بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های زیست تخریب پذیر بر پایه ژلاتین و نانو اکسید روی

سحراسحاق[1]، محمدحسین عباسپور فرد[2]، محمد طبسی‌زاده[3] ، فرشته حسینی[4]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد؛Sahar.eshagh72@yahoo.com
[2]استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد ؛ abaspour@um.ac.ir
[3]استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد ؛tabasizadeh@um.ac.ir
[4]استادیار گروه افزودنی های غذایی ، جهاد دانشگاهی مشهد؛ fereshtehosseini@yahoo.com

چکیده

محدودیت اساسی بیوپلیمرها مربوط به ضعف در خواص فیزیکی و مکانیکی آنها، در مقایسه با پلیمرهای نفتی است. در چند سال اخیر با بهره گیری از نانوذرات به دلیل بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های زیست تخریب پذیر در صنعت بسته بندی، محدودیت استفاده از این نوع فیلم‌ها را تا حد زیادی از بین برده است. در این تحقیق هدف بهبود خواص مکانیکی و ممانعتی بیوفیلم ژلاتین است. ساخت نانوکامپوزیت ژلاتین_ ZNO با مقادیر مختلف (۰، ۰,۵، ۱,۵، ۳ درصد) به روش ریخته‌گری نشان داد که افزایش درصدهای بیشتر نانواکسید روی نسبت به ماده خشک باعث افزایش استحکام کششی و مدول یانگ[2]فیلم ژلاتین شده و درصد ازیاد طول این بیوفیلم را به طور معنی داری ($p<۰/۰۵$) کاهش داده است. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی نشان داد که بیشترین درصد از نانو ذره (۳درصد)، کمترین میزان حلالیت و رطوبت را داشته است. این اثر بدلیل کاهش ویژگی آبدوستی نانوکامپوزیت تولید شده است. پس استفاده از این بیوپلیمر می‌تواند در افزایش مدت زمان نگهداری مواد غذایی مناسب باشد.

کلمات کلیدی: نانوکامپوزیت، اکسید روی، ژلاتین، زیست تخریب پذیر

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

---

[1] سحر اسحاق
مشهد- دانشگاه فردوسی- خوابگاه پردیس۲
۰۹۱۵۰۶۰۸۴۵۳

[2] Young's modulus

[1]

Investigation of physical and mechanical properties of biodegradable films based on Gelatin and Zno

Sahar Eshagh[1], Mohammad Hossein Abbaspour Fard[2], Mohammad Tabasi Zadeh[3], fereshte hosseini[4]

[1]Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Sahar.eshagh72@yahoo.com

[2]Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), abaspour@um.ac.ir

[3]Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), tabasizadeh@um.ac.ir

[4] Department of Food Science, Academic Jahad of mashhad, fereshtehosseini@yahoo.com

ABSTRACT

The basic limitation of the biopolymers is related to the weakness of their physical and mechanical properties, compared to the petroleum polymers. In recent years, using nanoparticles due to the improvement of mechanical and physical properties of biodegradable films in the packaging industry has greatly curtailed the use of biodegradable films. The purpose of this study is to improve the mechanical and preventive properties of biofilm gelatin. ZnO gelatin nanocomposite with different amounts (0, 0.5, 1.5, 3%) by casting showed that the increase in percentage of nano ZnO compared to dry matter increased the tensile strength and Young's modulus of gelatin films and the percentage of length of this biofilm Significantly ($p < 0.05$). The results of physical tests showed that the highest percentage of nanoparticles (3%) had the lowest solubility and moisture content. This effect is due to the reduced hydrophilic properties of the nanocomposite. Therefore, using this biopolymer can be suitable for increasing the shelf life of the food.

Keywords: Nanocomposite, Zno, Gelatin, Biodegradable

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، پلیمرهای مصنوعی بر پایه مشتقات نفتی بطور گسترده‌ای در بسته بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما این مواد زیست تخریب پذیر[۱]نبوده و موجب افزایش آلودگی‌های زیست محیطی می‌شوند و نیز برخی از آنها تولید ترکیبات سرطان زا می‌کنند. از سوی دیگر علاقه‌ی مصرف کنندگان به مواد غذایی با کیفیت بالا با نگرانی‌های زیست محیطی همراه شده است. با توجه به جمعیت رو به رشد دنیا و نیز کاهش نرخ تولید مواد غذایی، حفاظت و نگهداری موادغذایی روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد. یکی از راه‌های اصلی و مهم در این خصوص استفاده از مواد بسته‌بندی سالم است (Tang et al., 2012). طی چندسال اخیر بسیاری از محققان بر روی فیلم‌های خوراکی بر پایه‌ی بیوپلیمرها متمرکز شده‌اند. این بیوپلیمرها طی فرایند کمپوست [۲]به محصولات طبیعی مانند دی‌اکسیدکربن، آب، متان و زیست توده تبدیل می‌شوند این مواد به سبب اینکه منشا کشاورزی داشته و معمولا از محصولات گیاهی و حیوانی به دست می‌آیند، تولید و استخراج آن‌ها موجب بالا رفتن ارزش افزوده محصولات کشاورزی می‌گردد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین بازدارندگی بیوپلیمرها نسبت به گازها باعث افزایش ماندگاری محصولات تازه مثل میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شود. بازدارندگی نسبت به ترکیبات فرار و روغن‌ها به حفظ کیفیت مواد غذایی در طول عرضه و نگهداری کمک می‌کند. علاوه بر این بیوپلیمرها ترکیبات مناسبی برای ترکیب با انواع پرکننده افزودنی و ضد میکروبی به حساب می‌آیند که با آزادسازی کنترل شده این ترکیبات قادرند سرعت انواع

