

## بسته‌بندی فعال و هوشمند مواد غذایی با به‌کارگیری عامل‌های پادباکتریایی و شناساگر با خاستگاه طبیعی

سمیه محمودی اسکندرآبادی<sup>۱</sup>، مهدی محمودیان<sup>۲\*</sup> و کاوه رحمانی‌فرح<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، گروه نانوفناوری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. استادیار دانشکده علوم، گروه نانوفناوری، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. استادیار پژوهشکده تحقیقات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

دریافت: اسفند ۹۸ بازنگری: تیر ۹۹ پذیرش: آبان ۹۹

**چکیده:** یکی از اهداف مهم در بسته‌بندی غذایی، حفاظت محتویات آن از آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی است. در سال‌های اخیر بسته‌بندی‌های هوشمند مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این نوع بسته‌بندی‌ها، از مواد و نانوذرات متفاوتی برای جلوگیری از فساد مواد غذایی و تشخیص آن استفاده می‌شود. در این مطالعه، اتیلن‌وینیل استات (EVA)، افشره رزماری و نانوذرات روی اکسید و آنتوسیانین به ترتیب به عنوان بستر سپاری، عامل پاداکسنده، پادباکتری و شناساگر برای تهیه بسته‌بندی‌های هوشمند مورد استفاده قرار گرفتند. از روش‌های پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپی الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) برای بررسی ساختار نانوذرات و فیلم‌های حاوی آن‌ها بهره‌گرفته شد. همچنین، با آزمایش‌های ظرفیت پاداکسندگی و هاله عدم رشد باکتری کارایی فیلم‌ها در جلوگیری از فساد ماده غذایی سنجیده شد. بیشترین اثر پادباکتریایی و پاداکسندگی مربوط به فیلم حاوی افشره رزماری است.

**واژه‌های کلیدی:** بسته‌بندی فعال، نانوذرات پادباکتری، بسته‌بندی هوشمند، شناساگر pH

### مقدمه

کیفیت در فروشگاه و قفسه باقی بماند و سلامت خود را حفظ کنند [۱]. در حالت کلی، هدف از بسته‌بندی، محافظت ماده غذایی در برابر محیط و مقابله با آلودگی‌های فیزیکی از جمله باکتری و گرد و غبار و خرابی‌های شیمیایی ناشی از شرایط محیطی است. این شرایط شامل نور، اکسیژن، تبخیر

انتخاب یک روش بسته‌بندی متناسب با نوع ماده غذایی، نکته‌ای مهم و پایه‌ای در صنایع غذایی است که اگر به درستی انجام شود، موجب می‌شود فراورده‌های غذایی ماندگاری بالاتری داشته باشند و مدت بیشتری بدون افت

پراکنده می‌شوند [۱۲]. در این پژوهش، اتیلن‌وینیل استات (EVA<sup>۲</sup>) به دلیل مزایایی مانند شفافیت و انعطاف‌پذیری به‌عنوان بستر بسپاری انتخاب شد. رنگینه آنتوسیانین<sup>۳</sup> از افشره کلم قرمز استخراج و به بستر بسپاری افزوده شد. آنتوسیانین یک رنگینه طبیعی و شناساگر نهانی برای pH نیز به‌حساب می‌آید که در این پژوهش به اثبات رسید. افزون‌براین، از عامل پادمیکروبی نانوذرات روی اکسید و افشره رزماری<sup>۴</sup> در بستر بسپار استفاده شد. هدف از این پژوهش، مطالعه و بررسی کارایی نانوجندسازهای تهیه‌شده به‌عنوان بسته‌بندی هوشمند و فعال در صنایع غذایی بود. فعالیت پادباکتریایی و پاداکسندگی نانوجندسازهای بسپاری تهیه‌شده نیز بررسی شد.

### بخش تجربی

#### مواد

اتیلن وینیل استات با وزن مولکولی ۷۰۰۰۰ g/mol از شرکت Hanwha Chemical خریداری شد. پلی‌وینیل الکل با وزن مولکولی ۱۰۰۰۰۰ g/mol به صورت صنعتی تهیه شد. حلال‌های کلروفرم، متانول و اتانول و واکنشگرهایی مانند روی نیترات، دی‌فنیل‌پیکریل هیدرازیل (DPPH)، هیدروکلریک - اسید، Brain heart broth و Muller Hinton Agar از شرکت مرک تهیه شد. کلم قرمز برای استخراج آنتوسیانین از بازار محلی ارومیه خریداری شد و افشره رزماری متعلق به شرکت ایده آراگستر بود.

