METALLURGICAL ENGINEERING
The Journal of Iranian Metallurgical and Materials Engineering Society

Evaluation of the Performance of Green-Synthesized Silver Nanoparticles Using Yarrow Extract in a Sprayable Sodium Alginate Wound Dressing

***Hanieh sadat Mirjafari[1], Kimia Fathi[2], Shima Arian kolour[1], Hamid Khorsand[3]**

1- MSc Student, Materials Science and Metallurgical Engineering, University of Tehran
2- BSc Student, Materials Science and Metallurgical Engineering, K. N. Toosi University of Technology
3- Professor, Materials Science and Metallurgical Engineering, Faculty of Materials Science and Engineering, K. N. Toosi University of Technology

Citation: Mirjafari H.S, Fathi K, Arian kolour S, Khorsand H. Evaluation of the Performance of Green-Synthesized Silver Nanoparticles Using Yarrow Extract in a Sprayable Sodium Alginate Wound Dressing, Metallurgical Engineering, 2025: 28(3):147 -153 https://doi.org/10.22076/me.2026.2107320.1435

https://doi.org/10.22076/me.2026.2107320.1435

ABSTRACT

In this study, a sprayable wound dressing based on sodium alginate hydrogel was designed and loaded with silver nanoparticles green-synthesized using yarrow extract. The nanoparticles were synthesized using a biocompatible method, and their formation was confirmed by a characteristic absorption peak at 410 nm and a uniform spherical morphology, with particle sizes ranging from 20 to 80 nm. Antioxidant testing of the yarrow extract showed that, at a concentration of 25% v/v, its radical scavenging activity (RSA) was 62.77%, with an EC_{50} of approximately 6.5% v/v, indicating a strong capacity to neutralize reactive oxygen species. The prepared wound dressings exhibited high moisture absorption (approximately 910%), gradual degradation over two weeks, and controlled silver release of up to approximately 90% over 120 hours. In antibacterial tests, the sample containing 25% extract and 20–40 mg of silver showed the greatest inhibitory effect, with inhibition zones of 20 mm against *S. aureus* and 17 mm against *E. coli*. These results demonstrate the successful design of a biocompatible system with antibacterial and antioxidant properties and controlled release, with potential for use as an effective sprayable wound dressing for treating infected wounds and burns.

Keywords: Silver nanoparticles, green synthesis, yarrow, sprayable wound dressing, sodium alginate, burn wound dressing.

Received: January 30, 2025 | Accepted: October 11, 2025

* ***Corresponding Author:***
Hanieh sadat Mirjafari, MSc
Address: School of Metallurgy and Materials Engineering, College of Engineering, University of Tehran
Tel: +98 (9027118981)
E-mail: h.miri8981@gmail.com

بررسی عملکرد نانوذرات نقره سنتز سبز شده با عصاره بومادران در زخم‌بند اسپری‌شونده آلژینات سدیم

*هانیه سادات میرجعفری مردمکده[۱]، کیمیا فتحی[۲]، شیما آریان[۱]، حمید خرسند[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استاد، مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

در این پژوهش، زخم‌پوش اسپری‌شونده‌ای بر پایه هیدروژل آلژینات سدیم طراحی شد که حاوی نانوذرات نقره سنتز سبز شده با استفاده از عصاره گیاه بومادران بود. سنتز نانوذرات با روش زیست‌سازگار انجام و تشکیل آن‌ها با پیک جذب مشخص در ۴۱۰ نانومتر و مورفولوژی کروی یکنواخت با ابعاد ۲۰ تا ۸۰ نانومتر تأیید شد. آزمون فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره بومادران نشان داد که در غلظت ۲۵٪ v/v میزان مهار رادیکال‌های آزاد (RSA) برابر ۶۲٫۷۷٪ و مقدار EC_{50} حدود ۶٫۵ v/v است که بیانگر توان بالا در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. زخم‌پوش‌های تهیه‌شده جذب رطوبت بالایی (حدود ۹۱۰٪)، تخریب‌پذیری تدریجی در دو هفته و رهایش کنترل‌شده نقره تا حدود ۹۰٪ در ۱۲۰ ساعت را نشان دادند. در آزمون آنتی‌باکتریال، نمونه حاوی ۲۵٪ عصاره و ۲۰–۴۰ میلی‌گرم نقره بیشترین اثر مهاری را با قطر هاله ۲۰ میلی‌متر برای *S. aureus* و ۱۷ میلی‌متر برای *E. coli* داشت. نتایج بیانگر موفقیت کامل در طراحی سامانه‌ای زیست‌سازگار با خواص ضدباکتری، آنتی‌اکسیدانی و رهایش کنترل‌شده است که قابلیت کاربرد به‌عنوان زخم‌پوش اسپری‌شونده مؤثر در درمان زخم‌های عفونی و سوختگی را دارد.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات نقره، سنتز سبز، گیاه بومادران، پانسمان اسپری شونده، سدیم آلژینات، زخم سوختگی.

