

# بررسی اثر غلظت‌های نانو ذرات دی اکسید تیتان روی مخلوط پلی اتیلن سبک و نشاسته

عبدالرسول ارومیه‌ای<sup>۱</sup>، پگاه گوشه<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت مقاله: اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

تاریخ پذیرش مقاله: مهر ماه ۱۳۹۵

## چکیده

ساخت کامپوزیت‌های زیست تخریب‌پذیر طی چند سال اخیر سبب شده که مطالعات گسترده‌ای در زمینه بهینه‌سازی و کاربردی‌تر کردن آن‌ها صورت گیرد، تولید کامپوزیت‌های چند جزئی با حضور مواد بیوپلیمری می‌تواند مشکلات ناشی از عدم بازگشت مواد پلیمری به چرخه طبیعی را مرتفع سازد. مواد بیوپلیمری خواص مکانیکی و رئولوژیکی نمونه را کاهش می‌دهد ولی افزودن نانو ذرات کمک می‌کند تا این خواص بهبود یابد. در این مطالعه نانو ذرات دی اکسید تیتان به کامپوزیت پلی اتیلن / نشاسته در درصد‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ از بیوپلیمر نشاسته، اضافه گردید و در اکسترودر دوماپیچه آمیخته شد، خواص مکانیکی، رئولوژیکی و زیست تخریب‌پذیری این کامپوزیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که میزان ازدیاد طول در پارگی نانو کامپوزیت‌های پلی اتیلن / نشاسته، حاوی ۳۰٪ و ۵۰٪ نشاسته، به ترتیب ۷۴/۹۲٪ و ۹۱/۳۷٪، در حالی که این مقدار در پلی اتیلن خالص ۱۲۲٪ است. نانو ذرات دی اکسید تیتان در ماتریس پلیمر مانند سازگارکننده بین پلی اتیلن / نشاسته، عمل می‌کنند و نتایج بررسی خواص رئولوژیکی نشان داد که ویسکوزیته و مدول ذخیره نانو کامپوزیت‌ها با افزایش درصد نشاسته افزایش داشت. همچنین خواص زیست تخریب‌پذیری نانو کامپوزیت نیز با افزایش درصد نشاسته افزایش یافت.

## واژه‌های کلیدی

### ۱- مقدمه

یک راهکار مناسب برای حل مشکلات زیست محیطی ناشی از تجمع ضایعات پلاستیکی، می‌تواند بهره‌گیری از پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر باشد [۱ و ۲]. مطالعات زیادی بر روی پلاستیک‌های زیست تخریب‌پذیر طی سالیان اخیر صورت گرفته و محصولات مختلفی از جمله کیسه‌های زباله و ... به طور تجاری تولید شده‌اند. فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر بیشتر از مخلوط پلی الفین‌ها<sup>۷</sup> و بیوپلیمرها<sup>۸</sup> ساخته می‌شوند، از جمله این بیوپلیمرها

کامپوزیت پلی اتیلن / نشاسته<sup>۳</sup> - نانو ذرات دی اکسید تیتان<sup>۴</sup> - خواص مکانیکی<sup>۵</sup> - خواص رئولوژیکی - زیست تخریب‌پذیری<sup>۶</sup>

۱- دانشیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران - خاتم پلیمر (oromia2000@yahoo.com).

۲- کارشناس ارشد مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی - خاتم پلیمر.

(\* نویسنده مسئول: pegah.gusheh@gmail.com)

- 3- Starch
- 4- Titanium dioxide nanoparticles
- 5- Mechanical Properties
- 6- Biodegradability

7- Polyolefines

8- Biopolymer

ماندگاری ماده غذایی را افزایش می‌دهد [۷]. قبل از بررسی خواص رئولوژیکی نانوکامپوزیت‌ها، لازم است تا رئولوژی ماتریس پلیمری بدون نانوذرات کاملاً شناخته شود. خواص رئولوژیکی یک آمیزه پلیمری به عوامل زیادی وابسته است [۹،۸]. مهم‌ترین این عوامل عبارتند از: ترکیب درصد هر کدام از فازها، نسبت ویسکوزیته و همچنین نسبت الاستیسیته دو فاز و کشش سطحی بین دو فاز. [۱۰، ۱۱ و ۱۲]. در این مقاله سعی بر آن بوده تا با استفاده از مدل‌های مختلف بعضی از عوامل مهم رئولوژیکی و همچنین ارتباط آن با ریز ساختار بررسی شود و بررسی خواص مکانیکی و زیست تخریب‌پذیری با حضور نانو ذرات دی اکسید تیتان نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲- مواد<sup>۸</sup>

نشاسته ذرت از شرکت گلوکوزان<sup>۹</sup> تهیه گردید. گلیسرول گرید<sup>۱۰</sup> خوراکی، پلی اتیلن سبک، گرید LF0200 و پلی وینیل استات<sup>۱۱</sup> (EVA) و نانو ذرات دی اکسید تیتان TiO<sub>2</sub> تهیه گردید.