#### روش‌های تهیه و شناسایی

ساختار بلوری نانوذرات تهیه‌شده و همچنین، فیلم‌های نانو-چندساز با پراش پرتو ایکس (XRD, XPertPro, Holland) در 40 kV، 30 mA و گستره  $2\theta$  از ۵ تا ۸۰ درجه بررسی شد.

آب و گرما هستند [۲ و ۳]. در این زمینه مواد متفاوتی به‌کارگرفته می‌شوند. این بسپارها می‌توانند مانند نشاسته یا کیتوسان، طبیعی و یا اینکه سنتزی باشند [۴]. گروه دوم نسبت به بسپارهای زیستی مزیت‌هایی دارند که شامل مقاومت بالا در برابر عوامل محیطی، رطوبت و گذردگی گاز هستند. تاکنون، انواع متفاوتی از بسپارهای تهیه‌شده برای بسته‌بندی به‌کارگرفته شده‌اند که شامل پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن ترفتالات و پلی‌وینیل الکل [۵] هستند. شرایط تهیه برخی از این بسپارها نامطلوب و سخت است. از این رو، موجب محدودیت کاربری آن‌ها می‌شود [۶]. بسته‌بندی پادمیکروبی و فعال یک فناوری نوین و نویدبخش در صنایع غذایی است. افزایش ماندگاری ماده غذایی در چنین بسته‌بندی‌هایی بیشتر به کمک افزایش ویژگی پادباکتریایی و کاهش نرخ رشد ریزاندامگان<sup>۱</sup>ها انجام می‌شود [۷]. افزودن عوامل فعال و پادمیکروبی با ویژگی‌های پاداکسندگی در مواد بسته‌بندی در سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری گزارش شده است. تولیدکنندگان مواد غذایی بایستی واپایش نسبی را برای جلوگیری از فساد مواد غذایی فراهم کنند که در این زمینه روش‌های بسته‌بندی با قابلیت آزادسازی واپایش‌شده عوامل پادمیکروبی، می‌توانند مفید باشند [۸]. با توسعه نانوفناوری و رویکردهای جدید در این حوضه، دانشمندان رشته صنایع غذایی نیز از نانومواد متنوعی در تولید بسته‌بندی‌های هوشمند و فعال مواد غذایی استفاده کردند [۹]. نانومواد و نانوذرات در علم و فناوری نانو به عنوان سنگ بنا و اجزای سازنده این علم هستند که از اهمیت بالایی برخوردارند. افزودن نانومواد در بسته‌بندی‌ها برای بهبود ویژگی‌ها و عملکرد آن‌ها انجام می‌شود [۱۰]. بنابراین، ویژگی پادمیکروبی نانوذراتی مانند روی اکسید [۱۱]، نقره و مس اکسید به‌طور گسترده در مقاله‌ها مطالعه شده است. این نانوذرات بیشتر در یک بستر یا لایه بسپاری

1. Microorganism  
3. Anthocyanin

2. Ethylenevinyl acetate (EVA)  
4. Rosemary

### فعالیت پاداکسندگی

دی فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH<sup>1</sup>) برای بررسی اثر فیلم‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد استفاده شد. ابتدا به 0/05 g از فیلم‌های تهیه شده، 5 میلی لیتر متانول افزوده و به مدت 20 دقیقه نگه داشته شدند تا افشره پاداکسندگی فیلم‌ها وارد متانول شد و محلول آن برای بررسی فعالیت پاداکسندگی با روش DPPH مورد استفاده قرار گرفت. 0/004 گرم DPPH در 100 میلی لیتر متانول به مدت 30 دقیقه تحت هم‌زدن، حل شد. 1 میلی لیتر از محلول حاوی افشره پاداکسندگی به 3 میلی لیتر محلول DPPH افزوده و به شدت مخلوط شدند. مخلوط به دست آمده 30 دقیقه در محیط تاریک در دمای اتاق قرار گرفت. سپس جذب آن در طول موج 515 نانومتر خوانده شد. جذب خود محلول متانولی DPPH نیز در 515 نانومتر خوانده و از معادله 1 میزان فعالیت پاداکسندگی محاسبه شد.

$$I\% = [(A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{blank}}] \times 100 \quad (1)$$

که در آن، I فعالیت پاداکسندگی است.  $A_{\text{blank}}$  و  $A_{\text{sample}}$  به ترتیب مربوط به جذب نمونه شاهد و نمونه آزمایش است.

