نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران
دوره۶- شماره ۱- پیاپند ۱۰-بهار و تابستان ۱۴۰۲

تولید فیلم زیست تخریب پذیر از ضایعات بنه زعفران و تعیین خصوصیات فیزیکو شیمیایی آن

Production of biodegradable film from saffron corm waste and determination of its physical and chemical properties

سودابه عین افشار

۱. دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، AREEO، مشهد، ایران. ، (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/mpt.2024.366472.1165

چکیده

افشار، س. . تولید فیلم زیست تخریب پذیر از ضایعات بنه زعفران و تعیین خصوصیات فیزیکو شیمیایی آن
نشریه علمی فناوری وگیاهان دارویی ایران، دوره ۶ - شماره ۱- پیاپند ۱۰-بهار و تابستان ۱۴۰۲ صفحه: ۶۸-۵۵

به منظور تهیه فیلم زیست تخریب پذیر از ضایعات بنه زعفران، نشاسته موجود در ضایعات بنه زعفران استخراج‌شد و فیلمی متشکل از دو سطح نشاسته بنه زعفران (۵ و ۱۰ درصد) و سه نوع پلاستیسایزر گلیسرول، پلی‌اتیلن‌گلیکول، و ترکیب این دو تولیدشد. سپس خصوصیات مرفولوژی، زیست‌تخریب‌پذیری، فیزیکوشیمیایی و مکانیکی فیلم‌های تولیدی با آزمون‌هایی چون جنبه‌های ظاهری و رنگ، بافت فیلم، حلالیت در آب و اسید، نفوذپذیری در برابر بخارآب، و تعیین مولفه‌های رنگی بررسی گردید. نتایج تحت یک آزمایش فاکتوریل دو عاملی (درصد نشاسته بنه زعفران در دوسطح ۵ و ۱۰ درصد و درصد نرم‌کننده در سه سطح) در قالب طرح کاملا تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و نتایج نشان داد نوع نرم‌کننده به عنوان عامل اول بر نفوذپذیری به بخار آب و خصوصیات رنگی اثر معنی‌داری نداشت، بافت پلاستیک حاوی گلیسرول بیشترین مقاومت به کشش (۷۲۴/۹ MPa) را در مقایسه با دو نوع نرم‌کننده دیگر داشت. نرم‌کننده گلیسرول در مقایسه با دو تیمار دیگر دارای کمترین میزان حلالیت در آب و اسید و نفوذپذیری به بخار و بیشترین مقاومت به کشش (۷۲۴/۹ MPa) بود. فیلم تولید شده با درصد نشاستهٔ کمتر دارای نفوذپذیری به بخار آب ($۱۲۵۳۲/۱ kgm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$) حلالیت در آب ۱۵۷(درصد) کمتر و بافت فیلم (۳۲۸۷/۵ MPa) ضعیفتری در مقایسه با درصد نشاسته بیشتر بود ($P<۰/۰۵$). بنابراین، ترکیبی متشکل از ۵ درصد نشاسته بنه زعفران و نرم‌کننده گلیسرول دارای خصوصیات فیزیکوشیمیایی مناسبی برای تولید فیلم است.

واژه های کلیدی: بافت، پلی‌اتیلن گلیکول، ضایعات بنه زعفران، گلیسرول، نفوذپذیری به بخار.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: soodabeheyn@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی به جهت افزایش تولید و استفاده از پلاستیک‌های سنتزی به دلیل اثرات مخربی که بر محیط زیست می‌گذارند و تجزیه‌ناپذیر هستند به‌وجود آمده است(Molavi *et al.,* 2015). زیست‌تخریب‌پذیری مواد پلاستیکی سنتز شده از مشتقات نفتی بسیار کند بوده و این امر باعث افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌گردد. به همین دلیل یافتن جایگزینی مناسب برای پلاستیک‌های سنتزی توجه محققین را به خود را جلب کرده است. بیوپلیمرهای خوراکی که از منابع قابل تجدید کشاورزی حاصل می شوند گزینه‌ای مناسب در این زمینه به شمار می روند که می توانند به سهولت در محیط زیست تجزیه شوند (Vossoughi *et al.,* 2013; Gonçalves *et al.,* 2017). فیلم‌ها و پوشش‌های گیاهی به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری و عدم تأثیرگذاری نامطلوب بر محیط‌زیست مورد توجه هستند(Cazón *et al.,* 2017). فیلم‌ها و پوشش‌های گیاهی لایه‌نازکی از ترکیبات طبیعی هستند که می‌توانند نقش مهمی در نگهداری مواد غذایی ایفا کنند. فیلم‌های خوراکی منجر به احفظ کیفیت مواد غذایی بخصوص سبزی‌ها و میوه‌های فصلی در طول دوره نگهداری می‌شوند(Dang *et al.,* 2008). ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده فیلم‌های خوراکی شامل پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها ، موم‌ها و چربی‌ها هستند که به‌تنهایی و یا با استفاده از ترکیب آنها با یکدیگر فیلم‌های خوراکی متفاوتی تهیه می‌شود (Karmakar *et al.,* 2024).

