Iranian Food Science and Technology Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 6, Jan.-Feb. 2027, p. 579-597

Effect of Tartaric Acid and Walnut Green Husk Extract on Low Density Polyethylene/Thermoplastic Starch Composite Film with the Approach of Technical Examination of Domestically Produced Plant-based Containers

N. Jannatiha [1], N. Sedaghat [1*]
1- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Auteur Email: sedaghat@um.ac.ir)

Received: 06.04.2026
Revised: 05.05.2026
Accepted: 25.05.2026
Available Online: 24.08.2026

How to cite this article:
Jannatiha, N., & Sedaghat, N. (2027). Effect of tartaric acid and walnut green husk extract on low density polyethylene/thermoplastic starch composite film with the approach of technical examination of domestically produced plant-based containers. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 22*(6), 579-597. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2026.98218.1561

Introduction

Bio-based and biodegradable plastics have been proposed as potential alternative to conventional plastics. Environmentally degradable polymers and plastics standards are a means of verifying and certifying a product or group of products on a uniform scientific basis, which brings consistency, accountability and reliability to the results and, consequently, to the products. They provide a basis for developing a test plan including essential requirements, specifications and distinct acceptance levels for subsequent certification and labeling. In active packaging, antimicrobial and antioxidant factors are placed in food packaging to enhance product safety, and shelf life, preserving quality, and prohibiting microbial growth. The migration and dispersion of effective factors from the packaging to the inner environment prevents undesirable physicochemical and microbial reactions. Walnut or *Juglans regia* is a highly valuable and broad-leaved tree of the *Fagales* family. There are about 20 species of walnut, all of which are native to the temperate region. The green husk of walnuts is considered an agricultural waste and by-product and is often discarded, causing environmental pollution. Therefore, optimal use of walnut waste development of applications of products with high added values are essential. Walnut green husk, as a by-product, highlights the position of walnut production as a rich source of antioxidant compounds, with biological effect and is widely used in the chemical, biotechnology, and food due to its low cost and good compatibility. Extracts are often used as additives, bioactive compounds, and natural preservatives in active food packaging Walnut green husk extract (EX) be able to be used as an active ingredient in food packaging. EX can also acts as a plasticizer and binder between film matrix components and improve mechanical and physical properties with suitable biological properties of films and ultimately will be able to prevent oxidation of food products. The most common component of polyethylene is low-density polyethylene (LDPE). LDPE is a thermoplastic and completely crystalline. Due to the crystallinity and hydrophobicity of the main chain, it is resistant to degradation. To address environmental problems and atmospheric pollution, researchers are focusing on natural polymers or combination of natural and synthetic fossil-based polymers, while seeking sustainable development methods. Starch is one of the most abundant biopolymers and readily available source of carbohydrates. Native starch is inexpensive, non-toxic, and environmentally friendly, but drawbacks such as not exhibiting good processing and mechanical properties due to its brittleness and high hydrophilicity. The breakdown of starch granules occurs under a process called gelatinization through thermodynamic processing (such as extrusion) and high temperature using plasticizers and becomes thermoplastic starch (TPS). To enhance the properties of TPS and reduce the environmental impact of LDPE, it is essential to blend TPS with LDPE, which serves as a hygroscopic material. This study aimed to explore the attributes of Walnut green husk extract and its application in the development of LDPE/TPS films and investigate the effect of tartaric acid (TA) (1.5 and 3%) EX (4%) on the mechanical, Field-

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.22067/ifstrj.2026.98218.1561

emission scanning electron microscopy (FESEM) and biodegradable properties of LDPE/TPS composite films.

Materials and Methods

The Ex properties (total phenolic compounds, antioxidant activity, antibacterial activity) and its application in TPS/LDPE films were determined.Then, starch and low-density polyethylene (LDPE) were dried in an oven at 120°C for 8 hours. To obtain thermoplastic starch (TPS), the starch powder was manually mixed with glycerol (75 and 25% w/w, respectively) for 30 minutes at room temperature. Then, the TPS, LDPE, EX (1, 2,3, and 4%) and tartaric acid (TA) were mixed using a twin-screw extruder. The extruder temperature was set at 140°C and the extruder speed was 100 rpm. At the end of the process, the produced filaments were exposed to air and dried while moving on a conveyor belt. They were then crushed into granules and finally stored in polyethylene bags. The obtained mixtures (granules) were prepared into films using a hot press (temperature 160°C, pressure 25 MPa, time 3 minutes).The sample with a ratio of 65:35 (LDPE: TPS) was considered as the control sample. Also, in this study, a sample of plant-based container collected from local market with brand A was considered as one variables for comparison with the produced films in terms of biodegradability.

Result and Discussion

The EX showed an antioxidant activity about 24.66, µg/mL measured by 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•), assays. The total phenol content of the EX was 174.66 m/g. The MIC value was determined in the range of 10-32 mg/ml, the MBC value was 20 mg/ml, and the halo of inhibition was determined in 2-7 mm. The films containing 4% WGHE showed the highest inhibition zone (8.33mm). LDPE/TPS films containing TA and EX were successfully prepared by extrusion method. The mechanical properties of the composite films improved with the addition of TA and EX due to the cross-linking effect. FESEM images confirmed a smooth and homogeneous surface with the combination of TA and EX, indicating good compatibility between the polymer components. All samples were biodegraded within two months. In the LDPE/TPS sample, the percentage of biodegradation was 10.98 ± 0.01. By adding TA from 1.5 to 3%, the percentage of biodegradation increased significantly from 18.09 ± 0.03 to 25.24 ± 0.04. Addition EX (4%) and TA (4%), the percentage of biodegradation was 21.17±0.01. The presence of TPS, TPS-TA, or TPS-TA-EX in the polymer increased the molecular weight reduction. On the other hand, the plant-based container sample had the lowest degradation rate (5.14 ± 0.01) among the other samples. And no changes were observed in the samples in terms of appearance over two months. The weight loss of starch in LDPE composites may be responsible for this biodegradability, with increasing TA content, the molecular weight loss increases due to its higher (positive hydrogen) content. Therefore, it can be concluded that the LDPE/TPS mixture containing TA showed better biodegradability than the control sample and the plant-based container.

Conclusion

The aqueous-ethanolic extracts of Ex exhibited antimicrobial and antioxidant (DPPH•) attributes. LDPE/TPS films containing (Ex 4%) demonstrated antimicrobial activity. With addition TA (1.5, 3%) and EX (4%) to LDPE/TPS, mechanical, microstructure, and biodegradability properties of the films were improved. In the present study, samples of biodegradable composite films were produced and the biodegradability of these samples was compared with samples of plant-based container produced domestically (Brand A). The results showed that the containers supplied in the local market as plant-based containers outperform the claimed biodegradeability. This result highlights the need to re-examine the production of local plant-based containers in terms of biodegradability and safety.

Keywords: Active packaging, Antibacterial, Biodegradability, Plastic

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره۶، بهمن–اسفند ۱۴۰۵، ص. ۵۹۷–۵۷۹

بررسی تأثیر اسید تارتاریک و عصاره پوست سبز گردو بر فیلم کامپوزیتی پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم با رویکرد بررسی فنی ظروف گیاهی تولید داخل

نرجس جنتی ها[1]– ناصر صداقت[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

چکیده

عصاره پوست سبز گردو به روش هیدروالکلی انجام شد. نتایج نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنل کل عصاره به‌ترتیب ۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر و ۱۷۵ میلی‌گرم بر گرم بود. مقدار حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت باکتری‌کشی در محدوده ۱۰ تا ۳۲ و ۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و قطر هاله عدم رشد با مقدار ۲ تا ۷ میلی‌متر تعیین شد. سپس فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم حاوی عصاره (۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی) تهیه شدند. نتایج نشان داد که فیلم‌های حاوی عصاره ۴ درصد وزنی (۸/۳۳ میلی‌متر) بالاترین هاله عدم رشد را نشان داد. برای بررسی خواص مورفولوژی، مکانیکی و زیست‌تخریب‌پذیری از عصاره ۴ درصد وزنی و اسید تارتاریک (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) در فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم توسط تکنیک اکستروژن/پرس استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد که خواص مکانیکی و مورفولوژیکی فیلم‌های کامپوزیتی با افزودن اسید تارتاریک و عصاره بهبود یافت. سپس بر روی این نمونه‌ها و نمونه ظرف گیاهی تهیه‌شده از یک واحد تولیدی داخلی با برند[2] A با ادعای تجزیه‌پذیری، آزمون زیست‌تخریب‌پذیری (طی ۲ ماه) انجام گردید. ظرف گیاهی بر پایه نشاسته ساخته شده بود. در نمونه پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم درصد زیست‌تخریب‌پذیری ۰/۰۱ ± ۱۰/۹۸ به‌دست آمد. با افزودن اسید تارتاریک از ۱/۵ به ۳ درصد وزنی مقدار درصد زیست‌تخریب‌پذیری از ۰/۰۳ ± ۱۸/۰۹ به ۰/۰۴ ± ۲۵/۲۴ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. حضور نشاسته گرمانرم یا نشاسته گرمانرم–اسید تارتاریک–عصاره در پلیمر، منجربه تسریع درکاهش وزن مولکولی شد. از طرفی نمونه ظرف گیاهی تولید داخل (برند A) دارای کمترین مقدار تخریب و قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری (۰/۰۱ ± ۵/۱۴) در مقایسه با سایر نمونه‌ها بود. بنابراین فیلم حاوی اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی و فیلم حاوی اسید تارتاریک/عصاره دارای خواص مورفولوژیکی، مکانیکی و زیست‌تخریب‌پذیری بهبود یافته‌تری بودند.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی فعال، پلاستیک، زیست‌تخریب‌پذیری، ضد باکتریایی

مقدمه

پلیمرهای مصنوعی و پلی‌اولفین[3] جایگزین‌های مهمی برای شیشه، لاستیک و فلزات هستند و کاربردهای گسترده‌ای در اشکال مختلف دارند. تولید پلیمرهای مصنوعی می‌تواند بسیار ارزان و بادوام باشد، اما از نظر زیست‌محیطی چالش‌برانگیز است. در سال ۲۰۱۹، میانگین نرخ رشد سالانه پلاستیک‌ها ۴ درصد گزارش‌شده است. با توجه به افزایش و رشد جمعیت انسانی، می‌توان پیش‌بینی کرد که در سال ۲۰۶۰ به سه برابر سطح خود در مقایسه با سال ۲۰۱۹ خواهد رسید (Karaki *et al.*, 2024). پلی‌اتیلن با دانسیته پایین[4] یک ترموپلاستیک است که از مونومر اتیلن ساخته شده است. درجه بلورینگی آن ۵۰ تا ۶۰ درصد است که منجر به خواصی مانند استحکام کششی بالا، کدورت و انعطاف‌پذیری کم می‌شود. به‌دلیل بلورینگی و آب‌گریزی زنجیره اصلی، در برابر تخریب مقاوم است. برای پرداختن به مشکلات زیست‌محیطی و آلودگی اتمسفر، محققان بر پلیمرهای طبیعی یا مخلوطی از پلیمرهای طبیعی و مصنوعی مشتق شده از نفت تمرکز می‌کنند (Entezari &

۱– گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*– نویسنده مسئول: Email: sedaghat@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2026.98218.1561

۲– نام شرکت تولید کننده ظروف گیاهی مورد بررسی نزد مجری این تحقیق محفوظ می‌باشد.