در این مطالعه از دستگاه‌های اکسترودر دو مارپیچه برابندر<sup>۱۲</sup>، دستگاه تست خواص مکانیکی<sup>۱۳</sup> دستگاه تست خواص رئولوژیکی<sup>۱۴</sup> دستگاه میکروسکوپ الکترونی<sup>۱۵</sup> (TEM) مدل VEGA-II استفاده گردید.

## ۳- فرآیند تولید نانوکامپوزیت پلی اتیلن/نشاسته

نشاسته ذرت به نسبت ۳ به ۱ با گلیسرول ترکیب شد و به این مخلوط مقدار ۳ درصد وزنی دی اکسید تیتان اضافه گردید و ۲۴ ساعت در آن<sup>۱۶</sup> ۷۵ درجه سانتی‌گراد

می‌توان به نشاسته اشاره کرد [۳]. حضور بیوپلیمر نشاسته در کامپوزیت‌های<sup>۱</sup> پلیمری می‌تواند سبب کاهش استفاده از محصولات پتروشیمی گردد. نشاسته از خانواده کربوهیدرات‌ها، نسبت به دیگر کربوهیدرات‌ها ارزان قیمت و در دسترس بوده و جزء منابع تجدیدپذیر محسوب می‌گردد و به سرعت توسط گروه بزرگی از میکروارگانیسم‌ها (باکتری، قارچ‌ها و آلگای<sup>۲</sup>) متابولیزه<sup>۳</sup> می‌شود. بیوپلیمرها معمولاً خواص مکانیکی ضعیفی نسبت به پلیمرهای سنتزی دارند. در بسته‌بندی‌های جدید، جهت بهبود خواص و افزایش ماندگاری محصولات غذایی در بسته‌بندی‌های پلاستیکی از ذرات پرکننده نانومتری (نانو ذرات) استفاده می‌شود. افزودن ذرات پرکننده نانومتری به چنین کامپوزیت‌هایی، علاوه بر افزایش استحکام مکانیکی سبب بالا رفتن مقاومت در برابر نفوذپذیری گاز می‌شود که در صنعت بسته‌بندی حائز اهمیت است [۴]. مهم‌ترین کاربرد رئولوژی<sup>۴</sup> در زمینه نانوکامپوزیت‌ها، مطالعه ریز ساختار است که انجام آن با آزمایشات دیگری نظیر دستگاه‌های پراکنش اشعه نوترونی<sup>۵</sup> با زاویه پایین یا تابش ایکس (X) بسیار هزینه‌بردار است.

نانوذرات مختلفی در بسته‌بندی‌های پلاستیکی بکار می‌رود. از بین آن‌ها، نانو ذرات دی اکسید تیتان به خاطر اندازه بسیار کوچک و در عین حال نسبت ابعادی بسیار بالا می‌تواند تغییرات مهمی را در خواص رئولوژیکی (مانند ویسکوزیته<sup>۶</sup>) جریان ایجاد کرده و در نتیجه در هنگام فرایند این مواد باید به این خواص توجه جدی شود [۵]. دی اکسید تیتان TiO<sub>2</sub> از اکسیدهای فلزی است، دارای فاز کریستالی آناتاس، روتایل<sup>۷</sup> می‌باشد. شکاف انرژی این ماده ۲/۳ الکترون ولت است [۶]. همچنین نانو ذرات دی اکسید تیتان دارای خاصیت ضد میکروبی بوده و بر همین اساس عمر

۸- مواد اولیه این تحقیق از شرکت‌های دکتر مجللی، پتروشیمی بندر امام (ره)، شرکت‌های آمریکایی و آلمان تهیه گردید.

9- Glucozan

10- Grade

11- Ethylene Vinyl Acetate

12- Brabendr

13- Universal Test Machine

14- MCR300, Paar Physica

15- Electron Microscopy

16- Oven

1- Composite

2- Alga

3- Metabolized

4- Rheology

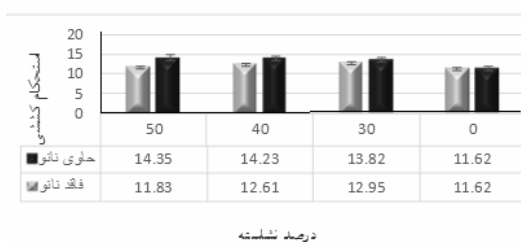
5- Neutron Radiation

6- Viscosity

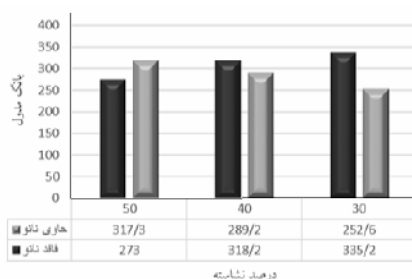
7- Rutile



شکل ۱- میزان ازدیاد طول در پارگی در کامپوزیت حاوی درصدهای مختلف از نشاسته



شکل ۲- میزان استحکام کششی برحسب مگاپاسکال در کامپوزیت حاوی درصدهای مختلف از نشاسته حاوی TIO<sub>2</sub> (سری ۱) و فاقد TIO<sub>2</sub> (سری ۲)