نشاسته مهمترین پلیمر ذخیره انرژی گیاهان محسوب می‌شود. نشاسته در داخل گرانول‌ها در آمیلوپلاست گیاهان انباشته می‌شود. نشاسته از دو نوع مولکول پلیمری به‌نام آمیلوز و آمیلوپکتین تشکیل شده‌است. آمیلوز یک پلیمر خطی و آمیلوپکتین با تعداد زیادی اتصالات شاخه‌ای، ساختاری بسیار منشعب دارد آمیلوز ژل قوی تشکیل می‌دهد اما ژل تهیه شده از آمیلوپکتین قدرت کمی دارد. بسته به منبع نشاسته نسبت آمیلوز و آمیلوپکتین متفاوت است، درنتیجه خصوصیات فیلمی متفاوتی مشاهده می‌شود. از طرف دیگر فیلم‌های پلی‌ساکاریدی مانند فیلم‌های نشاسته اگرچه قیمت پایینی داشته و قابلیت تجدید شوندگی و بازیافت زیستی دارند اما مانع مناسبی در برابر نفوذ رطوبت نیستند (Esmaeelian *et al.,* 2022). لذا فیلم‌های تولید شده باید واجد کلیه خصوصیات فیزیکو شیمیایی بسته بندی محصولات کشاورزی باشند.

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. گیاهی چندساله و تریپلوئید است که تولیدمثل آن از طریق تکثیر ساقه زیرزمینی یا بُنه (کورم) صورت می‌گیرد. دوره تولید زعفران در ایران در منابع مختلف، ۵ تا ۱۰ سال بیان شده‌است. به‌طور معمول، عملکرد گیاه در سال اول پایین است اما در سال‌های چهارم تا ششم، این عملکرد به حداکثر مقدار خود می‌رسد و سپس به دلیل افزایش تراکم بنه‌های دختری و در نتیجه تشدید رقابت بین بنه‌ها در جذب آب و مواد غذایی مورد نیاز برای رشد و نامساعدتر

شدن شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، روند کاهشی پیدا می¬کند. پس از ۵ تا ۱۰ سال با کاهش عملکرد مزرعه، لازم است تا بنه‌های زعفران برای کشت در مزرعه جدید از زمین خارج شوند. بنه‌های با وزن کمتر از ۶ گرم در سال اول توان گلدهی ندارند. مطالعات نشان داده است که درصد سبز شدن، تعداد برگ‌ها و درصد گل‌های تولیدی، تابع قطر بنه‌ها است، لذا برای کشت، بنه‌های درشت با وزن تقریبی ۱۰ گرم انتخاب می‌شوند و انواع با وزن کمتر از ۵ گرم استفاده نمی‌شوند. در سال ۱۴۰۱ سطح زیر کشت محصول زعفران در ایران بالغ بر ۲۰۰ هزار هکتار بود (Anon, 2023). اگر هر ۵ تا ۱۰ سال زمین زراعت زعفران جایگزین ¬گردد، بنه زعفران موجود در۴۰ – ۲۰ هزار هکتار همه ساله از زمین خارج می‌گردد. چنانچه از هر هکتار ۲۵ تن بنه زعفران حاصل گردد۱۰۰۰ –۵۰۰ هزار تن محصول بنه زعفران حاصل می‌شود. اگر۲۰ درصد کل بنه زعفران تولیدی ضایعاتی باشد در حدود ۵۰۰– ۲۵۰ هزار تن بنه زعفران ضایعاتی خواهدبود. در سال‌های پیش رو، با توجه به تغییر اقلیم و مشکلات ناشی از بحران آب در کشور و روی آوردن کشاورزان در سرتاسر کشور به کشت زعفران، ضایعات بنه زعفران به طور تصاعدی افزایش خواهد یافت.

بخش اعظم ترکیبات موجود در بنه زعفران را کربوهیدرات (۷۹/۲ درصد) تشکیل می‌دهد. همچنین بنه زعفران حاوی مقادیر متنابهی پروتئین (۸/۰۸ درصد) و ترکیبات فنلی (۱۱/۰۸ میلیگرم بر گرم) می‌باشد که مقدار آن‌ها در واحد وزن بنه قابل توجه است (Einafshar *et al.*, 2019).

از آنجا که نشاسته معمولا به عنوان یک ماده خام مناسب در ساختار فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، فراهم نمودن ماده اولیه فراوان و ارزان قیمت برای استفاده در فیلم‌ها، پوشش‌ها و میکرو حامل‌های بر پایه نشاسته، اهمیت زیادی دارد لذا استفاده از مواد اولیه فراوان و ارزان مانند ضایعات بنه زعفران، در صنایع تولید مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر امکان کاربرد ضایعات در صنایع فرآوری را ممکن نموده محصولاتی با ارزش افزوده بالا تولید و همچنین کشور از مزایای کاربرد مواد طبیعی و زیست تخریب پذیر بهره¬مند می‌گردد.

هدف از این پژوهش، بررسی خواص عملگرایی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ساختاری زیست‌پلیمرهای استخراج شده از نشاسته بنه زعفران به‌منظور یافتن کاربردهای احتمالی و بررسی امکان تولید فرآورده‌های با ارزش افزوده بالا مثل فیلم‌های خوراکی از پسماندهای بنه زعفران است.

مواد و روش‌ها

مواد

بنه زعفران از مزارع زعفران شهرستان زاوه در استان خراسان رضوی در سال ۱۴۰۲ تهیه شد. کلیه محلول‌های شیمیایی از شرکت مرک یا سیگما و با درجه آنالیتیکال تهیه شدند.

