مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

فیلم زیست تخریب پذیر آلژینات سدیم/موسیلاژ دانه کتان/نوربیکسین/نانوذرات اکسید تنگستن: بررسی خواص رنگی، کریستالی، حرارتی، مکانیکی و ضدباکتریائی

حسین دادخواه[1*]، سجاد پیرسا[2]، افشین جوادی[3] ، فروغ محترمی[2]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد ممقان، دانشگاه آزاد اسلامی، ممقان، ایران.

۲- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳- گروه بهداشت مواد غذایی،دانشکده دامپزشکی، علوم پزشکی تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

کلمات کلیدی:

فیلم زیست تخریب پذیر،

مقاومت حرارتی،

مقاومت مکانیکی،

پلیمرهای ضدباکتریائی و بسته بندی هوشمند.

DOI: 10.22034/FSCT.19.135.31

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.135.4.0

* مسئول مکاتبات:

H.d2960050241@gmail.com

چکیده

در این تحقیق موسیلاژ دانه کتان استخراج شده و فیلم مرکب آلژینات سدیم و موسیلاژ دانه کتان تهیه شد. از رنگدانه نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن (WO_3) برای اصلاح ساختار فیلم استفاده شد. خواص رنگی، کریستالی، حرارتی و مکانیکی فیلم ها بررسی شد. همچنین خاصیت ضد باکتریایی فیلم‌های تهیه شده نسبت به باکتری اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس بررسی شد. نتایج بدست‌آمده نشان داد که با افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین شفافیت کاهش یافته است. تاثیر نانوذرات تگستن در کاهش شفافیت فیلم بیشتر از تاثیر نوربیکسین بوده است. بررسی فاکتور a نشان داد که با افزایش نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن این فاکتور افزایش یافت. بررسی فاکتور b نشان داد که با افزایش نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن این فاکتور افزایش یافت. با بررسی طیف XRD فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات مشخص شد که این فیلم دو پیک پهن در ۲ تتاهای ۱۰ و ۲۰ درجه نشان می دهد که نشان دهنده ساختار نسبتا آمورف این فیلم می باشد. در فیلم موسیلاژ/آلژینات اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن پیک‌های مربوط به نانوذرات کریستالی در ۲ تتاهای تقریبی ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۵۵ و ۶۵ درجه کاملا مشخص هست که نشان می د هد این نانوذرات ساختار کریستالی فیلم را بهبود بخشیده است. با بررسی منحنی‌های TGA فیلم‌ها مشخص شد که نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین پایداری حرارتی فیلم را افزایش داده است. بررسی خاصیت ضدباکتریائی فیلم ها نشان داد که افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین خاصیت ضدباکتریائی فیلم را به طور معنی داری ($p<0.05$) افزایش داده است.

۱- مقدمه

در سال های اخیر مشکلات محیط زیستی و آلودگی‌های زیستی ناشی از پلیمرهای سنتزی و نفتی محققین را به فکر واداشته تا به دنبال جایگزین های مناسب برای این پلیمرها باشند تا ضمن کاهش آلودگی های ناشی از پلیمرهای سنتزی، پلیمرهای جدید با قابلیت های استفاده جدید را ارائه دهند. بر این اساس در سال های اخیر استفاده از پلیمرهای طبیعی به عنوان مواد دوست دار محیط زیست و زیست تخریب پذیر مورد توجه محقیقین در سراسر دنیا بوده است[۳-۱]. پلیمرهای زیست تخریب پذیر از منابع طبیعی مانند موسیلاژ و صمغ های گیاهی یا منابع حیوانی مانند انواع پروتئین ها تهیه میشوند. پلیمرهای زیست تخریب پذیر و زیست پایه دارای طیف گسترده و دارای کاربردهای زیادی در داروسازی، پزشکی، باغبانی، کشاورزی، لوازم الکترونیکی مصرفی، خودرو، منسوجات و به ویژه بسته بندی هستند[۹-٤].

تخم کتان سرشار از چربی‌های سالم امگا ۳ و امگا ٦ و فیبرهای غذایی است. از جمله دیگر خواص تخم کتان خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالای آن است. لیگنان (آنتی اکسیدان موجود در موسیلاژ دانه کتان) نوعی فیبر پلی‌فنلی است که خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد. تنظیم هورمون‌ها، سلامت سلولی و خاصیت ضدپیری از ویژگی‌های لیگنان به‌شمار می‌روند. پلی‌فنل‌ها به رشد پروبیوتیک‌ها (میکروارگانیسم‌های زنده‌ای که برای سلامتی مفیدند) کمک می‌کنند و در زدودن مخمرها و قارچ کاندیدا از بدن مؤثرند. لیگنان‌ها خاصیت ضدمیکروبی و ضدویروسی دارند. بنابراین مصرف منظم آنها می‌تواند دفعات ابتلای فرد به سرماخوردگی و آنفولانزا را کاهش بدهد.یکی از مهم‌ترین خواص تخم کتان دارا بودن مقدار بالای موسیلاژ است. موسیلاژ نوعی فیبر با حالت ژله‌ای و محلول در آب است. موسیلاژ مانع تخلیه‌ی سریع مواد غذایی از معده به روده‌ی باریک می‌شود. در نتیجه خوردن دانه کتان باعث ایجاد احساس سیری طولانی‌تر شده و سبب می‌شود تا کالری کمتری مصرف نماییم و منجر به کاهش وزن می‌شود[۱۳-۱۰].

آلژینات سدیم یک پلی ساکارید خطی مشتق شده از اسید آلژینیک بوده که در دیواره سلولی جلبک های قهوه ای حضور دارد. آلژینات ها در چند دهه اخیر به دلیل ویژگی های فیزیک و شیمیایی منحصر به فرد و کاربرد های گسترده شان به عنوان یک پلیمر طبیعی، به طور چشمگیری توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند. این ترکیب نمکی مشتق شده از اسید آلژینیک می‌باشد. این اسید پلی ساکاریدی است که به طور گسترده ای در دیواره های سلولی جلبک های قهوه ای وجود داشته و هنگام هیدراته شدن یک صمغ چسبناک را تشکیل می دهد و قابلیت تشکیل فیلم های پلیمری را دارد. این ماده در محیط های اسیدی و حاوی کلسیم ژل های ارتجاعی را ایجاد می‌کند و به عنوان یک ماده ژل ساز سرد نیز شناخته شده است؛ چرا که برای ژلی شدن به هیچ گونه حرارتی نیاز ندارد.سدیم آلژینات به دلیل داشتن خاصیت ژلی کنندگی و غلیظ کنندگی به غیر از صنایع غذایی در صنایع داروسازی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته این ماده به غیر از نقشی که به عنوان یک ماده افزودنی ایفا می کند، کاربرد های دیگری نیز در دنیای پزشکی و داروسازی نیز دارد[۱٦-۱٤].

رنگ آناتو (Annatto) یک چاشنی غذا به رنگ نارنجی است که از دانه های درخت آشیوت که در مناطق گرمسیری در آمریکای جنوبی و مرکزی رشد می‌کند، استخراج می‌شود. رنگ آناتو یک رنگ خوراکی طبیعی است که رنگی شبیه به زعفران یا زردچوبه به خوراکی‌ها می‌دهد. آناتو شامل بسیاری از ترکیبات گیاهی با خاصیت آنتی اکسیدانی از جمله کاروتنوئیدها، ترپنوئیدها، فلاونوئیدها و توکوتری انولها است . آنتی اکسیدان ها ترکیباتی هستند که می توانند مولکول های بالقوه مضری به نام رادیکال های آزاد را خنثی کنند که در صورت افزایش بیش از حد می توانند به سلول های شما آسیب برسانند. تحقیقات نشان داده است که آسیب ناشی از سطح بالای رادیکال های آزاد به بیماری های مزمنی مانند سرطان ها، اختلالات مغزی، بیماری های قلبی و دیابت منجر خواهد شد. همچنین تحقیقات نشان می دهد این رنگ غذایی ممکن است خاصیت ضد میکروبی داشته باشد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که عصاره آناتو از رشد باکتریهای مختلف از جمله *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشریشیا کلی* جلوگیری می‌کند. علاوه بر این ، افزودن این رنگ به نان باعث مهار رشد قارچ ها و افزایش ماندگاری نان خواهد شد[۱۷و ۱۸].

