Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 3, Autumn 2021, Pages: 67-73

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.3.67

# Evaluation of Antibacterial Properties of Electrospun Polyurethane-chitosan Nanofiber Media

**Majid Habibi Mohraz[1], Farideh Golbabaei[2,*], Il Je Yu[3]**

[1] *Assistant Professor, Center of Excellence for Occupational Health Engineering, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[2] *Professor, Department of Occupational Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Professor, Institute of Nano Products Safety Research, Hoseo University, South Korea*

**** Corresponding Author:** Farideh Golbabaei, Department of Occupational Health Engineering, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Email: fgolbabaei@sina.tums.ac.ir*

**Received:** 28/07/2021
**Accepted:** 25/08/2021

**How to Cite this Article:**
Habibi Mohraz M, Golbabaei F, Je Yu I. Evaluation of Antibacterial Properties of Electrospun Polyurethane-chitosan Nanofiber Media. *J Occup Hyg Eng*. 2021; 8(3): 67-73. DOI: 10.52547/johe.8.3.67

## Abstract

**Background and Objective:** The accumulation of airborne bioaerosols on filtration media and their gradual proliferation in the presence of appropriate moisture and environmental conditions is one of the major problems against using these media. The use of hybrid media containing antibacterial agents is one of the available solutions to this problem. The present study aimed to fabricate nonwoven nanofiber media with an antibacterial activity using an electrospinning process.

**Materials and Methods:** Polyurethane-chitosan nanofiber media the weight ratios of 100 to 0, 90 to 10, 80 to 20, and 70 to 30 were fabricated by simultaneous electrospinning process. The evaluation of the antibacterial properties of the media was performed after their preparation by standard methods of disk diffusion (ISO 20645) and colony counting (ISO 20743).

**Results:** The investigation of antibacterial activity of samples by both methods showed that the media with polyurethane to chitosan weight ratio of 70 to 30 had suitable antibacterial activity. The mean values of bacterial growth inhibition zone and antibacterial activity for polyurethane-chitosan (70/30) media were obtained at 0.26 and 2.225 mm, respectively, indicating the significant antibacterial activity of this media.

**Conclusion:** The results showed that antibacterial nanofiber media can be created by adding chitosan nanofibers as antimicrobial agents to the polyurethane nanofiber.

**Keywords:** Antibacterial Activity; Colony Counting Electrospinning; Disk Diffusion; Nanofiber Media

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]

**Copyright** © 2021 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.8.3.67

# بررسی خصوصیات ضدباکتریایی بسترهای نانوفیبری پلی اورتان–کیتوزان ساخته‌شده با استفاده از فرایند الکتروریسی

مجید حبیبی محرز[۱]، فریده گلبابایی[۲،*]، ایل ج یو[۳]

[۱] استادیار، قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

[۳] استاد، انستیتو تحقیقات ایمنی محصولات نانو، دانشگاه هوسئو، کره جنوبی

* **نویسنده مسئول:** فریده گلبابایی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران. ایمیل: fgolbabaei@sina.tums.ac.ir

**تاریخ دریافت مقاله:** ۱۴۰۰/۰۵/۰۶

**تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۰/۰۶/۰۳

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

## چکیده

**سابقه و هدف:** تجمع بیوآئروسل‌های موجود در هوا روی بسترهای فیلتراسیونی و رشد و تکثیر تدریجی آن‌ها در حضور رطوبت و شرایط محیطی مناسب یکی از مشکلات مهم در استفاده از این بسترهاست. استفاده از بسترهای هیبریدی حاوی مواد ضدباکتریایی یکی از راه‌حل‌های موجود برای حل این مشکل است. هدف مطالعه حاضر ساخت بسترهای نانوفیبری بی‌بافت دارای خاصیت ضدباکتریایی با استفاده از فرایند الکتروریسی است.

**مواد و روش‌ها:** بسترهای نانوفیبری پلی اورتان-کیتوزان با نسبت‌های وزنی ۱۰۰ به صفر، ۹۰ به ۱۰، ۸۰ به ۲۰ و ۷۰ به ۳۰ از طریق فرایند الکتروریسی و با استفاده از دستگاه الکتروریسی هم‌زمان تولید شدند. پس از آماده‌سازی بسترها، ارزیابی خصوصیت ضدباکتریایی آن‌ها از طریق روش‌های استاندارد انتشار دیسک ( ISO 20645) و شمارش کلنی (ISO 20743) انجام شد.

**یافته‌ها:** بررسی فعالیت ضدباکتریایی نمونه‌ها نشان داد بستر با نسبت پلی اورتان به کیتوزان ۷۰ به ۳۰ در هر دو روش آزمایش نتایج مطلوبی دارد، به‌طوری‌که در روش انتشار دیسک میانگین ناحیه توقف رشد و عدد فعالیت ضدباکتریایی برای بستر پلی اورتان - کیتوزان با نسبت ۷۰ به ۳۰ به ترتیب ۰/۲۶ و ۲/۲۲۵ میلی‌متر به دست آمد که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن فعالیت ضدباکتریایی این بستر بود.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد می‌توان با اضافه کردن نانوفیبرهای کیتوزان به‌عنوان مواد دارای خاصیت ضدمیکروبی به بسترهای نانوفیبری پلی اورتان، خاصیت ضدباکتریایی در آن‌ها ایجاد کرد.

