

تهیه فیلم بسته‌بندی زیست تخریب پذیر با استفاده از کیتوسان و

ژلاتین

نیلوفر اصلاحی^{۱*}، فاطمه داداشیان^۲، ناهید همتی نژاد^۳

تاریخ دریافت مقاله: تیرماه ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: دی ماه ۱۳۹۲

چکیده

سطح صاف و همگن فیلم‌های تهیه شده و در نتیجه سازگاری بین اجزاست. به علاوه برهم کنش بین کیتوسان و ژلاتین توسط نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس تأیید شد.

واژه‌های کلیدی

بیوپلی‌مر^۴، کیتوسان^۵، ژلاتین^۶، زیست‌سازگار، زیست تخریب‌پذیر^۷ و فیلم کامپوزیتی^۸.

۱- مقدمه

هدف از بسته‌بندی مواد غذایی محافظت از کیفیت آن از زمان تولید تا زمان مصرف می‌باشد. در واقع بسته‌بندی از طریق کنترل انتقال جرم بین ماده غذایی، مواد بسته‌بندی و اتمسفر محیط از ایجاد آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی^۹ بر روی محصولات جلوگیری می‌کند. قابل بازیافت نبودن مواد پلاستیکی بسته‌بندی برای محصولات غذایی، وابستگی پلی‌مرهای مصنوعی متنوع به سوخت‌های فسیلی^{۱۰}، افزایش قیمت نفت و در نتیجه مشکلات زیست محیطی ایجاد شده توسط این مواد، سبب افزایش تقاضا برای به‌کارگیری مواد طبیعی، تجدیدپذیر،

در سال‌های اخیر توسعه و پیشرفت در زمینه بسته‌بندی‌های نوین حاصل از منابع طبیعی تجدیدپذیر با رشد چشمگیری مواجه شده است. کیتوسان، پلی‌ساکاریدی طبیعی است که دارای خواص منحصر به فردی چون زیست‌سازگاری، زیست تخریب‌پذیری و ضد میکروبی می‌باشد و کاربردهای متنوعی در صنایع مختلف غذایی، دارویی، پزشکی و کشاورزی دارد. ژلاتین نیز نوعی پروتئین محلول در آب است که از کلاژن پوست و استخوان جانوران به دست می‌آید. در این پژوهش، کامپوزیت کیتوسان-ژلاتین در ترکیب درصد‌های مختلف با هدف تولید فیلم بسته‌بندی دوستدار محیط زیست تهیه شد و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی فیلم‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش مقدار ژلاتین، میزان حلالیت، نفوذپذیری بخار آب و درصد تخریب فیلم‌ها افزایش یافت. هم‌چنین خصوصیات مکانیکی کیتوسان بهبود یافته و فیلمی الاستیک و انعطاف‌پذیر به دست آمد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی، نشان‌دهنده یکپارچگی ساختاری،

۱- فارغ التحصیل دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی

امیرکبیر، تهران

(*) نویسنده مسئول: (eslahi_n@yahoo.com)

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

تهران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

تهران

4- Biopolymer

5- Chitosan

6- Gelatin

7- Biodegradable

8- Composite

9- Biological

10- Fossile fuels

قابل بازیافت و زیست تخریب پذیر شده است [۲۱ و ۲۰].

کیتوسان پلی ساکاریدی^۱ خطی، متشکل از واحدهای D-گلوکز آمین^۲ و N-استیل D-گلوکز آمین می باشد که از استیل زدایی کیتین^۳ تهیه می گردد. منبع اصلی کیتین، منابع دریایی نظیر سخت پوستان، میگو و خرچنگ می باشد. ساختار سخت و حضور پیوندهای هیدروژنی^۴ قوی در کیتین منجر به حلالیت ضعیف آن در حلال های آلی می گردد، در صورتی که کیتوسان به دلیل حضور گروه های آمین و تشکیل پلی الکترولیت کاتیونی^۵ در حلال های اسیدی رقیق حل می شود. عوامل متعددی مانند دما، درجه استیل زدایی، اندازه ذرات و وزن مولکولی بر روی حلالیت کیتوسان تأثیر گذار است. از جمله خصوصیات این پلی مر می توان به هزینه کم، زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، چسبندگی، ضد میکروبی، غیر سمیت و توانایی تشکیل فیلم اشاره نمود [۳].

