



# Preparation of Polyaniline/Polyvinyl Alcohol/Ag Nanocomposite and Characterization of Its Physicochemical and Antibacterial Properties

## ARTICLE INFO

### Article Type

Original Research

### Authors

Khoshkbar Sadeghi A.R.<sup>1</sup> MSc,  
Farbodi M.<sup>\*2</sup> PhD

### How to cite this article

Khoshkbar Sadeghi A R, Farbodi M. Preparation of Polyaniline/Polyvinyl Alcohol/Ag Nanocomposite and Characterization of Its Physicochemical and Antibacterial Properties. Modares Journal of Biotechnology. 2018;9(4):603-609.

<sup>1</sup>Chemistry Department, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Chemistry Department, East Azarbayjan Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

### \*Correspondence

Address: Chemistry Department, East Azarbayjan Science & Research Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Phone: -

Fax: -

m.farbodi@iaut.ac.ir

### Article History

Received: August 27, 2017

Accepted: November 11, 2017

ePublished: December 21, 2018

## ABSTRACT

**Aims** The simultaneous use of insulating polymers and nanostructures such as silver to produce triangular nanocomposites, with the reinforcement of effect of each other, can have better results in improving the mechanical properties and processability of polyaniline. The current study was conducted with the aim of preparation of Polyaniline/Polyvinyl Alcohol/Ag nanocomposite and characterization of its physicochemical and antibacterial properties.

**Materials & Methods** In the present experimental research, polyaniline (PANI) was used as a conducting polymer, polyvinyl alcohol (PVA) was used as a biopolymer because of its biodegradable property. Ag nanoparticles also was considered as a reinforcing agent of thermal stability, mechanical and antibacterial property to prepare PANI-PVA-Ag nanocomposite. The synthesis of PANI-PVA composite and PANI-PVA-Ag nanocomposite was performed through polyaniline and Ag addition in PVA solution. Different weight percent of components and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA), and scanning electron microscope connected to the X-ray Diffraction System (EDX) were used to investigate the properties.

**Findings** Thermal stability of the nanocomposite in comparison with pure PVA in temperatures above 400°C was promoted. The presence of PANI, PVA, and Ag in the FTIR spectroscopy showed the compatibility of the nanocomposite components. The greatest tensile strength belonged to PANI/PVA/Ag nanocomposites with 88%, 9%, and 3%w/w.

**Conclusion** The components of Polyaniline/Polyvinyl Alcohol/Ag are compatible. The presence of PANI and Ag nanoparticles in the structure of the nanocomposite improves its thermal stability than pure PVA at high temperatures. Polyaniline/Polyvinyl Alcohol/Ag nanocomposite has inhibitory effect on gram-positive and gram-negative pathogenic bacteria. Reducing the weight percent of PVA or increasing the weight percent of PANI decrease the tensile strength.

**Keywords** Polyaniline; Polyvinyl Alcohol; Ag; Antibacterial; Nanocomposites

## CITATION LINKS

[1] Antistatic-reinforced biocomposites of polyamide-6 and polyaniline-coated curauá fibers prepared on a pilot plant scale [2] Electropolymerized polyaniline coating on aluminum alloy 3004 and their corrosion protection performance [3] Thermal, mechanical, and electrical properties of epoxy resin/polyaniline-dodecylbenzenesulfonic acid blends [4] Synthesis and characterization of processable conducting polyaniline/polystyrene composite [5] Dielectric and impedance studies of DBSA doped polyaniline/PVC composites [6] Synthesis, characterization and antibacterial properties of a novel nanocomposite based on polyaniline/polyvinyl alcohol/Ag [7] Substituted polyaniline/chitosan composites: Synthesis and characterization [8] A reduced graphene oxide/SnO<sub>2</sub>/polyaniline nanocomposite for the anode material of Li-ion batteries [9] Green synthesis and characterization of carbon nanotubes/polyaniline nanocomposites [10] Graphene-based polyaniline nanocomposites: Preparation, properties and applications [11] Synthesis & study of Polyethylene/Polyaniline/Montmorillonite ductile nanocomposites properties [12] Optical and electrical transport properties of polyaniline-silver nanocomposite [13] Preparation and corrosion resistance of nanostructured PVC/ZnO-polyaniline hybrid coating [14] Preparation of PANI/epoxy/Zn nanocomposite using Zn nanoparticles and epoxy resin as additives and investigation of its corrosion protection behavior on iron [15] FTIR studies on silver-poly (Methylmethacrylate) nanocomposites via In-situ polymerization technique [16] Synthesis and characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogels and hybrids for rMPB70 protein adsorption [17] Synthesis of silver nanoparticles in cotton fabric by polyvinyl-2-pyrrolidone as a reducing and stabilizing agent

## تهیه نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و ضدباکتریایی آن

علیرضا خشکبارصادقی MSc

گروه شیمی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

مریم فرودی PhD

گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

### چکیده

**اهداف:** استفاده همزمان از پلیمرهای عایق و نانوساختارهایی مانند نقره به منظور تهیه نانوکامپوزیت‌های سه‌جزیی با تقویت اثر یکدیگر می‌تواند در بهبود خواص مکانیکی و فرآیندپذیری پلی آنیلین نتایج مطلوب‌تری به دنبال داشته باشد. هدف این پژوهش، تهیه نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و ضدباکتریایی آن بود.

**مواد و روش‌ها:** در پژوهش تجربی حاضر از پلی آنیلین (PANI) به عنوان پلیمر رسانا، پلی وینیل الکل (PVA) به عنوان پلیمر طبیعی و نانوذرات نقره (Ag) به عنوان تقویت‌کننده خواص آنتی‌باکتریال، خواص مکانیکی و پایداری حرارتی برای تهیه نانوکامپوزیت استفاده شد. سنتز کامپوزیت PANI-PVA و نانوکامپوزیت PANI-PVA-Ag از طریق افزایش پلی آنیلین و نقره به محلول پلی وینیل الکل، انجام و از درصدهای وزنی مختلف اجزای سازنده و طیف‌سنجی تبدیل فوری مادون قرمز (FT-IR)، میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM)، آنالیز ترموگراویمتری (TGA) و میکروسکوپ الکترونی پویشی متصل به سامانه پراش انرژی پرتوی ایکس (EDX) برای بررسی خواص استفاده شد.

**یافته‌ها:** پایداری حرارتی نانوکامپوزیت نسبت به پلی وینیل الکل خالص در دماهای بالای ۴۰۰°C بهبود یافت. حضور پیک‌های شاخص پلی آنیلین، پلی وینیل الکل و نقره در طیف FT-IR نانوکامپوزیت نشان‌دهنده سازگاری اجزای سازنده نانوکامپوزیت بود. نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل- پلی آنیلین- نقره به ترتیب با ۸۸-۹۰% وزنی دارای بیشترین مقدار استحکام کششی بود و نانوکامپوزیت سه‌تایی حالت پهنه به شمار می‌رفت.

