



## بررسی خواص کششی فیلم‌های بسته‌بندی نانوکامپوزیتی

حسین میرزایی مقدم<sup>۱\*</sup>، محمدهادی خوش تقاضا<sup>۲</sup>، علی سلیمی<sup>۳</sup>، محسن برزگر<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشگاه شاهرود، دانشکده کشاورزی

۲- دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی

۳- استادیار پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

ایمیل مکاتبه کننده: hosseinsg@yahoo.com

### چکیده

در تحقیق حاضر فیلم‌های نانوکامپوزیتی پلی اتیلنی به روش اختلاط مذاب با استفاده از نانوذرات خاک رس (Cloisite-15A) (۰، ۲ و ۴ درصد) و نانو تیتان (P25) (۰، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ درصد) تهیه شدند. سپس با انجام آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، خواص کششی فیلم‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدول کششی فیلم‌های تولیدی فاقد نانو تیتان، نسبت به پلی اتیلن خالص، تقریباً ۱۰۰٪ افزایش یافت و نمونه‌های دارای نانو تیتان نسبت به پلی اتیلن خالص دارای مدول کششی بیشتری بودند. همچنین تنش در نقطه تسلیم برای نانو کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانو رس، بیشتر از نمونه‌های فاقد نانو رس نتیجه شد. با توجه به نتایج بررسی اثر میزان نانو رس و نانو تیتان بر کرنش در نقطه تسلیم نانو کامپوزیت‌های تولیدی، روند مشخصی مشاهده نشد.

واژگان کلیدی: فناوری نانو، نانوکامپوزیت، خواص مکانیکی، آزمون کشش.

### مقدمه

فناوری نانو در تمام شاخه‌های علم و صنعت کاربردهای فراوانی دارد. یکی از کاربردهای این فناوری نوین در صنعت کشاورزی، استفاده از فیلم‌های فعال نانوکامپوزیتی در بسته‌بندی فعال محصولات کشاورزی به منظور افزایش عمر و مدت زمان نگهداری آنها می‌باشد (Chaudhry et al., 2008). پلیمر پلی اتیلن با چگالی کم (LDPE) به دلیل ارزان و در دسترس بودن در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی کاربرد وسیعی دارد (Appendinia and hotchkissb, 2002). نانو تیتان (نانو ذرات تیتانیم دی‌اکسید)، یک ماده غیر سمی است و به دلیل خاصیت فوتوکاتالیست دارای خاصیت ضد میکروبی می‌باشد (Nazari and Taj abadi, 2005; Li et al., 2009; Emamifar et al., 2006). در بسته‌بندی فعال مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است (Maneerat and Hayata, 2006). به‌کارگیری نانو کامپوزیت‌های بسپاری با استفاده از نانو ذرات خاک رس در صنعت بسته‌بندی، موجب طولانی‌تر شدن زمان رسیدن هوا به محصولات کشاورزی شده و فساد آن را به تأخیر می‌اندازد (جهانشاهی، ۱۳۸۳). نفوذپذیری فیلم‌ها



در برابر نفوذ گازها با استفاده از نانو رس در تولید نانو کامپوزیت‌های بسپاری، کاهش می‌یابد (Adame and Beall, 2009). در پژوهشی اثر درصدهای مختلف نانو ذرات خاک رس و شرایط مختلف فرآوری غذا بر خواص فیلم نایلون ۶ مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق نانو ذرات خاک رس در سطوح ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش نانو ذرات خاک رس در نانو کامپوزیت، نفوذپذیری کاهش و مقاومت کششی افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد دو تیمار حاوی ۶ و ۸٪ نانو ذرات بهتر از دیگر تیمارها مانع از عبور گاز شدند (Allafi, 2008). در تحقیقی دیگر فیلم گلیسرول-نشاسته کارا-نرم شده<sup>۱</sup> حاوی رس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب الاستیسیته فیلم تولیدی افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از آزمون XRD نشان داد که زنجیرهای گلیسرول در رسیدن صفحات نانو رس به ساختار در میان لایه‌ای مفید می‌باشند (Wilhelm *et al.*, 2003). همچنین وانگ و همکاران نشان دادند که سازگار کننده پلی اتیلن مالئیکه بر میزان پخش صفحات نانو رس در زمینه پلی الفین‌ها اثر مثبت دارند (Wang *et al.*, 2001).

