

بسته‌بندی زیست تخریب پذیر فعال از پسماند بنه زعفران و کربوکی متیل سلولز ذرت؛ راهکاری نو برای ارزش افزوده و حفاظت از محیط زیست

Evaluation of structural, biological, and antifungal properties of biodegradable films produced from saffron corm waste and corn residues

پروین شرایعی^{۱*}، راضیه نیازمند^۲، سودابه عین افشار^۱

۱. دانشیار، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، (نگارنده مسئول)
۲. استاد، گروه شیمی مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۳ - شناسانه برنمود رقمی:

چکیده

شرایعی، پ.، نیازمند، ر.، عین افشار، س.، . بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر فعال از پسماند بنه زعفران و کربوکی متیل سلولز ذرت؛ راهکاری نو برای ارزش افزوده و حفاظت از محیط زیست.
نشریه ترویجی زعفران و گیاهان دارویی، دوره ۵ - شماره ۲ - پاییز ۸- پائیز و زمستان ۱۴۰۴ صفحه: **-

هر سال، هزاران تن پلاستیک یک‌بار مصرف وارد محیط‌زیست می‌شود و قرن‌ها طول می‌کشد تا به طور کامل تجزیه گردد. در همین زمان، مزارع زعفران و ذرت کشور مقادیر زیادی پسماند تولید می‌کنند که یا بلااستفاده رها می‌شوند یا با روش‌هایی دفع می‌گردند که به طبیعت آسیب می‌زنند. این پژوهش نشان می‌دهد که همین پسماندها می‌توانند به ماده‌ای نوین برای بسته‌بندی مواد غذایی تبدیل شوند؛ موادی که پس از مصرف به‌طور طبیعی تجزیه می‌شوند و در عین حال از ویژگی‌هایی چون استحکام بالا، مقاومت در برابر نفوذ آب، و خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد قارچی برخوردارند. با ترکیب نشاسته بنه زعفران، کربوکی متیل سلولز حاصل از ذرت و افزودنی‌های طبیعی مانند لیگنین و عصاره اتانولی زعفران، فیلم‌هایی تولید شد که توانستند رشد قارچ را مهار کرده و ماندگاری محصولاتی همچون مغز پسته را افزایش دهند. این رویکرد نمونه‌ای موفق از تبدیل ضایعات کشاورزی به محصولی ارزشمند است که هم برای کشاورزان سودآور بوده و هم به نفع محیط‌زیست و سلامت مصرف‌کننده عمل می‌کند.

واژه های کلیدی: بسته‌بندی زیست تخریب‌پذیر، بنه زعفران، عصاره زعفران، کربوکی متیل سلولز، لیگنین.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: parvin_sharaye@ yahoo.com

بیان مسئله

صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به‌طور گسترده بر پلاستیک‌های نفت‌پایه متکی است که تجزیه‌ناپذیر بوده و علاوه بر آلودگی زیست‌محیطی، با مهاجرت ترکیباتی مانند نرم‌کننده‌ها و منومرهای باقیمانده به مواد غذایی، خطرات ایمنی ایجاد می‌کنند. این فرایند معمولاً از طریق نفوذ در ماتریس پلیمر، تقسیم‌بندی در سطح تماس و حل شدن در غذا رخ می‌دهد و با دما و زمان تماس تشدید می‌شود (مالی و همکاران، ۲۰۰۵). در مقابل، پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر گزینه‌ای ایمن و پایدار به شمار می‌آیند، مشروط بر آنکه ویژگی‌های مکانیکی و ممانعتی مناسبی داشته باشند شیخ و همکاران، ۲۰۲۱؛ توسعه بازار بیوپلاستیک، ۲۰۲۳).