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱ | پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

مقدمه

زخم‌ها، به‌ویژه زخم‌های سوختگی و عفونی، چالشی جدی در مراقبت‌های پزشکی هستند و در بسیاری موارد به‌دلیل عفونت باکتریایی روند ترمیم بافت مختل می‌شود. یکی از رویکردهای نوین در این زمینه، استفاده از زخم‌پوش‌های هیدروژلی هوشمند است که علاوه بر ایجاد محیط مرطوب و خنک، خاصیت ضدباکتریایی و ترمیمی نیز داشته باشند [۱]. آلژینات سدیم یکی از پرکاربردترین پلیمرهای طبیعی در این زمینه است که به دلیل سازگاری زیستی، تورم بالا و تشکیل ژل در حضور یون‌های کلسیم، به‌طور گسترده در زخم‌پوش‌ها استفاده می‌شود. با این حال، به‌تنهایی فاقد خاصیت ضدمیکروبی است [۲]. در مقابل، نانوذرات نقره (AgNPs) دارای اثر ضدباکتریایی قوی و طیف وسیعی هستند، اما روش‌های شیمیایی مرسوم سنتز آنها معمولاً خطرات زیست‌محیطی و باقیمانده‌های سمی دارند. به همین دلیل، استفاده از روش سنتز سبز با عصاره‌های گیاهی به‌عنوان جایگزین ایمن و سازگار با محیط زیست مطرح شده است[۲].

استفاده از گیاهان دارویی در درمان زخم‌ها و سوختگی‌ها سابقه‌ای طولانی در طب سنتی دارد و امروزه نیز توجه ویژه‌ای در طب نوین به خود جلب کرده است. این گیاهان اغلب حاوی ترکیبات فعالی مانند فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، ترپنوئیدها و پلی‌فنول‌ها هستند که خواص ضدباکتری، ضدالتهاب، آنتی‌اکسیدانی و بازسازی‌کننده دارند. به همین دلیل، بسیاری از فرآورده‌های موضعی طبیعی یا دارویی مدرن از عصاره گیاهان دارویی برای تسریع ترمیم زخم، کاهش اسکار و بهبود عملکرد پوست

* نویسنده مسئول:
مهندس هانیه سادات میرجعفری مردمکده
نشانی: دانشکده مهندسی مواد و متالورژی دانشکدگان فنی دانشگاه تهران
تلفن: (۹۰۲۷۱۱۸۹۸۱) ۹۸+
پست الکترونیکی: h.miri8981@gmail.com

استفاده می‌کنند. درمان با گیاهان دارویی نه‌تنها ایمن‌تر و کم‌عارضه‌تر از داروهای شیمیایی است، بلکه در بسیاری از موارد، اثربخشی قابل‌توجهی در تسریع روند بهبود زخم دارد در پژوهش‌های گوناگون از انواع گیاهان نظیر زرچوبه، گزنه، بابونه، گل همیشه بهار و ... برای درمان و التیام زخم‌ها استفاده شده است[۳]. گیاه بومادران (Achillea millefolium) از گیاهان دارویی سرشار از فلاونوئیدها، فنول‌ها و ترپن‌هاست که علاوه بر اثرات ضدالتهاب و آنتی‌اکسیدانی، می‌توانند به‌عنوان عامل کاهنده و پایدارکننده در سنتز نانوذرات فلزی عمل کند. ترکیب نقره سنتز سبز با آلژینات می‌تواند سامانه‌ای نوآورانه و مؤثر برای ترمیم زخم ایجاد کند[۳, ۴].