اکسید تنگستن ترکیب شیمیایی با فرمول WO_3 است. این کریستال جامد به رنگ زرد است. در سال های اخیر، ساختارهای این اکسید به دلیل ویژگیهای منحصر به فرد خود توجه زیادی جلب کرده است. اکسید تنگستن یک ماده همه کاره با مزایای بسیار زیاد از جمله در دسترس بودن و هزینه ساخت پایین است. خواص نیمه هادی مطلوب این ترکیب شیمیایی باعث می شود که به عنوان فوتوکاتالیستی مورد استفاده قرار گیرد. این اکسید فلزی هزینه بسیار پایینی برای تولید دارد، سمیت بسیار کمی برای موجودات زنده ایجاد می کند و با محیط زیست سازگار است. این ویژگی ها همراه با یک پایداری شیمیایی بالا در محدوده pH مربوط به بسیاری از کاربردها و خواص نیمه هادی آن منجر به استفاده بسیار زیاد آن در صنایع مختلف شده است .پودر اکسید تنگستن (WO_3) یا نانو ذرات به شکل نانو سیالات یا ذرات اکسید با سطح بالا دارای مغناطیس هستند.فتوکاتالیست اکسید تنگستن نوعی تابش نور است، این ترکیب شیمیایی در طی واکنش شیمیایی نمی تواند خود را تغییر دهد، اما می تواند سرعت واکنش های شیمیایی را افزایش دهد. فتوکاتالیست به طور طبیعی با تبدیل شدن به یک کاتالیزور عمل می کند. تحقیقات اخیر خاصیت ضدباکتریائیاکسید تنگستن را نیز ثابت کرده است [۲۰و ۱۹].

با توجه به مشکلات آلودگی محیط زیست ناشی از پلیمرهای سنتزی و با توجه به ویژگی های مفید ذکر شده در مورد پلیمرهای طبیعی، موسیلاژ دانه کتان، آلژینات سدیم، رنگدانه نوربیکسین و اکسید تنگستن، تولید فیلم مرکب از این مواد طبیعی و سودمند بسیار مفید خواهد بود. لذا در این تحقیق فیلم دوست دار محیط زیست از مواد طبیعی با قابلیت ضد میکروبی تهیه شد که میتواند در بسته بندی فعال مواد غذایی استفاده شود و مدت زمان ماندگاری مواد غذایی حساس به فساد میکروبی را افزایش دهد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد شیمیایی

دانه کتان از فروشگاه گیاهان دارویی (ارومیه، ایران) تهیه شد. پودر نانوذرات اکسید تنگستن از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. آلژینات سدیم از شرکت تیناکم درتبریز خریداری شد (تبریز، ایران). محلول ۵ درصد نوربیکسین از شرکت آراز کیمیای جهان (تبریز، ایران) تهیه و استفاده شد. سایر ترکیبات شیمیایی مانند سیلیکاژل، سولفات کلسیم، سولفات پتاسیم، ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) و غیره از شرکت های مرک (آلمان) و آلدریچ (آمریکا) خریداری و استفاده شدند.

۲-۲- استخراج موسیلاژ دانه کتان

جهتاستخراج موسیلاژ، دانه کتان با آب مقطر با نسبت ۱ به ۴۰ مخلوط شده و با همزدن(همزن مکانیکی) در دمای ۵۰درجه سانتیگراد به مدت ۲ساعت حرارت داده شد. برای جداکردن اجزای نامحلول دانه از قسمت موسیلاژی طی دو مرحله از پارچه توری عبور داده شده و موسیلاژها جداسازی شده و تا زمان آزمون‌ها در یخچال در دمای ۰ درجه سانتی گراد نگه‌داری شد.

۲-۳- تهیه فیلم آلژینات سدیم/موسیلاژ دانه کتان/نوربیکسین/اکسید تنگستن

جهت تهیه فیلم ها، ۳ گرم موسیلاژ دانه کتان با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط شد، سپس به مدت ۱۵ دقیقه روی هیتر مغناطیسی مگنت دار قرار دادهشد و محلول از صافی عبور داده شد. در ادامه ۲ گرم آلژینات سدیم به محلول اضافه شده و ۱۵ دقیقه دیگر نیز روی هیتر مغناطیسی مگنت دار قرار داده شد تا محلول ژله ای یکنواختی تهیه شود. سپس به عنوان نرم کننده ۲ میلی لیتر گلیسرول به محلول فوق اضافه شده و دوباره به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. سپس محلول نوربیکسین و اکسید تنگستن مطابق طرح آماری (جدول ۱-الف) به ترتیب به محلول اضافه شده و سپس مواد مخلوط شده ۱۵ دقیقه روی هیتر در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در نهایت مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک (Hielscher UP400ST, Germany) اولتراسوند شد و سپس به مدت ۵ دقیقه حرارت داده شد. ۳۰ میلی لیتر از محلول تهیه شده بر روی قالب های پلی اتیلنی با قطر ۱۰ سانتی متر ریخته شده و در شرایط محیطی به مدت ۴۸ ساعت خشک شوند. در طی این مدت فیلم های با ضخامت مشخص تهیه شد که در نهایت فیلم های تهیه شده از قالب جدا شده و در کیسه‌های مخصوص زیپ دار نگه‌داری شد (شکل ۱-الف).

۲-٤- اندازه گیری ویژگی های رنگی

برای اندازه گیری فاکتورهای رنگی سیستم خاصی به شکل زیر طراحی شد: اتاقکی از جنس پلاستیک عایق نور در ابعاد ۱۰×۱۰×۲۰ سانتی متر طراحی شد که دریچه ای در ابعاد ۱×۱ سانتی متر در قسمت بالای آن تعبیه شده است. این روزنه جهت قرارگیری لنز دوربین تعبیه شده است. فاکتورهای رنگی بر حسب L (روشنایی – تیرگی)، a (قرمز – سبز) و b (زرد – آبی) بوسیله دوربین دیجیتال سامسونگ و با استفاده از نرم افزار Color-Grab مطابق شکل ۱-ب اندازه گیری شد. نرم افزار Color-Grab در حالت Lab قرار گرفته و فاکتورهای رنگی ثبت شدند.

