

تحلیل پارامترهای مکانیکی و حرارتی نانو کامپوزیت‌های LDPE/CNC حاوی نانوذرات کریستال سلولز جهت کاربرد در بسته‌بندی‌های مواد غذایی

جلال حیدریگی^۱، علی محمد برقی^{۱*} و حامد افشاری^۲

۱- گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۷/۱۰/۲۰، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۷/۱۲/۱۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵

چکیده

نانو کامپوزیت‌های پلی اتیلن (PE) حاوی ذرات نانو کریستال سلولز (CNC) از طریق مخلوط و ذوب شدن در یک اکسترودر دو مارپیچ تهیه شده‌اند. در این تحقیق کاربردهای نانو کامپوزیت‌های PE/CNC برای بسته‌بندی مواد غذایی با استفاده از تحلیل‌های حرارتی و مکانیکی مورد بررسی قرار گرفتند. افزودن نانوذرات CNC تاثیری بر دمای ذوب و دمای کریستالیزاسیون نانو کامپوزیت نداشت، اما تاثیر زیادی بر درصد بلوری بودن پلی اتیلن نشان داد. با توجه به پیوند بین ماتریس‌های PE و CNC، کاهش تنش تسلیم و مدول کششی (E) برای نانو کامپوزیت‌های PE/CNC مشاهده شد. با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌های XRD، ترکیب CNC به ماتریکس PE می‌توان افزایش هدایت بلورینگی پلیمرها را در جهت طولی نتیجه گرفت. افزایش Xc درصد بلورینگی در نمونه حاوی ۵ درصد غلظت نانو کریستال سلولز باعث کاهش میزان تنفس و عبور اکسیژن و در نتیجه باعث افزایش ماندگاری محصولات می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پلی اتیلن، نانو کامپوزیت، نفوذپذیری، سلولز نانو کریستال، درصد بلورینگی.

۱- مقدمه

افزایش دهند [۳]. تمام این اقدامات از طریق اجزای فعال داخل دیواره‌های بسته‌بندی انجام می‌شود. در این رابطه، فناوری نانو سهم بزرگی در توسعه بسته‌بندی‌های فعال دارد [۲،۳]. در مورد بسته‌بندی فعال، نانو ساختار اضافه شده به طور معمول در تعامل با مواد تشکیل دهنده پلیمر منجر به بهبود نگهداری مواد غذایی و افزایش عمر مفید آن می‌شود. انواع مختلفی از افزودنی‌های نانو، از قبیل رس، کانی‌های اصلاح شده، اکسید روی، نانونقره، نانوسلولز کریستالی و مواد

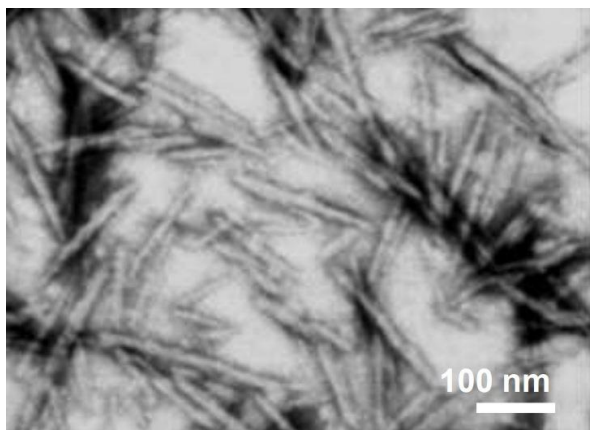
یکی از کاربردهای اصلی نانو کامپوزیت‌ها استفاده در بسته‌بندی‌های جدید مواد غذایی است. این بسته‌بندی‌ها بسته به مدت زمان نگهداری مواد غذایی و پس از آن کاهش ضایعات مواد غذایی به نمونه‌های موفق در این حوزه تبدیل شده‌اند [۱،۲]. این بسته‌بندی‌ها می‌توانند با مواد غذایی داخل بسته‌بندی ارتباط برقرار کنند و طول عمر ماندگاری آن را

* عهده‌دار مکاتبات: علی محمد برقی

نشانی: گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تلفن: ۰۲۱-۴۷۹۱۶۸۶۹، ۰۲۱-۴۷۹۱۶۸۶۵، پست الکترونیکی: borghaee@ut.ac.ir

۰/۹۶ گرم در متر مربع (۲۳ درجه سانتیگراد) از شرکت مارون پتروشیمی ایران تهیه شده است. ذرات نانوکریستال سلولز (CNC) سوزنی شکل از شرکت InnoTech، Canada، Alberta تهیه شد (شکل ۱). همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، ذرات CNC ذرات دو بعدی نانومقیاس است.



