاره ٪۲۵-۲۴ و دمای پخت ۹۰°C به بیشترین مقدار خود با قطر ۳۶ میلی‌متر می‌رسد.

نمودار شکل ۳(c) فعالیت ضد میکروبی را در مقابل درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت نشان می‌دهد. افزایش در دمای پخت باعث افزایش منطقه بازدارنده می‌شود. شرایط بهینه برای فعالیت بهتر در ٪۴ عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت ۱۱۰°C مشاهده شد.

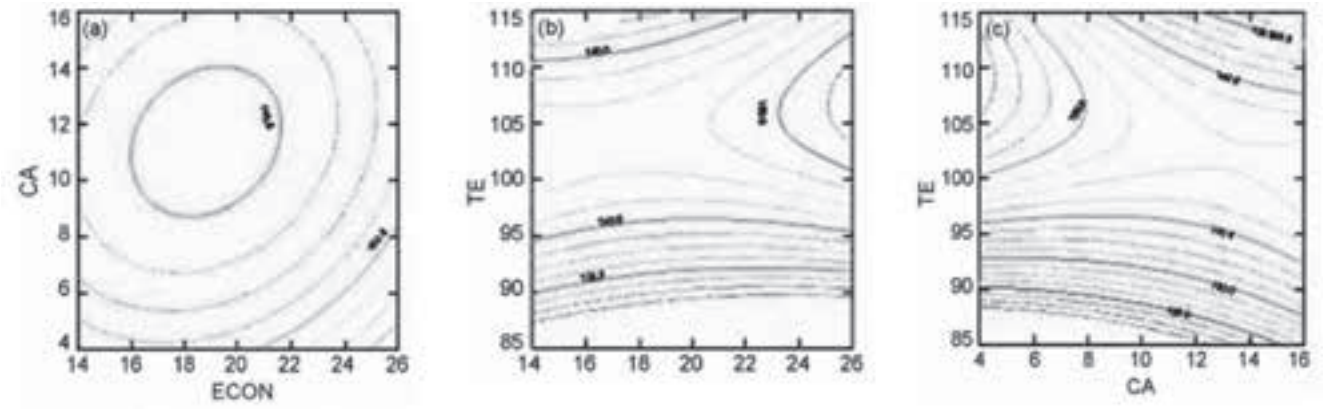
اشریشیا کولای

شکل ۴(a) نشان‌دهنده افزایش منطقه بازدارنده با افزایش غلظت عصاره و درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی است. بیشترین بازدارندگی در ٪۱۲ عامل ایجادکننده پیوند عرضی و غلظت عصاره ٪۲۵ با قطر ۲۸ میلی‌متر مشاهده شد. این شرایط بهینه فرآیند برای محافظت پارچه در برابر اشریشیا کولای خواهد بود. شکل ۴(b) نشان می‌دهد که منطقه بازدارنده با افزایش غلظت عصاره و دمای پخت افزایش می‌یابد.

بیشترین مقدار بازدارندگی در غلظت عصاره ٪۲۵-۲۴ و دمای پخت ۱۱۰°C مشاهده شد. شکل ۴(c) نشان می‌دهد که افزایش در عامل ایجاد کننده پیوند عرضی در ابتدا باعث افزایش فعالیت شده اما بعد از ٪۱۰ کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن دمای پخت، بیشترین منطقه بازدارنده در ٪۱۰ عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت ۱۱۰°C مشاهده شد.



شکل ٥- بهینه‌سازی (a) غلظت عصاره (ECON) با عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (CA)، (b) غلظت عصاره با دمای پخت (TE) و (c) عامل ایجاد کننده پیوند عرضی با دمای پخت روی استحکام کششی



شکل ٦- بهینه‌سازی (a) غلظت عصاره (ECON) با عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (b)، (CA) غلظت عصاره با دمای پخت (TE) و (c) عامل ایجاد کننده پیوند عرضی با دمای پخت روی استحکام کششی

برای هر دو باکتری افزایش در غلظت عصاره باعث افزایش در فعالیت پارچه پنبه‌ای عمل شده می‌شود. سیتریک اسید به عنوان عامل ایجادکننده پیوند عرضی نقشی کلیدی را ایفا می‌کند که واکنش دادن با گروه هیدروکسیل سلولز و ایجاد پیوند استری بین حلقه انیدرید و گروه هیدروکسیل روی سلولز و همچنین با گروه کربوکسیلیک ماده فعال عصاره است. بنابراین، سیتریک اسید بین دو ماکرو مولکول به طور موثری پیوند عرضی ایجاد می‌کند که منجر به بهبود پیوند عرضی بین عصاره و پارچه پنبه‌ای می‌شود. افزایش دمای پخت به همراه عامل ایجادکننده پیوند عرضی باعث بهبود نرخ تثبیت عامل ضد باکتری روی سطح پارچه شده که در نهایت باعث افزایش منطقه بازدارنده نمونه عمل شده در برابر دو باکتری می‌شود.