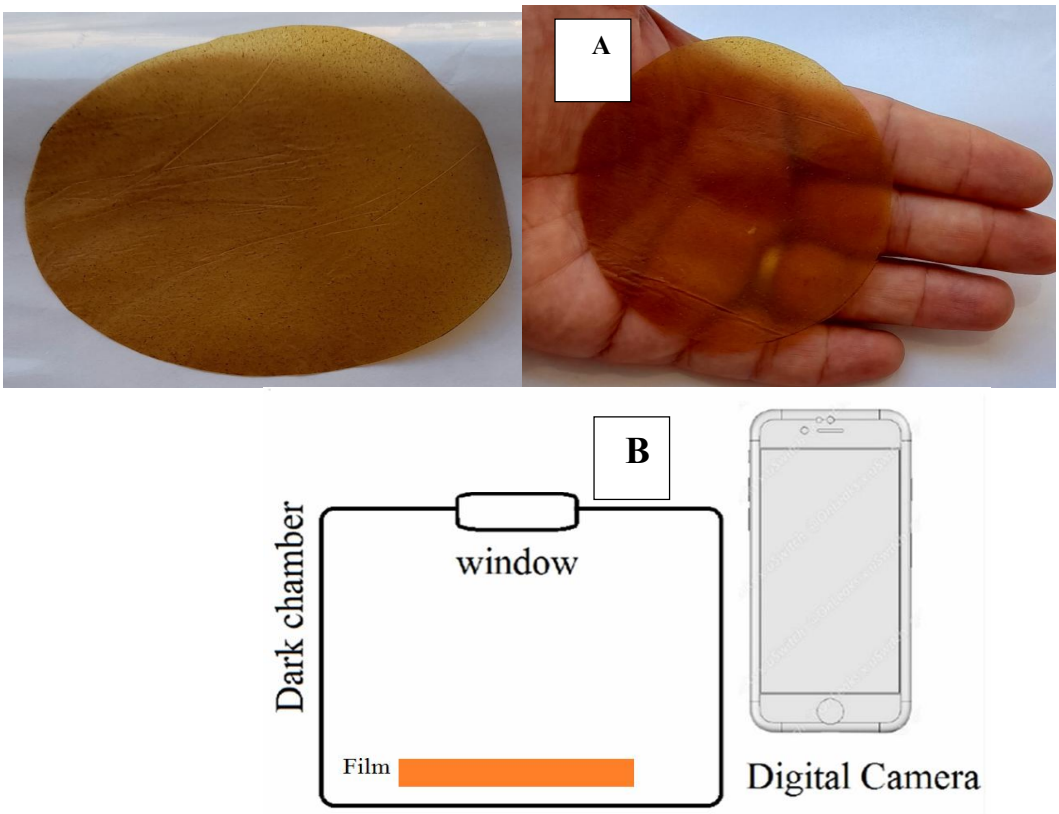

Fig 1 Examples of produced films (A) and film color factor measurement system (B)

۲-٥- اشعه ایکس پراش سنج (XRD)

از تکنیک XRD و با کمک دستگاه اشعه ایکس پراش سنج (Kristalloflex D500, Siemens, Germany) برای بررسی کریستالی یا آمورف ساختار استفاده شد. در این تکنیک در ابتدا نمونه های فیلم در جایگاه مخصوص دستگاه (سل نمونه) قرار داده شد. پرتوهای اولیه در دمای محیط به نمونه تابانده شد و پرتوهای بازتابشی در محدوده زاویه 2Θ = 0-80 جمع آوری شد. طیف های XRD نمونه ها به صورت اتوماتیک توسط دستگاه رسم شد. منبع تابش Cu Kα در طول موج 0.154 nm استفاده شد. مشخصات دستگاه شامل ژنراتور اشعه X در ٤٠ کیلو ولت و ٤٠ میلی آمپر می باشد.

۲-٦-تجزیه و تحلیل وزن سنجی حرارتی (TGA)

برای بررسی پایداری حرارتی فیلم ها از آزمون TGA توسط آنالایزر حرارتی (Linseis – L81A1750, Germany) استفاده خواهد شد. برای این کار، در ابتدا فیلم ها به صورت نمونه های ۱۰ میلی گرمی تهیه خواهند شد. نمونه های فیلم تحت جو نیتروژن ٥٠ cm^3/min در فنجان های آلومینیومی در

محدوده دمایی 30–600 °C حرارت داده خواهند. سرعت حرارت دهی ۱۰ °C/min خواهد بود. فنجان آلومینیومی خالی به عنوان مرجع در نظر گرفته خواهد شد و منحنی TGA توسط دستگاه رسم و ثبت خواهد شد.

۲-۷- ویژگی های مکانیکی

ویژگی های مکانیکی فیلم ها شامل کشش پذیری تا نقطه شکست (EB) و مقاومت کششی (TS) از فاکتورهای مهم برای بسته بندی مواد غذایی می باشد. برای بررسی ویژگی های مکانیکی، نمونه ها بهمدت ۲٤ ساعت در شرایط ویژه ای مشروط شد. شرایط ویژه شامل رطوبتنسبی خواهد۵۵ ٪ بود. فیلم هابا برشگر مخصوصی در ابعاد ۱×۸ سانتیمتر به صورت دمبلی شکل برش داده شد. فیلم ها در بین دوفک دستگاه قرار داده شد که فاصلهٔ اولیه بین دوفک ۵۰ میلیمتر بود. فکبالایی نسبت به فک پائینی با سرعت ۵ میلیمتر بر دقیقه حرکت داده شد. ویژگی های مکانیکی توسط یک کامپیوترثبت شد. از دستگاه بافت سنج با مارک (Zwick/Roell model FR010, Germany) برای انجام این تست استفاده شد.

۲-۸- خاصیت ضد میکروبی

با اندکی تغییر روش انتشار آگار برای تعیین خاصیت ضدباکتریایی فیلم ها استفاده شد.بدین منظور فیلم ها به شکل دیسک هایی (با قطر۱۵ میلی متر) برش داده شده و سپس بر روی صفحات مولر هینتون آگار حاوی استافیلوکوکوس اورئوس (Staphylococcus aureus) ATCC6538 و اشیرشیاکلی (Escherichia Coli) ATCC13706، با غلظت (10^7CFU/mL) قرار گرفتند. پلیت ها به مدت ۲٤ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد انکوبه شد.بعد از ۲٤ ساعت شعاع هاله های *عدم رشد باکتری* در اطراف فیلم‌ها (بر حسب میلی متر) با کولیس دقیق اندازه گیری شد.

۲-۹- آنالیز آماری

آنالیز آماری و تجزیه داده های بدست آمده در این تحقیق در دو بخش انجام شد. در بخش اول برای بررسی اثر دو فاکتور میزان نوربیکسین(میلی لیتر) و میزان اکسید تنگستن (میلی گرم) بر روی خواص رنگی از طرح آماری مرکب مرکزی (CCD) استفاده شد (جدول ۱- الف). از نرم افزار دیزاین اکسپرت-۱۰ برای طراحی آزمایشات و آنالیز داده ها در سطح احتمال ۹۵ درصد و رسم منحنی های سه بعدی استفاده شد. در قسمت دوم برای بررسی اثر اثر دو فاکتور میزان نوربیکسین (میلی لیتر) و میزان اکسید تنگستن (میلی گرم) بر روی خاصیت کریستالی، حرارتی و مکانیکی از طرح فاکتوریل در سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده شد (جدول ۱-ب).

Table 1 A List of films prepared based on the central composite design

Film	A: WO_3 (mg)	B: Norbixin (ml)
1	0.00	2.50
2	50.00	2.50
3	100.00	5.00
4	50.00	0.00
5	0.00	5.00
6	50.00	2.50
7	100.00	2.50
8	0.00	0.00
9	50.00	2.50
10	50.00	2.50
11	100.00	0.00
12	50.00	2.50
13	50.00	5.00

Table 1 B List of tests performed for crystalline, thermal and antimicrobial properties

Film	A: WO3 (mg)	B: Norbixin (ml)
***Control (Pure Muc/Al)**	0	0
Muc/Al/WO	100	0
Muc/Al/NB	0	5
Muc/Al/WO/NB	100	5

*** Muc:** Mucilage; **Al:** Alginate; **WO:** WO_3; **NB:**Norbixin

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی رنگی فیلم ها

رنگ فیلم های بسته بندی مواد غذایی بسیار مهم و قابل توجه می باشد. زیرا رنگ بسته بندی مواد غذایی علاوه بر اینکه می‌تواند از اکسیداسیون نوری مواد غذایی حساس به اکسیداسیون نوری جلوگیری کند می‌تواند در جذب مشتری نیز موثر باشد. همچنین در برخی مواد حضور نانوذرات فوتوکاتالیک در فیلم بسته بندی میتواند با جذب نور ضمن تغییر رنگ سطح فیلم با فعالیت فوتوکاتالیتیکی خاصیت ضدباکتریائی نیز داشته باشد.