**نتیجه‌گیری:** اجزای سازنده نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره سازگار هستند. حضور نانوذرات نقره و پلی آنیلین در ساختار نانوکامپوزیت باعث بهبود پایداری حرارتی آن نسبت به پلی وینیل الکل خالص در دمای بالا می‌شود. نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره، مقابل باکتری‌های بیماری‌زای گرم‌مثبت و گرم‌منفی اثر بازدارندگی دارد. کاهش درصد وزنی پلی وینیل الکل یا افزایش درصد وزنی پلی آنیلین باعث افت مقادیر استحکام کششی می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** پلی آنیلین، پلی وینیل الکل، نقره، آنتی‌باکتریال، نانوکامپوزیت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

\*نویسنده مسئول: m.farbodi@iaut.ac.ir

### مقدمه

هر پلیمر آلی که دارای خواص الکتریکی، الکترونیکی، مغناطیسی و اپتیکی فلزات باشد و در عین حال خواص مکانیکی و دیگر خواص پلیمرهای عمومی را حفظ کرده باشد، به عنوان پلیمر رسانای ذاتی شناخته می‌شود. پلیمرهای رسانا از جمله پلی آنیلین دارای خواص جالب هدایت الکتریکی، اپتیکی و الکترواکتیویته هستند. از جمله کاربردهای فراوان این پلیمرها و کامپوزیت‌های آن می‌توان به صنایع الکترونیک، صنایع هوا- فضا، صنایع نظامی، سنسورها، حفاظت‌کننده‌های الکترونی، جذب و انتقال عناصر سنگین و جذب رنگینه‌های آلی از محلول‌ها اشاره کرد. پلی آنیلین در حالت پروتونه شده دارای رسانایی خوبی بوده ولی دارای خواص مکانیکی و فرآیندپذیری (قابلیت انحلال در حلال و قابلیت ذوب و قالب‌گیری) ضعیفی است که تقویت این خواص و خواص پایداری حرارتی این پلیمرها برای گسترش کاربرد آنها در صنایع ذکرشده لازم

و ضروری خواهد بود<sup>[1, 2]</sup>. یکی از راهکارهای موجود برای تقویت این خواص به‌ویژه خاصیت فرآیندپذیری، تهیه کامپوزیت آن با پلیمرها و بیوپلیمرهای متداول با خاصیت فرآیندپذیری بالاست. به عنوان مثال تهیه کامپوزیت آن با پلیمرهایی چون اپوکسی<sup>[3]</sup>، پلی استایرن<sup>[4]</sup> و پلی وینیل کلراید<sup>[5]</sup> گزارش شده است.

کامپوزیت‌های پلی آنیلین- پلیمرهای زیستی کلاس جدیدی از مواد پلیمری پیشرفته با خواص فیزیکوشیمیایی منحصربه‌فردی هستند که بیشتر با هدف به‌کارگیری در ساخت حسگرهای زیستی تهیه می‌شوند و در این راستا می‌توان به تهیه کامپوزیت‌های پلی آنیلین با پلی وینیل الکل (PVA)<sup>[6]</sup> و کیوسان<sup>[7]</sup> اشاره نمود. در این میان، پلی وینیل الکل فراوان‌ترین پلیمر سنتزی محلول در آب است که از پلیمریزاسیون منومر وینیل استات و سپس هیدرولیز آن به پلی وینیل الکل تبدیل می‌شود. ماهیت قطبی و قابلیت انحلال آن در آب، غیرسمی بودن، استحکام کششی بالا و ویژگی‌های چسبندگی مطلوب، آن را به کاندیدای مناسبی برای تهیه کامپوزیت پلیمرهای هادی تبدیل کرده است.

با وجود کارایی قابل قبول فناوری کامپوزیت در تهیه مواد با خواص بهبودیافته، در اغلب موارد مواد کامپوزیتی تهیه‌شده نمی‌توانند از نظر پاسخگویی نیازهای صنعتی به‌ویژه تامین خواص مکانیکی مطلوب باشند. در سال‌های اخیر پژوهشگران دریافته‌اند که اگر مواد در مقیاس‌های کوچک‌تر تهیه شود، پیوندهایی که ماده با ابعاد کوچک با فازهای اطراف خود برقرار می‌کند، به مراتب قوی‌تر از مقیاس‌های بزرگ‌تر است. بر این اساس شاخه جدیدی از کامپوزیت با نام نانوکامپوزیت‌ها، معرفی و توسعه یافته‌اند. در نانوکامپوزیت‌های پایه پلیمری، اجزایی با طبیعت معدنی و اندازه‌هایی در ابعاد نانو و با ساختارهای مختلف به عنوان جزء تقویت‌کننده با درصد وزنی خیلی کم (اغلب کمتر از ۶٪ وزنی) در ماتریس پلیمری مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌توان به تهیه نانوکامپوزیت‌های پلی آنیلین با اکسیدهای فلزی<sup>[8]</sup>، کربن نانوتیوب<sup>[9]</sup>، گرافیت<sup>[10]</sup>، مونتموریلونیت<sup>[11]</sup> و نقره<sup>[12]</sup> اشاره نمود. بنابراین نانوکامپوزیت‌های پلیمری که ترکیبات آلی- معدنی به شمار می‌روند، به دلیل داشتن خواص ترکیبات آلی و خواص ترکیبات معدنی در کنار هم به شدت مورد توجه محققان بوده‌اند و زمینه تحقیقاتی جالبی به شمار می‌رود.

به نظر می‌رسد تلفیق دو راهکار ارایه‌شده یعنی استفاده همزمان از پلیمرهای عایق و نانوساختارهایی مانند نقره به منظور تهیه نانوکامپوزیت‌های سه‌جزیی با تقویت اثر یکدیگر می‌تواند در بهبود خواص مکانیکی و فرآیندپذیری پلی آنیلین نتایج مطلوب‌تری به دنبال داشته باشد. بررسی پژوهش‌ها نشان داده که گزارش‌های محدودی در زمینه تهیه نانوکامپوزیت‌های سه‌جزیی از پلی آنیلین وجود داشته که با هدف بررسی خواص ضدخوردگی مورد مطالعه قرار گرفته است. به عنوان مثال نانوکامپوزیت‌های پلی آنیلین، پلی وینیل کلراید- اکسید روی و پلی آنیلین- اپوکسی- روی توسط /ولاد و همکاران تهیه و عملکرد آنها به عنوان روکش ضدخوردگی با ایجاد پوشش‌های لایه نازک روی کوپن آهن در محیط‌های خورنده مختلف مورد بررسی قرار گرفته که نتایج به‌دست‌آمده حاکی از عملکرد بهتر روکش‌های سه‌جزیی در مقایسه با پلی آنیلین خالص بوده است<sup>[13, 14]</sup>. از این رو در کار پژوهشی حاضر، با هدف گسترش دامنه کاربرد پلی آنیلین، برای اولین بار تهیه نانوکامپوزیت سه‌تایی پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره با درصدهای وزنی مختلف انجام شد. از آنجایی که یکی از مهم‌ترین موارد کاربرد پلی آنیلین تهیه منسوجات هوشمند بوده است و منسوجات نیز محیط مغذی برای

**تهیه فیلم پلی وینیل الکل- نقره:** محلول نانوکامپوزیت‌های پلی وینیل الکل- نقره به دست آمده در پلیتی به قطر ۱۰ سانتی متر که قبلاً تراز شده بود، ریخته و در دمای محیط پس از تبخیر حلال و خشک شدن کامل، فیلم‌های مربوطه از پلیت جدا شد.

