

بررسی اثر افزودن کربوکسی‌متیل سلولز بر روی خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر ژلاتین ماهی سردآبی

*ژاله خوشخو^۱ و مهسا تبری^۱

^۱هیأت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۶

چکیده

در این پژوهش از ژلاتین ماهی سردآبی و کربوکسی‌متیل سلولز در تهیه فیلم استفاده گردید. ژلاتین ماهی سردآبی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های منحصر به فرد، هم‌چون با صرفه بودن از نظر اقتصادی، در دسترس بودن و قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری جایگاه ویژه در بین بسته‌بندی‌های خوراکی دارد. این پژوهش برای اولین بار به اصلاح و بهبود خواص مکانیکی فیلم‌های ژلاتین ماهی سردآبی در ترکیب با کربوکسی‌متیل سلولز می‌پردازد. فیلم‌های ژلاتین ماهی سردآبی به همراه کربوکسی‌متیل سلولز در غلظت‌های ۰/۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با استفاده از روش کاستینگ تهیه شد. خواص مکانیکی به روش استاندارد ملی آمریکا *ASTM D88210* انجام شد. در آزمون مکانیکی فیلم‌های ترکیبی با افزایش غلظت کربوکسی‌متیل سلولز استحکام کششی (TS) از ۲۱/۰۴ به ۲۷/۷۴ (MPa) و مدول یانگ از ۱۳۷۲/۸۳ تا ۱۸۴۲/۸۷ (کیلوگرم بر مترمکعب)، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و درصد کشیدگی از ۱۷/۶۹ تا ۱۵/۳۹ کاهش معنی‌داری نشان داد. با بررسی ایزوترم جذب فیلم‌های ترکیبی حاصل، مشخص شد که مقدار رطوبت آب تک‌لایه کم‌تر شده و باعث کاهش رطوبت تعادلی این فیلم‌ها می‌شود. با توجه به زیست‌تخریب‌پذیری بودن فیلم‌ها و بهبود خواص مکانیکی آن توسط کربوکسی‌متیل سلولز، می‌توان از این نوع بسته‌بندی در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت غذا و به‌عنوان پوشش خوراکی برای بسته‌بندی مواد غذایی و محصولات کشاورزی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: خواص مکانیکی، زیست‌تخریب‌پذیر، ژلاتین ماهی سردآبی، فیلم‌های خوراکی، کربوکسی‌متیل سلولز

مقدمه

بسته‌بندی پوششی است که ماده غذایی را در برابر عواملی مانند رطوبت، اکسیژن، میکرواورگانیزم، گرما، حشرات، خاک و ... حفاظت می‌کند. مواد بسته‌بندی که از مشتقات نفتی تهیه شده زیست‌تخریب‌پذیر نبوده و در طبیعت به کندی تجزیه می‌شود و برای سلامتی مضر می‌باشد. طی سال‌های اخیر، یافتن جایگزینی مناسب برای پلاستیک‌های سنتزی، به‌طوری‌که زیست‌تخریب‌پذیری بالایی داشته و

آلودگی زیست‌محیطی کم‌تری بر جای بگذارد توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است. برای جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی استفاده از منابع تجدیدپذیر کشاورزی پیشنهاد می‌شود (Razak و همکاران، ۲۰۱۴؛ Veeramachineni و همکاران، ۲۰۱۶). بایوپلیمرها به‌عنوان یک پتانسیل خوب در جایگزینی بسته‌بندی‌های مواد غذایی بر مبنای پلیمرهای سنتزی قرار گرفته‌اند که به اصطلاح مواد بسته‌بندی سبز نامیده می‌شوند (Abdolahi و همکاران، ۲۰۱۲). فیلم‌های خوراکی به لایه نازکی از