3- Polyolefin
4- Low density poly ethylene

(Sedaghat, 2024). برای مثال، مطالعاتی روی پلی‌اتیلن با دانسیته بالا/نشاسته گرمانرم[1] (Kahar, Ismail, & Othman, 2012)، پلی (بوتیلن آدیپات-کو-ترفتالات) [2] و نشاسته گرمانرم (Ivanič, Kováčová, & Chodák, 2019)، پلی‌اتیلن و نشاسته گرمانرم (Hazer & Aytac, 2023)، پلی‌اتیلن/پلی‌پروپیلن[3]/نشاسته گرمانرم (Dewi, Sylvia, Zulnazri, & Riza, 2023)، برای کاهش آلودگی محیط‌زیست انجام‌شده است. نشاسته یکی از فراوان‌ترین بیوپلیمرها و منابع کربوهیدرات‌های در دسترس است. نشاسته طبیعی ارزان، غیر سمی و سازگار با محیط‌زیست است، اما فرآوری آن چالش‌برانگیز است و به‌دلیل شکنندگی و آب‌دوستی بالا، خواص مکانیکی ضعیفی دارد (Fathifar & Sedaghat, 2025).تجزیه گرانول‌های نشاسته تحت فرآیندی به نام ژلاتینه شدن تحت فشار و دمای بالا به کمک انرژی برشی ایجاد شده توسط مارپیچ چرخشی اکستروژن تا نقطه در هم آمیختگی و نرم‌شدگی حرارت داده می‌شود و با استفاده از نرم‌کننده‌ها (گلیسرول، اوره، آب) به نشاسته گرمانرم تبدیل می‌شود (Hazer & Aytac, 2023). علاوه بر این، نرم‌کننده‌ها و ترکیبات مختلف می‌توانند منجر به عملکرد متفاوت نشاسته گرمانرم شوند. نرم‌کننده‌ها معمولا ترکیبات آلی با وزن مولکولی پایین و غیر فرار هستند. این مواد باعث کاهش برهمکنش‌های زنجیر به زنجیر و جداشدن زنجیره‌ها از همدیگر و کاهش اصطکاک بین آنها و تسریع حرکت مولکولی زنجیره‌های پلیمر می‌شوند. نرم‌کننده‌ها بین زنجیره‌ها پخش می‌شوند و به‌عنوان یک روان‌کننده داخلی عمل کرده و نیروی اصطکاک بین زنجیره‌ها را کاهش می‌دهند. قرار گرفتن نرم‌کننده‌ها بین زنجیره‌ها موجب فاصله گرفتن زنجیره‌ها از هم شده و در نتیجه حجم آزاد افزایش می‌یابد افزایش حجم آزاد موجب کاهش سفتی و افت در دمای انتقال شیشه‌ای می‌شود. نرم‌کننده‌ها با تغییر شبکه سه بعدی باعث افزایش انعطاف‌پذیری و کشش‌پذیری و کاهش پیوستگی الاستیسیتی و مقاومت مکانیکی می‌گردند. معمولا نرم‌کننده‌ها با افزایش تحرک زنجیرها و افزایش فضاهای خالی موجب افزایش نفوذپذیری فیلم پلیمری نسبت به گازها می‌گردند (Zhang, He, Lin, Li, & Jiang, 2019). شایان‌ذکر است که خواص مکانیکی نشاسته گرمانرم، ضعیف و حساس به رطوبت است. برای افزایش خواص نشاسته گرمانرم و کاهش اثرات زیست‌محیطی پلی‌اتیلن، نشاسته گرمانرم با پلی‌اتیلن مخلوط شد (Bulatović *et al.*, 2023). برای دستیابی به خواصی مانند انعطاف‌پذیری، شفافیت و قابلیت کشش مناسب، افزودنی‌هایی مانند عوامل آب‌گریز و نرم‌کننده ضروری هستند (Yousuf, Sun, & Wu, 2022). اسید تارتاریک[4] با فرمول کلی $C_4H_6O_6$ یک اسید آلی کربوکسیلیک است که به‌طور طبیعی در گیاهان و میوه‌های مختلف مانند انگور، تمر هندی، سیب و موز یافت می‌شود. اسید تارتاریک معمولاً به‌عنوان یک بافر، اسیدساز و ماده کمکی در غذاها و نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر این، می‌تواند به‌عنوان یک نرم‌کننده در واکنش‌های استری شدن و ترانس استری شدن عمل کند (Jantwal, Durgapal, Upadhyay, Joshi, & Kumar, 2022; Alonso, León, Kolesniková, Mata, & Alonso, 2021). اولیواتو و همکاران (Olivato *et al.*, 2013) گزارش دادند که اسید تارتاریک می‌تواند با نشاسته استری شود و به‌عنوان نرم‌کننده بین زنجیره‌ها قرار گیرد و منجر به افزایش انعطاف‌پذیری فیلم شود. در واقع این امر (پیوند استری ایجاد شده) به اسیدهای کربوکسیلیک اجازه می‌دهد تا در طول اختلاط مذاب در فرآیند اکستروژن در حد فاصل[5] بین پلی‌اتیلن و نشاسته قرار بگیرند بنابراین اسید تارتاریک از طریق پیوند استری با نشاسته قادر خواهد بود آب دوستی نشاسته را کاهش دهد و امکان تعامل بهتر با پلی‌استر را ایجاد نماید (Shi, Zhang, Li, & Pan, 2018). به‌طور مشابه، ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2019) دریافتند که افزودن اسید تارتاریک خواص مکانیکی را بهبود می‌بخشد و منجر به مورفولوژی خوب و یکنواخت بین فازهای پلیمری می‌شود. در بسته‌بندی فعال، عوامل ضد باکتریایی و آنتی‌اکسیدانی در بسته‌بندی مواد غذایی قرار می‌گیرند تا ایمنی محصول و ماندگاری مواد غذایی را افزایش دهند، کیفیت را حفظ کنند و رشد میکروبی را با سرعت کنترل‌شده‌ای مهار کنند. مهاجرت و پراکندگی عوامل مؤثر از بسته‌بندی به محیط داخلی از واکنش‌های نامطلوب فیزیکوشیمیایی و میکروبی جلوگیری می‌کند (Sahraee, & Milani, 2025; Rezaei, Rezaei, & Alboofetileh, 2021). گردو یا *Juglans regia* درختی بسیار ارزشمند و پهن‌برگ از خانواده Fagales است. حدود ۲۰ گونه گردو وجود دارد که همگی بومی مناطق معتدل هستند. ایران یکی از تولیدکنندگان شناخته‌شده گردو در جهان است و از نظر سطح زیر کشت گردو رتبه دوم را در جهان دارد (Kithi, Lengyel-Kónya, Berki, & Bujdosó, 2023; Romano, Aiello, & Meca, 2021). پوسته سبز گردو به‌عنوان ضایعات کشاورزی و محصول جانبی در نظر گرفته می‌شود و اغلب دور ریخته می‌شود و باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شود. بنابراین، استفاده بهینه از ضایعات گردو، توسعه کاربردها و ایجاد محصولاتی باارزش افزوده بالا ضروری است. پوسته سبز گردو، به‌عنوان یک محصول جانبی، جایگاه تولید گردو را به‌عنوان منبع غنی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با اثر زیستی برجسته می‌کند و به‌دلیل هزینه

1- Thermoplastic starch
2- Polybutylene adipate terephalate
3- Polypropylene

4- Tartaric acid
5- Interface

کم و سازگاری خوب، به‌طور گسترده در صنایع شیمیایی، بیوتکنولوژی و صنایع غذایی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Romano *et al*., 2021; Boghori, & Sedaghat, 2021). گروه‌های فنلی جداشده در پوسته سبز گردو شامل اسید گالیک، اسید بنزوئیک، اسید وانیلیک، اسید پروتوکاتکوئیک و ۲،۳–دی هیدروکسی بنزوئیک، اسید کافئیک، اسید کلروژنیک، اسید سیناپیک، اسید فرولیک، اسید کلروژنیک، اسیدهای هیدروکسی سینامیک، فلاونوئیدها (کاتچین، کوئرستین، اپی کاتچین، میریستین، سوداکیتین، ۵، ۶، ۴۰–تری هیدروکسی–۷، سیرسیلینول، روتین، ۳۰–دی متوکسی فلاون، کامپفرول، آپیژنین) و ژوگلون (به‌عنوان مهم‌ترین ترکیب فنلی پوسته سبز گردو) هستند. عصاره‌ها اغلب به‌عنوان افزودنی، ترکیبات زیست‌فعال و نگهدارنده‌های طبیعی در بسته‌بندی فعال مواد غذایی استفاده می‌شوند (Ziaolhagh, & Zare, 2022; Ebrahimzadeh, & Sedaghat, 2023). عصاره پوست سبز گردو می‌تواند به‌عنوان یک ماده فعال در بسته‌بندی مواد غذایی عمل کند. فیلم‌های خوراکی به‌عنوان یک مانع برای مواد غذایی عمل می‌نمایند و نفوذپذیری اکسیژن را مهار می‌کنند و از آنجاکه عصاره پوست سبز گردو حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است در به تعویق انداختن محصولات اکسیداسیون (مانند پراکسیدها و مالون‌آلدئید) مؤثر است و به کاهش تشکیل رادیکال‌های آزاد یا کاهش اکسیداسیون لیپیدها کمک می‌کند. همچنین فیلم‌های مذکور می‌تواند به‌عنوان یک نرم‌کننده و اتصال‌دهنده بین اجزای ماتریس فیلم عمل کند و خواص مکانیکی و فیزیکی را با خواص بیولوژیکی مناسب فیلم‌ها بهبود بخشد (Shi *et al*., 2018; Kithi *et al*., 2023).

در این مطالعه، عصاره پوست سبز گردو به روش هیدروالکلی با هدف بررسی میزان فنل کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، خاصیت ضد باکتریایی (حداقل غلظت مهار کنندگی، حداقل غلظت باکتری‌کشی و قطر هاله عدم رشد) انجام شد و نهایتا غلظت بهینه ۴ درصد وزنی عصاره پوست سبز گردو انتخاب شد. در ادامه فیلم‌های کامپوزیتی پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم و اسید تارتاریک در دو سطح (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) و عصاره پوست سبز گردو (غلظت ۴ درصد وزنی) توسط فرآیند اکستروژن/پرس ساخته شدند. خواص مکانیکی، مورفولوژی و ضد باکتریایی فیلم‌های کامپوزیتی مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه بر روی این نمونه‌های فیلم و نمونه ظرف گیاهی تهیه‌شده از یک واحد تولیدی داخلی با برند[۱] A با ادعای تجزیه‌پذیری، مقایسه آزمون زیست‌تخریب‌پذیری انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد

پلی‌اتیلن سبک (LF0200) با شاخص جریان مذاب ۱/۸ تا ۲/۲ گرم در ۱۰ دقیقه از شرکت پتروشیمی بندر امام (خوزستان، ایران) خریداری شد. نشاسته ذرت (۲۶ درصد وزنی آمیلوز) توسط شرکت گلوکوزان (قزوین، ایران) تهیه شد. محیط‌کشت مولر–هینتون براث، آگار بنفش قرمز، آگار مولر–هینتون، آگار شمارش پلیت، اسید تارتاریک (خلوص ۹۹/۵ درصد) و گلیسرول (خلوص ۹۹/۶ درصد) از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند.

استخراج عصاره پوست سبز گردو

ابتدا میوه گردو سالم در تاریخ ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ از یک باغ محلی (ضیاء آباد) واقع در استان قزوین خریداری شد و با همکاری هرباریوم و آزمایشگاه سیستماتیک گیاهی دانشکده علوم پایه و پژوهشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد شناسایی شد. نام علمی گیاه *Juglans regia* L. از خانواده Juglandaceae و با کد هرباریومی E-1400FUMH تأیید شد. پوسته‌های سبز گردو پس از جداسازی درون آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا به وزن ثابت برسند. پس از خشک شدن با آسیاب برقی پودر شدند. برای یکنواخت شدن اندازه ذرات از الک با مش ۲۰ عبور کردند و تا پایان دوره آزمایش در ظروف شیشه‌ای قهوه‌ای رنگ (پوشیده شده با فویل آلومینیوم) در دمای یخچال (حدود ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. ۴ گرم پوست سبز گردوی پودر شده و مخلوط اتانول–آب (۲۵–۷۵) توسط همزن مغناطیسی مخلوط شدند. سپس مخلوط حلال و گیاه توسط کاغذ واتمن شماره ۱ صاف گردید و حلال با استفاده از دستگاه تبخیر کننده تحت خلاء در دمای کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر شد و عصاره تغلیظ شده در ظرف شیشه‌ای تیره در دمای یخچال نگهداری شد (Vieira, Pereira, & Abreu, 2020; Soto-Madrid, Gutiérrez-Cutiño, & Pozo-Martínez, 2021). در ادامه در مرحله اول ویژگی‌های عصاره پوست سبز گردو شامل اندازه‌گیری ترکیبات فنلی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، حداقل غلظت مهارکنندگی، حداقل غلظت باکتری‌کشی و ارزیابی فعالیت ضد باکتریایی عصاره مورد بررسی قرار گرفت. غلظت بهینه عصاره انتخاب شد (۴ درصد وزنی).