ژلاتین نیز پروتئینی زیست سازگار است که از هیدرولیز^۶ اسیدی، قلیایی یا آنزیمی کلاژن^۷ موجود در پوست، بافت و استخوان حیوانات به دست می آید. ساختار کلاژن لیفی نامحلول در آب به فرم مارپیچ سه گانه می باشد که با پیوندهای هیدروژنی بین زنجیری و کووالانسی^۸ پایدار می گردد. واسرشتگی^۹ حرارتی و یا تخریب فیزیکی / شیمیایی کلاژن سبب شکسته شدن این ساختار و تبدیل آن به فرم حلقه های تصادفی می گردد و در نتیجه ژلاتین محلول در آب به وجود می آید [۴].

هر چند کیتوسان و ژلاتین به دلیل قابلیت تشکیل فیلم، کاربرد گسترده ای در مصارف مختلف از جمله بسته بندی دارند، اما خصوصیت آبدوستی و جذب آب بالای این دو پلی مر محدودیت هایی را در برخی موارد فراهم آورده است. به نحوی که در صورت به کارگیری هر یک از این

بیوپلی مرها به تنهایی، استفاده از یک عامل شبکه ای ساز^{۱۰} به منظور بهبود پایداری و خواص مکانیکی ضروری است. بر اساس تحقیقات انجام شده، با استفاده از اختلاط این دو پلی مر و تشکیل یک کمپلکس^{۱۱} پلی الکترولیت پایدار می توان از ویژگی های منحصر به فرد هر یک از این مواد استفاده کرد و خواص محافظتی مطلوبی را برای بسته بندی مواد غذایی فراهم نمود. در حقیقت گروه های آنیونیک کربوکسیل^{۱۲} ژلاتین در محدوده اسیدیته^{۱۳} مناسب با گروه های کاتیونیک^{۱۴} آمین کیتوسان پیوند الکترواستاتیک^{۱۵} و هم چنین پیوندهای هیدروژنی برقرار کرده و شبکه ای پایدار حاصل می گردد. از مزایای این اختلاط می توان به بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و بیولوژیکی کامپوزیت حاصل در مقایسه با هر یک از این اجزا به تنهایی اشاره نمود [۵ و ۸]. لذا در پروژه حاضر، از ترکیب این دو پلی مر در نسبت های وزنی مختلف، فیلمی زیست سازگار تولید شده و در ادامه خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی کامپوزیت های تهیه شده مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- مواد و روش ها

ابتدا محلول ۲٪ وزنی از کیتوسان (سیگما^{۱۶})، با وزن مولکولی متوسط) و ژلاتین (مرک^{۱۷} آلمان درجه میکروبیولوژی) به طور جداگانه به ترتیب در اسید استیک^{۱۸} ۱٪ و آب تهیه شدند تا محلول همگنی از هر یک به دست آید. در ادامه به منظور بهبود خاصیت انعطاف پذیری فیلم ها ۲۵٪ وزنی گلیسرول^{۱۹} (مرک، با درصد خلوص ۹۸٪) به عنوان ماده پلاستیسیته کننده^{۲۰} به

10- Cross-linking agent

11- Complex

12- Carboxylic

13- pH

14- Cationic

15- Electrostatic

16- Sigma

17- Merck

18- Acetic acid

19- Glycerol

20- Plastisizer

1- Polysaccharide

2- Glucosamine

3- Chitin

4- Hydrogen bonds

5- Polyelectrolyte

6- Hydrolysis

7- Collagen

8- Covalent

9- Denaturation

هر یک از محلول‌ها اضافه شد. بعد از فیلتراسیون^۱ و اختلاط این دو محلول در ترکیب درصدهای وزنی مختلف (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪ وزنی از ژلاتین)، اسیدیته کامپوزیت حاصل با محلول سود ۱ نرمال در محدوده ۵-۵/۵ تنظیم می‌گردد تا برهم‌کنش لازم بین کیتوسان و ژلاتین برقرار شود. پس از اختلاط دو پلی‌مر در دمای ۵۰°C به مدت ۲ ساعت توسط همزن الکتریکی (۳۰۰ دور بر ساعت)، مقدار یکسانی از هر یک از ترکیب‌ها درون پتری دیش^۲ ریخته شده و به روش قالب‌گیری^۳ فیلم‌های مورد نظر تهیه شدند. پس از خشک شدن فیلم‌ها در دمای محیط، عملیات خنثی‌سازی با اتانول^۴ ۸۰٪ انجام شد و سپس فیلم‌ها در آن خالص به مدت ۲۰ دقیقه خشک شدند. میزان حلالیت در آب، نفوذپذیری بخار آب، تورم در بافر سالین فسفات^۵ (pH=7) و جذب آب فیلم‌های تهیه شده پس از ۲۴ ساعت و زیست تخریب‌پذیری در بافر سالین فسفات^۶ (pH=7) محتوی ۱۰^۴ U/ml لیزوزیم^۶ در دمای ۳۷°C پس از ۷۲ ساعت به روش وزن سنجی اندازه‌گیری شد.