* نویسنده مسئول: zh_khoshkhoo@iau-tnb.ac.ir

کربوکسی متیل سلولز غیرسمی و ازران است. به دلیل حلالیت بالا در آب سرد و گرم، ایجاد ویسکوزیته در محلول توانایی تشکیل فیلم، خاصیت چسبندگی و... کاربرد فراوانی در تولید مواد غذایی دارد (Açkar و همکاران، ۲۰۱۵؛ Lemlioglu و همکاران، ۲۰۱۲؛ Ghanbarzadeh و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین برای افزایش انعطاف پذیری و کشش پذیری و مقاومت مکانیکی فیلم‌ها از پلاستی‌سایزرها که شامل موادی مانند آب، استون، اسیدهای چرب، الکل‌های گلیسرول و... می‌باشد، استفاده می‌شود که با تغییر شبکه سه‌بعدی مقاومت مکانیکی را افزایش می‌دهد که علاوه بر کارایی بالا باید غیرسمی و خوراکی باشند (Tabari، ۲۰۱۷). فیلم‌ها باید نسبت به شکستگی و خراشیدگی مقاوم باشند و از خود انعطاف پذیری نشان دهند. خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی به نوع ماده تشکیل دهنده فیلم و به خصوص به پیوستگی ساختمان آن بستگی دارد. هدف از این کار تحقیقاتی ترکیب مستقیم بایوپلیمرها و تولید فیلم‌های خوراکی با خاصیت زیست تخریب پذیری بالا و بهبود خواص مکانیکی و افزایش قابل استفاده آن در صنعت غذا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ژلاتین ماهی سردابی با (۱۲ درصد رطوبت) از شرکت سیم (در ناحیه پنگ، مالزی) گلیسرول و سوربیتول مایع از لیانگ Traco (در ناحیه پنگ مالزی) کربوکسی متیل سلولز از شرکت گلوکوزان فروین خریداری شد.

روش تهیه فیلم: نسبت‌های مشخصی از ژلاتین ماهی سردابی و کربوکسی متیل سلولز با غلظت‌های (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) و طبق روش کستینگ و با اضافه کردن نسبت ۱ به ۳ از سوربیتول گلیسرول ۴۰ درصد (w/w از ژلاتین) با هم ترکیب و به مدت ۱ ساعت بر

مواد خوراکی اطلاق می‌شود که به عنوان پوشش روی ماده غذایی استفاده می‌شود. ژلاتین از جمله پلی ساکاریدهایی است که به فراوانی و با هزینه کم قابل تولید است. به وفور در طبیعت یافت می‌شود، به دلیل قیمت پائین، خاصیت ترموپلاستیکی، قابلیت تجدیدشوندگی و بازیافت زیستی، یکی از مواد خام جذاب و مورد علاقه برای استفاده در بسته‌بندی‌های خوراکی محسوب می‌گردد (Mariño و همکاران، ۲۰۱۵؛ Park و همکاران، ۲۰۰۰). ژلاتین ماهی سردابی به دو صورت سنتی و مدرن عموماً از پوست و ضایعات ماهی استخراج می‌شود. ترکیبات کلی و خواص فیزیکوشیمیایی ژلاتین حاصل از ضایعات مختلف ماهی چندان متفاوت نیست. ژلاتین ماهی خصوصیات بی نظیر و منحصر به فرد خود را دارد اما بعضی از ویژگی‌های فیزیولوژیکی، شیمیایی آن کاملاً مشابه کاساوا و سیبزمینی می‌باشد (Hugh و Krochta، ۱۹۹۴؛ Hong و همکاران، ۲۰۱۶). ژلاتین به دلیل دارا بود برخی معایب نمی‌تواند به تنهایی فیلم مطلوبی تولید کند، خاصیت آبدوستی شدید و مقاومت ضعیف فیلم در برابر رطوبت و خواص مکانیکی ضعیف آن در مقایسه با پلیمرهای سنتزی مهم‌ترین معایب فیلم ژلاتین می‌باشند که باعث محدود شدن استفاده از این بایوپلیمر در زمینه‌های مختلف می‌شود. برای بهبود خواص فیلم‌های خوراکی و پوشش دهنده‌ها از مخلوط کردن مستقیم بایوپلیمرها و پلاستی‌سایزرها استفاده می‌کنند. بایوکامپوزیت یا فیلم‌های مرکب زیست تخریب پذیر، از ۲ یا چند بایوپلیمر تشکیل شده‌اند. کربوکسی متیل سلولز یکی از مشتقات سلولز است که محلول در آب بوده و به تنهایی قادر است فیلم‌های انعطاف پذیر و مستحکمی را تشکیل دهد. کربوکسی متیل سلولز به دلیل تشابه شیمیایی که با ژلاتین دارد می‌تواند خواص مکانیکی ممانعت‌کنندگی فیلم‌های ژلاتین را بهبود بخشد.

