



تولید بسته‌بندی هوشمند بر پایه صمغ درخت هلو و کورکومین به منظور تشخیص فساد ماهی

مصطفی جعفریان^{۱*}، اسماعیل سیدآبادی^۲، محمدحسین سعیدی‌راد^۳، جلال برادران مطیع^۴، محمد حسین پور زرنق^۵

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی کشاورزی و دامپزشکی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۴- استادیار، گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۵- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده	اطلاعات مقاله
هدف از این پژوهش تعیین فرمولاسیون مطلوب و ساخت بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر با ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مناسب و سپس تولید یک نشانگر زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه کورکومین به منظور تشخیص فساد ماهی است. به منظور ساخت بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر، تأثیر غلظت‌های مختلف گلیسرول (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی فیلم، مورد ارزیابی قرار گرفت. با افزایش غلظت گلیسرول، ضخامت، جذب آب، حلالیت و کشش‌پذیری فیلم افزایش یافت؛ در حالی که چگالی و مقاومت کششی روند کاهشی را نشان داد ($p < 0.05$). نتایج آزمون میکروبی نشان داد که فیلم حاوی کورکومین دارای خاصیت ضد میکروبی قوی در برابر باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت است (با قطر هاله ۶/۱ و ۴/۸ میلی‌متر به ترتیب در برابر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس و اشریشیا کلی). در ادامه تحقیق، اثر تغییرات رنگ نشانگر بر روی ماهی فاسد شده با استفاده از پارامترهای رنگی مورد بررسی قرار گرفت. به طور کلی مشاهده گردید که فیلم‌های هوشمند و فعال تولید شده تغییرات رنگی قابل توجهی در مواجهه با فساد ماهی داشتند.	تاریخ‌های مقاله : تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
	کلمات کلیدی: بسته‌بندی هوشمند، صمغ درخت هلو، کورکومین، گلیسرول.
	DOI: 10.52547/fsct.18.117.171
	* مسئول مکاتبات: m.jafarian@ut.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه افزایش خطرات زیست‌محیطی استفاده از بسته‌بندی‌های تولید شده از ترکیبات نفتی سبب افزایش تمایل به استفاده از پلیمرهای طبیعی برای بسته‌بندی مواد غذایی شده است. به طور کلی انتظار می‌رود استفاده از پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر بتواند قدری از این مشکلات زیست‌محیطی را کاهش دهد. این زیست‌پلیمرها بیشتر از منابع حیوانی و گیاهی شامل پروتئین‌ها (ژلاتین، کلاژن، پروتئین آب‌پنیر، سویا، ذرت و ...) و کربوهیدرات‌ها (آگار، کیتین/کیتوزان، پکتین، کارژینان و...) تشکیل می‌شوند. پوشش‌های تهیه شده از پلیمرهای طبیعی مانند پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها علاوه بر زیست‌تخریب‌پذیری بودن می‌تواند در حفظ کیفیت مواد غذایی نیز نقش داشته باشند [۱].

گونه‌های متفاوت *Prunus* متعلق به خانواده گل سرخسی‌ها هستند که در اثر پدیده‌ای به نام گاموسیس^۱، صمغ از تنه و شاخه‌های درختان این خانواده تراوش می‌شود. پدیده گاموسیس در اثر عواملی از جمله تنش کم‌آبی، آسیب‌های مکانیکی و بیماری درخت اتفاق می‌افتد. این صمغ‌ها به‌طور عمده از آرایینوز و گالاکتوز تشکیل شده‌اند [۲]. صمغ‌های خانواده گل سرخسی‌ها دارای کاربردهایی از جمله استفاده دارویی در ایران و همچنین صنایع قنادی در کشور سوریه می‌باشند و به‌صورت ترکیبی با دیگر صمغ‌ها از جمله عربی، گاتی و کتیرا مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳]. مطالعات مختلفی برای بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی صمغ‌های خانواده گل سرخسی‌ها انجام شده است. فتحی و همکاران به بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی صمغ درخت زردآلو پرداختند. آن‌ها دریافتند که این صمغ دارای ماهیت آنیونی بوده و دارای ساختار آرایینوگالاکتان است. همچنین مشخص شد که محلول این صمغ در ناحیه رقیق دارای ویسکوزیته ذاتی پایینی است [۴و۵].

تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از صمغ درخت هلو در تولید بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر گزارش نشده است. از این رو در این پژوهش سعی در تولید فیلم زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه این زیست‌پلیمر داریم.

از طرفی یکی از چالش‌های عمده در صنعت غذا، تشخیص فساد

1. Gummosis

مواد غذایی به صورت کم‌هزینه، ساده، غیرتهاجمی و غیرمخرب است. برای رسیدن به این هدف، بسته‌بندی هوشمند می‌تواند یک گزینه مناسب باشد. بسته‌بندی‌های هوشمند توانایی نظارت بر شرایط غذایی در زمان واقعی را دارند. یک نوع از این بسته‌بندی‌های هوشمند، با استفاده از تغییرات pH قادر به شناسایی تغییرات و فساد ماده غذایی است. ساده‌ترین نوع این بسته‌بندی، قادر است به صورت بصری تغییرات pH ماده غذایی را در طول نگهداری به نمایش بگذارد [۶]. در بسیاری از مواد غذایی رشد میکروارگانیسم‌ها باعث تولید انواعی از متابولیک‌ها می‌شود که قادر به تغییر pH هستند. یکی از این مواد غذایی ماهی قزل‌آلا است. این ماهی، منبعی غنی از اسیدهای چرب امگا-۳ به‌ویژه اسیدهای ایکوزانوئیک^۲ و دوکوزانوئیک^۳ است که دریافت کافی آن‌ها در رژیم غذایی روزانه، به دلیل آثار مفید تغذیه‌ای، جلوگیری و درمان احتمالی بسیاری از بیماری‌ها و اختلالات قلبی اخیراً مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۷].