شکل ۳- میزان مدول در کامپوزیت حاوی درصدهای مختلف از نشاسته - حاوی TIO<sub>2</sub> (سری ۱) و فاقد TIO<sub>2</sub> (سری ۲)

## ۵- خواص رئولوژیکی

شکل (۴) نشان دهنده مدول الاستیک<sup>۸</sup> مذاب پلی اتیلن با نسبت‌های مختلف نشاسته است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش نسبت نشاسته، مدول الاستیک افزایش

قرار داده شد. در نهایت ترکیب آماده شده به نسبت‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از نشاسته با پلی اتیلن سبک و ۵ درصد کوپلیمر اتیل وینیل استات<sup>۱</sup> مخلوط گردید. نمونه‌ها با اکسترودر دو مارپیچه فرآیند گردید. برای انجام آزمون‌های خواص مکانیکی و رئولوژیکی نیاز به تهیه ورق و دمبل<sup>۲</sup> است که با استفاده از دستگاه تزریق تهیه گردید.

## ۴- آزمون خواص مکانیکی

خواص مکانیکی، بیوپلیمر نشاسته و پلی اتیلن سبک در حضور نانو ذرات دی اکسید تیتان و بدون حضور دی اکسید تیتان مورد بررسی قرار گرفت. تست خواص مکانیکی فیلم‌ها شامل<sup>۳</sup> (MPa) تنسایل استرن<sup>۴</sup> و الونگیشن ات بریک<sup>۵</sup> (%) در دمای اتاق (25°C) انجام شد. تست به کمک دستگاه کشش با استاندارد<sup>۶</sup> (ASTM D882) انجام شد.

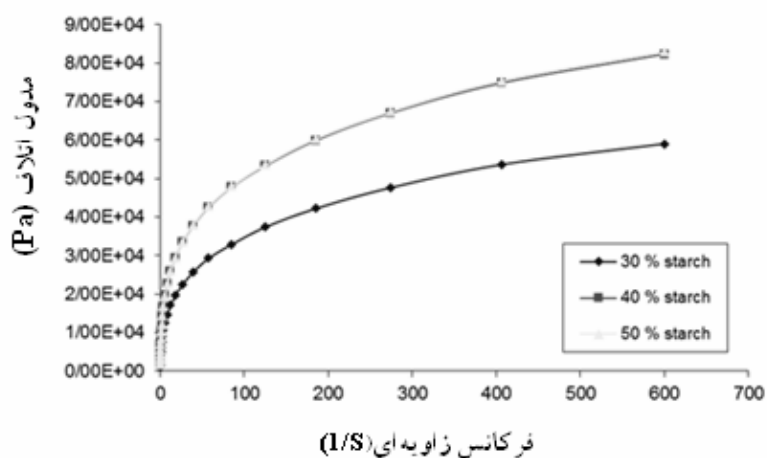
از آنجا که با افزایش درصد نشاسته در بستر پلی اتیلن، انتظار کاهش خواص مکانیکی می‌رفت، با بهره‌گیری از نانو ذرات دی اکسید تیتان، میزان ازدیاد طول در پارگی (واحد)، استحکام کششی (برحسب مگا پاسکال) و مدول الاستیسیته (برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع) مورد بررسی قرار گرفت. در (شکل ۱) میزان ازدیاد طول در پارگی برحسب درصد نشاسته رسم گردیده است که در نمونه حاوی ۵۰٪ از بیوپلیمر نشاسته نسبت به نمونه حاوی ۳۰٪ از این بیوپلیمر است. شکل (۲) میزان استحکام کششی در ماتریس<sup>۷</sup> کامپوزیت نشاسته/پلی اتیلن و در نانو کامپوزیت نشاسته/پلی اتیلن نشان داده شده است. شکل (۳) مدول می‌باشد که در نمونه بدون نانو و دارای نانو ذرات بررسی گردید.

- 1- Ethyl Vinyl Acetate
- 2- Dumbbell
- 3- Mega Pascal
- 4- Tensile Strength
- 5- Elongation at Break
- 6- Standard
- 7- Matrix

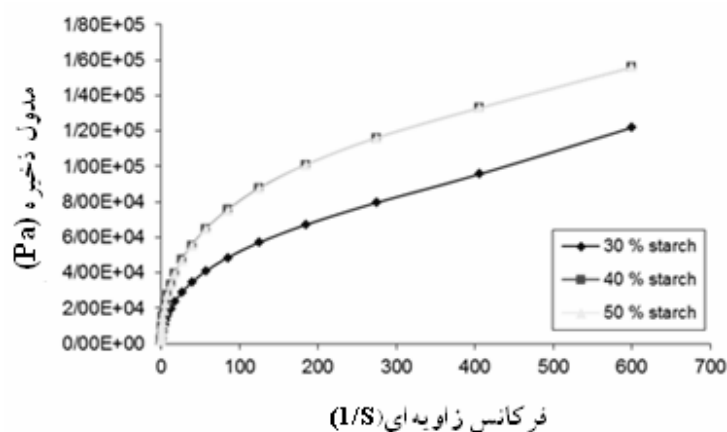
8- Elastic Modulus

بنابراین با تغییر مورفولوژی، خواص رئولوژیکی نیز شدیداً تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خواص مختلف رئولوژیکی نانوکامپوزیت‌ها در (شکل ۵) نشان داده شده است. مدول الاستیک نانوکامپوزیت‌ها تغییر چندانی جز در فرکانس‌های پایین نمی‌کند. در فرکانس‌های پایین ویسکوزیته<sup>۴</sup> و مدول ذخیره به خاطر وجود نانوذرات بالا می‌رود. این تغییر در ترکیب درصدهای مختلف نشاسته نیز مشهود است.