شکل ۱: تصویر نانوذرات CNC.

جدول ۱: مشخصات نانوذرات سلولز کریستال.

رنگ	چگالی (gcm^{-3})	قطر ذرات (nm)	طول ذرات (nm)	شکل سطحی	سطح ویژه ($\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$)	شروع دمای تخریب
سفید	1.6	5-15	100-200	سوزنی	200-300	250 °C

۲-۲- آماده‌سازی نانو کامپوزیت‌ها

ذرات کریستال نانو CNC به صورت فیزیکی با گرانول‌های پلی اتیلن خالص مخلوط شدند. سپس فرآیند اکستروژن مخلوط در یک اکسترودر دو ماریچ با مشخصات ($\phi=19$ میلیمتر، $L/D = 40$) (یک اکسترودر دو طرفه ZSK، آلمان) در شرایط زیر انجام شد.

- دمای کار: ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد،

- سرعت ماریچ: ۱۰۰-۱۶۰ دور در دقیقه،

- رشته‌های تهیه شده در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد برای ۲۴ ساعت در یک کوره خلاء خشک شدند تا آب جذب شده را قبل از تولید فیلم‌ها حذف کنند.

نانومتخلخل در بسته‌بندی‌های فعال استفاده شده است. که علاوه بر طول عمر [۴]، خواص مکانیکی [۴]، خواص حرارتی را بهبود می‌بخشد. در میان این افزودنی‌های نانو، کریستال نانوسلولز (CNC) دارای ظرفیت بالقوه‌ای برای توسعه بسته‌بندی‌های نوآورانه و همچنین افزایش خواص بسته‌بندی معمول است [۴]. CNC می‌تواند مانند سپر فیزیکی عمل کند تا انتقال اکسیژن را در بسته‌بندی‌ها مسدود کند [۵] و در نتیجه، طول عمر مواد غذایی تازه را افزایش دهد [۶]. بدیهی است که تاثیر مستقیم بر عمر مفید مواد غذایی و تولید تازه دارد. با این حال، چند تحقیق بر روی تاثیر استفاده از CNC در حرارتی، مکانیکی بسته‌بندی پلیمری انجام شده است [۷]. سلولز دارای مقاومت مکانیکی بالا، انعطاف‌پذیری، دوام، چگالی کم و ویژگی‌های عملکرد صدا می‌باشد [۷،۸]. خواص مکانیکی، [۹]، قابلیت تقویت، چگالی کم و زیست تخریب‌پذیری بالا از خواص سلولز آن را به یک نام تجاری ایده‌آل برای بسته‌بندی پلیمر تبدیل کرده است [۵،۱۰]. تحقیقات مختلف در مورد استفاده از CNC در بسته‌بندی مواد غذایی پلیمری [۱۱] انجام شد. با توجه به اینکه تعداد زیادی از مطالعات انجام شده روی کامپوزیت‌های نانو کامپوزیت پلیمر/CNC انجام شده است، هنوز کمبود دانش شامل اضافه کردن CNC در پلیمرهای کاربردی در بسته‌بندی مواد غذایی وجود دارد. در این مطالعه نانو کامپوزیت با محتوای مختلف نانوذرات سلولز (۰/۵، ۱، ۲ و ۵٪) در LDPE برای مقایسه اثر نانو کریستال سلولز بر خواص ماتریس و برخی از خواص مواد مورد نیاز برای استفاده در بسته‌بندی‌های مواد غذایی استفاده شد. در این تحقیق خواص مکانیکی، فیزیکی، میزان انتقال اکسیژن و خواص ضد میکروبی به طور ویژه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

پلی اتیلن (LDPE) با ضریب جریان ذوب ۱۱۷ میلی‌گرم در ۱۰ دقیقه (۲۳۰ درجه سانتیگراد/۲/۱۶ کیلوگرم) و تراکم

در سرعت ۵ میلیمتر در دقیقه انجام گرفت. یک Extensometer 100SC برای تعیین مدول الاستیک به کار برده شد (شکل ۲).



شکل ۲: تصویر دستگاه اکسترودر بکار رفته در تولید نانوکامپوزیت.