**واژگان کلیدی:** الکتروریسی؛ انتشار دیسک؛ بسترهای نانوفیبری؛ شمارش کلنی؛ فعالیت ضدباکتریایی

## مقدمه

مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان داده‌اند می‌توان از فرایند الکتروریسی برای ساخت بسترهای فیلتراسیونی نانوفیبری استفاده کرد که ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارند [۱]. در فرایند الکتروریسی ترکیبات پلیمری مختلف تحت تأثیر اختلاف پتانسیل الکتریکی زیاد به شکل فیبرهایی با قطر در مقیاس نانو درمی‌آیند و روی یک سیستم جمع‌آوری‌کننده، جمع‌آوری می‌شوند [۲]. بسترهای نانوفیبری بی‌بافت تولیدشده در فرایند الکتروریسی خصوصیات ویژه‌ای همانند سطح و تخلخل زیاد، قطر نانومتری، امکان عامل‌دار کردن و تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، مقاومت مکانیکی مناسب دارند که این ویژگی‌ها امکان استفاده از آن‌ها را برای ساخت بسترهای فیلتراسیونی با خصوصیات ویژه فراهم ساخته است [۳-۶]. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه استفاده از بسترهای نانوفیبری تولیدشده با فرایند الکتروریسی به‌منظور فیلتراسیون و جذب آلاینده‌های ذره‌ای و گازی انجام شده است [۷-۱۱].

یکی از مشکلات استفاده از این بسترهای فیلتراسیونی، تجمع بیوآئروسل‌های موجود در هوا در مقادیر زیاد روی این بسترها و رشد و تکثیر تدریجی آن‌ها به‌خصوص در حضور رطوبت و شرایط مساعد است. علاوه‌براین، مواد آلی و غیرآلی ته‌نشین‌شده روی بستر فیلتر پس از فیلتراسیون در رشد میکروبی مشارکت می‌کنند و این موضوع موجب کاهش راندمان فیلتراسیون به دلیل تخریب فیلترها و آزادسازی بیشتر میکروارگانیسم‌ها می‌شود. ترکیبات آلی فرّار تولیدشده به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها نیز از فیلترهای آلوده متصاعد می‌شوند [۱۲]. برخی از بسترهای فیبری از قبیل نانوفیبرهای



[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]

بی‌بافت به دلیل مساحت سطحی مناسب و خاصیت جذب سطحی به‌منظور پاک‌سازی هوا از آلاینده‌های گازی از قبیل ترکیبات آلی فرّار نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و باکتری‌ها نیز تمایل دارند روی سطوح جامد بنشینند؛ بنابراین، این امکان وجود دارد که باکتری‌ها روی این بسترها تکثیر شوند و این فیلترها به‌عنوان منبع تولید بیوآئروسل‌ها عمل کنند [۱۳،۱۴]. در ماسک‌های تنفسی نیز آلودگی بیولوژیکی یکی از دلایل انتقال عفونت و آلودگی کارکنان در محیط‌هایی نظیر بیمارستان‌ها و آزمایشگاه‌هاست [۱۵]. استفاده از بسترهای هیبریدی حاوی مواد ضدباکتریایی یکی از راه‌حل‌های موجود برای حل این مشکل است. این بسترها به‌منظور ساخت پوشش‌های زخم ضدمیکروبی نیز استفاده می‌شوند [۱۶].

هدف مطالعه حاضر ساخت بسترهای نانوفیبری بی‌بافت با استفاده از فرایند الکتروریسی و ارزیابی عملکرد ضدباکتریایی این بسترها در برابر باکتری‌های اشیرشیاکلای به‌عنوان مدلی از باکتری‌هاست. برای این منظور پایه محلول پلیمری استفاده‌شده پلی اورتان خواهد بود و از بیوپلیمر کیتوزان نیز برای افزودن خاصیت ضدباکتریایی استفاده خواهد شد. ارزان و در دسترس بودن، سطح متخلخل برای جذب آلاینده‌های گازی، مقاومت مکانیکی و کشسانی زیاد، دوام و عدم حلالیت در آب از ویژگی‌هایی است که پلی اورتان را پلیمر مناسبی برای ساخت بسترهای فیلتراسیونی می‌کند. کیتوزان نیز پلی کاتیون، پلی ساکاریدی غیرسمی و زیست تجزیه‌پذیر است که از کیتین طبیعی مشتق می‌شود [۱۷]. این ماده به دلیل خصوصیات بیولوژیکی بی‌نظیر شامل قابلیت تجزیه‌پذیری زیستی و غیرسمی بودن به‌صورت خالص یا مخلوط با سایر پلیمرهای طبیعی (ژلاتین، آلژینات و غیره) کاربردهای بسیار زیادی دارد. فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان در برابر باکتری‌ها، قارچ‌ها و کپک‌های میله‌ای نشان داده شده است. کیتوزان طیف فعالیتی وسیع و کشندگی زیادی در برابر باکتری‌های گرم مثبت و منفی دارد و از طرفی سمیت کمی برای سلول‌های پستانداران دارد [۱۷]؛ بنابراین، انتظار می‌رود ترکیب این دو پلیمر در ساخت بسترهای فیلتراسیونی با خصوصیات ضدباکتریایی استفاده شود.