---

[۱] Biodegradable
[۲] Compost

فسادهای میکروبی و شیمیایی را در مواد غذایی کاهش دهند (Almasi et al.,2010). مواد اصلی این گونه فیلم‌ها پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و چربی‌ها می‌باشند که می‌توانند به تنهایی یا در ترکیب با هم استفاده شوند (Hernandez et al., 2008).

پروتئین‌ها، بیوپلیمرهایی از اسیدآمینه‌های مختلف هستند که می‌توانند به عنوان یک شبکه پلیمری پایدار تعریف شوند و به وسیله‌ی فعل و انفعالات آبگریز و پیوند هیدروژنی تقویت شوند. فیلم‌های پروتئینی می‌توانند از منابع مختلف زیستی شامل پروتئین دانه‌های گیاهی (سویا، نخود، گندم) و همچنین پروتئین‌های حیوانی (ژلاتین، پروتئین شیر، آب پنیر وکراتین) تولید شوند (Kalia., 2016). پروتئین‌ها یکی از ترکیبات بیوپلیمری خوبی برای تولید فیلم هستند که خصوصیات ممانعت کنندگی مناسبی برای اکسیژن، دی اکسید کربن و چربی به ویژه در رطوبت نسبی پایین دارند. گزارش شده است که فیلم‌های خوراکی بر پایه پروتئین خصوصیات مکانیکی مناسبی دارند (Miller et al., 1997). از میان بیوپلیمرهای پروتئینی، ژلاتین یکی از بهترین موادی است که تاکنون برای تهیه فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی به کار رفته است. ژلاتین بیوپلیمری مشتق شده از کلاژن است. ژلاتین زیست سازگاری، شکل پذیری و قابلیت چسبندگی عالی از خود نشان می‌دهد (Boanini et al.,2010) و با تشکیل فیلم‌ها و پوشش‌هایی با ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی مناسب در برابر گازها در رطوبت نسبی پایین، می‌تواند به عنوان مواد بسته بندی زیستی به خوبی عمل کند (Baldwin et al.,2011; Pereda et al.,2011). فیلم‌های ژلاتینی شفاف، انعطاف‌پذیر و محکم هستند (Baldwin et al.,2012). محدودیت مهم استفاده از فیلم های بر پایه منابع گیاهی و جانوری مربوط به ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی ضعیف آن‌ها در برابر گازها، در مقایسه با پلیمرهای نفتی است. امروزه استفاده از نانوذرات به جهت بهبود خواص مکانیکی بیوپلیمرها در صنعت بسته بندی محدودیت استفاده از فیلم‌های زیست تخریب پذیر را از بین برده است (Tharanathan et al., 2001). یکی از پیشرفت‌های مهم در زمینه بسته بندی، استفاده از نانوبیوکامپوزیت‌ها است که ذرات نانو در یک ماتریس بیوپلیمری پراکنده می‌شود و منجر به استحکام بخشیدن و تقویت بیوپلیمرها می‌گردد. نانوکامپوزیت یک سیستم چند فازه از مواد جامد است که از دو یا چند جزء که در آن پلیمرها به عنوان ماتریس (فاز پیوسته) و مواد با ساختار نانو (فاز غیر پیوسته) به عنوان فاز پراکنده هستند که دارای حداقل یک جزء در مقیاس نانو می‌باشند (Kanmani et al., 2014). استفاده از ترکیبات نانو پرکننده در فیلم‌های پروتئینی و تولید نانوکامپوزیت‌ها یکی از راه‌های بهبود ویژگی‌های فیلم‌های بیوپلیمری است. استفاده از این ترکیبات باعث بهبود ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی و ممانعتی نانوکامپوزیت‌های حاصل نسبت به پلیمر اولیه می‌شود. بهبود ویژگی‌های مختلف پلیمر در اثر استفاده از نانو پرکننده‌ها مربوط به اندازه کوچک نانوذرات است که ناحیه بین سطحی، نسبت بعد و توانایی پخش بالایی دارند در نتیجه، با ایجاد برهم کنش‌های قوی با ماتریکس پلیمری باعث بهبود ویژگی‌های مختلف نانو کامپوزیت‌های حاصل می شوند Paralikar (et al.,2008).