۲-۳-۲- کالریمتری اسکن دیفرانسیل یا اسکن شرایط حرارتی (DSC)

رفتار بلوری پلی اتیلن خالص و نانوکامپوزیت‌های PE/CNC با استفاده از یک کالریمتر اسکن دیفرانسیل مدولاسیون (MDSC) مورد بررسی قرار گرفت. حدود ۳ تا ۱۰ میلی گرم از هر نمونه در بازه حرارتی ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه به اندازه ۲۵ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. سپس نمونه به مدت ۵ دقیقه در ۲۰۰ درجه سانتیگراد نگهداری شد تا شرایط حرارتی نمونه را حفظ کند [۱۱]. رفتار ذوب و کریستالیزاسیون از اولین اسکن گرمایی تعیین شد. دمای ذوب نیز به عنوان حداکثر پتانسیل ذوب آنتروپیک تعریف شده است. درجه کریستالی نمونه‌ها از نسبت آنتالپی اندازه گیری شده به مقدار آنتالپی برای ۱۰۰٪ PE کریستالی محاسبه شد، که به صورت J/g محاسبه شد.

جدول ۲ خلاصه ساختار نانوکامپوزیت‌های تهیه شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. PE خالص به عنوان مواد مرجع مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲: درصد های نانوسلولز نمونه‌ها.

Sample designation	CNC (wt.%)
N0 ¹	-
NC1	0.5
NC2	1
NC3	2
NC4	5

۲-۳-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

شکل و ویژگی‌های سطح نانوکامپوزیت‌های PE/CNC با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (اسکن میرا T3)، تحت شرایط خلاء و در ولتاژ ۳۰ کیلوولت انجام شد. نمونه‌ها روی خمیر آلومینیومی نصب شده و میکروگرافی از پودر گرفته شدند. قبل از آن با استفاده از اسپری خشک کننده (BAL-TEC SCD 005، سوئیس) برای ۱۰۰ ثانیه در جریان ۳۰ mA یک لایه نازک از طلا بر روی نمونه‌ها گذاشته شد.

ترکیبات آماده شده با مقادیر مختلف محتویات CNC بوسیله دستگاه ضربه‌ای فیلم Brabender به فیلم‌های پلیمری تبدیل می‌شوند. دمای ذوب ۲۰۰ درجه سانتیگراد بود. فیلم آماده شده دارای عرض ۲۰ سانتیمتر و ضخامت ۲۰ میلیمتر بود.

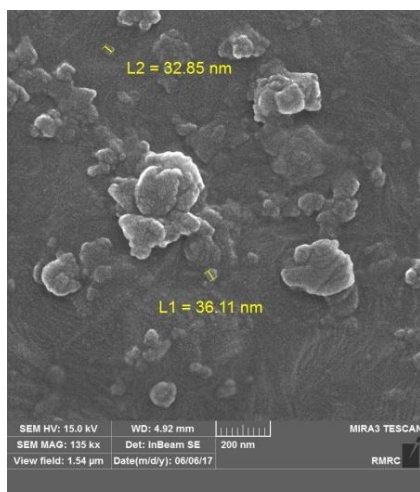
۲-۳-۴- آنالیز XRD

برای تعیین تاثیر ترکیب CNC بر ساختار بلوری و جهتگیری کریستالی پلی اتیلن، از دستگاه Zayes 3003PTS جهت تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس (XRD) گسترده استفاده شد. ولتاژ شتاب ۳۰ کیلوولت و جریان ۳۰ میلی آمپر برای

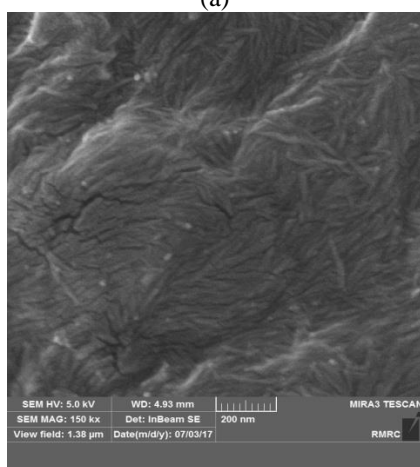
۳-۲- تعیین مشخصات

۲-۳-۱- ارزیابی خواص مکانیکی

مدول الاستیسیته و تنش عملکرد PE خالص و نانوکامپوزیت‌ها با توجه به استاندارد ASTM D638 اندازه گیری شد. این تست‌ها با دستگاه (Hounsfield H10KS)



(a)



(b)

شکل ۳: (a) حضور ذرات نانو کریستال سلولز در نانوکامپوزیت و (b) ذرات نانوسلولز کریستالی.

