

Review of Challenges and Capacities of Utilizing Agricultural and Agro-Industrial By-Products for the Production of Functional, Bioactive and Value-Added Products

Seyadeh Narges Mazloomi¹,

Shahram Ala²,

Fatemeh Khaleghi³

¹ Assistant Professor of Nutritional Sciences & Food Technology, The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Professor of Clinical Pharmacy, Department of Clinical Pharmacy, Faculty of Pharmacy, The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

³ PhD in Natural Products Chemistry, The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received October 20, 2025; Accepted February 1, 2026)

Abstract

With the growth of the global population and the increasing demand for healthy and functional foods, agricultural and agro-industrial wastes generated during harvesting and processing have gained significant attention as potential sources of nutrients and bioactive compounds when managed and processed in a controlled manner. This review article analyzes studies published between 2020 and 2025 with the aim of examining the most important compounds present in these wastes, emerging technologies in the food processing industry, successful industrial applications in Iran and worldwide, as well as the challenges and opportunities associated with the safe, indirect, and standards-based utilization of these resources. The findings indicate that wastes from fruits, vegetables, cereals, and agro-industrial processes contain substantial amounts of polyphenols, flavonoids, carotenoids, dietary fibers, proteins, and essential fatty acids, which, following refining, decontamination, and quality control processes, these compounds can be utilized as approved food additives, raw materials for dietary supplement production, components of processed animal feed, and biodegradable packaging materials. The application of emerging technologies, including green extraction methods, microwave- and ultrasound-assisted extraction, supercritical fluid technologies, and microbial fermentation, provides effective opportunities to enhance the yield, stability, and quality of recovered compounds. Nevertheless, challenges such as high equipment costs, inadequate infrastructure, limited consumer acceptance, and the lack of comprehensive regulatory frameworks continue to hinder large-scale industrial development. This review demonstrates that waste management within a circular economy framework, supported by appropriate policies and consumer education, can generate considerable economic value as well as environmental and social benefits. The findings of this study may serve as a strategic reference for researchers, producers, and policymakers in advancing sustainable development and the commercialization of products derived from agricultural wastes.

Keywords: Agricultural waste, Industrial by-products, Bioactive compounds, Circular economy, Functional products

J Mazandaran Univ Med Sci 2026; 35 (253): 129-145 (Persian).

Corresponding Author: Fatemeh Khaleghi - The Health of Plant and Livestock Products Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran. (E-mail: ftkhaleghi@yahoo.com)

مروری بر چالش‌ها و ظرفیت‌های استفاده از پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی در تولید محصولات عملکردی، زیست فعال و ارزش افزوده

سیده نرگس مظلومی^۱

شهرام علا^۲

فاطمه خالقی^۳

چکیده

با افزایش جمعیت جهان و رشد روزافزون تقاضا برای غذاهای سالم و عملکردی، پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی حاصل از فرآیندهای برداشت و فرآوری، در صورت مدیریت و فرآوری کنترل شده، به عنوان منابع بالقوه مواد مغذی و ترکیبات زیست فعال اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. این مقاله مروری، مطالعات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ را با هدف بررسی مهم‌ترین ترکیبات موجود در پسماندها، فناوری‌های نوین در صنعت فرآوری مواد غذایی، نمونه‌های موفق صنعتی در ایران و جهان و هم‌چنین چالش‌ها و فرصت‌های بهره‌برداری ایمن، غیرمستقیم و مبتنی بر استانداردهای بهداشتی از این منابع، تجزیه و تحلیل کرده است. یافته‌ها نشان دادند که پسماندهای میوه‌ها، سبزیجات، غلات و صنایع تبدیلی حاوی مقادیر قابل توجهی پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها، فیبرهای رژیمی، پروتئین‌ها و اسیدهای چرب ضروری هستند که پس از انجام فرآیندهای پالایش، ضدعفونی و کنترل کیفی، می‌توانند به عنوان افزودنی‌های مجاز غذایی، مواد اولیه تولید مکمل‌ها، خوراک دام فرآوری شده و بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از فناوری‌های نوین، روش‌های استخراج سبز، مایکروویو، فراصوت، سیالات فوق بحرانی و تخمیر میکروبی فرصت‌های موثری برای افزایش بازده، پایداری و کیفیت ترکیبات بازیافتی فراهم می‌آورند. با این حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای تجهیزات، عدم زیرساخت مناسب، پذیرش محدود مصرف‌کننده و نبود چارچوب‌های قانونی جامع هنوز مانع توسعه صنعتی به شکل گسترده هستند. مطالعه مروری حاضر نشان می‌دهد که مدیریت پسماندها در چارچوب اقتصاد چرخشی، همراه با سیاست‌های حمایتی و آموزش مصرف‌کنندگان، می‌تواند علاوه بر ارزش اقتصادی، منافع زیست محیطی و اجتماعی قابل توجهی ایجاد کند. نتایج این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگران، تولیدکنندگان و سیاست‌گذاران به عنوان مرجعی راهبردی در توسعه پایدار و تجاری‌سازی محصولات حاصل از پسماندهای کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پسماندهای کشاورزی، صنایع تبدیلی، مواد زیست فعال، اقتصاد چرخشی، محصولات عملکردی

E-mail: ftkhaleghi@yahoo.com

مؤلف مسئول: فاطمه خالقی - ساری: دانشگاه علوم پزشکی مازندران - مرکز تحقیقات سلامت فرآورده‌های گیاهی و دامی

۱. استادیار علوم و صنایع غذایی گروه علوم تغذیه، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات سلامت فرآورده‌های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. استاد داروسازی بالینی، گروه داروسازی بالینی، دانشکده داروسازی، مرکز تحقیقات سلامت فرآورده‌های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۳. دکترای شیمی، ترکیبات طبیعی، مرکز تحقیقات سلامت فرآورده‌های گیاهی و دامی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۴۰۴/۸/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

مقدمه

صنایع غذایی و کشاورزی یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان هستند و نقش اساسی در تأمین امنیت غذایی، ایجاد اشتغال و توسعه پایدار ایفا می‌کنند. با این حال، در کنار تولید محصولات اصلی، حجم عظیمی از پسماندها و ضایعات در مراحل برداشت، فرآوری، بسته‌بندی و توزیع ایجاد می‌شود. پسماندهای صنایع تبدیلی و کشاورزی یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی زیست محیطی در جهان به شمار می‌روند (۱-۳). بر اساس گزارش‌های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل تولیدات کشاورزی جهان در مراحل مختلف برداشت، فرآوری و مصرف به ضایعات تبدیل می‌شود و به شکل‌های مختلف هدر می‌رود (۴). مصوبات موجود در دستور کار توسعه پایدار (SDGs) فائو، مرتبط با چارچوب استراتژیک ۲۰۲۲-۲۰۳۱، بر حمایت از تحول برای دستیابی به سیستم‌های کشاورزی-غذایی کارآمدتر، فراگیرتر، مقاوم‌تر و پایدارتر برای تولید بهتر، تغذیه بهتر، محیط زیست بهتر و زندگی بهتر در راستای اهداف توسعه پایدار تمرکز دارد (۵). در راستای دستیابی به اهداف چندگانه دستور کار توسعه پایدار، رویکردهای علمی و سیاستی متعددی برای ارزش‌گذاری پسماندهای کشاورزی و صنایع غذایی در چارچوبی ایمن و کنترل شده ارائه شده است. این رویکردها شامل بازیابی ترکیبات عملکردی، از جمله پلی فنول‌ها، روغن‌های ضروری، رنگدانه‌ها، ترکیبات زیست فعال و کاروتنوئیدها از فرآورده‌های جانبی مواد غذایی، توصیف استراتژی‌های استخراج، و در نهایت، کاربرد غیرمستقیم و صنعتی ترکیبات استخراج شده در حوزه‌هایی نظیر صنایع غذایی (به‌عنوان افزودنی‌های مجاز)، داروسازی، بسته‌بندی مواد غذایی و صنایع آرایشی-بهداشتی می‌باشند، فرآیندهایی که در مجموع می‌توانند ضمن کاهش اثرات زیست محیطی، به رشد بازارهای پایدار و تحقق اهداف توسعه پایدار کمک

کنند (۶). پسماندهای صنایع تبدیلی و کشاورزی شامل طیف گسترده‌ای از مواد آلی و غیرآلی هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به سبوس برنج و گندم، تفاله میوه‌ها، پوست و هسته محصولات باغی، ضایعات سبزیجات، پسماندهای دامی، فاضلاب‌های صنعتی و ضایعات ناشی از فرآیندهای حرارتی اشاره کرد. بخش عمده‌ای از این پسماندها فسادپذیر بوده و به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های مناسب مدیریت ضایعات، غالباً به شکل غیر بهداشتی دفع می‌شوند. این پسماندها نه تنها به‌عنوان یک چالش زیست محیطی مطرح هستند بلکه در صورت جمع‌آوری، فرآوری و ضدعفونی مناسب، می‌توانند به‌عنوان منبعی غنی از ترکیبات ارزشمند نظیر فیبرهای رژیمی، پروتئین‌ها، پلی فنول‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و مواد معدنی، مورد توجه قرار گیرند (۷، ۸).