روش پژوهش

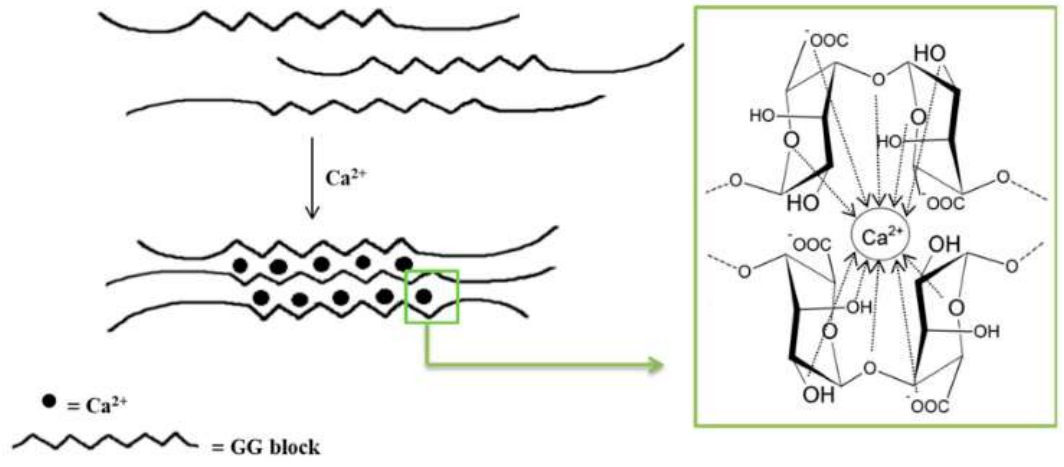
در این پژوهش از آلژینات سدیم Merck آلمان، کلرید کلسیم، نیترات نقره و سدیم هیدروکسید (قطران شیمی، ایران) به‌عنوان مواد اصلی استفاده شد. گیاه دارویی بومادران از منطقه کوهستانی ارومیه جمع‌آوری گردید و پس از خشک‌سازی در سایه و آسیا، به‌عنوان منبع طبیعی ترکیبات زیست‌فعال برای سنتز سبز نانوذرات نقره به‌کار رفت.

برای تهیه عصاره آبی، ۴ گرم پودر خشک‌شده گل و ساقه بومادران در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حرارت داده شد. فرآیند عصاره‌گیری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت حدود ۲۰ دقیقه تحت هم‌زدن مغناطیسی انجام گرفت. سپس محلول حاصل صاف شده و در دمای محیط به‌مدت ۲۴ ساعت باقی ماند تا ترکیبات مؤثره کاملاً استخراج شوند. عصاره نهایی برای حذف ذرات درشت صاف شده و تا زمان مصرف در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید. رنگ زرد مایل به سبز عصاره بیانگر وجود ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی بود که نقش عامل کاهنده و پایدارکننده را در سنتز نانوذرات نقره ایفا می‌کنند[۵].

برای سنتز سبز نانوذرات نقره، محلول ۵ میلی‌مولار نیترات نقره در آب مقطر تهیه شد و به نسبت حجمی ۱:۱ با عصاره آبی بومادران مخلوط گردید. مقدار کمی محلول سدیم هیدروکسید ۱ نرمال برای تنظیم PH به حدود ۹ اضافه شد تا شرایط قلیایی لازم برای احیای یون‌های نقره فراهم شود. مخلوط در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت حرارت داده شد[۴]. تغییر رنگ محلول از زرد روشن به قهوه‌ای تیره، نشانه تشکیل نانوذرات نقره بود. محلول نهایی جهت پایدارسازی به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. نانوذرات حاصل پس از شست‌وشو با آب مقطر و جداسازی ، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای مراحل بعدی ذخیره گردید[۶].



شکل ۱: روند تغییر رنگ محلول حین سنتز نانو ذرات.



شکل ۲: شماتیک ساختار جعبه تخم مرغی[۸].