## روش کار

پلیمر پلی اورتان ($MW=2\times10^5$) از شرکت Lubrizol خریداری شد. حلال‌های دی متیل فرمامید (DMF)، تتراهیدروفوران (THF) و استیک اسید (AA) از شرکت مرک آلمان و بیوپلیمر Chitosan (DDA 85%) از شرکت سیگما آلدریچ خریداری شد.

### ساخت فیلترهای نانوفیبری با استفاده از فرایند الکتروریسی

به‌منظور آماده‌سازی محلول‌های پلیمری استفاده‌شده در فرایند الکتروریسی مطابق نتایج کسب‌شده در مطالعه قبلی، پلیمر پلی اورتان برای ایجاد غلظت کل ۱۵درصد وزنی به سیستم حلال متشکل از دی متیل فرمامید و تتراهیدروفوران با نسبت اختلاط ۳ به ۲ اضافه و با استفاده از اختلاط با همزن مغناطیسی صفحه داغ به مدت ۱۲ ساعت محلول یکنواختی از پلی اورتان آماده شد [۱۸]. برای ایجاد محلول پلیمری ۴ درصد وزنی یکنواخت کیتوزان، حلال اسید استیک ۹۰ درصد شرایط بهتری را برای انحلال و الکتروریسی کیتوزان فراهم کرد.

پس از آماده‌سازی محلول‌های پلیمری، بسترهای نانوفیبری پلی اورتان-کیتوزان با نسبت‌های وزنی ۱۰۰ به صفر، ۹۰ به ۱۰، ۸۰ به ۲۰ و ۷۰ به ۳۰ از طریق فرایند الکتروریسی و با استفاده از دستگاه الکتروریسی هم‌زمان تولید شدند. برای این منظور ابتدا محلول‌های پلیمری به سرنگی با قطر نیدل شماره ۱۸ انتقال داده شدند و سپس پارامترهای الکتروریسی برای پلیمرهای پلی اورتان و کیتوزان بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه پایلوت به ترتیب به این صورت تنظیم شدند: فاصله سر سوزن تا صفحه جمع‌آوری‌کننده ۱۰ و ۸ سانتی‌متر، ولتاژ الکتروریسی ۱۵ و ۲۰ کیلوولت، نرخ تزریق ۰/۳ و ۰/۴ میلی‌لیتر در ساعت.

### ارزیابی خصوصیت ضدباکتریایی بسترها

ارزیابی خصوصیت ضدباکتریایی بسترها از طریق روش‌های استاندارد انتشار دیسک (ISO 20645) (۱۹) و شمارش کلنی (ISO 20743) (۲۰) انجام شد.

### روش انتشار دیسک

ابتدا به‌منظور آماده‌سازی محلول‌های کاربردی از باکتری، تعدادی کلنی از روی پلیت‌های اولیه به درون لوله فالکون حاوی ۳۰ میلی‌لیتر محیط کشت مغذی مایع انتقال داده و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه و سرعت چرخش ۱۰۰ دور در دقیقه در انکوباتور شیکردار انکوبه شد. پس از خارج کردن لوله‌ها از انکوباتور، کدورت ایجادشده ناشی از رشد باکتری‌ها با اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و به‌منظور دستیابی به غلظت حدود $1/5\times10^8$ کلنی در میلی‌لیتر (محلول استاندارد نیم مک فارلند) از طریق رقیق‌سازی سریالی سوسپانسون غلیظ باکتری رقیق شد تا میزان جذب آن به حدود ۰/۲۸ در طول موج ۴۷۵ نانومتر برسد. سپس این محلول نیز رقیق‌سازی شد تا غلظت باکتری‌ها در غلظت حدود $1/5\times10^5$ کلنی در میلی‌لیتر برسد. سپس از این محلول به‌عنوان محلول کاربردی به‌منظور آغشته‌کردن سطح پلیت‌های آگار آماده‌سازی‌شده استفاده شد. سپس نمونه بسترهای نانوفیبری آماده‌شده که دیسک‌های گرد به قطر ۸ میلی‌متر بودند، در فواصل مناسب روی محیط کشت چسبانده شدند و پلیت‌ها به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه در انکوباتور قرار داده شدند. پس از

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]

خارج‌کردن پلیت‌ها از انکوباتور با استفاده از میکرومتر دیجیتالی پهنای ناحیه توقف رشد باکتری برای هر قطعه از دیسک‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از معادله ۱، پهنای ناحیه توقف رشد محاسبه شد:

معادله ۱:

$$H = \frac{D - d}{2}$$

در این معادله:

H: پهنای ناحیه توقف رشد

D: قطر کلی نمونه و ناحیه توقف رشد (میلی‌متر)

D: قطر نمونه (میلی‌متر)

پس از اندازه‌گیری ناحیه توقف رشد، اثر ضدباکتریایی بسترها بر اساس معیارهای روش استاندارد ISO 20645 ارزیابی شد [۱۹].