قابل توجهی می‌یابد. در مورد مدول اتلافی و کمپلکس<sup>۱</sup> نیز همین روند تکرار می‌شود. این افزایش شدید مدول الاستیسیته مذاب به خاطر الاستیسیته بالای نشاسته نرم شده است که حالتی ژل<sup>۲</sup> مانند دارد و حتی در حالت مذاب نیز رفتاری شبه جامد دارد. این الاستیسیته بالا موجب تشکیل قطرات بزرگ نشاسته در ماتریس پلی اتیلن می‌شود که به راحتی هم شکسته نمی‌شوند. همین موضوع باعث تشکیل مورفولوژی<sup>۳</sup> لیفی شکل می‌شود. در نسبت‌های بالای ترکیب درصد نشاسته، مورفولوژی به هم پیوسته تشکیل می‌شود و پیوستگی نشاسته بسیار بالا می‌رود.



شکل ۴- مدول الاستیک بر اساس فرکانس در کامپوزیت حاوی درصدهای مختلف از نشاسته



شکل ۵- مدول ذخیره نسبت به فرکانس در کامپوزیت حاوی درصدهای مختلف از نشاسته

همچنین به نظر می‌رسد نانوذرات درست مانند یک سازگارکننده عمل کرده‌اند و کشش بین سطحی را کاهش

#### 4- Viscosity

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون  
**بسته‌بندی**

- 1- Complex
- 2- Gel
- 3- Morphology

داده‌اند. در فرکانس‌های کم نیز به خاطر تشکیل شبکه‌ای سه بعدی موجب تشکیل آمیزه‌ای شبه جامد شده و ویسکوزیته را شدیداً بالا می‌برد. با این وجود در برش‌های بالاتر، این شبکه تا حدود زیادی از بین می‌رود و در نتیجه اثر وجود نانوذرات در فرکانس‌های بالاتر کمتر مشهود است.

منحنی آسایش به نوعی مشتق مدول ذخیره نسبت به زمان است و می‌تواند زمان‌های آسایش زنجیره‌های پلیمری و درصد فراوانی آن‌ها را به ما بدهد. برای انجام محاسبات نیز از نرم افزار US200 که نرم افزار مخصوص محاسبات رئولوژیکی است، استفاده شد [۱۳].

محل افت شدید نمودار را می‌توان زمان آسودگی آمیزه‌ها در نظر گرفت. زمان آسایش برای پلی اتیلن در حدود چند صدم ثانیه است. در حالی که برای آمیزه‌ها دو زمان آسایش داریم که دومی برای فاز نشاسته است و همین موضوع نشان می‌دهد که سازگاری بین دو فاز بسیار کم است [۱۴].

علت آن نیز کاملاً روشن است. زیرا پلی اتیلن پلیمری غیرقطبی است، در حالی که نشاسته دارای گروه‌های فراوان هیدروکسیل<sup>۱</sup> در طول زنجیره‌های خود است که موجب می‌شود این دو پلیمر به هیچ وجه قرابتی با همدیگر نداشته باشند و کشش بین سطحی در میان آن‌ها بسیار بالا است. وجود ذرات نانو دی اکسید تیتان در این میان باعث پهن‌تر شدن پیک‌ها و کند شدن شیب نمودار شده است. این موضوع نشان دهنده بهبود سازگاری بین دو فاز است. هر چند به علت بالا بودن ناسازگاری بین دو فاز تأثیر نانو ذرات چشمگیر نیست.

معادله کارنو- یاسودا<sup>۲</sup> (معادله شماره یک) برای بیان رابطه بین ویسکوزیته و سرعت برشی یا فرکانس ارائه شده است [۱۵]. این معادله در یک گستره وسیع سرعت برشی به خوبی خواص رئولوژیکی پلیمرها را بیان می‌کند. این معادله دارای شاخص‌های متعددی است که می‌توان با استفاده از روش‌های برازش منحنی آن‌ها را به دست آورد.

از جمله این شاخص‌ها می‌توان به ویسکوزیته برشی صفر و ویسکوزیته برشی بی‌نهایت و شاخص جریان مذاب و زمان آسایش اولیه اشاره کرد [۱۶].

با استفاده از قانون کاکس مرز<sup>۳</sup> می‌توان فرض کرد که سرعت برشی با فرکانس برابر است و در نتیجه از این معادله برای برازش منحنی ویسکوزیته برحسب فرکانس استفاده کرد. در اینجا از این معادله استفاده گردید تا ویسکوزیته صفر به دست آید. این شاخص بسیار مهم است و اطلاعات مفیدی در مورد ساختار آمیزه‌ها می‌دهد.

