Packaging Sciences and Techniques
Vol. 16, No. 4, Winter 2026, Serial No. 64
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

Future Trends in Food Packaging Technology and Their Implications for Iran's Food Security: A 1415 Horizon Study

Farzin Baheri zia*[1], Mohammad Hossein Shokatpour[2]
[1]Correspondence: Master of Science in Futures Studies, Toloue Mehr University of Qom, Qom, Iran. Email Address: f.baheri.ie@gmail.com
[2]PHD in Future Studies, University of Tehran, Tehran, Iran. Email Address: m.h.shokatpour@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 9 November 2025

Received in revised form: 6 Desember 2025

Accepted: 18 May 2026

Available online: 5 June 2026

Keywords:

Futures Studies

Technology

Food Security

Packaging

Trend Research

ABSTRACT

Food security is one of the most important factors in the sustainable development of any country. Among the key components ensuring food security is food packaging, which is profoundly influenced by technological advancements. Accordingly, the aim of this study is to examine emerging technological trends and assess their impact on the future of food security in Iran. Since the research is based on futures studies, the trend analysis method was employed to achieve this objective. To this end, relevant statements extracted from reports, scholarly articles, and international documents were compiled and presented to an expert panel, through which the main trends were identified. To provide a clearer understanding, the findings are presented in the form of trend descriptions accompanied by SWOT analyses, a comparative trend table, key global technological events and actions in the field of packaging, and major driving forces affecting this domain. The five main trends identified in this research include the development of packaging through the Internet of Packaging, biodegradable packaging materials, digital printing, packaging automation, and active packaging materials. Moreover, drivers such as environmental concerns, the growth of e-commerce, advancements in packaging materials, traceability for safety assurance, and consumer preferences have influenced these trends. Based on the conducted analyses, it can be concluded that packaging technology will become one of the critical driving forces shaping the future of food security. Achieving this requires comprehensive collaboration, a strong focus on innovation, and reinforcement of technological infrastructure to prevent potential surprises in this field. Finally, considering the findings, challenges such as sanctions and import restrictions, skill gaps, and financing constraints were addressed in the study's recommendations.

Cite this article: F. Baheri zia and M. H. Shokatpour, "Future Trends in Food Packaging Technology and Their Implications for Iran's Food Security: A 1415 Horizon Study," Journal of Packaging Sciences and Techniques, vol. 16, no. 4, pp. 1-16, 2026. DOI: https://doi.org/10.47176/packaging.2026.1246

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University.

Introduction

The global food industry is undergoing a paradigm shift driven by technological advancements aimed at enhancing safety, reducing waste, and improving consumer communication. As food security remains a paramount concern for Iran, particularly in the face of rising population demands and environmental constraints, the role of innovative packaging becomes critical [1-3]. This research examines the emerging trends in food packaging technology and their potential to bolster Iran's food security by the year 1415(1415 SH). Despite the rapid global adoption of smart, sustainable, and automated packaging systems, Iran faces a complex interplay of opportunities and challenges. While the nation possesses a robust agricultural base and a growing community of knowledge-based enterprises [12-15], it is simultaneously constrained by limited access to high-tech imports, infrastructure gaps, and the ongoing necessity for local skill development [18-21]. The primary objective of this study is to bridge the gap between global technological maturity and the local socio-economic realities of Iran. Through a comprehensive analysis of trends—Internet of Packaging (IoP), biodegradable materials, digital printing, automation, and active packaging—this study provides a prioritized roadmap for policy-makers and industry stakeholders. As illustrated in Figure 1, the integration of these technologies into the domestic supply chain is not merely an operational upgrade but a fundamental requirement for minimizing post-harvest losses and ensuring a stable food supply.

Results and Discussion

Following an 11-step futures research methodology [22], this study synthesized global industrial reports and academic literature to evaluate the impact of five key technology trends.

Key Technological Domains:

Internet of Packaging (IoP): Integrating RFID, NFC, and QR codes facilitates real-time monitoring and product authentication, essential for securing supply chain integrity [23, 24].

