



طراحی بسته بندی نانوکامپوزیت برپایه بیوپلیمر ژلاتین حاوی نانوذره دی اکسید تیتانیوم و عصاره زعفران به منظور کاربرد در بسته بندی مواد غذایی

شمیمه عظیمی سلیم^۱، مریم عزیزی لعل آبادی^{۲*}، میلاد توسلی^۳، محمود عزیزاده ثانی^۴

۱- کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۲- مرکز تحقیقات عوامل موثر بر محیط زیست در سلامت (RCEDH)، انستیتو سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۳- دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده تغذیه و علوم غذایی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.

۴- دانشجوی دکتری تخصصی، رشته بهداشت و ایمنی مواد غذایی، گروه بهداشت و ایمنی مواد غذایی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱

کلمات کلیدی:

فیلم زیست تخریب پذیر،

عصاره زعفران،

بسته بندی نانوکامپوزیت،

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم،

خصوصیات آنتی اکسیدانی

در این مطالعه بسته بندی زیست تخریب پذیر برپایه بیوپلیمر ژلاتین (در غلظت ۳ درصد وزنی-وزنی) حاوی نانو ذره دی اکسید تیتانیوم (در غلظت ۱ درصد وزنی-وزنی) و عصاره زعفران (در غلظت ۲ درصد حجمی-حجمی) با روش تبخیر-حلال سنتز شد. در این پژوهش خصوصیات فیزیکی (ضخامت، شفافیت، محتوای رطوبتی، میزان حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب)، مکانیکی، خصوصیات ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی، خصوصیات ساختاری و ظاهری فیلم ها مورد بررسی قرار گرفت. پس از آنالیز داده ها، نتایج نشان داد که تأثیر عصاره زعفران و نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم بر تمام خصوصیات مورد بررسی معنی دار ($P<0.05$) بود. افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و عصاره زعفران باعث افزایش ضخامت، و بهبود خصوصیات مکانیکی و کاهش محتوای رطوبتی، نفوذپذیری به بخار، شفافیت، و حلالیت شد. همچنین فیلم های نانوکامپوزیت حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و عصاره زعفران خصوصیات آنتی اکسیدانی ($\sim 80\%$) و اثرات ضد میکروبی قابل قبولی به ویژه بر علیه باکتری گرم مثبت *استافیلوکوکوس اورئوس* را نشان دادند. با توجه به نتایج بدست آمده از این مطالعه، این نوع بسته بندی می تواند به عنوان جایگزین مناسب برای بسته بندی های سنتزی پیشنهاد گردد.

DOI: 10.52547/fsct.18.121.3

DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.30.4

* مسئول مکاتبات:

maryamazizi766@gmail.com

۱- مقدمه

در طی سالهای اخیر فناوری نانو در زمینه علم پلیمر و بسته بندی منجر به تولید پلیمرهای نانوکامپوزیت شده است که در واقع جزو روش های نوین در این زمینه می باشند که امروزه تحقیقات زیادی در این رابطه بر روی محصولات غذایی را به خود اختصاص داده است [۱]. نانو کامپوزیت ها در واقع مجموعه ای از بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر (مثل پلی ساکاریدها، پروتئین ها و لیپیدها) و نانو ذرات دارای فعالیت ضد میکروبی می باشند [۲-۴]. همچنین نانوکامپوزیت ها ساختارهای مناسبی برای حمل مواد افزودنی مانند مواد آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی می باشند که با آزادسازی کنترل شده ای این ترکیبات قادرند سرعت انواع فسادهای میکروبی و شیمیایی را در مواد غذایی کاهش دهند [۵-۸]. علاوه بر این چون این ساختارها حاوی بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر هستند میزان آلودگی زیستی ناشی از بسته بندی های سنتتیک به حداقل می رسد. فیلم های ساخته شده بر پایه نانوکامپوزیت ها خواص کاربردی مطلوب تری از خود نشان می دهند که مهمترین آنها افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی، بهبود خواص مکانیکی و کاهش نفوذپذیری فیلم حاصل نسبت به بخار آب، افزایش بازدارندگی در برابر نفوذ گازها، افزایش کارایی فیلم در استفاده به عنوان بسته بندی فعال، افزایش مقاومت حرارتی و بهبود خواص ظاهری فیلم از دیگر مزایای نانوکامپوزیت ها بر پایه بیوپلیمرها می باشد [۹، ۱۰].

ژلاتین به عنوان یک بیوپلیمر با ۸۴٪ پروتئین، ۱۴٪ رطوبت و ۲٪ خاکستر می باشد که به مقدار بسیار زیادی در سراسر جهان تولید می شود [۱۱]. ژلاتین یک پروتئین محلول در آب است که از هیدرولیز کلاژن به دست آمده، و به دلیل قیمت پایین، در دسترس بودن و زیست تخریب پذیری آن، باعث می شود ترکیبی مناسب برای کاربردهای متفاوت مانند فیلم های بسته بندی مواد غذایی، حامل دارو و پوشش زخم باشد [۷، ۱۲].

دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) یکی از نانو ذرات مورد استفاده در نانوکامپوزیت ها می باشد که دارای ابعاد نانو بوده و اخیراً استفاده زیادی از آن در صنعت غذا و دارو می شود. دی اکسید تیتانیوم ماده ای است خنثی، ارزان قیمت که استفاده از آن در صنعت غذا

و دارو توسط سازمان غذا و دارو (FDA^۱) تأیید شده است [۶]. خواص مختلف این نانوذره از جمله خاصیت درخشندگی، انکسار نور و مقاومت در برابر رنگ زدایی (به عنوان رنگدانه) این ترکیب را برای نگهداری محصولات غذایی مناسب کرده است. همچنین بخاطر جذب اشعه ماوراء بنفش این ترکیب در تولید کرم های ضد آفتاب، لوسیون ها و دیگر مواد آرایشی بهداشتی نیز استفاده می شود. استفاده از آن در صنعت بسته بندی غذا به دلیل خاصیت ضد میکروبی آن می باشد، چرا که از این خاصیت دی اکسید تیتانیوم برای غیرفعال سازی طیف وسیعی از میکروارگانیسم های عامل فساد و بیماری زاء، از جمله باکتری ها و قارچ ها استفاده شده است و باعث افزایش زمان نگهداری غذا می شود [۵]. علاوه بر آن هنگام ترکیب شدن دی اکسید تیتانیوم (به عنوان یک پرکننده) با یک ماتریکس پلی مری این ترکیب با ایجاد پل های عرضی بین زنجیرهای پلیمر باعث افزایش پیوستگی شبکه ی پلیمر، افزایش خواص مکانیکی و افزایش مقاومت حرارتی فیلم های نانوکامپوزیت می شود [۱۳]. علاوه بر ترکیبات شیمیایی ضد میکروبی، بسیاری از ترکیبات طبیعی از جمله عصاره های گیاهی با ایجاد خواص آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی قادر به جلوگیری از فساد مواد غذایی نیز می باشند [۱۴]. عصاره زعفران حاوی فلاونوئیدهایی است که قادر به اعمال فعالیت ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی می باشد. اثرات آنتی اکسیدانی این ترکیبات طبیعی قادرند میزان اکسیداسیون چربیها را کاهش دهند و به شکل بالقوه این ترکیبات می تواند سرعت فساد شیمیایی را کاهش دهد [۱۵، ۱۶]. لذا هدف از انجام این مطالعه امکان سنجی تولید فیلم نانوکامپوزیت زیست تخریب پذیر بر پایه ژلاتین حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم و عصاره زعفران و بررسی ویژگی های فیزیکی و مکانیکی آن بوده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

در این مطالعه از پودر ژلاتین، گلیسرول و کلرید کلسیم (مرک آلمان)، نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم (سیگما، آمریکا)

دمای محیط درون دسیکاتور برای آزمایش‌ها بعدی نگهداری شد. غلظت‌های افزوده شده بر اساس وزن خشک ژلاتین محاسبه شد.