فعالیت میکروارگانیسم‌ها به ویژه باکتری‌های گوناگونی از جمله سودوموناس‌ها^۴، آلتروموناس^۵ و یا پروتئوس^۶ و... می‌تواند از نیتروژن غیرپروتئینی موجود در ماهی و میگو ترکیباتی تولید کند که هر کدام به‌نوبه خود اثراتی مخرب و نابود کننده داشته باشند. در این تبدیل برخی ترکیبات از جمله تری‌متیل آمین اکسید^۷ به عنوان ماده اولیه مناسب محسوب می‌گردد که توسط این میکروارگانیسم‌ها به تری‌متیل آمین تبدیل می‌شود که یکی از مهم‌ترین ترکیبات شاخص در فساد ماهی است. بیشتر ترکیباتی که حضور آن‌ها نشانه فساد ماهی‌ها است، از دسته مواد فرار یا آلی حلقوی هستند که میکروارگانیسم‌های فسادزای ماهی با تخریب پروتئین‌ها باعث تولید آمین‌های فرار از جمله تری‌متیل آمین، دی‌متیل آمین^۸، آمونیاک، هیستامین، پوتریسین^۹ و کاداورین^{۱۰} می‌شوند.

2. Ecozanoic acid
3. Docosaheaxaenoic acid
4. Pseudomonas
5. Alteromonas
6. Proteus
7. Trimethylamine oxid
8. Dimethylamine
9. Portisins
10. Cadvarin

همزن مغناطیسی حرارتی (Heidolph MR3001K) به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور بر دقیقه در دمای آزمایشگاه هم زده شد. سپس صمغ تهیه شده با غلظت ۸ درصد به محلول اضافه گردید و به مدت ۱۸۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه عمل اختلاط انجام پذیرفت. مخلوط به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا آبگیری به صورت کامل انجام شود. سپس در پلیت شیشه‌ای با قطر ۱۴ سانتی‌متر قالب‌گیری گردید. قالب‌ها در خشک‌کن هوای داغ با دمای ۴۰°C به مدت ۱۸ ساعت قرار داده شد تا فیلم‌ها خشک شوند. به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیلم، از فیلم‌های سالم و بدون حباب استفاده شد.

۲-۳- آماده‌سازی فیلم‌های هوشمند حاوی

کورکومین

پس از تهیه محلول ۸ درصد (وزنی-وزنی) صمغ درخت هلو، کورکومین با درصد وزنی ۵ درصد به محتوای پلیمر موجود در محلول اضافه شد. محلول نهایی در دمای محیط درون قالب گستراننده شده و برای تیخیر حلال و خروج حباب به مدت ۳۰ دقیقه در آن تحت خلأ گذاشته شد. گلیسرول به میزان ۳۰ درصد وزنی/وزنی ماده خشک به عنوان نرم‌کننده مورد استفاده قرار گرفت. در پایان فیلم‌های نازک صمغ درخت هلو-کورکومین ساخته شده از پلیت‌ها جدا شدند و برای آزمون‌های بیشتر درون بسته‌بندی‌های زیپ‌دار قرار داده شدند.

۲-۴- بررسی ویژگی‌های فیزیکی مکانیکی و

ریخت‌شناسی فیلم حاصل از صمغ درخت هلو

۲-۴-۱- بررسی ریزساختار با میکروسکوپ الکترونی

رویشی^۱

ویژگی‌های ریخت‌شناسی و ساختار سطوح فیلم پلیمری با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رویشی (SEM, TESCAN MIRA 3 LMH) ارزیابی شد. به منظور رسانایی نمونه‌ها و کیفیت بهتر تصویربرداری، یک لایه نازک از پوشش طلا روی نمونه‌ها نشانده شد و ریزتصویرها در حالت الکترون ثانویه رویش شدند.

کورکومین یک ترکیب دی‌فنول استخراج شده از ریشه گیاه زردچوبه است. این گیاه در بسیاری از کشورها به عنوان ادویه، عامل ایجاد رنگ و نیز به عنوان یک ترکیب دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. طی دو دهه اخیر، مطالعات فراوانی روی اهمیت کورکومین به‌عنوان آنتی‌اکسیدان [۹ و ۱۰]، عامل ضد التهاب [۱۱-۱۳]، عامل ضد تورم مفاصل [۱۴]، ترکیب ضد-میکروبی [۱۵]، عامل ضدتومور [۱۶] و همچنین ترکیب دارای فعالیت ضد HIV [۱۷] انجام شده است. تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر اثرات سوء در اثر مصرف این ترکیب گزارش نشده است. این ترکیب به تغییرات pH حساس است و دچار تغییر رنگ می‌شود که از این ویژگی به بهترین شکل بهره‌برداری شده و برای تولید بسته‌بندی‌های هوشمند استفاده می‌شود.

هدف از این پژوهش در ابتدا تعیین فرمولاسیون مطلوب و ساخت بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر با خواص مکانیکی و فیزیکی مناسب از صمغ درخت هلو و سپس تولید نشانگر زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از کورکومین جهت شناسایی سریع فساد میکروبی ماهی به‌عنوان یک محصول راهبردی است. لذا به منظور تولید بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر، تأثیر غلظت‌های مختلف گلیسرول (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی فیلم حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

صمغ درخت هلو از درختان باغی در شمال شهرستان شیروان (ایران) جمع‌آوری شد (37.3639° N, 57.5758° E). صمغ‌ها با استفاده از روش فتیحی و همکاران (۲۰۱۶) خالص‌سازی شدند [۵]. سایر مواد مورد استفاده در این پژوهش از شرکت سیگما خریداری شد. ماهی مورد استفاده در این نوع پژوهش نیز از نوع قزل‌آلا بود که به صورت تازه از فروشگاه محلی خریداری شد.