اثر پارامترهای فرآیند روی استحکام کششی

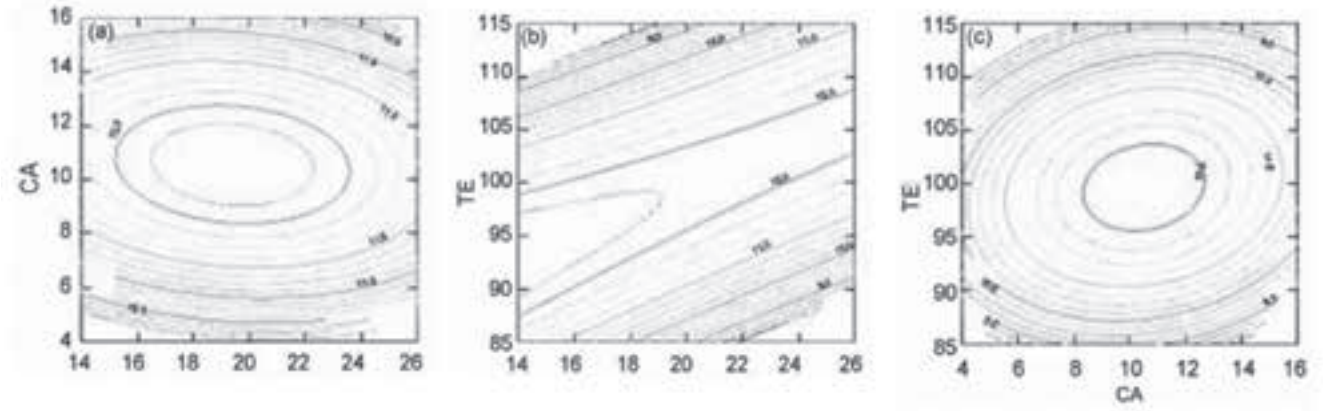
شکل (a) ۵ اثر غلظت عصاره و عامل ایجادکننده پیوند عرضی را روی استحکام کششی نشان می‌دهد که مشخص می‌کند که استحکام کششی در غلظت‌های بالا ماکزیمم است. اما افزایش درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی باعث کاهش استحکام کششی نمونه می‌شود. این می‌تواند به دلیل خاصیت اسیدی عامل ایجادکننده پیوند عرضی باشد که کالای سلولزی را تخریب می‌کند. بیشترین استحکام با مقدار lbs ۱۵۰ در غلظت ٪۲۵ و مقدار کم عامل ایجادکننده پیوند عرضی به دست آمد.

شکل (b) ۵ اثر غلظت و دمای پخت را روی استحکام کششی کالا نشان می‌دهد.

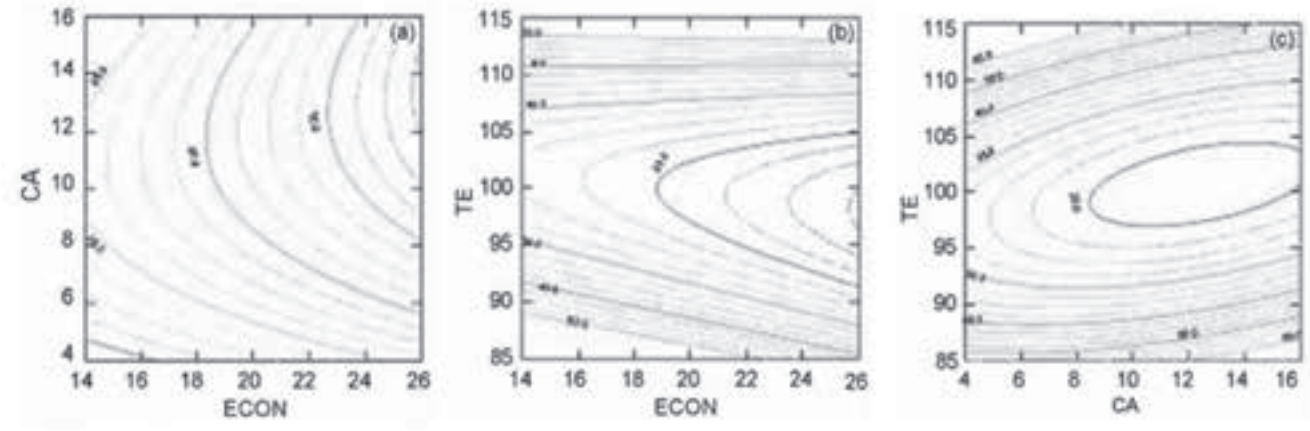
مشاهده شد که زمانی که مقدار عامل ایجادکننده پیوند عرضی ثابت باشد، غلظت عصاره تاثیر کمی روی استحکام دارد. مقادیر بالاتر استحکام کششی در دماهای بالاتر مشاهده شد. با این حال، افزایش دما تا بیشتر از ۱۱۰°C منجر به کاهش استحکام می‌شود. این امر به دلیل تخریب ساختاری در دماهای بالاتر است.