شکل ۲ فاکتورهای رنگی فیلم موسیلاژ/آلژینات و کامپوزیت های آن را نشان می دهد. بررسی فاکتور L نشان میدهد فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات شفافیت خیلی بالایی ندارد و شفافیت حدود ۵۵ را نشان می دهد که با افزودن نانوذرات و رنگدانه نوربیکسین شفافیت کاهش یافته است به طوریکه فیلم موسیلاژ/آلژینات که هم حاوی نانوذرات اکسید تنگستن و هم حاوی نوربیکسین هست کمترین شفافیت را دارد. تاثیر نانوذرات تگستن در کاهش شفافیت فیلم بیشتر از تاثیر نوربیکسین بوده است. باتوجه به اینکه نانوذرات به صورت فیزیکی در بین زنجیره های پلیمری پخش می شوند، فضاهای خالی پلیمر را پر کرده و مانع عبور نور شده و منجر به کاهش شفافیت میشوند.

بررسی فاکتور a (سبزی–قرمزی) نشان می دهد که با افزایش نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن این فاکتور افزایش یافته است، یعنی به سمت اعداد مثبت تر که بیانگر قرمزی می باشد حرکت کرده است. تاثیر نوربیکسین در افزایش فاکتور a بیشتر از نانوذرات اکسید تنگستن بوده است. با توجه به ماهیت رنگدانه نوربیکسین که رنگی زرد متمایل به نارنجی دارد افزایش فاکتور a در اثر حضور نوربیکسین مورد انتظار می باشد. نانوذرات اکسید تنگستن نیز تاحدودی رنگ متمایل به زرد دارند که این ذرات نیز باعث افزایش فاکتور a شده اند.

همچنین بررسی فاکتور b (آبی–زردی) نشان می دهد که با افزایش نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن این فاکتور افزایش یافته است، یعنی به سمت اعداد مثبت تر که بیانگر زردی می باشد حرکت کرده است. تاثیر نوربیکسین در افزایش فاکتور b تقریبا با نانوذرات اکسید تنگستن برابر بوده است. با توجه به ماهیت رنگدانه نوربیکسین که رنگی زرد متمایل به نارنجی دارد و نانوذرات اکسید تنگستن نیز تاحدودی رنگ متمایل به زرد دارند، افزایش فاکتور b در اثر حضور نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن مورد انتظار می باشد.

Priyadarshi و همکاران (۲۰۲۱) تاثیر افزودنی ها (نانوذرات) را بر روی ویژگی های رنگی فیلم آلژینات بررسی کرده اند. آنها گزارش کردند که نانوذرات میتواند فاکتورهای رنگی، شفافیت و عبور نور فیلم ها را تحت تاثیر قرار دهد. نتایج این تحقیق مطابقت خوبی با نتایج Priyadarshi و همکاران دارد[۲۱].

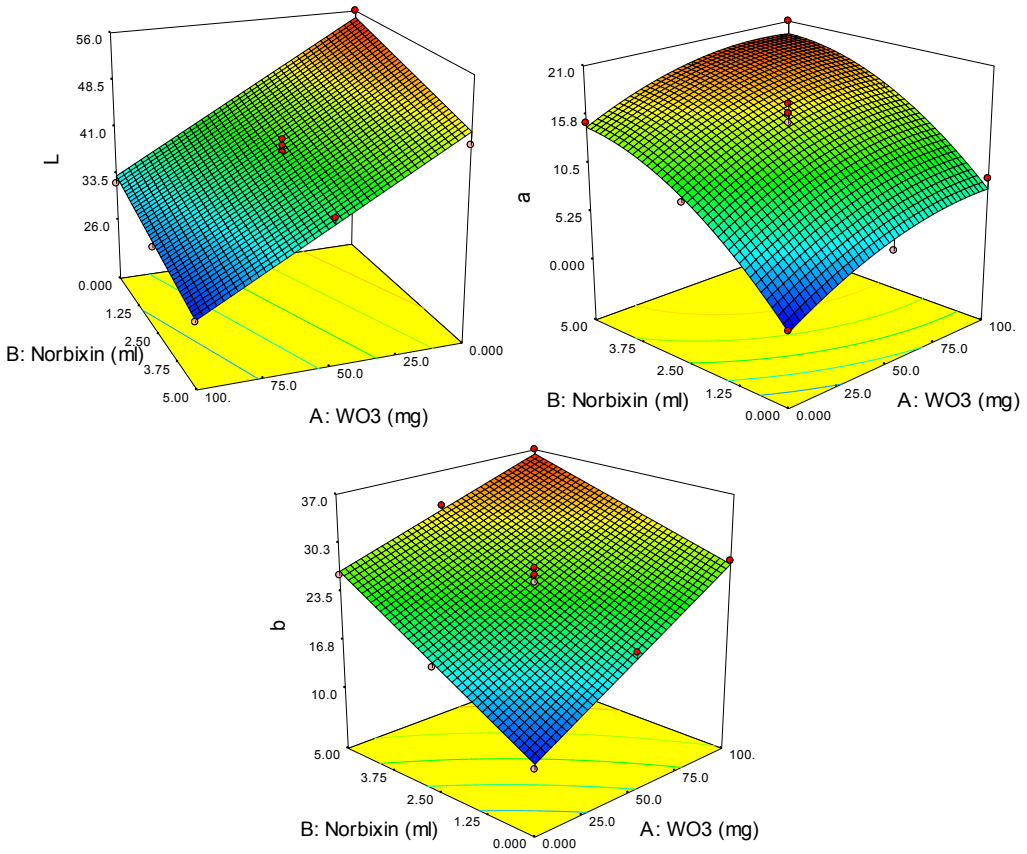

Fig 2 Three-dimensional curves of the effect of WO3 and norbixin on color factors of mucilage/alginate film and its composites

۳-۲- بررسی خواص کریستالی

شکل ۳ طیف های XRD فیلم موسیلاژ دانه کتان/آلزینات سدیم و کامپوزیت های مختلف آن را نشان می دهد. با بررسی طیف فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات مشخص شد که این فیلم دو پیک پهن در ۲ تتاهای ۱۰ و ۲۰ درجه نشان می دهد که نشان دهنده ساختار نسبتا آمورف این فیلم می باشد. تحقیقات انجام شده بر روی ساختار فیلم آلژینات سدیم خالص، این فیلم را فیلم نیمه کریستالی معرفی کرده اند که به دلیل وجود پیک در ناحیه ۱۰ درجه می باشد که در این مطالعه نیز همین پیک در ۲ تتای ۱۰ درجه دیده می شود ولی از آنجایی که مطالعات پیشین ساختار آمورف موسیلاژ دانه کتان را تایید کرده اند و باتوجه به اینکه همزمان آلژینات و موسیلاژ برای تهیه فیلم استفاده شده اند، فیلم تهیه شده ساختار نیمه کریستالی با تمایل به ساختار آمورف تشکیل شده است. در فیلم موسیلاژ/آلژینات اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن پیک های مربوط به نانوذرات کریستالی در ۲ تتاهای تقریبی ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۵۰، ۵۵ و ۶۵ درجه کاملا مشخص هست که نشان می‌دهد این نانوذرات ساختار کریستالی فیلم را بهبود بخشیده است. فیلم موسیلاژ/آلژینات اصلاح شده نیز ساختار نیمه کریستالی فیلم را نشان می‌دهد. با توجه به آنچه در مراجع گزارش شده است، نوربیکسین رنگدانه نیمه کریستالی با پیک هایی در ۲ تتاهای بین ۱۵ تا ۳۰ درجه می باشد که این پیک های در مطالعه حاضر نیز مشاهده می‌شود و به نوعی حضور نوربیکسین در ساختار فیلم نیز تایید می شود. در طیف XRD فیلم مرکب موسیلاژ/آلژینات اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین تمامی پیک های مربوط به اجزای سازنده فیلم مشاهده می‌شود که ساختار نیمه کریستالی تا کریستالی فیلم مرکب کاملا مشهود می‌باشد. قابل ذکر هست که پیک ناحیه ۲تتای ۲۰ درجه هم در موسیلاژ، آلژینات و هم در نوربیکسین خالص وجود دارد که در فیلم مرکب این پیک همپوشانی داشته و به صورت یک پیک مشاهده می‌شود.