معادله شماره (۱)

$$\eta - \eta_0 = (\eta - \eta_0) / (1 + a\dot{\gamma})$$

نتایج محاسبات در (جدول ۱) آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود ویسکوزیته صفر برای نانوکامپوزیت‌ها اندکی بالاتر از آمیزه‌های بدون نانوذرات است که نشان می‌دهد درصدی از نانو ذرات به خوبی پراکنده نشده‌اند و هنوز به صورت کلوخه باقی مانده‌اند.

در غلظت‌های کم نانو ذرات می‌توان با استفاده از معادله اینشتین<sup>۴</sup> تأثیر غلظت نانو ذرات بر روی ویسکوزیته صفر را بیان کرد: در حالتی که نانو ذرات دارای شکلی غیرکروی هستند نیز ویسکوزیته نسبی به صورت معادله زیر (معادله شماره ۲) بیان می‌شود:

معادله شماره (۲)

$$\eta = \eta_0 (1 + 2.5\phi)$$

معادله شماره (۳)

$$[\eta] = 2.5 + a(p-1); a = 0.025 \pm 0.004; B = 1.47 \pm 0.03$$

3- Cox-Merz

4- Einstein's equation

1- Hydroxyl

2- Carreau – Yasuda

جدول ۱- میزان ویسکوزیته صفر معادلات رئولوژیکی کامپوزیت‌های حاوی درصدهای مختلف از نشاسته

کامپوزیت	ویسکوزیته صفر برشی (Pa.s)	a1	نسبت همبستگی (R_xlog(y) o
پلی اتیلن	65,587	0.65	0.99999
TiO <sub>2</sub> با نانوی ۳۰٪/پلی اتیلن/نشاسته	15,996	0.73	0.99968
TiO <sub>2</sub> با نانوی ۴۰٪/پلی اتیلن/نشاسته	119,130	0.67	0.99991
TiO <sub>2</sub> با نانوی ۵۰٪/پلی اتیلن/نشاسته	116,890	.68	0.99994

جدول ۲- میزان ویسکوزیته ذاتی کامپوزیت‌های حاوی درصدهای مختلف از نشاسته

نانو کامپوزیت	حاوی نشاسته (wt %)	ویسکوزیته	درصد ازدیاد
TiO <sub>2</sub> با نانوی ۳۰٪/پلی اتیلن/نشاسته	30	15.10	68.64
TiO <sub>2</sub> با نانوی ۴۰٪/پلی اتیلن/نشاسته	40	11.43	54.64
TiO <sub>2</sub> با نانوی ۵۰٪/پلی اتیلن/نشاسته	50	7.87	38.71

## ۶- زیست تخریب پذیری

زیست تخریب پذیری نمونه‌ها در محیط کشت قارچ در مدت زمان ۳ هفته مورد بررسی قرار گرفت. میکروسکوپ الکترونی پویشی<sup>۴</sup> (SEM) یکی از روش‌های تشخیص برای بررسی زیست تخریب‌پذیری یک نمونه بیوپلیمری، است.

تصاویر (SEM) مربوط به نمونه‌ها قبل از آزمون زیست تخریب پذیری در (شکل ۶) آمده است. این تصاویر نشان‌دهنده نانو کامپوزیت نشاسته/ پلی اتیلن، پیش از تخریب بیوپلیمر نشاسته در پلی اتیلن سبک است.

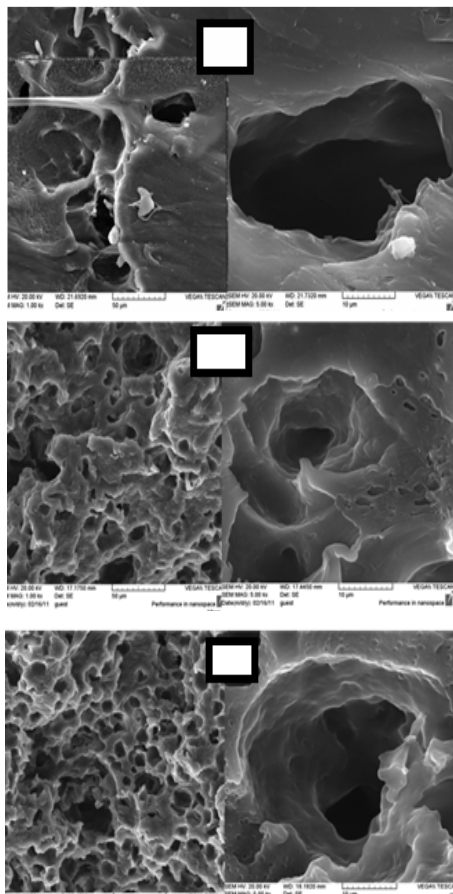
که در آن  $[\eta]$  ویسکوزیته ذاتی است و وابستگی به غلظت فیلر<sup>۱</sup> ( $\Phi$ ) ندارد و به نوعی اندازه حجم هیدرودینامیکی<sup>۲</sup> را بیان می‌کند [۱۷]. با استفاده از این معادلات، شاخص‌های مورد نظر استخراج شده و در (جدول ۲) نشان داده شده است.

