تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۱/ شماره ۷۲/بهار و تابستان ۱۴۰۱ /ص ۱۵۰-۱۳۹

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: علمی- پژوهشی

# بررسی تأثیر عصاره بوقناق بر ویژگی‌های فیزیکی–مکانیکی و ضد میکروبی فیلم‌های خوراکی نشاستهٔ ساگو

منصوره سادات دانشزاده[۱]، حسین عباسپور[۲*]، لیلا امجد[۳] و عبدالرضا محمدی نافچی[۴]

۱ و ۴- به ترتیب: دانشجوی دکتری گروه بیولوژی؛ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، دامغان، ایران

۲- دانشیار گروه زیست شناسی علوم گیاهی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

۳- استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فلاورجان، اصفهان، ایران

## چکیده

**در دهه‌های اخیر، تلاش‌ها برای یافتن راه حل‌های سبز پایدار و جایگزینی مواد بسته‌بندی مرسوم با منابع طبیعی افزایش یافته است. در تحقیق حاضر، تأثیر عصاره متانولی گیاه بوقناق (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد) بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی و فعالیت ضد باکتریایی فیلم‌های نشاسته بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد افزایش غلظت عصاره باعث افزایش قابل توجه (در سطح احتمال ۵ درصد) در ظرفیت جذب آب (۳/۱۶–۱/۸۸ گرم آب بر گرم فیلم خشک) و نفوذپذیری بخار آب ($۱/۶۳\times۱۰^{-۱۱}$–$۲/۳۲\times۱۰^{-۱۱}$ گرم بر متر ثانیه پاسکال) فیلم‌ها شده‌است. انحلال‌پذیری فیلم‌ها در آب در محدودهٔ ۱۸/۵۳–۱۸/۲۱ درصد به دست آمد و با افزایش غلظت عصاره به صورت جزئی افزایش یافت. استحکام کششی و مدول یانگ به ترتیب در محدودهٔ ۱۹/۳۴–۱۳/۱۱ و ۱۱۵/۲۵–۱۰۰/۱۴ مگاپاسکال متغیر بودند. در مقایسه با فیلم شاهد، فیلم‌های کامپوزیت انعطاف‌پذیرتر بودند و الاستیسیته به طور مداوم با افزایش درصد عصاره ارتقا یافت. فیلم‌ها فعالیت ضد باکتریایی خوبی علیه هر دو باکتری گرم-مثبت و گرم-منفی نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان گفت که با بهبود برخی ویژگی‌های فیلم نشاسته ساگو، استفاده از این فیلم‌های کامپوزیت در تولید مواد پوسته کپسول مطلوب خواهد بود.**

## واژه‌های کلیدی

**فیلم نشاستهٔ ساگو، عصارهٔ متانولی، بوقناق، انحلال‌پذیری در آب، ویژگی‌های مکانیکی، فعالیت ضد باکتریایی**

## مقدمه

اهمیت و ضرورت ذخیره و انتقال مواد غذایی برای تأمین این مواد باعث پیدایش شکل اولیهٔ بسته‌بندی آنها شده است. انواع مختلف پلاستیک و مواد بسته بندی مصنوعی به دلیل مزایای درخشان از جمله وزن سبک، شکل‌پذیری عالی، هزینهٔ پایین، رفتار مکانیکی عالی و محافظت خوب در برابر نفوذ رطوبت و اکسیژن، به طور چشمگیری در صنایع مختلف استفاده می‌شوند (Ehivet *et al.*, 2011;

نگارنده مسئول: Email: abbaspour75:tahoo.com

http://doi: 10.22092/fooder.2023.354263.1302

© 2022,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(Sorrentino *et al.*, 2007). افزون بر بسته بندی، از پلاستیک‌های مصنوعی به طور گسترده ای در زمینه‌های دیگر نیز استفاده می‌شود. به‌رغم بسیاری از مزایا، این مواد معایبی مانند سرطان‌زایی در نتیجهٔ مهاجرت مونومر از ظرف به داخل مواد موجود در ظرف، ناسازگاری با محیط زیست و از بین رفتن سرمایه ملی در اثر استفاده از منابع تجدیدناپذیر را به همراه دارند، ضمن اینکه نمونه‌ای برجسته از زباله های تجزیه‌نا پذیر زیستی هستند و در طبیعت به طور طبیعی ۳۰۰ تا ۵۰۰ سال زمان می‌برد تا تجزیه شوند (Ibrahim *et al.*, 2019). بنابراین، به دلیل تأثیرات نامطلوب زیست محیطی، تحقیق در مورد راه حل‌های سبز و پایدار برای یافتن مواد سازگار با محیط زیست مورد توجه دانشمندان و صاحبان صنایع قرار گرفته است (Sadegh-Hassani & Mohammadi Nafchi, 2014).

جایگزینی نسبی یا کامل پلیمرهای مصنوعی با مواد غذایی خوراکی یا مواد تخریب‌پذیر زیستی می تواند راهکاری مناسب و قابل استفاده برای تولیدکنندگان و مصرف کنندگان مواد غذایی باشد (Mohammadi Nafchi *et al.*, 2011). پلیمرهای تجزیه‌پذیر طبیعی، مانند فیلم‌های مبتنی بر پروتئین و پلی ساکارید، به دلیل سازگاری با محیط زیست ممکن است برای استفاده در بسته بندی مناسب باشند (Jagannath *et al.*, 2003).