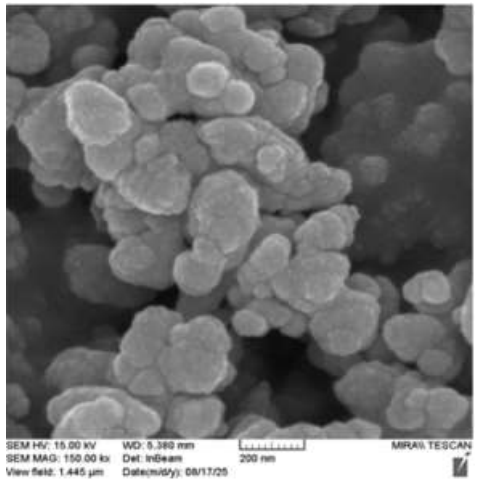
در ادامه برای ساخت سامانه زخم‌پوش، ابتدا محلول آلژینات سدیم ۲٫۵ ٪(w/v) در آب مقطر استریل تهیه و به‌مدت یک شب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا هیدراتاسیون کامل انجام گیرد. مقادیر مختلفی از عصاره بومادران (۵ تا ۳۵ میلی‌لیتر) و نانوذرات نقره (۱۰ تا ۴۰ میلی‌گرم) به محلول پایه افزوده شد تا نمونه‌هایی با نسبت‌های متفاوت برای آزمون‌ها حاصل گردد [۷]. در زمان مصرف، محلول به‌صورت اسپری روی بستر اعمال و بلافاصله محلول کلرید کلسیم ۳ ٪(w/v) اسپری شد تا با Ca^{2+} پیوند برقرار کرده و شبکه سه‌بعدی آلژینات به فرم «جعبه تخم‌مرغی» ایجاد شود. این شبکه موجب افزایش پایداری مکانیکی، چسبندگی و کنترل رهایش نقره در محل زخم می‌گردد. شماتیک این ساختار در شکل ۲ آورده شده است[۸].

برای تأیید سنتز نانوذرات و بررسی ساختار سطح، از طیف‌سنجی UV–Vis در بازه ۳۰۰–۷۰۰ نانومتر و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) استفاده شد. عملکرد زخم‌پوش‌ها با آزمون‌های تورم، تخریب‌پذیری، رهایش نقره و فعالیت ضدباکتریایی در برابر *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* مورد بررسی قرار گرفت. آزمون تورم و تخریب در محیط شبیه‌سازی‌شده (PBS (pH = 7.4, 37 °C و آزمون رهایش با طیف‌سنجی در طول‌موج ۴۱۰ نانومتر انجام شد. میزان خاصیت انتی‌باکتریالی با اندازه‌گیری قطر هاله عدم رشد تعیین گردید[۹, ۱۰].

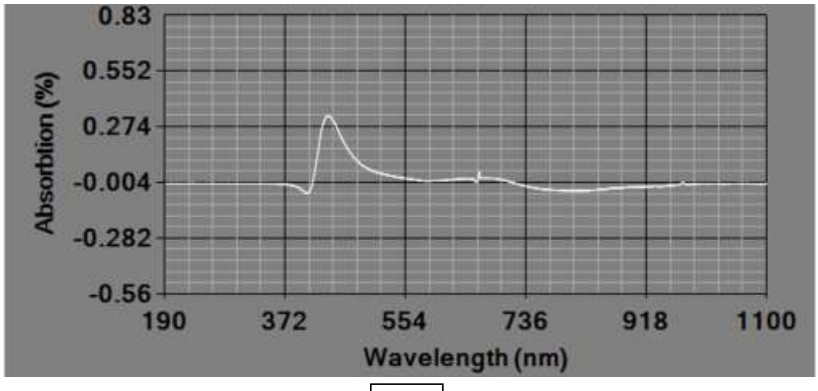
نتایج، بحث و نتیجه‌گیری

طیف جذبی نانوذرات نقره سنتزشده با عصاره آبی بومادران در محدوده ۳۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر ثبت شد. حضور یک قله جذبی مشخص در طول‌موج ۴۱۰ نانومتر تأییدکننده تشکیل نانوذرات نقره و بروز پدیده‌ی پلاسمون سطحی موضعی (LSPR) بود. مشاهده‌ی این پیک در بازه‌ی ۴۰۰ تا ۴۵۰ نانومتر بیانگر پایداری و یکنواختی ذرات در محلول است. شدت بالاتر پیک، نشانه‌ی افزایش غلظت نانوذرات و شکل باریک‌تر آن بیانگر توزیع اندازه یکنواخت‌تر است.

بررسی مورفولوژی با میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) نشان داد که ذرات حاصل، عمدتاً دارای شکل کروی تا شبه‌کروی با پراکندگی یکنواخت در سطح نمونه هستند. اندازه‌ی میانگین ذرات در محدوده‌ی ۲۰ تا ۸۰ نانومتر تخمین زده شد.