در مرحله دوم فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم با استفاده از تکنیک اکستروژن/پرس ساخته شدند (نمونه کنترل). سپس اسید تارتاریک (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) و عصاره پوست سبز گردو ۴ درصد وزنی (تهیه شده از مرحله اول) به فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم با استفاده از تکنیک اکستروژن/پرس افزوده شد

۱– نام شرکت تولید کننده ظروف گیاهی مورد بررسی نزد مجری این تحقیق محفوظ می‌باشد.

(کد بندی مطابق جدول ۱). جهت تعیین ویژگی‌های فیلم آزمون‌های ضد باکتریایی، مورفولوژیکی و مکانیکی گرفته شد.

در مرحله آخر بر روی این نمونه‌ها و نمونه ظرف گیاهی تهیه‌شده از یک واحد تولیدی داخلی با برند A با ادعای تجزیه‌پذیری، مقایسه آزمون زیست‌تخریب‌پذیری انجام گردید.

ویژگی‌های عصاره پوست سبز گردو

اندازه‌گیری کل ترکیبات فنلی

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی عصاره پوست سبز گردو طبق روش کومار و همکاران (Kumar, Karthik, & Rao, 2013) انجام شد.

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی (روش DPPH[1]) عصاره، از روش رساز، (Roussos, 2011) استفاده شد.

حداقل غلظت مهارکنندگی [۲] (MIC) و حداقل غلظت باکتری‌کشی [۳] (MBC)

مقادیر حداقل غلظت مهارکنندگی و حداقل غلظت باکتری‌کشی با استفاده از روش رقیق‌سازی ماکرو براث به‌دست آمدند (Han, Yan, & Zhang, 2021; Sun, Hong, & Wei, 2018).

ارزیابی فعالیت ضد باکتریایی

باکتری‌های *اشرشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* تا غلظت CFU/mL ۱۰[۶] × ۱ رقیق شدند. ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون میکروبی روی سطح پلیت آگار پخش شد. سطح پلیت آگار با ۱۰۰ میکرو لیتر از سوسپانسیون میکروبی پوشانده شد. پس‌ازآن، چاهک‌هایی به عمق ۴/۶ میلی‌متر در محیط آگار ایجاد شد و ۵۰ میکرولیتر از عصاره پوست سبز گردو به داخل چاهک منتقل شد. به‌مدت ۲۴ ساعت، پلیت‌ها (حاوی محیط میکروبی و عصاره پوست سبز گردو) در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. ارزیابی قطر هاله به‌عنوان فعالیت ضدمیکروبی عصاره پوست سبز گردو تعیین شد (Sharma, Ravikumar, & Kalaiselvi, 2013).

آماده‌سازی فیلم

در ابتدا، نشاسته و پلی‌اتیلن با دانسیته پایین در آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۸ ساعت خشک شدند. پس‌ازآن، نشاسته و گلیسرول (۷۵:۲۵) در دمای محیط مخلوط شدند تا نشاسته گرمانرم به‌دست آید. پلی‌اتیلن، نشاسته گرمانرم، اسید تارتاریک و عصاره پوست سبز گردو با استفاده از اکسترودر دو مارپیچه (L/D 7/10، ZSK 25- WLE، آلمان) در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰ دور در دقیقه مخلوط شدند سپس رشته‌ها با استفاده از نوار نقاله در معرض هوا قرار گرفتند و در حین حرکت روی تسمه‌نقاله خشک و به شکل گرانول خرد شدند و درنهایت در کیسه‌های پلی‌اتیلنی نگهداری شدند. گرانول‌ها با استفاده از پرس گرم در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۵ مگاپاسکال به‌مدت ۳ دقیقه به‌صورت فیلم تهیه شدند (Jannatiha, Sedaghat, & Razavi, 2025). نمونه نشاسته گرمانرم/پلی‌اتیلن با نسبت ۶۵/۳۵ درصد وزنی (در غلظت‌های بالاتر از ۴۰ درصد نشاسته گرمانرم، فاز نشاسته گرمانرم تمایل به متراکم شدن و ادغام ذرات وجود دارد بنابراین در مطالعه حاضر محتوای ۳۵ درصد وزنی نشاسته گرمانرم انتخاب شد (Nguyen, Do, Grillet, Ha Thuc, & Ha Thuc, 2016) به‌عنوان نمونه کنترل در نظر گرفته شد اسید تارتاریک در سه سطح (۰، ۱/۵ و ۳ درصد وزنی) و عصاره پوست سبز گردو در چهار غلظت (۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی) به‌طور جداگانه به فیلم‌کنترل اضافه شد (جدول ۱).

ارزیابی فعالیت ضد باکتریایی

برای انجام این آزمایش، از روش نفوذ آگار در برابر باکتری *اشرشیا کلی* استفاده شد. فیلم‌های تولیدشده با استفاده از قالب به دیسک‌هایی با قطر ۱۰ میلی‌متر تبدیل شدند. دیسک‌ها در شرایط استریل روی محیط‌کشت مولر هینتون آگار قرار داده شدند. قبل از قرار دادن دیسک‌ها روی سطح محیط‌کشت، کشت سطحی با استفاده از ۱۰۰ میکرولیتر (معادل ۰/۱ میلی‌لیتر) از کشت مایع هر باکتری مورد آزمایش (CFU/mL ۱۰[۷] ×۱) انجام شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، پلیت‌ها انکوبه شدند (Ojagh, Rezaei, Razavi, & Hosseini, 2010).

خواص مورفولوژی فیلم‌ها

تصاویر میکروسکوپ الکترونی فیلم‌های کامپوزیتی با استفاده از دستگاه FESEM[4] مدل (LMU TESCAN BRNO-Mira3) در ۵ کیلوولت بررسی شد (Nguyen *et al.*, 2016).

1- 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
2- Minimum inhibition concentration
3- Minimum bactericidal concentration

4- Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM)

جدول ۱- ترکیب (وزنی/وزنی) و کدهای مخلوط‌های تهیه‌شده از پلی‌اتیلن با دانسیته پایین، نشاسته گرمانرم، اسید تارتاریک و عصاره پوست سبز گردو

Table 1- Composition (W/W %) and codes of mixtures prepared from low-density polyethylene, thermoplastic starch, tartaric acid, and wolnut green husk extract

نمونه Sample	پلی‌اتیلن با دانسیته پایین Low density poly ethylene (LDPE) (%)	نشاسته گرمانرم Thermoplastic starch (TPS) (%)	اسید تارتاریک Tartaric acid (TA (%))	عصاره پوست سبز گردو Walnut green husk extract (EX (%))
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم LDPE / TPS	65	35	-	-
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین (درصد)/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۱/۵ درصد LDPE/TPS/TA1.5%	65	35	1.5	-
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین (درصد)/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد LDPE/TPS/TA 3%	65	35	3	-
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک ۳ درصد/عصاره پوست سبز گردو ۱ درصد LDPE/TPS/TA3%/EX1%	65	35	3	1
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک ۳ درصد/عصاره پوست سبز گردو ۲ درصد LDPE/TPS/TA3%/EX1%	65	35	3	2
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک ۳ درصد/عصاره پوست سبز گردو ۳ درصد LDPE/TPS/TA3%/EX1%	65	35	3	3
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک ۳ درصد/عصاره پوست سبز گردو ۴ درصد LDPE/TPS/TA3%/EX1%	65	35	3	4

LDPE: Low density poly ethylene
TPS: Thermoplastic starch
EX: Wolnut green husk extrat
TA: Tartaric acid

خواص مکانیکی

خواص مکانیکی فیلم‌ها شامل استحکام کششی (TS)[1] و ازدیاد طول در نقطه پارگی (EB)[2] مطابق روش ASTM-D882 با استفاده از دستگاه آنالیز بافت STM-20 شرکت سنتام (ساخت ایران) اندازه‌گیری شد (Jannatiha *et al*., 2025).

زیست‌تخریب‌پذیری

آزمایش زیست‌تخریب‌پذیری در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در سه تکرار با ظروف پلاستیکی حاوی بستر متشکل از خاک و کمپوست (کمپوست از شرکت کشت و صنعت رامند مجار واقع در استان قزوین خریداری شد) جهت انجام آزمون آماده شد. ترکیبات کمپوست شامل

1- Tensile Strength

2- Elongation at Break

کلش گندم آبی، کود مرغی و سنگ گچ بود به ازای هر یک کیلوگرم کلش گندم آبی، ۶۵۰ گرم کود مرغی و ۱۳۰ گرم سنگ گچ به مخلوط اضافه شد. مشخصات درصد ترکیبات کمپوست شامل: درصد رطوبت: ۶۷ تا ۶۸ درصد، آمونیوم: ۰/۰۳ درصد، نیتروژن: ۲/۲ درصد، کربن: ۳۴ درصد، مواد جامد ۳۱ درصد و pH: ۷/۴ بود. نمونه‌های مورد آزمایش (فیلم‌ها و نمونه ظرف گیاهی) در ابعاد ۲ × ۲ سانتی‌متر و عمق ۴ سانتی‌متر روی ظروف پلاستیکی حاوی بستر قرار داده شدند. نمونه‌های فیلم بین دولایه مخلوط پرلیت (۵۰ گرم) و خاک استاندارد (خاک استاندارد متشکل از شن، خاک رس، خاک طبیعی و کمپوست تازه) قرار داده شدند. علاوه بر این، ۲۰۰ گرم از این مخلوط با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد. لایه‌های پایینی و بالایی بستر با ۶۰ گرم پرلیت (برای افزایش هوادهی و حفظ آب) و ۱۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شدند. برای حفظ رطوبت، روزی یک‌بار آب اسپری می‌شد. نمونه‌های آزمایش‌شده بعد از دو ماه از محل دفن برداشته‌شده و با آب مقطر شسته شدند. سپس به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (تا رسیدن به وزن ثابت) خشک‌شده و با ترازو با دقت یک‌هزارم گرم وزن شدند. درصد کاهش وزن[1] نمونه‌ها با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد (Jannatiha *et al.*, 2025).

(۱) کاهش وزن (درصد) =[وزن اولیه/ (وزن ثانویه – وزن اولیه)] × ۱۰۰

تحلیل آماری

این مطالعه با استفاده از طرح کاملا تصادفی انجام شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS (نسخه ۲۰) در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