در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که موقعیت تغذیه نانو ذرات خاک رس (Cloisite 15A) در اکسترودر دو ماریپچه، در به دست آمدن ساختار از هم گسیخته در تولید نانو کامپوزیت‌های پلی اتیلنی و پلی پروپیلنی موثر می‌باشد. در تحقیقی دیگر نتایج حاصل از آزمون XRD و TEM برای نانو کامپوزیت تهیه شده از پلی اتر آمید-نانو رس، نشان داد که صفحات نانو رس در زمینه پخش شده و ساختار از هم گسیخته تشکیل شده است. همچنین نتایج نشان داد که به واسطه حضور نانو رس، دمای شروع تخریب نانو کامپوزیت تولیدی افزایش یافت (Liang and Yin, 2003).

طی پژوهشی برخی خواص نانو کامپوزیت تهیه شده از بسپار پلی اتیلن و نانو تیتان مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که حضور ۲٪ نانو تیتان در نانو کامپوزیت، خواص مکانیکی آن را بهبود بخشید. همچنین شرایط پراکندگی نانو تیتان و اثر هسته بر بلورینگی پلی اتیلن، بر خواص مکانیکی فیلم تأثیر معنی‌داری داشت (Wang *et al.*, 2006). در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد که با استفاده از روش تهیه مستریج در تولید نانو کامپوزیت پلی اتیلنی، میزان پخش شدن نانو ذرات TiO<sub>2</sub> در زمینه پلی اتیلن بهتر شد و خواص مکانیکی فیلم بهبود یافت. همچنین نتایج نشان داد که از لحاظ ویژگی‌های ریخت‌شناسی بین نانو کامپوزیت‌های تولید شده از نانو تیتان آناتاز و روتایل اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (Panaitescu *et al.*, 2011).

اثر نانو رس موجود در نانو کامپوزیت بسپاری بر کاهش نفوذ گاز اکسیژن گزارش شده است (Lotti *et al.*, 2008) همچنین در تحقیقی دیگر نتایج نشان داد، میزان عبور دهی بخار آب توسط نانو کامپوزیت بسپار-خاک رس کاهش یافت (Jawahar and Balasubramanian, 2006).

در پژوهشی رابطه بین میزان دی‌اکسید سیلیسیوم (SiO<sub>2</sub>) و خواص مکانیکی-دینامیکی نانو کامپوزیت پلی وینیل الکل-دی‌اکسید سیلیس (PVA/SiO<sub>2</sub>) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد بین میزان اکسید سیلیس و خواص پلی وینیل الکل-سیلیس دی‌اکسید رابطه معنی‌داری وجود دارد (Peng *et al.*, 2005). خواص مکانیکی نایلون ۱۱ (PA11) و نانو کامپوزیت‌های آن با درصدهای مختلف رس مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار رس خواص مکانیکی (سختی و مدول الاستیسیته) نانو کامپوزیت‌ها افزایش یافت. با افزودن رس (۰.۵ wt٪) به زمینه PA11، سختی و مدول الاستیسیته به ترتیب به میزان ۲۷ و ۳۲٪ بهبود یافت (Hu *et al.*, 2006).