همانطور که در شکل ۴ (الف) با افزودن ۰/۵ درصد CNC به پلی اتیلن خالص، (۲۰۰) در پراکندگی عرضی کاهش یافته است. در این شرایط، با توجه به شکل ۴ (c)، افزایش (۱۱۰) و (۲۰۰) باید در جهت طولی مشاهده شود. شکل ۴ (b) به عبارت دیگر، (۲۰۰) طرح‌های کریستالی LDPE در جهت عرضی هم تراز شده‌اند. این مهم می‌تواند منجر به تغییر

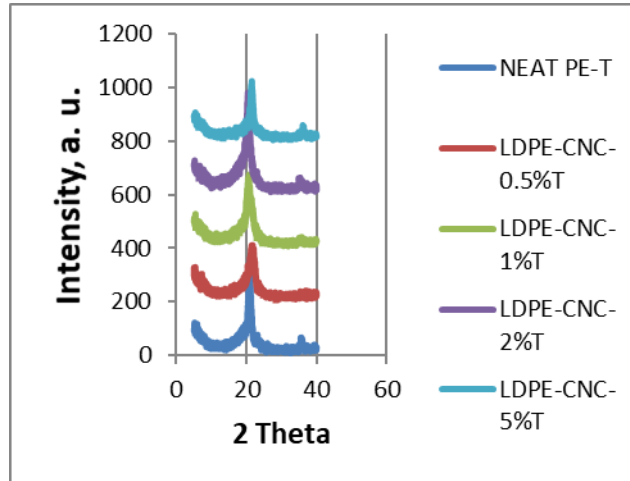
تشخیص اثر CNC بر روی جهتگیری کریستال پلی اتیلن در جهت طولی و عرضی انجام شد.

۳- نتایج و بحث

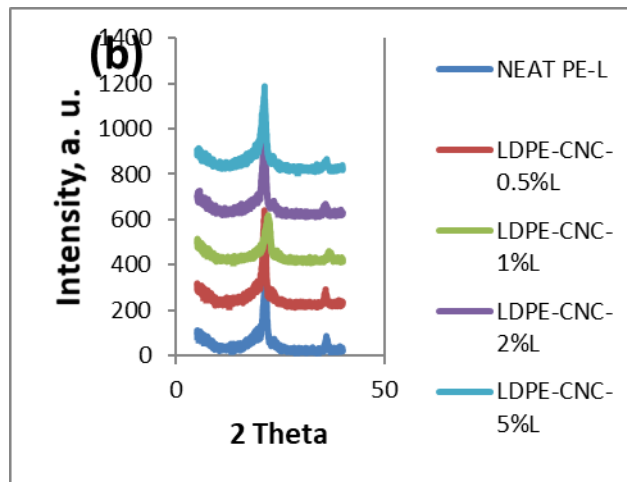
۳-۱- مطالعه مورفولوژیکی

شکل ۳ (a) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوکامپوزیت پلی اتیلن حاوی نانوذرات CNC را نشان می‌دهد. اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر است و همانطور که ذکر شده است، ذرات CNC به خوبی در ماتریس LDPE (فلش پایینی) توزیع شده است. با این حال، برخی از اجزای نانو کریستال سلولز در ماتریکس نانوکامپوزیت (فلش بالایی) وجود دارد. شکل ۳ (b) بزرگنمایی تصویر SEM یک ذره CNC را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳ (b) نشان داده شده، ذرات نانوسلولز حاوی بلورهای سوزنی شکل است. با این حال، همانطور که در شکل ۳ (a) نشان داده شده است، یک دسته از کریستال‌های سوزنی ذرات نانومتری را در ماتریکس پلیمری ایجاد می‌کنند. شکل سوزنی نانوذرات باعث افزایش شاخص جریان مذاب، درصد کریستالینیتی، کاهش میزان تنفس و بهبود خواص مکانیکی می‌گردد.