می‌شود)، ε (بدون بعد)، این درجه جابه‌جایی نسبت به طول نمونه مورد ارجاع است:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

که در آن، L جابه‌جایی (میلی‌متر) است و L_0 طول منبع است (میلی‌متر). طول نقطه پارگی به‌عنوان یک درصد نسبی از انعطاف‌پذیری مقایسه‌ای فیلم‌ها گزارش شد. مدول یانگ (MPa). این پارامتر برابر است با شیب خط منحنی stress-strain برای Elongation‌های پایین (Van den Berg، ۱۹۸۶؛ Parra و همکاران، ۲۰۰۴).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

ویژگی‌های مکانیکی در هر پارگی مشخص شدند. استرس و استرین پارکنندگی (σ ، ε) برای هر نمونه محاسبه شد. بخش آزمایش به‌طور چشمگیری در طی اندازه‌گیری تفاوتی نکرد. میتوان برای تعریف کردن رفتار خاص ماده به‌عنوان ترد (شکست در محدوده الاستیک) یا ductile (شکست در پلاستیک)، از شکل منحنی‌های stress-strain استفاده کرد. ASTM D88210 با تغییری (اصلاحی) برای تعیین کردن ویژگی‌های مکانیکی در شرایط استاندارد مورد استفاده قرار گرفت (ASTM، ۲۰۱۰). نوارهای فیلم به‌طول ۱۰۰ میلی‌متر و عرض ۲۰ میلی‌متر بریده شد و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۳ درصد تنظیم شد آنالیزکننده بافت مجهز شده با نرم‌افزار 32 Texture Exponent به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی فیلم به‌کار گرفته شد. جداسازی سرعت اولیه و سرعت crosshead به‌ترتیب ۵۰ میلی‌متر و ۳۰ میلی‌متر بر دقیقه بود. Elongation و قدرت کشش در نقطه پاره شدن از تغییر شکل و نیروی داده ثبت شده توسط

روی هات‌پلیت قرار داده شد. سوسپانسیون ژلاتین تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد، سپس برای کامل کردن ژلاتیناسیون به‌مدت ۴۵ دقیقه نگهداری شد. حجم مناسبی از محلول سازنده فیلم باپیپت روی صفحاتی از جنس پلی‌متیل متاکریلات (با نام تجاری Plexiglass) با ابعاد ۱۶*۱۶ و ضخامت ۲ میلی‌لیتر ریخته شد و طی ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاه (دمای ۲۵ درجه و رطوبت نسبی ۵۰ درجه) خشک گردید و سپس از سطح صفحات جدا شده و 2 ± 23 درجه سانتی‌گراد و با رطوبت نسبی (5 ± 50 درصد) داخل دسیکاتور نگهداری شدند. تمام فیلم‌ها (شامل کنترل) در سه مرتبه آماده شدند (ASTM، ۲۰۱۰).

اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها: برای اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها از ریزسنج دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۰۱ میلی‌متر) استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در ۵ نقطه فیلم تکرار شد، میانگین ضخامت محاسبه شد و در تعیین مقاومت کششی و نفوذپذیری به بخار آب استفاده گردید (Bertuzzi و همکاران، ۲۰۰۷).

ویژگی‌های مکانیکی: آزمایشی برای ارزیابی تغییر شکل (کشش آمدن) با یک سرعت ثابت در یک نمونه از اندازه‌های استاندارد شده به‌کار گرفته شد تا نیروی برآیند مورد نیاز برای پارگی مواد اندازه‌گیری شود از روی منحنی‌های نیرو و در برابر جابه‌جاشدگی یک تعداد از پارامترها تعیین شدند. فشار کشش (همچنین قدرت کشش نامیده می‌شود)، σ ، در Pa بیان شد (Van den Berg، ۱۹۸۶؛ Parra و همکاران، ۲۰۰۴). σ برابر است با نیروی اندازه‌گیری شده مورد نیاز پاره کردن این بخش از نمونه:

$$\sigma = F/A$$

که در آن، F نیرو بر حسب نیوتن (N) و A مساحت بخشی از نمونه مورد آزمایش (عرض در مترمربع \times ضخامت) امتداد داشتن (همچنین کشش نامیده

نرم افزار محاسبه شد. ۸ تکرار هر نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت.