خواص ضد باکتریایی عصاره پوست سبز گردو

جدول ۲ اثر فعالیت ضد باکتریایی عصاره پوست سبز گردو در برابر باکتری‌های *سودوموناس آئروژینوزا*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیا کلی* با استفاده از روش انتشار دیسک (ناحیه بازدارندگی) نشان می‌دهد. حساس‌ترین باکتری‌ها *استافیلوکوکوس اورئوس (گرم مثبت)* (۷/۳۳ میلی‌متر) بود درصورتی‌که *اشرشیا کلی* (۰/۴۳ میلی‌متر) و *سودوموناس آئروژینوزا* (۲ میلی‌متر) (گرم منفی) مقاومت بیشتری را نشان دادند. غشای سلولی به مولکول‌ها اجازه می‌دهد تا از باکتری‌های گرم منفی عبور کنند ماده غشای خارجی آن‌ها دارای ساختار لیپوپلی ساکارید است. پتانسیل این ترکیبات برای عبور از غشای بیرونی و غلبه بر موقعیت عمل آن‌ها می‌تواند با اندازه و شکل آن‌ها تعیین شود،که با خواص ضد باکتریایی مرتبط است (Fernández-Agulló, Pereira, & Freire, 2013). طبق گفته شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2013) عصاره پوست سبز گردو (آبی، اتیل استات و اتانول) خواص ضد باکتریایی را در برابر ناحیه وسیعی از باکتری‌ها، شامل *اشرشیا کلی*، *باسیلوس سوبتیلوس*، *کلبسیلا* و *استافیلوکوکوس اورئوس* نشان می‌دهد. مطالعه دیگری که توسط زی و همکاران، (Xi, Hou, & Cai, 2023) انجام شد، نشان داد که عصاره پوست سبز گردو فعالیت ضد باکتریایی خوبی در برابر *اشرشیا کلی* و *باسیلوس سرئوس* با هاله‌های مهاری به‌ترتیب ۳۳/۵ و ۳۷/۶ میلی‌متر دارد. خواص ضد باکتریایی توسط الیورا و همکاران (Oliveira, Sousa, & Ferreira, 2008)، در عصاره آبی پوست سبز گردو از پنج رقم متمایز بررسی شد. نتایج حاصل از یافته‌های هاله مهار نشان داد که *استافیلوکوکوس اورئوس* (۵–۱ میلی‌متر)، *سودوموناس آئروژینوزا* (۱–۳ میلی‌متر) داشتند اما *اشرشیاکلی* هیچ اثر ضد باکتریایی نشان نداد. بلیفا و همکاران، (Boulfia, Lamchouri, & Toufik, 2021) فعال‌ترین اثر ضد باکتریایی عصاره پوست گردوی خیس‌خورده (۸۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) را در برابر باکتری‌های *اشرشیاکلی* (۱۲ میلی‌متر)، *سودوموناس آئروژینوزا* (۱۴/۵ میلی‌متر) و *استافیلوکوکوس اورئوس* (۱۱ میلی‌متر) نشان دادند. همچنین، عصاره اتانولی خیس خورده (۸۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) دارای هاله‌های عدم رشد *اشرشیا کلی* (۱۱ میلی‌متر)، *سودوموناس آئروژینوزا* (۱۴ میلی‌متر) و *استافیلوکوکوس اورئوس* (۱۰ میلی‌متر) بود. به نظر می‌رسد روش استخراج سرد با خیساندن طولانی‌مدت، مخلوط فنلی را استخراج می‌کند. جدول ۲ مقادیر MIC و MBC عصاره پوست سبز گردو را در برابر باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس*، *سودوموناس آئروژینوزا* و *اشرشیاکلی* نشان می‌دهد. مقادیر MIC با ۹/۶۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در برابر *استافیلوکوکوس اورئوس* (کمترین MIC نشان‌دهنده بالاترین پتانسیل ضدمیکروبی است)، ۱۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در برابر *اشرشیا کلی* و ۳۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در برابر *سودوموناس آئروژینوزا* نشان می‌دهد. نتایج مشاهدات ویرا و همکاران (Vieira *et al.*, 2020) نیز چندان متفاوت با این موارد نبود. آنها گزارش دادند که محتوای MIC و MBC عصاره هیدرو اتانولی عصاره پوست سبز گردو برابر با ۱۰ و بیش از ۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در برابر *اشرشیا کلی* و مقادیر MIC و MBC بیش از ۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در برابر *سودوموناس آئروژینوزا* بود. فرناندز–آگلو و همکاران (Fernández-Agullò *et al.*, 2013) نشان دادند که *باسیلوس سرئوس* حساس‌ترین باکتری است، درحالی‌که تنها باکتری با مهار در برابر غلظت عصاره پوست سبز گردو (۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) است. *سودوموناس آئروژینوزا* و *استافیلوکوکوس اورئوس* به‌ترتیب دارای مقادیر MIC برابر با ۵۰ و

1- Weight loss

۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر هستند. در مطالعه‌ای با نتایج کمی متفاوت، سطوح MIC عصاره هیدرو الکلی گندم‌سیاه در برابر *اشرشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس آئروژینوزا* به‌ترتیب ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، ۰/۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۱۰۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بود (Oliveira *et al.*, 2008). این تفاوت‌ها در خواص ضد باکتریایی را می‌توان با تغییرات در مواد گیاهی، میکروارگانیسم‌های انتخابی، حلال‌های مورداستفاده و فرآیندهای استخراج توضیح داد.

جدول ۲- اثرات فعالیت ضد باکتریایی عصاره پوست سبز گردو

Table 2- Antimicrobial effects of EX

گونه باکتریایی Bacterial species	منطقه بازدارندگی Inhibition zone (mm)	حداقل غلظت بازدارندگی MIC (mg/mL)	حداقل غلظت کشندگی MBC (mg/mL)
استافیلوکوکوس اورئوس *S. aureus* (ATCC 12600)	7.33 ± 0.98^{a}	9.66 ± 0.57^{c}	20
اشرشیا کلی *E. coli* (ATCC 10536)	0.43 ± 0.58^{b}	19 ± 1.90^{b}	-
سودوموناس آئروژینوزا *P. aeruginosa* (PTCC 1791)	2 ± 1.00^{b}	32 ± 0.5^{a}	-

حروف کوچک در ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است ($P<0.05$)

Small letters in each pillar display significant differences among instances ($p < 0.05$), and data are means ± SD

EX: Wolnut green husk extrat

MIC: Minimum inhibition concentration

MBC: Minimum bactericidal concentration

فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل کل

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره مربوط به محتوای پلی‌فنل آن‌ها است که نقش محافظتی در برابر آسیب ناشی از رادیکال‌های آزاد ایفا می‌کند (Fernández-Agullò *et al.*, 2013). عواملی که بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر می‌گذارند شامل ترکیب عصاره، حلال های مورد استفاده و تکنیک‌های استخراج عصاره هستند (Romano *et al.*, 2021). در این مطالعه، ظرفیت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش DPPH، ۲۵ (میکروگرم بر میلی‌لیتر) و محتوای کل فنلی ۱۷۵ (میلی‌گرم بر گرم) به‌دست آمد. خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست سبز گردو با استفاده از عصاره‌گیری به روش اولتراسونیک و حلال متانول ۵۰ درصد (حجمی/حجمی) توسط شی و همکاران، (Shi *et al.*, 2018) گزارش شد. مقادیر FRAP، DPPH و $ABTS^{+}$ به‌ترتیب ۰/۳۳۵ میلی‌مول بر گرم، ۵/۰۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۳/۰۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بدست آمد. سوتو-مالدونا و همکاران، (Soto-Maldonado, Caballero-Valdés, & Santis-Bernal, 2022) نشان دادند که استفاده از مخلوط‌های هیدرو الکلی، عاملی مرتبط با ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی است. در این مطالعه مقادیر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH، ۳۶ میلی‌گرم بر گرم و محتوای ترکیبات فنلی ۲۳ میلی‌گرم بر گرم مشاهده شد.

به‌طور مشابه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوست سبز گردو توسط رومانو و همکاران، (Romano *et al.*, 2021) تأیید شد. عصاره بدست آمده با روش CO_2 فوق بحرانی و اتانول بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۰/۳۰۶ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) را داشت که توسط روش DPPH اندازه‌گیری شد. کمترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روش استخراج با اتانول (۰/۷۰۴میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد. استخراج توسط حلال آب و متانول به‌ترتیب ۰/۵۶۸ و ۰/۵۹۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تأیید شد. در مطالعه زی و همکاران، (Xi *et al.*, 2023) عصاره‌گیری به روش استخراج با حلال (اتیل استات، دی کلرو متان، اتر و n-بوتانول) به روش ماسراسیون انجام شد. عملکرد فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنل کل عصاره پوست سبز گردو با استفاده از حلال اتیل استات به‌ترتیب ۰/۲۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر و ۴۸/۷۳ میلی‌گرم بر گرم گزارش شد. نتایج نشان داد که استخراج با حلال اتیل استات بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در مقایسه با سایر حلال‌ها دارد. همچنین قدرت احیاکنندگی عصاره پوست سبز گردو توسط شارما و همکاران، (Sharma *et al.*, 2013) اثبات شد. طبق آزمایش‌های انجام‌شده توسط ماسک و همکاران، (Masek, Latos-Brozio, Chrzescijanska, & Podsedek, 2019) عصاره برگ گردو دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و احیاکنندگی بود. فرناندز-آگلو و همکاران، (Fernández-Agullò *et al.*, 2013) گزارش دادند که بیشترین و کمترین اثرات آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب برای عصاره‌گیری به روش اتانولی (۰/۳۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و آبی (۰/۷۲ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) بود.

عملکرد ضد باکتریایی فیلم‌ها

باکتری *اشرشیا کلی* به‌طور وسیعی در طبیعت پراکنده است. حضور باکتری‌های *اشرشیا کلی* در مواد غذایی نامطلوب است زیرا در صورت وجود در مواد غذایی خطر آلودگی آن‌ها به میکروب‌های روده‌ای

بیماری‌زا وجود دارد و یکی از مهم‌ترین باکتری‌های عفونت‌زا و مسمومیت‌زا هستند. از این جهت برای تعیین کیفیت بهداشتی مواد غذایی *اشرشیا کلی* به‌عنوان شاخص بهداشتی پیشنهاد شده است (Jafari, Bahrami, & Matin, 2023). عملکرد ضد باکتریایی فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم حاوی عصاره پوست سبز گردو با غلظت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی در برابر باکتری گرم منفی *اشرشیاکلی* (ATCC 10536) در جدول ۳ ارائه‌شده است. همه فیلم‌های ترکیبی حاوی عصاره، اثر مهاری داشتند. قطر هاله‌های مهاری برای فیلم‌های حاوی ۱ تا ۴ درصد وزنی عصاره (به‌ترتیب) از ۶/۶۶ تا ۸/۳۳ میلی‌متر بودند. با افزایش غلظت عصاره پوست سبز گردو، فعالیت‌های ضد باکتریایی افزایش یافت. فعالیت ضد باکتریایی فیلم‌های حاوی عصاره پوست سبز گردو را می‌توان به ترکیبات پلی‌فنلی که دارای خواص ضد باکتریایی هستند نسبت داد. ترکیبات فنلی عصاره پوست سبز گردو دارای خواص آب‌گریزی هستند که می‌توانند بر غشای خارجی *اشرشیاکلی* تأثیر بگذارند و باعث تخریب و آسیب در دیواره سلولی باکتری شوند و درنهایت، نفوذپذیری پوشش سیتوپلاسمی رخ دهد. از سوی دیگر، غشای سلولی باکتری *اشرشیاکلی* به‌دلیل لایه لیپوپلی‌ساکاریدی، دارای خاصیت آب‌دوستی در ناحیه خارجی است و از وجود اجزای آب‌گریز جلوگیری می‌کند. بنابراین، باکتری *اشرشیاکلی* نسبت به ترکیبات فنلی عصاره مقاوم‌تر بود (Chollakup, Pongburoos, & Boonsong, 2020; Xi *et al*., 2023). استفاده از غلظت‌های بالاتر عصاره (در مطالعه حاضر غلظت ۴ درصد وزنی) در فیلم منجر به افزایش مهاجرت برخی از ترکیبات عصاره به داخل غذا و همچنین تخریب ویژگی‌های فیزیکی فیلم بسته‌بندی می‌شود (Sales-Campos, De Souza, & Basso, 2015; Mayachiew, Devahastin, Mackey, & Niranjan, 2010). در مطالعه حاضر، با افزایش غلظت عصاره، منطقه بازدارندگی افزایش یافت به‌طوری‌که بین غلظت‌های معرفی‌شده (از ۱ تا ۴ درصد وزنی عصاره پوست سبز گردو)، غلظت ۴ درصد وزنی در فیلم نشاسته گرمانرم/پلی‌اتیلن با منطقه بازدارندگی ۸/۳۳ میلی‌متر بیشترین اثر مهاری را در برابر باکتری *اشرشیاکلی* نشان داد. غلظت ۴ درصد وزنی عصاره تفاوت معنی‌داری با سایر غلظت‌ها داشت. بنابراین، محدوده غلظت ۴ درصد وزنی برای بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی، مکانیکی و زیست‌تخریب‌پذیری فیلم پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم حاوی اسید تارتاریک مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۳- اثرات فعالیت ضد باکتریایی در غلظت‌های مختلف عصاره پوست سبز گردو (۳،۲،۱ و ٤ درصد وزنی) علیه باکتری *اشرشیا کلی*

Table 3- Antimicrobial effects of films containing different wolnut green husk concentrations against *E. coli*

پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ عصاره پوست سبز گردو LDPE/TPS/EX (%)	گونه باکتریایی (*اشرشیا کلی*) Bacterial species (*E. coli*) منطقه بازدارندگی Inhibition zone (mm)
1	6.66 ± 0.01^{c}
2	7.33 ± 0.01^{c}
3	7.66 ± 0.01^{b}
4	8.33 ± 0.01^{a}

حروف کوچک در ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است ($P<0.05$)

Small letters in each pillar display significant differences among instances ($p < 0.05$), and data are means ± SD

LDPE: Low density poly ethylene

TPS: Thermoplastic starch

EX: Wolnut green husk extrat

مورفولوژی فیلم‌ها

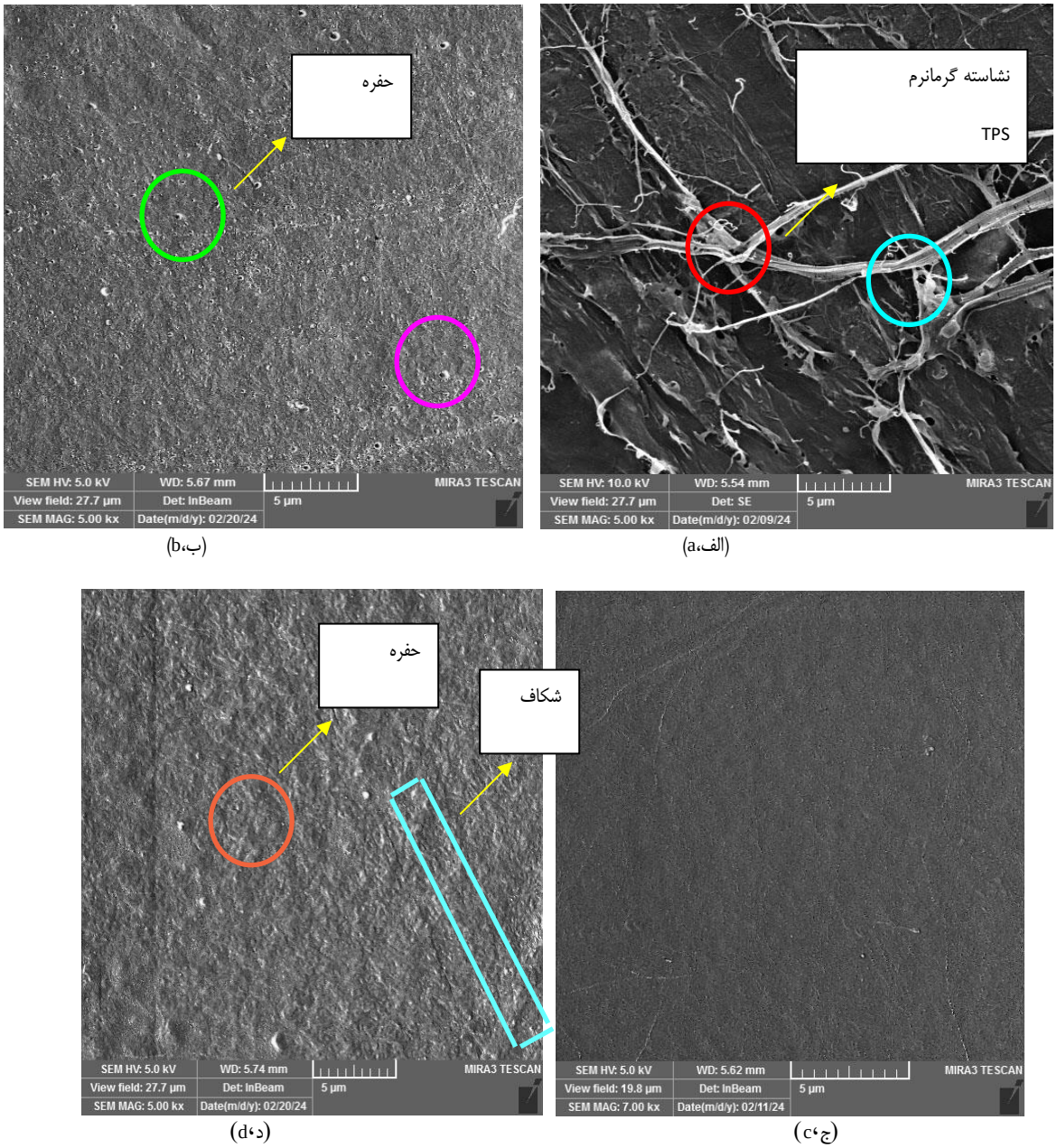
شکل ۱ (الف تا د) تصاویر میکروسکوپ الکترونی فیلم‌های کامپوزیتی پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم حاوی اسید تارتاریک (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) و عصاره پوست سبز گردو (۴ درصد وزنی) را نشان می‌دهد. در شکل ۱ (الف) ناسازگاری و تقابل ضعیف بین دو فاز پلی‌اتیلن و نشاسته گرمانرم رؤیت شد. تجمع ذرات پراکنده نشاسته گرمانرم در فاز پلی‌اتیلن در سطح مورفولوژی فیلم مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده دو فاز مخلوط نشدنی پلی اتیلن با دانسیته پایین و نشاسته گرمانرم است این امر ممکن است به‌دلیل کشش سطحی بالا بین پلی‌اتیلن غیر قطبی و نشاسته گرمانرم قطبی باشد (Altayan & Al Darouich, 2022). به‌طور مشابه نتایجی توسط اسمیل و چای، (Smail & Chaoui *et al*., 2021) و پرس و اریفیک، (Peres & Oréfice, 2020) گزارش‌شده است. با افزودن اسید تارتاریک (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) و عصاره (۴ درصد وزنی) برهمکنش بهتری نسبت به نمونه کنترل (پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم) بین اجزای پلیمر به وجود آمد (شکل ۱ ب، ج، د). در غلظت ۱/۵ درصد وزنی از اسید تارتاریک (شکل ۱–ب) حفره‌هایی پراکنده در سطح فیلم مشاهده شد که نشان‌دهنده برهمکنش و چسبندگی ضعیف‌تر بین گروه کربوکسیل اسید تارتاریک (به‌عنوان عامل اتصال دهنده عرضی و دارای دو عامل کربوکسیل) و گروه‌های هیدروکسیل نشاسته بود. با افزودن اسید تارتاریک در غلظت

۳ درصد وزنی (شکل ۱–ج) یکنواختی و پیوستگی بین فازهای پلیمر بیشتر دیده شد که ناشی از تشکیل پیوندهای استری و هیدروژنی بود (Olivato, Müller, Carvalho, Yamashita, & Grossmann, 2014). این نتایج به امتزاج‌پذیری اسید تارتاریک و برهمکنش شیمیایی بین گروه‌های هیدروکسیل از نشاسته و اسید تارتاریک برمی‌گردد که منجر به بهبود ویژگی‌های سطحی فیلم شد (Zhang *et al.*, 2019). بنابراین اسید تارتاریک (دارای گروه‌های کربوکسیل) در حدفاصل پلیمر/نشاسته قرار می‌گیرد و از این طریق می‌تواند سازگاری بین اجزای پلیمر به وجود آورد. اسید تارتاریک با ایجاد پیوند استری با نشاسته، آب دوستی نشاسته را کاهش می‌دهد و امکان تعامل بهتر را با پلی‌استرها ایجاد می‌کند (Martins & Santana, 2016). در فیلم‌های محتوی عصاره (شکل ۱–د) حفرات و شکافی باریک مشاهده شد. این امر نشان‌دهنده پیوند سطحی پایین و امتزاج‌پذیری ضعیف‌تر بین فاز عصاره و نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک بود و برهمکنش ضعیف‌تری بین اجزای تشکیل دهنده فیلم را ارائه دادند. نتایج مشابهی توسط گوی (Gui *et al.*, 2024) مشاهده شد. در مطالعه ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2019) گزارش شد که زمانی‌که محتوای اسید تارتاریک بین ۰/۵ تا ۲ درصد وزنی بود مورفولوژی فیلم‌ها سطح صاف و یکنواختی را بین اسید تارتاریک/نشاسته گرمانرم و پلی بوتیلن آدیپات ترفتالات نشان داد اما زمانی‌که غلظت اسید تارتاریک از ۲ درصد به ۴ درصد وزنی افزایش یافت تجمعاتی از نشاسته/اسید تارتاریک در مورفولوژی فیلم مشاهده شد و منجر به عدم یکنواختی سطح شد. در واقع اسید تارتاریک بیش از حد می‌تواند (هیدروژن مثبت) بیشتری تولید کند و ممکن است مانع ایجاد تعامل مناسب بین نشاسته گرمانرم و پلی بوتیلن آدیپات ترفتالات شود بنابراین در غلظت ۴ درصد وزنی اسید تارتاریک چسبندگی کم و برهمکنش ضعیف‌تر را نشان داد (Zhang *et al.*, 2019). همچنین الیواتو و همکاران (Olivato *et al.*, 2014) نشان دادند که گنجاندن اسید تارتاریک باعث بهبود برهمکنش و تعامل بین شبکه پلیمری شد در مطالعه‌ای دیگر بیان شد که ادغام اسید تارتاریک امتزاج‌پذیری بیوکامپوزیت‌های پلی بوتیلن آدیپات ترفتالات و نشاسته را بهبود بخشید اما مقدار فاز نشاسته گرمانرم را به‌طور قابل توجهی کاهش داد (Zhang *et al.*, 2019).

شواهد تصاویر میکروسکوپی در مطالعه ما نشان می‌دهد که فیلم‌های حاوی اسید تارتاریک (شکل ۱–ج) بهترین برهمکنش و تعامل را بین اجزای پلیمر نشان دادند که ناشی از ایجاد یک ساختار منسجم، صاف با یکنواختی مناسب بود.

خواص مکانیکی

تأثیر میزان اسید تارتاریک و عصاره پوست سبز گردو بر خواص مکانیکی (استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست) کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم در جدول ۴ ارائه‌شده است. مقدار استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست در نمونه کنترل (پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم) به‌ترتیب ۵/۳۵ مگاپاسکال و ۵/۳۱ درصد به‌دست آمد. این خواص مکانیکی ضعیف‌تر در مقایسه با سایر نمونه‌ها را می‌توان به قطبیت متفاوت بین دو پلیمر، نشاسته گرمانرم و پلی‌اتیلن با دانسیته پایین نسبت داد. مخلوط بدست آمده به‌دلیل ماهیت آبگریز پلی‌اتیلن و ماهیت آبدوست نشاسته گرمانرم غیر قابل اختلاط بود و منجر به چسبندگی سطحی ضعیف بین نشاسته گرمانرم و پلی‌اتیلن شد (Mehraj *et al.*, 2023; Loukri *et al.*, 2024). افزودن اسید تارتاریک و عصاره پوست سبز گردو به پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم باعث افزایش استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست شد. در مقایسه با نمونه کنترل، افزایش استحکام کششی در نمونه‌های حاوی اسید تارتاریک احتمالاً به‌دلیل واکنش اتصال عرضی بین اسید تارتاریک و نشاسته است. اتصال عرضی مولکول‌های نشاسته را از طریق پیوندهای استری (وجود گروه کربوکسیل در اسید تارتاریک) به هم متصل می‌کند بنابراین منجر به افزایش برهمکنش بین مولکول‌های نشاسته می‌شود (Vimmaladevi, Panda, Xavier, & Bindu, 2015; Li *et al.*, 2022). بااین‌حال، با افزایش اسید تارتاریک از ۱/۵ به ۳ درصد وزنی، مقادیر استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست به‌ترتیب کاهش (۷/۲۲ به ۶/۵۴ مگاپاسکال) و افزایش (۵/۳۴ به ۱۰/۰۵ درصد) یافتند. در سطوح پایین اسید استحکام کششی بالاتری در مقایسه با سطوح بالا مشاهده شد. این امر را می‌توان با اثر نرم‌کنندگی کمتر بر ساختار فیلم در سطوح پایین اسید تارتاریک توضیح داد. همچنین، مقادیر ازدیاد طول در نقطه شکست بالاتری در نمونه‌های حاوی اسید تارتاریک نسبت به نمونه کنترل مشاهده شد و اسید تارتاریک نقش نرم‌کننده و عامل پیوند عرضی را ایفا کرد. اسید تارتاریک اضافی با نشاسته واکنش نداد، اما توانست به‌عنوان یک نرم‌کننده برای کاهش نیروهای بین‌مولکولی و افزایش ازدیاد طول در نقطه شکست، به‌ویژه در غلظت‌های بالاتر (اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی) عمل کند علاوه بر این، به‌دلیل خاصیت ارتجاعی، نشاسته گرمانرم و اسید تارتاریک سفتی فیلم‌های کامپوزیتی را کاهش داد.