ویسکوزیته ذاتی رابطه مستقیمی با نسبت ابعادی نانو ذرات دارد و می‌توان از آن برای بررسی پراکندگی نانوذرات به صورت کمی استفاده کرد. معادلات مختلفی برای بیان این رابطه ارائه شده است که در این جا از معادله شماره (۳) استفاده شده است [۱۸]: که در آن  $p$  نسبت ابعادی ذرات فیلر<sup>۳</sup> است که در کمترین حالت برابر با ۱ است که نشان‌دهنده پخش شدگی بسیار ضعیف است. در حالی که برای نسبت‌های ابعادی بالا مانند ۱۰۰ یا بیشتر به آن معنا است که نانوذرات به صورت کامل از هم جدا شده است و صفحات آن به صورت ورقه‌ای درآمده است. همان‌طور که در (جدول ۲) دیده می‌شود با افزایش نسبت نشاسته نسبت ابعادی کاهش می‌یابد.

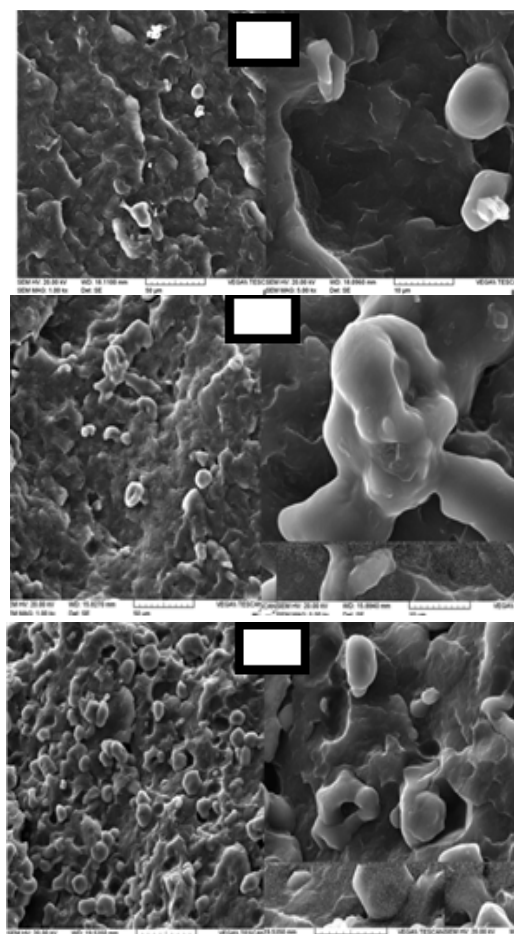
- 1- Filler Concentration
- 2- Hydro Dynamic
- 3- Filter

## 4- Scanning Electron Microscopy

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون  
**بسته بندی**



شکل ۷- تصاویر SEM در کامپوزیت‌های حاوی درصد‌های مختلف از نشاسته پس از سه هفته آزمون کشت قارچ



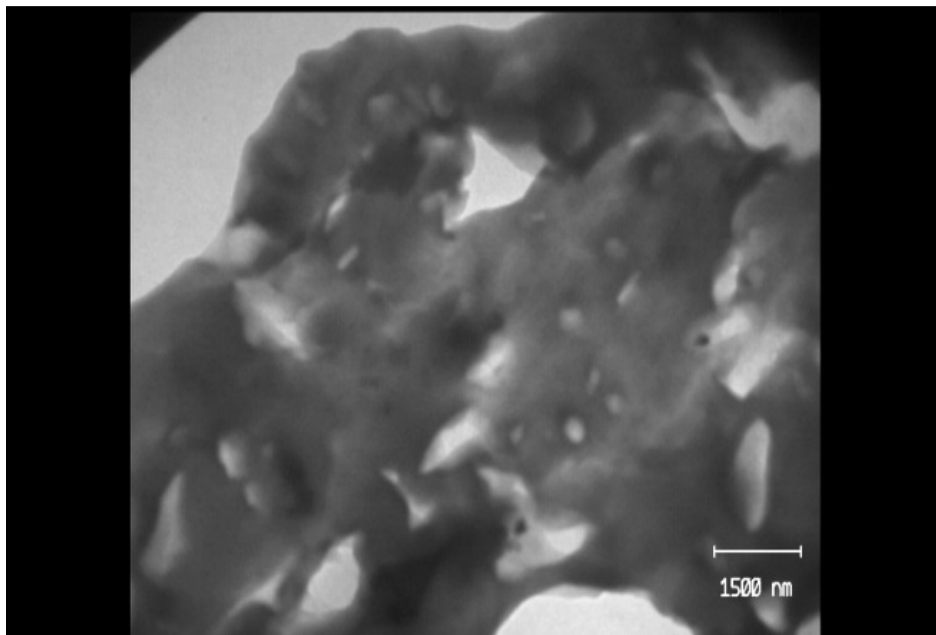
شکل ۶- تصویر SEM کامپوزیت‌های حاوی درصد‌های مختلف از نشاسته قبل از آزمون کشت قارچ