در این میان مواد معدنی، فلزات و اکسیدهای فلزی به علت توانایی و مقاومتی که در برابر شرایط سخت پردازش دارند، مورد توجه محققین نانوتکنولوژی قرار گرفته‌اند (Fu et al.,2005). در میان اکسید فلزات ، Zno_Tio2 _ Mgo_ Cao توجه خاصی را به خود جلب کرده اند، چون برای انسان و حیوانات ایمن هستند (Lin et al., 2009). نانواکسیدروی یک ماده مرکب معدنی نیمه رسانا و با شفافیت خوب است که، معمولا به شکل پودر سفید است ا(Liu et al.,2006). اکسید روی به دلیل فعالیت فوتوکاتالیستی خوب، پایداری بالا، خاصیت ضدمیکروبی و عدم سمیت، مورد توجه قرار گرفته است (Cohen et al., 2000) و به عنوان یک ماده بی خطر (GRAS)[1]توسط سازمان های غذا و دارو به رسمیت شناخته می شود (Espitia et al.,2012). در میان نانو ذرات مختلف، نانو اکسید روی به دلیل مورفولوژی خاص خود از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهش‌های زیادی جهت بررسی خواص مکانیکی، فیزیکی و ضد میکروبی نانواکسیدروی، بر فیلم‌های بسته بندی نانوکامپوزیتی انجام شده است. مطالعات انجام شده نشان داده‌اند که نانواکسیدروی، سبب بهبود در خواص مکانیکی و فیزیکی فیلم‌ها می‌شوند و به عنوان جاذب اشعه ماورای بنفش عمل کرده و سبب فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها می‌گردند (Alebooyeh et al., 2012). اضافه کردن نانواکسیدروی به پلیمرهای مختلف نفوذپذیری بخارآب را کاهش می‌دهد، که این کاهش با افزایش میزان نانواکسیدروی نسبت مستقیم دارد. نانو ذرات به علت ساختار ریز خود می‌توانند به راحتی فضاهای خالی ماتریکس متخلخل فیلم را پر کنند، درنتیجه به سختی رطوبت یا آب را از دست می‌دهند (Marvizadeh et al., 2014). اکسید روی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی بسیاری مانند پایداری شیمیایی، سازگاری برای محیط زیست، پایداری زیاد در برابر نور، قیمت ارزان، ظاهر سفید و مقاومت به اشعه فرابنفش دارد (kang et al., 2010). هدف از این پژوهش تولید فیلم زیست تخریب پذیر از ژلاتین و بررسی تاثیر نانواکسید روی بر خواص فیزیکی و مکانیکی این نانوکامپوزیت در جهت کاهش ضایعات فراورده‌های غذایی و تولید بسته بندی زیست تخریب پذیر در جهت رفع مشکلات ناشی از آلودگی‌های مواد بسته بندی غیر قابل تجزیه بر محیط زیست می‌باشد.

[1] Generally Recognized As Safe

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

به منظور تهیه فیلم مورد نظر، نانواکسید روی از شرکت US NANO آمریکا، گلیسرول با درجه خلوص ۹۸ درصد از شرکت سیم مالزی و ژلاتین گاوی به صورت پودری سفید رنگ نوع B از شرکت آریا مشهد خریداری شد.

۲-۲- آماده سازی فیلم

برای تهیه فیلم‌های مورد نظر از روش ریخته‌گری[۱]استفاده می‌شود به طور خلاصه ابتدا بیوپلیمر ژلاتین در آب مقطر به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به وسیله همزن مغناطیسی کاملا حل شد. سپس نانو اکسید روی با مقادیر ۰،۵، ۱،۵ و۳ درصد بر مبنای ماده خشک ژلاتین در آب مقطر حل شد سپس به مدت ۱۵ دقیقه تحت تیمار اولتراسونیک قرار گرفت تا محلول همگنی بدست آید سپس به محلول ژلاتین افزوده شد در ادامه به منظور بهبود خاصیت انعطاف پذیری فیلم‌ها، گلیسرول به عنوان پلاستی سایزر به ترکیب اضافه شد. در ادامه محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد به وسیله همزن مغناطیسی حل شد تا محلولی کاملا همگن بدست آید. محلول به‌دست آمده درون پتری دیش ریخته می‌شود تا کاملا خشک شود و پس از خشک شدن فیلم مورد نظر برای انجام ارزیابی‌ها از سطح پتری دیش جدا می‌شود (Noshirvani et al., 2017).