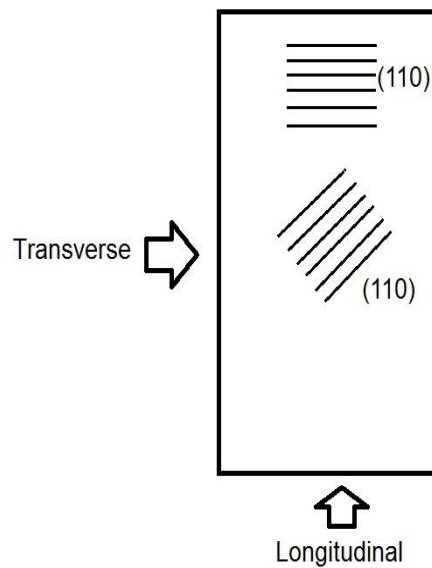
شکل ۴ نمودارهای XRD از پلی اتیلن خالص و نانوکامپوزیت‌های با درصدهای مختلف ذرات CNC را در شرایط عرضی و طولی (برای فیلم) نشان می‌دهد. در این نمودارها، تاثیر ترکیب CNC در ماتریس پلیمر بر روی جهتگیری بلوری، می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. پلی اتیلن سبک LDPE دارای پیک‌های پراکندگی (۱۱۰) و (۲۰۰) در ۲۲/۵ و ۳۷/۵ درجه است. CNC خالص دارای پیک‌های پراکندگی برای (۱۱۰)، (۲۰۰)، ۱۷، ۲۲/۵۵ و ۳۵ درجه است.



(a)



(b)



(c)

شکل ۴: الگو XRD پلی اتیلن خالص و نانوکامپوزیت با بارهای مختلف CNC (a عرضی، b طولی و c جهتگیری کریستالی پلی اتیلن در فیلم در جهت عرضی و طولی).

درصد وزنی CNC درجه بلورینگی در مقایسه با LDPE خالص تقریباً ۴۰٪ کاهش یافته است. کاهش درجه بلوری بودن می‌تواند به دلیل قابلیت رابط بین پلیمر ماتریکس و ذرات نانو باشد [۱۳] به عبارت دیگر، ذرات CNC در داخل ماتریس پلی اتیلن مانند ناخالصی عمل می‌کنند. جالب توجه است، برای LDPE با ۵ درصد CNC، درجه بلوری به طور چشمگیری افزایش یافته و حتی بیشتر از پلی اتیلن خالص [۹]. این ممکن است به جهتگیری ترجیح CNC در تولید فیلم باشد. در واقع، بارگیری بالا از CNC به ماتریس و ایجاد محدودیت در طول روند فرآیند باعث افزایش درجه بلورینگی می‌گردد [۱۴].

اثر ترکیب مقدار مختلف ذرات نانو کریستال جدول ۴ نشان داده شده است. از داده‌های جدول ۴، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب CNC به ماتریکس PE منجر به افزایش اولیه، کاهش و دوباره افزایش در مورد PE حاوی ۱ و ۲ درصد وزنی گردیده است که این اتفاق ممکن است به علت تجمع ذرات باشد. همچنین نتیجه‌گیری شده است که اضافه کردن CNC به پلی اتیلن هیچ تاثیر قابل توجهی بر دما و دمای ذوب نانو کامپوزیت‌های PE/CNC ندارد [۱۵].

خواص مکانیکی و همچنین نفوذپذیری نانو کامپوزیت‌های LDPE/CNC در جهت مختلف شود [۱۲].

بنابراین، همانگونه که نشان داده شده است، بین پیک‌های پراکندگی (۱۱۰) طرح‌های LDPE و (۲۰۰) برای ذرات CNC (20=22.50) همپوشانی وجود دارد. بنابراین، پس از اتصال ذرات CNC به ماتریس، تفسیر رفتار کریستالیت LDPE دشوار است.

۳-۲- اثر ذرات CNC بر روی جهتگیری کریستال PE

جهتگیری کریستالی نمونه‌های نانو کامپوزیت پلی اتیلن کمی با استفاده از نسبت I(110) به I(200) به دست آمده از پیک پراش اشعه X ارزیابی شد. همانطور که در جدول ۳ دیده می‌شود، جهتگیری کریستال توسط ترکیب CNC در جهت طولی به طور قابل توجهی و کمی در جهت عرضی تحت تاثیر قرار گرفت. این بدان معنی است که، به طور کلی، CNC باعث هدایت ترجیحی کریستالیت‌ها در دستگاه فیلم انفجاری می‌شود. این ممکن است به دلیل شکل سوزنی ذرات باشد.

جدول ۳: ویژگی‌های XRD نمونه‌ها.

