



# یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



## گواهی پذیرش و ارائه مقاله

یازدهمین کنگره ملی  
مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران  
۱۲ الی ۱۴ شهریور ماه ۱۳۹۷  
11<sup>th</sup> National Congress on Biosystem  
Engineering and Mechanization



پژوهشگران گرامی:

سحر اسحاق و محمدحسین عباسپور فرد

ضمن تشکر از حضور ارزشمند شما در "یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران" که در تاریخ ۱۲ الی ۱۴ شهریور ۱۳۹۷ توسط گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان برگزار گردید، بدینوسیله گواهی می‌شود مقاله با عنوان "خصوصیات مهم بیوکامپوزیت ها و روش های بهبود آن" توسط داوران منتخب کمیته علمی کنگره پذیرفته شده و در روز برگزاری به صورت **پوستر** ارائه گردیده است.

همچنین این مقاله در پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) و مرجع دانش (CIVILICA) نمایه می‌گردد. توفیق روز افزون شما را در عرصه‌های علمی و اجرایی کشور عزیزمان ایران آرزومندیم.

دبیر اجرایی کنگره  
دکتر حسین حاجی آقا علیزاده

دبیر علمی کنگره  
دکتر ابراهیم احمدی

دبیر اجرایی کنگره  
دکتر حسین حاجی آقا علیزاده



## خصوصیات مهم بیوکامپوزیت ها و روش های بهبود آن

سحر اسحاق<sup>۱</sup>، محمدحسین عباسپور فرد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد؛ Sahar.eshagh72@yahoo.com

<sup>۲</sup>استاد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد؛ abaspour@um.ac.ir

### چکیده

پلاستیک های مورد استفاده در صنعت بسته بندی مواد، یکی از مهمترین عوامل آلاینده محیط زیست به شمار می روند، این ترکیبات زیست تخریب پذیر نبوده، در محیط زیست باقیمانده و باعث آلودگی محیط زیست می شوند. پژوهشگران برای حل این مشکل به فکر استفاده از ترکیبات زیست تخریب پذیر در بسته بندی مواد غذایی افتاده اند. بیوپلیمرها جایگزین مناسبی برای ترکیبات سنتزی به شمار می روند اما این مواد به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی ضعیف قابل رقابت با پلیمرهای سنتزی نیستند. یکی از روش های بهبود خواص بیوپلیمرها ترکیب آنها با یکدیگر و تشکیل بیوکامپوزیت ها است. روش دیگر استفاده از نانوذرات به عنوان تقویت کننده در بیوپلیمرها است. نانوبیوکامپوزیت ها از یک ماتریکس بیوپلیمری تقویت شده با پر کننده های معدنی و آلی در ابعاد نانو تشکیل شده است. به دلیل نسبت بالای سطح به حجم در نانوذرات، نانوبیوپلیمرها دارای خصوصیات مکانیکی بالا، وزن کم، پایداری حرارتی بالا، خواص فیزیکی مناسب، رسانایی الکتریکی بالا و مقاومت شیمیایی بالا هستند.

کلمات کلیدی: زیست تخریب پذیری، نانوکامپوزیت، بیوکامپوزیت، بسته بندی غذایی

## Some Important properties of biocomposites and their improvement methods

Sahar Eshagh<sup>1</sup>, Mohammad Hossein Abbaspour Fard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Sahar.eshagh72@yahoo.com

<sup>2</sup>Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), abaspour@um.ac.ir

### Abstract

The plastics used in the packaging industry are one of the most important environmental pollutants, These compounds are not biodegradable, they remain in the environment and cause pollution of the environment. To solve this problem, researchers have been considering using biodegradable compounds in food packaging. Biopolymers are a good alternative to synthetic compounds, but these materials are not competitive with synthetic polymers due to poor physical and mechanical properties. One of the methods for improving the properties of biopolymers is to combine them together and form biocomposites. Another method is the use of nanoparticles as a booster in biopolymers. Nanobiotic composites consist of a bio-polymer matrix reinforced with mineral and organic fillers in nano dimensions. Because of the high surface-to-volume ratio in nanoparticles, nanobiopolymers have high mechanical properties, low weight, high thermal stability, good physical properties, high electrical conductivity and high chemical resistance.