### هاله عدم رشد باکتری

برای بررسی فعالیت پادباکتریایی مواد، از دو باکتری اشرشیاکلی<sup>2</sup> و استافیلوکوکوس اورئوس<sup>3</sup> استفاده شد. دلیل انتخاب این دو باکتری، به ترتیب گرم منفی و گرم مثبت بودن آنها است تا اثر پادباکتریایی بر انواع باکتری مورد آزمایش قرار گیرد. ابتدا محلول 50 میلی لیتر از محلول افشره رشد مغز و قلب<sup>4</sup> تهیه شد و به مدت 15 دقیقه در دمای 30°C در دستگاه دم‌فشار قرار گرفت. سپس باکتری با غلظت 0/5 کروفرولند به آن افزوده و به مدت 24 ساعت برای رشد

بر پایه داده‌های الگوی XRD نمونه‌ها میانگین اندازه بلورها با معادله شرر محاسبه شد. تصاویر سطح فیلم‌های تهیه شده و نانوذرات با میکروسکوپ الکترونی روبش گسیل میدانی (FESEM, Hitachi S4160, Japan) در مقیاس‌های 200، 500 و 1000 نانومتر ثبت شد.

### نانوذرات روی اکسید

برای تهیه نانوذرات روی اکسید، محلول‌های 0/1 M از Zn(NO<sub>3</sub>).6H<sub>2</sub>O و PVA به کار گرفته شد. پس از افزودن هر دو محلول به یکدیگر، محلول 1 M از KOH آرام آرام به آن افزوده شد تا pH به 12 برسد و رسوب به دست آید. رسوب به دست آمده صاف و در مدت 24 ساعت در دمای 30°C خشک شد. سپس یک ساعت در دمای 500°C کلسینه شد.

### استخراج آنتوسیانین

به 150 گرم کلم قرمز خرد و له شده، 80 میلی لیتر آب و اتانول (7:3) افزوده شد. pH محلول با 2 میلی لیتر HCl با غلظت 1 M به 2 رسید. مخلوط به دست آمده 24 ساعت در دمای 5°C به دور از نور آفتاب نگهداری شد. سپس مخلوط به مدت 10 دقیقه در دستگاه گریزان به سرعت 2000 دور در دقیقه قرار داده شد. با افزودن محلول 2/5 M سود، pH آن به 7 رسید.

### تهیه فیلم‌های فعال و هوشمند

بسپار EVA به عنوان بستر به کار گرفته شد. افزودنی‌های متفاوت مطابق با جدول 1 به بسپار افزوده و فیلم‌های مورد آزمایش تهیه شدند.

1. Diphenylpicrylhydrazyl  
3. Staphylococcus aureus

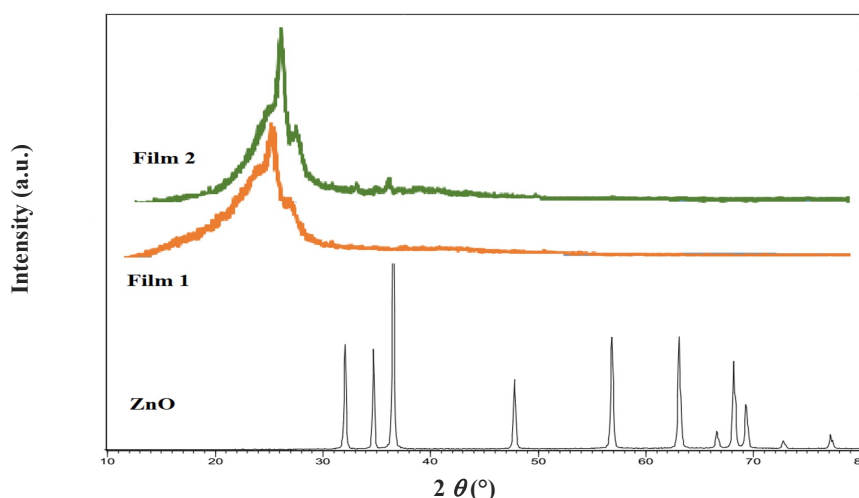
2. Escherichia coli  
4. Brain heart broth