شکل (c) ۵ تغییرات استحکام کششی را در مقابل درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت نشان می‌دهد. بیشترین استحکام با مقدار lbs ۱۵۰ در دمای ۱۱۰ °C و ٪۴ عامل ایجادکننده پیوند عرضی به دست آمد.

قدرت اسیدی پلی کربوکسیلیک اسید در مقایسه با غلظت عصاره



شکل ۷- بهینه‌سازی (a) غلظت عصاره (ECON) با عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (b)، (CA) غلظت عصاره با دمای پخت (TE) و (c) عامل ایجاد کننده پیوند عرضی با دمای پخت روی نفوذپذیری



شکل ۸، بهینه‌سازی (a) غلظت عصاره (ECON) با عامل ایجاد کننده پیوند عرضی (b)، (CA) غلظت عصاره با دمای پخت (TE) و (c) عامل ایجاد کننده پیوند عرضی با دمای پخت روی جذب آب

و دمـای پخـت اثـر قابـل توجهـی در کاهـش اسـتحکام کششـی پنبـه عمـل شـده دارد. کاهـش اسـتحکام پارچـه پنبـه‌ای عمـل شـده بـا پلـی کربوکسـیلیک اسـید در نتیجـه گسسـت پلیمـری کاتالیـز شـده بـا اسـید مولکول‌هـای سـلولز اسـت. ایجـاد پیونـد عرضـی بیـن مولکول‌هـای سـلولز باعـث افزایـش شـکنندگی الیـاف پنبـه شـده کـه بـه نوبـه خـود باعـث کاهـش اسـتحکام پارچـه می‌شـود. کاهـش اسـتحکام بـا افزایـش میـزان پیونـد عرضـی بیشـتر می‌شـود. واکنش‌هـای پیونـد عرضـی تنهـا در دماهـای بـالا قابـل انجـام هسـتند. بنابرایـن کاهـش اسـتحکام در دماهـای پاییـن اغلـب بـه دلیـل تخریـب پلیمـر و کاهـش قـدرت اتصـال فصـل مشـترک بیـن مناطـق بلـوری و آمـورف اتفـاق می‌افتـد. در دمـای بـالا، کاهـش اسـتحکام بـه دلیـل ایجـاد پیونـد عرضـی و گسسـت پلیمری ماکـرو مولکول‌هـا اتفـاق می‌افتـد.

اثر پارامترهای فرآیند روی استحکام پارگی

شـکل (a) ۶ اثـر ترکیبـی غلظـت عصـاره و درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی را روی اسـتحکام پارگـی نمونه‌هـای عمـل شـده نشـان می‌دهـد. مشـاهده شـد کـه غلظـت عصـاره و درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی اثـر کمـی روی اسـتحکام پارگـی دارنـد. شـکل (b) ۶ نشـان‌دهنده اثـر غلظـت عصـاره و دمـای پخـت روی اسـتحکام پارگـی نمونـه اسـت. از روی نتایـج مشـخص می‌شـود کـه غلظـت عصـاره تاثیـر کمـی روی اسـتحکام پارگـی دارد.

شـکل‌های (b) ۶ و (c) ۶ نشـان می‌دهـد کـه اسـتحکام پارگـی بـا افزایـش درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی و دمـای پخـت کاهـش می‌یابـد.

ایـن می‌توانـد بـه همـان دلایلی باشـد که قبـلاً در مورد اسـتحکام کششـی گفتـه شـد. کاهـش اسـتحکام پنبـه عمـل شـده بـا پلی‌کربوکسـیلیک اسـید در نتیجـه گسسـت پلیمـری برگشـت‌ناپذیر و ایجـاد پیونـد عرضـی برگشـت‌پذیر بیـن مولکول‌هـای سـلولز اسـت. بیشـترین مقـدار اسـتحکام پارگـی در دمـای ۹۰°C–۸۵ و ٪۶ عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی بـه دسـت آمـد.