Biodegradable Materials: Utilizing agricultural side-streams for starch-based and bio-polymers offers a sustainable solution to plastic waste, aligning with global environmental shifts [25].

Digital Printing: This trend allows for cost-effective customization and rapid production turnover, reducing reliance on expensive traditional tooling [26].

Automation & Robotics: AI-driven systems significantly reduce human error and boost production accuracy, a prerequisite for modern food manufacturing [27].

Active Packaging: By incorporating antimicrobial agents and oxygen scavengers, this technology actively extends shelf life and reduces waste at the source [3, 28].

Analysis of the Iranian Context:

The SWOT analysis conducted across these domains reveals that Iran must adopt a tailored approach. While international sanctions present hurdles for importing specialized automated machinery, opportunities exist in "frugal innovation" and local knowledge-based development. As highlighted by [67], the synergy between university research and industrial practice is vital for this transition. The analysis underscores that the growth of these technologies globally—as reflected in industry-standard CAGR projections—must be interpreted through the lens of local infrastructure readiness. Table 6

provides the comparative analytical framework used to weigh these technologies against Iran's current constraints, such as funding, skill gaps, and energy access.

Conclusion

In response to the research objective, it is determined that while all five trends contribute to food security, their prioritization for Iran must be strategic. The ranking provided in Table 1 reflects a balance between economic/environmental impact, implementation feasibility, and the critical need to secure the food supply.

Table 1: Prioritization of Technology Trends for Iran (Horizon 1415)

Technology Trend	Food Security Impact	Implementation Feasibility	Econ./Env. Impact	Final Rank
Internet of Packaging	Very High	Medium	High	**1**
Biodegradable Materials	High	High	Very High	**2**
Automation	Medium	High	Medium	**3**
Digital Printing	Medium	High	Medium	**4**
Active Packaging	High	Medium	High	**5**

The study concludes that IoP should be the primary focus due to its high impact on food security, followed closely by Biodegradable Materials, which capitalize on domestic agricultural resources. For sustainable development, Iran should adopt a phased approach: prioritizing simple, achievable automation and localizing material science for bio-polymers, while building the necessary digital infrastructure for more advanced systems. By addressing skill gaps through targeted training and leveraging local industrial strengths, Iran can transform its packaging sector into a cornerstone of a resilient and waste-minimized food system by 1415.

Packaging Sciences and Techniques
Vol. 16, No. 4, Winter 2026, Serial No. 64
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

Future Trends in Food Packaging Technology and Their Implications for Iran's Food Security: A 1415 Horizon Study

Farzin Baheri zia*[1], Mohammad Hossein Shokatpour[2]
[1]Correspondence: Master of Science in Futures Studies, Toloue Mehr University of Qom, Qom, Iran. Email Address: f.baheri.ie@gmail.com
[2]PHD in Future Studies, University of Tehran, Tehran, Iran. Email Address: m.h.shokatpour@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:
Article Type: Research paper
Received: 9 November 2025
Received in revised form: 6 Desember 2025
Accepted: 18 May 2026
Available online: 5 June 2026

Keywords:
Futures Studies
Technology
Food Security
Packaging
Trend Research

ABSTRACT

Food security is one of the most important factors in the sustainable development of any country. Among the key components ensuring food security is food packaging, which is profoundly influenced by technological advancements. Accordingly, the aim of this study is to examine emerging technological trends and assess their impact on the future of food security in Iran. Since the research is based on futures studies, the trend analysis method was employed to achieve this objective. To this end, relevant statements extracted from reports, scholarly articles, and international documents were compiled and presented to an expert panel, through which the main trends were identified. To provide a clearer understanding, the findings are presented in the form of trend descriptions accompanied by SWOT analyses, a comparative trend table, key global technological events and actions in the field of packaging, and major driving forces affecting this domain. The five main trends identified in this research include the development of packaging through the Internet of Packaging, biodegradable packaging materials, digital printing, packaging automation, and active packaging materials. Moreover, drivers such as environmental concerns, the growth of e-commerce, advancements in packaging materials, traceability for safety assurance, and consumer preferences have influenced these trends. Based on the conducted analyses, it can be concluded that packaging technology will become one of the critical driving forces shaping the future of food security. Achieving this requires comprehensive collaboration, a strong focus on innovation, and reinforcement of technological infrastructure to prevent potential surprises in this field. Finally, considering the findings, challenges such as sanctions and import restrictions, skill gaps, and financing constraints were addressed in the study's recommendations.