۲-۴- آزمایشات فیزیکی شیمیایی، مورفولوژیکی،

ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی

۲-۴-۱- ضخامت^۱ فیلم‌ها

ضخامت فیلم‌های بسته بندی در چند نقطه مختلف و به صورت تصادفی با میکرومتر دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آن‌ها محاسبه شد [۵].

۲-۴-۲- شفافیت^۲ فیلم‌ها

شفافیت فیلم‌های بسته بندی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-vis) با روش استاندارد ۰۹ - ۱۷۴۶ ASTM D در طول موج ۶۰۰ نانومتر تعیین شد. برای تعیین شفافیت، قطعات ۴×۱ سانتیمتری از نمونه فیلم‌ها بریده شده و سپس هر فیلم بریده شده در دیواره شفاف داخل سل کوارتزی دستگاه قرار داده شد و میزان جذب نمونه قرائت گردید. در نهایت شفافیت هر نمونه از رابطه (۱) محاسبه شد [۵]:

$$\text{Transparency} = \log T600/x \quad (1)$$

در این معادله T600 میزان عبور نور در طول موج ۶۰۰ نانومتر و X متوسط ضخامت فیلم بر حسب میلی‌متری باشد.

۲-۴-۳- حلالیت در آب^۳ و محتوای رطوبتی^۴ فیلم‌ها

میزان حلالیت فیلم‌های خوراکی در آب با استفاده از تغییرات وزن فیلم‌ها بعد از غوطه‌وری در آب در مقایسه با وزن اولیه فیلم‌ها محاسبه شد (فرمول ۲). برای اندازه‌گیری میزان حلالیت فیلم‌ها در آب، قطعاتی از فیلم پس از توزین در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت خشک و سپس وزن گردیدند (وزن اولیه). در مرحله بعدی نمونه فیلم در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر غوطه‌ور و به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با دور ۲۵۰ rpm به هم زده شد. سپس محلول حاصل از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱ عبور داده شد و در آخر وزن آن بعد از خشک‌کردن در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد [۵].

$$(2) \quad 100 \times \left\{ \frac{\text{وزن اولیه}}{\text{وزن نهایی - وزن اولیه}} \right\} = \text{درصد حلالیت}$$

استفاده شد. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده دارای درجه خلوص آزمایشگاهی بوده و از شرکت مرک (آلمان) تهیه شدند. همچنین برای کلیه آزمایش‌ها از آب مقطر استفاده شد.

۲-۲- عصاره گیری زعفران

ابتدا گلبرگ‌های خشک زعفران کاملاً پودر و آسیاب شده، سپس گلبرگ‌های آسیاب شده را با مخلوط ۸۰:۲۰ آب مقطر: اتانول (حجمی/حجمی) به منظور تهیه حلال با نسبت ۱:۲۰ (وزنی/حجمی) ترکیب کرده. در مرحله ی بعد حلال به دست آمده را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در تاریکی هم زده. محلول نهایی تهیه شده را از طریق کاغذ صافی واتمن شماره ۱ فیلتر کرده و سپس با دور ۵۰۰۰ برای ۱۰ دقیقه سانتریفوژ کرده. به منظور تغلیظ آنتوسیانین از اواپراتور دوار با پمپ خلا (۳۷ درجه سلسیوس و 25 ± 2 میلی‌لیتر جیوه) استفاده شد. در نهایت غلظت کل آنتوسیانین توسط پی‌اچ ارزیابی شد [۱۷].

۲-۳- تهیه فیلم نانوکامپوزیت

برای تهیه فیلم ژلاتین، ابتدا محلول ۳ درصد (وزنی-وزنی) ژلاتین در آب مقطر تهیه و به‌طور کامل در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد حل شد. سپس به نسبت ۳۰ درصد وزنی-وزنی گلیسرول به‌عنوان پلاستی‌سایزر (نرم‌کننده) به محلول اضافه گردید (بر اساس ماده خشک ژلاتین). سپس محلول حاصل با استفاده از حمام اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه برای خروج مولکول‌های گازی هواگیری شد. سپس نانوذره دی اکسید تیتانیوم (۱٪) و عصاره زعفران (۲٪) به محلول فیلم ژلاتین اضافه شدند. برای پراکندگی بهتر و یکنواختی نانو ذره و عصاره در محلول فیلم شاهد، اضافه کردن نانو ذره به آرامی و همراه با هم زدن شدید صورت گرفت. برای ایجاد محلول همگن و یکنواخت عمل هم زدن با هم‌وزنایزر انجام شد و سپس محلول فیلم‌های تهیه شده بر روی قالب‌های تفلونی ریخته شده و در دمای محیط برای مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. فیلم‌های تهیه شده از قالب‌ها جدا و به مدت یک روز در آون با دمای حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا باقیمانده حلال که می‌تواند نقش پلاستی‌سایزری داشته باشد به‌طور کامل حذف شود و فیلم تهیه شده در

1. Thickness
2. Transparency
3. Water Solubility
4. Moisture Content

۲-۴-۵- خصوصیات مکانیکی فیلم

خصوصیات مکانیکی فیلم ها شامل حداکثر استحکام کششی^۲ (TS)، ازدیاد طول تا نقطه شکست^۳ (EB) و مدول یانگ^۴ (YM) بر اساس استاندارد مصوب ASTM D ۸۸۲ و دستگاه بافت سنج (Universal testing machine) تعیین شد [۲۰]. قبل از انجام آزمون، نمونه‌ها از نظر میزان رطوبت به مدت ۲۴ ساعت مشروط شدند و در نهایت خصوصیات مکانیکی فیلم ها از روابط (۵) و (۶) محاسبه گردید:

$$\text{Tensile strength (MPa)} = \frac{\text{Max load}}{\text{Cross sectional of area sample}} \quad (5)$$

$$\text{Elongation at break (\%)} = \frac{\text{Elongation at break point}}{\text{original length}} \quad (6)$$

۲-۴-۶- بررسی خصوصیات مورفولوژی و ساختاری

فیلم ها

خصوصیات میکروساختاری فیلم های نانوکامپوزیت تولید شده با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی^۵ (SEM) بر روی سطح فیلم‌ها تعیین شد. برای این آنالیز ابتدا نمونه فیلم‌ها با یک ورقه نازک طلا پوشش داده شده و سپس با بزرگ‌نمایی ۲۰-۱۰ میکرون و ۲۰ کیلو وات مورد سنجش و بررسی قرار گرفتند [۲۱].