در سال‌های اخیر با افزایش نگرانی‌های مربوط به امنیت غذایی، توسعه پایدار و اقتصاد چرخشی، بهره‌برداری از پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی به‌عنوان یک راهبرد مکمل و غیرمستقیم در زنجیره ارزش غذا، مورد توجه محققان و سیاست‌گذاران قرار گرفته است. در این رویکرد، پسماندها نه به‌عنوان ضایعات بلکه به‌عنوان منبعی ثانویه برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالا تلقی می‌شوند (۹، ۱۰). کاربرد این پسماندها بصورت ایمن و استاندارد محور نظیر تولید خوراک دام فرآوری شده، افزودنی‌های مجاز غذایی، مکمل‌های تغذیه‌ای، بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر، مواد دارویی و سایر محصولات صنعتی، نمونه‌هایی از این نگاه نوین است (۱۱). ضایعات مواد غذایی به دلیل محتوای بالای پلی ساکاریدها، فیبرهای غذایی، روغن‌ها، ویتامین‌ها، فنول‌ها، کاروتنوئیدها و سایر رنگدانه‌ها، منبع مهمی از کربوهیدرات‌های پیچیده، پروتئین‌ها، لیپیدها و مواد شیمیایی گیاهی محسوب می‌شوند. ارزش بالقوه این ترکیبات با توجه به محتوای بالای ترکیبات فعال بیولوژیکی، در بهره‌برداری کنترل شده و غیرمستقیم آن‌ها در زنجیره‌های صنعتی و زیستی

نهفته است (۱۲). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از فناوری‌های نوین از جمله استخراج سبز، تخمیر میکروبی، نانوفناوری و بیوکانورژن با حشرات می‌تواند منجر به تولید محصولات عملکردی و زیست‌پایه شامل مکمل‌های تغذیه‌ای، بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر و حتی سوخت‌های زیستی شود (۱۵-۱۳). از سوی دیگر، افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به سلامت و محیط زیست، تقاضا برای محصولات عملکردی و پایدار را افزایش داده است. این روند، فرصت‌های بی‌ظنیری برای توسعه فناوری‌های نوین بازیافت و بهره‌برداری از پسماندها فراهم کرده است. با وجود این، چالش‌هایی از قبیل هزینه‌های بالای فناوری، کمبود زیرساخت‌های صنعتی، عدم وجود چارچوب‌های قانونی جامع و پذیرش محدود مصرف‌کنندگان همچنان موانعی جدی در مسیر تجاری‌سازی این فرآیندها محسوب می‌شوند (۱۶، ۱۷). بنابراین، بررسی جامع چالش‌ها و فرصت‌های موجود در حوزه استفاده از پسماندهای صنایع تبدیلی و کشاورزی، ضرورتی انکارناپذیر برای پژوهشگران، فعالان صنعتی و سیاست‌گذاران به شمار می‌رود (۱۸).

این مقاله مروری با بهره‌گیری از آخرین شواهد علمی، به بررسی جامع چالش‌ها و فرصت‌های بهره‌برداری از پسماندهای صنایع تبدیلی و کشاورزی در چارچوب توسعه پایدار و اقتصاد چرخشی می‌پردازد. تمرکز اصلی مطالعه بر یکپارچه‌سازی سه محور کلیدی شامل ماهیت و پتانسیل ترکیبات زیست فعال موجود در پسماندها، فناوری‌های نوین و استخراج و فرآوری محصولات عملکردی و کاربردهای صنعتی در زنجیره غذا است. برخلاف مرورهای پیشین که عمدتاً بر یک دسته خاص از پسماندها، ترکیبات یا فناوری‌ها تمرکز داشته‌اند، مقاله حاضر با اتخاذ رویکردی کل‌نگر و بین‌رشته‌ای، مسیر تبدیل پسماند به محصول با ارزش افزوده را از منظر علمی، فناورانه و اجرایی مورد بررسی قرار می‌دهد. باید تأکید کرد که، این بررسی استفاده

مستقیم از ضایعات مواد غذایی برای مصرف انسان را تأیید یا پیشنهاد نمی‌کند. تمام کاربردهای مورد بحث به مسیرهای کنترل شده، فرآوری شده و استاندارد شده مانند تولید خوراک دام، مواد اولیه صنعتی، کمپوست یا سایر کاربردهای غیرمستقیم غذایی، با رعایت کامل مقررات ایمنی مواد غذایی و بهداشت عمومی، محدود می‌شوند. نوآوری این مطالعه در تلفیق تحلیل علمی با ارزیابی محدودیت‌های عملیاتی، زیرساختی و سیاستی و در شناسایی شکاف‌های مؤثر بر انتقال نتایج پژوهشی به مقیاس صنعتی نهفته است؛ رویکردی که می‌تواند مبنایی برای جهت‌دهی پژوهش‌های آینده و تدوین راهبردهای مبتنی بر شواهد در مدیریت پایدار پسماندهای کشاورزی و صنایع غذایی فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

این مقاله به‌صورت مرور روایتی (Narrative Review) و با هدف ارائه تصویری جامع از وضعیت پژوهش‌ها در حوزه استفاده از پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی در تولید محصولات عملکردی و زیست پایه انجام شد. برای این منظور، جستجوی هدفمند و ساختارمند منابع علمی معتبر در سال ۲۰۲۵ صورت گرفت.

جستجوی مقالات از طریق پایگاه‌های داده بین‌المللی شامل PubMed، Scopus، Web of Science و همچنین پایگاه اطلاعات علمی SID انجام شد. کلید واژه‌های جستجو شامل ترکیبی از واژگان تخصصی نظیر *Agricultural waste*، *Agricultural food waste*، *Industrial by-products*، *Bioactive compounds*، *Agricultural byproduct*، *Waste*، *Circular economy*، *Functional products* و *management* و معادل‌های فارسی آن‌ها متناسب با ساختار هر پایگاه به کار گرفته شدند.

انتخاب منابع با تمرکز بر مقالات مرتبط، معتبر و تأثیرگذار انجام شد. مقالات منتشر شده در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ که به بررسی ترکیبات زیست فعال موجود

هستند که پس از پالایش و رعایت الزامات ایمنی و بهداشتی، می‌توانند به‌عنوان ترکیبات عملکردی غیرمستقیم یا مواد اولیه صنعتی در زنجیره صنایع غذایی و وابسته مورد استفاده قرار گیرند (۱۹، ۲۰).