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که نشاسته منابع گوناگون می‌تواند در تهیه فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به‌کار رود (دیاس و همکاران، ۲۰۱۰؛ فو و همکاران، ۲۰۱۰؛ رومروباستیدا و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین افزودن پلیمرهای زیستی نظیر کربوکسی‌متیل سلولز به نشاسته سبب بهبود استحکام کششی و مقاومت در برابر رطوبت می‌شود (ما و همکاران، ۲۰۰۸؛ قنبرزاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ تاواریس و همکاران، ۲۰۲۰). ایران به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده زعفران جهان، سالانه مقادیر زیادی از پسماند بنه زعفران تولید می‌کند که سرشار از نشاسته (حدود ۷۹ درصد ماده خشک) و ترکیبات زیست‌فعال است. از سوی دیگر، بقایای ذرت (به‌ویژه چوب بلال) منبع فراوان و کم‌هزینه

سلولز و لیگنین هستند که اغلب بدون استفاده رها یا به روش‌های آلاینده دفع می‌شوند. تبدیل این سلولز به کربوکسی‌متیل سلولز و ترکیب آن با نشاسته بنه زعفران، رویکردی نوین برای تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر و فعال است که علاوه بر کاهش آلودگی پلاستیکی، قابلیت مهار اکسیداسیون و رشد قارچ در مواد غذایی را نیز دارد (شرایعی و همکاران، ۲۰۲۵).

معرفی دستاورد و راهکار

در سال‌های اخیر، توسعه فناوری‌های بسته‌بندی پایدار به‌عنوان راهبردی کلیدی برای کاهش وابستگی به پلیمرهای نفت‌پایه و کنترل آلودگی‌های زیست‌محیطی مورد توجه ویژه قرار گرفته است. در این مسیر، بهره‌گیری از منابع زیستی تجدیدپذیر و ضایعات کشاورزی به‌عنوان مواد اولیه، چشم‌انداز تازه‌ای پیش‌روی پژوهشگران گشوده است. پژوهش حاضر با تمرکز بر دو منبع غنی و کمتر بهره‌برداری‌شده، یعنی بنه‌های مازاد زعفران و بقایای ذرت، روشی نوین برای تولید فیلم‌های بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر و فعال ارائه می‌کند. بنه زعفران به‌عنوان ساقه زیرزمینی گیاه، حاوی حدود ۷۹ درصد نشاسته و مقادیر قابل‌توجهی ترکیبات فنلی و قندهاست که آن را ماده‌ای ارزشمند برای تولید فیلم‌های زیست‌پایه می‌سازد (اسماعیلیان و همکاران، ۲۰۲۳). چوب بلال ذرت نیز یکی از ضایعات لیگنوسلولزی فراوان و سرشار از سلولز است که پس از استخراج و فرآوری، به کربوکسی‌متیل سلولز تبدیل می‌شود. این مشتق سلولزی با خاصیت آبدوستی

و توانایی ایجاد پیوندهای هیدروژنی با نشاسته، موجب بهبود خواص مکانیکی و کاهش حلالیت فیلم‌ها می‌گردد (ردی و یانگ، ۲۰۰۵؛ قنبرزاده و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین، چوب بلال ذرت منبع بسیار خوبی برای استخراج لیگنین است. لیگنین ماده‌های غیرسمی دارای گروه‌های عاملی نسبتاً فعال، تجزیه آسان، چسب خوب، جذب سطحی بالا و سازگاری خوب با مواد شیمیایی است. لیگنین به خاطر ساختار آبگریز در مقایسه با سلولز و همیسلولز، میتواند سبب بهبود خواص ممانعتی و مقاومتی فیلمهای نشاسته شوند (میچلن و همکاران، ۲۰۲۰). فعالیت آنتیاکسیدانی عصاره بنه زعفران و لیگنین در بسیاری از تحقیقات بیان شده است (عین‌افشار، ۱۳۹۸؛ لی و همکاران، ۲۰۲۳).