۲-۴-۷- تعیین اثرات ضد میکروبی فیلم های

نانوکامپوزیت با استفاده از روش دیسک دیفیوژن^۶

برای تعیین اثرات ضد میکروبی فیلم‌ها از روش دیسک دیفیوژن استفاده شد. بدین منظور، ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون ۲۴ ساعته باکتری های مورد آزمون کشت داده شده که به صورت تازه حاوی (۱۰^۶ CFU/mL) از باکتری‌های مورد نظر در هر میلی لیتر می باشد، بر روی محیط کشت مولر هیتون آگار تلقیح می شوند. سپس فیلم ها در شرایط کاملاً استریل به ابعاد یکسان ۱ سانتی متر (قطر) برش داده می شوند و بر روی پلیت‌های حاوی محیط کشت مولر هیتون آگار^۷ که هر کدام از پلیت ها با باکتری های /اشرشیاکالی از گروه باکتری های گرم منفی و

برای تعیین محتوای رطوبتی فیلم ها، ابتدا نمونه‌های فیلم ها در دسیکاتور حاوی نیترات منیزیم (رطوبت نسبی ۵۳ درصد) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت مشروط شدند. سپس ۰/۲ گرم از هر نمونه فیلم در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از گذشت ۶ ساعت از آون خارج و توزین شد. وزن نهایی بر اساس اختلاف دو توزین متوالی تعیین و ثبت گردید [۵].

۲-۴-۸- نفوذپذیری به بخار آب^۱ فیلم ها

میزان نفوذپذیری به بخار آب فیلم ها با استفاده از استاندارد مصوب ASTM E-۹۶ و با استفاده از ویال های شیشه‌ای مخصوص با دهانه ای به قطر ۱ سانتیمتر و به روش گراویمتری اندازه گیری شد [۱۸]. برای این آزمون، ابتدا فیلم‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور حاوی محلول اشباع نیترات منیزیم (رطوبت نسبی ۵۳ درصد)، مشروط شدند. روی درپوش ویال های شیشه ای منفذی به قطر ۶ میلی‌متر تعبیه شده بود که قطعات فیلم مشروط شده در این منفذ قرار داده شد. در هر ویال ۵ گرم کلرید کلسیم بدون آب که رطوبت نسبی معادل صفر ایجاد می‌کند، ریخته شد. سپس ویال های شیشه‌ای و محتویات آن‌ها توزین شده و در داخل دسیکاتور حاوی آب مقطر که رطوبت نسبی ۱۰۰٪ ایجاد می‌کند، قرار گرفتند. دسیکاتور در دمای محیط قرار داده شد و به مدت ۷۲ ساعت و هر ۴ ساعت یک‌بار ویال ها توزین گردیدند. شیب نقاط رسم شده به وسیله رگرسیون خط $(r^2=0.99)$ محاسبه گردید و نرخ انتقال بخار آب از تقسیم شیب خط کشیده شده (گرم/ثانیه) بر سطح فیلم‌های مورد آزمون (مترمربع) به دست می‌آید [۱۹].

$$(3) \quad \text{مساحت سطح / شیب منحنی نرخ انتقال بخار آب}$$

با ضرب کردن ضخامت فیلم و تقسیم بر اختلاف فشار رطوبت نسبی درون سل‌ها و رطوبت نسبی دسیکاتور، میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب به دست می‌آید.

(۴)

$$= \text{WVP (g/s.m.pa)} = \text{نفوذ پذیری به بخار آب}$$

$$(\text{اختلاف رطوبت نسبی}) \times \text{فشار} / \text{نرخ} \times \text{ضخامت}$$

2. Tensile Strength
3. Elongation at Break
4. Young Modulus
5. Scanning Electron Microscope
6. Disc diffusion method
7. Mueller Hinton Agar

1. Water Vapor Permeability

استافیلوکوکوس اورئوس از گروه باکتری های گرم مثبت تلقیح شده اند، قرار می گیرند [۷]. در هر پلیت نیز نمونه های کنترل حاوی کاغذ واتمن آغشته به آب مقطر استریل قرار داده می شود. سپس پلیت ها در دمای ۳۷ درجه به مدت ۱۸-۲۴ ساعت انکوبه شده و بعد از این مدت هاله ممانعت از رشد توسط یک کولیس دقیق اندازه گیری و مساحت آن بر حسب میلی مترمربع گزارش شد.

۲-۴-۸- تعیین اثرات آنتی اکسیدانی فیلم های نانوکامپوزیت

جهت سنجش میزان فعالیت آنتی اکسیدانی فیلم های حاصل، ۰/۲ میلی لیتر محلول استاندارد DPPH (۱۰۰ میکرومولار محلول در اتانول) با ۳/۸ میلی لیتر از غلظت های ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ میلی گرم در میلی لیتر فیلم ها ترکیب شدند. سپس مخلوط های حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در تاریکی به منظور انجام واکنش قرار گرفتند. پس از آن جذب نمونه ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه گیری شد [۲۲]. محلول اتانولی DPPH به عنوان نمونه کنترل استفاده شد. در نهایت ظرفیت آنتی اکسیدانی فیلم ها از رابطه زیر تعیین شد:

$$(V) = \text{ظرفیت آنتی اکسیدانی } (\%) = 100 \times \frac{\text{جذب کنترل} - \text{جذب نمونه}}{\text{جذب کنترل}}$$

۲-۵- آزمون های آماری

تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS 21 انجام شد و کلیه آزمایش ها با ۳ تکرار انجام شدند و در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز واریانس گردیدند. بررسی نرمال بودن توزیع داده ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (K-S) انجام شد. توصیف داده ها با استفاده از میانه، حداقل و حداکثر و تحلیل داده ها با استفاده از آزمون T-test و آزمون one-way ANOVA صورت گرفت. مقایسه میانگین ها با آزمون تعقیبی LSD و در سطح معنی داری ۵ درصد انجام شد.

۳- بحث و نتیجه گیری

۳-۱- ضخامت فیلم ها

ضخامت نانو کامپوزیت ها به عنوان ویژگی مهمی در تعیین خواص مکانیکی، نوری و بازدارندگی فیلم های بسته بندی شناخته می شوند [۲۳]. بر اساس جدول ۱ افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث افزایش معنی دار ضخامت فیلم های تهیه شده، نسبت به نمونه کنترل می شود ($P < 0.05$). در واقع علت اصلی افزایش ضخامت فیلم ها به افزایش مقدار مواد جامد برمی گردد. به طوری که با افزایش غلظت نانو ذرات و آنتوسیانین عصاره زعفران، میزان ضخامت نیز افزایش می یابد. لیان و همکارانش در سال ۲۰۱۶ افزایش ضخامت فیلم تولیدی را با افزایش غلظت دی اکسید تیتانیوم در فیلم های پلی وینیل الکل و دی اکسید تیتانیوم، تایید کردند [۲۴] که نتایج ما با داده های به دست آمده از مطالعات همسو می باشد.