نمونه‌ها	CNC (wt.%)	Crystallite Orientation	Crystallite Orientation
		$I^T(110)/I^T(200)$	$I^T(110)/I^T(200)$
		طولی	عرضی
N0	0	4.23	2.07
NC1	0.5	4.83	1.72
NC2	1	3.96	2.02
NC3	2	5.48	2.16
NC4	5	5.77	1.59

۳-۳- خواص حرارتی

نتایج حاصل از اسکن کوانتومی دیفرانسیل (DSC) پلی اتیلن خالص و LDPE/CNC نانو کامپوزیت‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است، درجه کریستالی LDPE برای ترکیب ۰/۵ درصد CNC به LDPE افزایش می‌یابد، اما در مورد نانو کامپوزیت‌های حاوی ۱ و ۲

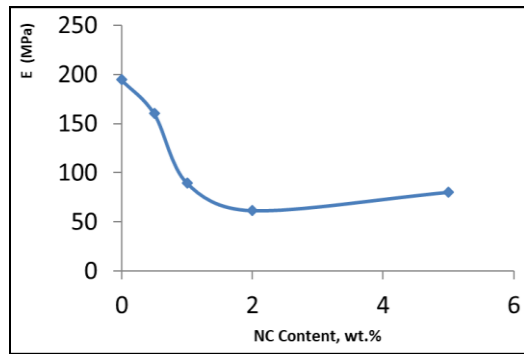
جدول ۴: نتایج آزمایش حرارتی و اسکن کوانتومی

نمونه‌های پلی اتیلن و نانو کامپوزیت.

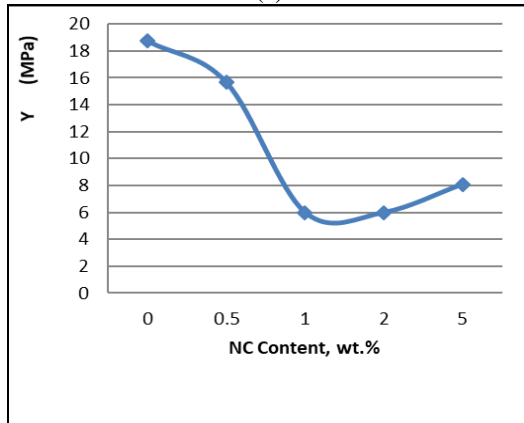
Sample	T_m (°C)	T_c (°C)	X_c (%)	$\tan\alpha$
				هسته‌ای شدن
Neat PE	111.43	96.24	12	38.4
NC1	111.45	96.3	13.4	41.4
NC2	112.25	96.86	7.7	21.3
NC3	111.95	97.55	6.5	17.2
NC4	110.66	97.57	15.7	56.6

۳-۴- ویژگی‌های مکانیکی

خواص کششی پلی اتیلن PE و پلی اتیلن PE/CNC نانو کامپوزیت‌ها در شکل ۵ (a) و (b) نشان داده شده است. محاسبه بر اساس معادله زیر است:



(a)



(b)

شکل ۵: (a) مدول الاستیسیته، (b) تنش عملکرد PE خالص و نانو کامپوزیت های PE/CNC.

جدول ۵: نتایج نانوذرات PE/CNC خالص، شامل 5wt.%-CNC.

Sample	MFI (g.10 min ⁻¹) (190 °C, 2.16 kg)
Pure PE	1.69
NC4	1.79

۳-۶- تاثیر استفاده از نانو کامپوزیت سلولز بر

افزایش عمر تازه خوری میوه جات

بر خلاف محصولات غذایی، محصولات کشاورزی پس از برداشت و جدا شدن از شاخه درخت، به چرخه حیات جدید وارد می شوند. در چرخه جدید، محصولات کشاورزی (میوه ها و سبزیجات) نفس می کشند تا اکسیژن مصرفی، دی اکسید کربن، اتیلن و رطوبت بوجود می آیند. در این شرایط، هر محصول غذایی باید تمام اکسیژن را در اطراف خود

$$E_c = \frac{E_p E_f}{E_p \Phi_f + E_f \Phi_p} \quad (2)$$

که در آن E_c ، E_p و E_f به ترتیب مدول الاستیسیته نانو کامپوزیت، ماتریکس و فیلرهای نانو هستند، به ترتیب Φ_p و Φ_f به ترتیب حجم ماتریس و نانوذرات است. همانطور که از معادله ۲ انتظار می رود علاوه بر CNC، مدول الاستیسیته نانو کامپوزیت های PE/CNC را افزایش می دهد. با این حال، مقادیر اندازه گیری شده نشان دهنده کاهش مدول الاستیسیته نانو کامپوزیت های PE/CNC و همچنین میزان تنش است. برای تفسیر این رفتار، باید دو اثر متقابل میزان بلوری شدن و نانوذرات CNC را در نظر گرفت. در جدول ۴ نشان داده شده است که درجه بلوری بودن نانو کامپوزیت ها به دلیل وجود CNC کاهش می یابد [۱۶]. بدیهی است که کاهش درصد بلورینگی، مدول الاستیسیته و تنش پلیمر را کاهش می دهد. با این حال، اثر وجود نانوفیلر باعث افزایشی در مدول نانو کامپوزیت خواهد شد، بنابراین هر دو عامل، کاهش درجه بلورینگی ماتریکس پلیمری و اثر چسبندگی بین فازی ذرات نانو سلولز، موجب کاهش مدول الاستیسیته نانو کامپوزیت ها می شود. با این حال، افزایش مدول الاستیسیته در مورد PE با ۵ wt.% باعث افزایش درجه بلورینگی و یا جهتگیری کریستالی در نمونه های نانو کامپوزیت گردیده است [۱۷]. با افزایش نانوذرات شاهد کاهش مدول الاستیسیته و رسیدن به کامپوزیت نرم تری هستیم.