فیلم نشاسته بنه زعفران- حاوی کربوکیسی- متیلسلولز و ترکیبات فعال مطابق مراحل زیر و شکل ۱ تهیه شد:

۱. جمع‌آوری و آماده‌سازی مواد خام

بنه‌های مازاد زعفران در دوره خواب از مزارع شهرستان زاوه و بقایای چوب بلال ذرت پس از جداسازی دانه‌ها جمع‌آوری شدند. هر دو نمونه پس از شست‌وشو، خشک کردن در ۵۰ درجه سلسیوس، آسیاب و عبور از الک، برای مراحل بعدی آماده گردیدند.

۲. استخراج نشاسته از بنه زعفران

نشاسته خام با شست‌وشو، خرد کردن و فیلتراسیون از بافت بنه‌ها جداسازی شد.

۳. استخراج سلولز از چوب بلال ذرت

الیاف سلولزی با حذف لیگنین و همی سلولز به روش‌های شیمیایی و/یا مکانیکی استخراج

شد.

۴. تولید کربوکیسی‌متیل سلولز

سلولز با مونو کلرو استیک اسید و هیدروکسید سدیم واکنش داده و گروه‌های هیدروکسیل با کربوکیسی‌متیل جایگزین گردید.

۵. استخراج لیگنین و تهیه عصاره اتانولی بنه زعفران

لیگنین از چوب بلال و عصاره اتانولی از بنه زعفران تهیه و به محلول فیلم‌ساز افزوده شد.

۶. تهیه محلول فیلم‌ساز

نشاسته (۴ درصد) و کربوکیسی‌متیل سلولز (۲۰ درصد وزن نشاسته) با نسبت‌های مشخص در آب حل شد و همراه با لیگنین و عصاره بنه زعفران (۳/۰ درصد نسبت به وزن خشک فیلم)، محلولی یکنواخت تهیه شد.

۷. شکل‌دهی و خشک‌سازی فیلم

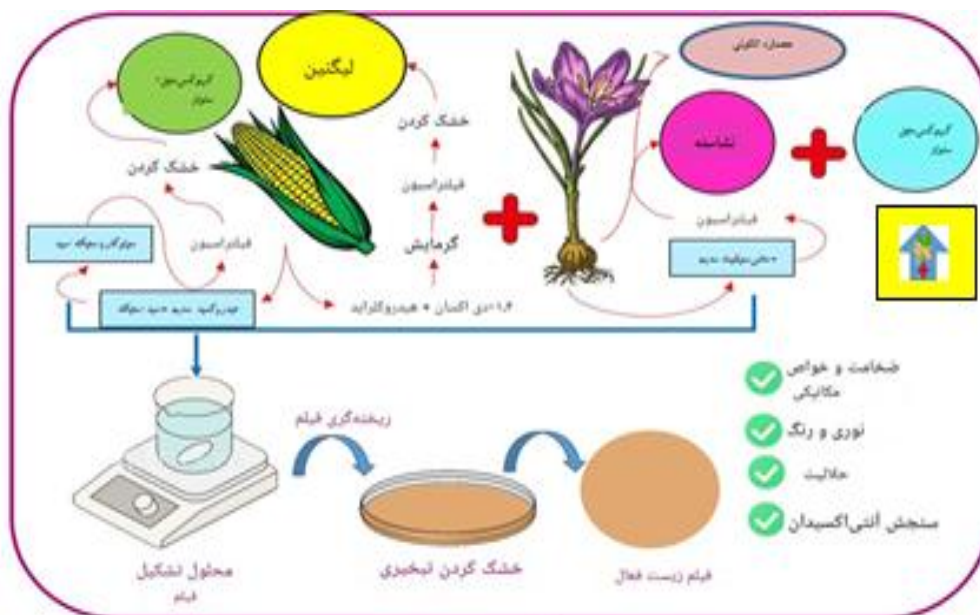
محلول بر سطح صاف پهن و تحت شرایط کنترل‌شده خشک شد تا فیلم نهایی تشکیل شود.

۸. تولید فیلم بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر فعال

فیلم‌ها از سطح جدا، برش خورده و برای بسته‌بندی مواد غذایی حساس (مغز پسته) استفاده شدند.