Cite this article: Farzin Baheri zia and Mohammad Hossein Shokatpour, "Future Trends in Food Packaging Technology and Their Implications for Iran's Food Security: A 1415 Horizon Study," Journal of Packaging Sciences and Techniques, vol. 16, no. 4, pp. 1-16, 2026. DOI: https://doi.org/10.47176/packaging.2026.1246

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University.

Introduction

The global food industry is undergoing a paradigm shift driven by technological advancements aimed at enhancing safety, reducing waste, and improving consumer communication. As food security remains a paramount concern for Iran, particularly in the face of rising population demands and environmental constraints, the role of innovative packaging becomes critical [1-3]. This research examines the emerging trends in food packaging technology and their potential to bolster Iran's food security by the year 1415(1415 SH). Despite the rapid global adoption of smart, sustainable, and automated packaging systems, Iran faces a complex interplay of opportunities and challenges. While the nation possesses a robust agricultural base and a growing community of knowledge-based enterprises [12-15], it is simultaneously constrained by limited access to high-tech imports, infrastructure gaps, and the ongoing necessity for local skill development [18-21]. The primary objective of this study is to bridge the gap between global technological maturity and the local socio-economic realities of Iran. Through a comprehensive analysis of trends—Internet of Packaging (IoP), biodegradable materials, digital printing, automation, and active packaging—this study provides a prioritized roadmap for policy-makers and industry stakeholders. As illustrated in Figure 1, the integration of these technologies into the domestic supply chain is not merely an operational upgrade but a fundamental requirement for minimizing post-harvest losses and ensuring a stable food supply.

Results and Discussion

Following an 11-step futures research methodology [22], this study synthesized global industrial reports and academic literature to evaluate the impact of five key technology trends.

Key Technological Domains:

Internet of Packaging (IoP): Integrating RFID, NFC, and QR codes facilitates real-time monitoring and product authentication, essential for securing supply chain integrity [23, 24].

Biodegradable Materials: Utilizing agricultural side-streams for starch-based and bio-polymers offers a sustainable solution to plastic waste, aligning with global environmental shifts [25].

Digital Printing: This trend allows for cost-effective customization and rapid production turnover, reducing reliance on expensive traditional tooling [26].

Automation & Robotics: AI-driven systems significantly reduce human error and boost production accuracy, a prerequisite for modern food manufacturing [27].

Active Packaging: By incorporating antimicrobial agents and oxygen scavengers, this technology actively extends shelf life and reduces waste at the source [3, 28].

Analysis of the Iranian Context:

The SWOT analysis conducted across these domains reveals that Iran must adopt a tailored approach. While international sanctions present hurdles for importing specialized automated machinery, opportunities exist in "frugal innovation" and local knowledge-based development. As highlighted by [67], the synergy between university research and industrial practice is vital for this transition. The analysis underscores that the growth of these technologies globally—as reflected in industry-standard CAGR projections—must be interpreted through the lens of local infrastructure readiness. Table 6

provides the comparative analytical framework used to weigh these technologies against Iran's current constraints, such as funding, skill gaps, and energy access.

Conclusion

In response to the research objective, it is determined that while all five trends contribute to food security, their prioritization for Iran must be strategic. The ranking provided in Table 1 reflects a balance between economic/environmental impact, implementation feasibility, and the critical need to secure the food supply.