اثر پارامترهای فرآیند روی نفوذپذیری

شـکل ۷ اثـر غلظـت عصـاره و درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی را روی نفوذپذیـری پارچـه عمـل شـده نشـان می‌دهـد. نتایـج نشـان می‌دهـد کـه افزایـش درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی تـا ٪۱۲ باعـث افزایـش انـدک در نفوذپذیـری شـده و افزایـش بیشـتر آن بـه دلیـل اثـر ایجادکننـده پیونـد عرضـی در سـطح مولکولـی و مورفولوژیکـی منجـر بـه کاهـش نفوذپذیـری می‌شـود. مقادیـر نفوذپذیـری کالای پنبـه‌ای عمـل شـده، بـا غلظـت عصـاره و درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی نسـبت عکـس دارد.

زمانی‌کـه دمـا ثابـت باشـد غلظـت عصـاره اثـر کمتـری روی نفوذپذیـری خواهـد داشـت. افزایـش غلظـت عصـاره باعـث کاهـش نفوذپذیـری و افزایـش دمـای پخـت تـا ۱۰۰°C باعـث بهبـود نفوذپذیـری و در دماهـای بالاتـر باعـث کاهـش آن می‌شـود. پـر شـدن منافـذ و حفره‌هـای بیـن الیـاف در پارچـه پنبـه‌ای در غلظت‌هـای بالاتـر عصـاره منجـر بـه کاهـش نفوذپذیـری می‌شـود. مقـدار ماکزیمـم ۱۲ $cc/cm^3/s$ در غلظـت ٪۲۰ و ٪۶ عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی و دمـای پخـت ۱۰۰°C مشـاهده شـد.

اثر پارامترهای فرآیند روی جذب آب

شـکل ۸ نشـان می‌دهـد کـه جـذب آب کالای عمـل شـده بـا افزایـش غلظـت عصـاره بهبـود می‌یابـد. درصـد عامـل ایجادکننـده پیونـد عرضـی و دمـای پخـت تاثیـر کمتـری روی جـذب آب دارد. بـا ایـن حـال، افزایـش ایـن دو عامـل می‌توانـد باعـث کاهـش مناطـق بلـوری و اسـتحکام پارچـه عمـل شـده شـود.

جدول ٤- نتایج بهینه‌سازی عددی ۱۱ ترکیب اولیه از پارامترهای فرآیند

جذب آب، s	نفوذپذیری، $cc/cm^2/s$	استحکام پارگی، kg	استحکام کششی، lbs	گرم منفی (اشریشیا کولای)	گرم مثبت (استافیلوکوک اورئوس)	دمای پخت، °C	درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی، ٪	غلظت عصاره، ٪
۱۹/۳۸	۳۵/۱۰	۶۴/۲۸	۱۳۵/۹۶	۹۱/۲۶	۷۹/۳۴	۹۴/۱۶	۵۸/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۳۳	۳۶/۱۰	۶۲/۲۸	۱۳۵/۹۵	۹۳/۲۶	۷۵/۳۴	۹۴/۱۶	۶۴/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۴۲	۳۴/۱۰	۷۲/۲۸	۱۳۵/۶۶	۹۳/۲۶	۷۷/۳۴	۹۴/۰۷	۶۳/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۵۸	۳۰/۱۰	۷۸/۲۸	۱۳۵/۶۷	۸۷/۲۶	۸۶/۳۴	۹۴/۰۷	۴۷/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۴۱	۳۴/۱۰	۷۵/۲۸	۱۳۵/۵۱	۹۶/۲۶	۷۳/۳۴	۹۴/۰۲	۷۱/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۸۹	۲۲/۱۰	۰۰/۲۹	۱۳۵/۲۱	۸۱/۲۶	۹۷/۳۴	۹۳/۹۳	۳۱/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۵۶	۳۴/۱۰	۴۶/۲۸	۱۳۶/۹۷	۷۲/۲۶	۰۲/۳۵	۹۴/۴۹	۱۴/۷	۲۵/۰۰
۱۹/۳۹	۳۹/۱۰	۷۱/۲۸	۱۳۵/۴۷	۹۷/۲۶	۵۲/۳۴	۹۴/۰۲	۸۵/۷	۲۴/۹۲
۲۷/۹۶	۴۶/۱۱	۱۰/۲۸	۱۴۶/۸۴	۹۲/۲۹	۳۱/۳۰	۱۱۰/۰۰	۵۱/۱۱	۲۵/۰۰
۲۸/۱۲	۴۶/۱۱	۹۹/۲۷	۱۴۶/۹۷	۹۲/۲۹	۳۶/۳۰	۱۱۰/۰۰	۴۴/۱۱	۲۵/۰۰
۳۰/۲۸	۷۰/۹	۷۱/۲۸	۱۳۹/۸۹	۸۶/۳۰	۲۳/۳۰	۱۰۷/۹۳	۸۸/۱۳	۱۵/۳۰