### روش شمارش کلنی

برای انجام این روش ۱۰ میلی‌لیتر از محلول کاربردی آماده‌شده در بخش قبلی (حاوی $۱/۵ \times ۱۰^{۵}$ کلنی در میلی‌لیتر) در لوله فالکون استریل ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و به مدت یک دقیقه در انکوباتور شیکردار با حداکثر چرخش قرار داده شد. سپس ۰/۰۲ گرم از نمونه بسترهای نانوفیبری آماده‌سازی‌شده پس از توزین به محلول کاربردی موجود در لوله فالکون اضافه شد و به مدت ۱۸ ساعت نمونه‌ها در مواجهه با باکتری‌های موجود در محلول کاربردی قرار گرفتند. پس از پایان زمان تماس یک میلی‌لیتر از محلول موجود در هر لوله فالکون برداشته و به‌صورت سریالی تا رقت از پیش تعیین‌شده رقیق‌سازی و برای شمارش کلنی‌ها روی محیط کشت جامد کشت شد. پلیت‌های حاوی محیط کشت جامد به مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور ۳۷ درجه قرار گرفتند. برای هر نمونه دو بار این کار تکرار شد. سپس کلنی‌های موجود در هر پلیت شمارش شد و پس از میانگین‌گیری از مقادیر شمارش‌شده، تعداد کلنی‌ها بر حسب تعداد کلنی در هر میلی‌لیتر محلول بیان شد. در انتها فاکتور رشد باکتری در نمونه‌های کنترل بر اساس معیارهای استاندارد ISO 20743 از معادلات زیر محاسبه شد [۲۰]:

معادله ۲: فاکتور رشد باکتری در نمونه کنترل

$$F = lgC_t - lgC_0$$

در این معادله F، فاکتور رشد باکتری در نمونه کنترل، $C_t$ تعداد باکتری شمارش‌شده پس از اتمام زمان مواجهه و $C_0$ تعداد باکتری اولیه موجود در محیط کشت مایع است.

همچنین فاکتور رشد باکتری در نمونه‌های اصلی از معادله زیر محاسبه شد:

معادله ۳: فاکتور رشد باکتری در نمونه اصلی

$$G = lgT_t - lgT_0$$

در این معادله G فاکتور رشد باکتری در نمونه اصلی، $T_t$ تعداد باکتری شمارش‌شده پس از اتمام زمان مواجهه و $T_0$ تعداد باکتری اولیه موجود در محیط کشت مایع است.

پس از محاسبه فاکتور رشد باکتری در نمونه کنترل و اصلی، فعالیت ضدباکتریایی هر بستر از رابطه زیر محاسبه شد:

معادله ۴: میزان فعالیت ضدباکتریایی بستر

$$A = (\lg C_t - \lg C_0) - (\lg T_t - \lg T_0) = F - G$$

در این معادله A میزان فعالیت ضدباکتریایی بستر است.

## نتایج

جدول ۱ نتایج ارزیابی خصوصیات ضدباکتریایی بسترها با استفاده از روش انتشار دیسک را نشان می‌دهد. شکل ۱ نواحی توقف رشد باکتری اشیرشیاکلای در اطراف دیسک‌های بسترهای نانوفیبری بررسی‌شده را نمایش می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از عدم ایجاد ناحیه توقف رشد باکتری قابل ملاحظه در اطراف دیسک‌های مربوط به بسترهای پلی اورتان خالص و پلی اورتان- کیتوزان با نسبت وزنی ۹۰ به ۱۰ بود. البته در زیر و اطراف دیسک بستر پلی اورتان- کیتوزان با نسبت وزنی ۹۰ به ۱۰ برخلاف دیسک پلی اورتان خالص توقف رشد باکتری هر چند بسیار جزئی مشاهده شد. درحالی‌که برای بسترهای نانوفیبری پلی اورتان-کیتوزان با نسبت وزنی ۸۰ به ۲۰ و ۷۰ به ۳۰ ناحیه توقف رشدی به طول ۰/۱۴ و ۰/۲۶ میلی‌متر مشاهد شد.