۲- ۳- تعیین ضخامت[۲]فیلم

ضخامت فیلم‌های تهیه شده با میکرومتر دیجیتالی با دقت ۰،۰۰۱ میلی متر، به طور تصادفی در ۵ موقعیت تعیین و میانگین آن‌ها محاسبه شد Rhim (., 2004).

۲- ۴- درصد رطوبت

برای تعیین میزان رطوبت (MC) فیلم‌ها به شکل مربع‌های ۲*۲ سانتی متر مربع بریده شدند و در دسیکاتور با رطوبت معین مشروط شدند سپس به وسیله‌ی ترازوی با دقت ۰،۰۰۱ گرم توزین گردیدند. در ادامه درون آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و با به دست آوردن اختلاف وزن اولیه فیلم و وزن فیلم نهایی میزان افت رطوبت و درصد رطوبت به دست آمد (Sobral et al.,2001).

۲- ۵- حلالیت در آب[۳]

میزان حلالیت فیلم ها در آب با استفاده از روش اولیویا و لوپز (۲۰۰۸) تعیین گردید. به این منظور قطعات ۳* ۲ سانتیمتری از هر فیلم بریده شده و در دسیکاتور حاوی سلیکاژل (رطوبت نسبی صفر) به مدت ۷ روز نگهداری شد. پس از طی این مدت نمونه ها با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شده و در بشرهای آزمون محتوی ۸۰ سی سی آب دیونیزه قرار گرفتند. نمونه ها به مدت ۱ ساعت بر روی شیکر با دور ۵۰ rpm در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بهم زده شدند. سپس قطعات باقیمانده فیلم در آون۶۰ درجه تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده و مجددا توزین گردیدند. درصد حلالیت از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$FS\text{درصد} = \frac{\mathrm{Wi} - \mathrm{Wf}}{\mathrm{Wi}} \times 100$$

که FS، درصدحلالیت در آب، Wi وزن ماده خشک اولیه و Wf وزن ماده خشک نهایی است.

۲-۶- ارزیابی خواص مکانیکی فیلم‌ها

ویژگی های مقاومت به کشش[۴]TS ، درصد ازدیاد طول تا نقطه پارگی[۵] %E و مدول یانگ بر اساس استاندارد ASTM, D882 – 02 (1992) و با اندکی تغییر به وسیله دستگاه بافت سنج (H5 KS) ساخت کشور انگلستان اندازه گیری گردید. به این منظور ابتدا قطعات فیلم به ابعاد ۸×۲،۵ سانتی‌متر بریده شده و ضخامت آنها در ۵ نقطه در امتداد فیلم اندازه گیری شد. سپس نمونه‌ها در دسیکاتور محتوی محلول اشباع کربنات سدیم (رطوبت نسبی ۴۲

---

[۱] casting
[۲] Thickness
[۳] Water solubility
[۴] Tensile Strength
[۵] Elongation at Break

درصد) به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند تا از نظر میزان رطوبت تعدیل گردند. برای انجام آزمایشات فاصله بین دو فک قبل از شروع آزمون ۳۳ میلی متر، سرعت حرکت فک ها ۵۰ mm/min و سلول بار ۵۰ نیوتن تنظیم شد. مقاومت به کشش و درصد ازدیاد طول تا نقطه پارگی با روابط ذیل تعیین شدند:

Tensile Strength= Maximum Load/ Cross-sectional area of samples

%E= Elongation at breaking point/ original length

که Maximum load، بیشینه نیروی وارد شده به فیلم بر حسب نیوتن و Cross-sectional area سطح مقطع عرضی اولیه فیلم بر حسب متر مربع، Elongation at breaking point ، مقدار اتساع تا لحظه پارگی بر حسب میلی متر و original length طول اولیه نمونه بین دو فک (میلی متر) می باشد.

آنالیز آماری

تمام داده‌ها با استفاده از طرح فاکتوریل در ۳ تکرار بررسی شدند و با مقایسه میانگین دانکن در سطح معنی داری ($p<0,05$) مقایسه شدند. نرم افزار مورد استفاده SPSS 19 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) بوده است.

۳= نتایج و بحث

۳-۱ تست ضخامت

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود ضخامت فیلم های ژلاتین با افزودن مقدار نانو اکسید روی معنی دار نبوده است ($p<۰/۰۵$). این موضوع نشان دهنده تاثیر کم نانو اکسید روی بر ضخامت فیلم‌ها است. بطور متوسط ضخامت فیلم‌ها ۰,۱۵۱ میلی‌متر است و فیلم‌ها تقریبا از یکنواختی خوبی برخوردار هستند. در بین فیلم‌های تهیه شده فیلم ژلاتین با صفر درصد نانواکسید روی (شاهد) کمترین ضخامت و فیلم ژلاتین با ۳ درصد نانو اکسید روی از بیشترین ضخامت برخوردار بود که نشان دهنده آن است که با افزایش درصد نانو ضخامت فیلم افزایش می‌یابد (قدسی و همکاران،۱۳۹۲).