۲-۲- آماده‌سازی فیلم‌های تولید شده از صمغ

درخت هلو

پس از توزین نرم‌کننده، آب دیونیزه به آن اضافه گردید و توسط

1. Scanning Electron Microscope

۲-۴-۲- اندازه‌گیری ضخامت، محتوای رطوبت و

حلالیت فیلم خوراکی

ضخامت فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر تولید شده با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت، از اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها قبل و بعد از قرار دادن آن‌ها در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد پایه به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد (AOAC). حلالیت فیلم‌های تولید شده توسط استاندارد ASTM اندازه‌گیری شد [۱۸].

۲-۴-۳-آزمون جذب آب

به منظور تعیین توانایی جذب آب فیلم تولید شده، ابتدا نمونه‌ها در حالت خشک توزین شده (W_0) و بعد درون آب غوطه‌ور شدند. سپس طی زمان‌های مشخص، آب روی سطح نمونه‌ها با کاغذ صافی گرفته شده و نمونه‌ها بلافاصله مجدداً توزین شدند (W_t). محیط حاوی آب در هر نوبت اندازه‌گیری نمونه‌ها با محیط تازه تعویض گردیدند. آزمایش‌ها ۳ بار تکرار شدند و درصد تورم (W_u) نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$W_u(\%) = \frac{(W_t - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

همچنین برای محاسبه ثابت تعادلی جذب آب (EW_u) پس از رسیدن نمونه‌ها به وزن تعادلی (بعد از ۲۴ ساعت) از معادله (۲) استفاده گردید.

$$EW_u(\%) = \frac{(W_{24} - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

۲-۴-۴- تعیین استحکام کششی و ازدیاد طول تا نقطه

گسیختگی

برای بررسی استحکام کششی، نمونه‌ها در ابعاد مساوی ۵ در ۳۰ میلی‌متر با ابزار مخصوصی برش داده شدند. رفتار مکانیکی نمونه‌های فیلم تولید شده بر اساس استاندارد ASTM D882-02 و به وسیله دستگاه اینسترون مدل H5KS ساخت شرکت هانسفیلد^۱ بررسی گردید. نمونه‌ها بین دو فک دستگاه قرار داده

1. Hounsfield Co.

شدند و با سرعت ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه تحت نیروی کششی قرار گرفتند. اعمال نیروی کششی تا لحظه شکست نمونه‌ها ادامه یافت. سپس نمودار تنش-کرنش رسم شد و ازدیاد طول تا نقطه گسیختگی و استحکام کششی محاسبه گردید [۱۹]. لازم به ذکر است که این آزمون با سه بار تکرار انجام گرفت و در نهایت میانگین آن‌ها گزارش شد.

۲-۵-۲- بررسی ویژگی‌های ضد میکروبی فیلم

هوشمند حاصل از صمغ درخت هلو/کورکومین

و بررسی توانایی تشخیص فساد ماهی توسط آن

۲-۵-۲-۱- بررسی ویژگی‌های ضد میکروبی فیلم هوشمند

به منظور ارزیابی ویژگی‌های ضد میکروبی فیلم هوشمند تولید شده علیه دو باکتری اشریشیا کلی^۲ و استافیلوکوکوس اورئوس^۳ از روش قطر هاله استفاده شد [۲۰].

۲-۵-۲-۲- تعیین ویژگی‌های رنگی فیلم‌ها

معمولاً رنگ غذاها در سیستم $L^*a^*b^*$ اندازه‌گیری می‌شود. فضای رنگی $L^*a^*b^*$ یا CIELab یک استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ است که توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی (CIE) در سال ۱۹۷۶ ارائه گردید. L^* نشان دهنده سطح روشنایی^۴ است و بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. عوامل a^* (از سبز تا قرمز) و b^* (از آبی تا زرد) به ترتیب به قرمزی^۵ و زردی^۶ رنگ معروف بوده و بین ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر هستند.

۲-۵-۲-۳- توانایی تشخیص فساد ماهی

به منظور ارزیابی توانایی فیلم هوشمند تولید شده در تشخیص فساد ماهی، ۶ گرم ماهی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه گذاری شد. مقادیر آمین‌های فرار نیز توسط روش تقطیر مطابق با روش کابی و همکاران (۲۰۱۱) تعیین شدند [۲۱].

۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، توسط نرم‌افزار SPSS v.18.0 مورد

2. Escherichia Coli
3. Staphylococcus Aureus
4. Lightness
5. Redness
6. Yellowness

دهد. نتایج مشابهی از تصاویر سطحی فیلم‌ها به دست آمد. لازم به توضیح است که ترک تنها در فیلم‌هایی مشاهده شد که دارای ۳۰ درصد گلیسرول بودند.

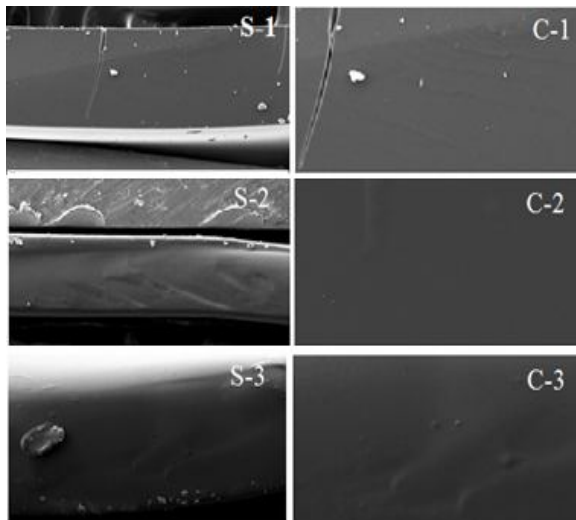


Fig 1 Surface (S) and cross (C) images of the films prepared by peach tree gum as a function of glycerol concentration (1: 30%, 2: 50% and 3: 70%) ($\times 1000$)