Prado و همکاران در سال ۲۰۱۸ ساختار کریستالی/آمورف فیلم موسیلاژ دانه کتان را بررسی کرده اند. نتایج تحقیق آنها نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند[۲۲]. Bhagyaraj وKrupa (۲۰۲۰) ساختار کامپوزیت آلژینات سدیم را با استفاده از تکنیک XRD مطالعه کردند. آنها گزارش کردند که این فیلم ساختار نیمه کریستالی دارد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت خوبی نشان می دهد[۲۳]. Perotti و همکاران (۲۰۲۰) ساختار نیمه کریستالی آناتو را با استفاده از تکنیک XRD تایید کرده اند که نتایج تحقیق حاضر با نتایج آنها مطابق مناسبی نشان داد [۲٤]. Pang و همکاران (۲۰۱۲) ساختار های مختلف کریستالی اکسید تنگستن را بررسی کرده اند. نتایج تحقیق آنها از لحاظ پیک های مربوط به اکسید تنگستن در طیف XRD نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند[۲۵].

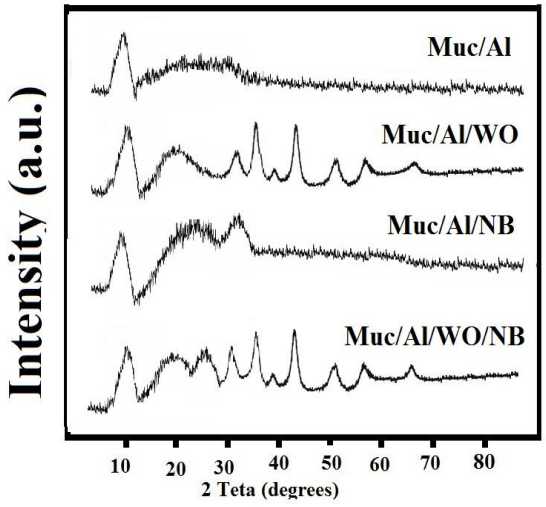

Fig 3 XRD spectra of flax seed mucilage film/sodium alginate and its various composites

۳-۳- بررسی خواص حرارتی

شکل ٤منحنی TGA فیلم موسیلاژ/آلژینات و کامپوزیت های آن را نشان می دهد. همانطور که از منحنی ها مشخص هست در هر ٤ فیلم بررسی شده کاهش وزن در اثر افزایش دما در دو مرحله اتفاق افتاده است. کاهش وزن مرحله اول در در محدوده دمایی ۷۰ تا ۱۳۰ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده است که این کاهش وزن مربوط به تبخیر مولکول های آب و سایر ترکیبات فرار احتمالی مانند گلیسرول مجود در ساختار فیلم ها می باشد. کاهش وزن مرحله دوم در محدوده دمایی ۲۰۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی گراد اتفاق افتاه است که این کاهش وزن مربوط به تخریب ساختار پلیمری فیلم کامپوزیت می باشد. با بررسی دقیق تر و مقایسه منحنی های TGA فیلم ها مشخص می شود که کاهش وزن مرحله دوم در فیلم های اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین نسبت به فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات در دمای بالاتری اتفاق افتاده است و همچنین در فیلم های اصلاح شده کاهش وزن در مرحله دوم نسبت به فیلم خالص کمتر بوده است. این نتایج نشان می دهد که نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین پایداری حرارتی فیلم را افزایش داده است. با توجه به اینکه دمای تخریب نانوذرات اکسید تنگستن بسیار بالاست بنابراین کاهش میزان تخریب مرحله دوم در حضور اکسید تنگستن طبیعی به نظر می رسد. همچنین احتمالا نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن با ایجاد برهمکنش های الکترواستاتیکی (نتیجه ای که با بررسی طیف های FTIR نیز تایید شده است) با زنجیره های پلیمری آلژینات و موسیلاژ دانه کتان، اتصالات شیمیایی بین پلیمری را بهبود بخشده که منجر به پایدری حرارتی فیلم مرکب شده است.

Salis و همکاران (۲۰۱٦) و Prado و همکاران (۲۰۱۸) رفتار حرارتی فیلم های آلژینات و فیلم موسیلاژ دانه کتان را بررسی کرده اند. نتایج این تحقیقات نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند[۲۲و ۲٦]. Teoh و همکاران (۲۰۰٤) رفتار حرارتی اکسید تنگستن را بررسی کرده اند که نتایج تحقیق آنها تاثیر اکسید تنگستن بر روی رفتار حرارتی فیلم زیست تخریب پذیر را تایید می کند[۲۷].