روش‌ها

استخراج و خالص‌سازی نشاسته

پودر بنه زعفران به مدت ۲ ساعت در

آب حاوی متابی‌سولفیت سدیم (۰/۰۷۵٪) با نسبت ۱:۲ (وزنی-حجمی) خیسانده شد (Esmaeelian *et al.,* 2022). بعد از ده دقیقه سانتریفیوژ (۲۰۰۰ دور در دقیقه)، آب به میزان چهاربرابر حجمی اضافه شده و pH با استفاده از محلول‌های۱ مولارNaOH/HCl تا ۸ قلیایی شد. سوسپانسیون به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط توسط هم‌زن مغناطیسی هم‌زده شد تا پروتئین‌های موجود حل شده و جداسازی نشاسته تسهیل شود (Joshi *et al.,* 2013). مخلوط به مدت ۲ ساعت بدون حرکت نگهداری شد تا نشاسته ته نشین شود. بعد از حذف لایه شناور، لایه ته‌نشین شده با کمی آب مخلوط و به مدت ده دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. مخلوط لایه ته‌نشین شده با آب از الک با مش ۲۰۰ عبور داده شد. به منظور حذف چربی و پروتئین‌های موجود، رسوبات نشاسته در آب نمک با درجه بریکس ۱۰ به همراه تولوئن (یک هشتم حجمی) به مدت یک شب هم‌زده شد (Esmaeelian *et al.,* 2022). سپس لایه تولوئن با سانتریفیوژ حذف و لایه خاکستری روی سطح رسوبات به کمک قاشقک جدا شد. لایه ته‌نشین شده یک بار با آب، یک بار با استون و پنج مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد. در نهایت نشاسته خالص شده به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. نشاسته حاصل به آرامی خرد و از الک با مش ۱۰۰ عبور داده شد. بازده استحصال نشاسته از طریق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\text{Starch yield (\%)}=100\times(S/Sp) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن S مقدار نشاسته اسخراج شده (گرم) و SP مقدار اولیه پودر بنه زعفران (گرم) است.

ویژگی‌های فیلم نشاسته

تهیه فیلم

به سوسپانسیون آب و نشاسته بنه‌زعفران (۵ و ۱۰ درصد) که به مدت ۳ دقیقه در دمای اتاق هم‌زده شده است، ۱ درصد نانوسلولز اضافه شد و ۳ دقیقه دیگر هم زدن ادامه یافت سپس نرم‌کننده‌ها (گلیسرول، گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول، و پلی‌اتیلن گلیکول)، به نسبت ۱۰ درصد اضافه شدو به مدت ۲۰ دقیقه تا رسیدن به دمای ۸۰ درجه سلسیوس هم زده و حرارت داده شدند. سپس در ظروف شیشه‌ای (پلیت) با قطر ۹ سانتیمتر در دمای ۳۸ درجه سلسیوس خشک شدند. فیلم‌های تهیه شده تا زمان انجام آزمایش در ظرف دردار و در یخچال نگهداری شدند (Hosseini *et al.,* 2013).

آزمون‌های تعیین کیفیت فیلم‌های حاصل

جنبه‌های ظاهری و رنگ فیلم‌ها

فیلم‌ها از نظر یکنواختی و عدم وجود نشاسته نامحلول، انعطاف پذیری، و وجود ترک‌های احتمالی مورد بررسی قرارگرفت. ضخامت فیلم‌ها به‌وسیله میکرومتر در سه ناحیه متفاوت از سطح فیلم اندازه‌گیری و میانگین آن به‌عنوان ضخامت هر تیمار محاسبه شد (Fakhouri *et al.,* 2015).

تصویر برشی از فیلم‌های تهیه شده به قطر ۴ سانتیمتر به کمک اسکنر مدل (Hp Scan Jet G3010) گرفته شد و نمونه پلاستیک شفاف سلوفان به عنوان شاهد انتخاب شد. برای

جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با پارچه کاملا سیاه و ضخیم پوشانده شد. تصاویر با وضوح dpi300 و فرمت JPEG ذخیره شدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه، مختصات رنگی آن‌ها در فضای رنگی Lab با نرم افزار Image j ، نسخه ۱,۴۰g استخراج شد. مدل رنگی Lab مرکب از مولفه L (روشنی) با محدوده صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید)، مولفه a (قرمزی) نامحدود با طیف رنگی سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت)، و مولفه b (زردی) نامحدود با طیف رنگی آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) بود (Karimi *et al.*, 2012). تفاوت رنگ سنجی کل (ΔE) برای هر نمونه نسبت به نمونه شاهد از رابطه۱ محاسبه شد.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L*)^2 + (\Delta a*)^2 + (\Delta b*)^2}$$

پارامتر C* یا کروما بر اساس رابطه ۲ ، و ضریب سفیدی (whiteness index) از رابطه۳ به دست آمد (Zardetto and Rosa, 2002).

رابطه ۲

$$C^* = \sqrt{(a*)^2 + (b*)^2}$$

رابطه ۳

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{0.5}$$

حلالیت در آب و اسید

برای اندازه‌گیری حلالیت در اسید و آب فیلم‌ها در ابعاد ۲×۲ سانتی مترمربع بریده‌شده و در ظرفی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. بعد از وزن کردن اولیه، نمونه‌ها در فلاسک حاوی ۵۰ میلی لیتر آب مقطر برای حلالیت در آب، و در محلول اسید هیدروکلریک (۱ مولار) برای حلالیت در اسید قرار داده‌شده و در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس فیلم‌ها خارج شده و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و بعد از آن وزن گردید. میزان حلالیت فیلم‌ها از رابطه ۴ محاسبه شد (Molavi *et al.*, 2015).

رابطه ۴

$$\text{میزان حلالیت آب یا اسید} = \frac{M1}{M1-M2} \times 100$$

M_1: وزن ماده خشک اولیه،

M_2: وزن ماده خشک نامحلول.

نفوذپذیری در برابر بخارآب

برای تعیین نفوذپذیری فیلم‌ها ، نمونه فیلم بر روی سطح فنجان‌های حاوی ۲ گرم کلسیم کلراید با قطر دهانه ۴ سانتیمتر و ارتفاع ۳/۵ سانتیمترقرار گرفت و سپس با پارافیلم درزبندی شد تا اطمینان حاصل شود که تنها راه تبادل فنجان با بیرون، سطح فیلم‌ها است. مقدار بخارآب عبور کرده مستقیماً بر وزن فنجان‌ها مؤثر است. فنجان‌ها به مدت ده روز در دسیکاتور حاوی آب نمک اشباع سدیم کلراید (رطوبت نسبی ۷۵ درصد) گذاشته شد و دسیکاتور در ژرمیناتور (کاوش آزما مدل۲۰۰، ساخت ایران) با دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس هرروز اختلاف وزن‌ها اندازه‌گیری شد و میزان نفوذپذیری به بخار آب بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد.