هم‌چنین خواص مکانیکی (استحکام کششی و درصد ازدیاد طول)، مورفولوژی^۷، ساختار شیمیایی و بلوری نمونه‌ها به ترتیب با استفاده از دستگاه کشش (Instron 5566 آمریکا)، میکروسکوپ الکترونی^۸ (Philips XL30)، طیف‌سنج مادون قرمز (Nicolet Nexus 670) و پراش اشعه ایکس (Equinox 3000) بررسی گردید.

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی خصوصیات فیزیکی

نتایج حاصل از ارزیابی خصوصیات فیزیکی فیلم‌ها در (جدول ۱) خلاصه گردیده است. لازم به ذکر است که ژلاتین محلول در آب بوده و با چند ساعت قرار دادن فیلم تهیه شده از ۱۰۰٪ ژلاتین در آب و بافر به شدت متورم و تضعیف شده و نمی‌توان درصد تورم و جذب آب آن را ارزیابی نمود. بر اساس نتایج به دست آمده، تشکیل کمپلکس پلی‌الکترولیت بین کیتوسان و ژلاتین و وجود

جدول ۱- نتایج حاصل از ارزیابی خصوصیات فیزیکی فیلم‌ها

مقدار ژلاتین (%)	حلالیت (%)	جذب آب (%)	تورم (%)	تخریب (%)	نفوذپذیری بخار آب (g/Pa s m × 10 ¹²)
۰	۸/۳۶	۱۵۰/۷۸	۹۵/۲۵	۱۸/۱۳	۰/۳۰۷۳
۲۵	۱۳/۴۲	۱۳۶/۴۳	۷۹/۸۱	۲۹/۴۴	۰/۴۵۷۷
۵۰	۱۷/۳۲	۱۲۱/۱۷	۶۲/۷۲	۳۱/۴۰	۰/۳۹۴۹
۷۵	۲۴/۶۷	۱۴۵/۵۶	۶۸/۱۳	۴۸/۶۷	۰/۶۱۲۱
۱۰۰	۱۰۰	-	-	۱۰۰	۰/۸۱۴۵

پیوندهای هیدروژنی قوی بین اجزا سبب کاهش چشمگیر جذب آب و تورم هر یک از اجزاء به تنهایی شده است، به نحوی که کمترین مقادیر برای ترکیب محتوی ۵۰٪ ژلاتین به دست آمد. حلالیت، مقاومت فیلم‌ها در برابر حل

- 1- Filtration
- 2- Petri dish
- 3- Casting
- 4- Ethanol
- 5- Phosphate buffer saline
- 6- Lysozyme