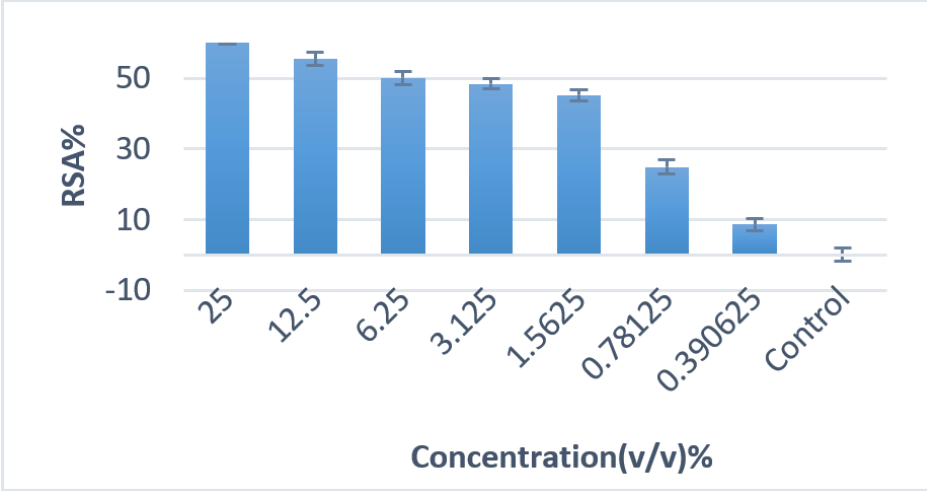


(الف)



(ب)

شکل ۳: الف) تصویر FE-SEM نانوذرات سنتز شده در ۲۰۰ نانومتر ب) پیک جذب نانوذرات نقره سنتز شده در عصاره.



شکل ۴: درصد فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد (RSA%) در غلظت‌های مختلف نمونه (v/v%).

گیاه بومادران سرشار از ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی است که نقش مؤثری در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد دارند. برای بررسی این توان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره با استفاده از آزمون مهار رادیکال آزاد DPPH به صورت درصد RSA% در غلظت‌های مختلف ارزیابی شد.

نتایج نشان داد که با افزایش غلظت عصاره، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت؛ به‌طوری که در غلظت ۲۵٪ v/v میزان حذف رادیکال‌ها به ۶۲٫۷۷٪ رسید، در حالی‌که در کمترین غلظت (۰٫۳۹٪) مقدار آن تنها ۸٫۵۸٪ بود. پایداری داده‌ها در غلظت‌های بالا، صحت نتایج و تکرارپذیری مطلوب آزمون را نشان می‌دهد. این عملکرد را می‌توان به وجود ترکیبات پلی‌فنولی و فلاونوئیدی نسبت داد که به‌عنوان دهنده‌ی الکترون با رادیکال‌های آزاد واکنش داده و آن‌ها را خنثی می‌کنند.

زخم‌پوش نانوکامپوزیتی در تماس با محیط آبی، تورم سریعی از خود نشان داد؛ به‌طوری‌که در ۱۵ دقیقه نخست، افزایش وزن حدود ۲۰۰٪ مشاهده شد و پس از دو ساعت به ۸۰۰٪ رسید. در زمان ۸ ساعت، تورم به حداکثر ۹۱۰٪ نزدیک شد و سپس به حالت تعادل رسید.این رفتار ناشی از ساختار متخلخل آلژینات و وجود گروه‌های آب‌دوست عصاره بومادران است که موجب افزایش نفوذ آب می‌شود. حضور نانوذرات نقره نیز با ایجاد پیوندهای فیزیکی در شبکه، مانع از تخریب سریع ماتریس در حالت غوطه‌وری گردید.

در آزمون تخریب، کاهش جرم نمونه در روز اول حدود ۳٪ و تا روز سوم ۸٪ بود. از روز پنجم به بعد نرخ کاهش وزن افزایش یافت و در روز هفتم به ۲۵٪ و در روز چهاردهم به حدود ۵۰٪ رسید.