**تهیه نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره:** برای این منظور، مقدار ۹۰٪ و ۸۰٪ پلی وینیل الکل معادل با ۰/۵۴ و ۰/۴۸ گرم در ۴۰ سی سی آب مقطر حل شد. سپس پلی آنیلین سنتز شده به مقدار ۰/۵۴ و ۰/۱۱۵ گرم به ترتیب برای تهیه ۹ و ۱۹٪ وزنی پلی آنیلین به محلول اضافه شد. پس از افزایش ۱٪ وزنی (۰/۰۶ گرم) نقره به مدت یک ساعت دیگر هم زده و سپس برای پخش ذرات در محلول ۱۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. برای تهیه نانوکامپوزیت با ۳٪ وزنی نقره (۰/۰۱۸ گرم) از پلی آنیلین سنتز شده، مقادیر متناسب برای تهیه ۷ و ۱۷٪ پلی آنیلین نسبت به پلی وینیل الکل با توجه به روش کار فوق به محلول اضافه شد. همچنین برای تهیه نانوکامپوزیت با ۵٪ وزنی نقره (۰/۰۳ گرم) نسبت به پلی وینیل الکل از پلی آنیلین مقادیر متناسب برای تهیه ۵ و ۱۵٪ وزنی پلی آنیلین معادل با ۰/۰۳ و ۰/۰۹ گرم به محلول اضافه شد (جدول ۱).

**تهیه فیلم نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره:** نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره تهیه شده با درصد‌های وزنی مختلف از اجزای تشکیل دهنده، در پلیتی به قطر ۱۰ سانتی متر ریخته شد و در دمای محیط قرار گرفت و پس از تبخیر حلال، فیلم نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره از پلیت جدا شد.

**بررسی خواص:** به منظور ثبت طیف‌های تبدیل فوری مادون قرمز (FT-IR) از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Tensor 27-Bruker استفاده شد. برای مطالعه مورفولوژی سطح نانوکامپوزیت، میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) مدل (Tescan) Vegall؛ جمهوری چک) و میکروسکوپ الکترونی پویشی متصل به سامانه پراش انرژی پرتوی ایکس (EDX) برای مشخص کردن ترکیب و ساختار نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل- پلی آنیلین- نقره مورد استفاده قرار گرفت. آنالیز ترموگراویمتری (TGA) برای نمونه به وسیله دستگاه وزن سنجی حرارتی (TGA) مدل PL-TGA (Polymer Laboratories؛ آلمان) انجام شد. برای استریل کردن از دستگاه اتوکلاو مدل Tomy-SX700 استفاده شد و همچنین برای قراردادن باکتری‌ها در شرایط مناسب دستگاه انکوباتور مدل Innova-CO170 مورد استفاده قرار گرفت.

**روش آزمایش آنتی باکتریال پلیمرهای سنتزی:** بررسی تاثیرات ضد میکروبی نمونه‌های تهیه شده علیه باکتری‌های گرم مثبت بیماری‌زای لاکتوباسیل و استافیلوکوک و نیز گرم منفی بیماری‌زای سالمونلا و *شریشیا کلی* (*Escherichia coli*) انجام شد. در این روش ابتدا مقدار ۱۰۰ میلی لیتر محیط کشت نوترینت برات با مقدار یک حبه از ماده رزاورین (Camlab chemicals, CB4WE) مخلوط و در چاهک‌های کشت ۲ سی سی پخش شد. نوترینت برات دارای همان ترکیب نوترینت آگار بوده و فقط فاقد آگار است. هر کدام از پلیمرها به اندازه پوشش سطحی، اضافه شد و سپس در هر چاهک نیز نیم مک فارلند باکتری اضافه شد. در صورت رشد باکتری، ماده رزاورین رنگ آبی خود را در اثر فعالیت آنزیم احیا کننده باکتری به نام نیکوتین آمید آدین دی نوکلئوتید از دست خواهد داد. اگر رنگ آبی حفظ شود به منزله وجود خاصیت ضدباکتریایی است، یعنی باکتری رشد نکرده است. پس از انکوبه کردن در دمای ۳۷°C

رشد و فعالیت باکتری‌ها به شمار می‌روند، از نانوذرات نقره به منظور ضدباکتری کردن نانوکامپوزیت تهیه شده استفاده شد. هدف پژوهش حاضر، تهیه نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و ضدباکتریایی آن بود.

## مواد و روش‌ها

در پژوهش تجربی حاضر، پلی وینیل الکل، نانوذرات نقره، آمونیوم پرسولفات و اسید کلریدریک ۳۷٪ (مرک؛ آلمان) در گرید آزمایشگاهی و همچنین پلی آنیلین مطابق روش کار ارایه شده توسط میرمحسنی و همکاران تهیه شد [4].

**سنتز کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل:** برای تهیه کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل با نسبت وزنی ۹۰٪ به ۱۰٪، ۰/۵۴ گرم پلی وینیل الکل (۹۰٪ وزنی) در ۴۰ سی سی آب مقطر به مدت یک ساعت توسط همزن مغناطیسی حل شد. سپس ۰/۰۶ گرم (۱۰٪ وزنی) پلی آنیلین به محلول اضافه و سپس در حمام اولتراسونیک مدل Lbs2 (FALC؛ ایتالیا) به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و دوباره نیم ساعت دیگر روی همزن مغناطیسی هم زده شد. از روش فوق برای سنتز کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل با درصد وزنی ۸۰٪ به ۲۰٪ استفاده و فقط مقدار مواد اولیه متناسب با درصد‌های وزنی جدید تغییر داده شد (جدول ۱).