رابطه ۵

$$\text{میزان نفوذپذیری به بخار آب (WVP)} = \frac{x-\Delta m}{A \times t \times \Delta P}$$

x

x: ضخامت فیلم،

Δm: اختلاف وزن فنجان‌ها،

A: سطح در معرض،

t: زمان به روز

Δp: اختلاف فشار درون و بیرون فنجان‌ها (با استفاده از جدول فشار بخار اشباع) (Anon, 1989).

خصوصیات مکانیکی

استحکام کششی و میزان افزایش طول بر اساس استاندارد D638 ASTM با تغییرات جزئی انجام شد. در این آزمون فیلم‌ها ابتدا به رطوبت ثابت رسیده و سپس به طول ۴ سانتیمتر و عرض ۱ سانتیمتر بریده شدند و به پروب‌های کششی دستگاه آنالیز بافت ساخت آمریکا متصل شد. سرعت حرکت فک بالایی ۰/۵ میلی متر بر ثانیه و طول بازه کشش ۷۰ میلی متر تنظیم شد. مقاومت کششی و افزایش طول فیلم‌ها نسبت به طول اولیه در نقطه شکست محاسبه گردید.

آزمون زیست تخریب‌پذیری

نمونه‌های فیلم در ابعاد ۴×۴سانتیمتر بریده شده و پس از توزین با ترازوی با دقت۰/۰۰۰۱گرم، داخل فلاسک‌های محتوی ۲۲میلی‌لیتر محلول آلفاآمیلاز (۲۰۰unit/ml) قرار داده شدند. فلاسک‌ها به مدت ۳۲ ساعت داخل اینکوباتور شیکردار با دور ۱۲۰ rpm و دمای ۳۰درجه سانتیگراد قرار گرفتند. پس از طی زمان مورد نظر وضعیت نمونه‌ها از نظر هضم آنزیمی مورد بررسی قرارگرفت (Guohua *et al.*, 2006).

تجزیه و تحلیل آماری

تیمارهای این پروژه دو عاملی، سه نوع ماده نرم‌کنندهٔ (گلیسرول، مخلوط ۵۰ درصدی گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول و پلی اتیلن گلیکول)، و دو درصد نشاسته بنه زعفران بودند. یافته‌ها با استفاده از طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار ارزیابی شدند. بررسی تأثیر تیمارها بر ویژگی‌های کیفی فیلم با آنالیز واریانس (ANOVA) سطح اطمینان ۹۵٪ و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن و استفاده از نرم‌افزار MINITAB صورت گرفت.

نتایج و بحث

آنالیز واریانس اثر تیمارهای نوع نرم‌کننده و درصد نشاسته بنه زعفران بر خصوصیات فیزیکو شیمایی فیلم بر پایه نشاسته پیاز زعفران نشان داد اثر تیمار مستقل نوع نرم‌کننده بر حلالیت در آب و اسید، و بافت فیلم معنی دار بود و بر سایر خصوصیات آن معنی دار نبود (داده‌های آنالیز واریانس نشان داده نشدند). درصد نشاسته به‌کاررفته در تولید فیلم، بر کلیه خصوصیات به جز خصوصیات رنگی فیلم اثری معنی‌دار داشت. اثر متقابل نرم کننده و درصد نشاسته تنها بر خصوصیات بافتی، معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$).

مقایسه میانگین اثر نرم‌کننده بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پلاستیک

نتایج مقایسات میانگین اثر نرم‌کننده بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فیلم تولید شده در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱ نشان می‌دهد نوع نرم‌کننده بر نفوذپذیری به بخار آب اثر معنی‌داری نداشت.

جدول۱- مقایسه میانگین اثر نرم‌کننده بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فیلم

نوع نرم کننده	نفوذ پذیری به بخار آب ($kgm^{-1}s^{-}$ ($^{1}Pa^{-1}$	حلالیت در آب(درصد)	حلالیت در اسید (درصد)	بافت (MPa)	C*	ضریب سفیدی	ΔE
گلیسرول	۱۴۵۷۱/۳a	۱۵۷/۵ c	۱۳۵/۱ b	۷۲۴/۹ a	۷/۵۵a	−۱/۲a	۱۹/۸۳a
گلیسرول و پلی‌اتیلن گلیکول	۱۳۲۶۷/۵ a	۱۹۹/۸ a	۱۸۴/۶ a	۶۲۷/۳ b	۳/۹۵b	−۱/۴۸a	۱۹/۸۲a
پلی‌اتیلن گلیکول	۱۳۲۹۷/۷ a	۱۸۲/۴ b	۳۱۸۹ a	۶۱۷/۸ b	۴/۶۵b	−۱/۵۹۵a	۱۹/۸۴a

* اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P‹۰/۰۵).

جدول۲- مقایسه میانگین اثر درصد نشاسته بر خصوصیات فیزیکو شیمایی پلاستیک

درصد نشاسته	نفوذ پذیری به بخار آب ($kgm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$)	حلالیت در آب (درصد)	حلالیت در اسید (درصد)	بافت (MPa)	C*	ضریب سفیدی	ΔE
۵ درصد	۱۲۵۳۲/۱ b	۱۵۷ b	۱۵۷ a	۳۲۸۷/۵b	۵/۲۰a	−۱/۳۳a	۱۹/۳۲ a
۱۰ درصد	۱۵۷۴۵/۲a	۱۵۹/۱ a	۱۷۴/۲ a	۴۱۲۹/۳ a	۴/۷a	−۱/۸۴a	۱۸/۱۴ b

* اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P‹۰/۰۵).