روش XRD برای تأیید ساختار بلوری نانوذرات روی اکسید و فیلم نانوچندسازه به کار گرفته شد. شکل ۱، الگوی XRD مربوط به نانوذرات ZnO بسیار EVA و فیلم حاوی ZnO را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱، موقعیت پیک‌های الگوی ZnO با الگوی استاندارد مربوط (JCPDS = 79-0208) سازگاری دارد و نشان‌دهنده ساختار بلوری هگزاگونال نانوذرات ZnO است. پیک‌های مشخصه ZnO در  $2\theta$  برابر با  $33.3^\circ$ ،  $34.5^\circ$  و  $36.5^\circ$  دیده می‌شوند. با به کارگیری معادله شرر [۱۳]، میانگین اندازه دانه‌های بلوری روی اکسید،  $38.5$  نانومتر محاسبه شد. الگوی پراش پرتو ایکس فیلم EVA بدون افزودنی، پیک مشخصه‌ای را در  $2\theta$  برابر با  $25^\circ$  نشان می‌دهد که با الگوی استاندارد مربوط (ICDD 002-062-1289) سازگاری دارد و حاکی از ماهیت بلورین این بسیار است [۱۴]. با توجه به الگو XRD فیلم حاوی نانوذرات ZnO، پیک‌های مربوط به ZnO با شدت کم، همراه با پیک مربوط به EVA ظاهر شده‌اند که تأییدی بر حضور و پراکندگی نانوذرات درون بستر بسیاری است. علت شدت کم پیک‌ها، درصدوزنی کم نانوذرات ZnO در بسیار است.

باکتری‌ها نگهداری شد.  $50$  میلی‌لیتر محلول آگار مولر هینتون تهیه و به مدت  $15$  دقیقه در دم‌فشار با دمای  $50^\circ\text{C}$  قرار داده شد. سپس محلول کشت آگار در ظرف‌های کشت ریخته شد. محلول باکتری‌ها به روش کشت چمنی بر محیط آگار کشت و فیلم‌های تهیه‌شده در ابعاد  $1 \times 1$  cm بر محیط کشت حاوی باکتری‌ها قرار داده شد و به مدت  $24$  تا  $48$  ساعت در گرم‌خانه برای رشد باکتری‌ها قرار گرفت. پس از این دوره زمانی قطر هاله عدم رشد باکتری اندازه‌گیری شد. منظور از هاله عدم رشد باکتری، گستره‌ای از اطراف فیلم است که باکتری در آن منطقه رشد نکرده و در اصل فیلم با اعمال ویژگی پادباکتریایی در اطراف خود مانع رشد باکتری شده است. هرچه قطر هاله اطراف فیلم بیشتر باشد یعنی ویژگی پادباکتریایی قوی‌تری داشته است.