جدول ۱) درصد وزنی نمونه‌های تهیه شده کامپوزیت‌ها و نانوکامپوزیت‌ها

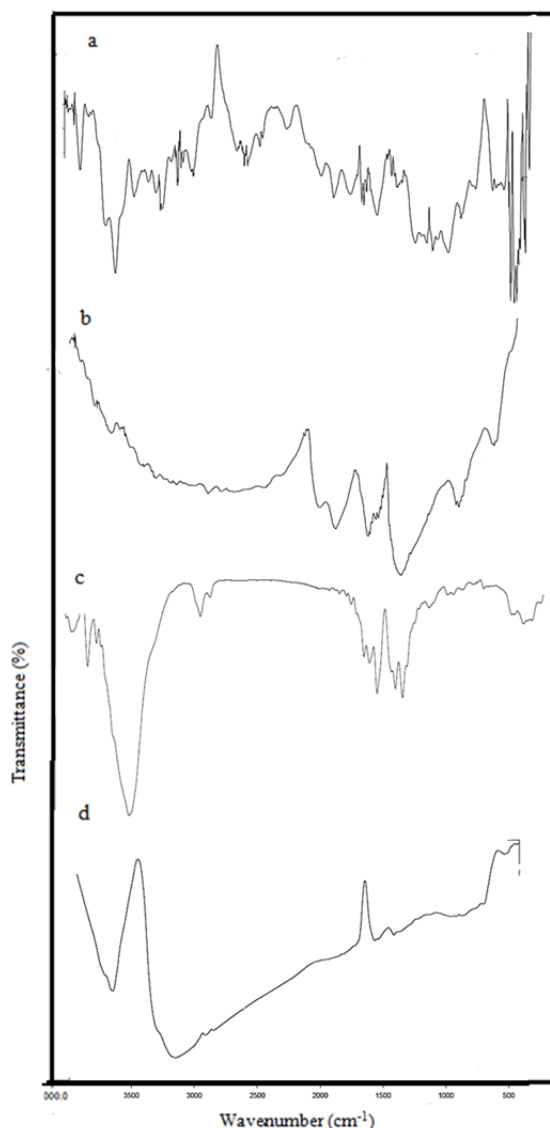
| کد نمونه‌ها | پلی وینیل الکل<br>(درصد وزنی) | پلی آنیلین<br>(درصد وزنی) | نقره<br>(درصد وزنی) |
|-------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------|
| ۱           | ۱۰۰                           | ۰                         | ۰                   |
| ۲           | ۸۹                            | ۱۰                        | ۱                   |
| ۳           | ۷۹                            | ۲۰                        | ۱                   |
| ۴           | ۸۸                            | ۹                         | ۳                   |
| ۵           | ۷۸                            | ۱۹                        | ۳                   |
| ۶           | ۸۷                            | ۸                         | ۵                   |
| ۷           | ۷۷                            | ۱۸                        | ۵                   |
| ۸           | ۹۰                            | ۱۰                        | ۰                   |
| ۹           | ۸۰                            | ۲۰                        | ۰                   |
| ۱۰          | ۹۹                            | ۰                         | ۱                   |
| ۱۱          | ۹۷                            | ۰                         | ۳                   |
| ۱۲          | ۹۵                            | ۰                         | ۵                   |

نمونه‌های ۸ و ۹: سنتز کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل، نمونه‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲: سنتز نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل- نقره، نمونه‌های ۷-۲: نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نقره

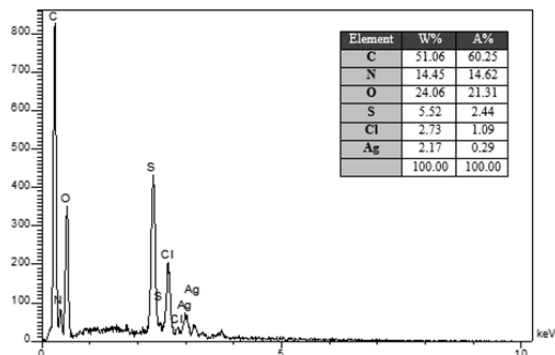
**تهیه فیلم کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل:** پس از تهیه کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل مطابق بخش قبل، محلول‌های به دست آمده داخل پلیت تراز شده به قطر ۱۰ سانتی متر ریخته و پس از تبخیر حلال مورد نظر و خشک شدن کامل، فیلم مربوطه از پلیت جدا شد.

**سنتز نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل- نقره:** ۰/۵۴۹ گرم (۹۹٪ وزنی) از پلی وینیل الکل در ۴۰ سی سی آب مقطر حل و سپس به آن ۱٪ وزنی معادل با ۰/۰۰۶ گرم نانوذرات نقره اضافه شد و مطابق روش کار ذکر شده در قسمت سنتز کامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل، تهیه نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل- نقره انجام گرفت. برای تهیه ۳٪ و ۵٪ وزنی نقره نیز به ترتیب ۹۷٪ وزنی و ۹۵٪ وزنی برابر با ۰/۵۸۲ گرم و ۰/۵۷ گرم پلی وینیل الکل مورد استفاده قرار گرفت و نمونه‌های حاوی ۱، ۳ و ۵٪ وزنی نقره به همراه پلی وینیل الکل به دست آمد (جدول ۱).

می‌رساند (نمودار ۲). توزیع عناصر موجود در یک نقطه نانوکامپوزیت نشان داد که عناصر موجود در نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-پلی‌وینیل‌الکل-نقره به‌طور یکنواخت با درصد‌های وزنی مختلف در نانوکامپوزیت وجود داشت (شکل ۲).



**نمودار ۱** طیف FT-IR حاصل از نقره، پلی‌آنیلین خالص، پودر خالص PVA و نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-پلی‌وینیل‌الکل-نقره: (a) طیف FT-IR حاصل از نقره (b) طیف FT-IR پلی‌آنیلین خالص (c) طیف FT-IR پودر خالص PVA و (d) طیف FT-IR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-پلی‌وینیل‌الکل-نقره



**نمودار ۲** طیف آنالیز عنصری نانوکامپوزیت نمونه ۵

و به مدت ۲۴ ساعت از طریق اسپکترومتری، چگالی نوری نمونه‌ها اندازه‌گیری و نمودار مربوطه ترسیم شد. در برخی موارد به علت تیره‌بودن رنگ نمونه‌های پلیمری، تغییر رنگ ایجاد شده به صورت چشمی قبل رویت نبود، به همین دلیل با استفاده از اسپکتروفتومتری تغییر رنگ رزاورین ارزیابی شد. از آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین (غلظت ۱۰۰ میکروگرم در یک سی‌سی) برای کنترل منفی و نیز کنترل مثبت بدون افزودن پلیمر استفاده شد.

علاوه بر خواص ضدباکتریایی، خواص مکانیکی، مورفولوژیک و پایداری حرارتی نانوکامپوزیت مورد نظر نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین خواص مکانیکی، فیلم‌های تهیه‌شده از نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل-پلی‌آنیلین-نقره با درصد‌های وزنی مختلف، تحت بررسی مکانیکی مطابق روش ارائه‌شده در ASTM (D-638) قرار گرفتند. از داده‌های به‌دست‌آمده منحنی‌های تنش-کرنش فیلم‌ها رسم شد. با توجه به اطلاعات خروجی این نمودارها می‌توان پارامترهای ازدیاد طول تا نقطه پارگی، استحکام کششی و مدول ینگ را استخراج کرد.