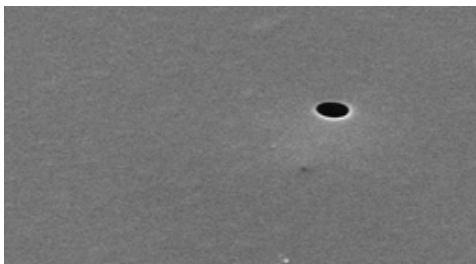


Fig 2 SEM images of the films prepared by peach tree gum with glycerol concentration of 30% ($\times 5000$)

۳-۳- ضخامت و چگالی

با افزایش غلظت گلیسرول از ۳۰ تا ۷۰ درصد، ضخامت فیلم‌های صمغ درخت هلو به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0/05$). این روند با روندهای مشاهده شده در تحقیقات دیگر مطابقت دارد [۲۳ و ۲۴]. این افزایش می‌تواند به دلیل از بین بردن اتصالات بین مولکولی بین زنجیره‌های پلیمر که منجر به انبساط بیشتر ساختار و افزایش حجم و به تبع آن افزایش ضخامت فیلم می‌شود، باشد [۲۵]. مقادیر بالای چگالی فیلم‌های تولید شده از صمغ درخت هلو می‌تواند به ویسکوزیته پایین صمغ مورد نظر که امکان استفاده از غلظت‌های بالای این صمغ در فرمولاسیون فیلم‌ها را داده است، مربوط شود. با افزایش غلظت گلیسرول، چگالی

مقایسه میانگین و تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین با استفاده از طرح چند دامنه دانکن و در سطح معنی‌داری ۵ درصد ارزیابی شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از پیش تیمارها

پیش تیمارهای انجام شده در تهیه فیلم نشان داد که فیلم‌های تهیه شده از صمغ درخت هلو که فاقد گلیسرول هستند، شکننده بوده و نمی‌توان خواص مکانیکی و تراوش‌پذیری آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. از سوی دیگر، فیلم‌های تولید شده با گلیسرول (در غلظت بین ۳۰ تا ۷۰ درصد)، دارای ویژگی‌هایی از جمله انعطاف‌پذیری، توانایی حمل و جداسازی آسان از پلیت بودند. در غلظت‌های بالاتر از ۷۰ درصد گلیسرول، فیلم حاصل چسبنده بود و به راحتی از سطح پلیت جدا نمی‌شد که این ویژگی می‌تواند به نفوذ گلیسرول به سطح فیلم نسبت داده شود [۲۲]، بنابراین در این پژوهش دامنه غلظت گلیسرول در فرمولاسیون فیلم بین ۳۰ تا ۷۰ درصد انتخاب شد و تأثیر این غلظت‌ها روی خواص فیزیکوشیمیایی فیلم مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳-۲- تصاویر میکروسکوپی

بررسی تصاویر میکروسکوپی فیلم‌ها اطلاعات مفیدی از جمله چگونگی آرایش ترکیبات فیلم‌ها در کنار یکدیگر و یا درک کامل‌تر خواص فیلم مورد نظر از جمله خواص مکانیکی و تراوش‌پذیری به بخار آب را فراهم می‌کند. شکل ۱ نشان‌دهنده تأثیر گلیسرول بر مقطع عرضی فیلم‌های صمغ مورد نظر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تنها در فیلم‌هایی که غلظت گلیسرول در آن‌ها ۳۰ درصد است، ترک مشاهده گردید. همچنین، با افزایش در بزرگ‌نمایی تا سقف ۵۰۰۰ برابر وجود حفره‌هایی در فیلم تولیدی به وسیله ۳۰ درصد گلیسرول مشاهده شد. وجود ترک در فیلم‌ها موجب غیرقابل استفاده شدن آن‌ها در بسته‌بندی‌هایی می‌شود که نیاز به حمل‌ونقل زیاد دارند. از طرف دیگر وجود این ترک‌ها و حفرات می‌تواند تراوش‌پذیری فیلم را افزایش دهد و منجر به خروج رطوبت از ماده غذایی بسته‌بندی شده گردد و در نهایت کیفیت آن را به طرز محسوسی کاهش

۳-۴- مقدار رطوبت

با افزایش غلظت گلیسرول، رطوبت فیلم‌های تولید شده از صمغ درخت هلو به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۲). این امر به علت خاصیت آب‌دوستی بالای گلیسرول است که به عنوان عامل نگه‌دارنده آب عمل می‌کند [۲۶]. بنابراین، میزان رطوبت فیلم به علت ایجاد واکنش‌های گلیسرول-صمغ و گلیسرول-آب افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی در فیلم‌های تهیه شده از صمغ‌های کفیران [۷] و دانه اسفرزه [۲۳] گزارش شده است.

فیلم‌ها کاهش یافت ($p > 0.05$). این کاهش مربوط به افزایش ضخامت (به عبارتی افزایش حجم) فیلم‌ها در اثر افزایش غلظت گلیسرول است.

Table 1 The effect of different concentrations of glycerol on density and thickness of peach tree gum-based films*

Density (g/cm ³)	Thickness (mm)	Glycerol Conc. (%)
2.31 ± 0.012 ^a	0.188 ± 0.017 ^c	30
2.24 ± 0.012 ^b	0.205 ± 0.009 ^b	50
2.01 ± 0.028 ^c	0.226 ± 0.004 ^a	70

*Means with different letters in each column are significantly difference ($p < 0.05$).