جدول شماره ۱: ترکیبات زیست فعال و خواص پسماندهای منتخب کشاورزی و صنایع تبدیلی

نوع پسماند	ترکیبات طبیعی موجود در آن	خواص	رفرنس ها
سیب (پوست، غاله)	پلی فنول‌ها، فلاونوئیدها، پکتین، اسید آسکوریک	فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد پادبی، محافظت کننده قلب، ضد تکرر سلولی، ضد پیری، بهبود سلامت روده و ضد التهابی	(۴۴)
انگور (غاله، هسته)	پلی فنول‌ها، رزوراترول، فلاونوئیدها، تانن‌ها، فیررژیمی	آنتی اکسیدانی قوی، ضد سرطانی، محافظت کننده قلبی-عروقی، ضد التهابی، ضد پیری و ضد میکروبی	(۴۵، ۲۲، ۲۱)
مرکبات (پوست، پالپ)	فلاونوئیدها، پکتین، اسید آسکوریک، کاروتنوئیدها، ترکیبات فوولی	آنتی اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد التهابی، تقویت سیستم ایمنی، سلامت دستگاه گوارش و کاهش خطر بیماری‌های مزمن	(۴۶)
سبوس و جوجه برنج	گاما-اوریزاترول، فیتواسترول‌ها، اسیدهای چرب ضروری، فول‌ها، توکوفرول‌ها	ضد دیابت، ضد چاقی، محافظت کننده عصبی، کاهش کلسترول، سلامت پوست و اثرات آنتی اکسیدانی	(۴۷-۴۹، ۲۴)
زیتون (غاله، برگ)	اولئوروپین، هیدروکسی تیروزول، توکوفرول‌ها، فیتواسترول‌ها	آنتی اکسیدانی، ضد التهابی، کاهش کلسترول خون و کاهش ریسک بیماری‌های قلبی-عروقی	(۵۱، ۵۰)
گوچه‌نگی (پوست، دانه)	لیکوپن، کاروتنوئیدها، فیرهای رژیمی، پروتئین‌ها، ترکیبات فوولی	آنتی اکسیدانی، ضد سرطانی، محافظت کننده قلبی-عروقی و ضد التهابی	(۵۲)
ضایعات صنایع لبنی (آب‌پنیر و باقی‌ماندها)	پروتئین‌ها، پپتیدهای زیست‌فعال، کلسیم، فسفر	آنتی اکسیدانی، ضد فشارخون، تعدیل کننده سیستم ایمنی، بهبود سلامت استخوان و گوارش	(۵۳)
ضایعات ماهی و آبیان	پروتئین‌ها، پپتیدهای زیست‌فعال، اسیدهای چرب امگا-۳، مواد معدنی	ضد التهابی، ضد سرطانی، ضد میکروبی، محافظت کننده قلبی-عروقی و عصبی، کاربرد در صنایع غذایی، دارویی و خوراکی دام	(۵۴)

به‌عنوان نمونه، پوست انگور و انار دارای پلی‌فنول‌های قوی با اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی هستند که کاربرد آن‌ها عمدتاً در قالب افزودنی‌های مجاز، مکمل‌ها یا مواد اولیه صنایع دارویی و غذایی فرآوری شده گزارش شده است (۲۱، ۲۲). هم‌چنین سبوس برنج و گندم سرشار از

در پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی، کاربردهای فناورانه آن‌ها در تولید غذا یا محصولات عملکردی، و نقش این رویکرد در چارچوب اقتصاد چرخشی پرداخته بودند، در اولویت قرار گرفتند. مقالات پژوهشی و مروری منتشر شده به زبان فارسی یا انگلیسی در ژورنال‌های علمی معتبر مورد استفاده قرار گرفتند.

منابع غیرمرتبط با موضوع، گزارش‌های غیرعلمی، مقالات فاقد متن کامل و مطالعات منتشر شده پیش از سال ۲۰۲۰ از دامنه این مرور خارج شدند. در نهایت، با تحلیل و تجمیع یافته‌های مطالعات منتخب، محتوای مقاله به‌صورت تحلیلی و توصیفی سازمان‌دهی شد و روندها، دستاوردها، چالش‌ها و خلأهای پژوهشی موجود در این حوزه مورد بحث قرار گرفت.

یافته‌ها

این مطالعه مروری، بر مقالات ۵ سال اخیر در این حوزه تمرکز دارد. پس از غربالگری مقالات و انتخاب ۹۲ مقاله مرتبط و منتخب در بازه زمانی سال‌های (۲۰۲۵-۲۰۲۰)، نتایج در چهار محور اصلی دسته‌بندی شدند. لازم به ذکر است که، بر اساس جستجوی انجام شده، مرور جامع و به‌روز دیگری که به‌طور مشخص و یکپارچه به این موضوع در این بازه زمانی پرداخته باشد، شناسایی نگردید.

ترکیبات ارزشمند موجود در پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی

پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی شامل بقایای میوه‌ها، سبزیجات، غلات، پوست، دانه و ضایعات فرآوری هستند که در صورت جمع‌آوری، فرآوری و مدیریت کنترل شده، حاوی مقادیر قابل توجهی ترکیبات زیست فعال می‌باشند (جدول شماره ۱).

مطالعات نشان داده‌اند که این پسماندها غنی از فیرهای رژیمی، آنتی‌اکسیدان‌ها، پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب ضروری

فیبرهای نامحلول و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی نظیر ۷ اوریزانول و توکوفرول‌ها می‌باشند که به‌طور گسترده در تولید خوراک دام فرآوری شده، مکمل‌ها و ترکیبات عملکردی صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۳، ۲۴). پسماندهای مرکبات (پوست و هسته) حاوی پکتین، لیمونن و فلاونوئیدهایی نظیر هسپریدین هستند که می‌توانند پس از استخراج و خالص‌سازی، به‌عنوان پایدارکننده‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در صنایع غذایی، دارویی و بسته‌بندی به کار روند (۲۵، ۲۶). پروتئین هیدرولیز شده حاصل از هسته پرتقال پس از انجام فرآیندهای آنزیمی و کنترل کیفی می‌تواند در فرمولاسیون محصولات غذایی فرآوری شده، مکمل‌ها و فرآورده‌های دارویی به‌عنوان افزودنی طبیعی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار گیرد (۲۷، ۲۸). بقایای سبزیجات و حبوبات نیز منابع پروتئین‌های گیاهی و پپتیدهای زیست فعال با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی هستند که عمدتاً در تولید ترکیبات عملکردی صنعتی، خوراک دام و افزودنی‌های زیست پایه کاربرد دارند (۲۹، ۳۰).

این ترکیبات نه تنها ارزش غذایی دارند بلکه در صورت استفاده کنترل شده و استاندارد محور خواص عملکردی و درمانی نیز ارائه می‌دهند (۸، ۳۱). در ادامه به نقش و اهمیت چند نمونه از این ترکیبات عملکردی در حفظ و ارتقای سلامت پرداخته شد.

- فیبرهای رژیمی: فیبرهای رژیمی موجود در تفاله میوه‌ها (حاصل از کاربردهای صنعتی و جمع آوری در شرایط مناسب بهداشتی)، سبوس غلات و پوست سبزیجات، پس از فرآوری مناسب، می‌توانند سلامت دستگاه گوارش را بهبود بخشیده و نقش مؤثری در کاهش ریسک بیماری‌های متابولیک، دیابت و چاقی ایفا کنند (۳۲، ۳۳).

- پروتئین‌ها و پپتیدهای زیست فعال: پسماندهای دامی و برخی ضایعات گیاهی حاوی پروتئین‌ها و پپتیدهای زیست فعال هستند که خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و تقویت سیستم ایمنی دارند. این ترکیبات پس از استخراج

و پالایش، می‌توانند به‌عنوان افزودنی‌های عملکردی در محصولات غذایی فرآوری شده، مکمل‌ها یا خوراک دام مورد استفاده قرار گیرند (۳۶-۳۴).

- ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها: پسماندهای میوه و سبزیجات سرشار از پلی‌فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها هستند که با کاهش استرس اکسیداتیو، پیشگیری از بیماری‌های قلبی و سرطان و بهبود سلامت عمومی مرتبط می‌باشند. کاربرد این ترکیبات عمدتاً در قالب افزودنی‌های طبیعی، مکمل‌ها و ترکیبات زیست پایه صنعتی گزارش شده است (۳۹-۳۷).

- رنگدانه‌های طبیعی: یکی از مهم‌ترین پارامترهای محصولات غذایی، رنگ است. این پارامتر، میزان پذیرش یا رد آن توسط مصرف‌کنندگان را تعیین می‌کند. رنگ‌های مصنوعی با حلقه‌های آروماتیک و گروه‌های عاملی آزو معمولاً توسط صنایع غذایی استفاده می‌شوند. با این وجود، این رنگ‌ها با عوارض جانبی سلامتی مانند واکنش‌های آلرژیک، آسم و سرطان مرتبط هستند. پوست و تفاله میوه‌ها، سبزیجات و محصولات باغی منبع کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها هستند که پس از استخراج و کنترل کیفی، می‌توانند به‌عنوان رنگ‌های طبیعی و ایمن در صنایع غذایی و نوشیدنی جایگزین رنگ‌های مصنوعی شوند (۴۰، ۴۱).