کاربرد گلیسرول به عنوان نرم‌کننده با ۱۵۷/۵ و ۱۳۵/۱ درصد در مقایسه با دو نرم‌کننده دیگر به ترتیب کمترین میزان حلالیت در آب و اسید را داشت (P<۰/۰۵).

تاثیر نرم‌کننده گلیسرول بر میزان ظرفیت جذب آب و حلالیت در آب و اسید قبلا گزارش شده است (Fatima et al., 2024).

داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد بافت پلاستیک حاوی گلیسرول بیشترین مقاومت به کشش (۷۲۴/۹ MPa) را در مقایسه با دو نوع نرم‌کننده دیگر داشت (P<۰/۰۵). کاهش مقاومت کششی فیلم، افزایش میزان کش‌آمدگی و بهبود خواص کششی آن در اثر افزایش نرم‌کننده‌ها به ویژه گلیسرول، پلی‌اتیلن‌گلیکول، و پروپیلن گلیکول در فیلم‌های سلولزی گزارش شده است (Fatima et al., 2024) (P<۰/۰۵).

نرم کننده‌های بکاررفته از نظر ضریب سفیدی و ΔE با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند. تنها میزان کروما (C*) نمونه حاوی نرم‌کننده گلیسرول به طور معنی‌داری بیش از دو نرم‌کننده دیگر بود.

مقایسه میانگین اثر درصد نشاسته بر خصوصیات فیزیکو شیمایی فیلم

جدول ۲ مقایسات میانگین اثر درصد نشاسته پیاز زعفران بر خصوصیات فیزیکوشیمایی

فیلم را نشان می‌دهد.

فیلم تولید شده با ۵ درصد نشاسته دارای نفوذپذیری به بخار آب ($kgm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$ ۱۲۵۳۲/۱) و حلالیت در آب (۱۵۷ درصد) کمتر و بافت فیلم (۳۲۸۷/۵ MPa) ضعیفتری در مقایسه با فیلم تولید شده با ۱۰ درصد نشاسته بود ($P<۰/۰۵$).

نفوذپذیری نسبت به بخار آب عامل بسیار مهمی در کیفیت فیلم بسته‌بندی است عملکرد مهم ماده بسته‌بندی موادغذایی، ممانعت یا به حداقل رساندن انتقال رطوبت بین اتمسفر محیط و ماده‌غذایی است. به همین دلیل ارزش نفوذپذیری پایین‌تر، یک ویژگی مطلوب برای فیلم بسته‌بندی است (Onyeaka *et al.,* 2022). نفوذپذیری به بخار و حلالیت کمتر نشانگر مناسب‌تر بودن فیلم تهیه شده با ۵ درصد نشاسته است زیرا در اثر تماس با سطح مرطوب ماده غذایی، کمتر حل شده و ساختار خود را از دست نخواهد داد. حلالیت در اسید از جهت قابل هضم‌بودن فیلم‌های خوراکی اهمیت بالایی دارد (Ogur and Erkan, 2015).و حلالیت کمتر فیلم در اسید نشانگر پایداری بیشتر فیلم در برابر عوامل محیطی است.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند منابع مختلف نشاسته و حتی گونه‌های متفاوت آن تعاملات متفاوتی با نرم‌کننده گلیسرول ایجاد می‌کنند. نشاسته‌های با آمیلوز بالاتر مثل نشاستهٔ گندم، فیلم‌هایی محکمتر و با افزایش طول کمتری ایجاد می‌کنند. میزان آمیلوز نشاسته بنه زعفران برابر با ۳۱/۶۳٪ است. میزان آمیلوز نشاسته سیب‌زمینی برابر با ۱۴/۴۵٪ و نشاسته برنج یک نشاسته مومی بدون آمیلوز است. آمیلوز به طور قابل توجهی بر خواص عملکردی نشاسته تأثیر می‌گذارد. میزان بالای آمیلوز بر حساسیت نسبت به بیاتی و خاصیت ارتجاعی بیشتر خمیر و ژل نشاسته تأثیر می‌گذارد(Esmaeelian *et al.,* 2022).

فیلم‌های بر پایه نشاسته بسته به نوع منبع، حلالیت متفاوتی را از خود نشان می‌دهند و منابع مختلف نشاسته میزان جذب آب متفاوتی دارند. افزایش درصد نشاسته موجب کاهش حلالیت در آب و اسید شد زیرا درصد بالاتر نشاسته موجب کاهش فضاهای خالی فیلم و کاهش جذب آب و حلالیت کمتر آن شده است. وجود فضاهای خالی در فیلم موجب جذب آب بیشتر و بالا رفتن حلالیت فیلم‌ها اعلام شده است (Fakhouri *et al.,* 2015).

مقایسات میانگین اثر متقابل نوع نرم‌کننده و درصد نشاسته بر خصوصیات فیزیکو شیمایی فیلم

جدول۳ مقایسات میانگین اثر متقابل نوع نرم‌کننده و درصد نشاسته بر خصوصیات فیزیکو شیمایی فیلم را نشان می‌دهد.

داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهند نرم‌کننده پلی‌اتیلن‌گلیکول با درصد کمتر نشاسته با $kgm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$ ۱۱۲۷۵ کمترین میزان نفوذپذیری به بخار را داشت اما با ۲۱۸/۵ درصد بیشترین حلالیت دراسید را نیز داشت.