Table 2 The effect of different concentrations of glycerol on moisture content, solubility and water absorption of peach tree gum-based films*

Water absorption (%)	Solubility	Moisture content (%)	Glycerol Conc. (%)
39.77 ± 0.70 ^c	118.39 ± 6.11 ^c	28.2 ± 0.65 ^c	30
45.54 ± 1.11 ^b	127.80 ± 5.26 ^b	32.1 ± 1.02 ^b	50
58.39 ± 1.40 ^a	155.60 ± 3.39 ^a	41.3 ± 0.04 ^a	70

*Means with different letters in each column are significantly difference ($p < 0.05$)

یافت (جدول ۲). با افزایش غلظت گلیسرول، به دلیل افزایش تورم (به دلیل رطوبت بالا) و خاصیت هیدروفیلی نرم‌کننده، ساختار مولکول از طریق کاهش پیوندهای عرضی بین مولکول‌های زیست‌پلیمر تغییر یافته و حلالیت فیلم افزایش می‌یابد [۲۳]. نتایج تحقیق بورتوم (۲۰۰۸) نشان داد که با افزایش نرم‌کننده سوربیتول، گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول در فیلم مرکب نشاسته برنج-کیتوزان، حلالیت فیلم افزایش یافت و این امر به خاصیت هیدروفیلی نرم‌کننده نسبت داده شد [۲۹]. مقدار حلالیت فیلم صمغ درخت هلو در حضور نرم‌کننده، از فیلم حاصل از صمغ دانه شاهی حاوی گلیسرول کمتر گزارش شده است [۲۴].

۳-۷- خواص مکانیکی فیلم

به‌طور معمول، برای ارزیابی خواص مکانیکی فیلم‌ها از پارامترهایی از جمله مدول الاستیسیته (EM)، قدرت کشش (TS) و کشش تا نقطه شکست (EB) استفاده می‌شود. قدرت کشش نشان‌گر مقاومت مکانیکی ناشی از استحکام بین زنجیره‌های پلیمر است و کشش تا نقطه شکست نمادی از پلاستیسیته است که نشان‌دهنده ظرفیت کشش‌پذیری فیلم قبل از نقطه شکست را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت گلیسرول از ۳۰ تا ۵۰ درصد، مقاومت کشش ابتدا با شیب کم و از ۵۰ تا ۷۰ درصد، شیب این روند

۳-۵- جذب رطوبت

با توجه به تمایل بالای جذب رطوبت در گلیسرول، میزان جذب رطوبت فیلم به‌طور معنی‌داری با افزایش غلظت گلیسرول از ۳۰ به ۷۰ درصد افزایش یافت (جدول ۲). از سوی دیگر، مولکول گلیسرول دارای اندازه کوچکی است و بنابراین به‌راحتی در میان زنجیره‌های پلیمر قرار می‌گیرد و مانع تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکول‌های پلیمر می‌شود. لذا، گلیسرول می‌تواند منجر به تسهیل نفوذ رطوبت به داخل فیلم شود. علاوه بر این، شکستن پیوندها درون ساختار پلیمر و در نتیجه افزایش حجم ایجاد شده فرصت بهتری را برای افزایش اتصالات آبی ایجاد می‌کند [۲۷].

۳-۶- حلالیت

یکی از ویژگی‌های مهم فیلم‌های خوراکی مقاومت آن‌ها در برابر رطوبت است. در مواردی که فعالیت آبی ماده غذایی بالا باشد، فیلم یا پوشش باید حلالیت آبی پایینی داشته باشد تا بتواند یکپارچگی خود را حفظ نماید و از تراوش مواد جامد محلول از ماده غذایی تازه یا منجمد شده ممانعت کند [۲۸]. اگرچه در مواردی حلالیت بالا، برای موارد خاصی از جمله افزایش زیست‌تخریب‌پذیری مفید است. ضمن این‌که با افزایش غلظت نرم‌کننده، حلالیت فیلم تهیه شده با صمغ درخت هلو افزایش

گلیسرول بر افزایش کشش پذیری را ممانعت از تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های پلیمر که منجر به افزایش فضای بین مولکولی و در نتیجه تحرک زنجیره‌ها می‌شود بیان کرده‌اند [۳۱]. تفسیر مشابهی برای این روند وجود دارد؛ به عبارت دیگر با افزایش غلظت گلیسرول از ۳۰ به ۵۰ درصد افزایش کشش پذیری به دو دلیل اتفاق می‌افتد که یکی ممانعت از تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌های پلیمر و دیگری حذف ترک‌ها و حفره‌های موجود در فیلم‌هایی با غلظت گلیسرول پایین‌تر است.

فیلم‌هایی که مقاومت کششی آن‌ها کم و نقطه کشش تا شکست آن‌ها بالاتر باشد، شکنندگی کمتری دارند؛ بنابراین، با افزایش غلظت گلیسرول، انعطاف‌پذیری فیلم‌ها افزایش و در نتیجه شکنندگی آن‌ها کاهش یافته است.

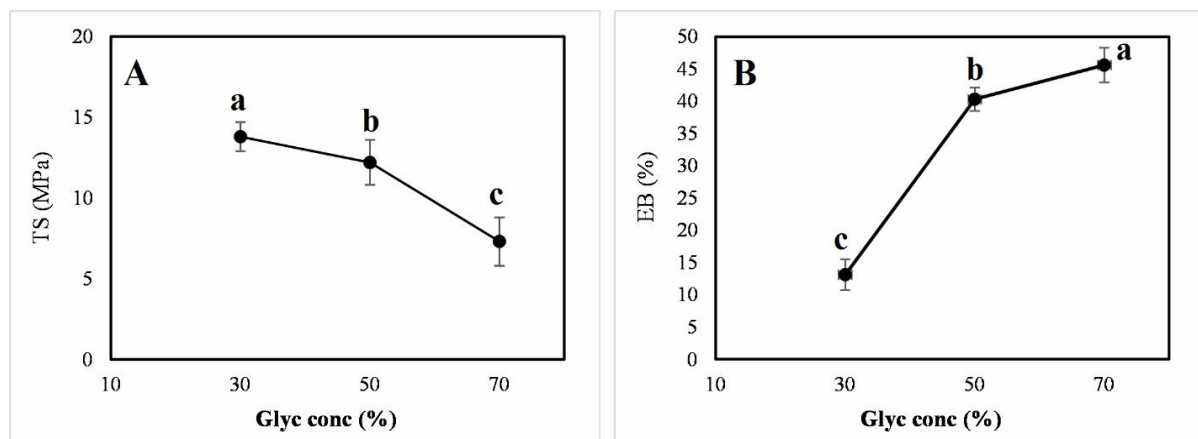


Fig 3 Tensile strength (A) and elongation at break (B) of the films based on peach tree gum as a function of glycerol concentration

بالا بودن حلالیت در آب نمونه‌های فیلم با درصد گلیسرول بالا، فیلم‌های تولید شده با درصد گلیسرول ۵۰ درصد به عنوان نمونه‌ی مطلوب انتخاب شدند و برای تولید بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار گرفتند.