Table 1: Prioritization of Technology Trends for Iran (Horizon 1415)

Technology Trend	Food Security Impact	Implementation Feasibility	Econ./Env. Impact	Final Rank
Internet of Packaging	Very High	Medium	High	**1**
Biodegradable Materials	High	High	Very High	**2**
Automation	Medium	High	Medium	**3**
Digital Printing	Medium	High	Medium	**4**
Active Packaging	High	Medium	High	**5**

The study concludes that IoP should be the primary focus due to its high impact on food security, followed closely by Biodegradable Materials, which capitalize on domestic agricultural resources. For sustainable development, Iran should adopt a phased approach: prioritizing simple, achievable automation and localizing material science for bio-polymers, while building the necessary digital infrastructure for more advanced systems. By addressing skill gaps through targeted training and leveraging local industrial strengths, Iran can transform its packaging sector into a cornerstone of a resilient and waste-minimized food system by 1415.

«علوم و فنون بسته‌بندی»
سال شانزدهم، شماره ۶۴، زمستان ۱۴۰۴؛ ص ۱۶-۱
شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

بررسی روندهای فناوری حوزه بسته‌بندی مواد غذایی در آینده امنیت غذایی ایران در افق زمانی ۱۴۱۵

فرزین باهری ضیاء[۱*]، محمدحسین شوکت پور[۲]

[۱] کارشناس ارشد آینده‌پژوهی، دانشگاه غیر انتفاعی طلوع مهر، قم، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: f.baheri.ie@gmail.com

[۲] دکتری آینده‌پژوهی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: m.h.shokatpour@gmail.com

چکیده

امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل توسعه پایدار در هر کشور است. یکی از مؤلفه‌های مهم در تضمین تحقق امنیت غذایی، بسته‌بندی مواد غذایی است که تحت تأثیر شگرف فناوری قرار دارد، ازاین‌رو؛ هدف این پژوهش بررسی روندهای نوظهور فناوری و ارزیابی تأثیر آن بر آینده امنیت غذایی ایران است. با توجه به اینکه این پژوهش بر اساس آینده‌پژوهی است جهت بررسی هدف از روش، روندپژوهی استفاده کرده است. بدین صورت که با جمع‌آوری گزاره‌های موجود در گزارش‌ها، مقالات و اسناد بین‌المللی و ارائه آن در هیئت تخصصی، روندهایی شناسایی شده است. جهت تشریح بهتر، یافته‌های پژوهش در قالب معرفی روندها به همراه تحلیل SWOT، جدول مقایسه‌ای روندها، رویدادهای و اقدامات جهانی مهم فناوری در حوزه بسته‌بندی و پیشران‌های مهم در این حوزه ارائه شده است. پنج روند اصلی یافت شده در این پژوهش شامل توسعه بسته‌بندی با استفاده از اینترنت بسته‌بندی، مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر، چاپ رایانه‌ای، خودکارسازی(اتوماسیون) بسته‌بندی و مواد بسته‌بندی فعال است. علاوه بر این، پیشران‌هایی مانند نگرانی‌های زیست‌محیطی، رشد تجارت الکترونیک، پیشرفت مواد بسته‌بندی، حفظ ایمنی با قابلیت ردیابی و ترجیحات مصرف‌کننده بر این روندها اثرگذار بوده‌اند. با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، می‌توان نتیجه گرفت که فناوری در حوزه بسته‌بندی به یکی از پیشران‌های مهم در آینده امنیت غذایی تبدیل خواهد شد که این مهم نیازمند همکاری همه‌جانبه، تمرکز بر نوآوری و تقویت زیر ساخت‌ها در راستای پیشگیری از هرگونه غافلگیری در این حوزه است. در نهایت با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته، چالش‌هایی مانند: تحریم‌ها و محدودیت‌های واردات، شکاف‌های مهارتی و تأمین مالی در پیشنهادهای این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
نوع مقاله: علمی پژوهشی
دریافت:۱۴۰۴/۰۸/۱۸
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۸
ارائه آنلاین: ۱۴۰۵/۰۳/۱۵

کلیدواژه‌ها:
آینده‌پژوهی
فناوری
امنیت غذایی
بسته‌بندی
روند پژوهی

استناد: باهری ضیاء، فرزین، شوکت پور، محمدحسین، بررسی روندهای فناوری حوزه بسته‌بندی مواد غذایی در آینده امنیت غذایی ایران در افق زمانی ۱۴۱۵، نشریه علوم و فنون بسته بندی، دوره ۱۶، شماره ۴، صفحات ۱۶-۱، ۱۴۰۴. DOI: https://doi.org/10.47176/packaging.2026.1246

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).