(b،ب) (a،الف)

(d،د) (c،ج)

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی فیلم‌های کامپوزیت پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم (الف) پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم، (ب) پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۱/۵ درصد وزنی، (ج) پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی، (د) پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی/عصاره پوست سبز گردو ٤ درصد وزنی

Fig. 1. FESEM micrographs for LDPE/TPS composites: (a) LDPE/TPS, (b) LDPE/TPS /TA 1.5%, (c) LDPE/TPS/ TA3%, (d) LDPE/TPS/ TA3%/EX4%

درنهایت، ازدیاد طول در نقطه شکست افزایش یافت. بنابراین، اسیدهای آلی از طریق برهمکنش‌های مولکولی و نقش نرم‌کننده، تأثیر مثبتی داشتند و منجر به افزایش استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست شدند (Zhang *et al.*, 2019; Reddy, Jiang, & Yang, 2012). اثر تقابلی اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی و عصاره پوست سبز گردو ۴ درصد وزنی به‌عنوان نرم‌کننده می‌تواند دلیل این امر باشد. همچنین در نمونه حاوی عصاره ۴ درصد وزنی بالاترین استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست مشاهده شد. بنابراین، نمونه‌های کامپوزیت (پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک) و (پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک/عصاره)

خواص مکانیکی بهبودیافته‌تری را نسبت به نمونه کنترل (پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم) داشتند. در مطالعه‌ای تأثیر اسید تارتاریک و اسید سیتریک در فیلم‌های نشاسته/پلی‌بوتیلن آدیپات ترفتالات تهیه شده به روش دمشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خواص استحکام کششی نشان داد که در غلظت ۱/۵ درصد وزنی اسید تارتاریک و اسید سیتریک فیلم‌هایی با خواص بهبود یافته (به‌ترتیب ۶/۸ و ۶/۷ مگاپاسکال) تولید شد. آنها بیان کردند که اسید تارتاریک و اسید سیتریک قادر به تعامل با هیدروکسیل‌های نشاسته هستند و گروه‌های جدیدی (کربوکسیل‌ها) را به ساختار آنها وارد می‌کنند این گروه‌های جدید نقاط بالقوه جدیدی برای واکنش‌های اتصال عرضی هستند و از طرفی می‌توانند نقش نرم‌کننده را ایفا نمایند بنابراین، منجر به فیلم‌های مقاومتر به لحاظ خواص مکانیکی می‌شوند (Olivato *et al.*, 2013). در مطالعه دیگر خواص استحکام کششی نشاسته کاساوا/پلی‌بوتیلن آدیپات ترفتالات/اسید تارتاریک از طریق فرآیند اکستروژن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج مطلوب برای فرمولاسیون بهینه ۵۵:۴۵ (نشاسته کاساوا/پلی‌بوتیلن آدیپات ترفتالات)، ۱۱ درصد وزنی گلیسرول و ۰/۸ درصد وزنی اسید تارتاریک بدست آمد (Olivato *et al.*, 2013). در مطالعه ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2019) گزارش شد که افزودن اسید تارتاریک (۰/۵ تا ۴ درصد وزنی) باعث کاهش استحکام کششی از ۲۰ مگاپاسکال در پلی‌بوتیلن آدیپات ترفتالات تا ۹ مگاپاسکال در نشاسته/پلی‌بوتیلن آدیپات ترفتالات/اسید تارتاریک ۴ درصد وزنی شد. با این حال ازدیاد طول در نقطه شکست نمونه‌های حاوی اسید تارتاریک روند افزایشی را نسبت به پلی‌بوتیلن آدیپات ترفتالات نشان دادند دلیل اصلی تغییرات در خواص مکانیکی به تأثیر گلیسرول و اسید تارتاریک به‌عنوان نرم‌کننده نسبت داده شد.

جدول ٤- خواص مکانیکی فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/ نشاسته گرمانرم حاوی اسید تارتاریک و عصاره پوست سبز گردو

Table 4- Mechanical properties of LDPE/TPS films contains TA and EX

نمونه Sample	استحکام کششی Tensile strength (MPa)	ازدیاد طول در نقطه شکست Elongation at break (%)
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم LDPE/TPS	5.35 ± 0.01^{a}	5.31 ± 0.01^{a}
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک 1.5 درصد LDPE/TPS/TA1.5%	7.22 ± 0.03^{b}	5.34 ± 0.01^{a}
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک 3 درصد LDPE/TPS/TA3%	6.54 ± 0.01^{c}	10.05 ± 0.01^{b}
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/ اسید تارتاریک 3 درصد/عصاره پوست سبز گردو 4 درصد LDPE/TPS/TA3%/EX4%	8.03 ± 0.02^{d}	71.51 ± 0.01^{c}

حروف کوچک در ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است ($P<0.05$)

Small letters in each pillar display significant differences among instances ($p < 0.05$), and data are means ± SD

LDPE: Low density poly ethylene

TPS: Thermoplastic starch

TA: Tartaric acid

EX: Wolnut green husk extrat

زیست‌تخریب‌پذیری

در مطالعه حاضر مشخصات ۲ نمونه ظرف گیاهی که از برند A خریداری شده بود در جدول ۵ نشان داده شده است. مطابق اطلاعاتی که در سایت شرکت برند A آمده است مواد تشکیل‌دهنده ظروف گیاهی بر پایه نشاسته است. محصولاتی تولیدی این شرکت در اشکال هندسی متفاوت با حجم و وزن‌های متناسب با ظروف مورد نظر ساخته شده است. جهت انجام آزمون زیست‌تخریب‌پذیری ضروری بود که نمونه‌ها (فیلم‌ها و نمونه ظرف گیاهی) در ابعاد ۲ × ۲ سانتی‌متر برش داده شوند. برش ظرف گیاهی سطلی از دیواره (بخش ارتفاع ظرف) زده شد و در بستر خاک دفن شد. به همین ترتیب از فیلم‌های تهیه شده برش‌های ۲ × ۲ سانتی‌متر آماده شد و در بستر خاک دفن شدند. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود همه نمونه‌های دارای ابعاد یکسان (۲ × ۲ سانتی‌متر)، وزن تقریبا نزدیکی به یکدیگر داشتند و از ۰/۱ تا ۰/۱۴ گرم متغیر بودند در ضمن ضخامت نمونه به‌طور متوسط در محدوده ۰/۱۹ میلی‌متر معادل ۱۹۰ میکرومتر بود. درصد کاهش وزن فیلم‌های کامپوزیتی در طول فرآیند تخریب (۲ ماه) در جدول ۷ و شکل ۲ نشان داده‌شده است. همه نمونه‌ها دارای زیست‌تخریب‌پذیری طی دو ماه بودند. در نمونه پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم درصد زیست‌تخریب‌پذیری ۰/۰۱ ± ۱۰/۹۸ به‌دست آمد. با افزودن اسید تارتاریک از ۱/۵ به ۳ درصد وزنی مقدار درصد زیست‌تخریب‌پذیری از ۰/۰۳ ± ۱۸/۰۹ به ۰/۰۴ ± ۲۵/۲۴ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین نمونه پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی/عصاره پوست سبز گردو ۴ درصد وزنی دارای مقدار زیست‌تخریب‌پذیری ۰/۰۱ ± ۲۱/۱۷ درصد بود. حضور نشاسته گرمانرم

یا نشاسته گرمانرم-اسید تارتاریک در پلیمر-عصاره، کاهش وزن مولکولی را افزایش داد. از طرفی نمونه ظرف گیاهی برند A دارای کمترین مقدار تخریب (۰/۰۱ ± ۵/۱۴) در بین سایر نمونه‌ها بود و از نظر ظاهری تغییری در نمونه‌ها طی دو ماه دیده نشد. برخلاف تصور ما که انتظار می‌رفت شاهد کاهش وزن قابل‌ملاحظه‌ای در ظروف گیاهی باشیم. کاهش وزن نشاسته در کامپوزیت‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین ممکن است مسئول این زیست‌تخریب‌پذیری باشد، با افزایش محتوای اسید تارتاریک، کاهش وزن مولکولی به‌دلیل محتوای بالاتر (هیدروژن مثبت) آن افزایش می‌یابد (Pokhrel *et al.*, 2021). زین و همکاران، (Zain, Ab Wahab, & Ismail, 2018) درصد زیست‌تخریب‌پذیری را در نشاسته گرمانرم حاوی دو نمونه اسیدسیتریک و اسید اسکوربیک مقایسه کردند. در این مطالعه دما ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۷۰ تا ۸۰ درصد و دوبار در روز توسط آب اسپری شد تا رطوبت کمپوست حفظ شود. نتایج نشان داد که اسید اسکوربیک در مقایسه با اسیدسیتریک، نرخ تخریب بالاتری دارد. این احتمالاً به‌دلیل برهمکنش قوی هیدروژن بین مولکول‌های اسید و نشاسته (گروه‌های هیدروکسیل) است. میکروارگانیسم‌ها با حمله به ساختار پلیمری، نشاسته را مصرف می‌کنند. این امر منجر به شکستگی ساختار فیلم کامپوزیت می‌شود که روند تجزیه زیستی را ارتقا می‌دهد. علاوه بر این، محیط خاک کمپوست غنی از ترکیبات نیتروژن و کربن است که شرایط مطلوب و بهینه‌ای را برای گسترش میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌کند. درنتیجه، تعداد میکروارگانیسم‌ها (در مقایسه با خاک طبیعی) افزایش می‌یابد و درنهایت درصد زیست‌تخریب‌پذیری در خاک کمپوست افزایش می‌یابد. هنگامی‌که وزن مولکولی پلی‌اتیلن حدود ۵۰۰ دالتون باشد، می‌تواند با عبور از غشاهای بیرونی نیمه‌تراوای باکتری‌ها، پلیمریزه شده و توسط باکتری‌ها مصرف شود و به‌عنوان منبع انرژی و کربن مورداستفاده قرار گیرد. درواقع، فقط لایه‌نازک نشاسته تخریب می‌شود، درحالی‌که زنجیره اصلی در پلی‌اتیلن به زنجیره‌های کوچک‌تری برش داده می‌شود و این منجر به کاهش وزن مولکولی پلیمر می‌شود (Zain *et al.*, 2018). بنابراین این آزمایش نشان داد که این بررسی نیازمند مطالعه بیشتری در زمینه زیست‌تخریب‌پذیری و فرمولاسیون ظروف گیاهی تولید داخل و بررسی بحث مهاجرت و ایمنی اجزای سازنده آن به مواد غذایی است .