<sup>1</sup> Glycerol-plasticized Carra' starch



با توجه به مطالب مذکور، در تحقیق حاضر اثر نانو ذرات تیتان (P25) بر میزان از هم گسیختگی ذرات نانورس (Cloisite) (15A) عامل بهبود مکانیکی در زمینه پلی اتیلنی (LDPE) مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق با استفاده از روش اختلاط مذاب، فیلم‌های نانوکامپوزیت بسپاری تهیه شدند. در تهیه نانوکامپوزیت بسپاری، از بسپار پلی اتیلن با چگالی کم (LDPE) (Appendinia and hotchkissb, 2002)، نانو ذرات خاک رس اصلاح شده (Cloisite) (15A) در سطوح وزنی ۰٪، ۲٪ و ۴٪ (Kerry and Butler, 2008) و نانو ذرات تیتانیم دی‌اکسید (P25, Degussa) در سطوح وزنی ۰٪، ۱٪، ۲٪، ۴٪ استفاده شد (Nazari and Taj abadi, 2005). بدین منظور با استفاده از دستگاه برابندر (Brabender, W50 EHT, Germany)، در سرعت ۶۰ rpm و دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس، آمیزه سازی انجام شد. در ادامه آمیزه‌های تولیدی برای تولید فیلم‌های نانو کامپوزیتی با استفاده از دستگاه پرس گرم مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله پایانی به منظور تولید فیلم‌های نانو کامپوزیتی (با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر و ابعاد ۲۰×۲۰ cm) از آمیزه‌های تهیه شده از پرس گرم هیدرولیکی (WCH, Toyoseiki, Japan) در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و فشار ۲۵ MPa، استفاده شد. قابل ذکر است که شناسه هر نمونه از فیلم‌های نانوکامپوزیت تولیدی به صورت CnTm نشان داده شده است که در آن n نشان دهنده درصد نانورس (C) و m نشان دهنده درصد نانوتیتان (T) در نانوکامپوزیت تولیدی می‌باشد. در ادامه به منظور بررسی خواص کششی فیلم‌های نانو کامپوزیتی تولیدی، آزمون کشش، بر اساس استاندارد ASTM D 882 و با استفاده از دستگاه آزمون مواد (Gotech, TCS 2000, Taiwan) با سرعت بارگذاری ۱۰ mm/min بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت (ASTM, 2009). این آزمون، برای هر تیمار در ۳ تکرار صورت پذیرفت. در پایان با استفاده از نرم افزارهای SPSS، Excel و انجام آزمون فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی، داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج آن‌ها به صورت نمودار و جدول ارائه شده است.

## نتایج و بحث

به منظور بررسی خواص مکانیکی حاصل از آزمون کشش، طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (در ۳ تکرار) مورد استفاده قرار گرفت و نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس متغیرها در جدول (۱) خلاصه شده است. سپس آزمون دانکن انجام گرفت و نتایج مقایسه میانگین‌ها به صورت نمودار آورده شده است. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، علاوه بر اثرات مستقل، اثر متقابل نانو رس و نانو تیتان بر ضریب الاستیسیته (E) یا همان مدول کششی<sup>۲</sup> (مدول یانگ<sup>۳</sup>) معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل آن‌ها بر کرنش در نقطه تسلیم نیز معنی‌دار شده است و از لحاظ تنش در نقطه تسلیم، تنها اثر نانو رس معنی‌دار شده است. لازم به توضیح است که بسپارهای نیمه بلورین مانند پلی اتیلن و پلی پروپیلن، دارای ساختار پیچیده‌ای متشکل از بلور و نواحی بی‌شکل می‌باشند (Bafna, 2004). همچنین حضور نانو ذرات در زمینه بسپارها نیز به دلایل مختلفی از جمله میزان و الگوی پخش شدن، کلوخه‌ای شدن، سطح منظر، شکل، اندازه، میزان و جهت‌گیری نانو ذرات در زمینه بسپاری و همچنین وزن مولکولی، میزان بلور و نوع سازگار کننده

<sup>2</sup> Elongation modulus

<sup>3</sup> Young modulus



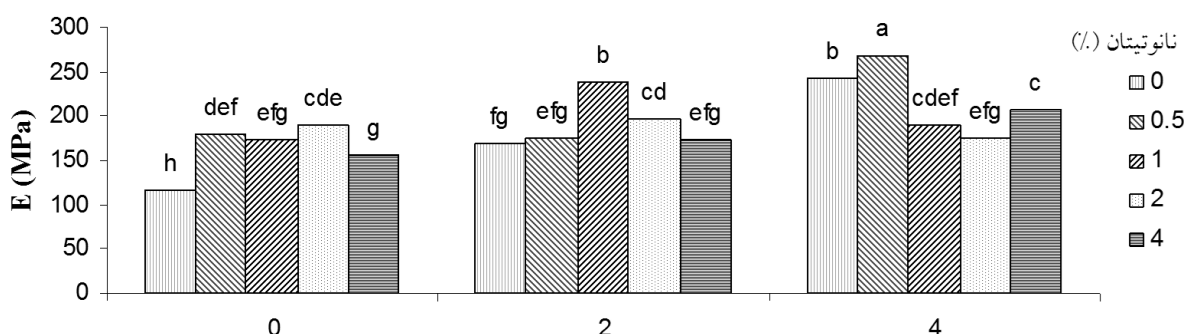
بسیار، اثرات مختلفی بر خواص فیلم‌های نانو کامپوزیتی می‌گذارند (Yano *et al.*, 1997; Messermith and Giannelis, 1995; Lan *et al.*, 1994) لذا آزمون کشش بر روی نانو کامپوزیت‌ها (به خصوص فیلم‌های نازک نانو کامپوزیتی) اغلب به سختی به نتایج قابل تکرار منجر می‌شود (Chen, 2004).