## نتایج و بحث

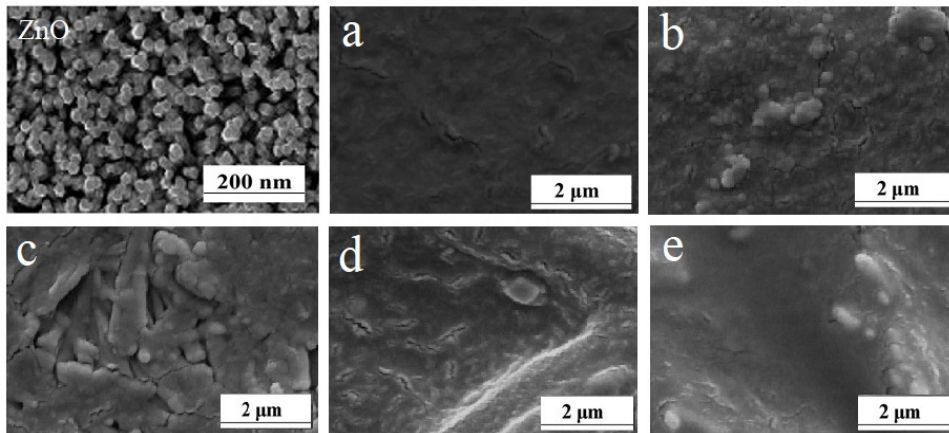
### روش‌های شناسایی



شکل ۱ الگوهای پراش پرتو ایکس نانوذرات روی اکسید و فیلم‌ها

می‌شود آنتوسیانین ساختار صاف و یکنواخت فیلم را به طور کامل بهم ریخته و سطحی ناهموار ایجاد کرده است. علت این پدیده آن است که آنتوسیانین، برخلاف بسپار، در آب محلول است. شکل ۲-d، تصویر فیلم حاوی افشره رزماری را نشان می‌دهد. رزماری ترکیبی مایع است و همانند آنتوسیانین با افزودن شدن به فیلم، سطح ناهمواری ایجاد می‌کند و پراکندگی مناسبی نسبت به نانوذرات ندارد. اما در فیلم حاوی همه افزودنی‌ها (شکل ۲-e)، ذرات و ناهمواری‌هایی مشاهده می‌شوند که مربوط به نانوذرات روی اکسید و افشره رزماری و آنتوسیانین هستند. با کنار هم قرارگیری تمام افزودنی‌ها، تصویر FESEM فیلم مربوط نیز به نوعی ویژگی سایر فیلم‌ها را همزمان دارد، به گونه‌ای که هم دانه‌های نانوذرات ZnO و هم سطح ناهموار ایجاد شده از رزماری و آنتوسیانین به خوبی قابل مشاهده است.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ها در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، تصویر FESEM مربوط به نانوذرات روی اکسید، به تفریب کروی شکل هستند. افزون‌براین، اندازه ذرات حدود ۴۰ نانومتر است که با نتایج XRD سازگاری دارد. تصویر فیلم بدون افزودنی (شکل ۲-a) سطحی صاف داشته و یکنواخت است. ترک‌هایی که در سطح آن قابل مشاهده است، به علت انرژی زیاد برخورد الکترون‌ها در حین تصویر برداری دستگاه FESEM است. با توجه به شکل ۲، وجود افزودنی‌ها در فیلم موجب ناهمواری سطح آن شده و یکنواختی فیلم را تا حدی از بین می‌برد. نانوذرات ZnO به صورت دانه‌های ریز درون بستر بسپاری به صورت یکنواخت پخش شده‌اند (شکل ۲-b). شکل ۲-c، تصویر مربوط به فیلم حاوی آنتوسیانین است، همان‌طور که مشاهده



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلم EVA بدون افزودنی (a)، فیلم حاوی ZnO (b)، فیلم حاوی آنتوسیانین (c)، فیلم حاوی رزماری (d) و فیلم حاوی همه ترکیبات (e)

جذب کند. DPPH به طور گسترده‌ای جدای از دیگر پاداکسندها به عنوان جاذب رادیکال به کار می‌رود [۱۵ و ۱۶]. جدول ۲ نتایج جذب رادیکال DPPH را نشان می‌دهد. برپایه نتایج فیلم‌های چندسازه‌ای قابلیت پاداکسندهی بسیار بیشتری

#### فعالیت پاداکسندهی

تاثیر مهار رادیکال آزاد DPPH با فیلم‌های تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت. پاداکسنده، میکروساختاری است که می‌تواند با واکنش‌های زنجیری اکسایش، رادیکال‌های آزاد را

عدم رشد باکتری داشته است. شکل ۳-۵ مربوط به فیلم بدون افزودنی است که هاله عدم رشد باکتری ندارد. این نتیجه منطقی است چرا که بسیار خود ویژگی پادباکتریایی ندارد. اما در شکل ۳-۵ مربوط به فیلم حاوی ZnO نیز ویژگی‌های پادباکتریایی مشاهده نمی‌شود. دلیل آن این است که یون‌های  $Zn^{2+}$  بر خلاف افشره‌ها توانایی رهایش به بیرون از فیلم را ندارند تا بر دیواره سلولی باکتری اثر گذاشته و آن را از بین ببرند. هرچند که ویژگی پادباکتریایی پودر ZnO به تنهایی در منابع به اثبات رسیده باشد [۱۹]. افشره آنتوسیانین بارگذاری شده در درون فیلم موجب قطر هاله عدم رشد ۶ تا ۸ میلی‌متر شده است (شکل ۳-۶) که نشان‌دهنده اثربخشی این فیلم در برابر باکتری‌ها است. شکل‌های ۳-۷ و ۳-۸ بیشترین قطر هاله عدم رشد باکتری را دارند. دلیل آن به کار رفتن افشره رزماری درون ساختار آن‌ها است. افشره رزماری ویژگی پادباکتریایی قوی دارد اما با ترکیب شدن با سایر افزودنی‌ها مقداری از ویژگی آن کاسته می‌شود. همین نتیجه در بخش پاداکسندگی نیز مشاهده شد. فیلم حاوی رزماری تنها برخلاف فیلم حاوی همه ترکیبات، ویژگی پاداکسندگی بیشتری داشت. برپایه شکل ۳ می‌توان گفت که تاثیر پادباکتریایی نانوذرات و فیلم‌ها بر باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر بوده است. دلیل آن چندلایه‌بودن و پیچیدگی پوشش سلولی باکتری‌های گرم منفی است که مقاومت آن‌ها را در برابر پادزیست‌ها و عوامل خارجی بیشتر می‌کند. در نتیجه باکتری گرم مثبت که ساختار سلولی ساده‌تری دارد به راحتی در برابر عوامل پادباکتریایی تخریب می‌شود و از بین می‌رود. بورا و همکارانش در سال ۲۰۲۰، نانوجندسازه کیتوسان-ZnO را به‌عنوان فیلم با ویژگی پادباکتریایی مورد آزمایش قرار دادند. فیلم تهیه‌شده، ویژگی پادباکتریایی بر باکتری اشرشیاکلی نشان داد [۲۰]. همچنین، فاول و همکارانش در سال ۲۰۲۰، هدف خود از تهیه بسته‌بندی پادباکتریایی را کاهش آلودگی‌های زیست