۳-۹- خاصیت ضد میکروبی فیلم حاوی

کورکومین

فیلم‌هایی با فعالیت ضد میکروبی منجر به افزایش مدت‌زمان نگهداری و تأخیر در فساد مواد غذایی می‌شود. لذا در این پژوهش، فعالیت ضد میکروبی فیلم خالص صمغ درخت هلو و

کاهش می‌یابد. دلیل این شیب کم بین دو غلظت گلیسرول ۳۰ تا ۵۰ درصد می‌تواند به وجود ترک و حفره در ساختار فیلم‌هایی با درصد گلیسرول ۳۰ و عدم وجود این ترک‌ها در درصد ۵۰ و بالاتر که در تصاویر میکروسکوپی به خوبی قابل مشاهده است، مربوط شود. به عبارت دیگر، با وجود اینکه با افزایش غلظت گلیسرول، مقاومت کششی کاهش می‌یابد، اما به دلیل وجود حفرات و ترک‌های موجود در فیلم‌هایی با درصد گلیسرول ۳۰، مقادیر مقاومت کششی بین این فیلم‌ها و فیلم‌هایی با درصد گلیسرول ۵۰ اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($p > 0.05$). سیدی و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند با افزایش غلظت نرم-کننده گلیسرول، مقاومت کششی کاهش و کشش‌پذیری افزایش یافته است [۳۰].

از سوی دیگر، با افزایش غلظت گلیسرول، مقادیر کشش تا نقطه شکست به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p > 0.05$). دلیل اثر

۳-۸- تعیین فرمولاسیون مطلوب فیلم‌های تولید

شده بر پایه صمغ درخت هلو

با توجه به اهمیت خواص فیزیکی و مکانیکی بسته‌بندی‌های زیست‌تخریب‌پذیر و تأثیر این ویژگی‌ها بر امکان به‌کارگیری آن‌ها به عنوان جایگزینی برای بسته‌بندی‌های سنتزی، امکان استفاده از فیلم‌های تولید شده با درصد گلیسرول ۳۰ به دلیل ساختار مکانیکی ضعیف آن‌ها میسر نیست. از سوی دیگر، نظر به این‌که بین ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌های تولید شده با درصد‌های گلیسرول ۵۰ و ۷۰ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و نیز

گذاشت [۳۳]. همچنین لیو و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان دادند که فیلم کیتوزانی حاوی کورکومین دارای فعالیت ضد میکروبی و ضد کپکی مناسبی بود [۳۴]. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، اثر ضد میکروبی فیلم صمغ هلو/کورکومین علیه باکتری‌های گرم مثبت بیشتر از باکتری‌های گرم منفی بود. دلیل این امر به وجود لایه پیتیدوگلیکانی در ساختار سلولی باکتری‌های گرم منفی مربوط می‌شود که از باکتری در برابر عوامل ضد میکروبی محافظت می‌نماید [۳۵]. به طور کلی، با توجه به فعالیت ضد میکروبی فیلم صمغ درخت هلو/کورکومین، این فیلم می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای بسته‌بندی فعال مؤثر جهت تأخیر فساد مواد غذایی مورد استفاده قرار بگیرد.

فیلم حاوی کورکومین علیه دو گونه باکتریایی مورد بررسی قرار گرفت. فیلم فاقد کورکومین هیچ فعالیت ضد میکروبی از خود نشان نداد، حال آن‌که فیلم‌های حاوی کورکومین دارای فعالیت ضد میکروبی قوی بودند. کورکومین با پروتئین‌های غشای سلول باکتریایی واکنش می‌دهد و از این مسیر مانع رشد باکتریایی می‌شود. همچنین کورکومین می‌تواند به غشای پیتیدوگلیکانی باکتری متصل شده و به درون ساختار سلول باکتریایی نفوذ کند و از این طریق منجر به نابودی باکتری شود [۳۲].

در همین زمینه تحقیقاتی، واراپراساد و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که فیلم تولید شده بر پایه کربوکسی متیل سلولز که در فرمولاسیون آن از کورکومین استفاده شده بود، فعالیت ضد میکروبی مناسبی علیه باکتری اش‌ریشیا کلی از خود به نمایش

Table 3 Inhibition zones of pure curcumin, neat peach tree film and curcumin-loaded peach tree film*

Zone inhibition (mm)		
Organism		
<i>Escherichia Coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	
4.2 ± 0.2 ^a	5.8 ± 0.3 ^a	Curcumin (DMSO)
-	-	Peach tree gum-film without curcumin
4.8 ± 0.2 ^a	6.1 ± 0.3 ^a	Curcumin-loaded peach tree gum-film

*Means with different letters in each column are significantly difference ($p < 0.05$)

فیلم هوشمند است. از سوی دیگر، مقادیر آمین‌های فرار نیز با افزایش مدت‌زمان ماندگاری روند افزایشی را از خود به نمایش گذاشته است که نشان دهنده یک ارتباط مشخص بین تغییر رنگ فیلم و درجه فساد ماهی است. ما و همکاران (۲۰۱۷) نیز مشاهده کردند که فیلم صمغ تارا/پلی وینیل الکل/کورکومین به خوبی توانست فساد میگو را تشخیص دهد [۳۶]. در پژوهشی دیگر، لیو و همکاران دریافته‌اند که فیلم هوشمند تهیه شده از کاپا-کاراژینان/کورکومین به خوبی توانست فساد گوشت میگو و خوک را تشخیص دهد [۳۷]. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که بین مقادیر آمین‌های فرار در ماهی‌های انبار شده و مقدار پارامتر رنگی a^* در فیلم، یک همبستگی قوی مثبت وجود دارد (ضریب همبستگی پیرسون = ۰/۹۸۳). این نتیجه با نتایج به دست آمده توسط سایر محققان در تطابق است [۳۸ و ۳۹].