نشاسته پر مصرف‌ترین افزودنی‌ها در محصولات مختلف است. این ماده در واقع پلیمری از مولکول‌های گلوکز است که بر اساس منبع تولید آن (ذرت، گندم، سیب زمینی، برنج و ریشهٔ گیاه مانیوک یا کاساوا ) انواع مختلفی را به‌دست می‌دهد. نشاسته (Starch) یا آمیلوم (Amylum) کربوهیدارتی پلیمری است و از واحدهای متعدد گلوکز تشکیل شده است که با پیوندهای گلیکوزیدی به یکدیگر متصل شده‌اند. این پلی‌ساکارید در گیاهان به عنوان ذخیرهٔ انرژی تولید می‌شود. نشاسته از نظر شیمیایی ترکیب آلی پیچیده‌ای از کربوهیدرات‌های انحلال‌ناپذیر در آب سرد، الکل یا سایر حلال‌هاست. این ماده به‌طور گسترده در خوراک انسان، دیگر جانوران و در صنعت کاربرد دارد. از لحاظ زیست‌شیمی، نشاسته یک پلی‌ساکارید متشکل از دو نوع بسپار کربوهیدرات به نام آمیلوز و آمیلوپکتین (چندقندی‌ها) است. انواع مختلف نشاسته را محققان مختلف به طور گسترده به عنوان یک فیلم بسته‌بندی بالقوه ارزیابی و بررسی کرده‌اند (Fazilah *et al.*, 2011). محبوبیت نشاسته در تولید فیلم عمدتاً به دلیل فراوانی، تجدیدپذیری، نقش ماتریس پیوند دهنده بین پرکننده‌ها، هزینهٔ پایین و ویژگی‌های فیزیکی و حفاظتی مطلوب است (Maizura *et al.*, 2007). با این حال، طبیعت آب دوست و خواص مکانیکی ضعیف از جمله معایبی هستند که مصرف نشاسته را به عنوان ماده بسته‌بندی محدود می‌کنند و بنابراین به منظور اصلاح و افزایش قابلیت استفاده از آن لازم است نشاسته را با مواد افزودنی یا مواد پلاستیکی پلیمری ترکیب کرد (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014).

برخی محققان فیلم‌های تولید شده از نشاستهٔ منابع مختلف مانند غلات، سیب زمینی و حبوبات را ارزیابی کرده‌اند (Mohammadi Nafchi *et al.*, 2011). اما، در مورد فیلم نشاستهٔ ساگو گزارش‌های علمی کمی وجود دارد که ممکن است به دلیل ناشناخته بودن آن باشد. نشاستهٔ ساگو از درخت نخل *Metroxylon sagu* در جنوب شرقی آسیا به دست می‌آید و به عنوان محصولی نسبتاً مهم

اقتصادی در منطقه شناخته می‌شود. نشاستهٔ ساگو دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد است اما برخی از خواص کاملاً شبیه نشاستهٔ کاساوا و تا حدودی مشابه نشاستهٔ سیب زمینی و غلات است (Tie *et al.*, 2008).

در سال‌های اخیر، بسته‌بندی فعال مواد غذایی بر پایهٔ نشاستهٔ حاوی مواد افزودنی به طور چشمگیری مورد توجه محققان و صاحبان صنایع قرار گرفته است. طهماسبی و همکاران (Tahmasbi *et al.*, 2018) ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های بسته‌بندی تهیه شده بر پایهٔ نشاسته را با مقادیر مختلف مونت‌موریلونیت و عصارهٔ چای سبز بررسی کردند . در پژوهشی، تأثیر بسته‌بندی با فیلم خوراکی نشاستهٔ ساگو حاوی عصارهٔ گیاه پنیرباد بر خواص کیفی فیلهٔ مرغ توسط علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al.*, 2021) ارزیابی شد. فیلم کامپوزیتی خوراکی نشاستهٔ کیتوزان حاوی عصارهٔ پوست انار و اسانس روغنی کاکوتی توسط مهدیزاده و همکاران (Mehdizadeh *et al.*, 2018) تولید و اثرهای آن بر ماندگاری گوشت قرمز در دورهٔ نگهداری مطالعه شده است.

بوقناق (باباخازن) با نام علمی آن *Eryngium billardieri*، گونه‌ای از گیاهان گلدار است که برگ‌های آن دارای خار است و به عنوان غذا یا دارو استفاده می‌شود. این گیاه چند ساله است و معمولاً حدود ۶۰ سانتی‌متر رشد می‌کند و گل آن به شکل طبق خاردار و بنفش است که در انتهای ساقه شکوفا می‌شود. بوقناق غنی از فلاوونوئیدها، نانن‌ها، ساپونین‌ها و تری‌ترپنوئیدها است. با توجه به بررسی‌ها، تاکنون در خصوص تأثیر عصارهٔ بوقناق بر خواص فیلم‌های خوراکی مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین، با توجه به افزایش تقاضا برای فیلم‌های خوراکی طبیعی و ایمن در صنایع غذایی، ارزیابی تأثیر عصارهٔ گیاه بوقناق بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی و خواص ضد میکروبی فیلم‌های تهیه شده از نشاستهٔ ساگو در این تحقیق بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

### تهیه عصاره

اندام هوایی گیاه بوقناق (شامل برگ و گل) از رویشگاه‌های طبیعی در شهرستان اصفهان جمع‌آوریگردید. این اندام‌ها در سایه به مدت ۱۰ روز در دمای محیط خشک و با خردکن مکانیکی پودر شدند. پس از آن، ۱۰۰ گرم از پودر تهیه شده با ۵۰۰ میلی‌لیتر متانول به روش سوسکله در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت عصاره‌گیری شد. عصارهٔ به دست آمده، دو بار از کاغذ صافی واتمن شمارهٔ یک عبور داده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه روتاری تحت خلأ در دمای ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ گردید (Ekramian *et al.*, 2021). عصارهٔ غلیظ شده تا زمان شروع آزمایش‌ها درون یخچال و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد.