#### ۷- پخش شدگی نانو ذرات دی اکسید تیتان

با تصاویر (TEM) توزیع مناسب ذرات نانودی اکسید تیتان را می‌توان به وضوح مورد بررسی قرار داد. شکل (۸) به بررسی توزیع نانو ذرات در نمونه‌های حاوی ۵۰ درصد نشاسته می‌پردازد، نشاسته به پرتوهای الکترونی حساس است و کمی تخریب می‌شود و به رنگ سفید در می‌آید که بستر پلی اتیلن دارای رنگی تیره‌تر از بقیه فازهاست و نقاط کاملاً روشن و شفاف، نانو ذرات دی اکسید تیتان است. با استناد به خواص رئولوژیکی که این ذرات می‌توانند نقش سازگارکننده را ایفا کنند، میزان پخش شدگی ذرات در بستر پلیمر و بیوپلیمر نسبتاً مطلوب است.

همچنین تصاویر (SEM) نمونه‌ها بعد از آزمون زیست تخریب‌پذیری در (شکل ۷) آورده شده است. با مقایسه مورفولوژی<sup>۱</sup> نمونه‌ها قبل و بعد از تست، مشاهده می‌شود که در تمامی موارد، نمونه‌های پلیمری مورد حمله میکروارگانیزم‌ها قرار گرفته و اثر تخریب میکروارگانیزم‌ها روی نمونه‌های با درصد نشاسته بالا، بیشتر می‌باشد. شواهد میکروسکوپی<sup>۲</sup> بیانگر توانایی نفوذ قارچ‌ها به داخل شبکه پلیمری و استفاده از نشاسته درون شبکه می‌باشند، تخریب نمونه‌ها توسط قارچ، باعث تشکیل یک شبکه فضاهای تخریب شده در بستر پلیمری گردید.

- 1- Morphology
- 2- Microscopic Evidence



شکل ۸- تصویر TEM که نقاط روشن توزیع نانو ذرات دی اکسید تیتان در بستر کامپوزیت حاوی ۵۰ درصد نشاسته را نشان می‌دهد.

#### ۸- نتیجه گیری

خواص رئولوژیکی، مکانیکی و زیست تخریب‌پذیری آمیزه نشاسته، پلی اتیلن و نانو کامپوزیت بررسی شد و نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نشاسته، ویسکوزیته و الاستیسیته آمیزه‌ها بالا می‌رود چرا که سازگاری نانو ذرات قطبی دی اکسید تیتان با نشاسته که دارای گروه‌های هیدروکسیل بوده و این گروه‌ها سبب قطبی شدن نشاسته می‌گردند، بیشتر می‌شود و با افزوده شدن درصد نشاسته، سازگاری بالاتر می‌رود. در بررسی خواص مکانیکی با توجه به (شکل ۱) میزان ازدیاد طول در پارگی برحسب درصد نشاسته است که افت خواص کمتری را شاهد هستیم و نمونه حاوی ۵۰ درصد نشاسته خواصی نزدیک به پلی اتیلن را نشان می‌دهد. در مطالعات پیشین از بیوپلیمر نشاسته و پلی اتیلن استفاده گردیده ولی حضور نشاسته سبب کاهش خواص مکانیکی می‌گردید و در این تحقیق با افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتان از افت خواص به میزان قابل توجهی جلوگیری شده است [۳ و ۲].

همچنین بررسی خواص رئولوژیکی در حضور نانو ذرات نشان می‌دهد که منحنی آسایش کمی پهن‌تر می‌گردد و این بدان معنی است که امتزاج‌پذیری بین دو جزء نشاسته و پلی اتیلن در حضور نانو ذرات است، افزایش می‌یابد. در حقیقت نانو ذرات دی اکسید تیتان مانند سازگارکننده عمل کرده و سبب می‌شود تا پلی اتیلن که غیر قطبی می‌باشد با نشاسته سازگار شده و این امر سبب می‌شود خواص مکانیکی در درصد‌های بالاتر نشاسته افزایش یابد و بتوانیم نانو کامپوزیت زیست تخریب‌پذیری تهیه کنیم که به دلیل بالا بودن میزان بیوپلیمر در آن در زمان کوتاه‌تری به چرخه محیط زیست باز گردند. بدین منظور با تست خواص زیست تخریب‌پذیری، مشخص گردید که نانو کامپوزیت‌های حاوی نانو ذرات دی اکسید تیتان در ۵۰ درصد نشاسته در معرض قارچ سریع‌تر تخریب شدند و در تصاویر (SEM) تخلخل و حفرات بیشتری دیده می‌شود. در مجموع حضور نانو ذرات توانست در ۵۰ درصد بیوپلیمر نشاسته خواص مکانیکی، رئولوژیکی و زیست تخریب‌پذیری آمیزه نشاسته/



پلی اتیلن را اصلاح نماید و در مورد خواص مکانیکی، مقایسه نمونه‌های فاقد نانو ذرات و با درصد کمی از نشاسته، تفاوت چشمگیری با پلی اتیلن خالص نشان دادند در صورتی که نمونه‌های حاوی نانو ذرات و دارای درصد بالا از نشاسته، نسبت به پلی اتیلن خالص، خواص مکانیکی مطلوبی داشتند.