## یافته‌ها

### بررسی طیف‌های FT-IR

**طیف نقره:** طیف جذبی مربوط به طیف مادون قرمز نانوذرات نقره در ناحیه  $3447\text{cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی O-H و در طیف‌های حوالی  $1550\text{cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C=C به دست آمد (نمودار ۱- a).

**طیف پلی‌آنیلین:** ارتعاش کششی پیوند C---H آروماتیک در حوالی  $2930\text{cm}^{-1}$ ، ارتعاش کششی پیوند C---N در  $1293\text{cm}^{-1}$  و ارتعاش خمشی پیوند C---H در حدود  $1120\text{cm}^{-1}$  مشاهده شد که از ویژگی‌های پلی‌آنیلین خالص بود (نمودار ۱- b).

**طیف پلی‌وینیل‌الکل:** پیک موجود در ناحیه جذب  $3442\text{cm}^{-1}$  به ارتعاش کششی O-H و پیک موجود در حوالی  $2925\text{cm}^{-1}$  به ارتعاش کششی پیوند C-H آلیفاتیک اختصاص داشت. همچنین پیک‌ها در حوالی  $1740\text{cm}^{-1}$ - $1640\text{cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات کششی پیوند C=O و C-O باقیمانده از گروه‌های استات در پلی‌وینیل‌الکل (در واکنش تهیه پلی‌وینیل‌الکل از پلی‌وینیل‌استات) به دست آمد (نمودار ۱- c).

**طیف نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-پلی‌وینیل‌الکل-نقره:** در آنالیز طیف FT-IR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-پلی‌وینیل‌الکل-نقره (نمونه ۵)، باندهای جذبی در  $1398\text{cm}^{-1}$  و  $1540\text{cm}^{-1}$  مربوط به حلقه‌های بنزوئیدی و کینوئیدی بود که از ویژگی‌های پلی‌آنیلین خالص بود. همچنین پیک جذبی قابل مشاهده در  $2935\text{cm}^{-1}$  بیانگر ارتعاش کششی O-H مربوط به نقره و پلی‌وینیل‌الکل به دست آمد (نمودار ۱- d). سه جزء تشکیل‌دهنده نانوکامپوزیت به صورت سازگار در ساختار نانوکامپوزیت حضور داشتند.

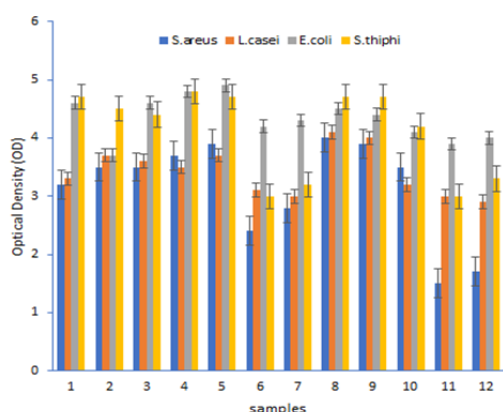
**آزمایش SEM:** در تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین-پلی‌وینیل‌الکل-نانوذرات نقره (نمونه ۵) با بزرگ‌نمایی‌های مختلف، نانوذرات نقره در تمام منطقه سطح فیلم پخش شده بود و به صورت نقاط درخشان به چشم می‌خوردند (شکل ۱).

در بررسی EDX نیز مقدار عناصر موجود (کربن، اکسیژن، نیتروژن، نقره و غیره) و نیز درصد وزنی این عناصر در نانوکامپوزیت نمونه ۵ نشان داده شد. مطابق این طیف، مقدار  $2/17\%$  نقره در ماده مشخص شد که پراکندگی نسبتاً خوب نقره را در ماده سنتز شده به اثبات

نبرده بودند، اما برخی از آنها تا حدودی جلوی رشد برخی باکتری‌ها را کم‌وبیش در مدت ۲۴ ساعت گرفته بودند. انجام دوباره این بررسی پس از سه ماه روی نمونه‌ها نتایج مشابهی به دست داد. اثرات ضدباکتریایی روی باکتری‌های گرم‌مثبت موثرتر بود (نمودار ۳).



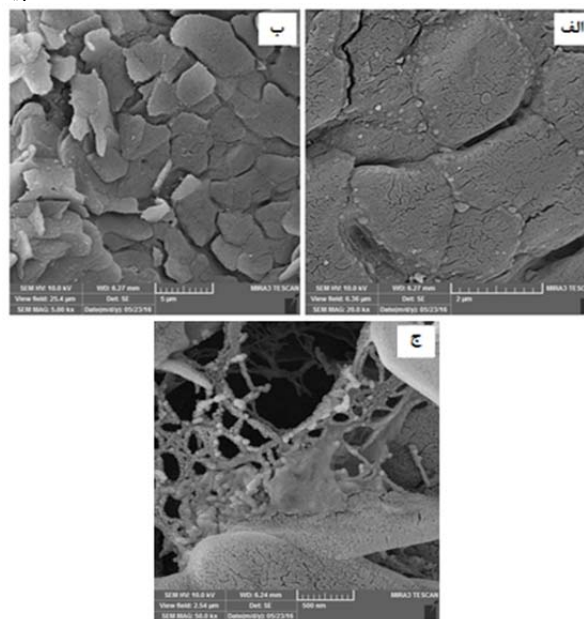
شکل ۳) آزمایش رزازورین و میزان تغییر رنگ در اثر رشد باکتری



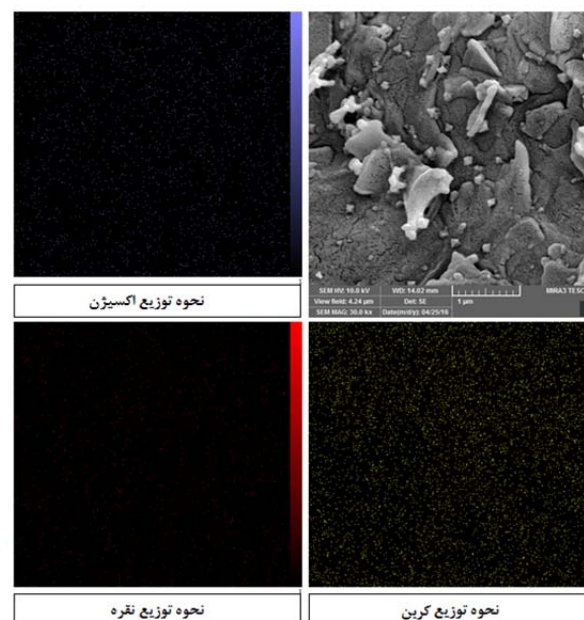
نمودار ۳) تاثیر ضدباکتریایی نمونه‌های مورد مطالعه