### تهیه فیلم خوراکی

برای تهیهٔ فیلم، آب مقطر به نشاستهٔ ساگو (۴ درصد وزنی) افزوده شد و تا دمای ۹۰ درجه سلسیوس گرم و به مدت ۴۵ دقیقه به طور مداوم هم زده شد تا ژلاتینه شدن به طور همگن صورت-گیرد. به منظور شکل‌گیری کامل و جلوگیری از شکنندگی فیلم‌ها، پلاستی‌سایزر سوربیتول-گلیسرول (۴۰ درصد وزنی) نیز اضافه شد. بعد از خنک‌سازی در دمای ۴۰ تا ۴۵ درجه سلسیوس، غلظت‌های مختلف عصارهٔ بوقناق (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) به محلول نشاسته اضافه شد. برای تهیهٔ

فیلم، ۹۰ گرم از هر سوسپانسیون با پیپت بر پلیت پلکسی‌گلاس با ابعاد ۱۶ سانتی‌متر در ۱۶ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر ریخته شد. فیلم‌ها تا دمای محیط سرد و در اجاق مجهز به تهویه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ ساعت خشک شدند. پس از خشک شدن، نمونه ها از صفحات جدا و تا شروع آزمایش‌های بعدی در داخل دسیکاتور نگهداری شدند (Ekramian *et al.*, 2021).

**اندازه‌گیری انحلال‌پذیری در آب**

انحلال‌پذیری در آب فیلم‌ها با توجه به روش توصیف شده توسط مایزورا و همکاران (Maizura *et al.*, 2007) اندازه‌گیری شد. فیلم‌ها به قطعاتی با ابعاد ۲ × ۳ سانتی‌متر برش داده شدند. این قطعات تا زمان شروع آزمایش‌ها به مدت ۷ روز در دستگاه دسیکاتور (با ژل سیلیکا و رطوبت نسبی صفر درصد) قرار داده شدند. برای اندازه گیری انحلال‌پذیری، نمونه‌ها با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین و در بشرهای حاوی ۸۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به آرامی هم زده شدند. محتوای بشرها (قطعات باقی مانده) با استفاده از کاغذ صافی شمارهٔ ۱ واتمن صاف و در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشکانده شدند. درصد انحلال‌پذیری فیلم‌ها با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد (Ekramian *et al.*, 2021):

$$\text{درصد انحلال‌پذیری} = \frac{\text{وزن نهایی فیلم} - \text{وزن اولیه فیلم}}{\text{وزن اولیه فیلم}} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

**اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب**

برای تعیین ظرفیت جذب آب، نمونه‌هایی از فیلم‌ها (با ابعاد ۲ × ۲ سانتی‌متر) دردسیکاتور حاوی اکسید فسفر ($P_2O_5$) و پس از آن در آون در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشکانده شدند. سپس، قطعاتی از نمونه‌های خشک شده با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین و به مدت ۳۰ دقیقه در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شدند. بعد از اتمام عمل بازجذب، فیلم‌ها از آب خارج شدند و آب سطحی آنها به دقت با دستمال کاغذی خشکانده و وزن آنها مجدداً اندازه‌گیری شد. ظرفیت جذب آب فیلم‌ها به صورت زیر محاسبه شد (Pereira *et al.*, 2013):

$$\text{ظرفیت جذب آب} = \frac{\text{وزن فیلم خشک} - \text{وزن فیلم مرطوب}}{\text{وزن فیلم خشک}} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

**اندازه‌گیری نفوذپذیری به بخار آب**

برای اندازه‌گیری قابلیت نفوذپذیری فیلم‌ها به بخار آب، از روش استاندارد ASTM E96-80 استفاده شد (ASTM, 1981a). نمونه‌ها با فاصله‌های مناسب در ظرف‌های شیشه‌ای حاوی ژل سیلیکا با رطوبت نسبی صفر درصد قرار داده شدند. ظرف‌ها پس از وزن شدن درون دسیکاتور با رطوبت نسبی ثابت ۰/۵۲ (با استفاده از محلول اشباع نمک نیترات منیزیم) در دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. وزن ظرف‌ها روزانه و به مدت ۶ روز اندازه‌گیری و نفوذپذیری بخار آب فیلم‌ها (گرم بر متر ثانیه پاسکال) با استفاده از رابطهٔ (۳) تعیین شد (Zhang *et al.*, 2020):

$$\text{قابلیت نفوذپذیری} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)} \times d \quad (۳)$$

در رابطهٔ (۳)، S فشار بخار اشباع آب در دمای آزمایش (پاسکال)، d ضخامت فیلم (میلی‌متر)، $R_1$ و $R_2$ به ترتیب مقدار رطوبت نسبی (به صورت کسر) در دسیکاتور و ظرف شیشه‌ای ، و WVT نیز سرعت

انتقال بخار آب (گرم بر متر مربع) است که از شیب مستقیم به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها تعیین شد.