- 7- Morphology
- 8- Scanning electron microscope

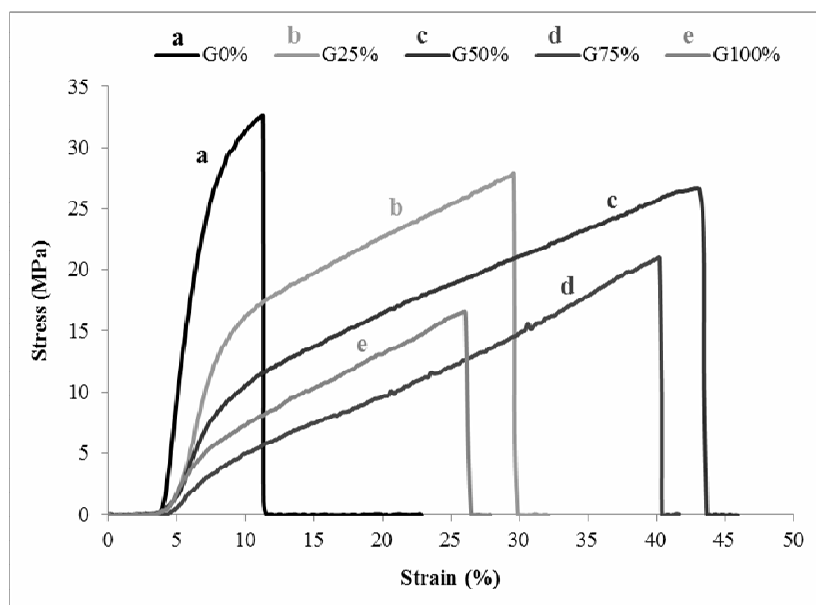
شدن در آب و یا به عبارتی آبدوستی فیلم‌ها را نشان می‌دهد. نتایج حاصل نشان‌دهنده افزایش میزان تخریب و حلالیت در آب فیلم‌های کامپوزیتی با افزایش مقدار ژلاتین آبدوست می‌باشد. هم‌چنین مشاهده می‌گردد که میزان نفوذپذیری بخار آب با افزایش مقدار ژلاتین به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. ماهیت آبدوست بالای ژلاتین سبب نفوذ بیشتر بخار آب به این فیلم در مقایسه با فیلم کیتوسان گردیده است. در مورد فیلم‌های کامپوزیتی، کیتوسان می‌تواند سبب ایجاد پیوند عرضی در ژلاتین شده و در نتیجه حجم آزاد ماتریس پلی‌مری و نرخ نفوذ مولکول‌های آب را در فیلم کاهش دهد. وجود برهم‌کنش قوی بین کیتوسان و ژلاتین (از طریق پیوندهای الکترواستاتیکی و هیدروژنی) و در نتیجه ساختار متراکم‌تر کامپوزیت تهیه شده نسبت به ژلاتین می‌تواند سبب کاهش میزان نفوذپذیری بخار آب گردد. مشاهده می‌شود که کامپوزیت محتوی ۵۰٪ ژلاتین توانایی عبور بخار آب کمتری نسبت به سایر کامپوزیت‌ها دارد. به نظر می‌رسد دلیل این امر وجود برهم‌کنش بیشتر بین اجزا و ساختار به هم فشرده‌تر کامپوزیت حاصل باشد (شکل ۱).

۳-۲- بررسی خواص مکانیکی

منحنی‌های تنش- کرنش فیلم‌های تهیه شده در (شکل ۱) نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌گردد، فیلم تهیه شده از کیتوسان سخت‌تر از فیلم ژلاتینی بوده و اختلاط آن‌ها سبب بهبود انعطاف‌پذیری کامپوزیت حاصل می‌گردد. هم‌چنین واضح است که با افزایش ژلاتین به کیتوسان از ۰ تا ۵۰٪ درصد ازدیاد طول افزایش یافته و افزودن مقدار بالاتر ژلاتین از ۵۰ تا ۱۰۰٪ سبب کاهش انعطاف‌پذیری فیلم‌ها گردیده است. نتایج به دست آمده را می‌توان به میزان رطوبت محتوی فیلم‌ها ارتباط داد که با نتایج کارهای تحقیقاتی صورت گرفته نیز تطابق دارد [۱۵ و ۵].

خصوصیات مکانیکی فیلم‌های به دست آمده به توزیع و دانسیته برهم‌کنش‌های درون و بین مولکولی در شبکه کامپوزیت بستگی دارد. برای کاربردهای نهایی لازم است فیلم‌های تهیه شده از استحکام کششی و انعطاف‌پذیری مناسب برخوردار باشند تا بتوانند تنش‌ها و کرنش‌های

تهیه فیلم بستهبندی زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از کیتوسان و ژلاتین



شکل ۱- منحنی‌های تنش-کرنش فیلم‌های تهیه شده

اعمال شده در مصارف مختلف را تحمل کنند. نتایج حاصل حاکی از آن است که برهم‌کنش بین ژلاتین و