نتایج نشان داد بازده استخراج نشاسته از بنه زعفران برابر با $2/14 \pm 45/47$ درصد، سلولز از ضایعات چوب ذرت برابر با $3/50 \pm 38/43$ درصد، و بازده استخراج به ترتیب برای عصاره بنه زعفران و لیگنین به مقدار $17/32 \pm 1/83$ درصد و $2/28 \pm 14/56$ درصد تعیین شد.

همچنین، ارزیابی‌ها نشان داد که استفاده از کربوکیسی‌متیل سلولز باعث افزایش استحکام



شکل ۱- مراحل تولید فیلم زیست تخریب پذیر از بنه های ضایعاتی زعفران و چوب ذرت

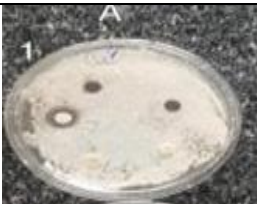
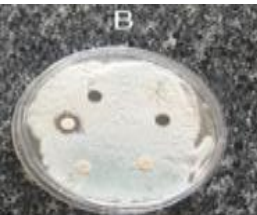
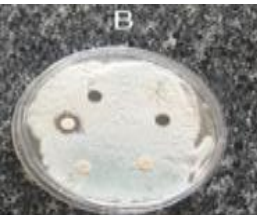
و بهبود ویژگی‌های سدکنندگی همسو می‌باشد. در راستای مقایسه با پلی‌لاکتیک‌اسید، هرچند این ماده معمولاً استحکام مکانیکی بالاتری دارد، اما سامانه حاضر دارای مزیت‌های عملکردی و پایداری منبع می‌باشد. از ویژگی‌هایی مانند خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدقارچی ذاتی به واسطه لیگنین و عصاره بنه زعفران که به مهار اکسیداسیون و رشد کپک کمک می‌کند؛ و همچنین اتکا به ضایعات کشاورزی و کاهش ردپای زیست‌محیطی در هماهنگی با روند روبه‌رشد به کارگیری مواد زیست‌پایه، میتوان به عنوان مزایای این سامانه اشاره نمود. از سوی دیگر، با توجه به امکان مهاجرت افزودنی‌ها و منومرها از پلاستیک‌های نفت‌پایه به مواد غذایی از مسیر نفوذ در ماتریس، تقسیم در سطح تماس و حل شدن در غذا، استفاده از مواد زیست‌پایه و فعال می‌تواند راهکاری برای ارتقاء کارکرد و ایمنی بسته‌بندی باشد.

با فرض ضخامت حدود ۵۰ میکرون، چگالی

کشتی (تا حدود ۶۴ درصد)، کاهش حلالیت در آب (حدود ۴۳ درصد) و بهبود انسجام شبکه پلیمری فیلم‌ها شد. افزودن عصاره بنه زعفران و لیگنین نیز خاصیت آنتی‌اکسیدانی (تا حدود ۴۰ درصد) و بازدارندگی قابل توجهی در برابر قارچ آسپرژیلوس پارازیتیکوس ایجاد کرد (جدول ۱).

در مقایسه با فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر متداول، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که افزودن کربوکی‌متیل سلولز و ترکیبات فعال (عصاره بنه زعفران و لیگنین) به ماتریس نشاسته بنه زعفران، نسبت به نشاسته خالص موجب افزایش استحکام کششی و کاهش حلالیت/نفوذپذیری رطوبت می‌شود؛ این روند با گزارش‌های پیشین (قنبرزاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ ما و همکاران، ۲۰۰۸؛ تاواریس و همکاران، ۲۰۲۰؛ ریاس و همکاران، ۲۰۱۱؛ فو و همکاران، ۲۰۱۱؛ رومروباستیدا و همکاران، ۲۰۰۵) درباره تقویت فیلم‌های نشاسته با کربوکی‌متیل سلولز

جدول ۱- اثر ضد میکروبی (قطر هاله عدم رشد) فیلمهای زیست تخریب پذیر فعال بر رشد و مهار کپک آسپرژیلوس پارازیتیکوس