۳-۵- آزمایش نرخ جریان مذاب MFI

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل MFI از پلی اتیلن خالص و نانو کامپوزیت پلی اتیلن در جدول ۵ نشان داده شده است. MFI پلی اتیلن از طریق ترکیب CNC به ماتریس افزایش می یابد. این بدان معنی است که ذرات CNC می توانند جریان ذوب LDPE را تسهیل کنند. در واقع، شکل سوزن مانند ذرات باعث لغزش بر روی یکدیگر و باعث سهولت جریان می شوند (شکل ۶).

بسته‌بندی محصولات کشاورزی، استفاده از ترکیبی ویژه از گازها برای افزودن به زمان دوام مواد غذایی و محصولات کشاورزی مهم است [۱۹].

در بسته‌بندی مواد غذایی، برای حداکثر عمر مفید یک مخلوط گاز خاص در داخل بسته‌بندی مورد نیاز است. بنابراین بسته‌بندی فعال و مفهوم "نفوذپذیری" می‌تواند برای تهیه مخلوط خاص گاز در داخل بسته‌بندی کمک کنند. وجود نانوذرات CNC و درجه خاصی از نفوذپذیری پلیمرهای مختلف برای مولکول‌های مختلف گاز (به عنوان مثال نفوذپذیری CO_2 برابر ۵ برابر بیشتر از مولکول‌های O_2) ممکن است نفوذپذیری را ایجاد کند [۲۰]. به این ترتیب، افزایش حاصل شده در سرعت انتشار موجب حفظ و نگهداری مواد غذایی خاص در شرایط بهتر و در نتیجه بهبود شرایط نگهداری آن می‌شود [۲۱]. این روش می‌تواند برای محصولات کشاورزی توسط نانوسلولز انجام شود برای افزایش دوام مواد غذایی و محصولات کشاورزی، شرایط مناسب ترکیب گاز از جو در داخل بسته‌ها می‌تواند برای محصول مورد نظر ساخته شود. برای انجام این کار، کنترل انتقال گاز مورد نظر از دیواره بسته ضروری است [۲۲].

۴- نتیجه‌گیری

- استفاده از نانوذرات سلولز باعث کاهش مدول الاستیسیته می‌گردد.
- استفاده از سلولز باعث کاهش تنش تسلیم می‌گردد.
- استفاده از نانوذرات سلولز باعث افزایش میزان تنفس کامپوزیت می‌گردد.
- استفاده از نانوذرات سلولز باعث افزایش میزان جذب آب می‌گردد.
- استفاده از نانوذرات سلولز باعث افزایش شاخص جریان مذاب MFI می‌گردد.
- استفاده از نانوذرات سلولز باعث ایجاد خاصیت آنتی باکتریال می‌گردد.

مصرف کند و آن را به دی اکسید کربن، اتیلن و رطوبت تغییر دهد (فرض کنید: گاز اکسیژن خارج از بسته نمی‌تواند در فضای بسته نفوذ کند) [۱۸]. اما، در شرایط واقعی، گاز اکسیژن از طریق دیواره پلیمری عبور می‌کند و درون بسته نفوذ می‌کند. همچنین گازهای دی اکسید کربن، اتیلن و رطوبت می‌توانند از طریق دیواره پلیمری عبور کنند و آزاد شوند. لازم بذکر است که میزان نفوذپذیری هر گاز بر اساس نوع پلیمر متفاوت است. بدین معنی است که همان مقدار اکسیژن وارد بسته می‌شود، همان مقدار دی اکسید کربن یا اتیلن آزاد نیست [۷،۱۲].



شکل ۶: نفوذ ذرات سوزنی شکل CNC بر روی یکدیگر و تسهیل جریان ذوب LDPE.