- مواد معدنی و ویتامین‌ها: پسماندهای گیاهی و دامی علاوه بر ترکیبات آلی، حاوی مواد معدنی نظیر کلسیم، پتاسیم، منیزیم و ویتامین‌های محلول در آب و چربی هستند که پس از فرآوری و استانداردسازی می‌توانند در تولید تولید مکمل‌های تغذیه‌ای، خوراک دام و محصولات زیست پایه صنعتی مورد استفاده قرار گیرند (۴۲، ۴۳).

فناوری‌ها و روش‌های نوین بازیافت و تبدیل پسماندها

با توجه به چالش‌های زیست محیطی ناشی از دفع پسماندها، فناوری‌های نوین متعددی برای بازیافت و تبدیل آن‌ها توسعه یافته است (۴۳، ۵۵، ۵۶). روش‌های زیستی شامل تخمیر در بستر جامد، هضم بی‌هوازی و استفاده از قارچ‌ها

و باکتری‌ها برای تبدیل ضایعات به ترکیبات با ارزش افزوده است (۵۷، ۵۸). باکتری‌ها و قارچ‌هایی مانند *باسیلیوس سوبتیلیس*، *ریزوپوس الیگوسپوروس* یا *فوزاریوم فلوسیفروم* ممکن است برای تولید کارآمد عصاره‌های پروتئینی با ارزش بیولوژیکی بالا مورد استفاده قرار گیرند و طیف گسترده‌ای از کربوهیدرات‌ها و گلیکوزیدهای عملکردی با استفاده از گونه‌های *آسپرژیلوس*، *یاروویا* و *تریکودرما* تولید شده‌اند. الگوهای تخمیری خلاصه شده ممکن است تولید مواد اولیه کاربردی برای فرمولاسیون جدید مواد غذایی و توسعه فرآورده‌های زیستی کم‌هزینه را هدایت کنند که منجر به گذار به سمت یک مدل اقتصاد زیستی می‌شود (۴۱). همچنین فناوری‌های سبز نظیر استخراج با سیالات فوق بحرانی (supercritical fluids)، مایکروویو و فراصوت (ultrasound-assisted extraction) توانسته‌اند بازده استخراج ترکیبات زیست‌فعال را افزایش دهند (۱۳، ۵۳، ۶۱-۵۹). روش‌های نانوفناوری نیز در بهبود پایداری و قابلیت زیست دسترسی ترکیبات استخراج شده نقش بسزایی دارند. به عنوان مثال، نانو کپسوله کردن پلی‌فنول‌ها و کاروتنوئیدهای حاصل از پسماندها موجب افزایش پایداری حرارتی و قابلیت رهایش کنترل شده آن‌ها در مواد غذایی می‌شود (۶۲، ۶۳). همچنین تولید بیوپلاستیک‌ها، پری‌بیوتیک‌ها، آنزیم‌ها و بیوسورفکتانت‌ها از پسماندها از دیگر کاربردهای فناوری‌های نوین است (۶۶-۶۴). در جدول شماره ۲، مهم‌ترین روش‌ها و فناوری‌هایی که برای بهره‌برداری از پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی، توسعه یافته‌اند تا ترکیبات ارزشمند را استخراج کرده و به محصولات غذایی و عملکردی تبدیل کنند خلاصه شده است.

نمونه‌های موفق جهانی و ملی در زمینه استفاده از پسماندهای کشاورزی در صنایع غذایی

رشد جمعیت جهانی و تغییر ترجیحات غذایی و افزایش تقاضا در حوزه تولیدات کشاورزی، فشار فزاینده‌ای را بر بخش کشاورزی و صنایع غذایی وارد

کرده است. این رشد تولید نه تنها منجر به افزایش تولید مواد خام می‌شود، بلکه حجم پسماند ناشی از مراحل تولید، فرآوری و مصرف غذا را نیز افزایش می‌دهد (۷۶).

جدول شماره ۲: مهم‌ترین روش‌ها و فناوری‌های موجود جهت

استخراج پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی

روش استخراج ترکیبات	مزایا و ویژگی‌ها	منابع
روش استخراج سبز، استفاده از حلال‌های نظیر Natural Deep Eutectic Solvents (NADES)	امکان استخراج ترکیبات زیست‌فعال بدون ایجاد آلاینده‌ی، بازده و پایداری بیش‌تر در بازایی پلی‌فنول‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها	(۱۳، ۵۰، ۶۸، ۶۷)
و دی‌اکسیدکربن فوق بحرانی	جایگزین‌هایی برای حلال‌های آلی سمی	(۱۵، ۳۳)
استخراج با کمک اوترا سوند، استخراج مایکروویو و استخراج با فشار بالا	افزایش بازده استخراج ترکیبات زیست‌فعال	
نانوفناوری و زیست‌فناوری	کپسول‌سازی ترکیبات زیست‌فعال و افزایش پایداری آن‌ها در محصولات غذایی، افزایش امکان زیست دسترسی پذیری ترکیبات زیست‌فعال و کاربرد در تولید مکمل‌ها و مواد عملکردی	(۷۱-۶۹)
تخمیر میکروبی	تبدیل ضایعات کشاورزی به پپتیدهای زیست‌فعال، پروبیوتیک‌ها و آنزیم‌های ارزشمند، بهبود ویژگی‌های ایمنی و هضم پذیری	(۴۱، ۷۲، ۷۳)
بیوکلوژن با حرارت (مانند <i>Hermatia illucens</i>)	مدیریت زباله با مصرف زباله‌های آلی و کاهش انتشار گاز متان، تأمین خوراک پایدار، لاروهای این حشره سرشار از پروتئین بوده و به عنوان خوراک دام، طیور و آرایان استفاده می‌شوند و عدم انتقال بیماری	(۷۴، ۷۵)

با توجه به محدودیت تغییرات زمین‌های زراعی، مدیریت بهینه منابع آب و مواد مغذی و بهره‌گیری از نوآوری‌ها در زمینه بازیابی و ارزش افزوده پسماندها، به عنوان یک ضرورت مطرح است. مدل‌های کشاورزی چرخشی و مدور شامل بازیابی مواد مغذی از پسماندها، تولید کودهای آلی، تولید بیوگاز و فرآوری صنعتی برای ارزش افزایی پسماندها، نمونه‌هایی موفق در سطح جهانی محسوب می‌شوند. این رویکردها می‌توانند شکاف بین ظرفیت بالقوه تولید و عملکرد واقعی را کاهش داده و همزمان اثرات زیست محیطی را محدود کنند (۷۹-۷۷).

کشورهای مختلف با اجرای پروژه‌های متنوع، نمونه‌های موفق از استفاده صنعتی و ایمن پسماندهای کشاورزی ارائه کرده‌اند. در ایتالیا، ضایعات زیتون برای تولید آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و افزودنی‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (۳۸، ۵۱، ۸۰). در اسپانیا، تفاله گوجه فرنگی به عنوان منبع ترکیبات فنلی و

کاروتنوئیدها، از جمله لیکوپن، در صنایع غذایی کاربرد دارد (۸۱). در هند و چین، بقایای برنج و گندم برای تولید پروتئین گیاهی و فیبرهای غذایی به کار رفته است (۸۴-۸۲). در ایران نیز پروژه‌هایی برای استفاده از سبوس برنج، پوست پسته و ضایعات مرکبات در تولید افزودنی‌های طبیعی و غنی‌سازی محصولات غذایی در حال اجرا است (۲۷، ۷۸، ۸۵). این نمونه‌ها نشان می‌دهد که بهره‌برداری ایمن و صنعتی از پسماندهای کشاورزی نه تنها به کاهش آلودگی محیط زیست کمک می‌کند، بلکه ارزش اقتصادی قابل توجهی نیز ایجاد می‌نماید و می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر در توسعه پایدار صنایع غذایی مطرح شود.