جدول ۵- مشخصات ظروف گیاهی برند A خریداری‌شده از بازار

Table 5- Specifications of Brand A vegetable containers purchased from the marke

مواد تشکیل دهنده ظرف گیاهی Ingredients for the vegetable dish	شکل هندسی ظرف گیاهی Geometric shape of plant container	وزن کل ظرف گیاهی Total weight of vegetable container (g)
بر پایه نشاسته Starch-based	- ظرف گیاهی سطلی با درب با ابعاد 13×10 سانتی متر(ارتفاع × قطر) Bucket planter with lid, dimensions 10×13 cm (height × diameter)	59.48
	- لیوان گیاهی با ابعاد 5×8 سانتی متر(ارتفاع × قطر) Herbal cup with dimensions 8×5 cm (height × diameter)	7.36

جدول ٦- وزن نمونه های برش خورده (2×2cm) جهت آزمون زیست تخریب پذیری

Table 6- Weight of cut samples (2×2 cm) for biodegradability testing

برش نمونه ها در ابعاد 2×2 سانتی‌متر Cutting the samples into 2×2cm pieces	وزن Weight (g)
ظرف گیاهی سطلی Bucket plant container	0.14
لیوان گیاهی Herbul mug	0.10
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم LDPE/TPS	0.10
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم /اسید تارتاریک 1.5 درصد LDPE/TPS/TA 1.5%	0.11
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم /اسید تارتاریک 3 درصد LDPE/TPS/TA 3%	0.13
پلی اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک 3 درصد/ عصاره پوست سبز گردو (4 درصد) LDPE/TPS/TA3%/EX4%	0.14

جدول ۷- زیست تخریب تعیین‌شده برای فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین، نشاسته گرمانرم، اسید تارتاریک (۱/۵ و ۳ درصد)، عصاره پوست سبز گردو ٤(درصد) و نمونه ظرف گیاهی برند A خریداری‌شده از بازار

Table 7- Biodegradability determined for low-density polyethylene films, thermoplastic starch, tartaric acid (1.5 and 3%), walnut green husk extract (4%) and a sample of Brand A plant container purchased from the market

نمونه Sample	زیست‌تخریب‌پذیری Biodegradability (%)
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم LDPE/TPS	10.98±0.01[a]
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم /اسید تارتاریک 1.5 درصد LDPE/TPS/TA 1.5%	18.09±0.03[b]
پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم /اسید تارتاریک 3 درصد LDPE/TPS/TA 3%	25.24±0.04[c]
پلی اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک 3 درصد/ عصاره پوست سبز گردو (4 درصد) LDPE/TPS/TA3%/EX4%	21.17±0.01[d]
ظرف گیاهی خریداری‌شده از بازار برند A Vegetable container purchased from Brand A market	5.14±0.01[e]

حروف کوچک در ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است (P<0.05)

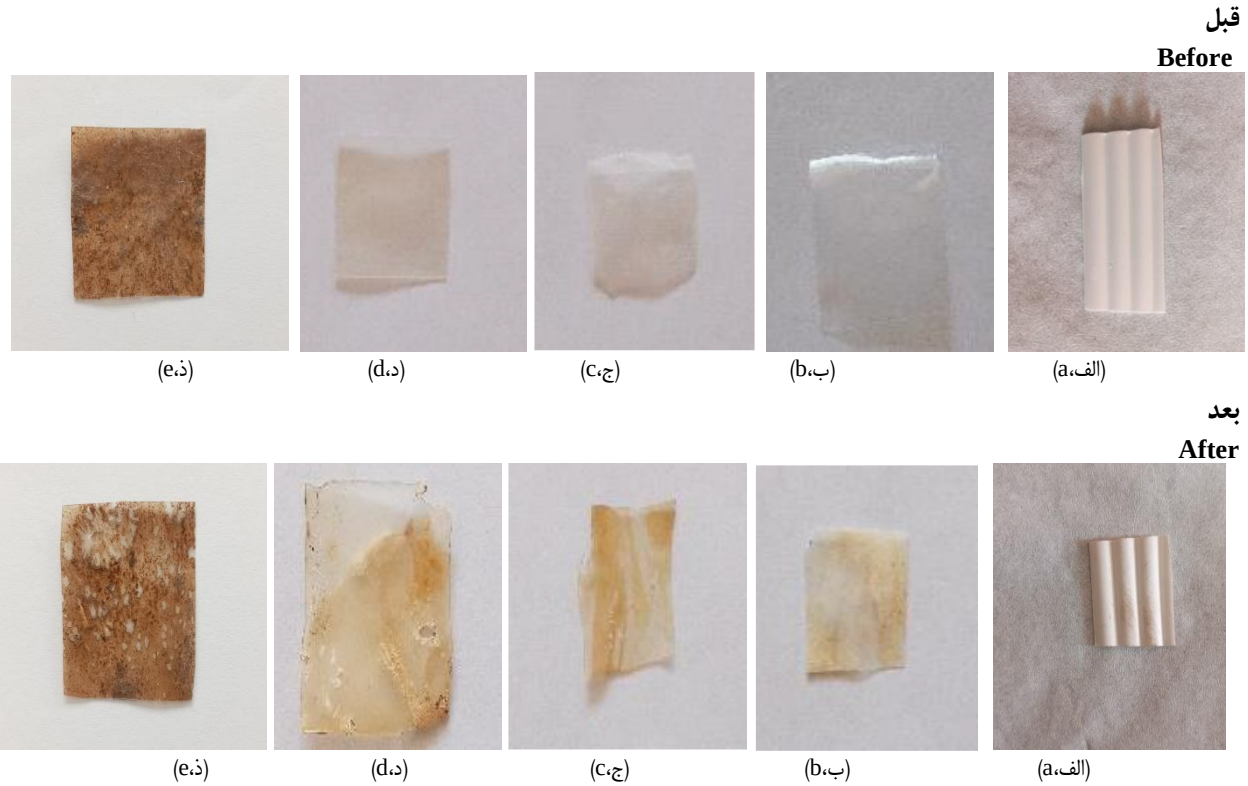
Small letters in each pillar display significant differences among instances ($p < 0.05$), and data are means ± SD

LDPE: Low density poly ethylene

TPS: Thermoplastic starch

TA: Tartaric acid

EX: Wolnut green husk extrat



شکل ۲- تصاویر فیلم‌های کامپوزیت پلی‌اتیلن با دانسیته پایین / نشاسته گرمانرم قبل و بعد از ۲ ماه تخریب. (الف) نمونه ظرف گیاهی برند A خریداری‌شده از بازار (ب) پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم، (ج) پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم /اسید تارتاریک ۱/۵ درصد، (د) پلی‌اتیلن/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد، (ذ) پلی‌اتیلن/ نشاسته گرمانرم /اسید تارتاریک ۳ درصد/عصاره پوست سبز گردو ٤ درصد

Fig. 2. Images of low-density polyethylene/thermoplastic starch composite films before and after 2 months of degradation. (a) Sample of brand A plant container purchased from the market, (b) thermoplastic starch/polyethylene, (c) thermoplastic starch/polyethylene /1.5% tartaric acid, (d) thermoplastic starch/polyethylene /3% tartaric acid,(d) thermoplastic starch/polyethylene/3% tartaric acid/4%walnut green husk extract

نتیجه‌گیری

عصاره پوست سبز گردو (به روش هیدروالکلی) ویژگی‌های ضد باکتریایی و آنتی‌اکسیدانی را نشان داد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فنل کل عصاره پوست سبز گردو به‌ترتیب ۲۵ میکروگرم بر میلی‌لیتر و ۱۷۵ میلی‌گرم بر گرم بود. حداقل غلظت مهار کنندگی و حداقل غلظت باکتری‌کشی در محدوده ۱۰-۳۲ و ۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، هاله عدم رشد با مقدار ۲-۷ میلی‌متر تعیین شد. فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/عصاره پوست سبز گردو در چهار غلظت ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی دارای خاصیت ضد باکتریایی بودند در غلظت ۴ درصد بالاترین قطر هاله ضد میکروبی (۸/۳۳ میلی‌متر) مشاهده شد و به‌عنوان فیلم بهینه انتخاب شد. در ادامه این پژوهش فیلم‌های پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم حاوی اسید تارتاریک (۱/۵ و ۳ درصد وزنی) و عصاره پوست سبز گردو (۴ درصد وزنی) تهیه شدند. با افزودن اسید تارتاریک و عصاره ساختار یکنواخت و منسجمی در مورفولوژی فیلم‌ها نسبت به نمونه کنترل (LDPE/TPS) ایجاد شد. به‌دلیل اتصالات عرضی خواص مکانیکی بهبود یافت. به‌طوری‌که در محتوای ۳ درصد وزنی اسید تارتاریک و ۴ درصد وزنی عصاره پوست سبز گردو خواص مکانیکی بهبود یافته‌تری (استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست به‌ترتیب به ۸/۰۳ مگاپاسکال و ۷۱/۵۱ درصد) نسبت به سایر نمونه‌ها مشاهده شد. در بررسی زیست‌تخریب‌پذیری نمونه فیلم‌های کامپوزیتی قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری این نمونه‌ها با نمونه محصولات ظروف گیاهی تولیدی در داخل کشور (برند A) موردبررسی قرار گرفت. بیشترین درصد زیست‌تخریب‌پذیری متعلق به نمونه پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد وزنی (۰/۰۴ ± ۲۵/۲۴) و پس از آن نمونه پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد/ عصاره پوست سبز گردو ۴ درصد وزنی (۰/۰۱ ± ۲۱/۱۷) بدست آمد. نمونه ظرف گیاهی تولید داخل (برند A) دارای قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری (۰/۰۱ ± ۵/۱۴) بود. بنابراین فیلم پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد دارای خواص مورفولوژیکی و زیست‌تخریب‌پذیری بهبود یافته‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها بود و پس از آن نمونه پلی‌اتیلن با دانسیته پایین/نشاسته گرمانرم/اسید تارتاریک ۳ درصد/عصاره پوست سبز گردو (۴ درصد) در رتبه بعدی قرار داشت. نتایج حاصله نشان داد که تولیدات عرضه‌شده در بازار داخل ایران به‌عنوان ظروف گیاهی فاصله زیادی تا ادعای مطروحه دارند این نتیجه ضرورت بررسی مجدد تولید ظروف گیاهی داخلی از جنبه زیست‌تخریب‌پذیری و ایمنی را برجسته‌تر می‌نماید.

منابع تأمین مالی

این پژوهش با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و طرح مصوب به شماره ۶۵۵۱۶ انجام‌گرفته و نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از حمایت مذکور اعلام می‌دارند.

میزان مشارکت نویسندگان

نرجس جنتی ها: نوشتن-پیش‌نویس اصلی، مفهوم‌سازی، تحقیق و بررسی، نرم‌افزار. **ناصر صداقت**: مدیریت داده‌ها، مدیریت پروژه، نظارت، نوشتن-بررسی و ویرایش.

References

1. Altayan, M.M., & Al Darouich, T. (2022). Toward reducing the food packaging waste impact: a study on the effect of starch type and PE type in thermoplastic starch-polyethylene blends. *Chemical Papers*, *76*(4), 2447–2457. https://doi.org/10.1007/s11696-021-02003-0
2. Alonso, E.R., León, I., Kolesniková, L., Mata, S., & Alonso, J.L. (2021). Unveiling five naked structures of tartaric acid. *Angewandte Chemie-International Edition*, *60*(32), 17410–17414. https://doi.org/10.1002/anie.202105718
3. Boghori, P., & Sedaghat, N. (2021). Food safety with a focus on the migration of plastic packaging. *Journal of Packaging Science and Technology*, *12(3), 1-8*. https://dor.org/20.1001.1.22286675.1400.12.47.1.9
4. Boulfia, M., Lamchouri, F., & Toufik, H. (2021). Mineral analysis, in vitro evaluation of alpha-amylase, alpha-glucosidase, and beta-galactosidase inhibition, and antibacterial activities of *Juglans regia* L. bark extracts. *Biomed Research International*. https://doi.org/10.1155/2021/1585692
5. Bulatović, V.O., Grgić, D.K., Mandić, V., Miloloža, M., Dybal, J., Gajdosova, V., & Slouf, M. (2023). Biodegradation of LDPE_TPS blends under controlled composting conditions. *Polymer Bulletin*, *80*(3), 3331–3357. https://doi.org/10.1007/s00289-021-03982-6
6. Chollakup, R., Pongburoos, S., & Boonsong, W. (2020). Antioxidant and antibacterial activities of cassava starch and whey protein blend films containing rambutan peel extract and cinnamon oil for active packaging. *Lwt 130*, 109573. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109573