با توجه به این شرایط، لازم است کنترل نفوذپذیری این گازها دقیق باشد. هنگامی که فضای داخل یک بسته از اکسیژن خارج شده و کربن دی اکسید کربن تنها در این فضا باقی می‌ماند، باکتری‌های بی‌هوازی در چنین شرایطی رشد می‌کنند و محصول کشاورزی به سرعت خراب می‌شود. اگر نفوذ اکسیژن به فضای داخلی بسته محدود نشود، محصول کشاورزی ابتدا آن را جذب می‌کند و به سرعت خراب می‌شود. دوم اینکه حضور اکسیژن بیش از حد باعث بروز تغذیه مانند ویتامین‌ها، چربی‌ها و ... می‌شود. از سوی دیگر، در شرایط جذب آزاد، داخل بسته از گاز اتیلن پر خواهد شد. برای گیاهان و محصولات کشاورزی، اتیلن گاز به عنوان هورمون رشد در انسان عمل می‌کند و باعث می‌شود محصول غذا رسیده باشد. با این حال، حضور بیش از حد گاز باعث می‌شود که محصول کشاورزی به زودی رسیده باشد. در

- [4] N. Lin, A. Dufresne, *European Polymer Journal*, **59**, 2014, 302.
- [5] J. Varga, J. Karger-Kocsis, *Polymer*, **36**, 1995, 4877.
- [6] A. Sinha, E.M. Martin, *Journal of Biosystems Engineering*, **40**, 2015, 373.
- [7] T.V. Duncan, *Journal of colloid and interface science*, **363**, 2011, 1.
- [8] D. Jun, Z. Guomin, *Carbohydrate Polymers*, **168**, 2017, 255.
- [9] P. Mareri, S. Bastide, N. Binda, *Composites Science and Technology*, **58**, 1998, 747.
- [10] A. Saxena, T.J. Elder, A.J. Ragauskas, *Carbohydrate Polymers*, **84**, 2011, 1371.
- [11] N. Herrera, A.P. Mathew, *Composites Science and Technology*, **106**, 2015, 149.
- [12] S. Malmir, B. Montero, M. Rico, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **93**, 2017, 41.
- [13] M. Luddee, S. Pivsa-Art, *Energy Procedia*, **56**, 2007, 211.
- [14] M. Riberioci, A.A. Vicente, *Post Harvest Biol Technol*, **44**, 2014, 63.
- [15] J. Yang, *ACS Applied Materials & Interfaces*, **5**, 2013, 3199.
- [16] S.S. Nair, J.Y. Zhu, Y. Deng, *Sustainable Chemical Processes*, **2**, 2014, 23.
- [17] S. Xu, N. Girouard, G. Schueneman, M.L. Shofner, J.C. Meredith, *Polymer*, **54**, 2014, 6589.
- [18] A. Tolimate, J. Destbrieres, *Polymer*, **41**, 2013, 2463.
- [19] K. Zandi, H.W. Weisany, H. Ahamdi, I. Bazargan, *Bulletin of Environment pharmacology and life sciences*, **2**, 2013, 28.
- [20] J. Odriozola-Serrano, R. Solvia-Fortuny, O. Maring-Bellose, *Food science and Technology*, **41**, 2008, 249.
- [21] Y. Teramoto, *Polymer*, **4**, 2018, 128.
- [22] L. Huang, *AIP Advance*, 2018

- درصد کریستالیه شدن XC، شیشه‌ای شدن پلیمر با افزایش نانوذرات کریستال سلولز CNC نسبت به پلی اتیلن سبک LDPE تغییرات بهتری ایجاد می‌کند.

- تولید فیلم نانوکامپوزیت جدید بر پایه استفاده از نانوذرات سلولز کریستال باعث افزایش عمر تازه خوری میوه می‌گردد.

- استفاده از CNC به پلی اتیلن باعث افزایش نفوذپذیری گاز و جذب آب می‌شود. این رفتار را می‌توان مثبت به منظور انجام مفهوم نفوذپذیری انتخابی برای افزایش عمر مواد غذایی و تازه خوری محصولات کشاورزی دانست.

مراجع

- [۱] ناصر ولی پور مطلق، "بررسی تاثیر بسته‌بندی های نانوکامپوزیت بر کیفیت و ماندگاری زرشک"، هجدهمین کنگره علوم و صنایع غذایی، ۱۳۸۷.
- [2] F. Vilarinho, A. Sanches-Silva, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **2**, 2016, page.
- [3] C.S. Miranda, M.S. Ferreira, M.T. Magalhaes, *Materials Today: Proceedings*, **2**, 2016, 69.