بافت فیلم حاوی پلی اتیلن گلایکول از نظر استحکام (۳۰۸۷/۸ MPa) کمترین مقدار بود ($P<۰/۰۵$). نرم‌کننده گلیسرول به همراه درصد کمتر نشاسته واجد بیشترین خصوصیات کیفی یک فیلم مناسب برای کاربرد در بسته‌بندی

جدول۳- مقایسات میانگین اثر متقابل نوع نرم کننده و درصد نشاسته بر خصوصیات فیزیکو شیمیایی فیلم

نرم کننده	درصد نشاسته	نفوذ پذیری به بخار آب ($kgm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$)	حلالیت در آب (درصد)	حلالیت در اسید (درصد)	بافت (MPa)	*C	ضریب سفیدی	ΔE
گلیسرول	۵	۱۳۹۴۱/۵ ab	۱۵۴/۳ d	۱۳۷/۲b	۶۳۲۷/۷ a	۴/۴ a	-۳/۴۳a	۱۶/۴a
	۱۰	۱۴۸۷۱/۲۱ a	۱۶۱/۱ c	۱۳۹/۲b	۶۵۸۴/۶ a	۷/۱۲ a	-۵/۳۸ a	۱۷/۳a
گلیسرول و پلی اتیلن گلیکول	۵	۱۳۳۸۱/۶ ab	۲۳۴/۵ a	۲۰۹/۴a	۳۹۴۱/۴bc	۶/۶۱ a	-۵/۶۷ a	۱۶/۱a
	۱۰	۱۳۸۹۱/۷ ab	۲۳۰ a	۲۱۰/ ۵a	۳۸۷۵/۷bc	۵/۳ a	-۶/۳۹ a	۱۸/۵a
پلی اتیلن گلیکول	۵	۱۱۲۷۵ c	۲۰۹/۸ b	۲۱۸/۵a	۳۰۸۷/۸c	۶/۳۴ a	-۵/۱۹ a	۱۶/۱a
	۱۰	۱۳۹۹۸/۳ ab	۲۳۱/۴ a	۱۵۹/۳b	۴۵۷۸/۲۹b	۷/۹ a	-۴/۸ a	۱۸/۲a

* اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، P<۰/۰۵).

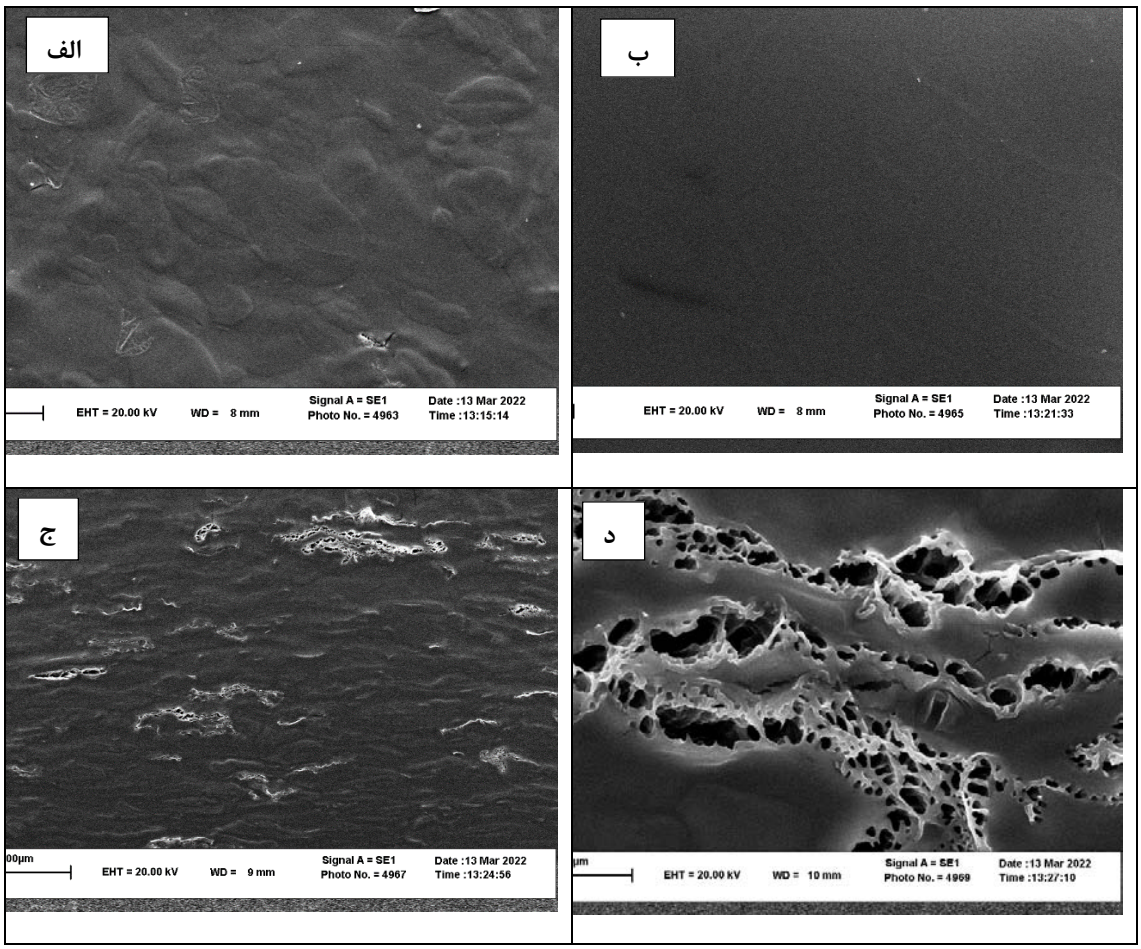
مواد غذایی بود زیرا حلالیت در آب (۱۵۴/۳ درصد) و اسید (۱۳۷/۲ درصد) کمی داشته، با ۶۳۲۷/۷ MPa از سختی بافت مناسبی نیز برخوردار بود.