**پایداری حرارتی با استفاده از آنالیز TGA:** نانوذرات نقره از پایداری حرارتی بسیار بالایی برخوردار بود و ساختار آن دستخوش تخریب نشد (نمودار ۴). مقایسه نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نانوذرات نقره با گونه‌های خالص پلی آنیلین، پلی وینیل الکل و نانوذرات نقره خالص نشان داد که تا دمای ۲۵۰°C الگوی کاهش وزن شبیه پلی وینیل الکل بود و از شیب تند برخوردار بود. ۷۰٪ وزنی این نمونه متشکل از پلی وینیل الکل بود. در محدوده دمایی ۲۵۰ تا ۴۵۰°C درصد افت وزنی نانوکامپوزیت به شدت کاهش یافت و نانوکامپوزیت از پایداری حرارتی خوبی برخوردار بود. از دمای ۴۵۰°C به بعد، نانوکامپوزیت نسبت به پلیمرهای خالص سازنده از پایداری حرارتی بالاتری برخوردار بود و نانوذرات نقره (با ۳٪ وزنی) موجب بهبود پایداری حرارتی نانوکامپوزیت شد (نمودار ۴).

**خواص مکانیکی:** مقدار استحکام کششی ثبت شده برای پلی وینیل الکل خالص (نمونه ۱) ۳۳/۶۳ مگاپاسکال بود. تهیه کامپوزیت پلی وینیل الکل- پلی آنیلین از طریق افزایش مقادیر ۱۰ و ۲۰٪ وزنی پلی آنیلین به پلی وینیل الکل خالص (نمونه‌های ۸ و ۹) منجر به افت شدید استحکام کششی شده که علت آن خواص مکانیکی بسیار ضعیف و عدم فرآیندپذیری پلی آنیلین بود. با افزایش درصد وزنی پلی آنیلین از ۱۰ به ۲۰٪، افت استحکام کششی نیز بیشتر بود (نمودار ۵؛ جدول ۲).



شکل ۱) تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوکامپوزیت پلی آنیلین- پلی وینیل الکل- نانوذرات نقره (نمونه ۵) در بزرگ‌نمایی‌های مختلف



شکل ۲) نحوه توزیع عناصر از سطحی از فیلم سنتز شده حاوی ۱۷٪ پلی آنیلین، ۸۰٪ پلی وینیل الکل و ۳٪ نانوذرات نقره (نمونه سنتز شده با کد ۵)

### خواص آنتی باکتریال

**خاصیت آنتی باکتریال با روش دیسک دیفیوژن:** هیچ گونه ماده آنتی باکتریال از هیچ یک از پلیمرها به محیط اطراف آزاد نشد و حتی باکتری‌ها در نزدیک‌ترین محل به دیسک‌ها رشد نمودند.

**خاصیت آنتی باکتریال با استفاده از ماده رنگی رزازورین:** پس از انکوبه کردن در دمای ۳۷°C به مدت ۲۴ ساعت مشاهده شد که نمونه‌های ۶، ۷، ۱۱ و ۱۲ دارای اثرات ضدباکتریایی علیه باکتری /شرشیا کلی، لاکتوباسیل و استافیلوکوک بودند، ولی هیچ کدام از پلیمرها علیه باکتری سالمونلا اثرات بازدارندگی چندانی نداشتند (شکل ۳). مقدار این تاثیر نیز وابسته به درصد نانوذره مورد استفاده بود. نمونه‌های دارای خاصیت ضدباکتریایی دارای درصدهای وزنی بالا از نانوذرات نقره بودند. پلیمرهای دیگر اگر چه باکتری را از بین

جدول ۲) نتایج مستخرج از منحنی‌های تنش- کرنش

| کد نمونه‌ها | مدول یانگ (MPa) | ازدیاد طول تا نقطه پارگی (درصد) | استحکام کششی (MPa) |
|-------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|
| ۱           | ۲/۰۳            | ۱۶۶/۵                           | ۳۳/۶۳              |
| ۲           | ۰/۱۸            | ۱۷۹/۵                           | ۶/۰۶               |
| ۳           | ۰/۰۲            | ۱۵۵/۲۵                          | ۱/۶۰               |
| ۴           | ۱/۹۶            | ۱۸۰/۲۵                          | ۱۳/۸۱              |
| ۵           | ۰/۱۹            | ۱۷۹/۷۵                          | ۴/۲۵               |
| ۶           | ۰/۱۷            | ۱۷۹/۵                           | ۵/۴۴               |
| ۷           | ۰/۵۵            | ۱۷۵/۵۰                          | ۵/۳۱               |
| ۸           | ۰/۰۹            | ۱۷۷/۵                           | ۸/۲۰               |
| ۹           | ۰/۰۸            | ۱۶۱/۲۵                          | ۵/۵۵               |
| ۱۰          | ۲/۴۰            | ۱۸۰/۷۵                          | ۴۸/۰۶              |
| ۱۱          | ۱۶/۵۱           | ۱۷۹/۲۵                          | ۵۷/۴۵              |
| ۱۲          | ۲۵/۳۶           | ۱۷۸/۲۵                          | ۳۷/۸۰              |

نمونه‌های ۸ و ۹: سنتز نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل، نمونه‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲: سنتز نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل- نقره، نمونه‌های ۷-۲: نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نقره

### بحث

پژوهش حاضر با هدف تهیه نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نقره و بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و ضدباکتریایی آن انجام شد. به‌منظور بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و آنتی‌باکتریایی پلی‌آنیلین اقدام به تهیه نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نقره شد. تهیه نانوکامپوزیت فوق از طریق اضافه کردن پلی‌آنیلین و نقره به محلول پلی‌وینیل‌الکل انجام شد. به‌منظور بررسی تاثیر اجزای سازنده نانوکامپوزیت در خواص فیزیکوشیمیایی و آنتی‌باکتریایی آن از درصدهای وزنی مختلف پلی‌آنیلین، پلی‌وینیل‌الکل و نقره بهره گرفته شد.