این روند تدریجی به تبادل یون‌های Ca^{2+} شبکه آلژینات با یون‌های Na^{+} و فسفات موجود در محلول PBS نسبت داده می‌شود. همچنین، ترکیبات پلی‌فنولی عصاره تمایل به کمپلکس‌شدن با کلسیم دارند که در طول زمان موجب تضعیف شبکه می‌شود. در مقابل، حضور نانوذرات نقره با اثرات ضدمیکروبی و برهم‌کنش‌های سطحی، سرعت تخریب را تا حدودی کاهش داد. برای بررسی رهایش AgNPs از هیدروژل، از طیف‌سنجی UV–Vis در $\lambda max = 410\ nm$ استفاده شد. الگوی رهایش شامل سه مرحله بود:

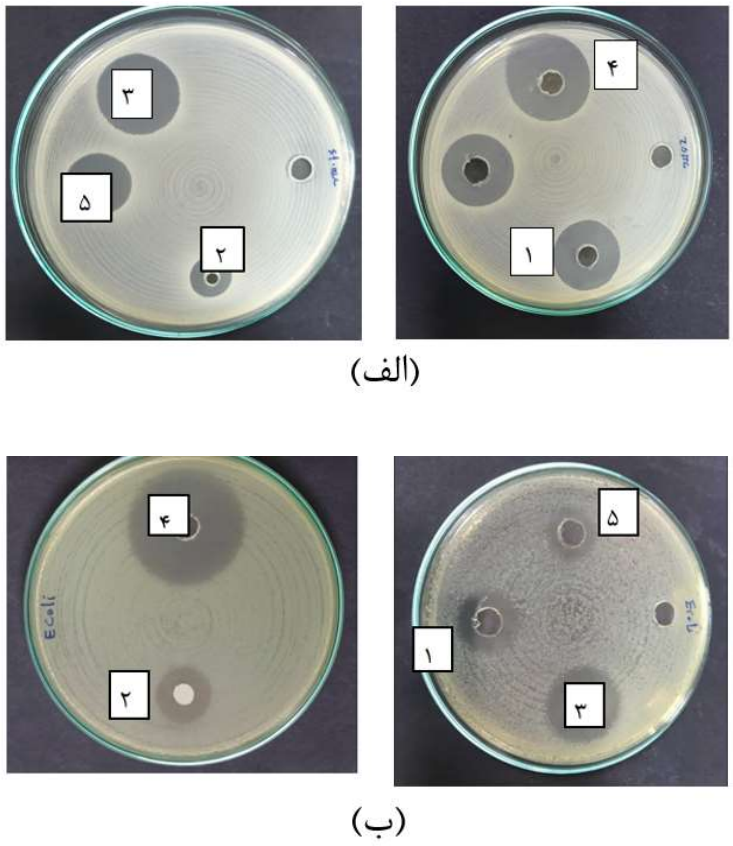
۱. فاز اولیه: در ساعت اول حدود ۱۸٪ از نقره آزاد شد.

۲. فاز نفوذکنترل: از ۱ تا ۷۲ ساعت، رهایش تدریجی تا حدود ۷۸٪ ادامه داشت.

۳. فاز تعادل: از ۷۲ تا ۱۲۰ ساعت تغییرات اندک بود و در نهایت رهایش تجمعی به ۹۲٪ رسید.

این رفتار نشان می‌دهد که زخم‌پوش می‌تواند طی ۳ روز نخست غلظت مؤثر ضدباکتری را حفظ و در روزهای بعد با آزادسازی تدریجی، اثر طولانی‌مدت داشته باشد؛ وضعیتی که از نظر بالینی با پنجره تعویض پانسمان ۳–۵ روزه سازگار است.

برای ارزیابی اثر مهاری فرمولاسیون‌های مختلف، پنج نمونه هیدروژلی با ترکیبات متفاوت از نظر میزان نانوذرات نقره *(ppm100–ppm400)* و درصد عصاره بومادران (۰٪–۳۵٪) تهیه شد. آزمون به روش چاهک آگار در برابر باکتری‌های *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli* انجام شد. تحلیل داده‌ها نشان داد که غلظت نانوذرات نقره عامل اصلی در افزایش اثر ضدباکتری است و حضور ۲۵٪ عصاره بومادران اثر هم‌افزایی قابل‌توجهی ایجاد می‌کند. این ترکیب می‌تواند ضمن کاهش مصرف فلز گران‌قیمت نقره، کارایی زیستی زخم‌پوش را بهینه نماید و از خطرات احتمالی سمیت سلولی جلوگیری کند.