استحکام یک پلیمر، تحت تاثیر ترکیبات نرم کننده قرار می‌گیرد به‌طوری‌که با تغییر نوع و افزایش میزان نرم‌کننده استحکام کششی کاهش می یابد (Ghanbarzadeh *et al.*, 2010). در این تحقیق، نرم کننده گلسیرول در مقایسه با پلی‌اتیلن‌گلیکول و ترکیب گلیسرول و پلی‌اتیلن‌گلیکول خواص فیزیکوشیمیایی و بافتی بهتری از خود نشان داد. شاخه‌های طبیعی جانبی در نشاسته (آمیلوپکتین) در مقاومت فیلم و خواص مکانیکی آن تاثیرگذار است. حضور زنجیره‌های جانبی از ارتباط بین مولکولی جلوگیری کرده و ویژگی فیلم‌پذیری پلی‌ساکارید را ضعیف می‌کنند، بنابراین فیلم‌های بر پایه آمیلوپکتین شاخه‌دار ضعیف و شکننده هستند، درحالی‌که مولکول‌های خطی آمیلوز تشکیل فیلم‌های قوی و انعطاف‌پذیر می‌دهند.

آزمون تعیین ریز ساختار فیلم تولید شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

شکل ۱ خصوصیات مورفولوژیکی فیلم و تصویری واضح از سطح و برش عرضی فیلم، یکنواخت بودن، چروکیدگی سطح فیلم و یا زبری آن را نشان می‌دهد. فیلم تولید شده سطحی یکنواخت داشته، چروکیدگی‌های زیادی ندارد. تصویر سطح و برش عرضی فیلم تولید شده نشان دهنده عدم وجود حفرات در فیلم است.

وجود حفرات در فیلم نشان‌دهنده خروج بخارآب در مرحله خشک‌شدن از فیلم‌ها است که منجر به افزایش نفوذپذیری فیلم می‌گردد. عوامل متعددی از ایجاد حفرات در فیلم‌ها



شکل۱- تصویر میکروسکوپ روبشی (SEM) از سطح فیلم با بزرگنمایی ۵۰۰ (الف) و ۲۵۰۰ (ب) و برش عرضی فیلم با بزرگنمایی ۵۰۰ (ج) و ۵۰۰۰ (د) تولید شده از ترکیب گلیسرول، و نشاسته بنه زعفران.

ممانعت می کند از جمله این مواد ژلاتین است. ژلاتین عامل مهمی‌در جلوگیری از ایجاد ترک‌ها در سطح فیلم است (Fakhouri *et al.*,2015) که منجر به تولید فیلم یکنواختتری می‌شود (Liu *et al.*, 2007). مقایسه فیلم نشاسته ذرت و کاساوا نشان داد نشاسته ذرت فیلمی با ذرات همگن‌تر و فیلم‌های نشاسته کاساوا فیلمی متراکم‌تر تولید می‌کند (Garcia et al.2009).

آزمون زیست تخریب‌پذیری

نتایج آزمون زیست تخریب پذیری نشان داد پس از ۳۲ ساعت قرار گرفتن نمونه فیلم‌نمونه‌ها در فلاسک در داخل اینکوباتور، کلیه نمونه‌ها با استفاده از آنزیم آلفا آمیلاز هضم شدند و از قابلیت تجزیه کامل برخوردار بودند.

نتیجه گیری

این پروژه با هدف بررسی تولید فیلم زیست‌تخریب‌پذیر با استفاده از ضایعات بنه زعفران انجام شد. تیمارهای این پژوهش عبارت بودند از: دو غلظت نشاسته بنه زعفران

و ۳ نوع نرم‌کننده‌ی گلیسرول، پلی‌اتیلن گلیکول و ترکیب آن دو. ویژگی‌های عملکردی و کاربردی فیلم‌های حاصل شامل، نفوذپذیری به بخار آب، حلالیت در آب و اسید، خصوصیات مکانیکی و شکل‌شناسی و زیست‌تخریب‌پذیری فیلم‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نشاسته پیاز زعفران به همراه نرم‌کننده مناسب می‌توان فیلم زیست‌تخریب‌پذیر واجد خصوصیات فیزیکوشیمایی مناسب تولید نماید. کیفیت فیلم تولید شده از نرم‌کننده گلیسرول و ۵ درصد نشاسته بنه زعفران از سایر تیمارها بالاتر بود.

References

Anon. 1989. Standard test methods for water vapor transmission of materials. Annual book of ASTM standards. Designation E96-E80, 730-739. (in Persian)

Anon. 2023. Agricultural statistics, 3nd Volume. Ministry of Agriculture–Jahad press, Deputy of planning and support. Department of Statistics and Information.

Aprianita, A., Purwandari, U., Watson, B. and Vasiljevic, T. 2009. Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. International Food Research Journal, 16: 507-520.

Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J.A. and Vázquez, M. 2017. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. Food Hydrocolloids, 68:136-148.

Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gerschenson, L. and Del Nobile, M.A. 2008. Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. Journal of Food Engineering, 88(2): 159-168.

Dang, K.T., Singh, Z. and Swinny, E.E. 2008. Edible coatings influence fruit ripening, quality, and aroma biosynthesis in mango fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(4):1361-1370.

Einafshar, S., Rashidi, H., Sharayei, P. 2019. Final research report, investigating the effect of extraction method (solvent, ultrasonic solvent) on antioxidant and antimicrobial activity of saffron corm extract. Agricultural Engineering and Technical Research Institute, No. 56037.