۳-۲- شفافیت فیلم ها

شفافیت یکی از ویژگی های مهم فیلم ها می باشد که می تواند بر ظاهر محصولات غذایی تأثیر بگذارد و توانایی یک ماتریس پلیمری را در قابلیت ترکیب شدن با سایر مواد نشان دهد [۲۵]. فیلم های تهیه شده از ژلاتین شفاف می باشند، ولی افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث افزایش کدورت و کاهش میزان نور عبوری و شفافیت در فیلم ها می شود. بررسی میزان عبور نور و شفافیت در فیلم های تهیه شده در طول موج های ۶۰۰ نانومتر در جدول ۱ نشان داده شده است. همان طور که از جدول می توان نتیجه گرفت، کمترین میزان شفافیت مربوط به غلظت های ۱٪ دی اکسید تیتانیوم و ۲٪ آنتوسیانین عصاره زعفران می باشد. حسینی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ اعلام کردند که با افزایش غلظت نانو ذرات کیتوسان در فیلم های ژلاتین-کیتوسان میزان عبور نور و شفافیت کاهش می یابد [۲۶]. احمد و همکاران در سال ۲۰۱۳ کاهش شفافیت فیلم های پلی وینیل الکل-دی اکسید تیتانیوم را با افزایش غلظت نانو ذرات تایید کردند [۲۷]. که نتایج به دست آمده از مطالعه ما با نتایج مطالعات مذکور همسو می باشد. در واقع کاهش عبور نور و شفافیت فیلم های نانو کامپوزیتی عمدتاً به دلیل جلوگیری از عبور نور در اثر افزایش غلظت نانو ذرات و آنتوسیانین عصاره زعفران و تجمع آن ها می باشد. نکته قابل توجه این است که ترکیب دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران در

فیلم‌های نانو کامپوزیتی میزان انتقال نور را تا حدی بیش از حالت انفرادی نانو ذرات کاهش می‌دهند [۲۸].

۳-۳- حلالیت در آب و محتوای رطوبتی فیلم‌ها

نتایج حلالیت در آب و محتوای رطوبتی فیلم‌های نانو کامپوزیتی ژلاتین به همراه نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران در جدول ۱ آمده است، بیشترین میزان حلالیت در آب و همچنین محتوای رطوبتی به ترتیب مربوط به نمونه کنترل (۱/۰ ± ۵۰/۲۵ و ۱۵/۹ ± ۰/۱۵) می‌باشد. افزایش نانو ذرات و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث کاهش معنی‌دار این مقدار می‌شود ($P < 0.05$). به طور کلی هدف از فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر ایجاد یک لایه بیرونی محافظ برای بسته بندی مواد غذایی به منظور افزایش ماندگاری محصول و مقاومت در برابر آب در مواد غذایی می‌باشد [۲۹]. در واقع ماهیت آب دوستی پروتئین ژلاتین عمده ترین دلایل بالا بودن محلولیت در آب فیلم‌های کنترل می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که اضافه کردن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث ایجاد اتصالات هیدروژنی قوی بین ماتریس پلیمری و نانو ذرات و عصاره می‌شود. با توجه به اینکه مولکول‌های آب قادر به شکستن پیوندهای هیدروژنی بین نانو ذرات و ماتریس پلیمری نیستند، بنابراین، مقادیر محلولیت در آب فیلم‌های نانوکامپوزیتی کمتر از نمونه شاهد (فیلم ژلاتین) می‌باشد. ون و همکارانش در سال ۲۰۱۲ بیان کردند که اضافه کردن نانو رس‌ها به فیلم‌های ژلاتینی- به علت ایجاد اتصالات هیدروژنی قوی بین فیلم ژلاتینی و نانو رس- محلولیت در آب فیلم‌ها را کاهش می‌دهد [۳۰].

محتوای رطوبتی فیلم‌های نانوکامپوزیتی نمایانگر محتوای آب درون فیلم‌ها می‌باشد و به صورت مناطق خالی احاطه شده توسط مولکول‌های آب در ساختارهای شبکه‌ای مواد تعریف می‌شود [۳۱]. براساس نتایج به دست آمده، افزودن نانو ذرات به علت نقش فیلری که دارند باعث کاهش محتوای رطوبتی فیلم‌ها می‌شود. ذولفی و همکاران در سال ۲۰۱۴ اهمیت نقش فیلری نانو ذرات را در ساختارهای ماتریس پلیمری در کاهش محتوای رطوبتی نشان دادند [۳۲].

۳-۴- نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌ها

مهم‌ترین چالش استفاده از فیلم‌های بیوکامپوزیتی در بسته بندی مواد غذایی، میزان بالای نفوذپذیری به بخار آب این فیلم‌ها می‌باشد [۳۳]. نفوذپذیری به بخار آب می‌تواند انتشار و حلالیت مولکول‌های آب را در ماتریس پلیمری فیلم کنترل کند. فناوری نانو با استفاده از تشکیل شبکه‌های سه بعدی پایدار، به دنبال بهبود ویژگی‌های بازدارندگی نفوذپذیری به بخار آب در فیلم‌های بیوکامپوزیتی می‌باشد [۳۴]. ویژگی بازدارندگی ضعیف فیلم ژلاتین در برابر آب به حضور گروه‌های هیدروفیل در ماتریس پلیمری مرتبط است. نتایج نفوذپذیری به بخار آب فیلم‌های نانو کامپوزیتی ژلاتین به همراه نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران در جدول ۱ آمده است، بیشترین میزان نفوذپذیری به بخار آب مربوط به نمونه کنترل (۰/۰۵ ± ۲/۴۶ × ۱۰^{-۱۱} گرم/متر/متر مربع × ثانیه × پاسکال) می‌باشد، و افزایش نانو ذرات و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث کاهش معنی‌دار این مقدار می‌شود ($P < 0.05$).

Table 1 physical properties of gelatin/ titanium dioxide and Saffron anthocyanin

Characteristics	Film type		
Physical	G ^{3%}	G ^{3%} /1%TiO ₂	G ^{3%} Car/3%TiO ₂ /SPA
Thickness (μm)	86.6±5.1 ^a	101.6±13.2 ^d	110.7±10.6 ^f
Transparency	89.7±1.5 ^a	18.2±2.0 ^b	0.28±0.05 ^c
WVP (×10 ⁻¹¹ g. m/m ² . s. Pa)	2.46±0.05 ^a	2.31±0.15 ^c	1.86±0.05 ^e
Water solubility (%)	50.25±1.0 ^a	40.47±1.9 ^g	40.02±1.9 ^g
Moisture content (%)	15.9±0.15 ^a	13.2±0.33 ^h	10.2±0.87 ^h
Antioxidant			
DPPH radical quenching (%)	-	79.63±1.6 ⁱ	83.37±1.6 ⁱ

DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. A: Gelatin 3%, B: Gelatin 3%/TiO₂ NPs 1%, C: Gelatin 3%/ TiO₂ NPs 1%/ Saffron anthocyanin 2%. The data are presented as mean ± standard deviation. Any two means in the same row followed by the same letter are not significantly ($P > 0.05$) different from Duncan's multiple range tests.