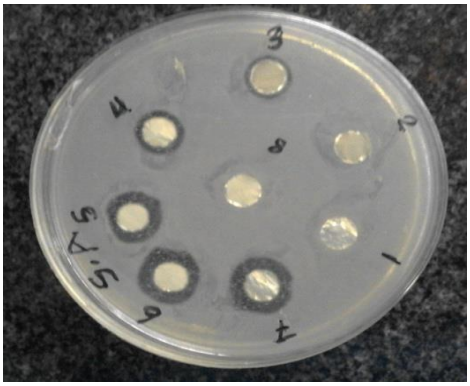
ایجاد ناحیه توقف رشد در زیر دیسک بدون ایجاد ناحیه توقف رشد در اطراف دیسک نیز طبق معیارهای استاندارد ISO 20465 نشان‌دهنده خاصیت ضدباکتریایی مناسب نمونه است (۱۹). نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۲ حاکی از این بود که طول ناحیه توقف رشد باکتری ایجادشده توسط نمونه با نسبت

**جدول ۱:** نتایج ارزیابی خصوصیات ضدباکتریایی بسترها با استفاده از روش انتشار دیسک و شمارش کلنی

| ردیف | نوع بستر | روش تولید | ترکیب پلیمری (درصد وزنی) | میانگین طول ناحیه توقف رشد (میلی‌متر) | میانگین مقدار فعالیت ضدباکتریایی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | پلی اورتان | الکتروریسی | ۱۰۰ | صفر | صفر |
| ۲ | | الکتروریسی هم‌زمان | ۱۰-۹۰ | ۰/۰۵ ±۰/۰۳ | ۱/۳۷ ±۰/۳۴ |
| ۳ | پلی اورتان-کیتوزان | الکتروریسی هم‌زمان | ۲۰-۸۰ | ۰/۱۴ ±۰/۷۵ | ۱/۹۴ ±۰/۱۸ |
| ۴ | | الکتروریسی هم‌زمان | ۳۰-۷۰ | ۰/۲۶ ±۰/۹۴ | ۲/۲۵ ±۰/۱۲ |

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]



**شکل ۱:** ناحیه توقف رشد باکتری اشیرشیاکلای در اطراف دیسک‌های بسترهای نانوفیبری با ترکیبات پلیمری مختلف

**جدول ۲:** مقایسه میانگین طول ناحیه توقف رشد باکتری برای بسترهای نانوفیبری مختلف

| نوع بستر (i) | نوع بستر(j) | طول ناحیه توقف رشد باکتری (میلی‌متر) | | مقدار فعالیت ضدباکتریایی | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | اختلاف میانگین (i-j) | سطح معنی‌داری | اختلاف میانگین | سطح معنی‌داری* |
| پلی اورتان خالص | پلی اورتان-کیتوزان (۹۰ به ۱۰) | -۰/۰۵۳ | ۰/۷۸۱ | -۱/۳۷ | ≤۰/۰۰۱ |
| | پلی اورتان-کیتوزان (۸۰ به ۲۰) | -۰/۱۴ | ۰/۱۲۲ | -۱/۹۵ | ≤۰/۰۰۱ |
| | پلی اورتان-کیتوزان (۷۰ به ۳۰) | -۰/۲۶ | ۰/۰۰۶ | -۲/۲۵ | ≤۰/۰۰۱ |
| پلی اورتان-کیتوزان (۹۰ به ۱۰) | پلی اورتان-کیتوزان (۸۰ به ۲۰) | -۰/۰۹ | ۰/۴۲۶ | -۰/۵۷ | ۰/۰۵۲ |
| | پلی اورتان-کیتوزان (۷۰ به ۳۰) | -۰/۲۱ | ۰/۰۲۲ | -۰/۸۸ | ۰/۰۰۵ |
| پلی اورتان-کیتوزان (۸۰ به ۲۰) | پلی اورتان-کیتوزان (۷۰ به ۳۰) | -۰/۱۲ | ۰/۲۱۷ | -۰/۳۰ | ۰/۳۸۸ |

*آزمون تحلیل واریانس

پلی اورتان-کیتوزان (۷۰ به ۳۰) به‌طور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های پلی اورتان خالص و پلی اورتان-کیتوزان (۹۰ به ۱۰) است. اگرچه میانگین طول ناحیه توقف رشد در اطراف دیسک‌های پلی اورتان-کیتوزان (۹۰ به ۱۰)، پلی اورتان-کیتوزان (۸۰ به ۲۰) تفاوت معنی‌داری با میانگین طول ناحیه توقف رشد در اطراف دیسک پلی اورتان خالص نداشت، بر اساس معیارهای استاندارد ISO 20465 خاصیت ضدباکتریایی آن‌ها مناسب ارزیابی می‌شود.

### *نتایج ارزیابی خصوصیات ضدباکتریایی بسترها با استفاده از روش شمارش کلنی*

جدول ۱ و ۲ به ترتیب نتایج ارزیابی خصوصیات ضدباکتریایی بسترها با استفاده از روش شمارش کلنی و مقایسه آماری آن‌ها را با استفاده از آزمون تحلیل واریانس نشان می‌دهد. فاکتور رشد، لگاریتم تعداد باکتری در محیط کشت حاوی ۰/۰۲ گرم از نمونه بستر نانوفیبری پس از ۱۸ ساعت مواجهه منهای لگاریتم تعداد باکتری اولیه است که این مقدار برای بستر پلی اورتان خالص بالاترین مقدار یعنی ۵/۶۸۱ به دست آمد. به عبارت دیگر، تعداد باکتری در نمونه حاوی بستر پلی اورتان در ۱۸ ساعت از $۱/۵\times۱۰^{۸}$ کلنی در میلی‌لیتر به $۷/۲\times۱۰^{۱۳}$ کلنی در میلی‌لیتر افزایش یافته است که بیشترین میزان رشد باکتری در میان بسترهای بررسی‌شده بوده است. کمترین میزان رشد باکتری یا بیشترین میزان فعالیت ضدباکتریایی (فعالیت ضدباکتریایی هر بستر عبارت است از: فاکتور رشد نمونه کنترل (پلی اورتان) منهای فاکتور رشد بستر مدنظر) مربوط به بستر پلی اورتان و کیتوزان با نسبت ۷۰ به ۳۰ بود.

نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۲ نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین میانگین مقدار فعالیت ضدباکتریایی تمامی نمونه‌ها با پلی اورتان خالص و همچنین با یکدیگر وجود دارد که نشان‌دهنده تأثیر اضافه کردن کیتوزان در میزان فعالیت ضدباکتریایی بسترهای ساخته‌شده است. البته بر اساس معیار استاندارد ISO 20743 بسترهایی که میزان عدد فعالیت ضدباکتریایی آن‌ها بین ۲ تا ۳ باشد، به‌عنوان مواد دارای خاصیت ضدباکتریایی معنی‌دار و بسترهایی که مقدار فعالیت ضدباکتریایی آن‌ها بیشتر از ۳ باشد، به‌عنوان مواد دارای فعالیت ضدباکتریایی قوی محسوب می‌شوند [۲۰]. بر اساس نتایج کسب‌شده بسترهای پلی اورتان-کیتوزان با نسبت وزنی ۷۰ به ۳۰ خاصیت ضدباکتریایی معنی‌دار دارد. در بقیه بسترها نیز میزان فعالیت

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]

ضدباکتریایی در مقایسه با نمونه کنترل (پلی اورتان) بیشتر بود.

## بحث

نتایج مطالعه حاضر نشان داد بسترهای نانوفیبری پلی اورتان خالص خصوصیات ضدباکتریایی ندارند. همچنین مشاهده شد که با اضافه کردن لایه‌های نانوفیبرهای کیتوزان به بستر پلی اورتان به‌تدریج در اطراف دیسک‌های بررسی‌شده ناحیه توقف رشد باکتری ایجاد می‌شود که نشان‌دهنده خصوصیات ضدباکتریایی این بسترهاست. همچنین نتایج روش شمارش کلنی در جدول ۱ نشان داد اگرچه عدد فعالیت ضدباکتریایی بسترهای پلی اورتان-کیتوزان با نسبت ۹۰ به ۱۰ و ۸۰ به ۲۰ بیشتر از پلی اورتان خالص بود، بر اساس معیارهای استاندارد ISO 20743 (بر اساس معیارهای این استاندارد در شرایطی یک بستر دارای فعالیت ضدباکتریایی معنی دار است که عدد فعالیت ضدباکتریایی آن بیشتر از ۲ باشد) معنی‌دار نیست. از طرفی دیگر، برای بستر با نسبت پلی اورتان به کیتوزان ۷۰ به ۳۰ در هر دو روش تست نتایج مطلوبی به دست آمد، به‌طوری‌که در روش انتشار دیسک میانگین ناحیه توقف رشد ۰/۲۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و در روش شمارش کلنی نیز عدد فعالیت ضدباکتریایی ۲/۲۲۵ به دست آمد که نشان‌دهنده معنی‌دار بودن فعالیت ضدباکتریایی این بستر بود؛ بنابراین، نسبت ۷۰ به ۳۰ پلی اورتان به کیتوزان به‌عنوان بستر منتخب از نظر خصوصیات ضدباکتریایی انتخاب می‌شود. این یافته‌ها در انطباق با نتایج مطالعات دیگر نیز بود، به‌طوری‌که Zeng و همکاران در مطالعه‌ای به‌منظور ساخت پوشش‌های زخم دارای خاصیت ضدباکتریایی از ترکیب نانوفیبرهای ابریشم با کیتوزان استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد با افزایش نسبت کیتوزان به ابریشم خصوصیات ضدباکتریایی بسترها در برابر باکتری‌های گرم منفی اشیرشیاکلای ساخته‌شده افزایش می‌یابد [۲۱].

ابراهیم و همکاران نیز در مطالعه خود روی خصوصیات ضدباکتریایی نانوفیبرهای ترکیبی پلی وینیل الکل و کیتوزان به این نتیجه رسیدند که با افزایش نسبت کیتوزان به پلی وینیل الکل طول ناحیه توقف رشد باکتری‌های اشیرشیاکلای، استافیلوکوک و باسیلوس سوبتیلیس افزایش می‌یابد [۲۲]. در برخی مطالعات دیگر نیز مقاومت باکتریایی در برابر بسترهای نانوفیبری حاوی کیتوزان گزارش شده ؛ برای مثال، در مطالعه فریدی و همکاران روی بسترهای نانوفیبری کیتوزان/پلی اتیلن اکساید ناحیه توقف رشد باکتری در اطراف دیسک‌های نانوفیبرهای کیتوزان مشاهده نشد، درحالی‌که نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه آن‌ها نشان داد با اضافه کردن نیترات نقره در حضور عصاره گیاه اکالیپتوس به‌عنوان عامل احیاکننده نانوذرات نقره، ناحیه توقف رشد قابل توجهی در برابر باکتری‌های اشیرشیاکلای و استافیلوکوک اورئوس به وجود می‌آید [۲۳].