**تعیین ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها**

ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها از جمله مقاومت در برابر کشش، کشیدگی و مدول الاستیسیته (مدول یانگ) با استفاده از روش ASTM D882 با برخی اصلاحات تعیین شد (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014). نوارهای فیلم (با ابعاد ۱۴۰×۲۰ میلی‌متر) برش داده شدند و در دمای ۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵۳ درصد برای ۴۸ ساعت نگهداری شدند. ویژگی‌های مکانیکی با استفاده از دستگاه آنالیز بافت مدل TA-XT2 مجهز به نرم افزار Texture Exponent 32 V.4.0.5.0 اندازه گیری شد. نمونه‌ها بین فک‌های کششی با فاصلهٔ اولیه ۱۰۰ میلی‌متر محکم و با سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه کشیده شدند. طی فرآیند، تغییر شکل و نیرو با نرم افزار ثبت و در قالب نمودار نشان داده شد. استحکام کششی، ازدیاد طول (کشیدگی قبل از پارگی) و مدول یانگ با استفاده از روابط حاکم محاسبه شدند.

**ارزیابی فعالیت ضد باکتریایی فیلم‌ها**

در این تحقیق، خاصیت ضد باکتریایی فیلم‌ها روی دو باکتری شامل *اشریشیا کلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* ارزیابی شد. باکتری‌ها از آزمایشگاه میکروبیولوژی مواد غذایی دانشگاه آزاد اسلامی تهیه و به‌طور جداگانه کشت داده شدند و در دمای ۴ درجه سلسیوس در محلول گلیسرول نگهداری گردیدند. به منظور حفظ قابلیت زیستی باکتری‌ها، هر بیست روز کشت آنها تکرار شد. برای ارزیابی فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های نشاستهٔ ساگو حاوی عصارهٔ متانولی اندام هوایی بوقناق، از کشت سطحی و روش انتشار از دیسک پیشنهادی مایزورا و همکاران (Maizura *et al.*, 2007)، با برخی تغییرات، استفاده شد.

استاندارد ۰/۵ مک فارلند تهیه شد که حاوی ۹/۹۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۱ درصد و ۰/۰۵ میلی‌لیتر کلرید باریم ۱/۱۷۵ درصد است. در شرایط استریل و در زیر هود، ۰/۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون میکروبی هر یک از باکتری‌ها معادل ۰/۵ مک فارلند تهیه و ضمن انتقال به محیط کشت مولرهینتون‌آگار با میلهٔ L شکل استریل در سطح محیط کشت پخش شد. فیلم‌های حاوی درصدهای متفاوت عصارهٔ متانولی، که با استفاده از قالب به دیسک‌هایی با قطر ۵ میلی‌متر تبدیل شده بودند، روی محیط کشت قرار داده شدند. محیط‌های کشت (۳ تکرار برای هر باکتری) همراه با دیسک‌ها (۳ دیسک در هر محیط کشت) به‌صورت وارونه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند و بعد از ۲۴ ساعت قطر هالهٔ رشد به عنوان شاخص میزان فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها با استفاده از کولیس دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. تشکیل‌نشدن هاله به منزله نبود فعالیت ضد میکروبی در نظر گرفته شد.

**تجزیه و تحلیل آماری**

تمام آزمون‌ها در پنج تکرار اجرا و داده های آزمایشی با استفاده از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۱) با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) بررسی شدند.

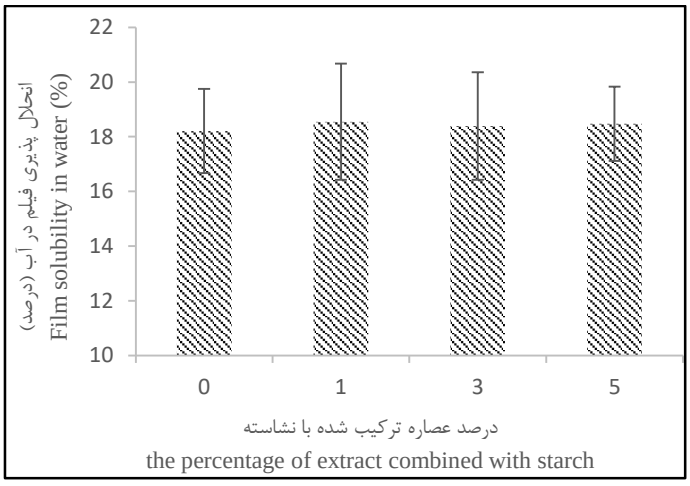
## نتایج و بحث

**انحلال‌پذیری فیلم‌ها در آب**

اغلب بیوپلیمرها به آب حساس هستند. بنابراین، به عنوان عاملی مهم که بیانگر تجزیه‌پذیری فیلم‌هاست، شاخص انحلال‌پذیری در آب می‌تواند برای تعیین کاربردهای بیوفیلم‌ها به‌کار گرفته شود.

گفتنی است که انحلال‌پذیری بیشتر نشانگر مقاومت کمتر در برابر آب است. در ارتباط با فیلم‌های خوراکی، بحث و نتیجه‌گیری در مورد سودمندی این ویژگی مورد بحث بسیاری است. از یک طرف، انحلال‌پذیریِ کمتر این گونه فیلم‌ها در دورهٔ ذخیره‌سازی مطلوب است و از طرف دیگر، برای پخت محصولات غذایی پوشیده شده با فیلم‌های خوراکی، انحلال‌پذیریِ بیشتر در آب مفید خواهد بود (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014).