ایزوترم جذب: موازنه آزمون جذب در ۳ تکرار برای هر رطوبت نسبی اندازه گیری شد و به صورت گرم جذب آب بر گرم فیلم خشک گزارش شد. داده‌ها تجربی جذب در معادله G.A.B جایگزین شد. معادله G.A.B به وسیله رابطه زیر تعریف می شود (Parra و همکاران، ۲۰۰۴):

$$W = \frac{WmCKaw}{(1 - Kaw)(1 - Kaw + CKaw)}$$

که در آن، Wm ، C و K پارامترهای معادله G.A.B هستند، W محتوی رطوبت (بر مبنای خشک) و aw فعالیت آبی است. برای ارزیابی دقت و صحت معادله G.A.B داده‌های تجربی برای ایزوترم جذب به صورت درصد متوسط ضریب انحراف نسبی (E) برای فیلم‌ها محاسبه شد. توسط رابطه زیر داده می شود:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|mi - mpi|}{mi}$$

که در آن، N مقدار داده‌های تجربی mi و map به ترتیب میزان آزمایشی پیش‌بینی شده بود (داده‌های تئوری) در مدل E میزان زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده جایگزینی مناسب است (Van den Berg، ۱۹۸۶؛ Parra و همکاران، ۲۰۰۴).

بحث و نتیجه گیری

نتایج نشان داد، هنگامی که غلظت‌های کربوکسی متیل سلولز در فیلم از ۰ تا ۲۰ درصد افزایش یافت، مقاومت به کشش مربوط به این فیلم‌ها از ۲۱/۰۴ تا ۲۶/۹۹ MP_a و مقدار مدول یانگ (نسبت تنش به کرنش در ناحیه خطی) نیز با افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز از ۱۳۷۲/۸۳ تا

۱۸۴۲/۸۷ افزایش یافت. معمولاً یانگ مدول به صورت معنی دار با TS رابطه مستقیم دارد. مقادیر مقاومت کششی فیلم‌های حاوی کربوکسی متیل سلولز به صورت معنی داری ($P > 0.05$) بیش تر از فیلم‌های کنترل بود. افزایش مقاومت کششی به دلیل تعامل سطحی بین ماتریکس ژلاتین و پرکننده‌ها می باشد که به علت تشابه شیمیایی بین ساختمان پلی ساکاریدها است. افزودن کربوکسی متیل سلولز در مقایسه با فیلم کنترل تأثیر معنی داری بر روی کاهش میزان درصد کشیدگی فیلم نداشت. میزان درصد کشیدگی با افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز (از ۰ تا ۲۰ درصد)، از ۱۷/۷۰ تا ۱۵/۴۰ به صورت معنی داری ($P > 0.05$) کاهش یافت.

قنبرزاده و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی اثر کربوکسی متیل سلولز بر روی ژلاتین ترکیبی پرداختند که افزودن کربوکسی متیل سلولز به فیلم‌های ژلاتینی باعث بهبود خواص مکانیکی این فیلم‌ها می شود بدون این که تأثیری بر روی انعطاف پذیری آن‌ها داشته باشد.

Li و Jahit به بررسی اثر کلرید کلسیم بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی فیلم‌های خوراکی آلژینات ساگو پرداختند. طی این بررسی فیلم‌های خوراکی از مخلوط ژلاتین ماهی سرد آبی با آلژینات با نسبت‌های مختلف تهیه شد. افزایش غلظت کلرید کلسیم مقاومت کششی فیلم‌های خوراکی مخلوط ژلاتین ماهی سرد آبی - آلژینات را افزایش داده اما باعث افزایش درصد کشیدگی این فیلم‌ها شده است (Li و همکاران، ۲۰۱۱؛ Jahit و همکاران، ۲۰۱۶).

Blahovec و همکاران (۲۰۱۰)، گزارش کردند که افزودن کربوکسی متیل سلولز به فیلم پروتئین سویا به دلیل واکنش و اتصال بین زنجیره‌های پلی مری پروتئین باعث بهبود خواص مکانیکی این فیلم‌ها شد.