۳-۱۰- بررسی میزان حساسیت به فسادپذیری ماهی در فیلم هوشمند صمغ درخت هلو/کورکومین

میکروارگانیزم‌ها دلیل اصلی فساد محصولات دریایی از جمله ماهی و میگو هستند. مقدار آمین‌های آزاد فرار به‌طور معمول به عنوان یک شاخص برای میزان فساد محصولات دریایی در نظر گرفته می‌شود. تولید این آمین‌ها منجر به افزایش pH محیط می‌شود و این افزایش pH را می‌توان توسط تغییر رنگ فیلم‌های حاوی کورکومین تشخیص داد. مقادیر پارامتر رنگی a^* فیلم هوشمند قرار گرفته در معرض ماهی به‌عنوان تابعی از مدت‌زمان ماندگاری ماهی در شکل ۴ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر a^* با افزایش مدت‌زمان ماندگاری یک‌روند افزایشی از خود نشان داد که نشان‌دهنده‌ی افزایش درجه قرمزی

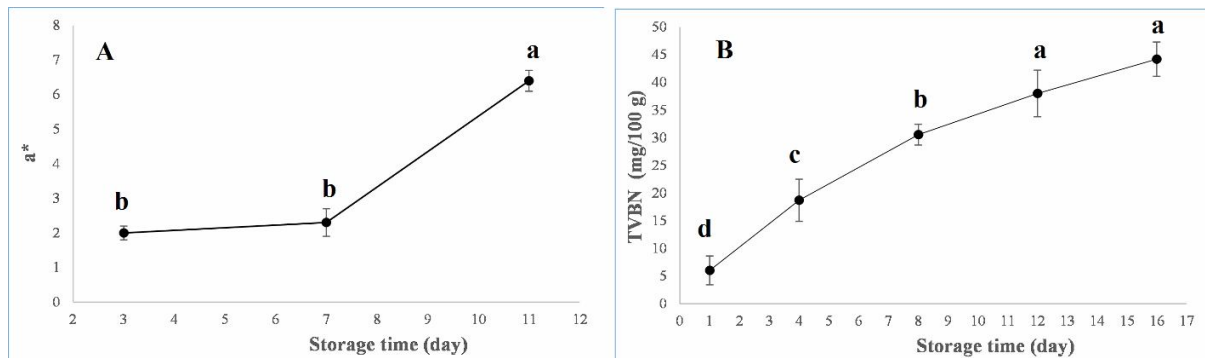


Fig 4 The values of a* parameter in the curcumin-loaded films and TVBN content of the fish samples over storage period

monitoring. *Food Science & Nutrition* 9, 1222-1231

- [5] Fathi, M., et al. (2016) Some physico-chemical properties of *Prunus armeniaca* L. gum exudates. *International journal of biological macromolecules* 82, 744-750
- [6] Fathi, M., et al. (2017) Dilute solution properties of *Prunus armeniaca* gum exudates: Influence of temperature, salt, and sugar. *International journal of biological macromolecules* 69, 192-199 96, 501-506.
- [7] Aberoumand, A. and Baesi, F. (2020) Effects of abdominal emptying and immersion in salt in different concentrations on fatty acids profile and spoilage indices of fish *Kotr* (*Sphyræna jello*) during freezing. *Food Science & Nutrition* 8, 6275-6286
- [8] Ammon, H.P. and Wahl, M.A. (1991) *Pharmacology of Curcuma longa*. *Planta medica* 57, 1-7
- [9] Pizzo, P., et al. (2010) Grp94 acts as a mediator of curcumin - induced antioxidant defence in myogenic cells. *Journal of cellular and molecular medicine* 14, 970-981
- [10] Sugiyama, Y., et al. (1996) Involvement of the β -diketone moiety in the antioxidative mechanism of tetrahydrocurcumin. *Biochemical pharmacology* 52, 519-525
- [11] Srimal, R. and Dhawan, B. (1973) Pharmacology of diferuloyl methane (curcumin), a non - steroidal anti-inflammatory agent. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 25, 447-452
- [12] Aggarwal, B.B. and Harikumar, K.B. (2009) Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش نشان داده شد که فیلم تولید شده بر پایه صمغ درخت هلو ۳۰ درصد وزنی گلیسرول از نظر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مناسب هستند. همچنین اثبات شد که فیلم هوشمند تولید شده بر پایه صمغ درخت هلو و کورکومین قابلیت تشخیص فساد ماهی را طی مدت زمان انبارمانی دارد. یکی از روش‌های کمی تشخیص فساد ماهی با استفاده از این فیلم بررسی رابطه بین پارامتر رنگی a^* و مقدار آمین‌های فرار ماهی طی انبارمانی است (با ضریب همبستگی پیرسون حدود ۰/۹۸). همچنین فیلم حاوی کورکومین نوعی بسته‌بندی فعال بوده و دارای فعالیت ضد میکروبی است و از این رو از آن می‌توان جهت بسته‌بندی مواد غذایی فسادپذیر استفاده کرد.