شکل ۵: آزمون انتشار دیسک برای بررسی تشکیل هاله عدم رشد باکتری الف) *S. aureus* ب) *E. coli*.

جدول ۱: بررسی مهار باکتریایی درصد ترکیبات مختلف

ردیف	ترکیبات	*S. aureus* (mm)	*E. coli* (mm)
۱	۶۰ میلی‌لیتر سدیم آلژینات، ۲۰ میلی‌گرم نقره	۱۴	۱۱
۲	۶۰ میلی‌لیتر سدیم آلژینات+ ۲۵ میلی‌لیتر عصاره	۷	۴
۳	۶۰ میلی‌لیتر سدیم آلژینات+ ۲۰ میلی‌گرم نانوذره، ۲۵ میلی‌لیتر عصاره	۱۷	۱۵
۴	۶۰ میلی‌لیتر سدیم آلژینات+ ۴۰میلی‌گرم نقره، ۱۵ میلی‌لیتر عصاره	۱۹	۱۷
۵	۶۰ میلی‌لیتر سدیم آلژینات+ ۱۰میلی‌گرم نقره، ۳۵ میلی‌لیتر عصاره	۱۲	۸

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان داد که زخم‌پوش اسپری‌شونده آلژینات–نقره سنتز سبز شده با عصاره بومادران، دارای عملکرد فیزیکوشیمیایی و زیستی مطلوبی است. نانوذرات نقره تولیدشده دارای شکل کروی یکنواخت با پیک جذب در ۴۱۰ نانومتر و اندازه متوسط ۲۰ تا ۸۰ نانومتر بودند. عصاره بومادران با فعالیت آنتی‌اکسیدانی قابل‌توجه (RSA=62.77%) توانست علاوه بر سنتز سبز نقره، نقش حفاظتی در برابر استرس اکسیداتیو ایفا کند.

زخم‌پوش‌های حاصل، جذب رطوبت بالا (حدود ٪۹۱۰) و تخریب‌پذیری تدریجی طی دو هفته را نشان دادند. الگوی رهایش کنترل‌شده نقره (حدود ٪۹۰ در ۱۲۰ ساعت) موجب تداوم اثر ضدباکتریایی و کاهش سمیت احتمالی شد. آزمون‌های آنتی‌باکتریال نیز تأیید کردند که ترکیب نقره و عصاره بومادران اثر هم‌افزایی مؤثری در مهار رشد *S. aureus* و *E. coli* ایجاد می‌کند.

نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت‌های مختلف عصاره بومادران و AgNPs رفتار غیرخطی در کارایی زیستی و پایداری بستر ایجاد می‌کنند. در مورد عصاره بومادران، غلظت ۲۵٪ بهترین تعادل را ایجاد کرد[۱۱]؛ یافته‌ای که با الگوی مشاهده‌شده در سایر عصاره‌های گیاهی نیز هم‌خوان است. به‌عنوان نمونه، کالاندولا در غلظت‌های ۵–۱۰ درصد، آلوئه‌ورا در حدود ۱۰ درصد و پروپولیس حتی در دوزهای بسیار پایین ۱–۲.۵ درصد بیشترین کارایی را داشته‌اند. این مقایسه نشان می‌دهد که غلظت بهینه هر عصاره وابسته به نوع حلال، قدرت استخراج و ماهیت ترکیبات فعال آن است؛ به طوری که عصاره‌های آبی مانند بومادران معمولاً به غلظت‌های بالاتری نیاز دارند[۱۲-۱۴].

در مورد نانوذرات نقره نیز نتایج این پژوهش بهینه بودن ۲۰۰ ppm با داده‌های موجود سازگار است؛ مطالعات مختلف بازه‌های ۱۰–۲۰ ppm را برای شرایط ساده آزمایشگاهی، ۸۵–۱۷۰ ppm را برای بسترهای ویژه مانند اولوان، و حتی ppm400 را برای سامانه‌های آلژینات–ژلاتین گزارش کرده‌اند. این اختلاف نشان می‌دهد که دوز مناسب AgNPs کاملاً وابسته به نوع بستر، تخلخل، روش کراس‌لینک و الگوی رهایش یون نقره است[۱۵, ۱۶].