نوع فیلم	قطر هاله عدم رشد (میلیمتر)	
نشاسته- کربوکسی متیل سلولز حاوی لیگنین	7.94 ± 1.05^b	
نشاسته- کربوکسی متیل سلولز حاوی عصاره بنه	6.30 ± 1.35^b	
زعفران- کتوکنازول (۲۰۰ پیپام)	12.00 ± 1.00^a	

آزمون مدل غذایی با مغز پسته نیز بیانگر آن بود که این فیلم ها می‌توانند رشد قارچ و تولید آفاتوکسین را در محدوده استاندارد ملی حفظ کنند (جدول ۲). حداکثر مقدار مجاز مجموع آفاتوکسین در پسته خام و فراوری شده کمتر از ۱۵ و برای آفاتوکسین بی ۱، ۵ نانوگرم بر گرم (پی پی بی) گزارش شده است (استاندارد ملی ایران، شماره ۵۹۲۵).

جدول ۲- اثر فیلم های حاوی ترکیبات فعال بر میزان آفاتوکسین (نانو گرم بر گرم) مغز پسته آغشته شده به آسپرژیلوس پارازیتیکوس طی نگهداری در دمای ۳۰ درجه سلسیوس در مقایسه با فیلم شاهد

نوع آفاتوکسین	آفاتوکسین B1	آفاتوکسین کل	یک روز بعد از تلقیح	بعد از ۳۰ روز نگهداری
نشاسته- کربوکسی متیل سلولز حاوی لیگنین	غیر قابل تشخیص	کمتر از ۱	۱۲	
نشاسته- کربوکسی متیل سلولز حاوی عصاره بنه	غیر قابل تشخیص	کمتر از ۱	۱۲	
زعفران	غیر قابل تشخیص	کمتر از ۵	۳۰	
پلیاتیلن (۷۰ میکرون)				

داده ها میانگین سه تکرار هستند و به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار بیان شده اند.

خشکبار و ادویه جات مناسب هستند و می‌توانند ماندگاری و کیفیت آنها را حفظ کنند.

- پیشنهاد می‌شود برنامه‌های حمایتی و تسهیلاتی برای واحدهای کوچک و متوسط فعال در بازیافت ضایعات کشاورزی و تولید مواد زیست تخریب پذیر تدوین و اجرا شود.

- برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای

زیست تخریب پذیر، مانند فیلم‌های ساخته شده از نشاسته بنه زعفران و کربوکسی متیل سلولز، هم سهم بازار خود را افزایش دهند و هم به الزامات محیط زیستی پاسخ مثبت دهند.

- این نوع فیلم‌ها به دلیل خاصیت آنتی اکسیدانی و ضد قارچی، برای بسته بندی محصولات حساس و صادراتی مانند مغز پسته،

آشنایی ذی‌نفعان با مزایا و روش‌های استفاده از ضایعات بنه زعفران و ذرت در تولید بسته‌بندی‌های پایدار، می‌تواند به گسترش این فناوری کمک کند.

نزدیک به ۳۰ / ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و جرم خشک حدود ۶۵ گرم برای هر متر مربع، هزینه آزمایشگاهی مواد لازم برای تولید فیلم زیست‌تخریب‌پذیر حاضر حدود ۷۰ هزار تومان به‌ازای هر متر مربع برآورد می‌شود. این رقم به کیفیت مواد، تأمین‌کننده و مقدار خرید وابسته است و معمولاً با خرید عمده در مقیاس پایلوت یا صنعتی کاهش می‌یابد. این برآورد نشان می‌دهد که استفاده از ضایعات کشاورزی برای تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، علاوه بر مزایای زیست‌محیطی و عملکردی، از نظر هزینه مواد نیز رقابت‌پذیر بوده و ظرفیت جذب سرمایه‌گذاری را دارد؛ از این رو می‌تواند به‌عنوان جایگزینی زیست‌سازگار برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی، با بهره‌برداری بهینه از پسماندهای کشاورزی، به کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش ماندگاری مواد غذایی حساس کمک کند و الگویی عملی برای پیوند فناوری بسته‌بندی پایدار با مدیریت هوشمند ضایعات کشاورزی ارائه دهد.