Zeppa و همکاران (۲۰۰۹)، پژوهش‌هایی در زمینه خصوصیات مکانیکی فیلم‌های خوراکی حاصل

کششی و درصد ازدیاد طول افزایش یافت، در حالی که بالای یک درصد گلیسرول این خصوصیات کاهش یافتند. همچنین Qi و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند در سطوح بالای یک درصد گلیسرول یک افزایش در میزان پلی اتیلن گلیکول به طور قابل توجهی درصد ازدیاد طول را افزایش داد.

از نشاسته کاساوا را مورد بررسی قرار داد. آن‌ها فیلم‌هایی از نشاسته کاساوا که از مخلوطی با گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول به عنوان نرم‌کننده و گلاتارآلدئید به عنوان اتصال‌دهنده عرضی، که شفاف و انعطاف‌پذیر بودند، تولید کردند. در فیلم‌های حاصله در سطح یک درصد گلیسرول با افزایش میزان گلاتارآلدئید، نیروی

جدول ۱- پارامترهای مکانیکی برای فیلم‌های ژلاتین حاوی کربوکسی متیل سلولز

Young's modulus	Elongation	Tensile Stress	Concentration
۱۷/۶۹۷۳	۱۳۷۲/۶۵	۲۰/۲۹۲۶	Control Gelatin
۱۲/۰۹۷۴	۲۰۲۰/۸۲	۲۸/۴۶۲۲	Control Cmc
۱۷/۴۸۴۰	۱۴۶۴/۵۳	۲۲/۵۷۱۴	۵ درصد
۱۶/۸۷۳۵	۱۵۷۱/۶۲	۲۵/۰۰۱۴	۱۰ درصد
۱۵/۹۶۴۵	۱۷۲۲/۲۴	۲۶/۴۶۹۶	۱۵ درصد
۱۵/۰۳۵۲	۱۸۴۲/۳۲	۲۶/۹۹۹۳	۲۰ درصد

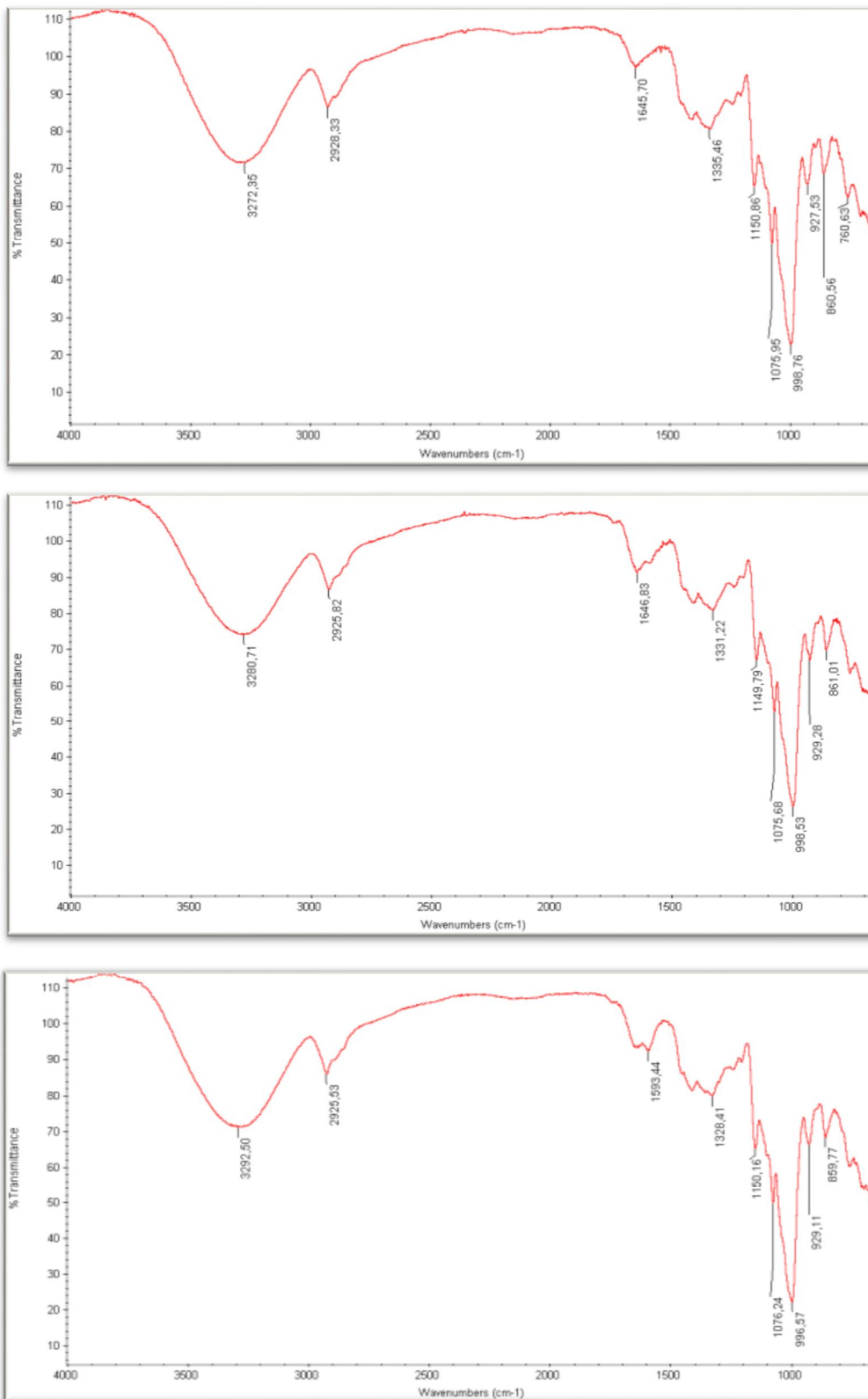
ساختار و کاهش انتشار مولکول‌های آب از شبکه ژلاتین می‌شود.