۳-۲ درصد رطوبت

نتایج حاصل از جدول۱ نشان می‌دهد که با افزودن نانو اکسید روی به فیلم ژلاتین، رطوبت به طور معنی داری ($p<۰/۰۵$) کاهش یافت. کاهش محتوای رطوبت فیلم‌های ژلاتین در اثر افزودن ذرات نانو را می‌توان به پر شدن فضای خالی بین بیوپلیمر توسط نانو اکسید روی نسبت داد، تعاملات از نوع یون دو قطبی بین روی و گروه‌های هیدروکسیل پلاستیسایزر و آب رخ می‌دهد (Muler et al.,2011).

جدول ۱- اثر سطوح مختلف نانواکسید روی بر ضخامت و رطوبت فیلم ژلاتین

Table 1. Effect of different levels of Nano Zno on the thickness and moisture content of gelatin film

MC (%)	Thickness (mm)	Nano Zno (%)
24.6	0.1435	0
26.7	0.1456	0.5
19.6	0.1527	1.5
16.7	0.16	3

۳-۳- حلالیت فیلم ها در آب

میزان رطوبت در ماده غذایی از پارامترهای کلیدی بوده و می‌تواند بیانگر تازگی ماده غذایی، کنترل کننده رشد میکروبی و ایجاد کننده بافت و طعم مناسب باشد. حلالیت در آب یک فاکتور مهم در تعریف کاربردهای ممکن برای فیلم های بیوکامپوزیت است. بیشتر بیوپلیمرها در حالت طبیعی خود به رطوبت حساس و محلول در آب هستند که می‌توان با روش‌های مختلف مانند گنجانده شدن اجزای چربی از منشاء خوراکی در فیلم، کامپوزیت پروتئین–

چربی، استفاده از نانو ذرات با ایجاد پیوندهای عرضی حلالیت را کاهش داد. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که تفاوت حلالیت نمونه های فیلم ژلاتین و نانواکسید روی، در آب معنی دار است ($p<0/05$). همانگونه که در نمودار ۱ مشاهده می شود، با توجه به روند نزولی حلالیت در آب فیلم ژلاتین می توان نتیجه گرفت که افزایش میزان نانواکسید روی باعث کم شدن حلالیت در آب می شود. مقاومت فیلم‌ها به حلالیت در آب با افزایش میزان نانو اکسید روی افزایش یافت. دلیل مقاومت بیوپلیمرها ممکن است نسبت داده شود به اثرات متقابل بین اکسید روی و ژلاتین در ساختار فیلم بیو پلیمر. در مطالعات متعددی گزارش شده که افزایش محتوی نانو ذرات اکسید روی در فیلم، در نتیجه ترتیب قرار گرفتن بیشتر باندهای هیدروژن در اکسید روی و اجزای ماتریکس است. بنابراین مولکول های آب آزاد در تعامل شدید با اجزای فیلم های نانوبیوکامپوزیت نیستند (Tunc et al.,2001). انحلال پذیری پایین در آب ویژگی مطلوبی برای بسته بندی مواد غذایی است، چون فیلم‌های بسته بندی با چنین ویژگی می‌توانند در برابر شرایط با رطوبت بالا مقاوم باشند.

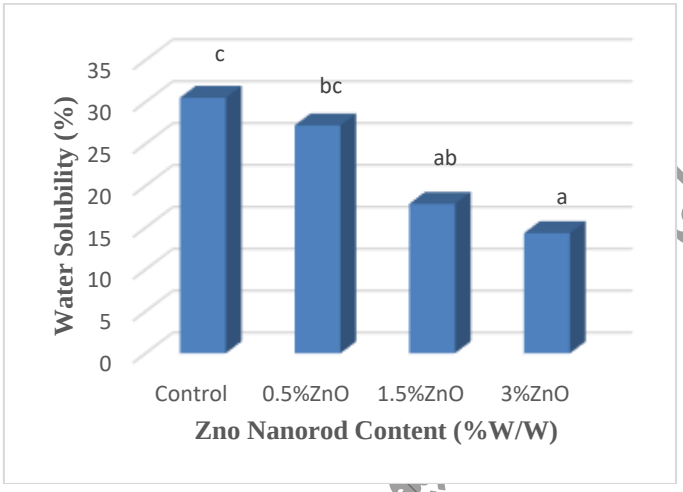

Figure 1. Effect of different levels of nano Zno on the solubility of gelatin film