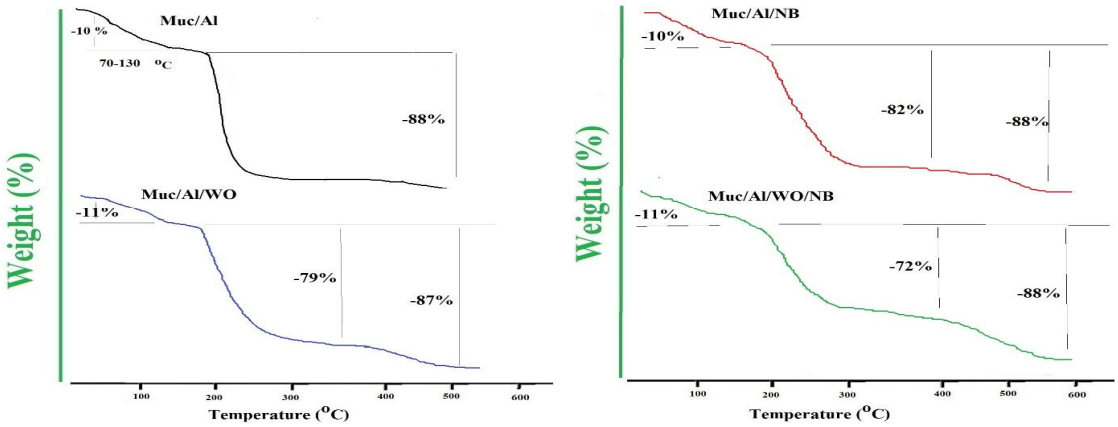

Fig 4 TGA curve of mucilage/alginate film and its composites

۳-٤- بررسی خواص مکانیکی

شکل ۵ نمودارهای ستونی خواص مکانیکی فیلم موسیلاژ/آلژینات و کامپوزیت های مختلف آن را نشان می‌دهد. داده های بدست آمده میانگین سه تکرار بوده است. بررسی نتایج مکانیکی فیلم ها نشان می دهد که فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات مقاومت مکانیکی مناسبی دارد. این فیلم تا حدود ٦٥ درصد قدرت کشش پذیری دارد و مقاومت کششی آن ۵۵ مگاپاسکال می باشد که برای بسته بندی مواد غذایی مناسب می باشد. با مقایسه نمودارهای ستونی می توان نتیجه گرفت که افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین باعث افزایش مقاومت کششی و بیشترین نیروی لازم برای شکستن فیلم شده است به طوریکه فیلم حاوی هر دو ماده (نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین) دارای بیشترین مقاومت کششی و ماکسیموم نیروی لازم برای شکستن فیلم می باشد. دلیل این رفتار را میتوان اینگونه توضیح داد که با افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین به فیلم نیروهای الکترواستاتیک بین زنجیره های پلیمری موسیلاژ/آلژینات و نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین ایجاد شده و استحکام ساختاری زنجیره های پلیمری را افزایش داده است. این پدیده در بررسی طیف های FTIR نیز مشاهده می‌شود که ایجاد برهمکنش های الکترواستاتیک بین زنجیره‌های پلیمری موسیلاژ/آلژینات و نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین را تایید میکند. اگرچه افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین به فیلم باعث افزایش مقاومت کششی و بیشترین نیروی لازم برای شکستن فیلم شده است ولی از طرف دیگر باعث کاهش کشش پذیری فیلم شده است. کاهش کشش پذیری فیلم ها شاید به دلیل استحکام ساختاری بیشتر فیلم ها و اتصالات عرضی محکم فیلم در حضور نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین باشد که باعث می شود فیلم تاحدودی انعطاف پذیری خود را از دست بدهد.

Pereira و همکاران (۲۰۱۱) خواص مکانیکی فیلم آلژینات و کامپوزیت های مختلف ان را بررسی کرده اند. نتایج تحقیق آنها نتایج تحقیق حاضر را تا حدود زیادی تایید می کند[۲۸]. Prado و همکاران (۲۰۱۸) تاثیر افزودنی های نانوساختار بر روی بهبود خواص مکانیکی فیلم بر پایه موسیلاژ دانه کتان را بررسی و آن را تایید کرده اند. نایج این تحقیق با نتایج Prado و همکاران مطابقت مناسبی نشان می دهد[۲۲].

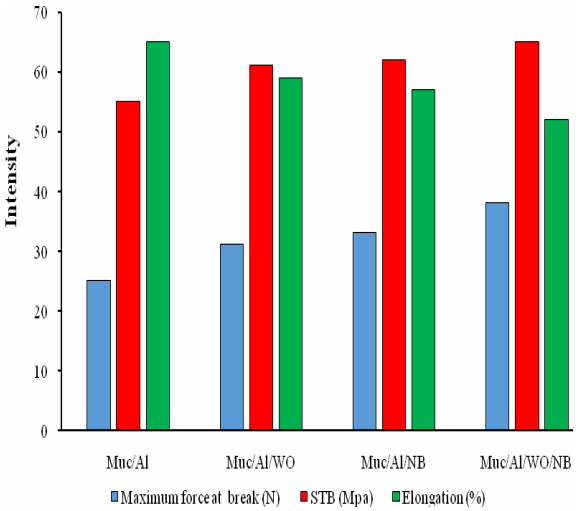

Fig 5 Bar graphs of mechanical properties of mucilage/alginate film and its different composites

۳-۵- خاصیت ضدباکتریائی

فیلم ها و پلیمر های ضدباکتریائیبه نام پلیمرهای آفت کش نیز معرفی می شوند. این فیلم ها دسته ای از مواد پلیمری هستند که دارای خاصیت ضد میکروبی می باشند و می توانند از رشد موجودات بسیار ریز مانند قارچ ها و باکتری ها جلوگیری نمایند. پلیمرهای ضدباکتریائی به گونه‌ای مهندسی می شوند تا بتوانند رفتاری مشابه با پپتایدهای ضدباکتریائیداشته باشند و بتوانند عوامل فساد آفرین در مواد غذایی و سایر بسته بندی ها را از بین ببرند. معمولا فیلم ها و پلیمرهای ضدباکتریائیبا اتصال و یا قرارگیری یک عامل ضدباکتریائی (مانند نانوذرات، عصاره ها یا رنگدانه ها) در داخل زنجیره اصلی ماده پلیمری به کمک پیوند دهنده های الکیل و یا آستیل تولید میشوند. این فیلم ها در بسته بندی محصولات غذایی با مهار رشد باکتری های فسادزا، تخریب ماده غذای را به تاخیر انداخته و باعث افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می شود.

جدول ۲ خاصیت ضدباکتریائی دو نوع باکتری گرم منفی (اشریشیا کلی) و گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) در حضور فیلم موسیلاژ/آلژینات و کامپوزیت های آن را نشان می دهد. بررسی خاصیت ضدباکتریائی ٤ نوع فیلم نشان می دهد که همه فیلم ها (حتی فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات) نسبت به باکتری گرم مثبت و گرم منفی فعالیت ضد میکروبی دارند. افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین خاصیت ضدباکتریائی فیلم را به طور معنی داری ($p<0.05$) افزایش داده است. بیشترین خاصیت ضدباکتریائی مربوط به فیلم موسیلاژ/آلژینات اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین می باشد.

اینکه فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات نیز خاصیت ضدباکتریائی داشته است به دو دلیل می تواند باشد، اول اینکه این فیلم می تواند به صورت فیزیکی باعث غیر فعال سازی باکتری ها شده و خاصیت ضدباکتریائی نشان دهد و دوم اینکه موسیلاژ دانه های گیاهی دارای پلی فنل های باقی مانده در ساختارشان می باشند که می تواند خاصت ضدباکتریائی به فیلم القا کند. رفتار ضد میکروبی نانوذرات بارها توسط محققین بررسی و تایید شده است، تحقیقات انجام شده بر روی اکسید تنگستن خاصیت ضد میکروبی آن را تایید می کند (Duan et al., 2019). نفوذ نانوذرات اکسید تنگستن به ساختار سلولی باکتری ها و ایجاد اختلال در چرخه زندگی باکتری ها باعث تخریب باکتری ها شده و آنها را از بین می برد. همچنین تحقیقات پیشین خاصیت ضدباکتریائی رنگدانه نوربیکسین را تایید کرده اند[۲۹]. با مقایسه خاصیت ضدباکتریائی ٤ فیلم نسبت به باکتری گرم مثبت و گرم منفی مشخص شد که هر ٤ فیلم در مقابل باکتری گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) فعالیت ضدمیکروبی بیشتری نسبت به باکتری گرم منفی (اشریشیا کلی) داشته اند. از آنجا که ساختار دیواره سلولی در باکتری های گرم مثبت نسبت به باکتری های گرم منفی ساده تر هست و نفوذ عوامل ضد میکروبی (نانوذرات و رنگدانه ها) به داخل سلول باکتریایی و تخریب آنها در باکتری های گرم مثبت راحت‌تر می باشد بنابراین نتیجه مشاهده شده قابل انتظار بود. Martos-Viuda و همکاران (۲۰۱۲) عصاره آناتو را استخراج کرده و خاصیت ضدباکتریائی آن را بررسی کرده اند. نتایج تحقیقات آنها نتایج تحقیق حاضر را تایید می کند [۳۰].

Table 2 Antibacterial properties of mucilage/alginate film and its composites

Diameter of non-growth area (mm)		B: Norbixin (ml)	A: WO_3 (mg)	Film
E. coli	*S. aureus*			
12±0.3[a]	18±0.65[a]	0	0	Control (Pure Muc/Al)
23±0.4[c]	28±0.8[c]	0	100	Muc/Al/WO
17±0.4[b]	22±0.3[b]	5	0	Muc/Al/NB
25±0.7[d]	32±0.7[d]	5	100	Muc/Al/WO/NB

* In each column, the non-identical letter indicates the significance of the differences at the 95% probability level.