در طیف FT-IR نقره، طیف جذبی در ناحیه  $3447\text{cm}^{-1}$  به ارتعاش کششی O-H و در طیف‌های حوالی  $1550\text{cm}^{-1}$  به پیوند C=C اختصاص داده شده است<sup>[15]</sup> که در پژوهش حاضر نیز به دست آمد. در پلی‌آنیلین، پیک‌های جذبی در  $800\text{cm}^{-1}$  از ویژگی‌های پاراجانشینی حلقه آروماتیک بوده که نشان‌دهنده تشکیل پلیمر است. باندهای جذبی در  $1490\text{cm}^{-1}$  و  $1570\text{cm}^{-1}$  مربوط به حلقه‌های بنزوئیدی و کینوئیدی بوده است<sup>[13]</sup> که در این پژوهش نیز دیده شد. در طیف FT-IR پلی‌وینیل‌الکل، پیک‌ها در حوالی  $1740\text{cm}^{-1}$  و  $1640\text{cm}^{-1}$  به ارتعاشات کششی پیوند C=O و C-O باقیمانده از گروه‌های استات در پلی‌وینیل‌الکل مربوط بوده است<sup>[16]</sup> و پژوهش حاضر منطبق بر آن بود. با بررسی طیف FT-IR به‌دست‌آمده برای نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نقره و مقایسه آن با طیف‌های FTIR اجزای خالص سازنده نانوکامپوزیت مشخص شد که پیک‌های شاخص اجزای سازنده خالص در طیف نانوکامپوزیت قابل شناسایی بود که این امر نشان از سازگاری اجزای سازنده نانوکامپوزیت داشت.

با وجود این که روش دیسک دیفیوژن یک روش استاندارد برای بررسی آنتی‌میکروبی است، اما در صورتی که ماده ضد میکروبی نتواند به محیط کشت نشت یابد، این آزمایش جوابگو نخواهد بود. این آزمایش موقعی به کار می‌رود که مواد ضدباکتری بتوانند از پلیمرهای مورد آزمایش به اطراف انتشار یابند و در این آزمایش هیچ گونه انتشار مواد ضد میکروبی از پلیمرها به داخل محیط کشت وجود نداشت.

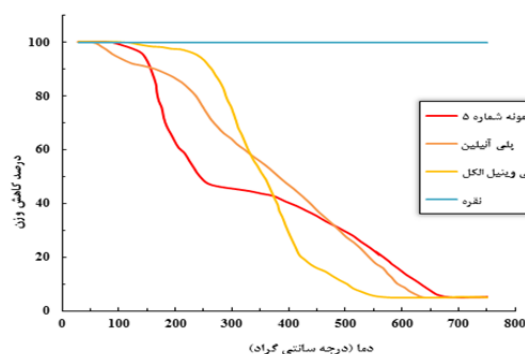
هر چند مکانیزم دقیقی برای توجیه اثرات ضدباکتریایی نانوذرات ارایه نشده است، با این وجود، طبق گزارشات، نانوذرات نقره بیشترین اثر مهارکنندگی رشد را روی باکتری‌های /شربشیا کلی

تهیه نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل- نقره از طریق افزایش مقادیر ۱، ۳ و ۵٪ وزنی نقره به پلی‌وینیل‌الکل خالص (نمونه‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲) منجر به تقویت استحکام کششی خصوصاً در نمونه ۱۱ با ۳٪ وزنی نقره شد. نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل- نقره با ۳٪ وزنی از نانوذرات نقره به‌عنوان نانوکامپوزیت حالت بهینه بود و نانوکامپوزیت‌ها با ۱ و ۵٪ وزنی در رده‌های بعدی قرار داشتند.

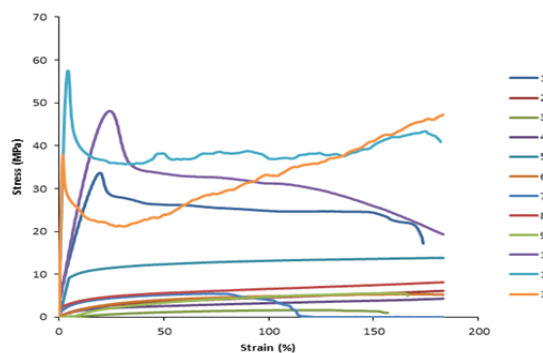
در هر دسته از نانوکامپوزیت‌های سه‌تایی که دارای درصد وزنی مشابه از نانوذرات نقره بودند، بیشترین مقادیر استحکام کششی در نانوکامپوزیت‌هایی ثبت شد که درصد وزنی پلی‌وینیل‌الکل در آنها در محدوده ۹۰-۸۷٪ و درصد وزنی پلی‌آنیلین در آنها در محدوده ۱۰-۸٪ قرار داشت (جدول ۲).

کاهش درصد وزنی پلی‌وینیل‌الکل یا افزایش درصد وزنی پلی‌آنیلین از مقادیر ذکرشده باعث افت مقادیر استحکام کششی شد. بنابراین مقادیر بهینه برای درصد وزنی پلی‌وینیل‌الکل و پلی‌آنیلین در نانوکامپوزیت‌های تهیه‌شده به‌ترتیب در محدوده ۹۰-۸۷٪ و محدوده ۱۰-۸٪ قرار داشت. بیشترین مقدار استحکام کششی در مورد نانوکامپوزیتی با ۳٪ وزنی از نانوذرات نقره ثبت شد و نانوکامپوزیت‌هایی با ۱ و ۵٪ وزنی در رده‌های بعدی قرار داشتند. مقدار بهینه برای نانوذرات نقره ۳٪ وزنی و نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل- پلی‌آنیلین- نقره به‌ترتیب با درصدهای وزنی ۸۸-۳-۹ نانوکامپوزیت سه‌تایی حالت بهینه بود (جدول ۲).

روند تغییرات مقادیر ازدیاد طول در نقطه پارگی برای کامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌الکل- پلی‌آنیلین، نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌الکل- نقره و نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌الکل- پلی‌آنیلین- نقره نیز مشابه مقادیر استحکام کششی بود. بیشترین مقادیر ازدیاد طول در نقطه پارگی مربوط به نمونه‌هایی بود که درصدهای وزنی پلی‌وینیل‌الکل در آنها حداکثر مقدار بود (جدول ۲).



نمودار ۴) مقایسه رفتار درصد کاهش وزن نمونه‌های پلی‌آنیلین، پلی‌وینیل‌الکل، نانوذرات نقره و نانوکامپوزیت نمونه ۵



نمودار ۵) منحنی‌های تنش- کرنش نمونه‌ها مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱ ذکر شده است

- Antistatic-reinforced biocomposites of polyamide-6 and polyaniline-coated curauá fibers prepared on a pilot plant scale. *Polym Compos.* 2013;34(7):1081-90.
- 2- Shabani Nooshabadi M, Ghoreishi SM, Behpour M. Electropolymerized polyaniline coating on aluminum alloy 3004 and their corrosion protection performance. *Electrochimica Acta.* 2009;54(27):6989-95.
- 3- Tsotra P, Friedrich K. Thermal, mechanical, and electrical properties of epoxy resin/polyaniline-dodecylbenzenesulfonic acid blends. *Synth Met.* 2004;143(2):237-42.
- 4- Mirmohseni A, Oladegaragoze A, Farbodi M. Synthesis and characterization of processable conducting polyaniline/polystyrene composite. *Iran Polym J.* 2008;17(2):135-40.
- 5- Afzal AB, Javad Akhtar M, Nadeem M, Hassan MM. Dielectric and impedance studies of DBSA doped polyaniline/PVC composites. *Curr Appl Phys.* 2010;10(2):601-6.
- 6- Ghaffari Moghaddam M, Eslahi H. Synthesis, characterization and antibacterial properties of a novel nanocomposite based on polyaniline/polyvinyl alcohol/Ag. *Arab J Chem.* 2014;7(5):846-55.
- 7- Yavuz AG, Uygun A, Bhethanabotla VR. Substituted polyaniline/chitosan composites: Synthesis and characterization. *Carbohydr Polym.* 2009;75(3):448-53.
- 8- Liu H, Liu BH, Li ZP. A reduced graphene oxide/SnO<sub>2</sub>/polyaniline nanocomposite for the anode material of Li-ion batteries. *Solid State Ion.* 2016;294:6-14.
- 9- Nguyen VH, Shim JJ. Green synthesis and characterization of carbon nanotubes/polyaniline nanocomposites. *J Spectrosc.* 2015;2015:297804.
- 10- Wang L, Lu X, Lei S, Song Y. Graphene-based polyaniline nanocomposites: Preparation, properties and applications. *J Mater Chem A.* 2014;2(13):4491-509.
- 11- Saadat L, Sadeghvandi F. Synthesis & study of Polyethylene/Polyaniline/Montmorillonite ductile nano composites properties. *Int J Nano Dimens.* 2014;5(3):255-65.
- 12- Gupta K, Jana PC, Meikap AK. Optical and electrical transport properties of polyaniline-silver nanocomposite. *Synth Met.* 2010;160(13-14):1566-73.
- 13- Olad A, Nosrati R. Preparation and corrosion resistance of nanostructured PVC/ZnO-polyaniline hybrid coating. *Prog Org Coat.* 2013;76(1):113-8.
- 14- Olad A, Barati M, Behboudi S. Preparation of PANI/epoxy/Zn nanocomposite using Zn nanoparticles and epoxy resin as additives and investigation of its corrosion protection behavior on iron. *Prog Org Coat.* 2012;74(1):221-7.
- 15- Singho ND, Che Lah NA, Johan MR, Ahmad R. FTIR studies on silver-poly (Methylmethacrylate) nanocomposites via In-situ polymerization technique. *Int J Electrochem Sci.* 2012;7(6):5596-603.
- 16- Dos Reis EF, Campos FS, Lage AP, Leite RC, Heneine LG, Vasconcelos WL, et al. Synthesis and characterization of poly (vinyl alcohol) hydrogels and hybrids for rMPB70 protein adsorption. *Mater Res.* 2006;9(2):185-91.
- 17- Alimohammadi F, Montazer M, Shamei A, Rahimi MK. Synthesis of silver nanoparticles in cotton fabric by polyvinyl-2-pyrrolidone as a reducing and stabilizing agent. *Iran J Polym Sci Technol.* 2012;25(4):265-75. [Persian]

نشان داده‌اند و نسبت به باکتری استافیلوکوک کمتر موثر بوده‌اند [17] که نتایج به‌دست‌آمده با آن همخوانی داشت. به عبارت دیگر باکتری گرم‌مثبت استافیلوکوکوس اورئوس (*Staphylococcus aureus*) مقاومت بیشتری را نسبت به باکتری گرم‌منفی/شریشیا کلی نشان داده است. این موضوع می‌تواند به سبب تفاوت در دیواره سلولی باکتری گرم‌مثبت و منفی باشد. باکتری استافیلوکوکوس اورئوس دارای دیواره ضخیم‌تری از پلی‌پتیدوگلیکان نسبت به باکتری/شریشیا کلی است که سبب پایداری بیشتر آن شده است [17]. تصاویر SEM ثبت‌شده برای نانوکامپوزیت حالت بهینه، تحلیل EDX برای تعیین مقدار عناصر سازنده و همچنین نحوه توزیع این عناصر در نانوکامپوزیت مشخص کرد که نانوذرات نقره به‌خوبی در تمام منطقه سطح فیلم توزیع شده بود و به‌صورت نقاط درخشانی دیده می‌شدند. به‌منظور بررسی پایداری حرارتی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نانوذرات نقره (نمونه ۵) آنالیز TGA در مورد آن انجام و با نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز TGA برای پلی‌آنیلین، پلی‌وینیل‌الکل و نانوذرات نقره خالص مقایسه شد که در نمودار TGA پلی‌وینیل‌الکل یک افت وزنی شدید (۸۰٪) بین دمای ۲۰۰ الی ۴۵۰°C وجود داشت که مربوط به تجزیه زنجیرهای پلیمری و تخریب ساختار پلیمری است. در نمودار TGA پلی‌آنیلین یک افت وزنی (۸٪) بین دمای ۵۰ تا ۱۵۰°C وجود داشت که می‌تواند به حذف آب یا خروج عامل دوپه‌کننده یا حلال نسبت داده شود. افت وزنی در بین دمای ۱۵۰ تا ۳۵۰°C (۳۳٪) و بالاتر را نیز می‌توان به تخریب ساختار پلیمر نسبت داد. مقایسه مقادیر مدول یانگ نیز نشان داد که کلیه نمونه‌های تهیه‌شده به استثنای نانوکامپوزیت‌های پلی‌وینیل‌الکل- نقره دارای مدول یانگ کمتری نسبت به پلی‌وینیل‌الکل خالص بود. کاهش مدول یانگ به معنای افزایش انعطاف‌پذیری فیلم‌های تهیه‌شده است. بالعکس، بیشتر بودن میزان مدول یانگ نشان‌دهنده سختی و صلبیت فیلم بوده است و چنین فیلمی در مقابل کشش و افزایش طول، مقاومت می‌کند.

## نتیجه‌گیری

اجزای سازنده نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نقره سازگار هستند. حضور نانوذرات نقره و پلی‌آنیلین در ساختار نانوکامپوزیت باعث بهبود پایداری حرارتی آن نسبت به پلی‌وینیل‌الکل خالص در دمای بالا می‌شود. نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین- پلی‌وینیل‌الکل- نقره و نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل- نقره در مقابل باکتری‌های بیماری‌زای گرم‌مثبت و گرم‌منفی اثر بازدارندگی دارند. کاهش درصد وزنی پلی‌وینیل‌الکل یا افزایش درصد وزنی پلی‌آنیلین باعث افت مقادیر استحکام کششی می‌شود.

**تشکر و قدردانی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

**تاییدیه اخلاقی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

**تعارض منافع:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

**سهم نویسندگان:** علیرضا خشکبارصادقی (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر اصلی (50٪)، مریم فریودی (نویسنده دوم)، روش‌شناس/پژوهشگر اصلی/نگارنده بحث (50٪)

**منابع مالی:** موردی از سوی نویسندگان گزارش نشد.

## منابع

- 1- Araujo JR, Adamo CB, Costa e Silva MV, De Paoli MA.