مقادیر به‌دست آمده برای انحلال‌پذیری فیلم‌های نشاستهٔ ساگو مورد مطالعه در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. درصد انحلال‌پذیری فیلم نشاسته ساگو از ۱۸/۲۱ تا ۱۸/۵۳ متغیر است که با انحلال‌پذیری گزارش شده برای بیوفیلم‌های خوراکی متشکل از مواد گوناگون مانند نشاستهٔ سیب‌زمینی (۳۵-۲۴ درصد) (Sadegh-Hassani & Mohammadi Nafchi, 2014)، نشاستهٔ کاساوا (۳۲/۱-۲۳/۰ درصد) (Belibi *et al.*, 2014)، نشاستهٔ ساگو (۲۸/۸۱-۱۵/۸۹ درصد) (Poeloengasih & Anggraeni, 2014)، و قارچ (۳۵/۹۶-۱۵/۲۶ درصد) (Zhang *et al.*, 2017) قابل مقایسه است. لازم است گفته شود، افزون بر اجزای تشکیل دهندهٔ فیلم، شرایط آزمایش (عمدتاً شامل دمای آب و مدت زمان فرآیند) می تواند به طور موثر بر انحلال‌پذیری فیلم تأثیر بگذارد. به طور کلی، هم افزایش دما و هم افزایش مدت زمان باعث انحلال‌پذیری بیشتر فیلم در آب می شود.




**شکل ۱- تأثیر عصارهٔ متانولی بوقناق بر انحلال‌پذیری فیلم نشاستهٔ ساگو در آب**

**Fig.1- The effect of the methanolic extract of bougainvillea on the solubility of sago film in water**

براساس نتایج تحقیق حاضر، افزایش عصارهٔ گیاه بوقناق به نشاستهٔ ساگو در مجموع باعث افزایش جزئی انحلال‌پذیری فیلم‌ها شده است به طوری که کمینه و بیشینهٔ انحلال‌پذیری به ترتیب برای نمونه‌های شاهد و فیلم‌های حاوی ۵ درصد عصارهٔ متانولی بوقناق مشاهده می‌شود هرچند تفاوت انحلال‌پذیری در فیلم‌ها از نظر آماری معنی دار (در سطح ۵ درصد) نیست. نوری و محمدی نافچی (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014) با مطالعهٔ تأثیر عصارهٔ برگ گیاه تانبول بر ویژگی‌های فیلم نشاستهٔ ساگو دریافتند که ترکیب این عصاره با مقادیر مختلف (از ۵ تا ۳۰ درصد) باعث افزایش

معنی‌دار انحلال‌پذیری فیلم در آب می‌شود. اکرامیان و همکاران (Ekramian *et al.*, 2021) در پژوهشی دریافتند که ترکیب نسبت‌های مختلف (از یک تا ده درصد) عصارهٔ متانولی سیاهدانه با نشاستهٔ ساگو باعث افزایش معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) انحلال‌پذیری فیلم‌ها در آب می‌شود. مایزورا و همکاران (Maizura *et al.*, 2007) با بررسی تأثیر عصارهٔ علف لیمو بر ویژگی‌های فیلم خوراکی تهیه شده از نشاسته ساگو دریافتند افزودن عصاره با نسبت‌های ۰/۱ تا ۰/۴ درصد باعث افزایش ناچیز انحلال‌پذیری فیلم‌ها در آب می‌شود.

**ظرفیت جذب آب**

عواملی مانند درجهٔ اتصال متقابل، واکنش‌های آبدوست و آبگریز، و اثرهای آسایش زنجیره معمولاً بر چگونگی جذب آب توسط فیلم هیدروژل تأثیر می‌گذارند (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2008). مقادیر میانگین ظرفیت جذب آب توسط فیلم‌های مورد بررسی در این پژوهش در محدودهٔ ۳/۱۶-۱/۸۸ (گرم آب بر گرم مادهٔ خشک) به دست آمد، کمترین و بیشترین آب به‌ترتیب در فیلم شاهد (بدون عصاره) و فیلم حاوی ۵ درصد عصارهٔ بوقناق مشاهده شد. ظرفیت جذب آب توسط فیلم‌های حاوی ۱ و ۳ درصد عصارهٔ بوقناق نیز به ترتیب ۲/۰۷ و ۲/۶۲ (گرم آب بر گرم ماده خشک) به دست آمد. بر اساس مشاهدات و تجزیه و تحلیل‌های آماری ، افزودن عصارهٔ متانولی گیاه بوقناق به نشاستهٔ ساگو باعث افزایش معنی‌دار (در سطح احتمال ۵ درصد) جذب آب آن شده است. برهمکنش بین عصاره و نشاسته در ساختار فیلم می تواند دلیل اصلی این مشاهده باشد به طوری که کاهش پیوندهای هیدروژنی در ماتریس فیلم منجر به افزایش نفوذ آب به داخل ساختار شده است. این یافته در تطابق با مشاهدات گزارش شده توسط دیگر محققان از جمله مایزورا و همکاران (Maizura *et al.*, 2007) و پری‌یرا و همکاران (Pereira *et al.*, 2013) است.