چالش‌ها و فرصت‌ها در استفاده از پسماندهای کشاورزی در صنایع غذایی

اگر چه زباله‌های غذایی یکی از چالش برانگیزترین مسائل اقتصادی و زیست محیطی قرن بیست و یکم را نشان می‌دهند، اما طیف وسیعی از منابع ارزشمند را نیز فراهم می‌کنند. لذا مدیریت پسماندهای کشاورزی از ضروری‌ترین مسائلی است که دستگاه‌های اجرای هر کشور بایستی به آن اهتمام بورزند (۸۶). در کشور ایران سالیانه میلیون‌ها دلار هزینه صرف واردات مواد اولیه صنایع تبدیلی مانند اسانس‌ها، رنگ‌ها، مواد قوام دهنده و سایر صنایع می‌شود. این درحالی است که هر ساله از منابع تولید این مواد در کشور به هدر می‌رود (۷۸). سازمان بهداشت جهانی پسماندهای صنایع غذایی را زیان‌بارترین منابع آلاینده محیط زیست برشمرده است. در بخش صنایع غذایی، تولید رنگ طبیعی، لیکوپن و پکتین از ضایعات کارخانجات رب گوجه فرنگی، تولید فیبر غذایی، تولید شیرخشک، بیسکویت، نوشابه و غیره از پسماندهای کارخانجات لبنی، تولید قند رژیمی از ضایعات خرما و مواد مشابه، پس از استخراج، کنترل کیفیت و استانداردسازی، کاربردهایی با ارزش افزوده دارد. هم‌چنین در صنایع دیگر نظیر تولید خوراک دام و

کمپوست از ضایعات کارخانجات غلات، از مهم‌ترین موارد قابل ذکر جهت بهینه‌سازی و مدیریت پسماند می‌باشد. با توجه به موارد فوق که گفته شد، به خوبی می‌توان دریافت که مدیریت پسماند یکی از شیوه‌های ایجاد تعامل بین صنعت و محیط زیست می‌باشد (۱۲، ۳۵، ۸۷).

چالش‌های اصلی در تولید ترکیبات غذایی از پسماندها علی‌رغم پتانسیل بالای پسماندها، موانع متعددی در مسیر تجاری‌سازی وجود دارد. از جمله این چالش‌ها می‌توان به تنوع بالای ترکیب شیمیایی پسماندها، مشکلات در استاندارد سازی، هزینه‌های بالای استخراج و فرآوری، نگرانی‌های ایمنی و پذیرش مصرف‌کنندگان اشاره کرد (۱۸، ۷۹، ۸۸). نبود زیرساخت‌های مناسب برای جمع‌آوری، تفکیک و ذخیره‌سازی پسماندها نیز مانع جدی محسوب می‌شود (۷۹، ۸۷). از نظر قانونی و مقرراتی نیز، در بسیاری از کشورها چارچوب‌های مدونی برای استفاده از پسماندها در صنایع غذایی وجود ندارد یا ناکافی است. در نتیجه، تولیدکنندگان با عدم قطعیت‌های نظارتی مواجه هستند (۸۹، ۹۰). علاوه بر این، چالش‌های مربوط به زنجیره تأمین و نیاز به فناوری‌های نوین با هزینه مناسب از دیگر موانع مهم به شمار می‌روند (۸۶).

فرصت‌های صنعتی و آینده‌پژوهی

ترکیبات زیست فعال فراوان در پسماندهای کشاورزی به عنوان ماده اولیه در صنایع برای تولید کالاهای مختلف مانند بیوگاز، سوخت زیستی، متابولیت‌های ثانویه و محصولات با ارزش افزوده استفاده می‌شوند. استفاده از ضایعات کشاورزی-صنعتی می‌تواند هزینه‌های تولید و همچنین آلودگی محیط زیست را کاهش دهد (۸۹). سوخت‌های زیستی، آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها، خوراک دام، آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر ترکیبات از ضایعات کشاورزی-صنعتی ساخته می‌شوند. بسیار مهم است که به «زباله» به

عنوان یک «منبع» گرانها فکر گردد که می‌تواند به طیف وسیعی از اقلام مفید تبدیل شود. این فرآیند تبدیل زباله به محصولی که قابلیت استفاده در صنایع مختلف را دارد، می‌تواند یک فعالیت مولد ثروت در نظر گرفته شود (۹۱). رویکرد اقتصاد چرخشی (circular economy) در صنایع غذایی به کاهش ضایعات، افزایش بهره‌وری منابع و ایجاد ارزش افزوده کمک می‌کند (۸۴). افزایش آگاهی زیست محیطی و تبدیل آن به سود بالقوه، منبع اصلی بحث در سراسر جهان برای یک اقتصاد زیستی چرخشی (Circular bioeconomy) و پتانسیلی برای فراهم کردن فرصت‌های کارآفرینی می‌باشد (۳۵، ۹۲).

پیشنهادهای سیاستی

برای تسهیل و تسریع در استفاده از پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی در صنایع غذایی، لازم است مجموعه‌ای از سیاست‌های کلان، اجرایی و حمایتی در سطح ملی تدوین و اجرا شود. محورهای اصلی این سیاست‌ها می‌تواند شامل موارد زیر باشد.

۱- تدوین و به‌روزرسانی مقررات و استانداردها

- ایجاد چارچوب‌های قانونی شفاف برای جمع‌آوری، فرآوری و استفاده ایمن از پسماندهای کشاورزی در زنجیره تولید مواد غذایی
- بازنگری و به‌روزرسانی استانداردهای ملی در زمینه کیفیت، سلامت و برجسب گذاری محصولات حاصل از بازیافت یا فرآوری پسماند
- تدوین دستورالعمل‌های نظارتی مشترک میان وزارت بهداشت، وزارت جهاد کشاورزی، اداره کل استاندارد و سازمان حفاظت محیط‌زیست برای ارزیابی ایمنی این محصولات پیش از ورود به بازار

۲- حمایت‌های مالی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری

- طراحی مشوق‌های مالی (یارانه، معافیت مالیاتی، تسهیلات کم‌بهره) برای واحدهای نوآور و صنایع

کوچک و متوسط فعال در زمینه بازیافت پسماندهای کشاورزی

- جذب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی از طریق طرح‌های مشارکتی برای توسعه فناوری‌های بومی فرآوری پسماند

- حمایت از ایجاد بازارهای تخصصی برای فروش و صادرات محصولات حاصل از پسماند، از جمله کودهای زیستی، افزودنی‌های غذایی طبیعی و محصولات عملکردی

۳- توسعه فناوری، نوآوری و پژوهش‌های کاربردی

- تقویت همکاری بین مراکز تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و صنعت برای توسعه فناوری‌های سبز و ارزان در فرآوری پسماند

- حمایت از ایده‌های فناورانه در زمینه استفاده از پسماند در صنایع غذایی

- انتقال فناوری‌های موفق بین‌المللی به صنایع داخلی با بومی‌سازی و کاهش هزینه تولید

۴- آموزش، اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی

- ارتقای سطح آگاهی عمومی و اعتماد مصرف‌کنندگان نسبت به ایمنی و ارزش تغذیه‌ای محصولات حاصل از پسماندهای فرآوری شده
- طراحی برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان و تولیدکنندگان با هدف جداسازی اصولی پسماندها و کاهش آلودگی اولیه

- استفاده از رسانه‌های ملی و شبکه‌های اجتماعی برای ترویج الگوی «تولید بدون ضایعات» و معرفی نمونه‌های موفق داخلی

۵- زنجیره تأمین، زیرساخت و مدیریت یکپارچه

- ایجاد شبکه‌های کارآمد برای جمع‌آوری، جداسازی، انتقال و فرآوری پسماندهای کشاورزی با محوریت بخش خصوصی و تعاونی‌ها

- توسعه زیرساخت‌های ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و تبدیل پسماند با هدف کاهش تلفات مواد خام و افزایش ارزش افزوده

- ایجاد بانک اطلاعاتی ملی از انواع پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی جهت برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت بهینه

۶- ادغام سیاست‌های اقتصاد چرخشی و توسعه پایدار - گنجاندن موضوع «مدیریت پسماندهای کشاورزی در صنایع غذایی» در اسناد ملی اقتصاد سبز، امنیت غذایی و کاهش ضایعات