۱- مقدمه

امروزه، حوزه بسته‌بندی بیش از آنکه فقط در نگهداری غذا مورد استفاده قرار گیرد، نقش مهمی در افزایش سطح ایمنی، بهبود کیفیت و دسترسی جامعه به مواد غذایی دارد [۱]. بر اساس گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، روزانه به‌ازای هر نفر ۱۳۴ کیلوکالری غذا در ایران هدر می‌رود و این موضوع، سبب کسب جایگاه اول تولید ضایعات غذایی توسط ایران در جهان شده است. این ضایعات سالانه معادل ۳۵ میلیون تن به ارزش تقریبی ۱۵ میلیارد دلار است [۲]. بر اساس اعلام فائو ضایعات غذایی حدود یک‌سوم تولیدات جهانی را شامل می‌شود و فشار زیادی بر زنجیره تأمین وارد می‌کند [۳]. ضعف در زنجیره تأمین ایمن و نبود زیرساخت‌های کافی برای توزیع بهینه، موجب افزایش خطر فساد و کاهش کیفیت محصولات می‌شود [۴]. همچنین، نیاز به همسویی با استانداردهای جهانی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین بسته‌بندی برای تضمین کیفیت و ایمنی، ضرورت بررسی روندهای نوظهور فناوری در ایران تا افق ۱۴۱۵ را برجسته می‌سازد [۱] [۵]. فناوری‌های پیشرفته بسته‌بندی، از جمله اینترنت بسته‌بندی، مواد زیست‌تخریب‌پذیر و بسته‌بندی فعال، می‌توانند ضمن افزایش ماندگاری و کیفیت محصولات، ضایعات را کاهش دهند و امکان ردیابی دقیق را فراهم کنند [۵] [۶]. بسته‌بندی بهینه برای توزیع ایمن مواد غذایی، به‌ویژه در شرایط سخت، می‌تواند فساد را کاهش داده، کیفیت محصول را تضمین و ارزش غذایی آن را حفظ کند [۴]. این تحلیل نشان می‌دهد که هر پیشرفت در فناوری بسته‌بندی می‌تواند به‌صورت مستقیم امنیت غذایی را تقویت، هزینه‌ها را کاهش و دسترسی جامعه به غذا را بهبود بخشد. در این راستا، پرسش «چه روندهای نوظهور فناوری بسته‌بندی در جهان وجود دارند و این روندها چگونه می‌توانند امنیت غذایی ایران را تا افق ۱۴۱۵ تقویت کنند؟» به‌عنوان مسئله این پژوهش شناسایی شده است.

۲- مبانی نظری پژوهش

۲-۱- مفهوم روند

روند به معنای تغییراتی است که دارای جهت‌گیری پایدار و قابل‌ردیابی هستند. در ادبیات کلاسیک، روند به‌عنوان «حرکت منظم و پیوسته داده‌ها در طول زمان» تعریف شده است، اما در پژوهش حاضر که متمرکز بر شناسایی روندهای فناوری حوزه بسته‌بندی مواد غذایی و تأثیر آنها بر امنیت غذایی است می‌توان روند را بیش از یک مفهوم آماری به‌عنوان نیروی جهت‌دهنده و مؤثر بر امنیت غذایی در نظر گرفت [۷].