های پلیمرهای زیستی می تواند خواص مکانیکی آنها را تغییر دهد [۳۸].

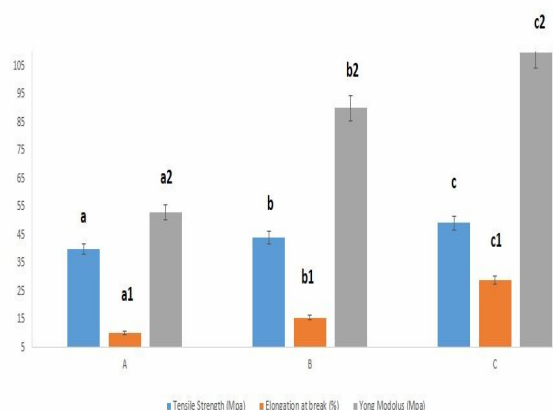


Fig 1 Mechanical properties of A: Gelatin 3%, B: Gelatin 3% / TiO₂ NPs 1%, C: Gelatin 3% / TiO₂ NPs 1% / Saffron anthocyanin 2%. The data are presented as mean \pm standard deviation. Any two means in the same column followed by the same superscript are not significantly different ($p > 0.05$) by Duncan's multiple range tests.

۳-۶- بررسی خصوصیات مورفولوژی و ساختاری فیلم ها

تصاویر مورفولوژی سطحی (SEM) فیلم های نانو کامپوزیتی در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس شکل ۲ سطوح فیلم ژلاتین صاف و یکنواخت به نظر می رسد. در اثر افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به فیلم های ژلاتینی سطح فیلم ها ناهموار و خوشه ایی شده. لازم به ذکر است که ابعاد نانو ذرات افزوده شده چند صد نانومتر بوده که با ذرات موجود در پودر دی اکسید تیتانیوم مطابقت دارد. سایر محققان تجمع نانو ذرات را پس از افزودن در فیلم های پلیمری گزارش کرده اند که نتایج مطالعات ما با آن ها همسو می باشد [۳۸]. همچنین پس از افزودن آنتوسیانین ها، زبری سطحی فیلم ها کاهش یافته و نانو ذرات به صورت ذرات جداگانه ایی که به طور مساوی در سطح ماتریس پلیمری توزیع شده اند، ظاهر می شوند. بر اساس نتایج، آنتوسیانین ها برهم کنش بین مولکول های بیوپلیمر در شبکه سه بعدی ماتریس پلیمری را با برهمکنش های بین ذرات دی اکسید تیتانیوم بهبود می بخشد [۳۹].

مورا و همکارانش در سال ۲۰۰۹ در مورد افزودن اثر نانو ذرات بر ماتریس پلیمری تحقیق کردند و به این نتیجه رسیدند که افزودن نانو ذرات باعث ایجاد مسیرهای پر پیچ و خمی در ماتریس پلیمری می شود که این مسیرها به عنوان یک مانع در برابر انتقال مولکول های آب در ماتریس عمل می کنند [۳۵].

همچنین وانین و همکارانش در سال ۲۰۱۴ در مورد محدودیت ایجاد شده در مورد تحرک مولکول های پروتئین و متعاقباً کاهش نفوذپذیری به بخار آب در اثر واکنش بین نانو ذرات و بیوپلیمر به نتایج مثبتی رسیدند [۱۹] که یافته های مطالعه ما با نتایج آن ها همسو می باشد. در واقع افزایش غلظت نانو ذرات و توزیع و پراکندگی بهتر و یکنواخت تر آن ها در ماتریس پلیمری باعث کاهش فضاهای خالی و به دنبال آن کاهش نفوذپذیری به بخار آب در فیلم های کامپوزیتی می شود [۵].

۳-۵- خصوصیات مکانیکی فیلم ها

ایجاد یکنواختی و یکپارچگی در فیلم های کامپوزیتی در هنگام پردازش به عنوان امر مهمی تلقی می شود و بسته بندی مواد غذایی و همچنین مواد غذایی را در برابر تنش و استرس های وارد حفظ می کند [۳۶]. میزان استحکام کششی، افزایش طول تا نقطه شکست و مدوول یانگ فیلم کامپوزیتی تهیه شده از ژلاتین به ترتیب برابر 40.07 ± 0.72 مگا پاسکال، 10.25 ± 0.05 درصد و 164.9 ± 53.15 مگا پاسکال می باشد (شکل ۱). افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث افزایش طول تا نقطه شکست در نمونه های حاوی ۱٪ دی اکسید تیتانیوم (0.01 ± 15.71) و ۱٪ دی اکسید تیتانیوم-۲٪ آنتوسیانین عصاره زعفران (0.23 ± 28.96) می شود. در واقع افزایش نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره زعفران باعث کاهش معنی دار استحکام کششی و مدوول یانگ و افزایش معنی دار افزایش طول تا نقطه شکست در فیلم های نانو کامپوزیتی می شود ($P < 0.05$). این تأثیرات احتمالاً می تواند مربوط به نقش آنتوسیانین ها به عنوان نرم کننده ها باشد که توانایی حرکت مولکول های بیوپلیمر در درون ماتریس را افزایش داده و در نتیجه انعطاف پذیری آن را افزایش می دهد [۳۷]. چندین مطالعه تأیید کرده اند که افزودن نانو ذرات و سایر افزودنی ها به فیلم

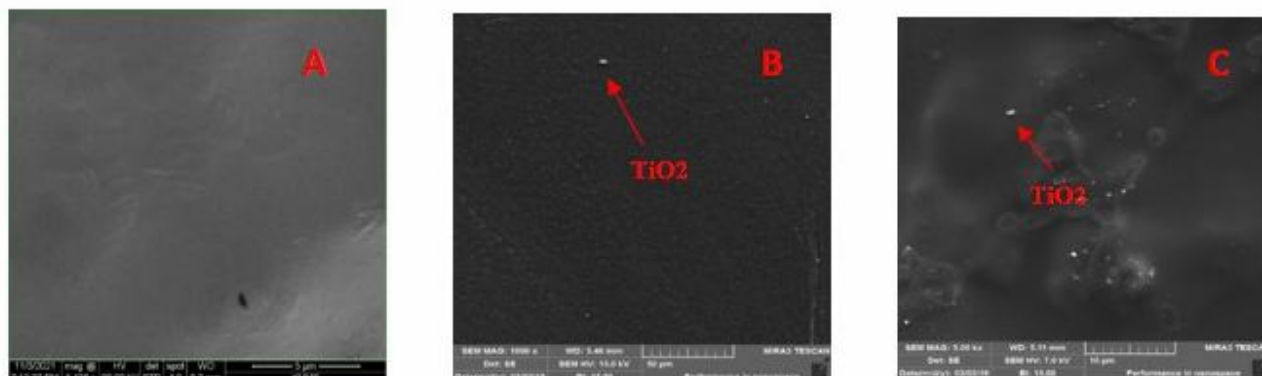


Fig 2 SEM diagram of produced films. A: Gelatin 3%, B: Gelatin 3%/TiO₂ NPs 1%, C: Gelatin 3%/ TiO₂ NPs 1%/ Saffron anthocyanin 2%.