نمودار ۱- اثر سطوح مختلف نانواکسید روی بر حلالیت فیلم ژلاتین

۴-۳- خواص مکانیکی فیلم‌ها

یک فیلم پلیمری زمانی برای استفاده به عنوان پوشش بسته بندی مناسب است که از ویژگی‌های مکانیکی مناسبی برخوردار باشد. ساختار شیمیایی و تأثیرات متقابل بین اجزاء مختلف در فیلم تهیه شده، می‌تواند دارای نقش بسیار مهمی در ایجاد خواص مختلف فیلم بویژه خواص مکانیکی آن باشد. استحکام یک بیوپلیمر، توسط پلاستیسایزرها هم تحت تأثیر قرار می گیرد به طوریکه با افزایش میزان پلاستیسایزر استحکام کششی کاهش می یابد (Ghanbarzadeh et al.,2011). در این تحقیق میزان پلاستیسایزر (گلسیرول) مورد استفاده ثابت بوده و تفاوت خواص مکانیکی فیلم ها منحصرا به تفاوت ساختار شیمیایی آنها نسبت داده می شود. نتایج خواص مکانیکی بدست آمده از دستگاه آنالیز بافت در نمودار ۲ تا ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد درصد کشیدگی با افزایش غلظت نانو اکسید روی بطور معنی داری کاهش یافت اما تفاوت معنی داری ($p<0/05$) نداشته است و مدول یانگ (نسبت تنش به کرنش در ناحیه خطی) فیلم‌های ژلاتین با افزایش غلظت نانو اکسید روی، بطور معنی داری ($p<0/05$) افزایش یافته است، همچنین مقاومت به کشش مربوط به این فیلم‌ها از میزان ۲,۵۱ به ۵,۲۳ مگاپاسکال به صورت معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش یافته است. کمترین میزان مقاومت به کشش و مدول یانگ مربوط به فیلم ژلاتین حاوی ۰,۵ درصد نانو است که علت این کاهش نسبت به فیلم شاهد می‌تواند مربوط به این باشد که در غلظت پایین، نانو اکسید روی به عنوان ناخالصی عمل کرده و به جای افزایش استحکام فیلم و مدول یانگ، آن را کاهش می دهد (Noshirvani et al.,2017). در حالت کلی می توان علت افزایش استحکام کششی و مدول یانگ را به توزیع یکنواخت نانو ذرات در ساختمان پلیمر و ایجاد سطحی اتصال دهنده بین مولکول‌ها و تشکیل پیوندهای یونی بین نانو ذرات و ترکیبات تشکیل دهنده پلیمر، نسبت داد. این نتایج با نتایج بدست آمده از تحقیقات سایر محققین مطابقت داشت (Mohamadi Nafchi et al.,2013). از طرف دیگر داده‌های حاصل از خواص مکانیکی و خواص فیزیکو شیمیایی کاملا یکدیگر را توجیح می کنند. با افزایش غلظت ترکیبات نانو میزان رطوبت فیلم ها کاهش پیدا می کند. کاهش میزان رطوبت فیلم ها، انعطاف پذیری آنها را کاهش داده و به استحکام آنها کمک می کند.

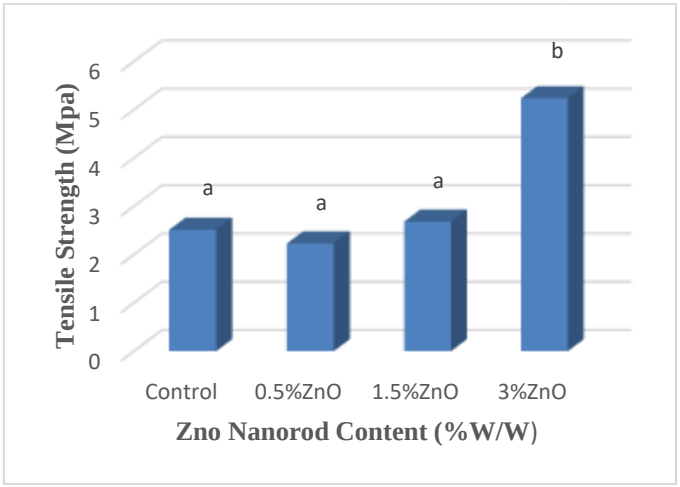

Figure 2. Effect of Different Levels of Nano zno on the Tensile Strength of Gelatin Film