به‌طور کلی، مقایسه با مطالعات پیشین روشن می‌سازد که غلظت‌های بهینه نمی‌توانند از یک سامانه به سامانه دیگر تعمیم داده شوند و لازم است برای هر ترکیب گیاهی و هر نوع بستر پلیمری، آزمون‌های تجربی اختصاصی انجام شود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از جناب آقای علیزاده، مسئول آزمایشگاه مرکزی مهندسی مواد، به‌سبب فراهم‌سازی امکانات و همکاری‌های ارزشمند ایشان صمیمانه قدردانی می‌کنم. همچنین از سرکار خانم مهندس شاهرودی و جناب آقای دکتر پورمراد و دکتر اشتریان که با راهنمایی‌ها و حمایت‌های علمی خود در پیشبرد این پژوهش نقش‌آفرین بودند، سپاسگزارم. در پایان، از استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر خرسند به‌دلیل هدایت‌های علمی و همراهی همیشگی، نهایت تشکر را به عمل می‌آورم.

References

1. Fayyazbakhsh, F., M.J. Khayat, and M.C. Leu, 3D-printed gelatin-alginate hydrogel dressings for burn wound healing: A comprehensive study. International Journal of Bioprinting, 2022. 8(4): p. 618.
2. Mogoşanu, G.D. and A.M. Grumezescu, Natural and synthetic polymers for wounds and burns dressing. International journal of pharmaceutics, 2014. 463(2): p. 127–136.
3. Imchen, L., et al., A review on plant-mediated synthesis of AgNPs and their formulations for wound healing application. Molecular Biology Reports, 2025. 52(1): p. 419.
4. Baladi, N. and G. Zarei, Biosynthesis of silver nanoparticles by Achillea eriophora DC. extract. Journal of Nanoanalysis, 2021. 8(3): p. 176–183.
5. Shahzadi, S., et al., A review on green synthesis of silver nanoparticles (SNPs) using plant extracts: a multifaceted approach in photocatalysis, environmental remediation, and biomedicine. RSC advances, 2025. 15(5): p. 3858–3903.
6. Baharara, J., et al., Silver nanoparticles biosynthesized using Achillea biebersteinii flower extract: apoptosis induction in MCF-7 cells via caspase activation and regulation of Bax and Bcl-2 gene expression. Molecules, 2015. 20(2): p. 2693–2706.
7. Choi, J.Y., et al., Effect of spray-type alginate hydrogel dressing on burn wounds. Gels, 2024. 10(2): p. 152.
8. Łętocha, A., M. Miastkowska, and E. Sikora, Preparation and characteristics of alginate microparticles for food, pharmaceutical and cosmetic applications. Polymers, 2022. 14(18): p. 3834.
9. Barabadi, H., et al., Bioinspired green-synthesized silver nanoparticles: in vitro physicochemical, antibacterial, biofilm inhibitory, genotoxicity, antidiabetic, antioxidant, and anticoagulant performance. Materials Advances, 2023. 4(14): p. 3037–3054.
10. Milojević, M., et al., Hybrid 3D printing of advanced hydrogel-based wound dressings with tailorable properties. Pharmaceutics, 2021. 13(4): p. 564.
11. Jangra, N., et al., Herbal bioactive-loaded biopolymeric formulations for wound healing applications. RSC advances, 2025. 15(16): p. 12402–12442.
12. Chanaj-Kaczmarek, J., et al., Hydrogel delivery system containing Calendulae flos lyophilized extract with chitosan as a supporting strategy for wound healing applications. Pharmaceutics, 2020. 12(7): p. 634.
13. Ferreira, L.M.d.M.C., et al., Hydrogel Containing Propolis: Physical Characterization and Evaluation of Biological Activities for Potential Use in the Treatment of Skin Lesions. Pharmaceuticals, 2024. 17(10): p. 1400.
14. Chelu, M., et al., Aloe vera-based hydrogels for wound healing: properties and therapeutic effects. Gels, 2023. 9(7): p. 539.
15. Borhani, M., et al., Crosslinked hydrogel loaded with chitosan-supported iron oxide and silver nanoparticles as burn wound dressing. Pharmaceutical Development and Technology, 2023. 28(10): p. 962–977.
16. Diniz, F.R., et al., Silver nanoparticles-composing alginate/gelatine hydrogel improves wound healing in vivo. Nanomaterials, 2020. 10(2): p. 390.