اگرچه فعالیت ضدمیکروبی کیتوزان در برابر باکتری‌ها، قارچ‌ها و کپک‌های میله‌ای اثبات شده است [۲۴،۲۵]، تفاوت‌هایی در خصوص میزان خاصیت ضدباکتریایی بسترهای حاوی کیتوزان وجود دارد. تغییرات در خصوصیت ضدباکتریایی کیتوزان ممکن است ناشی از چندین عامل مختلف باشد؛ ازجمله: ۱) عوامل میکروبی که به گونه‌های میکروارگانیسم استفاده‌شده و سن سلول بستگی دارند، ۲) خصوصیات ذاتی کیتوزان شامل چگالی سطحی بار مثبت، وزن مولکولی کیتوزان، غلظت کیتوزان، خصوصیات آب‌دوستی و آب‌گریزی و ظرفیت کیلیت‌کنندگی آن، ۳) میزان حلالیت فیزیکی کیتوزان استفاده‌شده، ۴) عوامل محیطی شامل قدرت یونی بستر، pH، درجه حرارت و زمان واکنش‌پذیری که ممکن است بسته به شرایط مطالعات با یکدیگر متفاوت باشد و مقایسه نتایج مطالعات مختلف را دشوار کند [۲۶].

## نتیجه‌گیری

بررسی خصوصیات ضدباکتریایی بسترهای نانوفیبری ساخته‌شده نشان داد می‌توان با اضافه کردن نانوفیبرهای کیتوزان به‌عنوان مواد دارای خاصیت ضدمیکروبی به بسترهای نانوفیبری پلی اورتان خاصیت ضدباکتریایی در آن‌ها ایجاد کرد تا با استفاده از این بسترهای هیبریدی علاوه بر بهره‌گیری از خصوصیات ویژه بسترهای پلی اورتان بتوان از آن‌ها برای مقابله با میکروارگانیسم‌ها و باکتری‌های موجود در جریان هوا استفاده کرد.

## تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران به کد ۹۴-۰۱-۲۷-۲۸۵۵۳ است که با حمایت این دانشگاه اجرا شده است. همچنین نویسندگان از مساعدت مالی و همکاری انستیتو ایمنی محصولات نانو کشور کره جنوبی در اجرای این پروژه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

## تضاد منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که در پژوهش حاضر هیچ تضاد منافعی بین نویسندگان و سایر سازمان‌ها وجود ندارد.

## ملاحظات اخلاقی

در پژوهش حاضر، کلیه ملاحظات اخلاقی مورد تایید دانشگاه علوم پزشکی تهران رعایت شده است.

## سهم نویسندگان

فریده گل بابایی: طراحی مطالعه، نگارش پروپوزال طرح، IL Je Yu: روش شناسی طرح، مجید حبیبی محرز: طراحی مطالعه، انجام آزمایشات، نگارش مقاله، تجزیه و تحلیل داده‌ها

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]

## حمایت مالی

مقاله حاضر بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران به کد ۹۴-۰۱-۲۷-۲۸۵۵۳ است که با حمایت این دانشگاه اجرا شده است.