1- Matrix

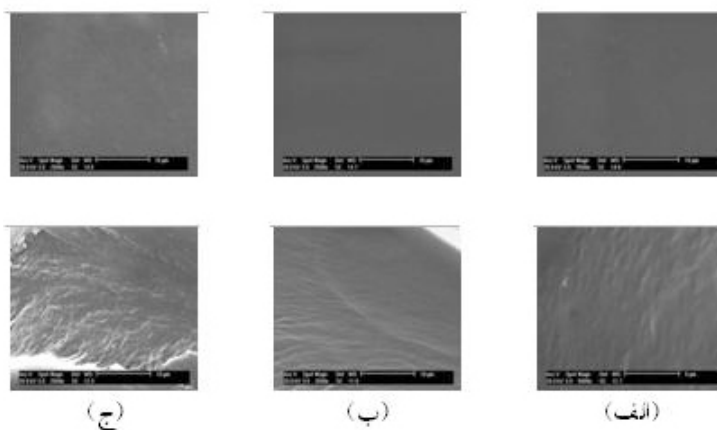
کیتوسان از طریق پیوندهای هیدروژنی و الکترواستاتیکی و در نتیجه تشکیل کمپلکس پلی‌الکترولیت بین گروه‌های آمین پروتونه^۱ کیتوسان و گروه‌های کربوکسیل آنیونیک ژلاتین، در ترکیب درصد برابر از این دو ماده (۵۰٪ ژلاتین-۵۰٪ کیتوسان) به بیشترین مقدار خود رسیده است.

۳-۳- بررسی مورفولوژی سطحی

تصاویر میکروسکوپ الکترونی در (شکل ۲) سطح نسبتاً صافی را برای فیلم‌های کیتوسان، ژلاتین و کامپوزیت حاصل از این دو نمایش می‌دهند که بیانگر همگن بودن و یکپارچگی ساختاری فیلم‌های تهیه شده است. این ساختار پیوسته و همگن در سطح مقطع نیز مشاهده شده، به نحوی که هیچ گونه حفره‌ای در آن‌ها دیده نشد. به نظر می‌رسد سطح مقطع کامپوزیت کیتوسان/ژلاتین نسبت به فیلم‌های به دست آمده از هر یک از اجزا به تنهایی ناهموارتر باشد. دلیل این ساختار به هم فشرده و متراکم، وجود برهم‌کنش بین اجزاست. به علاوه، ساختار یکپارچه کامپوزیت حاصل، فصل مشترک^۲ واضحی را بین اجزای تشکیل‌دهنده آن نشان نمی‌دهد که بیانگر سازگاری و اختلاط خوب کیتوسان و ژلاتین در سطح مولکولی است.

۳-۴- طیف‌سنجی مادون قرمز

طیف مادون قرمز فیلم‌های کیتوسان، ژلاتین و کامپوزیت ۵۰/۵۰ از آن‌ها در (شکل ۳) نشان داده شده است. طیف^۳ FTIR کیتوسان یک پیک جذبی پهن در محدوده $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ دارای بیشینه در 3410 cm^{-1} را نشان می‌دهد که مربوط به هم‌پوشانی ارتعاشات کششی O-H و N-H گروه‌های عاملی شرکت‌کننده در پیوندهای هیدروژنی می‌باشد. پیک‌های جذبی 2925 و 2860 cm^{-1} نمایانگر گروه‌های آلیفاتیک^۴ CH_2 و CH_3 در حلقه کربوهیدرات^۵ هستند. پیک بارز در 1610 cm^{-1} مد تغییر شکل CH_3 متقارن و ارتعاشات گروه‌های OH- و باندهای جذبی 1154 ، 1087 و 1029 ارتعاشات کششی پل (C-O-C) را نشان می‌دهند. هم‌چنین باند جذبی در 1564 cm^{-1} به همراه یک شانه در 1637 cm^{-1} پیک‌های مشخصه آمید II و I یا به عبارتی حضور گروه استیل- $\text{CH}_3\text{-C=O}$ را نشان می‌دهد. شانه کوچک در 1637 cm^{-1} نمایانگر این مطلب است که کیتوسان دارای درجه استیل‌زدایی بالاست [۶ و ۹].



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) کیتوسان، (ب) ژلاتین و (ج) کامپوزیت کیتوسان / ژلاتین ۵۰/۵۰.