۲۰۲۱ در مورد اثرات ضد میکروبی نانوکامپوزیت خاک رس و نقره در میگو به این نتیجه رسیدند که بسته بندی های آنتی باکتریال نقش عمده ای در افزایش ماندگاری محصولات غذایی دارد و استفاده از نانورس و نانو نقره به عنوان عوامل ضد میکروبی به دلیل توانایی آنها در افزایش خواص مکانیکی بسته بندی مواد غذایی می تواند نقش به سزایی داشته باشد [۴۳]. این نانوبسته بندی ها تعداد کلنی های ویبریو پارهمولیتیکوس، استافیلوکوکوس اورئوس و اشیریشیا کلی را بیش از یک چرخه لگاریتمی کاهش معنی داری دادند (P<0.05).

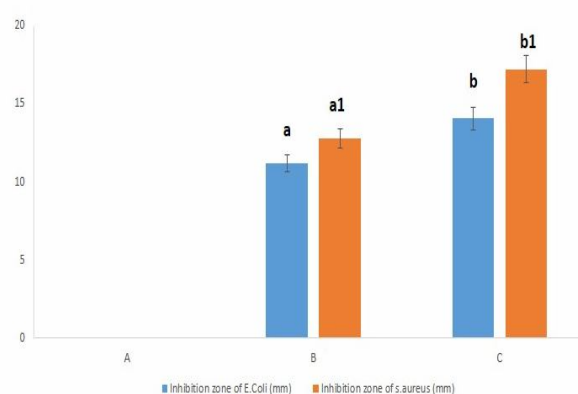


Fig 3 Disc diffusion test of A: Gelatin 3%, B: Gelatin 3%/TiO₂ NPs 1%, C: Gelatin 3%/ TiO₂ NPs 1%/ Saffron anthocyanin 2%. The data are presented as mean \pm standard deviation. Any two means in the same row followed by the same letter are not significantly (P > 0.05) different from Duncan's multiple range tests.

۷-۳- تعیین اثرات ضد میکروبی فیلم های

نانوکامپوزیت با استفاده از روش دیسک دیفیوژن

نتایج اثرات ضد میکروبی فیلم های کامپوزیتی در محیط مولر هیتون آگار بصورت مساحت هاله ممانعت از رشد در شکل ۳ آورده شده است. فیلم کامپوزیتی ژلاتین به صورت خالص و بدون ترکیبات ضد میکروبی هیچ گونه اثر ممانعت کنندگی بر روی باکتری های مورد آزمون نداشتند. براساس نتایج این تحقیق فیلم های حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره ی زعفران به علت وجود ترکیبات ضد میکروبی اثر ممانعت کنندگی را از خود نشان دادند. بیشترین اثر ضد میکروبی (بیشترین قطر هاله) در فیلم های نانو کامپوزیتی حاوی ۱٪ نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و ۲٪ آنتوسیانین عصاره ی زعفران مشاهده شد. همچنین این نانو ذرات دارای اثر ضد میکروبی بیشتری بر روی باکتری های گرم مثبت در مقایسه با باکتری های گرم منفی هستند. در واقع، نانوذرات نفوذپذیری دیواره سلولی و غشای سلولی را مختل می کنند و از این طریق بر مولکول هایی مانند DNA و پروتئین تأثیر می گذارند و مانع تکثیر DNA و سنتز پروتئین می شوند [۲۱، ۴۰]. لازم به ذکر است که سیستم اکسیژن فعال نیز نقش مهمی در این مکانیسم ها دارد و باعث اکسیداسیون فسفولیپیدها و در نهایت منجر به مرگ سلولی می شوند [۴۱]. نتایج مطالعات ما با نتایج لو و همکارانش در سال ۲۰۱۵ و سالوین و همکارانش در سال ۲۰۱۷ همسو می باشد [۲۱، ۴۲]. همچنین در مطالعه ی دیگری پایدار و اهری در سال

در مطالعه ی دیگری عفتیان و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی خاصیت ضد میکروبی نانو کامپوزیت تشکیل شده از پلی اتیلن با دانسیته پایین-نقره-مس و دی اکسید تیتانیوم در ماهی تیلاپیا پرداختند. براساس تست دیسک دیفیوژن فیلم های نانو کامپوزیتی فعالیت ضد باکتریایی قوی علیه باکتری های اشریشیا کلی و لیستریا مونوسیژنوز در ماهی تیلاپیا نشان داند ($P=0/000$) [۴۴].

۳-۸- تعیین اثرات آنتی اکسیدانی فیلم های نانوکامپوزیت

بررسی خواص آنتی اکسیدانی مواد بسته بندی نیز امری مهم تلقی می شود زیرا می تواند تجزیه شیمیایی مواد غذایی بسته بندی شده را از طریق واکنش های اکسیداتیو کند کند. بررسی ویژگی های آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ژلاتین/دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره ی زعفران از روش مهار کننده رادیکال (DPPH) انجام شد (جدول ۱). فیلم های بسته بندی ژلاتین هیچ خاصیت آنتی اکسیدانی از خود نشان ندادند، که نشان می دهد پروتئین ها و پلی ساکاریدها پاک کننده های رادیکال خوبی نیستند. افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تا حدی ویژگی های آنتی اکسیدانی نانوکامپوزیت ها را بهبود می بخشد که این مساله تأیید می کند این ماده معدنی نیز یک پاک کننده رادیکال متوسط است. با این حال ، افزودن آنتوسیانین زعفران به فیلم ها فعالیت آنتی اکسیدانی آنها را تا حد زیادی افزایش داد. محققان گزارش داده اند که آنتوسیانین ها به دلیل وجود گروه های فنلی متعدد در ساختارهای مولکولی خود ، فعالیت های آنتی اکسیدانی قوی از خود نشان می دهند [۴۵]. انواع دیگر آنتوسیانین ها پس از ترکیب شدن در فیلم های بیوپلیمر خواص آنتی اکسیدانی از خود نشان دادند [۴۶، ۲۲].