جدول-۱ نتایج حاصل از تجزیه واریانس بین متغیرها برای آزمون کشش.

مقادیر مجموع مربعات (SS)			درجه آزادی	متغیر
کرنش در نقطه تسلیم (%)	تنش در نقطه تسلیم (MPa)	مدول یانگ (MPa)		
۱/۶ <sup>ns</sup>	۱۴/۳۱ <sup>**</sup>	۲۱۰۴۹/۱۱ <sup>**</sup>	۲	نانو رس
۳۳/۳۷ <sup>**</sup>	۶/۵۷ <sup>ns</sup>	۶۶۹۵/۶۲ <sup>**</sup>	۴	نانو تیتان
۸۷/۲۹ <sup>**</sup>	۵/۲۳ <sup>ns</sup>	۳۱۰۵۸/۲۷ <sup>**</sup>	۸	نانو رس × نانو تیتان
۵۲/۸	۲۲/۰۷	۳۸۳۰/۰۱	۳۰	خطا
۱۲/۹	۱۱/۰۹	۵/۹۴	-	CV

\* در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. \*\* در سطح ۰/۰۱ معنی دار است. ns معنی دار نیست.

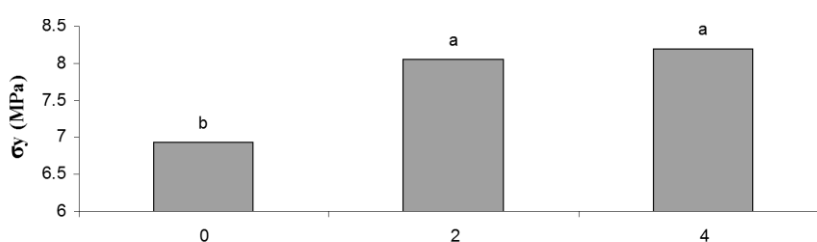
همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود برای نانو کامپوزیت‌های فاقد نانو تیتان با افزایش میزان نانو رس، مدول یانگ افزایش یافته است. نانو کامپوزیت‌های حاوی ۲٪ نانو رس در مقایسه با نمونه‌های فاقد نانو رس دارای مدول بیشتری می‌باشند که نمونه حاوی ۲٪ نانو تیتان بیشترین مدول یانگ (۱۹۰ MPa) را دارا می‌باشد. در برخی از نانو کامپوزیت‌ها، با افزایش نانو ذرات در نانو کامپوزیت، مدول یانگ، افزایش در برخی دیگر به دلیل تجمع نانو ذرات در زمینه بسیار، ابتدا افزایش و سپس کاهش یا ثابت می‌ماند (Panaitescu *et al.*, 2011). دیگر محققین نیز اثر نانو ذرات رس را بر مدول یانگ نانو کامپوزیت حاصل، مثبت گزارش کرده‌اند (جعفری نژاد و همکاران، ۱۳۹۰; Saeedi *et al.*, 2011; Powell and Beall, 2006). همچنین در نانو کامپوزیت‌های حاوی ۴٪ نانو رس و غلظت‌های بیشتر از ۵٪ نانو تیتان روند مشخصی مشاهده نمی‌شود که می‌تواند ناشی از اثر متقابل، کلوخه‌ای شدن و مناطق بی‌شکل یا آمورف (Amorphous regions) حاصل از نانو ذرات به وجود آمده باشد (Allafi, 2008). همچنین مشاهده می‌شود که نمونه‌های حاوی نانو تیتان و فاقد نانو رس نسبت به پلی اتیلن خالص (COT0)، دارای مدول بیشتری می‌باشند. این امر می‌تواند به دلیل تثبیت زنجیرهای بسیار توسط نانو ذرات تیتان و همچنین با ایجاد نواحی محصور با سختی بالا که جلوی رشد ترک‌ها و حفره‌ها را گرفته، به وجود آمده باشد (Kontou and Niaounakis, 2006). محققین دیگر نیز گزارش کردند که با افزایش میزان نانو تیتان، مدول کششی نانو کامپوزیت (TiO<sub>2</sub>-PE) نسبت به پلی اتیلن خالص، افزایش یافت (Panaitescu *et al.*, 2011). همچنین مشاهده می‌شود که در سطوح دیگر نانو رس، با افزایش نانو تیتان، روند مشخصی برای مدول کششی نانو کامپوزیت‌ها مشاهده نمی‌شود که این امر می‌تواند ناشی از رفتار پیچیده بسیار در مواجهه با ترکیب نانو ذرات به وجود آمده باشد (Bafna, 2004).