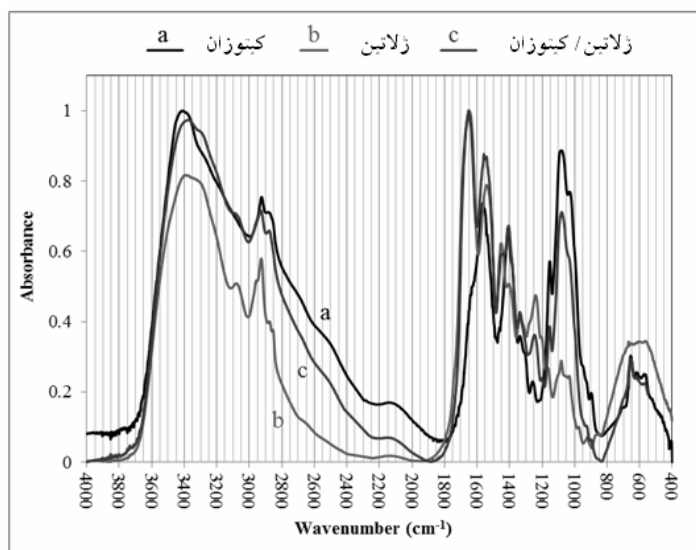
3- Spectra
4- Aliphatic
5- Carbohydrate

فصلنامه علمی-ترویجی علوم و فنون
بسته‌بندی

1- Protonated
2- Interface

پیوند هیدروژنی با گروه‌های کربوکسیل ژلاتین سبب کاهش ارتعاشات کششی C=O در ساختار ساکاریدی کیتوسان گردیده است [۱۰]. در مجموع تغییرات ایجاد شده در عدد موج و شکل پیک‌ها، نشان‌دهنده وجود برهم‌کنش قوی بین گروه‌های آمین کیتوسان و کربوکسیل ژلاتین از طریق اتصالات الکترواستاتیکی می‌باشد که منجر به ایجاد شبکه پلی‌مری همگن بدون ایجاد تغییر بارز در خصوصیات و ساختار شیمیایی اجزا گردیده است.

در مورد ژلاتین نیز پیک‌های شاخص پروتئین در cm^{-1} ۱۶۴۷ مربوط به ارتعاشات کششی C=O (آمید I)، cm^{-1} ۱۵۴۱ مربوط به ارتعاشات خمشی N-H (آمید II) و cm^{-1} ۱۲۴۰ مربوط به ارتعاشات کششی C-N، خمشی درون صفحه‌ای N-H (آمید III) و یا ارتعاشات گروه $-CH_2-$ گلیسین^۱ دیده می‌شود. پیک جذبی پهن در محدوده cm^{-1} ۳۲۰۰-۳۵۰۰^۱ در این پلی‌مر نیز به ارتعاشات کششی گروه‌های آمین و هیدروکسیل ارتباط دارد [۶].



شکل ۳- طیف مادون قرمز کیتوسان، ژلاتین و کامپوزیت کیتوسان/ژلاتین ۵۰/۵۰.