همچنین نتایج مشابهی نیز توسط پژوهشگران دیگر به دست آمد که کاهش در آب جذب شده توسط مخلوط‌های پلیمری و کامپوزیت‌های زیستی را از طریق اضافه نمودن فیبرهای سلولزی - همی سلولزی را مشاهده کردند.

افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش جذب رطوبت فیلم‌های ترکیبی می‌شود. همچنین Hebeish و همکاران (۲۰۱۰) فیلم‌هایی از نشاسته ذرت با مقادیر متفاوت اسیدسیتریک و کربوکسی متیل سلولز تولید کردند افزایش غلظت اسیدسیتریک و کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش جذب رطوبت فیلم‌های ترکیبی می‌شود (Hebeish و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج تعامل مواد شیمیایی (FTIR): برای مطالعه واکنش بین کربوکسی متیل سلولز و فیلم نشاسته ساگو مورد استفاده قرار گرفت. طیف فیلم‌ها همان‌طور به ترتیب همه طیف‌ها الگوهای مشابه جذب IR مادون قرمز را نشان می‌دهند این بیانگر آن است که هیچ واکنشی بین ترکیبات فعال کربوکسی متیل سلولز و گروه‌های عملگرای فیلم نشاسته ساگو وجود ندارد.

ایزوترم جذب: بررسی‌ها نشان داد که با افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز میزان آب تک‌لایه فیلم‌ها (M_0) کم‌تر شده است که بیانگر کاهش میزان محتوای رطوبت فیلم‌ها می‌باشد. که به دلیل خاصیت هیدروفیلی کربوکسی متیل سلولز است. اضافه کردن کربوکسی متیل سلولز باعث بهبود شبکه ژلاتین می‌شود. به طوری که ژلاتین می‌تواند با گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل ماکرو مولکول‌های کربوکسی متیل سلولز تشکیل پیوند هیدروژنی می‌دهد که منجر به تقویت



شکل ۱- وضعیت تعاملی واکنش‌ها و تعاملات شیمیایی به ترتیب در فیلم ژلاتینی شاهد، فیلم حاوی ۳ و ۵ درصد کربوکسی متیل سلولز