**Keywords:** biodegradability, nano composite, bio composite, food packaging

<sup>۱</sup> سحر اسحاق

مشهد- دانشگاه فردوسی- خوابگاه پردیس ۲

۰۹۱۵۰۶۰۸۴۵۳



# یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

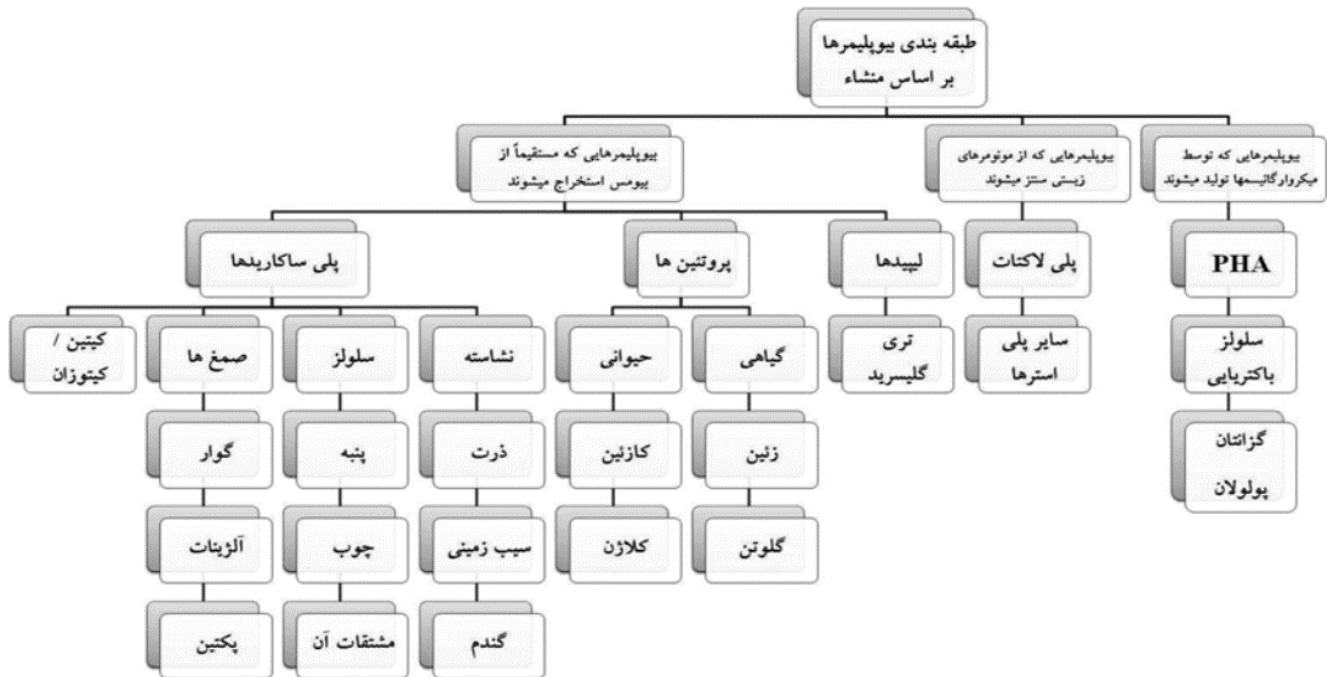


## مقدمه

در دنیای امروز حفاظت از محیط زیست موضوعی حائز اهمیت است طبق آمار بدست آمده توسط محققان آمریکایی سالانه ۵۰۰ میلیون تا ۱ تریلیون کیسه پلاستیکی توسط مردم کره زمین استفاده می شود. مسئولان محیط زیست ژاپن اعلام کرده اند که این استفاده بی رویه از پلاستیک ها باعث ایجاد کوه های پلاستیک زباله می گردد که باعث آلودگی محیط زیست، آلوده شدن اقیانوس ها، افزایش گرمای کره زمین و مصرف بیش از حد سوخت های فسیلی می شود و در نهایت سمومی را وارد چرخه حیاتی می کنند که بدن انسان و اکوسیستم را تحت تاثیر قرار می دهد (Crawford et al., 2001). ستاد محیط زیست و توسعه پایدار شهرداری تهران اعلام کرد ایران پنجمین کشور پرمصرف پلاستیک جهان می باشد. تغییرالگو و کاهش مصرف کیسه ها، ظروف و محصولات یکبار مصرف پلاستیکی و به جای آنها استفاده از ظروف با پایه گیاهی و حیوانی است. همچنین سازمان محیط زیست خراسان رضوی اعلام کرده است که ذرات پلاستیک توسط پرندگان و ماهی ها خورده شده و موجب خفگی در آنها می شود. همچنین این ذرات توسط دام خورده می شود و تاثیرهای منفی و مضر روی گوشت و شیر آنها دارد که در نهایت این تاثیرات منفی به بدن انسان منتقل می شود (عقیلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳). نیاز به پلاستیک های زیست تخریب پذیر در هر سال ۳۰ درصد رشد می یابد (Fomin et al., 2001). از این رو، امروزه تحقیقات متعددی برای حل این معضل از طریق تولید مواد سازگار با محیط زیست در حال انجام است (Jiménez et al., 2012).