نمودار ۲- اثر سطوح مختلف نانواکسید روی بر استحکام کششی فیلم ژلاتین

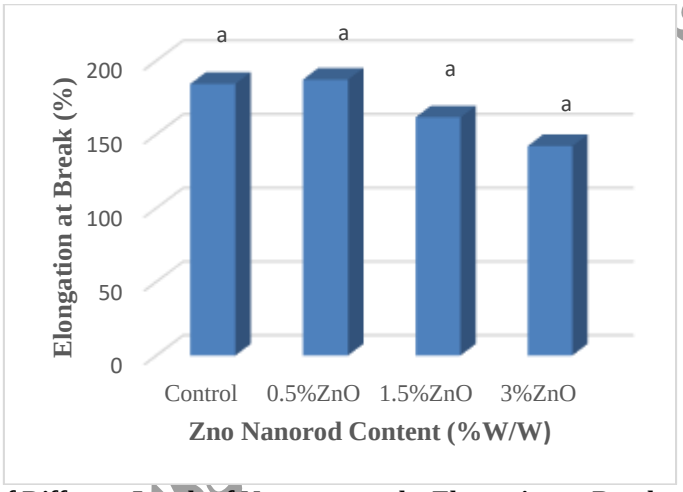

Figure 3. Effect of Different Levels of Nano zno on the Elongation at Break of Film of Gelatin

نمودار ۳- اثر سطوح مختلف نانواکسید روی بر ازدیاد طول فیلم ژلاتین

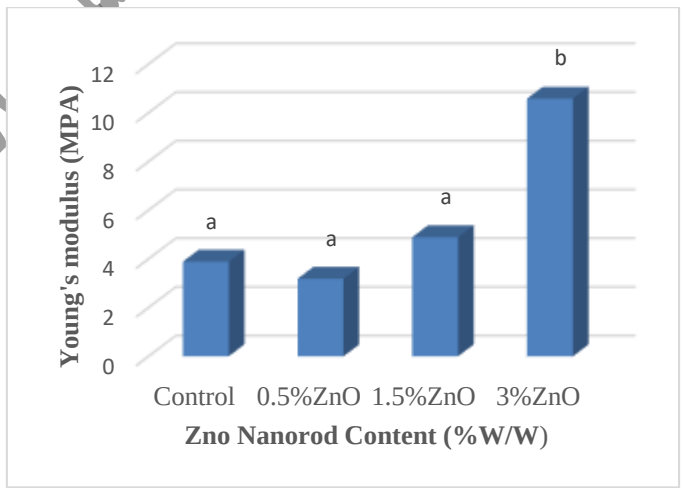

Figure 4. Effect of different levels of nano Zno on the Young's modulus film of gelatin

نمودار ۴- اثر سطوح مختلف نانواکسید روی بر مدول یانگ فیلم ژلاتین

۴- نتیجه گیری

در زمینه استفاده از نانو ذرات اکسید روی در فیلم‌ها و لایه‌های سنتزی مطالعات زیادی صورت گرفته اما در مورد بکارگیری آن در بیوپلیمرها گزارشات زیادی اعلام نشده است. اثر ضدمیکروبی نانوذرات اکسید روی به خوبی شناسایی و اثبات شده است. در این پژوهش سعی شد اثر افزودن این نانو ذره بر خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم ژلاتین بررسی شود. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که نانو اکسیدروی در غلظت های افزوده شده می‌تواند پیوندهای قوی با گروه‌های هیدروکسیلی بیوپلیمر ژلاتین برقرار کند. برقراری این پیوندها سبب بهبود خواص مکانیکی فیلم ها شد. از طرف دیگر درگیر شدن گروه های هیدروکسیل در ساختار بیوپلیمر با نانو، خاصیت آبدوستی فیلم را کاهش می دهد که در نتیجه خصوصیات فیزیکی آن را نیز بهبود بخشید.