٤- نتیجه گیری

با توجه به مشکلات آلودگی محیط زیست ناشی از پلیمرهای سنتزی و با توجه به ویژگی های مفید ذکر شده در مورد پلیمرهای طبیعی، موسیلاژ دانه کتان، آلژینات سدیم، رنگدانه نوربیکسین و اکسید تنگستن، تولید فیلم مرکب از این مواد طبیعی و سودمند بسیار مفید خواهد بود. لذا در این تحقیق فیلم دوست دار محیط زیست از مواد طبیعی با قابلیت ضد میکروبی تهیه شد و خواص رنگی، مکانیکی و حرارتی آن بررسی شد. بررسی فاکتور L نشان داد فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات شفافیت خیلی بالایی ندارد و شفافیت حدود ۵۵ را نشان می دهد که با افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین شفافیت کاهش یافت به طوریکه فیلم موسیلاژ/آلژینات که هم حاوی نانوذرات اکسید تنگستن و هم حاوی نوربیکسین هست کمترین شفافیت را داشت. بررسی فاکتور a (سبزی-قرمزی) نشان داد که با افزایش نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن این فاکتور افزایش یافته است، یعنی به سمت اعداد مثبت تر که بیانگر قرمزی می باشد حرکت کرده است. تاثیر نوربیکسین در افزایش فاکتور a بیشتر از نانوذرات اکسید تنگستن بوده است. با توجه به ماهیت رنگدانه نوربیکسین که رنگی زرد متمایل به نارنجی دارد افزایش فاکتور a در اثر حضور نوربیکسین مورد انتظار می باشد. نانوذرات اکسید تنگستن نیز تاحدودی رنگ متمایل به زرد دارند که این ذرات نیز باعث افزایش فاکتور a شده اند. بررسی فاکتور b (آبی-زردی) نشان داد که با افزایش نوربیکسین و نانوذرات اکسید تنگستن این فاکتور افزایش یافته است، یعنی به سمت اعداد مثبت تر که بیانگر زردی می باشد حرکت کرده است. با بررسی طیف فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات مشخص شد که این فیلم دو پیک پهن در ۲ تتاهای ۱۰ و ۲۰ درجه نشان می دهد که نشان دهنده ساختار نسبتا آمورف این فیلم می باشد. تحقیقات انجام شده بر روی ساختار فیلم آلژینات سدیم خالص، این فیلم را فیلم نیمه کریستالی معرفی کرده اند که به دلیل وجود پیک در ناحیه ۱۰ درجه می باشد که در این مطالعه نیز همین پیک در ۲ تتای ۱۰ درجه دیده می شود ولی از آنجایی که مطالعات پیشین ساختار آمورف موسیلاژ دانه کتان را تایید کرده اند و باتوجه به اینکه همزمان آلژینات و موسیلاژ برای تهیه فیلم استفاده شده اند، فیلم تهیه شده ساختار نیمه کریستالی با تمایل به ساختار آمورف تشکیل شد. با بررسی منحنی های TGA فیلم ها مشخص می شود که کاهش وزن مرحله دوم در فیلم های اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین نسبت به فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات در دمای بالاتری اتفاق افتاده است و همچنین در فیلم های اصلاح شده کاهش وزن در مرحله دوم نسبت به فیلم خالص کمتر بوده است. این نتایج نشان می دهد که نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین پایداری حرارتی فیلم را افزایش داده است. نتایج مکانیکی فیلم ها نشان داد که فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات مقاومت مکانیکی مناسبی دارد. این فیلم تا حدود ٦٥ درصد قدرت کشش پذیری دارد و مقاومت کششی آن ۵۵ مگاپاسکال می باشد که برای بسته بدی مواد غذایی مناسب می باشد. بررسی خاصیت ضدباکتریائی ٤ نوع فیلم نشان می دهد که همه فیلم ها (حتی فیلم خالص موسیلاژ/آلژینات) نسبت به باکتری گرم مثبت و گرم منفی فعالیت ضد میکروبی دارند. افزودن نانوذرات اکسید تنگستن و رنگدانه نوربیکسین خاصیت ضدباکتریائی فیلم را به طور معنی داری ($p<0.05$) افزایش داد. بیشترین خاصیت ضدباکتریائی مربوط به فیلم

موسیلاژ/آلژینات اصلاح شده با نانوذرات اکسید تنگستن و نوربیکسین بود.

۵- منابع

[1] Jabraili, A., Pirsa, S., Pirouzifard, M.K. and Amiri, S., 2021. Biodegradable nanocomposite film based on gluten/silica/calcium chloride: physicochemical properties and bioactive compounds extraction capacity. Journal of Polymers and the Environment, 29(8), pp.2557-2571.

[2] Hosseini, S.N., Pirsa, S. and Farzi, J., 2021. Biodegradable nano composite film based on modified starch-albumin/MgO; antibacterial, antioxidant and structural properties. Polymer Testing, 97, p.107182.

[3] Pirsa, S. and Asadi, S., 2021. Innovative smart and biodegradable packaging for margarine based on a nano composite polylactic acid/lycopene film. Food Additives & Contaminants: Part A, 38(5), pp.856-869.

[4] Acik, G., 2020. Preparation of antimicrobial and biodegradable hybrid soybean oil and poly (L-lactide) based polymer with quaternized ammonium salt. Polymer Degradation and Stability, 181, p.109317.

[5] Jiménez-Rosado, M., Perez-Puyana, V., Rubio-Valle, J.F., Guerrero, A. and Romero, A., 2020. Processing of biodegradable and multifunctional protein-based polymer materials for the potential controlled release of zinc and water in horticulture. Journal of Applied Polymer Science, 137(46), p.49419.

[6] Pirsa, S. and AghbolaghSharifi, K., 2020. A review of the applications of bioproteins in the preparation of biodegradable films and polymers. Journal of Chemistry Letters, 1(2), pp.47-58.

[7] Sani, I.K., Geshlaghi, S.P., Pirsa, S. and Asdagh, A., 2021. Composite film based on potato starch/apple peel pectin/ZrO2 nanoparticles/microencapsulated Zataria multiflora essential oil; investigation of physicochemical properties and use in quail meat packaging. Food Hydrocolloids, 117, p.106719.

[8] Asdagh, A., Karimi Sani, I., Pirsa, S., Amiri, S., Shariatifar, N., Eghbaljoo–Gharehgheshlaghi, H., Shabahang, Z. and Taniyan, A., 2021. Production and characterization of nanocomposite film based on whey protein isolated/copper oxide nanoparticles containing coconut essential oil and paprika extract. Journal of Polymers and the Environment, 29(1), pp.335-349.

[9] Sharifi, K.A. and Pirsa, S., 2021. Biodegradable film of black mulberry pulp pectin/chlorophyll of black mulberry leaf encapsulated with carboxymethylcellulose/silica nanoparticles: Investigation of physicochemical and antimicrobial properties. Materials Chemistry and Physics, 267, p.124580.

[10] Fabre, J.F., Lacroux, E., Valentin, R. and Mouloungui, Z., 2015. Ultrasonication as a highly efficient method of flaxseed mucilage extraction. Industrial Crops and Products, 65, pp.354-360.

[11] Roulard, R., Petit, E., Mesnard, F. and Rhazi, L., 2016. Molecular investigations of flaxseed mucilage polysaccharides. International journal of biological macromolecules, 86, pp.840-847.