به همین دلیل توسعه بیوپلیمرهای جدید به دلیل زیست تخریب پذیری و سلامت آن سال هاست که زمینه مورد علاقه بسیاری از محققان است. بیوپلیمرها، پلیمرهایی هستند که از طریق فعل و انفعالات بیوشیمیایی در حیوانات، گیاهان و میکروارگانیسم ها در طبیعت تولید می شوند. کار روی بیوپلیمرها از سال ۱۹۷۰ و در زمان بحران نفت آغاز شد. در آن زمان کشورهای پیشرفته از جمله آمریکا به فکر تولید موادی جهت صنایع بسته بندی افتادند که وابسته به مواد نفتی و فسیلی نباشند بنابراین پلیمرهای گیاهی با ترکیباتی چون سیب زمینی، ذرت و گندم را مورد آزمایش قرار دادند. این ظروف قدمت زیادی ندارند اما اکنون استفاده از آنها در سطح آمریکا و اروپا و حتی آسیا به سرعت در حال گسترش است (Fabra et al., 2009; Ghanbarzadeh et al., 2011). همچنین آمارها حاکی از آن است که ایران ظرفیت بالایی برای تولید گیاهی این ظروف دارد و می توان با تغییر الگوی مصرف خانواده ها تولید این ظروف را از یک کارخانه فعال به چندین کارخانه گسترش دهد، چرا که با وجود انحصاری بودن تولید ظروف گیاهی، کشور ما توانسته است در زمره چند کشور تولید کننده این مواد قرار گیرد (کیانی و همکاران، ۱۳۹۲). از مهم ترین ویژگی های فیلم و پوشش تشکیل شده از بیوپلیمرها می توان به زیست تخریب پذیری و خوراکی بودن آن اشاره کرد (Krochta et al., 2001; Guilbert et al., 1995). فیلم های زیست تخریب پذیر قابلیت بازدارندگی در مقابل رطوبت، اکسیژن، مواد طعم دهنده و روغن را دارند و کیفیت مواد غذایی را حفظ می کنند (Blanco-Pascual et al., 2013). کیفیت ماده غذایی از طریق جذب رطوبت، جذب روغن، نفوذ اکسیژن، از دست رفتن عطر و طعم، جذب بوهای نامطلوب و مهاجرت اجزای بسته بندی به داخل ماده غذایی کاهش می یابد (Debeaufort et al., 1998). فیلم های زیست تخریب پذیر مانع مهاجرت و کاهش کیفیت مواد غذایی می شوند زیرا آنها سطح ماده غذایی را کاملاً پوشش می دهند (Krochta et al., 2002; Guilbert et al., 1997). فیلم هایی که از پلی ساکاریدها و پروتئین ها تولید می شوند ممانعت کنندگی خوبی در مقابل اکسیژن دارند.

به عبارت دیگر مهم ترین نقاط ضعف پلیمرهای خوراکی نسبت به پلیمرهای سنتزی، استحکام کمتر و خواص مکانیکی ضعیف تر، شکنندگی به ویژه در رطوبت های کم و خواص ممانعتی ضعیف می باشد که این ویژگی ها قابل اصلاح می باشند (Xie et al., 2013). برای بهبود خواص بیوپلیمرها می توان از بیوکامپوزیت ها و نانو کامپوزیت ها استفاده کرد.



شکل ۱- طبقه بندی پلیمرهای زیست تخریب پذیر (Chivrac et al., 2009)

## بیوکامپوزیت

از آنجا که نمی توان ماده ای یافت که همه خواص مورد نظر ما را دارا باشد، اغلب به تلفیق چند ماده نیاز است تا خواص مورد نیاز ما را تامین کند. به این نوع مواد کامپوزیت می گویند. کامپوزیت موادی چند جزئی هستند که خواص آنها در مجموع از هر کدام از اجزا بهتر است. ضمن آنکه اجزای مختلف کارایی یکدیگر را بهبود می بخشند. در کامپوزیت های پلیمر حداقل دو جز مشاهده می شود.

۱. فاز تقویت کننده که درون ماتریس پخش شده است.
۲. فاز ماتریس که فاز دیگر را در بر می گیرد (Ramakrishna et al. 2004).

به منظور بهبود ویژگی های مکانیکی و ممانعتی فیلم ها، می توان ترکیبی از پروتئین ها و کربوهیدرات ها، پروتئین ها و لیپیدها، کربوهیدرات ها و لیپیدها یا پلیمرهای سنتزی و طبیعی برای تهیه فیلم ها استفاده کرد. به فیلم حاصل از ترکیب چند بیوپلیمر فیلم مرکب یا بیوکامپوزیت گفته می شود. ترکیب پروتئین و پلی ساکارید می تواند باعث تغییر در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی هر پلیمر شود. این پلیمرها ممکن است با هم پیوند دهند و فیلم ترکیبی تشکیل شود یا اینکه باهم ناسازگار باشند و هیچ گونه پیوندی نداشته باشند و فیلم مخلوط تولید شود. تشکیل فیلم های ترکیبی یا مخلوط به ساختار شیمیایی، وزن مولکولی و سازگاری ترکیب پلیمرها بستگی دارد که بر ویژگی های نهایی فیلم تأثیر می گذارد (ابراهیمی، ۱۳۹۳). اکثر فیلم های پروتئینی و پلی ساکاریدی به دلیل ماهیت آبدوست این پلیمرها و استفاده از پلاستی سایزرهای آبدوست در فرمول تهیه فیلم، نسبت به بخار آب ممانعت کنندگی ضعیفی دارند. بنابراین با افزودن یک جز آبریز همانند لیپیدها می توان این ویژگی فیلم را بهبود بخشید (Mastromatteo et al., 2009). ترکیب پروتئین و پلی ساکارید نیز می تواند باعث تغییر در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی هر پلیمر شود.