جدول ۲- پارامترهای معادله GAB برای فیلم‌های ژلاتین حاوی کربوکسی متیل سلولز

E (%)	K	C _G	M ₀	Concentration
۷/۹۱	۰/۸۴۲	۸۴۸/۶۸۲	۰/۰۸۴	CMC control
۷/۱۳	۰/۸۴۶	۱۰۴/۱۸۰	۰/۱۰۳	Gelatin control
۷/۹۹	۰/۸۴۴	۱۳۳/۷۵۴	۰/۰۹۹	CMC درصد ۵
۶/۴۹	۰/۸۴۳	۲۳۳/۶۴۱	۰/۰۹۶	CMC درصد ۱۰
۶/۶۷	۰/۸۴۲	۶۵۷/۵۴۴	۰/۰۹۴	CMC درصد ۱۵
۶/۳۴	۰/۸۵۸	۶۷۷/۰۰۰	۰/۰۸۹	CMC درصد ۲۰

نتیجه‌گیری نهایی

بررسی‌های انجام شده بر روی فیلم‌های ترکیبی ژلاتین ماهی سردآبی و کربوکسی متیل سلولز نشان داد که:

۱. افزایش غلظت کربوکسی متیل سلولز باعث کاهش میزان رطوبت تعادلی فیلم‌های ترکیبی و منجر به بهبود خواص مکانیکی فیلم‌های ژلاتینی شد. که شامل افزایش مقاومت به کشش پذیری (ts) و همچنین سختی (young modulus) فیلم‌های ترکیبی، در مقایسه با فیلم کنترل می‌شود.
۲. از آنجایی که فیلم‌های ترکیبی تهیه شده جز بایوپلیمرها

می‌باشند و بایوپلیمرها خاصیت زیست تخریب پذیری دارند بنابراین، این فیلم‌ها قابلیت تجزیه شدن در محیط زیست را بر خلاف پلی‌مرهای سنتزی دارا می‌باشند.

۳. با توجه به ارزان بودن بایوپلیمرها نسبت به پلی‌مرهای سنتزی، فیلم‌های تهیه شده از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است.

۴. با توجه به نتایج به دست آمده، فیلم‌های ترکیبی نسبت به فیلم کنترل خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بهتری را نشان دادند که قابلیت استفاده در صنایع بسته‌بندی را دارا می‌باشد.

منابع

- Abdolahi, A., Hamzah, E., Ibrahim, Z., and Hashim, S., 2012. Synthesis of Uniform Polyaniline Nanofibers through Interfacial Polymerization. *Materials*, 5, 1487-1494.
- Ačkar, Đ., Babić, J., Jozinović, A., Miličević, B., Jokić, S., Miličević, R., Rajič, M., and Šubarić, D., 2015. Starch Modification by Organic Acids and Their Derivatives: A Review. *Molecules*, 20, 19554-19570.
- ASTM., 2010. "Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting D88210." Annual book of ASTM standards. Philadelphia, PA.
- Bertuzzi, M.A., Castro Vidaurre, E.F., Armada, M., and Gottifredi, J.C., 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *J. Food Eng.* 80, 972-978.
- Blahovec, J., 2004. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. *J. Food Eng.* 65, 489-495. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.012>.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., Ali, A., and Entezami, 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 11, 697-702.
- Hebeish, A., Higazy, A., ElShafei, A., and Sharaf, S., 2010. Synthesis of carboxymethyl cellulose (CMC) and starchbased hybrids and their applications in flocculation and sizing.