۴- نتیجه گیری

در این بررسی یک فیلم بسته بندی هوشمند/ فعال با استفاده از بیوپلیمر ژلاتین/ نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین عصاره ی زعفران توسط روش ریخته گری (کاستینگ) با موفقیت سنتز شد. براساس تصاویر SEM نشان داده شد که ذرات کریستالی دی اکسید تیتانیوم و مولکول های آنتوسیانین به طور

مساوی در سراسر فیلم های بیوپلیمری توزیع شده اند. ترکیب دی اکسید تیتانیوم و آنتوسیانین خواص مکانیکی و بازدارندگی فیلم های بیوپلیمری را بهبود می بخشد. علاوه بر این، این فیلم ها دارای خواص ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی هستند که باید ماندگاری مواد غذایی بسته بندی شده را افزایش دهد. به طور کلی این فیلم ها در شرایط شبیه سازی شده محیطی به سرعت تخریب می شوند، که نشان می دهد ممکن است نسبت به مواد بسته بندی پلاستیکی معمولی تأثیر کمتری بر آلودگی محیط داشته باشند. لازم به ذکر است که تحقیقات بیشتری برای تعیین امکان اقتصادی تولید این فیلم ها در مقیاس بزرگ و همچنین تعیین قدرت و اثربخشی آنها برای برنامه های کاربردی در زندگی واقعی ضروری است. فناوری نانو روز به روز برای بخش غذایی اهمیت روز افزونی می یابد. تا امروز نتایج و کاربردهای امیدوار کننده ای در زمینه بسته بندی و بهداشت غذا به دست آمده است. انتظار می رود ترکیب نانو مواد در بسته بندی غذا خصوصیات ممانعتی مربوط به بسته بندی را بهبود دهد و به کاهش مصرف مواد خام مفید و تولید زباله کمتر منجر شود. همچنین لازم به ذکر است که با بودن نانو حسگرهای هوشمند در ماتریس پلیمری (بستر پلیمری) می توانیم از شرایط ماده غذایی بسته بندی شده و محیط داخل بسته بندی آگاه شویم. این نوع نانو حسگرها می توانند در برابر تغییرات محیطی (درجه حرارت، رطوبت و سطح اکسیژن موجود) و عوامل میکروبی و پاتوژنی واکنش نشان دهند و باعث آگاهی مصرف کننده و تولید کننده از شرایط ماده غذایی و بسته بندی می شوند.

۵- تقدیر و تشکر

این مقاله با کد ۴۰۰۰۲۲۱ ، از دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کمیته تحقیقات دانشجویی که طرح مورد نظر را حمایت مالی کرده اند تقدیر و تشکر کافی دارم.

۵- منابع

- [1] Basumatary, I.B., et al., Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: recent advances in shelf-life improvement of fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020: p. 1-24.

- [10] Jafarian, M., et al., Producing an intelligent packaging based on peach gum and curcumin to detect the fish spoilage. *Food Science and Technology*, 2021. 18(117): p. 171-182.
- [11] Khodaei, D., K. Oltrogge, and Z. Hamidi-Esfahani, Preparation and characterization of blended edible films manufactured using gelatin, tragacanth gum and, Persian gum. *LWT*, 2020. 117: p. 108617.
- [12] Farhadvand, Z., et al., Effect of edible gelatin- mint essential oil (*Mentha spicata*) coating on microbial, chemical and sensory characteristics of fresh chicken fillet during storage at 4 °C. *Journal of food science and technology (Iran)*, 2021. 18(118): p. 249-261.
- [13] Alizadeh-Sani, M., et al., Kinetics analysis and susceptibility coefficient of the pathogenic bacteria by titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles. *Advanced pharmaceutical bulletin*, 2020. 10(1): p. 56.
- [14] Azizi-Lalabadi, M. and S.M. Jafari, Bio-nanocomposites of graphene with biopolymers; fabrication, properties, and applications. *Advances in colloid and interface science*, 2021. 292: p. 102416.
- [15] Razavi, S.E. and S.M. Jafari, Effect of corm age on the antioxidant, bactericidal and fungicidal activities of saffron (*Crocus sativus* L.) stigmas. *Food Control*, 2021. 130: p. 108358.
- [16] Popović-Djordjević, J.B., A.Ž. Kostić, and M. Kiralan, Antioxidant activities of bioactive compounds and various extracts obtained from Saffron, in *Saffron*. 2021, Elsevier. p. 41-97.
- [17] Khazaei, K.M., et al., Optimization of anthocyanin extraction from saffron petals with response surface methodology. *Food Analytical Methods*, 2016. 9(7): p. 1993-2001.
- [18] ASTM, A., E96/E96M-16. Standard test methods for water vapor transmission of materials. *Annual Book of ASTM Standards*; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA, 2016: p. 719-72.
- [19] Pulla-Huillca, P.V., et al., Wettability of gelatin-based films: The effects of hydrophilic or hydrophobic plasticizers and nanoparticle loads. *Journal of Food Engineering*, 2021. 297: p. 110480.
- [2] Jamróz, E., et al., Furcellaran nanocomposite films: The effect of nanofillers on the structural, thermal, mechanical and antimicrobial properties of biopolymer films. *Carbohydrate polymers*, 2020. 240: p. 116244.
- [3] Mohsenzadeh, M., et al., Fabrication of biocomposite films based on sodium caseinate reinforced with gellan and Persian gums and evaluation of physicomechanical and morphology properties. *Food Science and Technology*, 2021. 18(113): p. 187-196.
- [4] Ahmadi, A., et al., Functional biocompatible nanocomposite films consisting of selenium and zinc oxide nanoparticles embedded in gelatin/cellulose nanofiber matrices. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021. 175: p. 87-97.
- [5] Azizi-Lalabadi, M., et al., Nanocomposite films consisting of functional nanoparticles (TiO₂ and ZnO (embedded in 4A-Zeolite and mixed polymer matrices (gelatin and polyvinyl alcohol). *Food Research International*, 2020. 137: p. 109716.
- [6] Sani, M.A., A. Ehsani, and M. Hashemi, Whey protein isolate/cellulose nanofibre/TiO₂ nanoparticle/rosemary essential oil nanocomposite film: Its effect on microbial and sensory quality of lamb meat and growth of common foodborne pathogenic bacteria during refrigeration. *International journal of food microbiology*, 2017. 251: p. 8-14.
- [7] Azizi-Lalabadi, M., et al., Polyvinyl alcohol/gelatin nanocomposite containing ZnO, TiO₂ or ZnO/TiO₂ nanoparticles doped on 4A zeolite: Microbial and sensory qualities of packaged white shrimp during refrigeration. *International journal of food microbiology*, 2020. 312: p. 108375.
- [8] Kamkar, A., et al., Nanocomposite active packaging based on chitosan biopolymer loaded with nano-liposomal essential oil: Its characterizations and effects on microbial, and chemical properties of refrigerated chicken breast fillet. *International Journal of Food Microbiology*, 2021. 342: p. 109071.
- [9] Othman, S.H., Bio-nanocomposite materials for food packaging applications: types of biopolymer and nano-sized filler. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2014. 2: p. 296-303.