**نفوذپذیری نسبت به بخار آب**

در تولید مواد برای بسته‌بندی مواد غذایی، جلوگیری موثر از انتقال رطوبت بین محصول داخل بسته و محیط اطرف اهمیت بالایی دارد. مقدار متوسط نفوذپذیری بخار آب برای فیلم‌های نشاستهٔ ساگو مورد مطالعه در این تحقیق برای فیلم‌های بدون عصاره $۱/۶۳\times۱۱^{-۱۰}$ متر بر گرم ثانیه پاسکال به دست آمد در حالی که برای فیلم‌های حاوی ۱، ۳ و ۵ درصد عصارهٔ متانولی بوقناق به ترتیب $۱/۷۷\times۱۱^{-۱۰}$، $۲/۱۳\times۱۱^{-۱۰}$ و $۲/۳۲\times۱۱^{-۱۰}$ متر بر گرم ثانیه پاسکال است. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش غلظت ترکیب عصاره در فیلم، نفوذپذیری به طور مداوم افزایش یافته است. این یافته با مشاهدات گزارش شده توسط نوری و محمدی نافچی (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014) و بناویدس و همکاران (Benavides *et al.*, 2012) همخوانی دارد.

**فعالیت ضد باکتریایی**

نتایج حاصل از بررسی فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها در جدول (۱) نشان داده شده‌است.

**جدول ۱- فعالیت ضد باکتریایی فیلم‌های نشاستهٔ حاوی درصدهای مختلف عصارهٔ متانولی بوقناق**

**Table1- Antibacterial activity of starch films containing different percentages of methanolic extract of fenugreek**

| عصاره (درصد) Extract (%) | قطر هاله عدم رشد (میلی‌متر) The diameter if the aura of lack of growth (mm) | |
|---|---|---|
| | *اشریشیا کلی* *Escherichia coli* | *استافیلوکوکوس اورئوس* *Staphylococcus aureus* |
| 1 | 1 ± 3.2 | 4 ± 1.3 |
| 3 | 11 ± 2.5 | 14 ± 7.6 |
| 5 | 13 ± 1.6 | 16 ± 5.4 |

تجزیه و تحلیل منطقهٔ مهار نشان می‌دهد به طور کلی، استفاده از عصاره در ترکیب با نشاستهٔ ساگو منجر به فعالیت ضد باکتریایی موثر در برابر دو سویه میکروارگانیسم مورد مطالعه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، *اشریشیا کلی* در مقایسه با *استافیلوکوکوس اورئوس* در مقابل عصارهٔ بوقناق مقاوم‌تر است. دلیل این تفاوت می‌تواند مربوط به تفاوت‌های ریخت شناختی بین میکروارگانیسم‌ها باشد. به طور کلی، غشای فسفولیپیدی در لایهٔ خارجی باکتری‌های گرم-منفی حامل ترکیبات لیپوپلی‌ساکارید ساختاری وجود دارد و باعث می‌شود دیوارهٔ سلولی قوی و غیر قابل نفوذ در برابر املاح لیپوفیلی باشد. برعکس، باکتری‌های گرم-مثبت ظرافت بیشتری دارند زیرا آنها فقط یک لایه پپتیدو گلیکان خارجی دارند و نمی توانند به طور موثر نفوذ املاح را مسدود کنند. به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیل در ترکیبات فنلی و از کار انداختن غشای سیتوپلاسمی، عصاره به عنوان مبدل پروتون عمل می‌کند و از طریق غشای سیتوپلاسمی، شیب pH را کاهش می‌دهد. این پدیده منجر به اختلال در جریان الکترون و نیروی محرکه پروتون می‌شود و در نتیجه به تخلیهٔ پیوندهای فسفو هیدرید در آدنوزین-تری‌فسفات و مرگ سلول می‌انجامد (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014).

## ویژگی‌های مکانیکی

مقادیر به دست آمده برای ویژگی‌های فیلم‌های نشاستهٔ حاوی عصارهٔ متانولی بوقناق در جدول (۲) آورده شده است.

**جدول ۲- مقادیر به‌دست‌آمده برای ویژگی های مکانیکی فیلم‌های نشاسته حاوی درصدهای مختلف عصارهٔ متانولی بوقناق**

**Table2 – The value obtained for the mechanical properties of starch films containing different percentages of methanolic extract of borage**

| عصاره (درصد) Extract (%) | استحکام کششی (مگاپاسکال) Tensile strength (MPa) | ازدیاد طول (درصد) Elongation (%) | مدول یانگ (مگاپاسکال) Young's modulus (MPa) |
|---|---|---|---|
| 0 (شاهد - Control) | 19.1 ± 34.77 | 11.1 ± 48.01 | 115.4 ± 25.63 |
| 1 | 15.1 ± 81.56 | 11.1 ± 79.37 | 103.5 ± 47.12 |
| 3 | 14.2 ±73.01 | 12 ± 1.69 | 101.2 ± 7.19 |
| 5 | 13.1 ± 11.69 | 12.1 ± 45.14 | 100.3 ± 14.71 |

استحکام کششی نهایی که اغلب با عنوان استحکام کششی شناخته می‌شود، حداکثر تنشی است که هر ماده می‌تواند هنگام کشش و قبل از شکستن تحمل کند. در مواد شکننده، استحکام کششی نهایی نزدیک به نقطهٔ تسلیم است. در حالی که در مواد انعطاف‌پذیر، استحکام کششی نهایی

می‌تواند بیشتر از استحکام تسلیم باشد. استحکام نهایی در کشش معمولاً با آزمایش کشش و ثبت تنش مهندسی در مقابل کرنش حاصل می‌شود. استحکام کششی از معیارهای مهم در کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی است زیرا فیلم‌های بسته‌بندی باید بتوانند در مقابل تنش‌های ناشی از انتقال، حمل و نقل و و غیره از خود ایستادگی مطلوب نشان دهند. بر اساس نتایج به دست آمده، با افزایش غلظت عصاره، استحکام کششی فیلم به طور معنی‌داری (در سطح احتمال ۵ درصد) کاهش یافته است. استحکام کششی یک ویژگی حساس است و می‌تواند به برخی از عوامل مانند چگونگی تهیهٔ نمونه، وجود نقص سطحی و دمای محیط آزمایش و مواد وابسته باشد.