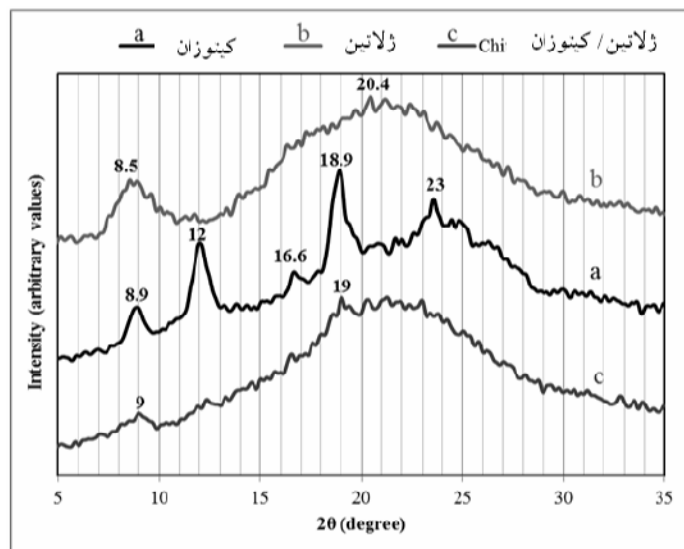
۳-۵- پراش پرتو ایکس

از طیف‌سنج پراش پرتو ایکس به منظور بررسی میکروساختار و بلورینگی نمونه‌ها استفاده شد. شکل (۴) نتایج حاصل از این آزمون را برای فیلم‌های کیتوسان، ژلاتین و کامپوزیت ۵۰/۵۰ از آن‌ها نشان می‌دهد. در مورد فیلم تهیه شده از ۱۰۰٪ کیتوسان، ۴ پیک بلوری در زوایای 2θ برابر ۱۸/۹°، ۱۶/۶°، ۱۲° و ۸/۹° و هم‌چنین یک پیک پهن آمورف^۳ با زاویه 2θ در مرکز ۲۳° مشاهده می‌گردد. پیک‌های مشاهده شده در ۸/۹° و ۱۲° مربوط به ساختار بلوری آبدار و پیک ۱۶/۶° مربوط به ساختار بلوری بدون آب می‌باشد. هم‌چنین پیک‌های ۱۲° و ۲۳° از پیک‌های

طیف مادون قرمز کامپوزیت تهیه شده از کیتوسان و ژلاتین نیز پیک‌های مشخصه هر یک از این دو جزء را همراه با تغییرات اندکی در برخی از نواحی طیف نشان می‌دهد. در واقع گروه‌های C=O ژلاتین با گروه‌های N-H کیتوسان واکنش داده (اتصال آمیدی) و باند جذبی مربوط به ارتعاشات کششی کربونیل^۲ در cm^{-1} ۱۶۵۲ و هم‌چنین ارتعاشات خمشی N-H در cm^{-1} ۱۵۵۳ نسبت به کیتوسان افزایش یافته است. در حالی که ارتعاشات کششی پل C-O-C در cm^{-1} ۱۰۸۰ و cm^{-1} ۱۱۵۴ کاهش پیدا کرده است. علاوه بر این، گروه‌های هیدروکسیل کیتوسان با برقراری

1- Glycine

2- Carbonyl



شکل ۴- پراش پرتو ایکس فیلم کیتوسان، ژلاتین و کیتوسان/ژلاتین ۵۰/۵۰

تقریباً ناپدید شده و شدت پیک‌های پراش در زوایای 90° و 190° به شدت کاهش یافته و پهن شده است. این مطلب بیانگر آن است که به کارگیری ژلاتین در کیتوسان سبب کاهش بلورینگی کیتوسان گردیده و لذا کامپوزیت حاصل دارای ساختار آمورف می‌باشد. نتایج به دست آمده وجود برهم‌کنش قوی بین اجزا و یا به عبارتی سازگاری خوب آن‌ها را مشابه نتایج طیف‌سنجی مادون قرمز تأیید می‌نماید [۵].

کاهش در بلورینگی کامپوزیت را می‌توان به علت شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی در زنجیرهای مولکولی کیتوسان و ژلاتین دانست که سبب تخریب ساختار بلوری آن‌ها گردیده است [۱۵]. به علاوه در هنگام تشکیل کمپلکس پلی‌الکترولیت، گروه‌های آمین کیتوسان با گروه‌های کربوکسیل ژلاتین پیوند هیدروژنی برقرار کرده و لذا کامپوزیت کیتوسان/ژلاتین حاصل می‌گردد که دارای ساختار آمورف می‌باشد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، از ترکیب کیتوسان و ژلاتین به روش قالب‌گیری، فیلم بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر و زیست‌سازگار تولید شد. نتایج به دست آمده از تصاویر

مشخصه کیتوسان بوده که به ترتیب نشان‌دهنده صفحات پراش 020° و 110° می‌باشند [۱۱]. وجود پیک‌های جدید در فیلم کیتوسان محتوی ماده پلاستیسیته^۲ کننده (گلیسرول) مربوط به صفحه پراش 020° بلورهای کیتوسان بوده و به فرایند تولید فیلم (حل شدن کیتوسان در اسید استیک) ارتباط دارد [۱۲].

در فیلم ژلاتین نیز دو پیک پراش در زوایای $8/5^\circ$ و $20/4^\circ$ دیده می‌شود. بیگی^۳ پیک مشاهده شده در زاویه $8/5^\circ$ را به قطر ماریچ سه گانه کلاژن ارتباط داد، به نحوی که شدت این پیک میزان این ساختار را در ژلاتین نشان می‌دهد. هم‌چنین پیک پهن بزرگ در مرکز تقریبی 20° بیانگر فاز آمورف ژلاتین می‌باشد [۱۳]. برگو^۴ و همکاران ساختار آمورف فیلم‌های ژلاتینی محتوی گلیسرول را به دلیل فقدان بلورینه شدن و عدم تشکیل نواحی شبه بلوری در حین فرایند تشکیل فیلم می‌دانند [۱۴]. همانند طیف‌سنجی مادون قرمز، در صورت عدم سازگاری بین اجزا، هر پلی‌مر ساختار بلوری خود را در اختلاط حفظ خواهد کرد، اما الگوی پراش کامپوزیت حاصل نشان داد که پیک‌های بلوری کیتوسان