- release properties of gelatin film. *Food chemistry*, 2019. 271: p. 204-210.
- [30] Voon, H.C., et al., Effect of addition of halloysite nanoclay and SiO₂ nanoparticles on barrier and mechanical properties of bovine gelatin films. *Food and Bioprocess Technology*, 2012. 5(5): p. 1766-1774.
- [31] Kuang, Q., et al., Lamellar structure change of waxy corn starch during gelatinization by time-resolved synchrotron SAXS. *Food hydrocolloids*, 2017. 62: p. 43-48.
- [32] Zolfi, M., et al., The improvement of characteristics of biodegradable films made from kefiran-whey protein by nanoparticle incorporation. *Carbohydrate polymers*, 2014. 109: p. 118-125.
- [33] El-Wakil, N.A., et al., Development of wheat gluten/nanocellulose/titanium dioxide nanocomposites for active food packaging. *Carbohydrate polymers*, 2015. 124: p. 337-346.
- [34] Espitia, P.J. and C.G. Otoni, Nanotechnology and edible films for food packaging applications. *Bio-based materials for food packaging*, 2018: p. 125-145.
- [35] Ghadermazi, R., et al., Effect of various additives on the properties of the films and coatings derived from hydroxypropyl methylcellulose—A review. *Food science & nutrition*, 2019. 7(11): p. 3363-3377.
- [36] Shahbazi, Y. and M.-H. Moosavy, Physico-mechanical and antimicrobial properties of quince seed mucilage supplemented with titanium dioxide and silicon oxide nanoparticles. *Nanomedicine Research Journal*, 2019. 4(3): p. 157-163.
- [37] Zhai, X., et al., Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 2017. 69: p. 308-317.
- [38] Ezati, P. and J.-W. Rhim, pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 2020. 102: p. 105629.
- [39] Kanmani, P. and J.-W. Rhim, Physical, mechanical and antimicrobial properties of gelatin based active nanocomposite films containing AgNPs and nanoclay. *Food Hydrocolloids*, 2014. 35: p. 644-652.
- [20] International, A., ASTM D882-12, Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. 2012: ASTM International.
- [21] Luo, Z., Y. Qin, and Q. Ye, Effect of nano-TiO₂-LDPE packaging on microbiological and physicochemical quality of Pacific white shrimp during chilled storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 2015. 50(7): p. 1567-1573.
- [22] De Dicastillo, C.L., et al., Antioxidant films based on cross-linked methyl cellulose and native Chilean berry for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 2016. 136: p. 1052-1060.
- [23] Shankar, S., et al., Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films. *Food Hydrocolloids*, 2015. 45: p. 264-271.
- [24] Lian, Z., Y. Zhang, and Y. Zhao, Nano-TiO₂ particles and high hydrostatic pressure treatment for improving functionality of polyvinyl alcohol and chitosan composite films and nano-TiO₂ migration from film matrix in food simulants. *Innovative food science & emerging technologies*, 2016. 33: p. 145-153.
- [25] El Miri, N., et al., Bio-nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals: Rheology of film-forming solutions, transparency, water vapor barrier and tensile properties of films. *Carbohydrate Polymers*, 2015. 129: p. 156-167.
- [26] Hosseini, S.F., et al., Fabrication of bio-nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles. *Food hydrocolloids*, 2015. 44: p. 172-182.
- [27] Ahmad, J., K. Deshmukh, and M.B. Hägg, Influence of TiO₂ on the chemical, mechanical, and gas separation properties of polyvinyl alcohol-titanium dioxide (PVA-TiO₂) nanocomposite membranes. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 2013. 18(4): p. 287-296.
- [28] He, Q., et al., Fabrication of gelatin-TiO₂ nanocomposite film and its structural, antibacterial and physical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016. 84: p. 153-160.
- [29] Wang, Q., et al., The effects of EGCG on the mechanical, bioactivities, cross-linking and

- [44] Efatian, H., et al., Fabrication and characterization of LDPE/silver-copper/titanium dioxide nanocomposite films for application in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) packaging. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021. 15(3): p. 2430-2439.
- [45] Zhang, X., et al., Development of multifunctional food packaging films based on chitosan, TiO₂ nanoparticles and anthocyanin-rich black plum peel extract. *Food hydrocolloids*, 2019. 94: p. 80-92.
- [46] Yong, H., et al., Development of antioxidant and intelligent pH-sensing packaging films by incorporating purple-fleshed sweet potato extract into chitosan matrix. *Food Hydrocolloids*, 2019. 90: p. 216-224.
- [40] Azizi-Lalabadi, M., et al., Nanoparticles and zeolites: Antibacterial effects and their mechanism against pathogens. *Current pharmaceutical biotechnology*, 2019. 20(13): p. 1074-1086.
- [41] Ando, H., et al., Biodegradation of a poly (ϵ -caprolactone-co-l-lactide)-visible-light-sensitive TiO₂ composite with an on/off biodegradation function. *Polymer Degradation and Stability*, 2015. 114: p. 65-71.
- [42] Slavin, Y.N., et al., Metal nanoparticles: understanding the mechanisms behind antibacterial activity. *Journal of nanobiotechnology*, 2017. 15(1): p. 1-20.
- [43] Paidari, S. and H. Ahari, The effects of nanosilver and nanoclay nanocomposites on shrimp (*Penaeus semisulcatus*) samples inoculated to food pathogens. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021: p. 1-12.



Design of nanocomposite packaging based on gelatin biopolymer containing titanium dioxide nanoparticles and saffron extract for use in food packaging

Azimi-salim, Sh. ¹, Azizi-Lalabadi, M. ^{2*}, Tavassoli, M. ³, Alizadeh Sani, M. ⁴

1. Student research committee, Kermanshah University of medical sciences, Kermanshah, Iran.

2. Research Center for Environmental Determinants of Health (RCEDH), Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran.

3. Department of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

4. Division of Food Safety and Hygiene, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History:</p> <p>Received 2021/ 10/ 13 Accepted 2021/ 12/ 12</p> <p>Keywords:</p> <p>Biodegradable film, Saffron extract, Nanocomposite packaging, Titanium dioxide nanoparticles, Antioxidant properties.</p> <p>DOI: 10.52547/fsct.18.121.3 DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.30.4</p> <p>*Corresponding Author E-Mail: maryamazizi766@gmail.com</p>	<p>In this study, biodegradable packaging based on gelatin biopolymer (at a concentration of 3% w/w) containing nanoparticles of titanium dioxide (at a concentration of 1% w/w) and saffron extract (at a concentration of 2% v) by evaporation method was synthesized. In this study, physical properties (thickness, transparency, moisture content, solubility and water vapor permeability), mechanical, antimicrobial and antioxidant properties, structural and transparency properties of films were investigated. After analyzing the data, the results showed that the effect of saffron extract and titanium dioxide nanoparticles on all the studied properties was significant ($P < 0.05$). Addition of titanium dioxide nanoparticles and saffron extract increased the thickness, improved the mechanical properties and reduced the moisture content, water vapor permeability, transparency, and solubility. Also, nanocomposite films containing titanium dioxide nanoparticles and saffron extract showed antioxidant properties (% 80%) and acceptable antimicrobial effects, especially against gram-positive <i>Staphylococcus aureus</i> bacteria. According to the results of this study, this type of packaging can be suggested as a suitable alternative to synthetic packaging.</p>