نسبت به فیلم EVA دارند. بالاترین فعالیت پاداکسندگی مربوط به فیلم‌های حاوی رزماری است. ترکیب آنتوسیانین و رزماری با نانوذرات در فیلم‌ها موجب کاهش فعالیت پاداکسندگی آن‌ها شده است. یعنی وجود نانوذرات بر ویژگی پاداکسندگی رزماری تاثیر منفی داشته است. فعالیت پاداکسندگی آنتوسیانین، رزماری و ZnO در مطالعات قبلی اثبات شده است [۱۷]. امجدی و همکارانش در سال ۲۰۲۰، از نانوالیاف زئین، رزماری و نانوذرات روی اکسید فیلم فعالی تهیه کردند. فیلم تهیه‌شده ویژگی پاداکسندگی در تماس با DPPH از خود نشان داد. افزون‌براین، فیلم ویژگی زهرناکی<sup>۲</sup> نیز داشته است که به دلیل این ویژگی‌ها به راحتی به‌عنوان بسته‌بندی فعال در مواد غذایی قابل استفاده است [۱۸].

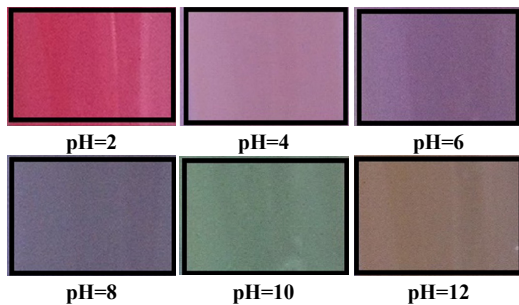
جدول ۲ اثر پاداکسندگی فیلم‌ها

فیلم	I%
۱	۵,۳
۲	۱۷,۶
۳	۲۹,۷
۴	۳۵,۳
۵	۳۱,۲

#### فعالیت پادباکتریایی

داده‌های به‌دست آمده از آزمون باکتریایی در جدول ۳ آورده شده است. برای بررسی فعالیت پادباکتریایی فیلم‌های تهیه شده، از دو باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس استفاده شد. در شکل ۳ تصاویر مربوط به فعالیت پادباکتریایی نانوذرات ZnO و فیلم‌ها که میزان هاله عدم رشد باکتری را نشان می‌دهند، آورده شده است. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود پودر ZnO تنها بر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس مؤثر بوده و حدود ۵ میلی‌متر هاله

قلیایی آزاد می‌کند و این مواد با تغییر pH و در نتیجه تغییر رنگ موجب اطلاع از فساد می‌شوند [۲۲]. تغییر رنگ آنتوسیانین تحت شرایط اسیدی و بازی در شکل ۴ قابل مشاهده است.