- Carbohydr. Polym. 79, 60-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.07.022>.
- Hong, J., Zeng, X.A., Brennan, C.S., Brennan, M., and Han, Z., 2016. Recent Advances in Techniques for Starch Esters and the Applications: A Review. *Foods*. 5, 50.
- Hugh, H., and Krochta, J.M., 1994. Milk Protein based edible films and coating, *J. Food Technol.* 11 (48), 97-103.
- Jahit, I.S., Nazmi, N.N.M., Isa, M.I.N., and Sarbon, N.M., 2016. Preparation and physical properties of gelatin/CMC/Chitosan composite films as affected by drying temperature. *I. F. R. J.*, 23, 1068-1074.
- Lemlioglu, D., Turner, N.D., McDonough, C.M., and Rooney, L.W., 2012. Effects of Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Crude Extracts on Starch Digestibility, Estimated Glycemic Index (EGI), and Resistant Starch (RS) Contents of Porridges. *Molecules*, 17, 11124-11138.
- Li, H., Wu, B., Mua, C., and Lin, W. 2011. Concomitant degradation in periodate oxidation of carboxymethyl cellulose. *Carbohydr. Polym.* 84, 881-886. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.026>.
- Mariño, M., Iops da Silva, L., Durán, N., and Tasic, L., 2015. Enhanced Materials from Nature: Nanocellulose from Citrus Waste. *Molecules*, pp. 5908-5923.
- Park, S.K., Hettiarachchy, N.S., and Were, L., 2000. Degradation Behavior of Soy Protein Wheat Gluten Films in Simulated Soil Conditions. *J. Agric. Food Chem.* 48, 3027-3031.
- Parra, D.F., Tadini, C.C., Ponce, P., and Lugao, A.B., 2004. Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films, *Carbohydr. Polym.* 58: 475-481.
- Qi, X.M., Liu, S.Y., Chu, F.B., Pang, S., Liang, Y.R., Guan, Y., Peng, F., and Sun, R.C., 2016. Preparation and Characterization of Blended Films from Quaternized Hemicelluloses and Carboxymethyl cellulose. *Materials*, 9, 4.
- Razak, N.I.A., Ibrahim, N.A., Zainuddin, N., Rayung, M., and Saad, W.Z., 2014. The Influence of Chemical Surface Modification of Kenaf Fiber using Hydrogen Peroxide on the Mechanical Properties of Biodegradable Kenaf Fiber/Poly (Lactic Acid) Composites. *Molecules*, 19, 2957-2968.
- Tabari, M., 2017. Investigation of Carboxymethyl Cellulose (CMC) on Mechanical Properties of Cold Water Fish Gelatin Biodegradable Edible Films. *Foods*, 6, 41.
- Van den Berg, C., 1986. Water activity. In: *Concentration and Drying of Foods*, ed. D. MacCarthy, London: Elsevier Applied Science Publishers. pp. 11-36.
- Veeramachineni, A.K., Sathasivam, T., Muniyandy, S., Janarthanan, P., Langford, S.J., and Yan, L.Y., 2016. Optimizing Extraction of Cellulose and Synthesizing Pharmaceutical Grade Carboxymethyl Sago Cellulose from Malaysian Sago Pulp. *Appl. Sci.* 6, 170-178.
- Zeppa, C., Gouanve, F., and Espuche, E., 2009. Effect of a plasticizer on the structure of biodegradable starch clay nanocomposites: thermal, water sorption, and oxygen barrier properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 112, 2044-2056.

Evaluation mechanical properties of Cold Water Fish Gelatin Biodegradable Edible Films by adding carboxy methyl cellulose

***Zh. Khoshkhoo¹ and M. Tabari¹**

¹Faculty of Member, Dept. of Food Science and Technology, Tehran North Branch,
Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

In the present study, cold water fish gelatin with carboxy methyl cellulose was used to produce films. Because of its unique properties such as cost-effectiveness, availability, and biodegradability, cold water fish gelatin has earned a special place in food packaging. In this research, improving mechanical properties of cold water fish gelatin films combined with carboxy methyl cellulose was investigated for the first time. Gelatin films of cold water fish with carboxy methyl cellulose at concentrations of 5%, 10%, 15% and 20% were prepared by a casting method. Mechanical properties were assessed according to the American National Standard ASTM D88210. Films were tested for mechanical properties, and the results showed that increasing concentrations of carboxy methyl cellulose significantly increased Tensile Strength (TS) from 21.04MPa to 27.74MPa and significantly increased Young's Modulus from 1372.83 kg/m² to 1842.87 kg/m², but insignificantly decreased percentage elongation from 17.69 to 15.39. Examining absorption isotherm of the resulting composite films showed a reduction in single-layer moisture content, which had led to reduced equilibrium moisture of these films. Given biodegradability of these films and their improved mechanical properties by carboxy methyl cellulose, this kind of packaging can be used in various industries, especially food industry, as food covering in packaging foods and agricultural produce.

Keywords: Biodegradable; Carboxy Methyl Cellulose; Cold Water Fish Gelatin; Edible Film; Mechanical Properties

* Corresponding author; zh_khoshkhoo@iau-tnb.ac.ir