- 1- Diffraction plane
- 2- Plasticized
- 3- Bigi
- 4- Bergo

A. "Composite and bi-layer films based on gelatin and chitosan", *Journal of food engineering*, 90(4): 531-539, 2009.

9. Thein-Han, W. W., Saikhun, J., Pholpramoo, C., Misra, R. D. K., & Kitiyanant, Y. "Chitosan-gelatin scaffolds for tissue engineering: Physico-chemical properties and biological response of buffalo embryonic stem cells and transfectant of GFP-buffalo embryonic stem cells", *Acta biomaterialia*, 5(9): 3453-3466, 2009.

10. Kim, S., Nimni, M. E., Yang, Z., & Han, B. "Chitosan/gelatin-based films crosslinked by proanthocyanidin", *Journal of biomedical materials research part B: applied biomaterials*, 75(2): 442-450, 2005.

11. Pawlak, A., & Mucha, M. "Thermogravimetric and FTIR studies of chitosan blends", *Thermochimica acta*, 396(1-2): 153-166, 2003.

12. Sionkowska, A., Wisniewski, M., Skopinska, J., Kennedy, C. J., & Wess, T. J. "Molecular interactions in collagen and chitosan blends", *biomaterials*, 25(5): 795-801, 2004.

13. Bigi, A., Panzavolta, S., & Rubini, K. "Relationship between triple-helix content and mechanical properties of gelatin films", *Biomaterials*, 25(25): 5675-5680, 2004.

14. Bergo, P., & Sobral, P. J. A. "Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films", *Food hydrocolloids*, 21(8): 1285-1289, 2007.

15. Cheng, M., Deng, J., Yang, F., Gong, Y., Zhao, N., & Zhang, X. "Study on physical properties and nerve cell affinity of composite films from chitosan and gelatin solutions", *Biomaterials*, 24(17): 2871-2880, 2003.

آدرس نویسنده

دانشکده مهندسی نساجی - دانشگاه صنعتی

امیرکبیر - تهران.

میکروسکوپ الکترونی، آنالیز طیف‌سنجی مادون قرمز و پراش اشعه ایکس، سازگاری و ایجاد برهم‌کنش قوی بین اجزا را نشان داد. همچنین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌ها به مقدار ژلاتین به کار رفته بستگی دارد، به نحوی که بهترین ترکیب در حضور ۵۰٪ ژلاتین حاصل شد. به نظر می‌رسد پیوندهای تشکیل شده بین کیتوسان کاتیونی و ژلاتین آنیونی در این ترکیب به بیشترین مقدار خود رسیده است.

۵- منابع

1. Rhim, J.W., & Ng, P.K.W. "Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications", *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(4): 411-433, 2007.
2. Azeredo, H.M.C. "Nanocomposites for food packaging applications", *Food research international*, 42(9): 1240-1253, 2009.
3. Dash, M., Chiellini, F., Ottenbrite, R.M., & Chiellini, E. "Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications", *Progress in Polymer Science*, 36(8): 981-1014, 2011.
4. Schrieber, R., & Gareis, H., *Gelatine handbook: theory and industrial practice*, New York: John Wiley & Sons, 2007.
5. Yin, Y.J., Yao, K.D., Cheng, G.X., & Ma, J.B. "Properties of polyelectrolyte complex films of chitosan and gelatin", *Polymer international*, 48(6): 429-432, 1999.
6. Pereda, M., Ponce, A.G., Marcovich, N.E., Ruseckaite, R.A., & Martucci, J.F. "Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity", *Food hydrocolloids*, 25(5): 1372-1381, 2011.
7. Liu, Z., Ge, X., Lu, Y., Dong, S., Zhao, Y., & Zeng, M. "Effects of chitosan molecular weight and degree of deacetylation on the properties of gelatine-based films", *Food hydrocolloids*, 26(1): 311-317, 2012.
8. Rivero, S., García, M. A., & Pinotti,