- الگوبرداری از تجارب کشورهای موفق (مانند هلند، دانمارک و ژاپن) در طراحی مدل‌های بومی کشاورزی مدور و صنایع غذایی پایدار

- تقویت همکاری‌های بین‌وزارتی برای تدوین برنامه‌های جامع، با محوریت معاونت غذا و دارو به‌عنوان نهاد ناظر بر سلامت عمومی

بحث

مطالعه‌ی مروری حاضر نشان داد که پسماندهای کشاورزی و صنایع تبدیلی منابع ارزشمندی از ترکیبات

زیست فعال، فیبرهای رژیمی، پروتئین‌ها و مواد معدنی هستند که می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه در تولید غذاهای عملکردی، مکمل‌های تغذیه‌ای و بسته‌بندی‌های زیست تخریب‌پذیر مورد استفاده قرار گیرند. فناوری‌های نوین استخراج، نانوفناوری و بیوکانورژن با حشرات و تخمیر میکروبی، امکان بهبود کیفیت و بهره‌وری بیش‌تر در فرآوری این پسماندها را فراهم ساخته‌اند. با وجود این فرصت‌ها، چالش‌هایی نظیر هزینه بالای فناوری، محدودیت زیرساخت‌ها، عدم پذیرش مصرف‌کننده و نبود چارچوب‌های قانونی مناسب، همچنان مانع توسعه گسترده صنعتی هستند. بنابراین، ترکیبی از سیاست‌های قانونی، حمایت‌های مالی و پژوهشی، توسعه فناوری‌های مقرون‌به‌صرفه و آموزش مصرف‌کننده، برای موفقیت این حوزه ضروری است. ادغام این رویکردها در چارچوب اقتصاد چرخشی، علاوه بر ایجاد ارزش اقتصادی و تولید فرصت‌های شغلی جدید، می‌تواند اثرات زیست محیطی مثبتی نیز داشته باشد و به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک کند. این مطالعه مروری می‌تواند به محققان، سیاست‌گذاران و صنعتگران مسیر روشنی برای توسعه علمی و صنعتی استفاده از پسماندهای کشاورزی ارائه دهد.

References

1. Khan MN, Sial TA, Ali A, Wahid F. Impact of agricultural wastes on environment and possible management strategies. In: Ahamad A, Singh P, Tiwari S, editors. Sustainable waste management. Singapore: Springer; 2024. p. 79-108.
2. Kolawole AS, Iyiola AO. Environmental pollution: threats, impact on biodiversity, and protection strategies. In: Kumar V, Yadav MK, Sehgal RK, editors. Environmental management. Singapore: Springer; 2023. p. 377-409.
3. Zahoor I, Mushtaq A. Water pollution from agricultural activities: a critical global review. Int J Chem Biochem Sci 2023; 23(1):164-176.
4. Coates D, McInnes RJ, Davidson NC. Linkages between inland fisheries and international instruments-opportunities for engagement. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2021.
5. Mekouar MA. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

- Yearb Int Environ Law 2021; 32(1):298-304.
6. Ahmad T, Esposito F, Cirillo T. Valorization of agro-food by-products: advancing sustainability and sustainable development goals 2030 through functional compounds recovery. Food Biosci 2024; 62:105194.
 7. Oztuna Taner O. Sustainable food and agriculture production: reducing food waste through technological advancements and assessing its economic impact. Res World Agric Econ 2024;5(3):144-165.
 8. Enciso-Martínez Y, Zúñiga-Martínez BS, Ayala-Zavala JF, Domínguez-Avila JA, González-Aguilar GA, Viuda-Martos M. Agro-industrial by-products of plant origin: therapeutic uses as well as antimicrobial and antioxidant activity. Biomolecules 2024; 14(7):788. PMID: 39024992.
 9. Nath PC, Ojha A, Debnath S, Sharma M, Nayak PK, Sridhar K, et al. Valorization of food waste as animal feed: a step towards sustainable food waste management and circular bioeconomy. Animals 2023; 13(8): 1366. PMID: 37106924.
 10. Ambaye TG, Rene ER, Nizami AS, Dupont C, Vaccari M, van Hullebusch ED. Beneficial role of biochar addition on the anaerobic digestion of food waste: a systematic and critical review of the operational parameters and mechanisms. J Environ Manage 2021; 290: 112537. PMID: 33864963.
 11. Singh PK, Mohanty P, Mishra S, Adhya TK. Food waste valorisation for biogas-based bioenergy production in circular bioeconomy: opportunities, challenges, and future developments. Front Energy Res 2022;10:903775.
 12. Capanoglu E, Nemli E, Tomas-Barberan F. Novel approaches in the valorization of agricultural wastes and their applications. J Agric Food Chem 2022;70(23):6787-6804. PMID: 35653723.
 13. Carpentieri S, Soltanipour F, Ferrari G, Pataro G, Donsì F. Emerging green techniques for the extraction of antioxidants from agri-food by-products as promising ingredients for the food industry. Antioxidants 2021;10(9):1417. PMID: 34573059.
 14. Roselli V, Pugliese G, Leuci R, Brunetti L, Gambacorta L, Tufarelli V, et al. Green methods to recover bioactive compounds from food industry waste: a sustainable practice from the perspective of the circular economy. Molecules 2024; 29(11):2469. PMID: 38893354.
 15. Usman I, Hussain M, Imran A, Afzaal M, Saeed F, Javed M, et al. Traditional and innovative approaches for the extraction of bioactive compounds. Int J Food Prop 2022; 25(1):1215-1233.
 16. Siddiqui SA, Alvi T, Sameen A, Khan S, Blinov AV, Nagdalian AA, et al. Consumer acceptance of alternative proteins: a systematic review of current alternative protein sources and interventions adapted to increase their acceptability. Sustainability 2022; 14(22):15344.
 17. Rumpold BA, Langen N. Consumer acceptance of edible insects in an organic waste-based bioeconomy. Curr Opin Green Sustain Chem 2020;23:80-84.
 18. Roy P, Mohanty AK, Dick P, Misra M. A review on the challenges and choices for food waste valorization: environmental and economic impacts. ACS Environ Au 2023;3(2):58-75.

19. Heydari M. Cultivating sustainable global food supply chains: a multifaceted approach to mitigating food loss and waste for climate resilience. *J Clean Prod* 2024; 442:141116.
20. Fabi C, Cachia F, Conforti P, English A, Rosero Moncayo J. Improving data on food losses and waste: from theory to practice. *Food Policy* 2021;98:101934.
21. Costa MM, Alfaia CM, Lopes PA, Pestana JM, Prates JAM. Grape by-products as feedstuff for pig and poultry production. *Animals* 2022; 12(17):2169. PMID: 36077823.
22. Alfaia CM, Costa MM, Lopes PA, Pestana JM, Prates JAM. Use of grape by-products to enhance meat quality and nutritional value in monogastrics. *Foods* 2022; 11(18): 2753. PMID: 36140917.
23. Tan BL, Norhaizan ME, Chan LC. Rice bran: from waste to nutritious food ingredients. *Nutrients* 2023; 15(11): 2503. PMID: 37299471.
24. Wang N, Cui X, Duan Y, Yang S, Wang P, Saleh ASM, et al. Potential health benefits and food applications of rice bran protein: research advances and challenges. *Food Rev Int* 2023;39(6):3578-3601.
25. Batool M, Batool Z, Swale M, Yousafi Q, Ishtiaq A, Fatima H, et al. Valorization of citrus processing waste towards sustainability. In: Qamar SA, Rehman A, editors. *Valorization of citrus food waste*. Singapore: Springer; 2025. p. 287-304.
26. Suri S, Singh A, Nema PK. Recent advances in valorization of citrus fruits processing waste: a way forward towards environmental sustainability. *Food Sci Biotechnol* 2021; 30(13):1601-1626. PMID: 34925934.
27. Mazloomi SN, Mahoonak AS, Mora L, Ghorbani M, Houshmand G, Toldrá F. Pepsin hydrolysis of orange by-products for the production of bioactive peptides with gastrointestinal resistant properties. *Foods* 2021;10(3):503. PMID: 33668827.
28. Mazloomi SN, Mora L, Aristoy MC, Mahoonak AS, Ghorbani M, Houshmand G, et al. Impact of simulated gastrointestinal digestion on the biological activity of an alcalase hydrolysate of orange seed (Siavaraze, *Citrus sinensis*) by-products. *Foods* 2020; 9(9):1296. PMID: 32942762.
29. Goldstein N, Reifen R. The potential of legume-derived proteins in the food industry. *Grain Oil Sci Technol* 2022; 5(4):167-178.
30. Mani-López E, Palou E, López-Malo A. Legume proteins, peptides, water extracts, and crude protein extracts as antifungals for food applications. *Trends Food Sci Technol* 2021;112:16-24.
31. Mazloomi SN, Sadeghi-Mahoonak A, Ranjbar-Nedamani E, Nourmohammadi E. Production of antioxidant peptides through hydrolysis of paper skin pumpkin seed protein using pepsin enzyme and the evaluation of their functional and nutritional properties. *ARYA Atheroscler* 2019; 15(5):218-227.
32. He C, Sampers I, Raes K. Dietary fiber concentrates recovered from agro-industrial by-products: functional properties and application as physical carriers for probiotics. *Food Hydrocoll* 2021;111:106175.
33. Sang J, Li L, Wen J, Gu Q, Wu J, Yu Y, et al. Evaluation of the structural, physicochemical and functional properties