نتایج به دست آمده نشان داده است که بر خلاف استحکام، درصد بیشتر عصاره باعث افزایش انعطاف‌پذیری فیلم می‌شود. این یافته ممکن است مربوط به نیروهای بین مولکولی کمتری باشد که در نتیجهٔ افزودن عصاره به وجود آمده است، به طوری که افزایش حجم آزاد و تحرک زنجیرهٔ پلیمر دمای انتقال شیشه‌ای فیلم را کاهش و انعطاف‌پذیری آن را افزایش می دهد (Poeloengasih & Anggraeni, 2014). این یافته با نتایج گزارش شده توسط ابراهیم و همکاران (Ibrahim *et al.*, 2019)، نوری و محمدی نافچی (Nouri & Mohammadi Nafchi, 2014) و نمازی‌فرد و همکاران (Nemazifard *et al.*, 2017) مطابقت دارد.

مدول یانگ بیانگر خواص الاستیک ماده است که مقدار بیشتر آن نشان دهندهٔ تغییر شکل کمتر در ماده تحت تنش کششی یا فشاری است. بر اساس نتایج نشان داده شده در جدول (۲)، بیشترین مدول یانگ برای فیلم نشاستهٔ ساگو خالص (شاهد) به‌دست آمده است. در مقایسه با نمونهٔ شاهد، افزایش عصاره در محدودهٔ مورد مطالعه باعث کاهش قابل توجه (در سطح احتمال ۵ درصد) در مدول یانگ فیلم کامپوزیت شده که نشان می‌دهد عصاره شبیه به نرم‌کننده عمل کرده است. در ضمن، بر اساس تحلیل‌های آماری، تفاوت معنی‌داری در مدول یانگ فیلم‌های حاوی درصدهای مختلف عصاره مشاهده نشد.

## نتیجه‌گیری

اثر عصارهٔ متانولی گیاه بوقناق با غلظت‌های مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ضد باکتریایی فیلم‌های نشاستهٔ ساگو نشان داده است که عصاره می‌تواند با موفقیت در فیلم‌ها گنجانده شود. انحلال‌پذیری فیلم‌های نشاستهٔ ساگو حاوی عصارهٔ بوقناق، به طور کلی، در آب کم است که نشان می‌دهد از این فیلم‌ها می توان در تولید مواد پوسته کپسول برای هدف‌های خاص استفاده کرد. کاهش معنی‌داری در دو مقاومت کششی و مقادیر مدول یانگ فیلم نشاستهٔ ساگو کامپوزیت، در مقایسه با فیلم شاهد (بدون عصاره)، مشاهده شده است. عصارهٔ متانولی بوقناق، به دلیل وجود گروه‌های هیدروکسیلی که در ترکیبات فنلی آن وجود دارد، می‌تواند ماده‌ای افزودنی موثر برای بهبود خواص ضد باکتریایی فیلم نشاسته ساگو باشد. پیشنهاد می‌شود فرمولاسیون فیلم نشاستهٔ ساگو با سایر بیوپلیمرهای سازگار توسعه یابد تا ویژگی عملکردی فیلم بهبود یابد. هرچند امروزه تولید پلاستیک‌های مشتق شده از نفت به دلیل فراوانی از نظر اقتصادی با صرفه است اما به دلیل آثار زیانبار و آسیب‌های جبران‌ناپذیر زیست محیطی، استفاده از آنها هزینه‌های اقتصادی گزافی در بر دارد. با کاهش منابع فسیلی ممکن است

تولید این محصولات در آیندهٔ نه چندان دور حتی توجیه اقتصادی نیز نداشته باشد. بنابراین، برای غلبه بر این مشکلات، تلاش برای تولید محصولات طبیعی اقتصادی الزامی است.

## تعارض منافع

نویسندگان در خصوص انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

## مراجع


Alizadeh, Z., Sarhadi, H. and Shahdadi, F. 2021. Effect of packaging with edible film of sago starch containing *Withania Somnifera* extract on quality properties of chicken fillet. Iranian Journal of Food Science and Technology. 114(18): 45–55.

ASTM. 1981a. Standard test methods for water vapor transmission of materials, method E96–80. Philadelphia, Pa.: American Society for Testing and Materials.

Belibi, P. C., Daou, T. J., Ndjaka, J. M. B., Nosm, B., Michelin, L. and Durand, B. 2014. A comparative study of some properties of cassava and tree cassava starch films. Physics Procedia. 55: 220–226.

Benavides, S., Villalobos-Carvajal, R. and Reyes, J. E. 2012. Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: Effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. Journal of Food Engineering. 110(2): 232−239.

Ehivet, F. E., Min, B., Park, M-K. and Oh, J-H. 2011. Characterization and antimicrobial activity of sweet potato starch-based edible film containing origanum (*Thymus capitatus*) oil. Journal of Food Science. 76(1): 178−184.

Ekramian, S., Abbaspour, H., Amjad, L. and Mohammadi Nafchi, A. 2021. Influence of *Nigella sativa* L. extract on physico−mechanical and antimicrobial properties of sago starch film. Journal of Polymer and the Environment. 29: 201−208.

Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev, B., Uthumporn, U. and Chew, S. H. 2011. Physical and mechanical properties of sago starch–alginate films incorporated with calcium chloride. International Food Research Journal. 18(3): 1027−1033.

Ibrahim, M. I. J., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S. and Zuhri, M. Y. M. 2019. Physical, thermal, morphological, and tensile properties of cornstarch-based films as affected by different plasticizers. International Journal of Food Properties. 22(1): 925−941.

Jagannath, J. H., Nanjappa, C., Das Gupta, D. K. and Bawa, A. S. 2003. Mechanical and barrier properties of edible starch–protein-based films. Journal of Applied Polymer Science. 88(1): 64−71.

Maizura, M., Fazilah, A., Norziah, M. H. and Abd Karim, A. 2007. Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch–alginate edible film containing lemongrass oil. Journal of Food Science. 72(6): 324−330.

Mehdizadeh, T., Tajik, H. and Mojaddar Langroodi, A. 2018. The effect of active and edible starch-chitosan composite film incorporated with thymus kotschyanus essential oil and punica granatum peel extracts on shelf life of meat during storage. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 14(2): 371−382.

Mohammadi Nafchi, A., Cheng, L. H. and Karim, A. A. 2011. Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. Food Hydrocolloids. 25(1): 56−60.

Nemazifard, M., Kavoosi, G., Marzban, Z. and Ezadi, N. 2017. Physical, mechanical, water binding and antioxidant properties of cellulose dispersions and cellulose film incorporated with pomegranate seed extract. International Journal of Food Properties. 20: 1501−1514.

Nouri, L. and Mohammadi Nafchi, A. 2014. Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sago starch film incorporated with betel leaves extract. International Journal of Biological Macromolecules. 66: 254−259.

Olivas, G. I. and Barbosa-Cánovas, G.V. 2008. Alginate–calcium films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizer and relative humidity. LWT−Food Science and Technology. 41(2): 359−366.

Pereira, R. F., Carvalho, A., Gil, M. H., Mendes, A. and Bártolo, P. J. 2013. Influence of *Aloe vera* on water absorption and enzymatic *in vitro* degradation of alginate hydrogel films. Carbohydrate Polymers. 98:311−320.

Poeloengasih, C.D., Anggraeni, F.D. 2014. Exploring the characteristics of sago starch films for pharmaceutical application. Starch/Starke. 66: 1103−1108.

Sadegh-Hassani, F. and Mohammadi Nafchi, A. 2014. Preparation and characterization of bionanocomposite films based on potato starch/halloysite nanoclay. International Journal of Biological Macromolecules. 67: 458−462.

Sorrentino, A., Gorrasi, G. and Vittoria, V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. Trends in Food Science & Technology. 18(2): 84−95.

Tahmasbi, M., Beigmohammadi, F. and Rafiei, F. 2018. Production of edible film based on starch-montmorillonite containing green tea extract in order packaging of flax seed oil. Journal of Food Research. 28(3): 69−84.

Tie, A. P. L., Karim, A. A. and Manan, D. M. A. 2008. Physicochemical properties of starch in sago palms (*Metroxylon sagu*) at different growth stages. Starch/Starke. 60(8): 408−416.

Zhang, K., Wang, W., Zhao, K., Ma, Y., Cheng, S., Zhou, J. and Wu, Z. 2020. Producing a novel edible film from mushrooms (*L. edodes* and *F. velutipes*) byproducts with a two-stage treatment namely grinding and bleaching. Journal of Food Engineering. 275: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109862.

*Food Engineering Research/Vol.21/No.72/Spring& Summer 2021/P:139-150*

*Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/*

**Original Research**

# Study the Influence of an Extract of *Eryngium Billardieri* on the Physico-Mechanical and Antimicrobial Properties of Sago Starch Edible Films

**M. Sadat Daneshzadeh, H. Abbaspour*, L. Amjad and A. Mohammadi Nafchi**

* Corresponding Author: Associate Professor, Department of biology, Tehran north Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: gharachorlo_m@yahoo.com
Received: 22 May 2019, Accepted: 12 February 2020
http://doi: 10.22092/fooder.2023.354263.1302

**Abstract**

In recent decades, efforts to find sustainable green solutions and replace conventional packaging materials with natural resources have increased. In the present research, the influence of methanol extract from *Eryngium billardieri* (0, 1, 3, and 5%) on some physico-mechanical properties and antibacterial activity of sago starch films was investigated. The results showed that increasing the extract concentration resulted in a significant (P 0.05) increase in the films' water absorption capacity (1.883.16 g water/g dry film) and water vapour permeability (1.6310-112.3210-11 g/m s.s.Pa).The solubility of the films in water was obtained to be in the range of 18.21−18.53%, and increased slightly with increasing the extract concentration. Tensile strength and Young's modulus changed in the range of 13.11−19.34 MPa and 100.14−115.25 MPa, respectively. Compared to the control film, the composite films represented more flexibility, and the elasticity was continually enhanced with an increasing percentage of the extract. Both gram-positive and gram-negative bacteria were resistant to the films' antimicrobial activity. Based on the results obtained in this study, due to the improved properties of the sago starch film, the composite films could be effectively used in the production of the capsule shell materials.

**Keywords:** Sago starch film, Methanol extract, *Eryngium billardieri*, Water solubility, Mechanical properties, Antibacterial activity