#### ۹- منابع

- (ethylene-co-1-octadecene) composites with TiO<sub>2</sub> based nanoparticles by metallocenic "in situ" polymerization". *Polymer*, 54(11), 2690-2698.
7. Bodaghi.H, Oromiehie.A , Mostofi. Y. (2011), "Optimization of packaging films with nanoparticles to keep the yellow plum fruit in controlled atmosphere PhD thesis". Iran Polymer and Petrochemical Institute.
  8. Solomon, M. J., A. S. Almusallam, K. F. Seefeldt, K. F. A. Somwangthanaroj, and P. Varadan, (2001), "Rheology of polypropylene/clay hybrid materials". *Macromolecules* 34, 1864–1872.
  9. Sinha Ray, S., (2006), "Rheology of polymer/layered silicate nanocomposites". *J. Ind. Eng. Chem. – Seoul, Repub.Korea-* 12, 811– 842.
  10. Zhang, J., Wang, Z., Zhang, X., Zheng, X., & Wu, Z. (2015). "Enhanced antifouling behaviours of polyvinylidene fluoride membrane modified through blending with nano-TiO<sub>2</sub>/polyethylene glycol mixture". *Applied Surface Science*, 345, 418-427.
  11. Ivanova, T., Lilichenko, N., Zicans, J., Maksimov, R., (2009), "Starch based biodegradable nanocomposites: Structure and properties", *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena*, 151, 150-153.
  12. Nguyen, V. G., Thai, H., Mai, D. H., Tran, H. T., & Vu, M. T. (2013). "Effect of titanium dioxide on the properties of polyethylene/TiO<sub>2</sub> nanocomposites". *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1192-1198.
  13. Baldissarelli, V. Z., de Souza, T., Andrade, L., de Oliveira, L. F. C., José, H. J., & Moreira, R. D. F. P. M. (2015). "Preparation and photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub>-poly(ethylene-co-1-octadecene) composites with TiO<sub>2</sub> based nanoparticles by metallocenic "in situ" polymerization". *Polymer*, 54(11), 2690-2698.
  1. M. Borghei , A.R Karbassi, Abdulrasoul Oromiehie, Sh. Khramnezhadian, (2010), "Microbial biodegradable potato starch based lowdensity polyethylene". *African J. of Biotechnology* V 9(26),4075-4080,June, polyethylene films. *Carbohydr Polym*,50:331–7 2002.
  2. A.Oromiehie& T.Taherzadeh, (2010) ," Studies the physical and mechanical properties of PE/Starch blends", *Journal of Applied Chemical Researches(JACR)*, 11.
  3. Abdulrasoul Oromiehie, Peghah Gusheh, (2010), "Preparation of biodegradable PE/Starch composites and characterization their properties", *J. of Packaging Sciences and Skills*, No.2.
  4. Sh. Khramnezhadian, M. Borghei , A.R Karbassi, Abdulrasoul Oromiehie, (2011), " Biodegradability, water absorption and mechanical properties of LLDPE/PE-G-MA/Chitosan",accepted. *E.Polymer J.*
  5. Zapata, P. A., Palza, H., Cruz, L. S., Lieberwirth, I., Catalina, F., Corrales, T., & Rabagliati, F. M. (2013). "Polyethylene and poly(ethylene-co-1-octadecene) composites with TiO<sub>2</sub> based nanoparticles by metallocenic "in situ" polymerization". *Polymer*, 54(11), 2690-2698.
  6. Zapata, P. A., Palza, H., Cruz, L. S., Lieberwirth, I., Catalina, F., Corrales, T., & Rabagliati, F. M. (2013). "Polyethylene and poly

- exfoliated graphite oxide composite using an ecofriendly graphite oxidation method". Applied Surface Science, 359, 868-874.
14. Zhao, J., A. B. Morgan, and J. D. Harris, (2005), "Rheological characterization of polystyreneclay nanocomposites to compare the degree of exfoliation and dispersion". Polymer 46, 8641– 8660.
15. Daneshpayeh, S., Ghasemi, F. A., Ghasemi, I., & Ayaz, M. (2016). "Predicting of mechanical properties of PP/LLDPE/TiO 2 nano-composites by response surface methodology". *Composites Part B: Engineering*, 84, 109-120.
16. Ayer, R. K., and A. I. Leonov, (2004), "Comparative rheological studies of polyamide-6 and its low loaded nanocomposite based on layered silicates". *Rheol. Acta* 43, 283–292 .
17. F.J. Rodriguez-Gonzalez1 , B.A. Ramsay2, B.D. Favis, (2003), "Polymer 44", 1517–1526.
18. Saeed Hanifi, Abduroul Oromiehie, Shervin Ahmadi\*, Hassan Farhadnejad, (2012), "The Effect corn starch and Montmorillonite nanocomposites reinforced polypropylene: Preparation and Investigation of the properties and biodegradability". *J. of Vinyl and Additive Technology*, P1-35, May.

#### آدرس نویسنده

تهران- خیابان کریم خان - خیابان حافظ - بعد از  
کوچه هورتاب - پلاک ۳۹۸ - طبقه اول شرقی.