[12] Pirsa, S., Dalili, R. and Yazdani, I., 2018. Effects of Quince Seed Mucilage and Guar Gum on the Physicochemical and Sensory Properties of Doogh. Journal of Agricultural Science and Technology, 20(3), pp.485-494.

[13] Daei, S., Mohtarami, F. and Pirsa, S., 2022. A biodegradable film based on carrageenan gum/Plantago psyllium mucilage/red beet extract: physicochemical properties, biodegradability and water absorption kinetic. Polymer Bulletin, pp.1-22.

[14] Ye, J., Ma, D., Qin, W. and Liu, Y., 2018. Physical and antibacterial properties of sodium alginate—sodium carboxymethylcellulose films containing Lactococcuslactis. Molecules, 23(10), p.2645.

[15] Hecht, H. and Srebnik, S., 2016. Structural characterization of sodium alginate and calcium alginate. Biomacromolecules, 17(6), pp.2160-2167.

[16] Shabkhiz, M.A., Pirouzifard, M.K., Pirsa, S. and Mahdavinia, G.R., 2021. Alginate hydrogel beads containing Thymus daenensis essential oils/Glycyrrhizic acid loaded in β-cyclodextrin. Investigation of structural, antioxidant/antimicrobial properties and

release assessment. Journal of Molecular Liquids, 344, p.117738.

[17] Scotter, M., 2009. The chemistry and analysis of annatto food colouring: a review. Food Additives and Contaminants, 26(8), pp.1123-1145.

[18] Mahendranath, G., Venugopalan, A., Parimalan, R., Giridhar, P. and Ravishankar, G.A., 2011. Annatto pigment production in root cultures of Achiote (Bixaorellana L.). Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 106(3), pp.517-522.

[19] Duan, G., Chen, L., Jing, Z., De Luna, P., Wen, L., Zhang, L., Zhao, L., Xu, J., Li, Z., Yang, Z. and Zhou, R., 2019. Robust antibacterial activity of tungsten oxide (WO3-X) nanodots. Chemical research in toxicology, 32(7), pp.1357-1366.

[20] Wang, Q., Wang, H., Zhang, T., Hu, Z., Xia, L., Li, L., Chen, J. and Jiang, S., 2021. Antibacterial Activity of Polyvinyl Alcohol/WO3 Films Assisted by Near-Infrared Light and Its Application in Freshness Monitoring. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 69(3), pp.1068-1078.

[21] Priyadarshi, R., Kim, H.J. and Rhim, J.W., 2021. Effect of sulfur nanoparticles on properties of alginate-based films for active food packaging applications. *Food Hydrocolloids*, *110*, p.106155.

[22] Prado, N.S., Silva, I.S.V.D., Silva, T.A.L., Oliveira, W.J.D., Motta, L.A.D.C., Pasquini, D. and Otaguro, H., 2018. Nanocomposite films based on flaxseed gum and cellulose nanocrystals. *Materials Research*, *21*.

[23] Bhagyaraj, S. and Krupa, I., 2020. Alginate-mediated synthesis of hetero-shaped silver nanoparticles and their hydrogen peroxide sensing ability. Molecules, 25(3), p.435.

[24] Perotti, G.F., Silva, F.F., de Couto, R.A., Lima, F.C., Petrilli, H.M., Leroux, F., Ferreira, A. and Constantino, V.R., 2020. Intercalation of Apocarotenoids from Annatto (Bixaorellana L.) into Layered Double Hydroxides. Journal of the Brazilian Chemical Society, 31, pp.2211-2223.

[25] Pang, H.F., Xiang, X., Li, Z.J., Fu, Y.Q. and Zu, X.T., 2012. Hydrothermal synthesis and optical properties of hexagonal tungsten oxide nanocrystals assisted by ammonium tartrate. physica status solidi (a), 209(3), pp.537-544.

[26] Salisu, A., Sanagi, M.M., Abu Naim, A., Abd Karim, K.J., Wan Ibrahim, W.A. and Abdulganiyu, U., 2016. Alginate graft polyacrylonitrile beads for the removal of lead from aqueous solutions. *Polymer Bulletin*, *73*(2), pp.519-537.

[27] Teoh, L.G., Shieh, J., Lau, W.H. and Hon, M.H., 2004. Effects of mesoporous structure on grain growth of nanostructured tungsten oxide. *Journal of materials research*, *19*(9), pp.2687-2693.

[28] Pereira, R., Tojeira, A., Vaz, D.C., Mendes, A. and Bártolo, P., 2011. Preparation and characterization of films based on alginate and aloe vera. International Journal of Polymer Analysis and Characterization, 16(7), pp.449-464.

[29] Handayani, I., Haryanti, P. and Sulistyo, S.B., 2021. Color and antibacterial activity of annatto extracts at various pH of distilled water solvent and extraction temperature. Food Research, 5(6), pp.247-253.

[30] Viuda-Martos, M., Ciro‐Gómez, G.L., Ruiz-Navajas, Y., Zapata‐Montoya, J.E., Sendra, E., Pérez-Álvarez, J.A. and Fernández‐López, J., 2012. In vitro Antioxidant and Antibacterial Activities of Extracts from Annatto (B ixaorellana L.) Leaves and Seeds. Journal of Food Safety, 32(4), pp.399-406.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Biodegradable film of Sodium alginate film/flax seed mucilage/norbixin/tungsten oxide: investigation of color, crystalline, thermal, mechanical and antibacterial properties

Dadkhah, H. [1*], Pirsa, S. [2], Javadi, A. [3] , Mohtarami, F. [2]

1. Department of Food Science and Technology, Mamaghan Branch, Islamic Azad University, Mamaghan, Iran
2. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3. Department of Food Hygiene, Faculty of Veterinary, Tabriz Medical Sciences, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2023/ 01/ 11
Accepted 2023/ 03/ 11

Keywords:

Biodegradable film,
Thermal resistance,
Mechanical resistance,
Antibacterial polymers and Smart packaging.

DOI: 10.22034/FSCT.19.135.31
DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.135.4.0

*Corresponding Author E-Mail:
H.d2960050241@gmail.com

ABSTRACT

In this research, flax seed mucilage was extracted. Composite film of sodium alginate and flax seed mucilage was prepared. Norbixin pigment and tungsten oxide (WO3) nanoparticles were used to modify the film structure. The color, crystallite, thermal and mechanical properties of the films were investigated. Also, the antibacterial properties of the prepared films against Escherichia coli and Staphylococcus aureus bacteria were investigated. The obtained results showed that the pure alginate/mucilage film does not have very high transparency, which is reduced by adding tungsten oxide nanoparticles and norbixin pigment. The effect of tungsten oxide nanoparticles in reducing film transparency has been greater than that of norbixin. Examining the factor a shows that this factor has increased with the increase of norbixin and tungsten oxide nanoparticles. Examining factor b (blue-yellow) shows that with the increase of norbixin and tungsten oxide nanoparticles, this factor has increased. By examining the XRD spectrum of the pure alginate/mucilage film, it was found that this film showed two broad peaks at 2θ of 10° and 20°, which indicates the relatively amorphous structure of this film. In the alginate/mucilage film modified with tungsten oxide nanoparticles, the peaks related to the crystalline nanoparticles in 2θ of approximately 25, 30, 35, 40, 50, 55 and 65 degrees are quite clear, which shows that these nanoparticles improve the crystalline structure of the film. By examining the TGA curves of the films, it was found that the addition of tungsten oxide nanoparticles and norbixin pigment increased the thermal stability of the film. Examining the antibacterial property of the films showed that the addition of tungsten oxide nanoparticles and norbixin pigment increased the antibacterial property of the film significantly ($p<0.05$).