توصیه ترویجی

- کشاورزان و واحدهای فرآوری زعفران و ذرت می‌توانند با جداسازی و تحویل بنه‌های مازاد زعفران و بقایای ذرت به مراکز تحقیقاتی یا صنایع تبدیلی، زمینه تولید محصولات زیست‌پایه را فراهم کنند. این کار علاوه بر ایجاد ارزش افزوده، از آلودگی محیط‌زیست ناشی از دفع این مواد جلوگیری می‌کند.

- واحدهای تولید بسته‌بندی مواد غذایی می‌توانند با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های

منابع

1. سازمان ملی استاندارد ایران (۱۳۸۰). استاندارد خوراک انسان- دام- بیشه حد رواداری، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی، استاندارد ملی ایران شماره ۵۹۲۵.
2. عین‌افشار، س. (۱۳۹۸). بررسی اثر روش استخراج (حلال، حلال- فراصوت) بر فعالیت ضداکسایشی و ضد میکروبی عصاره پیاز زعفران. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۵۶۰۳۷.
3. Dias, A. B., Müller, C. M., Larotonda, F. D., & Laurindo, J. B. (2011). Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and cellulose fibers. *LWT-Food Science and Technology*, 44(2), 535-542.
4. Esmaeelian, M., Jahani, M., Feizy, J., & 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.
5. European Bioplastics. (2023, December 7). Bioplastics market development update 2023. European Bioplastics. [<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics-market-development-update-2023-2/>].
6. Fu, Z. Q., Wang, L. J., Li, D., Wei, Q., & Adhikari, B. (2011). Effects of high-pressure homogenization on the properties of starch-plasticizer dispersions and their films. *Carbohydrate Polymers*, 86(1), 202-207.
7. Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. (2010). Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative food science & emerging technologies*, 11(4), 697-702.
8. Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. (2011). Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and products*, 33(1), 229-235.
9. Li, K., Zhong, W., Li, P., Ren, J., Jiang, K., & Wu, W. (2023). Recent advances in lignin antioxidant: Antioxidant mechanism, evaluation methods, influence factors and various applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251, 125992.
10. Ma, X., Chang, P. R., & Yu, J. (2008). Properties of biodegradable

- thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 369-375.
- Mali, S., Sakanaka, L. S., Yamashita, F., & Grossmann, M. V. E. (2005). .11
Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate polymers*, 60(3), 283-289.
- Michelin, M., Marques, A. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., & .12
Cerqueira, M. A. (2020). Carboxymethyl cellulose-based films: Effect of organosolv lignin incorporation on physicochemical and antioxidant properties. *Journal of Food Engineering*, 285, 110107.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts .13
for industrial applications. *TRENDS in Biotechnology*, 23(1), 22-27.
- Romero-Bastida, C. A., Bello-Pérez, L. A., García, M. A., Martino, .14
M. N., Solorza-Feria, J., & Zaritzky, N. E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60(2), 235-244.
15. Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science*, 4, 503-520.
- Sharayei, P., Niazmand, R., Sarabi Jamab, M., Sabeghi, Y., Einafshar, .16
S., Azarpazhooh, E., Sharif, V., & Sharif, F. (2025). Bioactive films from saffron corm and corn husk: A transformative solution for antioxidant and antimicrobial pistachio packaging. *LWT*, 228, 118097.
- Tavares, K. M., de Campos, A., Luchesi, B. R., Resende, A. A., de .17
Oliveira, J. E., & Marconcini, J. M. (2020). Effect of carboxymethyl cellulose concentration on mechanical and water vapor barrier properties of corn starch films. *Carbohydrate polymers*, 246, 116521.