## نانوبیوکامپوزیت

مواد بسته بندی مبتنی بر بیوپلیمر، اغلب به دلیل خواص مکانیکی ضعیف در مقایسه با فیلم های پلاستیکی در صنعت بسته بندی به طور گسترده مورد استفاده قرار نمی گیرند. ترکیب همگن از پلیمرهای زیستی با مواد پرکننده در ابعاد نانو منجر به بهبود خواص فیزیکی، مکانیکی و سد گاز و سد



حرارتی در فیلم‌ها می‌شود. پرکننده‌های نانویی انرژی سطحی بالا و مساحت سطح مخصوص بزرگ دارند و تعاملات سطحی بین پلیمر و پرکننده‌های نانویی را افزایش می‌دهند و سبب بهبود قابل توجهی در خواص پلیمر می‌شود، همچنین سبب ایجاد مسیر غیر مستقیم انتشار گاز می‌شود ( Tunç et al., 2011).

نانوذرات به دلیل اندازه کوچکتر به طور نسبی سطح مقطع بزرگتری دارند. بنابراین در یک میزان پرکننده با کاهش اندازه، تعداد ذرات پرکننده افزایش می‌یابد و آن‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند. بدین صورت لایه‌های بین سطحی با ذرات مجاور همپوشانی پیدا می‌کنند و خواص توده را به طور معناداری افزایش می‌دهند. بنابراین اگر کامپوزیتی دارای حداقل یک جز نانو باشد به آن نانوکامپوزیت گفته می‌شود (Alexandre et al., 2000). خواص نانوکامپوزیت‌ها به میزان پراکنش نانوذرات در ماتریکس بیوپلیمری و برهمکنش بین نانوذرات و بیوپلیمر بستگی دارد (Kumar et al., 2011). علاوه بر اثرات نانو تقویت‌کنندگی، پراکنندگی خوب نانوذرات به ایجاد ناحیه درون فازی و القا حرکت متناوب پیرامون هر نانوذره کمک می‌کند. در نتیجه با شکل‌گیری شبکه درون فازی غوطه‌ور در کامپوزیت خواص نانوکامپوزیت بهتر می‌شود (Hamming et al., 2009). زمانی که نانوکامپوزیت‌ها در بسته بندی مواد غذایی استفاده می‌شوند در برابر تنش‌های حرارتی، فرایندهای غذایی، حمل و نقل و انبارداری تحمل بالاتری نشان می‌دهند (Sinha Ray et al., 2003). بنابراین می‌توان از نانوکامپوزیت‌ها برای به حداقل رساندن مهاجرت رطوبت در فیلم‌های زیست تخریب پذیر و نیز بهبود خواص مکانیکی استفاده کرد و بدین ترتیب با چالش رو به رشد فیلم‌های خوراکی که نفوذپذیری بالا به بخار آب و رفتار مکانیکی ضعیف است، مقابله خواهد شد (Rhim et al., 2006).

### زیست تخریب پذیری

واژه ی زیست تخریب پذیر به موادی اطلاق می‌شود که توسط فعالیت آنزیمی ارگانیسم‌های زنده، مانند باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و یا جلبک‌ها در شرایط هوازی، آب و دی اکسید کربن و در شرایط بی هوازی، آب، متان و دی اکسید کربن تولید نمایند و به زیر واحدهای سازنده‌ی خود تجزیه می‌شوند. پلاستیک قابل کمپوست در فرایندهای بیولوژیکی در کمتر از ۱۸۰ روز به دی اکسید کربن، آب و مواد غیر آلی تبدیل می‌شود و باقی مانده‌های سمی از خود بر جای نمی‌گذارد. برخلاف پلیمرهای زیست تخریب پذیر که توسط میکروارگانیسم‌ها کاملاً تجزیه می‌شوند پلاستیک‌های سنتزی به علت آب‌گریز بودن و سطح کم در مقایسه با وزن مولکولی بالای آنها، نسبت به آنزیم‌های میکروارگانیسم‌ها مقاوم هستند و در محیط تجزیه نمی‌شوند. استانداردهای متعددی برای تعیین زیست تخریب پذیری یک محصول وجود دارد که عمدتاً به تجزیه ی ۶۰ تا ۹۰ درصد از محصول در مدت ۲ تا ۶ ماه محدود می‌شود. این استاندارد در کشورهای مختلف متفاوت است (غلامی و همکاران، ۱۳۹۱).

فرایند زیست تخریب پذیری شامل دو مرحله دپلیمریزاسیون یا شکستن زنجیره پلیمر به اولیگومرها و معدنی شدن اولیگومرها به عناصر سازنده آن است. واکنش‌های هیدرولیز و اکسیداسیون موجب کاهش وزن مولکولی پلیمر می‌شوند. هیدرولیز با استفاده از آب محیط به کمک یک آنزیم یا تحت شرایط غیر آنزیمی و با کمک اتوکاتالیزها، حرارت و یا فلزات کاتالیتیک انجام می‌شود. شکستگی اکسیداتیو، عمدتاً بوسیله اکسیژن، یک کاتالیزور فلزی، نور UV و یا یک آنزیم صورت می‌گیرد. تخریب اولیه پلیمر و شکستن زنجیره و تشکیل اولیگومرها با وزن مولکولی پایین می‌توانند بوسیله آنزیم‌های میکروبی (اندو و اگزو آنزیم) انجام شود. اندو آنزیم‌ها زنجیره اصلی را به صورت تصادفی می‌شکنند، در حالی که اگزو آنزیم‌ها باعث جدا شدن پی در پی منومر انتهایی زنجیره اصلی پلیمر می‌شوند (Alvesa et al., 2006).

لازمه فرآیند زیست تخریب پذیری، زنجیره پلیمری با پیوندهای شیمیایی حساس به هیدرولیز آنزیمی یا اکسیداسیون است. منشعب بودن پلیمر، خاصیت آبدوستی -آبگریزی آن، وزن مولکولی، بلورینگی، شیمی فضایی، قابلیت انعطاف زنجیره مورفولوژی پلیمر و حضور میکروارگانیسم‌های مناسب برای سنتز آنزیم‌های مورد نیاز و محیط مناسب برای رشد آن‌ها از دیگر عوامل موثر در سرعت تخریب هستند. دما، میزان رطوبت، نمک، اکسیژن، فلزات، pH، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء، پایداری محیطی و فشار از فاکتورهای موثر در رشد میکروارگانیسم است. نوع پیوند شیمیایی، pH، دما، ترکیب کوپلیمر و خصوصیت آبدوستی پلیمر از مهمترین عوامل موثر در تخریب شیمیایی پلیمر محسوب می‌شود (Chandra et al., 1998). مواد پلیمری که در محیط زیست رها می‌شوند، می‌توانند تحت تخریب فیزیکی (تخریب حرارتی، تخریب نوری، تخریب مکانیکی)، شیمیایی (اکسایش، هیدرولیز) و بیولوژی یا ترکیبی از آنها قرار بگیرند. به این دلیل که آنها در معرض رطوبت، هوا، دما، نور (تخریب نوری)، تابش با انرژی بالا (امواج



## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



فرابنفش، ارتعاشات گاما) یا میکروارگانیسیم (باکتری یا قارچ) قرار می گیرند. سرعت تخریب شیمیایی و فیزیکی بیشتر از سرعت تخریب بیولوژی می باشد. همچنین، تخریب شیمیایی و فیزیکی تخریب بیولوژی را تسهیل می کند (Ahangar et al. 2015).

### مروری بر منابع

در این پژوهش از ترکیب نشاسته و کربوکسی متیل سلولز استفاده شده است که نتایج نشان داد استحکام کششی ۶۱ درصد افزایش داشته و بخار آب ۴ درصد بهبود پیدا کرده همچنین انتقال شیشه ای ۱۸ درصد افزایش، حلالیت ۱۷ درصد کاهش و جذب آب ۲۲ درصد کاهش داشته است.	Ghanbarzadeh et al., (2010)
با افزودن نانو رس به ترکیب نشاسته و سلولز استحکام کششی فیلم خوراکی ۶۴ درصد افزایش یافت و همچنین حلالیت آن ۲۰ درصد کاهش داشته و جذب آب ۴۲ درصد کاهش یافته است. خواص حرارتی آن نیز ۱۵ درصد بهبود یافته است.	Almasi et al., (2010)
در این پژوهش با ترکیب پلی لاکتیک اسید و نانوفیبر سلولز توانستند استحکام کششی را تا ۵۶ درصد و مدول یانگ را تا ۳۳ درصد افزایش داده است.	Almasi et al., (2015)
با ترکیب کاپاکاراگینان و ناتواکسید سیلیس نفوذپذیری به اکسیژن به میزان ۵۷ درصد، درصد کشیدگی ۵۷ درصد و بخار آب به میزان ۸۲ درصد کاهش داشته است. استحکام کشش ۴۴ درصد و مدول یانگ ۵۲ درصد افزایش داشته است.	طباطبایی و همکاران، (۱۳۹۳)
در ابتدا دویوپلیمر کیتوزان و روغن نیم با هم ترکیب شدند که استحکام کششی تا ۴۱ درصد و خواص آنتی باکتریالی را تا ۴۴ درصد افزایش داده و نفوذپذیری به بخار آب تا ۷۴ درصد کاهش داشته است. سپس به این بیوکامپوزیت نانو اکسید روی افزوده شده که استحکام کششی ۵۰ درصد و خواص ضد میکروبی ۵۰ درصد رشد داشته همچنین نفوذپذیری به بخار آب تا ۷۴ درصد بهبود یافته است.	Sanuja et al., (2015)
از تلفیق صمغ به و نانو رس به عنوان تقویت کننده به نتایج خوبی می توان دست یافت. نفوذ پذیری به بخار آب تا ۸۰ درصد، نفوذ پذیری به اکسیژن ۵۶ درصد و درصد کشیدگی تا ۶۰ درصد کاهش داشته است. استحکام کششی به میزان ۴۹ درصد افزایش داشته است.	شکری و همکاران، (۱۳۹۴)
در پژوهشی دیگر از ترکیب کیتوزان و ژلاتین و نانو سیلیکا استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که با تشکیل بیوکامپوزیت کیتوزان-ژلاتین استحکام کششی ۴۰ درصد و تجزیه زیستی ۲۵ درصد افزایش می یابد و جذب آب ۲۵ درصد کاهش یافته است. در ادامه با افزودن نانو سیلیکا به این بیوکامپوزیت استحکام کششی ۶۰ درصد افزایش داشته و تجزیه زیستی ۲۰ درصد جذب آب ۵۰ درصد کاهش داشته است.	Kavya et al., (2013)



## بهبود خواص فیزیکی در نانو بیوکامپوزیت‌ها

از دلایل مهم بسته بندی مواد غذایی حفظ اتمسفر درون بسته، جلوگیری از اکسیداسیون ترکیبات مواد غذایی مانند ویتامین‌ها و چربی‌ها، جلوگیری از جذب رطوبت از محیط یا از دست دادن آب به محیط، جلوگیری از افت آروما و مواد طعم زای مواد غذایی است. پس بیوپلیمرها که به جای پلیمرهای سنتزی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید بازدارندگی خوبی نسبت به گازها، بخار آب و ترکیبات دیگر مانند مواد عطری، چربی‌ها و غیره داشته باشند (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۱). نفوذپذیری نسبت به بخار آب و گازها در فیلم‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی از قبیل ماهیت آب‌گریزی و آب‌دوستی اجزاء تشکیل دهنده، حضور فضاهای خالی و شکستگی‌های میکروسکوپی، ممانعت فضایی و پیچیدگی ساختار فیلم قرار می‌گیرد (شکرابی و همکاران، ۱۳۹۴). با ترکیب دو بیوپلیمر با برهم زدن ساختار منظم زنجیره‌های پلیمری در فیلم باعث بهبود خواص فیزیکی می‌شود. میزان نفوذپذیری نسبت به بخار آب در فیلم‌های نانوکامپوزیتی به نظر می‌رسد که به دلیل حضور نانوذرات با نسبت منظر زیاد باشد که به طور یکنواختی در ماتریس پلیمری پراکنده شدند همچنین از آنجایی که لایه‌های نانو سدی در برابر آب ایجاد می‌کند آن را مجبور می‌کند تا فضای پر پیچ و خمی را طی کند، بنابراین افزودن آن به بیوپلیمر موجب افزایش خواص بازدارندگی می‌شود. افزودن نانو از طریق پیوند های هیدروژنی و کوالانسی با شبکه بیوپلیمر موجب کاهش گروه های هیدروژنی آزاد و در دسترس جهت تشکیل پیوند های آبدوست با آب شده است که نهایتاً موجب کاهش جذب آب توسط فیلم های بیوپلیمری می‌شود (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۰). پیوند هیدروژنی قوی بین نانو و پلیمر باعث می‌شود حلالیت کاهش یابد و تعامل بین مولکول‌ها بهبود می‌یابد (Almasi et al., 2010).

## بهبود خواص حرارتی در نانوبیوکامپوزیت‌ها

مواد بیوپلیمری معمولاً شامل بخش‌های آمورف و کریستالی هستند و مقدار هر بخش بسته به نوع ماده می‌تواند متفاوت باشد. مواد آمورف و نیمه آمورف در دمای موسوم به دمای انتقال شیشه‌ای  $T_g$  از شکل جامد شیشه‌ای به شکل لاستیکی در آیند. هر ماده دارای  $T_g$  ویژه‌ی خود می‌باشد. پدیده‌ی انتقال شیشه‌ای از جنبه‌های مختلف حایز اهمیت است (الماسی و همکاران، ۱۳۸۸). با افزایش نانو انتقال شیشه‌ای افزایش داشته که دلیل آن تشکیل ساختار منسجم و منظم توسط نانو ذره در نواحی آمورف می‌باشد. افزایش تعداد و شدت پیوندها باعث کاهش تحرک بین زنجیره‌های آمیلوپکتین شده و انتقال شیشه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین خواص گرمایی فیلم‌های بیوپلیمری به دلیل پراکنش ورقه‌ای نانو ذره در ساختار پلیمر و برهمکنش بین نانوذرات و زنجیره‌های بیوپلیمر بهبود می‌یابد (Gholami et al., 2013).

## بهبود نفوذپذیری به اکسیژن در نانوبیوکامپوزیت‌ها

امروزه برای حفظ کیفیت بالای محصول استفاده از مواد بسته بندی دارای ویژگی‌های خوب ممانعت کنندگی در برابر اکسیژن بسیار مهم است. اکسیداسیون چربی‌ها روغن‌ها و دیگر ترکیبات باعث از دست رفتن طعم رنگ و کاهش مواد مغذی می‌شود. بنابراین محافظت محصول در مقابل اکسیژن یکی از الزامات مهم در بسته بندی مواد غذایی به شمار میرود (Jooyandeh et al., 2011). نفوذپذیری نسبت به گازها در فیلم‌ها با پیوند میان بیوپلیمرهای آب‌گریز و آب‌دوست، از بین رفتن فضاهای خالی و شکستگی‌های میکروسکوپی، و ایجاد ممانعت فضایی و پیچیدگی ساختار فیلم بهبود می‌یابد (شکرابی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین فیلم‌های زیست‌پلیمری به دلیل وجود تراکم و فشردگی بالا بین زنجیره‌ها وجود مقدار زیاد پیوند هیدروژنی و وجود حالت کریستالی بازدارندگی عالی در مقابل اکسیژن دارند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳).

## بهبود استحکام مکانیکی در نانوبیوکامپوزیت‌ها

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. معمولاً در اکثر نانو تقویت کننده‌ها مدول یانگ و درصد افزایش طول تا نقطه شکست نسبت عکس دارند. به طور کلی با افزودن نانو استحکام کششی افزایش و انعطاف پذیری کاهش می‌یابد (Almasi et al., 2015).

می‌توان علت افزایش استحکام کششی را چنان تفسیر کرد که با توزیع یکنواخت نانوذرات در ساختمان پلیمر و ایجاد سطحی اتصال دهنده بین مولکول‌ها تشکیل پیوندهای یونی بین نانوذرات و ترکیبات تشکیل دهنده پلیمر افزایش می‌یابد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین مقاومت مکانیکی فیلم‌های حاصل به دلیل پراکنش ورقه‌ای نانو در ساختار پلیمر و برهمکنش بین نانوذرات و زنجیره‌های بیوپلیمر بهبود می‌یابد (Gholami et al., 2013). افزایش میزان مقاومت کششی می‌تواند ناشی از پراکنش یکنواخت نانوذرات و شکل‌گیری نانوکامپوزیت از نوع یکنواخت باشد. همچنین نانو به دلیل نسبت منظر بالا و سطح گسترده خود، می‌تواند به طور موثری به عنوان یک پرکننده موجب تقویت خواص پلیمر می‌شود. این ویژگی‌ها بر توانایی بیوپلیمر در تشکیل پیوندهای بین مولکولی موثر است. هر چقدر این پیوندها بیشتر و قوی‌تر باشند، پیوستگی ساختاری بیشتر و در نتیجه مقاومت مکانیکی بالاتر خواهد بود (معمارزاده و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین دلیل کاهش انعطاف پذیری را می‌توان چنین تفسیر کرد که کاهش فضای آزاد بین



زنجیره های بیوپلیمر باعث افزایش نیرو های جاذب بین مولکولی شده که باعث متراکم شدن شبکه پلیمر و در نتیجه کاهش انعطاف پذیری شود (Kavya et al., 2013).

### نتیجه

برای جایگزینی بیوپلیمرها به جای پلیمرهای سنتزی غیر قابل تجزیه امروزی کوشش های زیادی لازم است. برای بهبود خواص بیوپلیمرها از بیوکامپوزیت ها و نانوکامپوزیت ها استفاده می شود که تشکیل فیلم های چند لایه شبیه مواد بسته بندی مصنوعی با خواص ممانعت کنندگی و خواص مکانیکی عالی می دهند. استفاده از بیوکامپوزیت ها باعث افزودن ارزش افزوده محصولات کشاورزی و کاهش مصرف نفت به عنوان یک انرژی با ارزش و محدود می گردد. در نهایت بسته بندی زیستی به منزله ی یک نیاز در آینده ی ما خواهد بود.

### مراجع

- Abdollahi, M., Rezaei, M., Farzi, Gh. 2011. Preparation and evaluation of properties of biodegradable nanocomposites of chitosan / nanoclay for use in food packaging. *Iranian Journal of Science and Technology Studies*. (Persian)
- Aghili Moghadam, H. 2014. Preparation and evaluation of compostable biodegradable plastic film of polyvinyl alcohol, starch and gum. Master's Degree. Ferdowsi University of Mashhad. (Persian)
- Alexandre, M., & Dubois, P. (2000). Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 28(1-2), 1-63
- 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.
- Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., Dehghannia, J., Entezami, A. A., & Asl, A. K. (2015). Novel nanocomposites based on fatty acid modified cellulose nanofibers/poly (lactic acid): Morphological and physical properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 5, 21-31.
- Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., Entezami, A. 2009. Preparation of Physical Properties of Biodegradable Starch-CMC Composite Film Containing Montmorillonite Nanoparticles. *Polymer Science and Technology Biomedical Journal*. (Persian)
- almasi, H., Ghanbarzadeh, b., Entezami, A. 2009. Preparation of Physical Properties of Biodegradable Starch-CMC Composite Film Containing Montmorillonite Nanoparticles. *Polymer Science and Technology Biomedical Journal*. (Persian)
- Alves, V., Costa, N., Hilliou, L., Larotonda, F., Gonçalves, M., Sereno, A., & Coelho, I. (2006). Design of biodegradable composite films for food packaging. *Desalination*, 199(1-3), 331-333.
- Blanco-Pascual, N., Fernández-Martín, F., & Montero, M. P. (2013). Effect of different protein extracts from *Drosophila* muscle co-products on edible films development. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 118-131.
- Chivrac, F., Pollet, E., & Averous, L. (2009). Progress in nano-biocomposites based on polysaccharides and nanoclays. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 67(1), 1-17.
- Crawford, C. J., & Jackson, J. P. (2001). *U.S. Patent No. 6,270,412*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A., & Voilley, A. (1998). *Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. Critical Reviews in Food Science*, 38(4), 299-313.
- Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2009). Microstructure and optical properties of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 676-683.
- Fomin, V. A., & Guzeev, V. V. (2001). Biodegradable polymers, their present state and future prospects. *Progress in rubber and plastics technology*, 17(3), 186.
- 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.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. (2011). Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and products*, 33(1), 229-235.
- Gharoy Ahangar, E., Abbaspour-Fard, M. H., Shahtahmassebi, N., Khojastehpour, M., & Maddahi, P. (2015). Preparation and characterization of PVA/ZnO nanocomposite. *Journal of food processing and preservation*, 39(6), 1442-1451.
- Gholami, R., Dehghannia, J., Ghanbarzadeh, B. 2012. Modeling of water vapor permeability and moisture absorption in stomatal-montmorillonite nanocomposite films. *Tabriz University. Journal of Polymer Science and Technology*. Year 26. (Persian)
- Gholami, R., Ghanbarzadeh, B., & Dehghannia, J. (2013). Potato Starch/Montmorillonite-Based Nanocomposites: Water Sensitivity, Mechanical and Thermal Properties and XRD Profile Study. *Science and Technology*, 26(2), 91-100.





- Guilbert, S., & Gontard, N. (1995). Edible and biodegradable food packaging. *Special publication-royal society of chemistry*, 162(1), 159-159.
- Hamming, L. M., Qiao, R., Messersmith, P. B., & Brinson, L. C. (2009). Effects of dispersion and interfacial modification on the macroscale properties of TiO<sub>2</sub> polymer–matrix nanocomposites. *Composites science and technology*, 69(11-12), 1880-1886.
- Jamshidi, N., Ghanbarzadeh, b., Dehghannia, j. 2012. Comparison of Physical Properties of Modified Starch Bonded Copolymers-Polyvinyl Alcohol, Containing Nanocrystal Hull Cellulose and Titanium Dioxide Nanoparticles Using Response Level Method. Master's Degree, Tabriz University. (Persian)
- Jiménez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and biodegradable starch films: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2058-2076.
- Jooyandeh, H. (2011). Whey protein films and coatings: a review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(3), 296-301.
- Kavya, K. C., Jayakumar, R., Nair, S., & Chennazhi, K. P. (2013). Fabrication and characterization of chitosan/gelatin/nSiO<sub>2</sub> composite scaffold for bone tissue engineering. *International journal of biological macromolecules*, 59, 255-263.
- Kiani, A., Kianfar, E., Razavi Kia, A., Tayebinezhad, E. 2014. Use of biodegradable biopolymers in the production of plastics; National Conference on the Environment and Energy of Iran. Safashahr. Kharazmi International Institute for Educational and Research. (Persian)
- Krochta, J.M., 2001. FAQ about edible films and coatings <http://www.dairybiz.com/feature.htm>
- Kumar, P. S., Srinivasan, S., Lakshmanan, V. K., Tamura, H., Nair, S. V., & Jayakumar, R. (2011).  $\beta$ -Chitin hydrogel/nano hydroxyapatite composite scaffolds for tissue engineering applications. *Carbohydrate polymers*, 85(3), 584-591.
- Mastromatteo, M., Chillo, S., Buonocore, G. G., Massaro, A., Conte, A., Bevilacqua, A., & Del Nobile, M. A. (2009). Influence of spelt bran on the physical properties of WPI composite films. *Journal of food engineering*, 92(4), 467-473.
- Memarzadeh, R., Dastgheib Beheshti, M. 2015. Effect of Chitosan Nanoparticles on Structural and Mechanical Properties of Carboxymethyl Cellulose Based Nanocomposite Films. Twenty-third National Congress of the Iranian Food and Drug Industries. Quchan. Islamic Azad University. Quchan Branch. (Persian)
- Ramakrishna, S., Huang, Z. M., Kumar, G. V., Batchelor, A. W., Mayer, J., Holmes-Walker, A., ... & Asundi, A. (2004). Series on biomaterials and bioengineering. *Switzerland: Singapore*, 1, 236
- Rhim, J. W., Mohanty, K. A., Singh, S. P., & Ng, P. K. (2006). Preparation and properties of biodegradable multilayer films based on soy protein isolate and poly (lactide). *Industrial & engineering chemistry research*, 45(9), 3059-3066.
- Sanuja, S., Agalya, A., & Umapathy, M. J. (2015). Synthesis and characterization of zinc oxide–neem oil–chitosan bionanocomposite for food packaging application. *International journal of biological macromolecules*, 74, 76-84.
- Shokrabi, A., Urmia, A., Vaziri, A. 2015. The effect of nanoclay particles on mechanical properties and edible film permeability based on grain mucilage. Second Congress of Iran's New Technologies. Tehran, M.Sc. (Persian)
- Sinha Ray, S., Okamoto, K., & Okamoto, M. (2003). Structure– property relationship in biodegradable poly (butylene succinate)/layered silicate nanocomposites. *Macromolecules*, 36(7), 2355-2367.
- 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.
- Xie, F., Pollet, E., Halley, P. J., & Avérous, L. (2013). Starch-based nano-biocomposites. *Progress in Polymer Science*, 38(10-11), 1590-1628.