Esmaeelian, M., Jahani, M., Feizy, J., and Einafshar, S. 2023. Physicochemical and Functional Characteristics of Saffron (*Crocus sativus* L.) Corm Starch: Gelling and Film-Forming Properties. Food Biophysics, 18(1):82-94.

Fakhouri, F.M., Martelli, S.M., Caon, T., Velasco, J.I. and Mei, L.H.I. 2015. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. Postharvest Biology and Technology, 109:57-64.

Fatima, S., Khan, M. R., Ahmad, I., and Sadiq, M. B. 2024. Recent advances in modified starch based biodegradable food packaging: A review. Heliyon.

García, M.A., Pinotti, A., Martino, M.N. and Zaritzky, N.E. 2009. Characterization of starch and composite edible films and coatings. In Edible films and coatings for food applications. Springer, New York, NY. 169-209.

Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., and Entezami, A. 2010. Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 11: 697–702.

Gonçalves de Moura, I., Vasconcelos de Sá, A., Lemos Machado Abreu, A.S., and Alves Machado, A.V. 2017. Bioplastics from agro-wastes for food packaging applications. Academic Press. 223-263.

Guohua Z, Ya, L., Cuilan, F., Min, Z., Caiqiong Z., and Zongdao, C. 2006. Water resistance, mechanical properties and biodegradability of methylated-cornstarch/poly (vinyl alcohol) blend film.Polymer Degradation and Stability, 91:703-711

Hosseini, F., Habibi Najafi, M.B., Oromiehie, A., Nasiri Mahalati, M., and Yavarmanesh, M. 2013. Production of biodegradable edible films from corn based products and investigation of their physical and mechanical properties. Journal of Food Research (Agricultural Science), 23(2): 223-235. (in Persian)

Joshi, M., Aldred, P., McKnight, S., Panozzo, J. F., Kasapis, S., Adhikari, R., and Adhikari, B. 2013. Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. Carbohydrate Polymers, 92(2):1484-1496.

Karmakar, B., Sarkar, S., Chakraborty, R., Saha, S. P., Thirugnanam, A., Roy, P. K. and Roy, S. 2024. Starch-based biodegradable films amended with nano-starch and tannic acid-coated nano-starch exhibit enhanced mechanical and functional attributes with antimicrobial activity. Carbohydrate Polymers, 122321.

Karimi, M., Fathi, M., Sheykholeslami, Z., Sahraiyan, B. and Naghipoor, F. 2012. Effect of different processing parameters on quality factors and image texture features of bread. Journal of Bioprocessing & Biotechniques, 2(5):1-7.

Liu, L., Liu, L., Liu, C.K., Fishman, M.L. and Hicks, K.B. 2007. Composite films from pectin and fish skin gelatin or soybean flour protein. Journal of agricultural and food chemistry, 55(6):2349-2355.

Molavi, H., Behfar, S., Shariati, M.A., Kaviani, M. and Atarod, S. 2015. A review on biodegradable starch based film. The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 4(5):456.

Nafchi, A.M., Alias, A.K., Mahmud, S. and Robal. M. 2012. Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago starch films filled with nanorod-rich zinc oxide. Journal of Food Engineering., 113(4):511-519.

Ogur, S. and Erkan, N. 2015. The physicochemical properties of edible protein films. Italian Journal of Food Science, 27(1):64-74.

Onyeaka, H., Obileke, K., Makaka, G., and Nwokolo, N. 2022. Current research and applications of starch-based biodegradable films for food packaging. Polymers, 14(6):1126.

Vossoughi, M., Alemzadeh, I. and Heydari, A. 2014. Influence of glycerol and clay contents on biodegradability of corn starch nanocomposites. International Journal of Engineering, 27(2), 203-214.

Zardetto, S. and Rosa, M.D. 2006. Study of the effect of lamination process on pasta by physical chemical determination and near infrared spectroscopy analysis. Journal of Food Engineering, 74: 402–409.

Production of biodegradable film from saffron corm waste and determination of its physical and chemical properties

Soodabeh Einafshar

1. Associate professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi agricultural and natural resources research and education center, AREEO, Mashhad. Iran. . (Corresponding author)

Received: July 2024 Accepted: September 2024 - DOI: 10.22092/mpt.2024.366472.1165

Abstract

Einafshar, S., Production of biodegradable film from saffron corm waste and determination of its physical and chemical properties
Iranian Medicinal Plants and Technology, Vol 6, No. 1, 2023 9-10: 55-68(in Persian)

Abstract

To prepare a biodegradable film from saffron corm waste, the starch present in saffron corm waste was extracted and a film consisting of two levels of saffron corm starch (5 and 10%), and three types of plasticizers, glycerol, polyethylene glycol, and the combination of these two products were produced. Then, the morphological, biodegradability, physicochemical, and mechanical properties of the produced films were investigated with tests such as appearance and color, film texture, solubility in water and acid, permeability to water vapor, and determination of color components. The results were statistically analyzed under a two-factor factorial experiment in the form of a completely random design and it showed that the type of softener had no significant effect on water vapor permeability and color characteristics, the plastic texture containing glycerol had the highest tensile strength (724.9 MPa) compared to the other two types of softeners. Compared to the other two treatments, glycerol softener had the lowest solubility in water and acid and vapor permeability and the highest tensile strength (724.9 MPa). The film

Email address of the corresponding author: soodabeheyn@yahoo.com

produced with a lower percentage of starch had water vapor permeability (12532.1 $kgm^{-1}s^{-1}$ Pa^{-1}), solubility in water was 157 (percent) and film texture (3287.5 MPa) was lower compared to the higher percentage of starch ($P<0.05$). Therefore, a 5% saffron corm starch and glycerol softener mixture has suitable physicochemical properties for film production.

Keywords: Structure, Polyethylene glycol, saffron corm wastes, Glycerol, vapor permeability