میزان نانورس در نانو کامپوزیت (%)

شکل-۱: مقایسه مقادیر میانگین مدول یانگ ( $P < 0.05$ ). (میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۰.۰۵٪ نمی‌باشند)

با توجه به شکل (۲) مشاهده می‌شود که تنش در نقطه تسلیم ( $\sigma_y$ ) برای نانو کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانو رس، بیشتر از نمونه‌های فاقد نانو رس می‌باشد. در تحقیقی با افزایش غلظت ذرات نانو رس در نانو کامپوزیت با زمینه نایلون ۶، تنش در نقطه تسلیم افزایش یافت و همچنین گزارش کردند که به دلیل کلوخه‌ای شدن نانو ذرات، بین سطوح ۴، ۶ و ۸٪ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Panaitescu et al., 2011). در تحقیقی دیگر مشاهده شد که نانو کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانو رس (۲، ۳، ۵ و ۸٪) نسبت به پلی اتیلن خالص دارای مقاومت کششی بیشتری بوده و همچنین با افزایش غلظت نانو رس بیش از ۲٪ میزان این ویژگی کاهش یافت (Reddy et al., 2007). در تحقیقی دیگر اثر ذرات نانو رس بر این ویژگی نانو کامپوزیت پلی‌پروپیلن- نانو رس (CI5A) کاهش یافته گزارش شده است (جعفری نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).



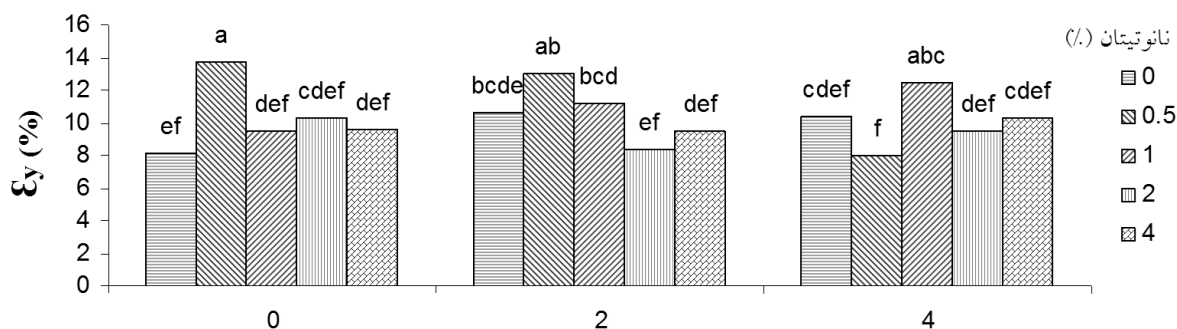
میزان نانورس در نانو کامپوزیت (%)

شکل-۲: مقایسه مقادیر میانگین تنش در نقطه تسلیم. (میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰.۰۵٪ ندارند)

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود اثر میزان نانو رس و نانو تیتان بر کرنش در نقطه تسلیم ( $\epsilon_y$ ) نانو کامپوزیت‌های تولیدی دارای روند مشخصی نمی‌باشد و تقریباً بین سطوح مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. این امر نیز می‌تواند به دلیل اثر متقابل نانو ذرات، کلوخه‌ای شدن و نواحی بی‌شکل حاصل از آن‌ها به وجود آمده باشد (Allafi, 2008). در تحقیقی افزودن درصد‌های مختلف نانو ذرات نقره (۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵٪) بر خواص کششی نانو کامپوزیت با زمینه پلی‌پروپیلن،



تأثیر معنی‌داری نداشت (برزگر، ۱۳۸۸). در پژوهشی دیگر تأثیر ذرات نانو رس بر کرنش در نقطه تسلیم نانو کامپوزیت (نایلون ۶-نانو رس) کاهش یافته گزارش شده است (Allafi, 2008).