۵- مراجع

1. Alebooyeh, R., MohammadiNafchi, A., & Jokr, M. (2012). The Effects of ZnO nanorodson the Characteristics of Sago Starch Biodegradable Films. *Journal of Chemical Health Risks*, *2*(4).
2. Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Entezami, A. A. (2010). Physicochemical properties of starch–CMC–nanoclay biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*, *46*(1), 1-5.
3. Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., & Bai, J. (Eds.). (2011). *Edible coatings and films to improve food quality*. CRC Press.
4. Boanini, E., Rubini, K., Panzavolta, S., & Bigi, A. (2010). Chemico-physical characterization of gelatin films modified with oxidized alginate. Acta biomaterialia, *6*(2), 383-388.
5. Cohen, M. L. (2000). The theory of real materials. *Annual review of materials science*, *30*(1), 1-26.
6. Esmaeili, M., Aryai, P., bagheri, R., & Amoli, R. (2017). Evaluation of the Physical Characteristics of Chitosan-Enriched Films with Succulent Extract, The First National Conference on Modern Technologies in Iran's Food and Tourism Science and Technology, Babolsar, (Persian)
7. Espitia, P. J. P., Soares, N. D. F. F., dos Reis Coimbra, J. S., de Andrade, N. J., Cruz, R. S., & Medeiros, E. A. A. (2012). Zinc oxide nanoparticles: synthesis, antimicrobial activity and food packaging applications. *Food and Bioprocess Technology*, *5*(5), 1447-1464.
8. Fu, L., Liu, Z. H. I. M. I. N., Liu, Y., Han, B., Hu, P., Cao, L., & Zhu, D. A. O. B. E. N. (2005). Beaded cobalt oxide nanoparticles along carbon nanotubes: towards more highly integrated electronic devices. *Advanced Materials*, *17*(2), 217-221.
9. Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. (2010). Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative food science & emerging technologies*, *11*(4), 697-702.
10. Ghodsi, M., Shahedi bagh khandan, M., & Kadivr. M. (2013). Investigation of the physical and preventive properties of cadmium protein bionanocomposite containing zinc oxide nanoparticles produced by abrasion laser method. The 21st National Congress of Food Science and Technology, Shiraz, (Persian)
11. Hernández, O., Emaldi, U., & Tovar, J. (2008). In vitro digestibility of edible films from various starch sources. *Carbohydrate Polymers*, *71*(4), 648-655.
12. Kalia, S. (Ed.). (2016). *Biodegradable Green Composites*. John Wiley & Sons.
13. Kang, S. Z., Wu, T., Li, X., & Mu, J. (2010). A facile gelatin-assisted preparation and photocatalytic activity of zinc oxide nanosheets. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *369*(1), 268-271.
14. Kanmani, P., & Rhim, J. W. (2014). Physical, mechanical and antimicrobial properties of gelatin based active nanocomposite films containing AgNPs and nanoclay. *Food Hydrocolloids*, *35*, 644-652.
15. Lin, W., Xu, Y., Huang, C. C., Ma, Y., Shannon, K. B., Chen, D. R., & Huang, Y. W. (2009). Toxicity of nano-and micro-sized ZnO particles in human lung epithelial cells. *Journal of Nanoparticle Research*, *11*(1), 25-39.
16. Liu, L. (2006). Bioplastics in food packaging: Innovative technologies for biodegradable packaging. *San Jose State University Packaging Engineering*, *13*.
17. Marvizadeh, M. M., Nafchi, A. M., & Jokar, M. (2014). Improved physicochemical properties of tapioca starch/bovine gelatin biodegradable films with zinc oxide nanorod. *Journal of Chemical Health Risks*, *4*(4).
18. Miller, K. S., & Krochta, J. M. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in food science & technology*, *8*(7), 228-237.
19. Mohammadi Nafchi, A., Moradpour, M., Saeidi, M., & Alias, A. K. (2013). Thermoplastic starches: Properties, challenges, and prospects. *Starch-Stärke*, *65*(1-2), 61-72.
20. Müller, C. M., Laurindo, J. B., & Yamashita, F. (2011). Effect of nanoclay incorporation method on mechanical and water vapor barrier properties of starch-based films. *Industrial Crops and Products*, *33*(3), 605-610.
21. Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Fasihi, H., & Almasi, H. (2016). Starch–PVA nanocomposite film incorporated with cellulose nanocrystals and MMT: a comparative study. *International journal of food engineering*, *12*(1), 37-48.

22. Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Mokarram, R. R., Hashemi, M., & Coma, V. (2017). Preparation and characterization of active emulsified films based on chitosan-carboxymethyl cellulose containing zinc oxide nano particles. *International Journal of Biological Macromolecules*, *99*, 530-538.
23. Paralikar, S. A., Simonsen, J., & Lombardi, J. (2008). Poly (vinyl alcohol)/cellulose nanocrystal barrier membranes. *Journal of Membrane Science*, *320*(1), 248-258
24. Pereda, M., Ponce, A. G., Marcovich, N. E., Ruseckaite, R. A., & Martucci, J. F. (2011). Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. *Food Hydrocolloids*, *25*(5), 1372-1381.
25. Rhim, J. W. (2004). Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. *LWT-Food Science and Technology*, *37*(3), 323-330.
26. Sobral, P. D. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food hydrocolloids*, *15*(4), 423-432.
27. Tang, X. Z., Kumar, P., Alavi, S., & Sandeep, K. P. (2012). Recent advances in biopolymers and biopolymer-based nanocomposites for food packaging materials. *Critical reviews in food science and nutrition*, *52*(5), 426-442.
28. Tharanathan, R. N., & Saroja, N. (2001). Hydrocolloid-based packaging films—alternate to synthetic plastics.
29. Tunç, S., & Duman, O. (2011). Preparation of active antimicrobial methyl cellulose/carvacrol/montmorillonite nanocomposite films and investigation of carvacrol release. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(2), 465-472.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران