مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۷

# نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی مواد غذایی

ویرایش نخست

سال انتشار: ۱۳۹۴

## مقدمه

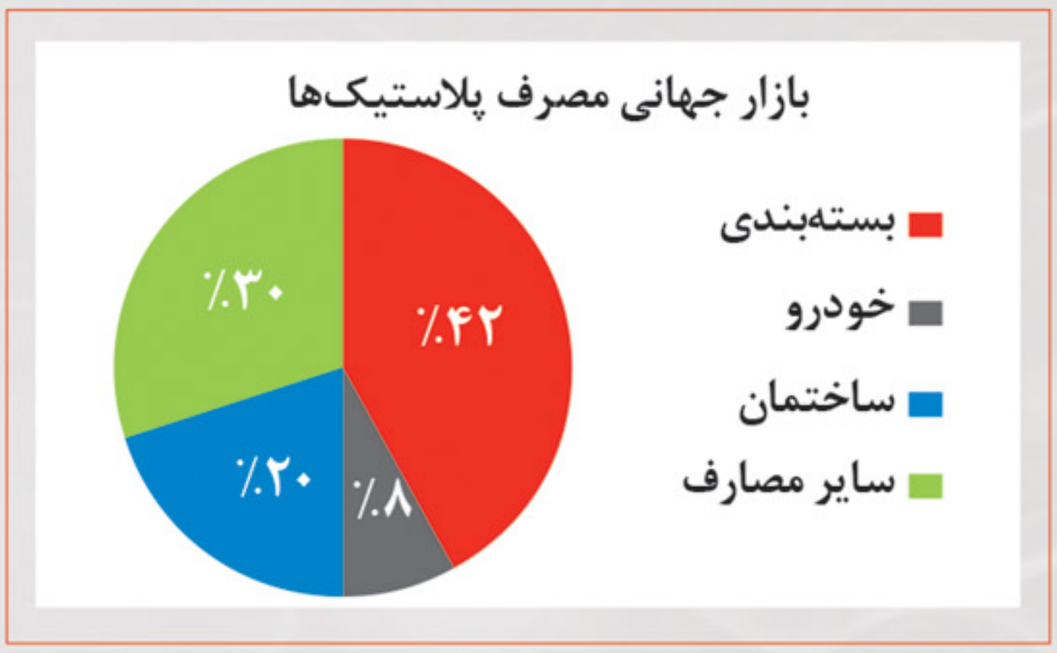
در دنیای مدرن امروزی تصور کالایی تجاری بدون بسته‌بندی دور از ذهن و محال به‌نظر می‌رسد. علاوه بر ویژگی‌های پایه بسته‌بندی مانند محافظت و نگهداری کالا، در بسته‌بندی مدرن موادغذایی باید ویژگی‌های دیگری چون پویا بودن و به‌روز شدن، آینده‌نگری و خلاقیت را نیز در نظر داشت. صنعت بسته‌بندی یکی از مهم‌ترین صنعت‌ها در دنیای امروز است، به طوری که ۲٪ از تولید ناخالص ملی کشورهای توسعه یافته را به خود اختصاص می‌دهد. در این میان بسته‌بندی صنایع غذایی بیش از ۵۰٪ از این بازار را به خود اختصاص داده است. با توجه به برآوردهای انجام شده این رقم به طور دائم از نظر اهمیت و حجم بازار در حال افزایش است [۱].

اخیرا، ورود فناوری‌نانو به حوزه بسته‌بندی تحولی اساسی در ارائه بسته‌بندی‌هایی جدید با ویژگی‌های متفاوت از بسته‌بندی‌های معمولی ایجاد نموده است. در این نوع از بسته‌بندی‌ها استفاده از مواد نانومتری مانند نانورس، نانوذرات فلزی، نانوذرات اکسید فلزی و... در زمینه پلیمری به شکل چشم گیری استحکام و نفوذپذیری بسته‌بندی را بهبود داده و این نوع از بسته‌بندی را به عنوان یک گزینه امیدبخش با پتانسیل بالای تجاری جهت تضمین سلامت و کیفیت غذا در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی معرفی نموده است.

## معضلات ناشی از به کارگیری پلیمرهای تولید شده از مشتقات نفتی

بیش از ۵۰ سال، پلیمرهای پلاستیکی به عنوان کاربردی‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه در مصارف بسته‌بندی مورد استفاده قرار می گرفتند. در واقع، این مواد به علت قیمت پایین‌تر، دانسیته کمتر، مقاومت به خوردگی و در دسترس بودن، جایگزین مواد سنتی‌تر مانند کاغذ، شیشه و فلزات برای کاربردهای مرتبط با بسته‌بندی شدند. علاوه بر این ویژگی‌ها، خواص اپتیکی، مکانیکی و مقاومت در برابر نفوذ گازها، هدایت گرمایی فوق‌العاده کم و مقاومت در برابر نفوذ آب و روغن سبب گردید که ۴۰ درصد از کل مصرف پلاستیک‌ها به صنعت بسته‌بندی اختصاص یابد [۲،۳]. شکل ۱ میزان مصرف پلاستیک‌ها را در بازارهای مختلف نشان می‌دهد.

امروزه استفاده از پلاستیک‌ها موجب نگرانی‌های بسیاری در جامعه بشری است. بزرگ‌ترین چالش در مورد پلاستیک‌ها مسئله درصد بازیافت این مواد است. در مقایسه با مواد دیگر مانند فلزات با ۳۵ درصد قابلیت بازیافت، کاغذ با ۳۰ درصد و شیشه‌ها با ۱۸ درصد قابلیت بازیافت، پلاستیک‌ها تنها ۴-۳ درصد قابلیت بازیافت دارند. مشکل دیگری که در بازیافت پلاستیک‌ها وجود دارد بحث انرژی بازیافت و دفن آن‌ها به صورت زباله است. با توجه به آمارهای منتشر شده در اروپا ۵۰ درصد از پلاستیک‌های تولید شده دوباره در چرخه تولید بازیافت نمی‌شوند. این مساله زمانی نگران کننده می‌شود که میزان مصرف پلاستیک‌ها به چندین تن می‌رسد. به عنوان مثال، میزان مصرف ترموپلاستیک‌ها در سال ۲۰۰۶ در اروپا نزدیک به ۴۰ میلیون‌تن بوده که از این میزان، ۲۷/۴٪ در بسته‌بندی‌های غیرمنعطف و ۲۰/۷٪ در بسته‌بندی‌های منعطف مورد استفاده قرار گرفته




شکل ۱. میزان مصرف پلاستیک‌ها در صنایع مختلف

است. در سال‌های اخیر با وجود استفاده از پلاستیک‌های نازک (TWP[1]) در صنعت بسته‌بندی، همچنان اصرار زیادی به جایگزینی این مواد با منابع تجدیدپذیر وجود دارد. زیرا همان گونه که پیش‌تر نیز اشاره گردید، پلاستیک‌ها قابل بازیافت و یا زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و بنابراین می‌توانند سبب مشکلات جدی زیست‌محیطی و دفن زباله گردند [۲] (شکل ۲).

شکل ۲. نمونه‌هایی از آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد شده توسط پلاستیک‌های غیر زیست‌تخریب‌پذیر

علاوه بر مشکلات ذکر شده نوسانات قیمت نفت و در نتیجه قیمت مشتقات نفتی مانند پلاستیک‌ها بر این بازار بسیار تاثیر گذار است. با توجه به افزایش ناگهانی بهای نفت در بازارهای جهانی در دهه گذشته و بالا رفتن قیمت محصولات ناشی از مشتقات نفتی، جایگزین نمودن این مواد با موادی که بتواند هزینه بسته‌بندی را کاهش دهد، از دیگر مواردی است که مورد توجه فعالان این صنعت قرار گرفته است [۱].

## جایگزینی پلاستیک‌های نفتی با مواد زیست‌تخریب‌پذیر

امروزه استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر به علت پتانسیل بالای آن‌ها، به ویژه برای استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. این مواد می‌توانند جایگزین مواد پلاستیکی زیست‌تخریب‌ناپذیر گردند و آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها را کاهش دهند. اما مواد زیست‌تخریب‌پذیر مقاومت کمتری در برابر نفوذ آب و گاز از خود نشان می‌دهند و از نظر خواص مکانیکی نیز ضعیف‌تر می‌باشند. یکی از راه‌های غلبه بر این مشکلات، کامپوزیت‌سازی پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر با سایر مواد مفید است [۴].

یکی از راه‌حل‌هایی که در کامپوزیت‌سازی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از مواد نانومتری برای ایجاد خواص مورد نظر در مواد زیست‌تخریب‌پذیر است. در این گزارش به بررسی این دسته از مواد زیست‌تخریب‌پذیر پرداخته خواهد شد [۵].

## فناوری نانو و پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر

یکی از محدودیت‌هایی که در کامپوزیت‌سازی وجود دارد این است که بیشتر موادی که برای اصلاح خواص پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرند، برهم‌کنش ضعیفی با زمینه خود نشان می‌دهند. این موضوع سبب افت کارایی این کامپوزیت‌ها می‌گردد. تحقیقات انجام شده نشان داد که برای رفع این مشکل و افزایش برهم‌کنش بین زمینه و پرکننده‌های مورد استفاده در کامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر، می‌توان ابعاد پرکننده‌ها را کاهش داد. استفاده از پرکننده‌های نانومتری سبب به وجود آمدن نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر با مشخصه‌ها

و ویژگی‌هایی مشابه با پلاستیک‌های معمولی می گردد.
پلیمرهای مورد استفاده در ساخت بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر در دو گروه طبقه‌بندی می گردند:

- پلیمرهای طبیعی (مانند پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها)
- پلیمرهای ترکیبی (مانند پلی کاپرولاکتون (PCL) و پلی لاکتیک اسید (PLA))

پلیمرهای ترکیبی نیز بر اساس منشاء تولید آن‌ها به سه دسته تقسیم می گردند:

- پلیمرهای تولید شده از میکرواورگانیسم‌ها
- پلیمرهای به دست آمده از زیست‌فناوری
- پلیمرهای تولید شده از مشتقات نفتی (غیر تجدیدپذیر) [۸-۵].

## پلیمرهای طبیعی

پلیمرهای طبیعی مورد استفاده در بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر به طور مستقیم از محصولات توده‌های زیستی[۲] یا بیومس مانند بافت‌های گیاهی و دانه‌ها و یا محصولات حیوانی مانند ژلاتین به دست می آیند. از این میان دو دسته پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها بیشتر در صنعت بسته‌بندی مورد استفاده قرار می گیرند.
امکان تولید بسته‌بندی در مقیاس صنعتی یکی از بزرگ‌ترین مباحث مورد توجه در صنایع غذایی است. چرا که قیمت مواد مورد استفاده برای بسته‌بندی تاثیر بسیار زیادی در قیمت تمام شده محصول نهایی خواهد داشت. در مورد پلیمرهای طبیعی ارزش افزوده بالاتر محصولات غذایی بسته‌بندی شده با بسته‌بندی‌های کاربردی و فعال می تواند هزینه تولید زیاد آن‌ها را در مقایسه با مقیاس‌های صنعتی توجیه نماید.
مزیت عمده پلیمرهای پروتئینی نسبت به پلی‌ساکاریدها این است که این مواد همزمان دارای خاصیت آب‌دوستی و آب گریزی هستند. این ویژگی به معنی امکان استفاده از نانوساختارهای غیرقطبی در فیلم‌های پروتئینی است که منجر به افزایش کارکردهای این نوع از فیلم‌ها می‌شود [۵].

## پلیمرهای ترکیبی

### پلیمرهای تولید شده از میکرواورگانیسم‌ها

در اینگونه از پلیمرها مونومرها محصول متابولیسم یک باکتری هستند که بر روی زیرلایه‌های مختلفی عملیات تخمیر را انجام می‌دهند. البته این فرآیند محصولات جانبی دیگری نظیر لاکتوز نیز به همراه خواهد داشت. این دسته از پلیمرهای ترکیبی در حال حاضر یکی از گزینه‌های جدی برای تولید نانوکامپوزیت‌های زیستی برای بسته‌بندی در صنایع غذایی می‌باشند [۵].

### پلیمرهای به دست آمده از زیست‌فناوری

پلی‌لاکتیک اسید مهم‌ترین پلیمر ترموپلاستیکی است که از زیست‌فناوری برای بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته است. این پلیمر به طور گسترده توسط محققان به عنوان یک ماده زیست‌تخریب‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است، اما خاصیت ممانعت از عبور گاز و نیز چقرمگی و انعطاف‌پذیری آن بسیار کم است [۵].

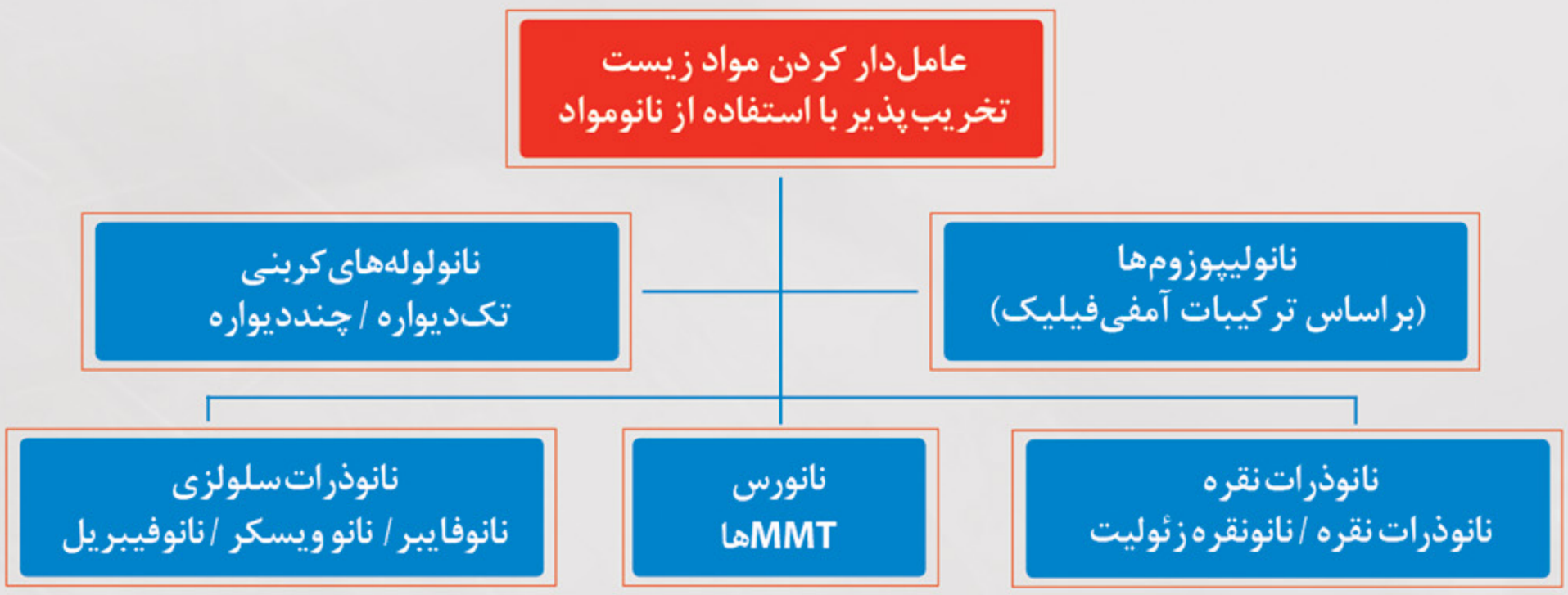
### پلیمرهای به دست آمده از مشتقات نفتی

اگرچه بسیاری از پلاستیک‌های تولید شده در پتروشیمی زیست تخریب‌پذیر نیستند، اما تعداد معدودی از این پلیمرها به راحتی در طبیعت تجزیه خواهند شد که مهم‌ترین آن‌ها پلی کاپرولاکتون است. این مواد زیست‌تخریب‌پذیر نسبت به پلیمرهای طبیعی گران‌تر هستند که علت عمده آن نیز ماهیت غیر تجدیدپذیر آن‌ها است، زیرا نمی توان از آن‌ها مجددا

در چرخه تولید استفاده نمود.
خاصیت آب گریزی پلی کاپرولاکتون سبب بهبود مقاومت در برابر آب پلیمرهای ارزان‌تر مانند نشاسته (starch) می گردد. با اضافه نمودن مقدار کمی پلی کاپرولاکتون به نشاسته، مقاومت در برابر نفوذ بخار آب مخلوط به دست آمده به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این ترکیب کاملا زیست‌تخریب‌پذیر بوده و با اضافه کردن نانوذرات به آن می‌توان نانو کامپوزیتی با خواص مکانیکی و ممانعتی خوب تولید نمود [۵].

## عامل‌دار کردن پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از نانومواد

مواد زیست‌تخریب‌پذیر هنگامی که به عنوان بسته‌بندی مواد غذایی مورد استفاده قرار می گیرند، محدودیت‌هایی از خود نشان می‌دهند که پیش‌تر نیز به برخی از آن‌ها اشاره شد. یکی از راه‌های نویدبخش برای غلبه بر این محدودیت‌ها و بهبود خواص فیزیکی–شیمیایی آن‌ها عامل‌دار کردن این مواد با مواد نانومتری است (شکل ۳).




شکل ۳. نانومواد استفاده شده برای عامل‌دار کردن مواد زیست‌تخریب‌پذیر

تحقیقات بسیاری برای بهبود کارایی پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از نانوموادی همچون نانولوله‌های کربنی، نانورس، نانوذرات سلولز و نانوذرات نقره انجام شده است. در ادامه به نانوموادی که جهت بهبود خواص نانو کامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته اند، اشاره می گردد [۷،۹]:

### نانولوله‌های کربنی

اضافه نمودن نانولوله‌های کربنی به پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر علاوه بر بهبود خواص مکانیکی این پلیمرها سبب کاهش نفوذ گاز و بخار آب در این پلیمرها می گردد. علاوه بر این با انجام اصلاحات شیمیایی بر روی نانولوله‌های کربنی می‌توان سازگاری آن‌ها را با زمینه پلیمری افزایش داد. ویژگی دیگری که در مورد نانولوله‌های کربنی باید به آن اشاره نمود این است که اضافه نمودن مقادیر بسیار کم از آن به پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند سبب افزایش زیست‌تخریب‌پذیری این کامپوزیت‌ها گردد. البته باید به این نکته اشاره نمود که استفاده از نانولوله‌های کربنی در بسته‌بندی مواد غذایی خیلی معمول نیست. چرا که احتمال ایجاد خطر مسمومیت از این مواد برای سلول‌های انسانی وجود دارد. با این وجود هنوز مفید بودن استفاده از نانولوله‌های کربنی برای بسته‌بندی در صنایع غذایی تحت مطالعه و بررسی قرار دارد [۵].

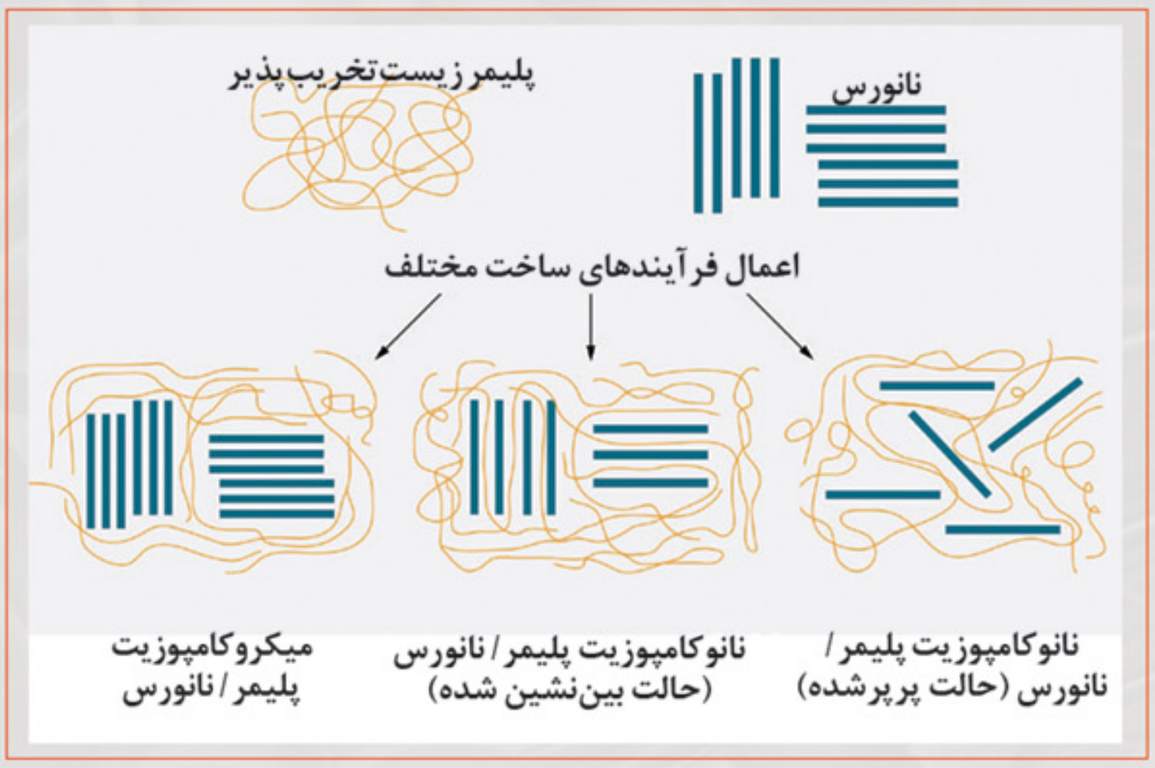
## نانورس

یکی از پر کاربردترین نانومواد در بسته بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر نانورس‌های سیلیکاتی است که دارای ساختاری لایه‌ای می‌باشد. علت اهمیت و کاربرد سیلیکات‌های لایه‌ای را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- دسترسی بسیار آسان
- قیمت پایین
- ایجاد بهبودهای قابل توجه در خواص
- سادگی فرآیندپذیری و اختلاط با پلیمر پایه

این نانوذرات را می‌توان در طی فرآیندهای صنعتی مانند اکستروژن، به پلیمر اضافه نمود. بنابراین می‌توان امکان دستیابی به فیلم‌های بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر در مقیاس صنعتی را به راحتی فراهم آورد. اضافه نمودن این نانوذرات به پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند علاوه بر ایجاد خواص بدیع، مقاومت مکانیکی این پلیمرها را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

بر اساس شبکه‌ای که در فرآیند ساخت بین پلیمر و لایه‌های نانورس شکل می‌گیرد، کارکرد نانورس در کامپوزیت به دست آمده مشخص می‌گردد. نانورس در اختلاط با پلیمر می‌تواند دو ساختار نانوکامپوزیت و یا میکرو کامپوزیت را تشکیل دهد. ساختار نانو کامپوزیت نیز بسته به نحوه قرارگیری لایه‌های نانورس و زنجیره‌های مولکولی پلیمر در کنار یکدیگر، به دو شکل پرپر شده[3] (حالتی که لایه‌ها از یکدیگر فاصله زیادی می‌گیرند) و بین‌نشین شده[4] (حالتی که زنجیره‌های پلیمر در بین لایه‌های نانورس قرار می‌گیرد) تقسیم بندی می‌شود (شکل ۴).




**شکل ۴. انواع روش‌های قرارگیری نانورس در نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر**

هنگامی که نانورس‌ها کنار یکدیگر جمع شوند به صورت یک میکروذره عمل می‌کنند. این پدیده سبب ایجاد خواص ضعیف در کامپوزیت می‌گردد. بنابراین، حضور مقدار کافی از نانوذرات و نیز جدایش و توزیع خوب آن‌ها در زمینه پلیمری می‌تواند سبب بهبود خواص در کامپوزیت گردد. به طور خلاصه استفاده از نانورس در پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر سبب ایجاد بهبودهای زیر می‌گردد [۵۸]:

- افزایش پایداری دمایی
- افزایش تحمل تنش‌های کششی و افزایش تغییر شکل در هنگام شکست
- کاهش میزان نفوذ پذیری آب و گاز

## مقاوم‌سازهای سلولزی

نانوذرات سلولزی معمولا به دو صورت نانوالیاف و نانوویسکر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مزایای عمده این نانوذرات می‌توان به در دسترس بودن آن‌ها اشاره نمود. زیرا نانوذرات سلولزی را می‌توان به راحتی به روش‌های گوناگون از بافت‌های گیاهی حتی مواد زباله‌ای تهیه نمود. به طور خلاصه، از مزایای استفاده از نانوذرات سلولزی در

زمینه‌های زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۵،۹]:

- افزایش مدول الاستیک نانو کامپوزیت
- افزایش استحکام کششی نانو کامپوزیت
- ایجاد افزایش ممانعت در برابر نفوذ بخار آب
- ایجاد پایداری دمایی در نانو کامپوزیت نهایی

### نانوذرات نقره

با وجود اینکه گزارش‌هایی مبنی وجود خاصیت آنتی‌باکتریال در نانورس ارائه شده است، اما بیشترین نانوذرات به کار رفته برای ایجاد خاصیت آنتی‌باکتریال در فیلم‌های مورد استفاده در بسته‌بندی مواد غذایی، نانوذرات نقره می‌باشد. علت خاصیت آنتی‌باکتریال نانوذرات نقره، اندازه کوچک و بار سطحی آن‌ها عنوان شده است که سبب نفوذ این نانوذرات به داخل غشای باکتری و آسیب رساندن به DNA آن می گردد. علاوه بر خاصیت آنتی‌باکتریال نانوذرات نقره، این نانوذرات مانع از رشد میکرواورگانیسم‌ها در داخل محصولات غذایی می‌شوند [۵،۹].

### نانولیپوزوم[۵]ها

در سال‌های اخیر، مزایای استفاده از نانولیپوزوم‌ها به عنوان حامل‌های مواد فعال و استفاده از آن‌ها در ساخت مواد زیست‌تخریب‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از موادی که همزمان خاصیت آب‌دوستی و آب‌گریزی دارند (مانندلسیتین[۶])، این امکان را فراهم می‌آورد که از طریق ویزیکل‌ها[۷] و مایسل‌ها[۸] اجزاء قطبی و یا غیرقطبی را در مرکز خود جای دهند (شکل ۵).

**شکل ۵. نحوه آرایش مواد آمفی‌فیلیک در محیط‌های قطبی و غیرقطبی**

سمیت نانولیپوزوم‌هایی که از ترکیبات طبیعی به دست می‌آیند نسبت به نانوذرات دیگر مانند نانولوله‌های کربنی و نانوذرات نقره کمتر است. که علت آن را می‌توان به اندازه ذرات بزرگ‌تر نانولیپوزوم‌ها و ماهیت غیرسمی لسیتین نسبت داد. به طور خلاصه می‌توان مزایای استفاده از نانولیپوزوم‌ها را در بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر در قالب موارد زیر بیان نمود:

- افزایش خاصیت ضدمیکروبی نانو کامپوزیت
- افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی نانو کامپوزیت
- ایجاد ترکیبات زیست‌فعال در نانو کامپوزیت

البته باید به این نکته توجه نمود که استفاده از نانولیپوزوم‌ها به اندازه نانوذرات دیگر سبب افزایش خواص مکانیکی نانو کامپوزیت نمی‌شود. این موضوع به عنوان یک محدودیت برای نانولیپوزوم‌ها تلقی می گردد. استفاده همزمان از نانولیپوزوم‌ها و دیگر نانوذرات برای غلبه بر این محدودیت می‌تواند سبب ایجاد نانو کامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر با خواص فیزیکی و کاربردی بهتر گردد [۵،۹].

## محصولات تجاری در حوزه نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر

معضلات ناشی از مصرف بی‌رویه پلاستیک‌های معمولی و خطرات زیست‌محیطی آن، موجب شکل گیری تلاش‌هایی جهت جایگزین نمودن این پلاستیک‌ها با مواد زیست‌تخریب‌پذیر گردید. امروزه تعدادی از شرکت‌های فعال در صنعت پلیمرها در اکثر نقاط جهان به سمت تولید نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر جهت جایگزین نمودن پلاستیک‌های معمولی رفته‌اند [۱۰]. در جدول ۱ تعدادی از شرکت‌های فعال در زمینه تولید نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر معرفی شده‌اند [۲۱-۱۱].

**جدول ۱. شرکت‌ها و مراکز تحقیقاتی فعال در زمینه نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر برای بسته‌بندی**

| نام مرکز تحقیقاتی یا صنعتی | کشور | نام مرکز تحقیقاتی یا صنعتی | کشور |
|---|---|---|---|
| پارسا پلیمر شریف | ایران | Bayer MaterialScience | آلمان |
| Honeywell | امریکا | Dow Chemical | امریکا |
| LANXESS | آلمان | Eastman Chemical | امریکا |
| Nanocor | امریکا | Mitsubishi Gas Chemical | ژاپن |
| Triton Systems | امریکا | RTP Co. | امریکا |
| LyondellBasell | امریکا | | |

اکثر این شرکت‌ها در مرحله تحقیق و توسعه هستند اما با توجه به روند رو به رشد این تقاضا در بازارهای جهانی برای تولید فیلم‌های بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر مواد غذایی با خواص مناسب، تولید محصولات صنعتی متناسب با این تقاضا نیز سرعت گرفته است. همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در ایران شرکت پارسا پلیمر شریف اقدام به تولید نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر نموده و تا کنون دو محصول خود در این زمینه را با عناوین parsabio 6410 و parsabio 6010 را به صورت نیمه‌صنعتی به بازار عرضه کرده است.

## جنبه‌های اقتصادی و صنعتی

در گزارش پایشی نانو که در سال ۲۰۱۰ در حوزه بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر منتشر شد، عنوان گردید که میزان تقاضا برای نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۲۰۱۰ در حدود ۴۰۰٪ افزایش پیدا خواهد نمود. علل عمده این پیش‌بینی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- افزایش قیمت نفت و گاز
- افزایش تقاضای مشتریان برای محصولات سازگار با محیط‌زیست
- افزایش تولید زیست‌پلاستیک‌ها
- فشارهای سیاسی و اجتماعی برای کاهش پلاستیک‌های غیر تخریب‌پذیر

بر اساس این گزارش در سال ۲۰۱۵ میزان بازار مصرف نانوکامپوزیت‌ها در دنیا به حدود ۴ میلیارد دلار خواهد رسید که در حدود ۴۰ درصد آن مربوط به بخش بسته‌بندی خواهد بود. با توجه به افزایش تقاضا برای تولید نانوکامپوزیت‌های زیست‌تخریب‌پذیر، دور از ذهن نیست که بخش قابل توجهی از این بازار به این دسته از نانوکامپوزیت‌ها اختصاص یابد که خود یک فرصت مناسب برای سرمایه گذاری در این بخش به شمار می‌رود. شکل ۶ روند افزایش حجم بازار نانوکامپوزیت‌ها را در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ نشان می‌دهد [۲۲]:

**شکل ۶. بازار مصرف نانوکامپوزیت‌ها در جهان**

## پی‌نوشت‌ها

1 Thin Wall Packing
2 Biomass
3 Exfoliated
4 Intercalated
5 Nanoliposome
6 Lecithin
7 Vesicle
8 Micelle

## مراجع


1 Malinconico, Mario, et al. "Natural Polymers and Additives in Commodity and Specialty Applications: A Challenge for the Chemistry of Future."Macromolecular Symposia. Vol. 337. No. 1. 2014.

2 International Biodegradable Polymers Association & Working Groups: Bioplastics at the Leading Edge of Change. Renewable Raw Materials Make their Entry in the Plastics Industry. Jan 30, 2006, http://www.ibaw. org.

3 Silvestre, Clara, Donatella Duraccio, and Sossio Cimmino. "Food packaging based on polymer nanomaterials." Progress in Polymer Science 36.12 (2011): 1766-1782.

4 Siracusa, Valentina, et al. "Biodegradable polymers for food packaging: a review." Trends in Food Science & Technology 19.12 (2008): 634-643.

5 Lee, Dong Sun. "Progress in active food packaging materials." Progress in Nanomaterials for Food Packaging (2014): 67.

6 Famá, Lucía M., et al. "Starch/multi-walled carbon nanotubes composites with improved mechanical properties." Carbohydrate Polymers 83.3 (2011): 1226-1231.

7 Bilbao-Sainz, Cristina, et al. "HPMC reinforced with different cellulose nano-particles." Carbohydrate Polymers 86.4 (2011): 1549-1557.

8 Kumar, Prabhat, et al. "Preparation and characterization of bio-nanocomposite films based on soy protein isolate and montmorillonite using melt extrusion."Journal of Food Engineering 100.3 (2010): 480-489.

9 Wojciechowska, Patrycja. "Nanocomposites for Food Packaging Applications."Zeszyty Naukowe/ Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu 217 (2011): 74-82.

10 Silvestre, Clara, and Sossio Cimmino, eds. Ecosustainable Polymer Nanomaterials for Food Packaging: Innovative Solutions, Characterization Needs, Safety and Environmental Issues. CRC Press, 2013.

11 http://www.parsapolymer.com/
12 http://www.honeywell-pmt.com/
13 http://www.lanxess.com/
14 http://www.nanocor.com/
15 http://www.tritonsys.com/
16 http://www.lyondellbasell.com/
17 http://www.materialscience.bayer.com/
18 http://www.dow.com/
19 http://www.eastman.com/
20 http://www.mgc.co.jp/
21 http://web.rtpcompany.com/

22 Robinson, Douglas. "ObservatoryNano Briefing No. 1. Agrifood. Biodegradable Food Packaging." (2010).

## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است

- نماهای کامپوزیتی نانویی
- کاربرد پوشش‌های نانو در لوله‌های آب گرم
- ظروف آشپزخانه با پوشش نانویی
- تکمیل ضدآتش و دیرسوزی منسوجات
- نانوذرات لیپیدی، سامانه‌ای جدید برای دارورسانی
- نانومیسل‌ها و نقش آنها در رهایش دارو
- نانوبلورهای دارویی فرمولاسیون جدید داروهای کم‌محلول
- نقش فناوری نانو در توسعه پچ‌های پوستی
- کاربردهای فناوری نانو در سیمان حفاری
- کاربردهای فناوری نانو در گل حفاری
- کاربردهای فناوری نانو در صنعت نساجی
- بهره‌گیری از جاذب‌های نانو بر پایه آئروژل‌ها در حذف آلاینده‌های نفتی و تصفیه پساب‌های صنعتی
- کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌استاتیک
- داروهای متصل‌شده به پادتن
- تصفیه آب با استفاده از غشاء پلیمری نانو فیلتراسیون
- نانوحسگرها جهت آزمایش‌های بیوشیمیایی متداول خون (تعیین میزان قند، چربی و...)

## مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»

مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری‌نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت‌وساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۸۸۰۲۳۹۶۴ - www.nanosun.ir

## شناسنامه


ستاد ویژه توسعه فناوری‌نانو

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن

نظارت: داود قرایلو

تهیه‌کننده: محمدمفتاحی

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰

نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

پایگاه اینترنتی: www.nano.ir

پست الکترونیک: report@nano.ir
agrofood@nano.ir

صندوق پستی: ۱۴۵۶۵-۳۴۴