میزان نانورس در نانو کامپوزیت (%)

شکل-۳: مقایسه مقادیر میانگین کرنش در نقطه تسلیم ( $P < 0.05$ ). (میانگین‌های دارای حروف مشترک، دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نمی‌باشند)

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدول کششی فیلم‌های تولیدی فاقد نانو تیتان، نسبت به پلی‌اتیلن خالص، تقریباً ۱۰٪ افزایش یافت و نمونه‌های دارای نانو تیتان نسبت به پلی‌اتیلن خالص دارای مدول کششی بیشتری بودند. همچنین تنش در نقطه تسلیم برای نانو کامپوزیت‌های حاوی ذرات نانو رس، بیشتر از نمونه‌های فاقد نانو رس نتیجه شد. با توجه به نتایج بررسی اثر میزان نانو رس و نانو تیتان بر کرنش در نقطه تسلیم نانو کامپوزیت‌های تولیدی، روند مشخصی مشاهده نشد.

### فهرست منابع

- برزگر، ا. ۱۳۸۸. تولید الیاف نانو کامپوزیتی ضد باکتری بر پایه PP/PET/Nanosilver. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس، مهندسی شیمی، گروه پلیمر. ۱۰۳ صفحه.
- جعفری نژاد، ش. ابوالقاسمی، ح. احمدی، س. ج. و قربانیان، س. ۱۳۹۰. ویژگی‌های مکانیکی نانو کامپوزیت‌های پلی‌پروپیلن-خاک رس تهیه شده با روش مخلوط مذاب. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. دوره ۳۰، شماره ۲، صفحات ۶۷-۶۱.
- جهانشاهی، م. ۱۳۸۳. دسته‌بندی کاربردی فناوری نانو در شاخه بیوتکنولوژی. قابل دسترسی در سایت <http://www.irannano.org> (مراجعه شده در اردیبهشت ۱۳۹۱).

Adame, D. and Beall, G. W. 2009. Direct measurement of the constrained polymer region in polyamide/clay nanocomposites and the implications for gas diffusion. *Applied Clay Science*, 42: 545-552.

Allafi, A. 2008. Effect of different percent loadings of nanoparticles and food processing conditions on the properties of Nylon 6 films. Presented in partial fulfillment of the requirements for the degree doctor of philosophy in the graduate school of The Ohio state university, Food Science and Nutrition, 132 pp.