کاهش در میزان مناطق بلوری نقش مهمی در کاهش قدرت اتصال فصل مشترک بین مناطق بلوری و آمورف دارد. کاهش در میزان مناطق بلوری و قدرت اتصال فصل مشترک ممکن است باعث نرم شدن کالا و بهبود جذب آب کالای تکمیل شده شود. این نتایج توسط یافته‌های Ibrahim و همکارانش نیز تائید شده است. بیشترین مقادیر جذب آب در غلظت ٪۲۵، ٪۶ عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت ۱۰۰°C مشاهده شد.

بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند برای پاسخ‌ها

بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند در مقابل پاسخ‌ها به وسیله روش بهینه‌سازی عددی و با کمک نرم‌افزار Design Expert انجام شد. بهینه‌سازی عددی با استفاده از مدل‌های ساخته شده در آنالیزها فضای طراحی را می‌گردد تا تنظیمات عوامل را که با هدف مطابقت دارد پیدا کند.

در این تحقیق هدف اصلی دستیابی به فعالیت ضد باکتری بهتر پارچه‌های عمل شده است. بنابراین، روی نتایج بازدارندگی میکروبی نسبت به خواص فیزیکی تاکید و اهمیت بیشتری وجود داشت. با این حال، آن‌ها در درجه دوم اهمیت قرار داشتند.

بر اساس این شرایط، آنالیزهای بهینه‌سازی عددی مجموعه‌ای از ۱۱ ترکیب پارامترهای فرآیند را فراهم می‌کند که محافظت میکروبی بالاتری را به همراه خواص فیزیکی بهتر ایجاد می‌کنند (جدول ۴). مشاهده شد که غلظت عصاره ٪۲۵، ٪۷/۵ عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت ۹۴/۱۶ °C فعالیت ضد باکتری بالاتری را برای پارچه عمل شده به همراه خواص فیزیکی بهینه فراهم می‌کند. فعالیت ضد باکتری پارچه پنبه‌ای عمل شده عدد صحیح خواهد بود. با این حال، دو رقم اعشار توسط نرم افزار اضافه شده چون ۱۰ شرایط بهینه اولیه تنها در رقم‌های اعشاری با یکدیگر تفاوت دارند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که نمونه‌های عمل شده کاهش ٪۹۳/۳۳ را در میزان باکتری دارند. نمونه‌های تست آگار مناطق بازدارنده بزرگ و واضحی (۳۸-۲۷ میلی‌متر) را در برابر طیف وسیعی از باکتری‌های بیماری‌زا نشان می‌دهند.

نمونه‌های عمل شده با Terminalia chebula علاوه بر ضد باکتری بودن، متوقف‌کننده رشد باکتری نیز هستند.

منطقه بازدارنده نمونه عمل شده با افزایش غلظت عصاره افزایش می‌یابد. اثر دمای پخت و درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی روی منطقه بازدارنده برای هر دو باکتری قابل توجه است. در مورد خواص فیزیکی، پارامترهای فرآیند انتخاب شده اثر قابل توجهی روی پاسخ‌ها دارند. استحکام کششی، استحکام پارگی و نفوذپذیری نمونه‌های عمل شده با افزایش درصد عامل ایجادکننده پیوند عرضی کاهش می‌یابد. تغییر در جذب آب پارچه عمل شده نسبت به پارامترهای فرآیند ناچیز است. این نتایج همچنین با همبستگی عالی به دست آمده بین نتایج تجربی و نتایج مدل شده با فرموله کردن رابطه خطی بین عامل ایجادکننده پیوند عرضی، غلظت عصاره و دمای پخت تائید می‌شود. پارامترهای فرآیند بهینه شده برای فعالیت ضد باکتریایی بالاتر پارچه عمل شده به همراه خواص فیزیکی بهینه عبارت است از غلظت عصاره ٪۲۵، ٪۷/۵ عامل ایجادکننده پیوند عرضی و دمای پخت ۹۴/۱۶°C.