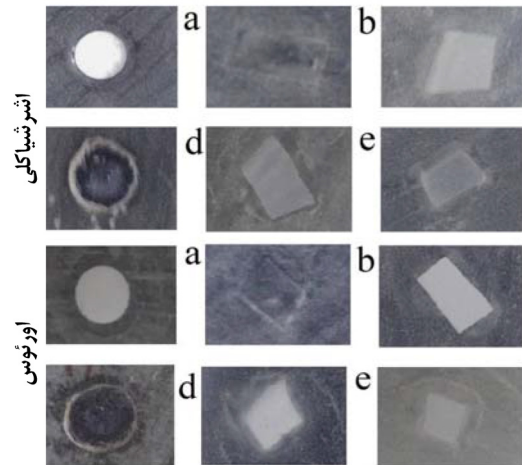


شکل ۴ تغییر رنگ آنتوسیانین در pH های متفاوت

### نتیجه گیری

در این مطالعه از نانوجندسازه اتیلن وینیل استات حاوی نانوذرات روی اکسید و افشردهای رزماری برای بهبود ویژگی فیلم‌ها، از جمله خواص پادباکتریایی و پاداکسندگی استفاده و آنتوسیانین به عنوان شناساگر در فیلم‌ها وارد شد. فیلم‌های تهیه شده با روش‌های XRD و FESEM مورد ارزیابی قرار گرفتند. کارایی فیلم‌ها با آزمون‌های پادباکتریایی و پاداکسندگی بررسی شد. برپایه نتایج، فیلم حاوی افشرد رزماری (فیلم ۴) ویژگی پاداکسندگی و پادباکتریایی بیشتری در مقایسه با فیلم خالی و دیگر فیلم‌ها داشت. ویژگی پادباکتریایی بیشتر بر باکتری گرم مثبت تأثیرگذار بود. همچنین، شناساگر به کار گرفته شده در برابر ترکیبات قلیایی از قرمز به سبز تغییر رنگ داد. این تغییر رنگ به خوبی قابلیت آنتوسیانین برای تشخیص ترکیبات آمینی فرار که ماهیت قلیایی دارند و از فساد مواد غذایی ایجاد می‌شوند را ثابت می‌کند. در نتیجه با به کارگیری این فیلم‌ها به عنوان بسته بندی، هم عمر مفید ماده غذایی داخل آن افزایش

محیطی و جلوگیری از هدررفت مواد غذایی بیان کردند. آن‌ها از هیدروکسی متیل سلولز و ZnO در آزمایش‌های خود استفاده کردند. برپایه نتایجی که به دست آوردند، فیلم تهیه شده، ۹۰٪ بر باکتری استافیلوکوکوس و ۶۰٪ بر باکتری اشرشیاکلی مؤثر بود [۲۱].



شکل ۳ هاله عدم رشد باکتری در فیلم EVA بدون افزودنی (a)، فیلم حاوی ZnO (b)، فیلم حاوی آنتوسیانین (c)، فیلم حاوی رزماری (d) و فیلم حاوی همه ترکیبات (e)

جدول ۳ هاله عدم رشد باکتری در فیلم‌های متفاوت

فیلم	قطر هاله (میلی متر)	
	اشرشیاکلی	استافیلوکوکوس اورئوس
	۰	۰
۱	۰	۰
۲	۶	۸
۳	۱۲	۱۵
۴	۱۲	۱۴

### شناساگر pH

آنتوسیانین ماده‌ای با قابلیت تغییر رنگ در pH های متفاوت است. از این قابلیت برای تشخیص فساد ماده غذایی به ویژه گوشت استفاده می‌شود. چراکه فساد گوشت ترکیبات

با تغییر رنگ مطلع می‌کند.