- Appendinia, P. and Hotchkissb, J. H. 2002. Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3: 113-126.
- ASTM. 2009. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. D 882-09.
- Bafna, A. A. 2004. Polyethylene-clay nanocomposites: processing-structure-property relationship. A dissertation submitted to the division of graduate studies and research of the requirements for the degree of doctor of philosophy, university of Cincinnati, Ohio, USA. 233 pp.
- Chaudhry, Q. Scotte, M. Blackburn, J. Ross, B. Boxall, A. Castle, L. 2008. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Additives and Contaminants*, 25:3. 241-258.
- Chen, B. 2004. Polymer-Clay nanocomposites: an overview with emphasis on interaction mechanisms. *British Ceramic Transactions*. 103: 241-249.
- Emamifar, A. Kadivar, M. Shahedi, M. Soleimanian-Zad, S. (2010). Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(4): 742-748.
- Hu, Y. Shen, L. Yang, H. Wang, M. Liu, T. Liang, T. and Zhang, J. (2006). Nanoindentation studies on Nylon 11/clay nanocomposites. *Polymer Testing*, 25: 492-497.
- Jawahar, P. and Balasubramanian, M. (2006). Preparation and properties of polyester-based nanocomposite gel coat system. *Journal of Nanomaterials*, 2006(2006): 1-7.
- Kerry, J. and Butler, P. (2008). *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. John Wiley & Sons, Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. ISBN: 978-0-470-02802-5.
- Kontou, E. and Niaounakis, M. (2006). Thermo-mechanical properties of LLDPE-SiO<sub>2</sub> nanocomposites. *Polymer*. 47(4): 1267-1280.
- Lan, T. Kaviratna, P. and Pinnavaia, T. (1994). On the nature of polyimide-clay hybrid composites, *Chemical Material*. 6: 573-575.
- Liang, Z. and Yin, J. (2003). Poly (etherimide)/montmorillonite nanocomposites prepared by melt intercalation, *Journal of Application of Polymer Science*, 90: 1857-1863.
- Li, H. Li, F. Wang, L. Sheng, J. Xin, Z. Zhao, L. Xiao, H. Zheng, Y. Hu, Q. (2009). Effect of nanopacking on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). *Food Chemistry*, 114(2): 547-552.
- Lotti, C. Isaac, C. S. Branciforti, M. C. Alves, R. M. V. Liberman, S. and Bretas, R. E. S. (2008). Rheological, mechanical and transport properties of blown films of high density polyethylene nanocomposites. *European Polymer Journal*, 44: 1346-1357.
- Maneerat, C. and Hayata, Y. (2006). Antifungal activity of TiO<sub>2</sub> photocatalysis against *Penicillium expansum* in vitro and in fruit tests. *International Journal of Food Microbiology*. 107: 99-103.
- Messermith, P. and Giannelis, E. (1995). Synthesis and barrier properties of poly (epsilon-caprolactone)-layered silicate nanocomposites. *Polymer Science, Polymer Chemical*. 33: 1047-1057.
- Nazari, r. and Taj abadi ebrahimi, M. (2005). Nanoparticles of titanium dioxide and its application in environmental clearance. National Biotechnology Congress of Iran. Kerman (In Farsi).
- Panaiteacu, D. M. Radovici, C. Ghiurea, M. Paven, H. and Iorga, M. D. (2011). Influence of rutile and anatase TiO<sub>2</sub> nanoparticles on polyethylene properties, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50: 196-202.
- Peng, Z. Kong, L. X. and Li, S. D. (2005). Dynamic mechanical analysis of polyvinylalcohol/silica nanocomposite. *Symthetic Metals*, 152: 25-28.
- Powell, C. E. and Beall, G. W. (2006). Physical properties of polymer/clay nanocomposites. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 10: 73-80.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



- Reddy, M. M. Gupta, R. K. Bhattacharya, S. N. and Parthasarathy, R. (2007). Structure-property relationship of melt intercalated maleated polyethylene Nanocomposites. *Korea-Australia Rheology Journal*. 19:3 133-139.
- Saeedi, M. Ghasemi, I. and Karrabi, M. (2011). Thermal degradation of poly (vinyl chloride): effect of nanoclay and low density polyethylene content. *Iranian Polymer Journal*, 20(5): 423-432.
- Wang, K. Choi, M. Koo, C. Choi, Y. Chung, I. (2001). Synthesis and characterization of maleated polyethylene/clay nanocomposites, *Polymer*, 42: 9819-9826.
- Wang, Z. Wang, X. Xie, G. Li, G. and Zhang, Z. (2006). Preparation and characterization of polyethylene/TiO<sub>2</sub> nanocomposites, *Composite Interfaces*, 13:7 623-632.
- Wilhelm, H. M. Sierakowski, M. R. Souza, G. and Wypych, F. (2003). Starch films reinforced with mineral clay. *Carbohydrate Polymers*. 52(2): 101-110.
- Yano, K. Usuki, A. and Okada, A. (1997). Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid films, *Polymer Science, Polymer Chemical*. 35: 2289-2294.





نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



## Investigation of tensile properties of nanocomposite packaging films

### Abstract

In this study, active polyethylene nanocomposite films whit melt mixing method using nanoparticles of clay (Cloisite-15A) (0, 2 and 4%) and nano-TiO<sub>2</sub> (P25) (0, 0.5, 1, 2 and 4%) were prepared. Then using factorial experiment with Completely Randomized design, tensile properties of produced films were investigated. The results showed that the tensile modulus of the films without Nano Titan, compared to net polyethylene increased about 100%, and tensile modulus of samples containing nano titan were greater than the pure polyethylene. The result was, the yield stress of nanocomposites containing nano-clay particles, was more than samples without nanoclay. According to the results of the investigation of the effect of nanoclay and nano titan on strain at yield point of produced nanocomposites, there was no clear trend.

**Keywords:** nanotechnology, nanocomposite, mechanical properties, tensile test.