## REFERENCES

1. Yoon K, Hsiao BS, Chu B. Functional nanofibers for environmental applications. *J Mater Chem*. 2008; **18**(44):5326-34. DOI: 10.1039/B804128H
2. Bhardwaj N, Kundu SC. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnol Adv*. 2010;**28**(3):325-47. PMID: 20100560 DOI: 10.1016/j.biotechadv.2010.01.004.
3. Chen L. Next generation of electrospun textiles for chemical and biological protection and air filtration. Massachusetts Inst of Tech Cambridge. 2009.
4. Desai K, Kit K, Li J, Davidson PM, Zivanovic S, Meyer H, et al. Nanofibrous chitosan non-wovens for filtration applications. *Polymer*. 2009;**50**(15):3661-9. DOI:10.1016/j.polymer.2009.05.058.
5. Ramaseshan R, Sundarrajan S, Liu Y, Barhate R, Lala NL, Ramakrishna S, et al. Functionalized polymer nanofibre membranes for protection from chemical warfare stimulants. *Nanotechnology*. 2006;**17**(12):2947-2953. DOI: 10.1088/0957-4484/17/12/021.
6. Hong KH, Sun G. Antimicrobial and chemical detoxifying functions of cotton fabrics containing different benzophenone derivatives. *Carbohydr Polym*. 2008;**71**(4):598-605.DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.07.004.
7. Zhang R, Liu C, Hsu P-C, Zhang C, Liu N, Zhang J, et al. Nanofiber air filters with high-temperature stability for efficient PM2. 5 removal from the pollution sources. *Nano lett*. 2016;**16**(6):3642-9. PMID: 27167892 DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b00771.
8. Matulevicius J, Kliucininkas L, Prasauskas T, Buivydiene D, Martuzevicius D. The comparative study of aerosol filtration by electrospun polyamide, polyvinyl acetate, polyacrylonitrile and cellulose acetate nanofiber media. *J Aerosol Sci*. 2016;**92**:27-37. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2015.10.006
9. Gu GQ, Han CB, Lu CX, He C, Jiang T, Gao ZL, et al. Triboelectric nanogenerator enhanced nanofiber air filters for efficient particulate matter removal. *ACS nano*. 2017;**11**(6): 6211-7. PMID: 28489941 DOI: 10.1021/acsnano.7b02321
10. Zhu M, Han J, Wang F, Shao W, Xiong R, Zhang Q, et al. Electrospun nanofibers membranes for effective air filtration. *Macromol Mater Eng*. 2017;**302**(1):1600353. DOI: 10.1002/mame.201600353
11. Habibi Mohraz M, Golbabaei F, Je Yu I, Sedigh Zadeh A, Mansournia MA, Farhang Dehghan S, et al. Investigating effective parameters on the nanoparticles air filtration using Polyurethane nanofiber mats. *Saf Health Work*. 2018;**8**(1):29-42.
12. Yoon KY ,Byeon JH, Park CW, Hwang J. Antimicrobial effect of silver particles on bacterial contamination of activated carbon fibers. *Environ Sci Technol*. 2008;**42**(4):1251-5. PMID: 18351101 DOI: 10.1021/es0720199
13. Verdenelli M, Cecchini C, Orpianesi C, Dadea G, Cresci A. Efficacy of antimicrobial filter treatments on microbial colonization of air panel filters. *J Appl Microbiol*. 2003;**94**(1):9-15 PMID: 12492918 DOI: 10.1046/j.1365-2672.2003.01820.x
14. Byeon JH, Yoon KY, Park JH, Hwang J. Characteristics of electroless copper-deposited activated carbon fibers for antibacterial action and adsorption–desorption of volatile organic compounds. *Carbon*. 2007;**45**(11):2313-6. DOI: 10.1016/j.carbon.2007.06.026
15 Luksamijarulkul P, Aiempradit N, Vatanasomboon P. Microbial contamination on used surgical masks among hospital personnel and microbial air quality in their working wards: A hospital in Bangkok. Oman Med J. 2014;**29**(5):346. DOI:10.5001/omj.2014.92
16 Eby DM, Luckarift HR, Johnson GR. Hybrid antimicrobial enzyme and silver nanoparticle coatings for medical instruments. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2009;**1**(7):1553-60. PMID: 20355960 DOI: 10.1021/am9002155
17 Spasova M, Manolova N, Paneva D, Rashkov I. Preparation of chitosan-containing nanofibres by electrospinning of chitosan/poly (ethylene oxide) blend solutions. e-Polymers. 2004;**4**(1):624-35 DOI: 10.1515/epoly.2004.4.1.624
18 Habibi Mohraz M, Golbabaei F, Je Yu I, Ghahri A. Optimization of the electrospinning process of polyurethane nanofibers and their filtration performance for use in respiratory protection mask filters. *Mil Med*. 2019;**21**(2):195-204.
19 ISO 20645.Determination of Antibacterial Activity: Agar Difusion Plate Test. ISO. 2004.
20 ISO 20743:Textiles Determination of antibacterial activity of textile products. ISO.2013.
21 Cai Z-x, Mo X-m, Zhang K-h, Fan L-p, Yin A-l, He C-l, et al. Fabrication of chitosan/silk fibroin composite nanofibers for wound-dressing applications. *Int J Mol Sci*. 2010;**11**(9):3529-39 DOI: 10.3390/ijms11093529
22 Ibrahim HM, El-Zairy EM. Carboxymethylchitosan nanofibers containing silver nanoparticles: Preparation, Characterization and Antibacterial activity. *J App Pharm Sci*. 2016;**6**(07):043-8. DOI:10.7324/JAPS.2016.60706
23 Arvand M, Mirzaei E, Derakhshan MA, Kharrazi S, Sadroddiny E, Babapour M, et al. Fabrication of antibacterial silver nanoparticle- modified chitosan fibers using Eucalyptus extract as a reducing agent. *J Appl Polym Sci*. 2015;**132**(25).DOI: 10.1002/app.42133
24 No HK, Park NY, Lee SH, Meyers SP. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *Int J Food Microbiol*. 2002;**74**(1-2):65-72. PMID: 11929171 DOI: 10.1016/S0168-1605(01)00717-6
25 Dai T, Tanaka M, Huang Y-Y, Hamblin MR. Chitosan preparations for wounds and burns: antimicrobial and wound-healing effects. *Expert Rev Anti*. 2011;**9**(7):857-79. PMID: 21810057 DOI: 10.1586/eri.11.59
26 Kong M, Chen XG, Xing K, Park HJ. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: a state of the art review. *Int J Food Microbiol*. 2010;**144**(1):51-63. PMID: 20951455 DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.012

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.52547/johe.8.3.67 ]