- of dietary fiber extracted from newhall navel orange by-products. *Foods* 2021; 10(11):2779. PMID: 34829072.
34. Saha SP, Mazumdar D, Roy S, Mathur P, editors. *Agro-waste to microbe assisted value added product: challenges and future prospects*. Singapore: Springer; 2024.
 35. Ahsan SM, Choi HW, Injamum-Ul-Hoque M, Mezanur Rahman M, Hritik TH, Mahamud AGMSU, et al. Valorization of agro-food wastes and byproducts into bioactive peptides. In: Saha SP, Mazumdar D, Roy S, Mathur P, editors. *Agro-waste to microbe assisted value added product*. Cham: Springer; 2024. p. 61-92.
 36. Gudapati G, Sridevi V, Varma JV, Hamzah HT. Value-added end products from agriculture residues through biological route and end products applications. In: Sharma D, editor. *Agricultural waste to value-added products: bioproducts and its applications*. Boca Raton: CRC Press; 2024. p. 27-53.
 37. de la Luz Cádiz-Gurrea M, Fernández-Ochoa Á, del Carmen Villegas-Aguilar M, Arráez-Román D, Segura-Carretero A. Therapeutic targets for phenolic compounds from agro-industrial by-products against obesity. *Curr Med Chem* 2022; 29(6):1083-1098. PMID: 34551694.
 38. Abbasi-Parizad P, Scarafoni A, Pilu R, Scaglia B, De Nisi P, Adani F. The recovery from agro-industrial wastes provides different profiles of anti-inflammatory polyphenols for tailored applications. *Front Sustain Food Syst* 2022;6:996562.
 39. Abbasi-Parizad P, De Nisi P, Scaglia B, Scarafoni A, Pilu S, Adani F. Recovery of phenolic compounds from agro-industrial by-products: evaluating antiradical activities and immunomodulatory properties. *Food Bioprod Process* 2021;127:338-348.
 40. Sánchez-Vega R, Chávez-Martínez A, Rentería-Monterrubio AL, Bolivar-Jacobo NA, Carta-Prieto CA, Rodríguez-Roque MJ. Agro-industrial waste as a source of natural pigments. In: Bharagava RN, editor. *Environmental health engineering for effective remediation*. Boca Raton: CRC Press; 2025. p. 121-138.
 41. Kaur P, Singh S, Ghoshal G, Ramamurthy PC, Parihar P, Singh J, et al. Valorization of agri-food industry waste for the production of microbial pigments: an eco-friendly approach. In: Yadav AN, Rastegari AA, Yadav N, editors. *Advances in agricultural and industrial microbiology*. Volume 1. Singapore: Springer; 2022. p. 137-167.
 42. López-Maldonado EA, Solangi AR, Granados-Chinchilla F. *Nanobiotechnology for sustainable food management*. Boca Raton: CRC Press; 2024.
 43. Abonyi MN, Aniagor CO, Obi CC, Nwadike EC. Post-harvest management of food crops and agro-waste utilization in a developing economy: a review. In: López-Maldonado EA, Solangi AR, Granados-Chinchilla F, editors. *Nanobiotechnology for sustainable food management*. Boca Raton: CRC Press; 2024. p. 163-187.
 44. Asma U, Morozova K, Ferrentino G, Scampicchio M. Apples and apple by-products: antioxidant properties and food applications. *Antioxidants* 2023; 12(7): 1456. PMID: 37507982.

45. Lopes JC, Madureira J, Margaça FMA, Cabo Verde S. Grape pomace: a review of its bioactive phenolic compounds, health benefits, and applications. *Molecules* 2025;30(2):469. PMID: 39905044.
46. Teshome E, Teka TA, Nandasiri R, Rout JR, Harouna DV, Astatkie T, et al. Fruit by-products and their industrial applications for nutritional benefits and health promotion: a comprehensive review. *Sustainability* 2023;15(10):7840.
47. Fărcaș AC, Socaci SA, Nemeș SA, Pop OL, Coldea TE, Fogarasi M, et al. An update regarding the bioactive compound of cereal by-products: health benefits and potential applications. *Nutrients* 2022;14(17):3470. PMID: 36079740.
48. Chauhan DK, Sharma N. Formulation and biological activity of rice bran oil: a review article. *Asian J Pharm Pharmacol* 2024;10(3):71-77.
49. Liu Z, Liu X, Ma Z, Guan T. Phytosterols in rice bran and their health benefits. *Front Nutr* 2023; 10:1287406. PMID: 37964929.
50. Poudel P, Petropoulos SA, Di Gioia F. Plant tocopherols and phytosterols and their bioactive properties. In: Kour J, Sharma K, Sharma YP, editors. *Natural secondary metabolites from nature, through science to industry*. Cham: Springer; 2023. p. 285-319.
51. Soares TF, Alves RC, Oliveira MBPP. From olive oil production to by-products: emergent technologies to extract bioactive compounds. *Food Rev Int* 2024; 40(10): 3342-3369.
52. Ouattmani T, Haddadi-Guemghar H, Hadjal S, Boulekbache-Makhlouf L, Madani K. Tomato by-products. In: Singh J, Rasane P, Kaur S, editors. *Nutraceuticals from agri-food by-products*. Hoboken: Wiley; 2023. p. 137-171.
53. Murtaza MA, Irfan S, Hafiz I, Ranjha MMAN, Rahaman A, Murtaza MS, et al. Conventional and novel technologies in the production of dairy bioactive peptides. *Front Nutr* 2022; 9:891489. PMID: 35600809.
54. Zaky AA, Simal-Gandara J, Eun JB, Shim JH, Abd El-Aty AM. Bioactivities, applications, safety, and health benefits of bioactive peptides from food and by-products: a review. *Front Nutr* 2022; 9:815640. PMID: 35047541.
55. Arpit Singh T, Sharma M, Sharma M, Dutt Sharma G, Kumar Passari A, Bhasin S. Valorization of agro-industrial residues for production of commercial biorefinery products. *Fuel* 2022;322:124284.
56. De Barros AN, Gouvêas I. Innovation in the food sector through the valorization of food and agro-food by-products. Basel: MDPI; 2021.
57. Silvestri B, Facchini F, Digiesi S, Ranieri L. A sustainable management model to reduce food loss and waste in agro-processing industries. *Int J Food Eng* 2024;20(7):281-293.
58. Gaffey J, Rajauria G, McMahon H, Ravindran R, Dominguez C, Ambye-Jensen M, et al. Green biorefinery systems for the production of climate-smart sustainable products from grasses, legumes and green crop residues. *Biotechnol Adv* 2023;66:108168. PMID: 37247794.
59. Villacís-Chiriboga J, Vera E, Van Camp J, Ruales J, Elst K. Valorization of byproducts from tropical fruits: a review, Part 2: applications, economic, and environmental aspects of biorefinery via