7. Dewi, R., Sylvia, N., Zulnazri, & Riza, M. (2023). Melt flow Index (MFI) analysis of sago based thermoplastic starch blend with polypropylene and polyethylene. *Materials Today: Proceedings*, *87*, 396–400. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.173
8. Ebrahimzadeh, A., & Sedaghat, N. (2023). A review of biodegradable plastics based on polysaccharide : Starch, cellulose and its derivatives. *Packaging Science and Art*, *13*(3), 57-72. https://dor.org/20.1001.1.22286675.1401.13.51.6.9
9. Entezari, A., & Sedaghat, N. (2024). Production of gelatin-pullulan- nanofibers cellulose film containing *Salmonella* phages and effect its anti- salmonella against *Salmonella typhimurium*. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *20*(5), 267-279. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.82253.1256
10. Fathifar, M., & Sedaqhat, N. (2025). Preparation and study the physical, Mechanical and antimicrobial properties of polyethylene/polylactic acid nanocomposite films reinforced with nano-graphene oxide. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *21*(11), 377-391. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.91530.1397
11. Fernández-Agulló, A., Pereira, E., & Freire, M.S. (2013). Influence of solvent on the antioxidant and antimicrobial properties of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extracts. *Industrial Crops Products*, *42*, 126–132. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.021
12. Gui,, H., Ma, W., Cao, Y., Chao, H., Fan, M., Dong, Q., & Li, L. (2024). Sustained release, antimicrobial, and antioxidant properties of modified porous starch-based biodegradable polylactic acid/polybutylene adipate-co-terephthalate/thermoplastic starch active packaging film. *International Journal of Biological Macromolecules*, *267*. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131657
13. Hazer, S., & Aytac, A. (2023). Monitoring food quality-effect of curcumin in the development of polyethylene/thermoplastic starch based smart packaging. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, *29*(5), 826–839. https://doi.org/10.1002/vnl.22004
14. Han, Q., Yan, X., & Zhang, R. (2021). Juglone inactivates pseudomonas aeruginosa through cell membrane damage, biofilm blockage, and inhibition of gene expression. *Molecules*, *26*. https://doi.org/10.3390/molecules26195854
15. Ivanič, F., Kováčová, M., & Chodák, I. (2019). The effect of plasticizer selection on properties of blends poly (butylene adipate-co-terephthalate) with thermoplastic starch. *European Polymer Journal*, *116*, 99–105. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.03.042
16. Jafari, B., Bahrami, AR., & Matin, M.M. (2023). Targeted bacteria-mediated therapy of mouse colorectal cancer using baicalin, a natural glucuronide compound, and E. coli overexpressing β–glucuronidase. *International Journal Pharmacology*, *642*, 123099. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123099
17. Jannatiha, N., Sedaghat, N., & Razavi, S.M.A. (2025). Effect of tartaic acid and castor oil on the charactristics of low-density polyethylene/thermoplastic starch composite films. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, *11*(9), 100898. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100898
18. Jantwal, A., Durgapal, S., Upadhyay, J., Joshi, T., & Kumar, A. (2022). Tartaric acid. *Antioxidants Effects in Health: The Bright and the Dark Side*, 485–492. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819096-8.00019-7
19. Karaki, A., Hammoud, A., Masad, E., Khraisheh, M., Abdala, A., & Ouederni, M. (2024). A review on material extrusion (MEX) of polyethylene-challenges, opportunities, and future prospects. *Polymer*, *307*, 127333. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.127333
20. Kahar, A.W.M., Ismail, H., & Othman, N. (2012). Morphology and tensile properties of high-density polyethylene/natural rubber/thermoplastic tapioca starch blends: The effect of citric acid-modified tapioca starch. *Journal of Applied Polymer Science*, *125*(1), 768–775. https://doi.org/10.1002/app.35057
21. Kumar, G., Karthik, L., & Rao, K.V.B. (2013) Phytochemical composition and in vitro antioxidant activity of aqueous extract of *Aerva lanata* (L.) Juss. ex Schult. Stem (Amaranthaceae). *Asian Pacific Journal Tropical Medicine*, *6*, 180–187. https://doi.org/10.1016/S1995-7645(13)60020-6
22. Kithi, L., Lengyel-Kónya, É., Berki, M., & Bujdosó, G. (2023). Role of the green husks of Persian walnut (*Juglans regia* L.)- A review. *Horticulturae*, *9*, 1–17. https://doi.org/10.3390/horticulturae9070782
23. Li, J., He, H., Zhang, H., Xu, M., GU, Q., & Zhu, Z. (2022). Preparation of thermoplastic starch with comprehensive performance plasticized by citric acid. *Journal of Applied Polymer Science*, *139*(25). https://doi.org/10.1002/app.52401
24. Loukri, A., Kyriakoudi, A., Oliinychenko, Y., Stratakos, A.C., Lazaridou, A., & Mourtzinos, I. (2024). Preparation and characterization of chitosan-citric acid edible films loaded with Cornelian cherry pomace extract as active packaging materials. *Food Hydrocolloids*, 150. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109687
25. Martins, A.B., & Santana, R.M.C. (2016). Effect of carboxylic acids as compatibilizer agent on mechanical properties of thermoplastic starch and polypropylene blends. *Carbohydrate Polymers*, *135*, 79–85. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.074
26. Masek, A., Latos-Brozio, M., Chrzescijanska, E., & Podsedek, A. (2019). Polyphenolic profile and antioxidant activity of *Juglans regia* L. leaves and husk extracts. *Forests*, *10*, 1–14. https://doi.org/10.3390/f10110988

27. Mayachiew, P., Devahastin, S., Mackey, B.M., & Niranjan, K. (2010). Effects of drying methods and conditions on antimicrobial activity of edible chitosan films enriched with galangal extract. *Food Research International*, *43*, 125–132. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.006
28. Mehraj, S., Pandey, G., Garg, M., Santra, B., Grewal, H.S., Kanjilal, A., & Sistla, Y.S. (2023). Castor oil and cocoa butter to improve the moisture barrier and tensile properties of pectin films. *Journal of Polymers and the Environment*, *31*(1), 312–326. https://doi.org/10.1007/s10924-022-02581-4
29. Nguyen, D.M., Do, T.V.V., Grillet, A.C., Ha Thuc, H., & Ha Thuc, C.N. (2016). Biodegradability of polymer film based on low density polyethylene and cassava starch. *International Biodeterioration and Biodegradation*, *115*, 257–265. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.09.004
30. Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H., & Hosseini, S.M.H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. *Food Chemistry*, *122*, 161–166. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.033
31. Olivato, J.B., Müller, C.M.O., Carvalho, G.M., Yamashita, F., & Grossmann, M.V.E. (2014). Physical and structural characterisation of starch/polyester blends with tartaric acid. *Materials Science and Engineering C*, *39*(1), 35–39. https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.02.020
32. Olivato, J.B., Nobrega, M.M., Müller, C.M.O., Shirai, M.A., Yamashita, F., & Grossmann, M.V.E. (2013). Mixture design applied for the study of the tartaric acid effect on starch/polyester films. *Carbohydrate Polymers*, *92*(2), 1705–1710. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.024
33. Oliveira, I., Sousa, A., & Ferreira, I. (2008) Total phenols, antioxidant potential and antimicrobial activity of walnut (*Juglans regia* L.) green husks. *Food Chemistry Toxicology*, *46*, 2326–2331. https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.03.017
34. Peres, A.M., & Oréfice, R.L. (2020). Effect of incorporation of Halloysite nanotubes on the structure and properties of low-density polyethylene/thermoplastic starch blend. *Journal of Polymer Research*, *27*(8). https://doi.org/10.1007/s10965-020-02185-3
35. Pokhrel, S., Sigdel, A., Lach, R., Slouf, M., Sirc, J., Katiyar, V., Bhattarai, D.R., & Adhikari, R. (2021). Starch-based biodegradable film with poly (butylene adipate-co-terephthalate): preparation, morphology, thermal and biodegradation properties. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, *58*(9), 610–621. https://doi.org/10.1080/10601325.2021.1920838
36. Reddy, N., Jiang, Q., & Yang, Y. (2012). Preparation and properties of peanut protein films crosslinked with citric acid. *Industrial Crops and Products*, *39*(1), 26–30. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.004
37. Rezaei, A., Rezaei, M., & Alboofetileh, M. (2021). Preparation of biodegradable carboxymethyl cellulose-Arabic gum composite film and evaluation of the physical, mechanical and thermal properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *17*(2), 282–297. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2020.39271
38. Romano, R., Aiello, A., & Meca, G. (2021). Recovery of bioactive compounds from walnut (*Juglans regia* L.) green husk by supercritical carbon dioxide extraction. *International Journal Food Science Technology*, *56*, 4658–4668. https://doi.org/10.1111/ijfs.1516
39. Roussos, P.A. (2011). Phytochemicals and antioxidant capacity of orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Salustiana) juice produced under organic and integrated farming system in Greece. *Science Horticulture* (Amsterdam), *129*, 253–258. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.040
40. Smail, D., & Chaoui, S. (2021). Influence of organoclay filler and dicumyl peroxide (DCP) on the properties of the low-density polyethylene (LDPE)/thermoplastic starch (TPS) blend. *Polymers and Polymer Composites*, *29*(9), 1599–1611. https://doi.org/10.1177/0967391120976270
41. Sahraee, S., & Milani, J. (2025). Production and investigation of physical and mechanical properties of soy protein isolate-tragacanth based composite film. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *20*(6), 171-200. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88166.1334
42. Soto-Madrid, D., Gutiérrez-Cutiño, M., & Pozo-Martínez, J. (2021). Dependence of the ripeness stage on the antioxidant and antimicrobial properties of walnut (*Juglans regia* L.) green husk extracts from industrial by-products. *Molecules*, *26*(10), 2878. https://doi.org/10.3390/molecules26102878
43. Soto-Maldonado, C., Caballero-Valdés, E., & Santis-Bernal, J. (2022). Potential of solid wastes from the walnut industry: Extraction conditions to evaluate the antioxidant and bioherbicidal activities. *Electron Journal Biotechnology*, *58*, 25–36. https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2022.04.005
44. Sales-Campos, H., De Souza, P.R., & Basso, P.J. (2015). Aedes aegypti salivary gland extract ameliorates experimental inflammatory bowel disease. *International Immunopharmacology*, *26*, 13–22. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2015.03.002
45. Shi, B., Zhang, W., Li, X., & Pan, X. (2018). Seasonal variations of phenolic profiles and antioxidant activity of walnut (*Juglans sigillata* Dode) green husks. *International Journal Food Properties*, *20*, S2635–S2646. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1381706

46. Sharma, P., Ravikumar, G., & Kalaiselvi, M. (2013). In vitro antibacterial and free radical scavenging activity of green hull of *Juglans regia*. *Journal Pharmacology Analytical*, *3*, 298–302. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2013.01.006
47. Sun, X., Hong, T., & Wei, C. (2018). Antibacterial effect and mechanism of anthocyanin rich Chinese wild blueberry extract on various foodborne pathogens. *Food Control*, *94*, 155–161. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.012
48. Vieira, V., Pereira, C., & Abreu, R.M.V. (2020). Hydroethanolic extract of *Juglans regia* L. green husks: A source of bioactive phytochemicals. *Food Chemistry Toxicology*, *137*, 111189. https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111189
49. Vimaladevi, S., Panda, S.K., Xavier, K.A.M., & Bindu, J. (2015). Packaging performance of organic acid incorporated chitosan films on dried anchovy (*Stolephorus indicus*), *Carbohydrate Polymers*, *127*, 189–194. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.065
50. Xi, M., Hou, Y., & Cai, Y. (2023). Antioxidant and antimicrobial characteristics of ethyl acetate polar fractions from walnut green husk. *Journal Food Science*, *88*, 1060–1074. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16473
51. Yousuf, B., Sun, Y., & Wu, S. (2022). Lipid and lipid-containing composite edible coatings and films. *Food Reviews International*, *38*, 574–597. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1876084
52. Zain, A.H.M., Ab Wahab, M.K., & Ismail, H. (2018). Biodegradation behaviour of thermoplastic starch: The roles of carboxylic acids on cassava starch. *Journal of Polymers and the Environment*, *26*(2), 691–700. https://doi.org/10.1007/s10924-017-0978-5
53. Ziaolhagh, S.H., & Zare, S. (2022). Effect of ultrasound on the extraction of phenolic compounds and antioxidant activity of different parts of walnut fruit. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *18*(3), 85-981. https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.72602.1114
54. Zhang, S., He, Y., Lin, Z., Li, J., & Jiang, G. (2019). Effects of tartaric acid contents on phase homogeneity, morphology and properties of poly (butyleneadipate-co-terephthalate)/thermoplastic starch bio-composities, *Polymer Testing*, *76*, 385–395. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.04.005