۵- منابع

- [1] Abazović, N.D., et al. (2006) Photoluminescence of anatase and rutile TiO_2 particles. *The Journal of Physical Chemistry B* 110, 25366-25370
- [2] Malsawmtluangi, C., et al. (2014) Physicochemical characteristics and antioxidant activity of *Prunus cerasoides* D. Don gum exudates. *International journal of biological macromolecules* 69, 192-199
- [3] Nussinovitch, A. (2009) *Plant gum exudates of the world: sources, distribution, properties, and applications*. CRC Press
- [4] Taghinia, P., et al. (2021) Smart edible films based on mucilage of *lallelantia iberica* seed incorporated with curcumin for freshness

- (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Food Engineering* 109, 745-751
- [24] Jouki, M., et al. (2013) Effect of glycerol concentration on edible film production from cress seed carbohydrate gum. *Carbohydrate polymers* 96, 39-46
- [25] Amini, A.M. and Razavi, S.M.A. (2020) Physicochemical characterisation of *Salvia macrosiphon* gum based edible films incorporated with various fatty acids. *International Journal of Biological Macromolecules* 162, 1494-1499
- [26] Arvanitoyannis, I.S., et al. (1998) Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties. *Carbohydrate polymers* 37, 371-382
- [27] Ghasemlou, M., et al. (2011) Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran. *Carbohydrate Polymers* 84, 477-483
- [28] Gontard, N., et al. (1996) Influence of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeabilities of edible films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44, 1064-1069
- [29] Bourtoom, T. (2008) Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal* 15, 237-248
- [30] Seyedi, S., et al. (2014) *Lepidium perfoliatum* seed gum: A new source of carbohydrate to make a biodegradable film. *Carbohydrate polymers* 101, 349-358
- [31] Rezaian Attar, F., Rezagholi, F., Hesarinejad, MA., (2018) *Vicia villosa* protein isolate: a new source of protein to make a biodegradable film. *Slovak Journal of Food Sciences* (2018)
- [32] Haslam, E., et al. (1988) Natural astringency in foodstuffs—a molecular interpretation. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition* 27, 1-40
- [33] Varaprasad, K., et al. (2011) Fabrication of silver nanocomposite films impregnated with curcumin for superior antibacterial applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* 22, 1863-1872
- [34] Liu, W., et al. (2016) On enhancing the solubility of curcumin by microencapsulation in whey protein isolate via spray drying. neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. *The international journal of biochemistry & cell biology* 41, 40-59
- [13] Chainani-Wu, N. (2003) Safety and anti-inflammatory activity of curcumin: a component of tumeric (*Curcuma longa*). *The Journal of Alternative & Complementary Medicine* 9, 161-168
- [14] Dcodhar, S., et al. (2013) Preliminary study on antirheumatic activity of curcumin (diferuloyl methane). *Indian journal of medical research* 138
- [15] De, R., et al. (2009) Antimicrobial activity of curcumin against *Helicobacter pylori* isolates from India and during infections in mice. *Antimicrobial agents and chemotherapy* 53, 1592-1597
- [16] Khar, A., et al. (1999) Antitumor activity of curcumin is mediated through the induction of apoptosis in AK-5 tumor cells. *FEBS letters* 445, 165-168
- [17] Jordan, W. and Drew, C. (1996) Curcumin—a natural herb with anti-HIV activity. *Journal of the National Medical Association* 88, 333
- [18] ASTM, E. (2000) 96-Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. In *American Society for Testing and Materials*, pp. 842-949
- [19] Intl, A. (2001) Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. D 882-01. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa.: ASTM Intl. p, 162-170
- [20] Salarbashi, D., et al. (2021) pH-sensitive soluble soybean polysaccharide/SiO₂ incorporated with curcumin for intelligent packaging applications. *Food Science & Nutrition*
- [21] Cai, J., et al. (2011) Determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content and Warner–Bratzler shear force (WBSF) in pork using Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy. *Food Chemistry* 126, 1354-1360
- [22] Talja, R.A., et al. (2007) Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate Polymers* 67, 288-295
- [23] Ahmadi, R., et al. (2012) Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed

- freshness monitoring. *Food hydrocolloids* 83, 134-142
- [38] Hesarinejad, Mohammad Ali, et al. (2021) "The study of physicochemical and antioxidant properties of encapsulated *Portulaca oleracea* aqueous extract prepared by spray drying method." *Innovative Food Technologies*.
- [39] Salarbashi, Davoud, et al. (2021) "pH-sensitive soluble soybean polysaccharide/SiO₂ incorporated with curcumin for intelligent packaging applications." *Food Science & Nutrition* 9.4, 2169-2179.
- Journal of Food Engineering 169, 189-195
- [35] Salarbashi, D., et al. (2018) Soluble soybean polysaccharide/TiO₂ bionanocomposite film for food application. *Carbohydrate Polymers*
- [36] Ma, Q., et al. (2017) Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH₃ indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging. *Sensors and Actuators B: Chemical* 244, 759-766
- [37] Liu, J., et al. (2018) Films based on κ-carrageenan incorporated with curcumin for



Producing an intelligent packaging based on peach gum and curcumin to detect the fish spoilage

Jafarian, M. ^{1*}, Seyedabadi, E. ², Saeidirad, M. H. ³, Baradaran Motie, J. ⁴, Hosseinpour Zarnaq, M. ⁵

1. Ph.D. graduate, Department of Mechanical Engineering of Agricultural Machinery, Faculty of Agricultural Engineering & Veterinary, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.
2. Assistant professor, Department of agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.
3. Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
5. PhD student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2021/05/16
Accepted 2021/06/12

Keywords:

Curcumin,
Glycerol,
Intelligent packaging, Peach
tree gum.

DOI: 10.52547/fsct.18.117.171

*Corresponding Author E-Mail:
m.jafarian@ut.ac.ir

ABSTRACT

The aims of this study were the optimization and fabrication of a biodegradable film with suitable mechanical and physical properties and also the production of a biodegradable indicator based on curcumin to detect the fish spoilage. In order to fabrication of the biodegradable packaging, the effect of different concentrations of glycerol (30, 50 and 70%) on the physicomechanical properties of films was examined. The results showed, increasing glycerol concentration led to increase of the thickness, water absorption, solubility and elongation at break of the films, while density and tensile strength of the films showed a decreasing trend. The result of microbial test revealed that curcumin-loaded film had a good antimicrobial effect against both gram positive and gram negative bacteria. The variation of color of the films was monitored in contacting with fish during storage time. Overall, it was observed that the developed intelligent films could effectively detect the spoilage of films.