می‌یابد و هم در صورت بروز فساد، شناساگر مصرف‌کننده را

## مراجع

- [1] Busolo, M.A.; Lagaron, J.M.; *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 16, 211-217, 2012.
- [2] Ozdemir, M.; Floros, J.D.; *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44(3), 185-193, 2014.
- [3] Ghosal. G.; *Food packaging and preservation* 10, 343-374, 2018.
- [4] Jo, Y.; *Food Bioscience* 23, 83-90, 2018.
- [5] Yu, Z.; Li, B.; Chu, J.; Zhang, P.; *Carbohydrate Polymers* 184, 214-220, 2018.
- [6] Noorbakhsh-Soltani, S.M.; Zerafat, M.M.; Sabbaghi, S.; *Carbohydrate Polymers* 189, 48-55, 2018.
- [7] Zare, M.; Namratha, K.; Byrappa, K.; Surendra, D.M.; Yallappa, S.; Hungund, B.; *Journal of Materials Science & Technology*, 34(6), 1035-1043, 2018.
- [8] Wattananawinrat, K.; Threepopnatkul, P.; Kulsetthanchalee, C.; *Energy Procedia* 56, 1-9, 2014.
- [9] da Silva Dannenberg, G.; Funck, G.D.; Mattei, F.J.; da Silva, W.P.; Fiorentini, Â.M.; *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 36, 120-127, 2016.
- [10] Khorsand Zak, A.; Razali, R.; Abd Majid, W.H.; Darroudi, M.; *International Journal of Nanomedicine*, 6, 1399-1403, 2011.
- [11] Zhang, L.; Ding, Y.; Povey, M.; York, D.; *Progress in Natural Science* 18(8), 939-944, 2008.
- [12] Braga, L.R.; *Food Packaging and Shelf Life* 15, 122-129, 2018.
- [13] Kumbhakar, P.; Singh, D.; Tiwary, C.S.; Mitra, A.K.; *Chalcogenide Letters* 5(12), 387-394, 2008.
- [14] Zhou, S.; Zhang, L.; Wang, Y.; Zuo, Y.; Gao, S.; Li, Y.; *Journal of Macromolecular Science Part B: Physics* 51(1), 1-11, 2012.
- [15] Avşar, C.; Özler, H.; Berber, İ.; Cİvek, S.; *Pollen Grains from Black Sea Region of Turkey* 23, 1711-1716, 2016.
- [16] Nagajyothi, F.; Weiss, L.M.; Zhao, D.; Koba, W.; Jelick, L.A.; Cui, M.H.; *PLoS Negl Trop Dis*. 8(10), e3118, 2014.
- [17] Topuz, F.; Uyar, T.; *Food Research International* 130, 10-27, 2020.
- [18] Amjadi, S.; Almasi, H.; Ghorbani, M.; Ramazani, S.; *Carbohydrate Polymers* 232, 15-22, 2020.
- [19] Cox, P.; Betts, R.; Jones, C.; Spall, S.; Totterdell, I.; *Nature* 408, 184-187, 2000.
- [20] Boura-Theodoridou, O.; Giannakas, A.; Katapodis, P.; Stamatis, H.; Ladavos, A.; Barkoula, N.; *Food Packaging and Shelf Life* 23, 14-30, 2020.
- [21] El Fawal, G.; Hong, H.; Song, X.; Wu, J.; Sun, M.; He, C.; Mo, X.; Jiang, Y.; Wang, H.; *Packaging and Shelf Life* 23, 100462, 2020.
- [22] Eskandarabadi, S.; Mahmoudian, M.; Farah, K.; Abdali, A.; Nozad, E.; Enayati, M.; *Food Packaging and Shelf Life* 22, 100389, 2019.



## Active and intelligent food packaging with the use of anti-bacterial and natural-identifier agents

Somayeh Mahmoudi Eskandarabadi<sup>1</sup>, Mehdi Mahmoudian<sup>2\*</sup>, Kaveh Rahmanifarah<sup>3</sup>

1. M.Sc. student in Nanotechnology Department, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Assistant Prof. in Nanotechnology Department, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Assistant Prof. in Urmia Lake Research Institute, Urmia University, Urmia, Iran.

**Abstract:** The main purpose of food packaging is to prevent it from being destroyed by physical, chemical, and microbial contamination. A new strategy that has recently been considered for this aim is the use of smart-active food packaging. In this study, ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) was used as an abundant, flexible, and non-toxic polymer for the preparation of packaging films. Anthocyanin extracted from red cabbage was stabilized on the montmorillonite and was added to the film as a time-temperature indicator. Furthermore, other materials such as ZnO, rosemary essential oil, and modified montmorillonite were used in order to achieve antimicrobial, antioxidant, and air barrier activity in the fabricated smart-active food packaging films. The nanoparticles and prepared films were characterized by XRD and FESEM analysis. The performance of the prepared films was investigated by antioxidant capacity test by DPPH, in vitro test, minimum bactericidal concentration (MBC), minimum inhibition concentration (MIC), antibacterial test and capacity of oxygen absorbance. Results showed that those film which contained additives such as rosemary, ZnO, and modified montmorillonite exhibited remarkable antibacterial and antioxidant activity compared to pristine EVA film.

**Keywords:** Active packaging; Antibacterial nanoparticles; Smart packaging; pH Indicator