- supercritical fluid extraction. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2021;20(3):2305-2331. PMID: 33793013.
60. Numa V, Crampon C, Bellon A, Mouahid A, Badens E. Valorization of food side streams by supercritical fluid extraction of compounds of interest from apple pomace. *J Supercrit Fluids* 2023;202:106042.
 61. Mehta N, Kumar J, Kumar P, Verma AK, Umaraw P, Khatkar SK, et al. Ultrasound-assisted extraction and encapsulation of bioactive components for food applications. *Foods* 2022; 11(19):2973. PMID: 36230058.
 62. Rossi YE, Vanden Braber NL, Díaz Vergara LI, Montenegro MA. Bioactive ingredients obtained from agro-industrial byproducts: recent advances and innovation in micro- and nanoencapsulation. *J Agric Food Chem* 2021; 69(50): 15066-15075. PMID: 34894645.
 63. Oliveira D, Angonese M, Ferreira SRS, Gomes CL. Nanoencapsulation of passion fruit by-products extracts for enhanced antimicrobial activity. *Food Bioprod Process* 2017; 104:137-146.
 64. Chan JX, Wong JF, Hassan A, Zakaria Z. Bioplastics from agricultural waste. In: Mavinkere Rangappa S, Parameswaranpillai J, Siengchin S, editors. *Biopolymers and biocomposites from agro-waste for packaging applications*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2021. p. 141-169.
 65. Vazquez-Olivo G, Gutiérrez-Grijalva EP, Heredia JB. Prebiotic compounds from agro-industrial by-products. *J Food Biochem* 2019; 43(6): e12711. PMID: 31353644.
 66. Martinez-Urbina MA, Rivera AD, Lopez Y Lopez VE. Advances on research in the use of agro-industrial waste in biosurfactant production. *World J Microbiol Biotechnol* 2019; 35(10):155. PMID: 31587158.
 67. Sharma M, Sridhar K, Gupta VK, Dikkala PK. Greener technologies in agri-food wastes valorization for plant pigments: step towards circular economy. *Curr Res Green Sustain Chem* 2022;5:100340.
 68. Cannavacciuolo C, Pagliari S, Frigerio J, Giustra CM, Labra M, Campone L. Natural deep eutectic solvents (NADESs) combined with sustainable extraction techniques: a review of the green chemistry approach in food analysis. *Foods* 2023; 12(1):56. PMID: 36613300.
 69. Abonyi MN, Aniagor CO, Obi CC, Nwadike EC. Post-harvest management of food crops and agro-waste utilization in a developing economy: a review. In: López-Maldonado EA, Solangi AR, Granados-Chinchilla F, editors. *Nanobiotechnology for sustainable food management*. Boca Raton: CRC Press; 2024. p. 163-187.
 70. Elemike EE, Ekennia AC, Onwudiwe DC, Ezeani RO. Agro-waste materials: sustainable substrates in nanotechnology. In: Abd-Elsalam KA, editor. *Agri-waste and microbes for production of sustainable nanomaterials*. Amsterdam: Elsevier; 2022. p. 187-214.
 71. Joshi A, Arora J. Recent trends and future prospects of nanotechnology for agro-waste valorization into biofuels. In: Singh A, Singh AP, Kumar A, Bhardwaj NK, editors. *Agricultural waste to value-added products*. Singapore: Springer; 2023. p. 559-582.

72. Cousin MA. Converting food processing wastes into food or feed through microbial fermentation. In: Birch GG, Parker KJ, Morgan JT, editors. Food and health: science and technology. London: Applied Science Publishers; 1980. p. 31-65.
73. Yasin NHM, Mumtaz T, Hassan MA, Abd Rahman N. Food waste and food processing waste for biohydrogen production: a review. *J Environ Manage* 2013; 130:375-385. PMID: 24076504.
74. Fowles TM, Nansen C. Insect-based bioconversion: value from food waste. In: Närvänen E, Mesiranta N, Mattila M, Heikkinen A, editors. Food waste management: solving the wicked problem. Cham: Palgrave Macmillan; 2020. p. 321-346.
75. Salomone R, Saija G, Mondello G, Giannetto A, Fasulo S, Savastano D. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *J Clean Prod* 2017;140:890-905.
76. Despoudi S, Bucatariu C, Otles S, Kartal C. Food waste management, valorization, and sustainability in the food industry. In: Galanakis CM, editor. Food waste recovery: processing technologies, industrial techniques, and applications. 2nd ed. London: Academic Press; 2021. p. 3-19.
77. Nath A, Das K, Dhal GC. Global status of agricultural waste-based industries, challenges, and future prospects. In: Naik SK, editor. Agricultural waste to value-added products: technological and economic sustainability aspects. Singapore: Springer; 2023. p. 21-45.
78. Kassam A, Friedrich T, Derpsch R. Successful experiences and lessons from conservation agriculture worldwide. *Agronomy* 2022;12(4):769.
79. Sarker A, Ahmmed R, Ahsan SM, Rana J, Ghosh MK, Nandi R. A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. *Foods* 2024; 13(16):2535. PMID: 39105456.
80. Molina-Alcaide E, Yáñez-Ruiz DR. Potential use of olive by-products in ruminant feeding: a review. *Anim Feed Sci Technol* 2008;147(1-3):247-264.
81. López-Yerena A, Domínguez-López I, Abuhabib MM, Lamuela-Raventós RM, Vallverdú-Queralt A, Pérez M. Tomato wastes and by-products: upcoming sources of polyphenols and carotenoids for food, nutraceutical, and pharma applications. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2024; 64(29):10546-10563. PMID: 37358001.
82. Kotia A, Rutu P, Singh V, Kumar A, Dhoke S, Kumar P, et al. Rheological analysis of rice husk-starch suspended in water for sustainable agriculture application. *Mater Today Proc* 2022; 50:1962-1966.
83. Rajamani S, Kolla SSN, Gudivada R, Raghunath R, Ramesh K, Jadhav SA. Valorization of rice husk to value-added chemicals and functional materials. *Int J Environ Res* 2023;17(1):1.
84. Zhang S, Zhao W, Nkechi O, Lu P, Bai J, Lin Q, et al. Utilization of low-cost agricultural by-product rice husk for *Monascus* pigments production via submerged batch-fermentation. *J Sci Food Agric* 2022; 102(6) 2454-2463. PMID: 34679146.
85. Vatan Khah Kolorzi J, Rezvani M, Darban Astaneh AR. [Identifying factors affecting

- the development of entrepreneurship through recycling rice product waste (case study: Gilan province)]. *Rusta va Tose'e-ye Fazayi* 2021;2(2):17-32. Persian.
86. Tamasiga P, Miri T, Onyeaka H, Hart A. Food waste and circular economy: challenges and opportunities. *Sustainability* 2022;14(16):9896.
 87. Sharma V, Singh A, Grenier M, Singh V, Thakur M. Waste valorization in food industries: a review of sustainable approaches. In: Jhariya MK, Meena RS, Banerjee A, editors. *Circular economy in the agriculture and allied sectors*. Singapore: Springer; 2024. p. 161-183.
 88. Soon WL, Foo JL, Chang MW. Microbial food waste valorization: advances, challenges, and perspectives. *Curr Opin Biotechnol* 2025; 94:103323. PMID: 39726586.
 89. Nicastro R, Papale M, Fusco GM, Capone A, Morrone B, Carillo P. Legal barriers in sustainable agriculture: valorization of agri-food waste and pesticide use reduction. *Sustainability* 2024; 16(19): 8677.
 90. Wei Y, Rodriguez-Illera M, Guo X, Vollebregt M, Li X, Rijnaarts HHM, et al. The complexities of decision-making in food waste valorization: a critical review. *J Environ Manage* 2024;359:120989. PMID: 38692043.
 91. Bhargava PC, Kamal N, Chaurasia D, Singh S, Singh A. *Agro-residues' waste to wealth for a circular economy and sustainable development*. Boca Raton: CRC Press 2024. 200-217.
 92. Shaf A, Ahmad F, Mohammad ZH, Khan ST. Application of biotechnology in the food industry. *Microbial biotechnology in the food industry: advances, challenges, and potential solutions*. Cham: Springer 2024. p. 297-321.