۲-۲- مفهوم رویداد

رویدادها اتفاقات مهم و ناگهانی هستند که قابلیت پیش‌بینی کمی دارند و می‌توانند سبب دگرگونی ساختار شوند. مواردی همچون همه‌گیری و بلایای طبیعی را می‌توان به‌عنوان رویداد در نظر گرفت. در شناسایی روندهای فناوری بسته‌بندی مواد غذایی و امنیت غذایی شناخت مرز میان روند و رویداد بسیار مهم است؛ زیرا رویدادها نیاز به پاسخ‌های سریع داشته و متفاوت از راهکارهای بلندمدت هستند. این تمایز سبب افزایش دقت و کارایی تحلیل‌ها می‌شود [۸] .

۲-۳- تحلیل روند

برای اینکه بتوانیم روندها را تحلیل کنیم می بایست در ابتدا انواع روند را بشناسیم. به‌طورکلی می‌توان روندهای را در قالب روندهای دینامیک، مستقل، مغلوب و اهرمی دسته‌بندی و به شرح زیر تعریف کرد:

- روندهای دینامیک (تعاملی): روندهایی هستند که علاوه بر تأثیر بر روی سایر روندها، تحت تأثیر آن‌ها نیز قرار می‌گیرند؛ به‌عنوان‌مثال، نوآوری رایانه‌ای در بسته‌بندی هم بر تولید و توزیع غذا تأثیر می‌گذارد.
- روندهای مستقل: روندهایی که به‌صورت جداگانه عمل کرده و به‌عنوان زمینه ثابت مورد تحلیل قرار گیرند.
- روندهای مغلوب و اهرمی: روند مغلوب تحت‌تأثیر محیط و روند اهرمی عامل تغییرات در دیگر روندها است [۷][۹] [۱۰] [۱۱]..

۲-۴- امنیت غذایی

در این پژوهش برای تعریف امنیت غذایی از تعریف اجلاس جهانی غذا در سال ۱۹۹۶ استفاده شده است. «امنیت غذایی زمانی برقرار است که همه افراد در همه زمان‌ها به غذای سالم، مغذی و کافی با دسترسی فیزیکی و اقتصادی دسترسی داشته باشند که نیازها و ترجیحات آن‌ها را برآورده سازد». در این تعریف چهار بُعد کلیدی اعم از موجود بودن (وجود غذای کافی در جامعه یا کشور)، در دسترس بودن (توانایی افراد برای تهیه و استفاده از غذا)، بهره‌برداری (استفاده درست از غذا برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای) و پایداری (ثبات در طول زمان) تشریح شده است که می‌تواند به‌عنوان هدف در اقدامات مرتبط با بسته‌بندی فناوری‌محور مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان‌مثال، بهبود بسته‌بندی سبب افزایش ماندگاری شده و ۳ بُعد از ابعاد امنیت غذایی (موجود بودن، در دسترس بودن و پایداری) را تقویت می‌کند [۱۲] .

۲-۵- فناوری

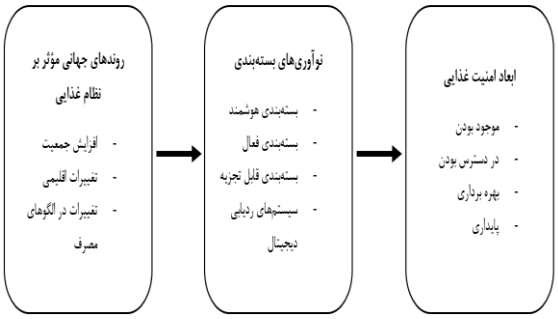
فناوری در تعریف عام شامل ابزارها، روش‌ها، سامانه‌ها و دانش فنی است که برای حل مسائل و بهبود عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حوزه بسته‌بندی فناوری را می‌توان در قالب مواد و روش‌های نوین در نظر گرفت که می‌توانند سبب تحقق و تقویت چهار بُعد کلیدی امنیت غذایی شوند [۱۳][۱۴] .

۲-۶- بسته‌بندی

تعریف بسته‌بندی مواد غذایی در این پژوهش به مفهومی فراتر از پوشش فیزیکی و شامل طراحی، ساخت و ایجاد سامانه‌های نگهداری، حفاظت و تحویل امن غذا اشاره دارد. استفاده از روش‌های فناورانه در بسته‌بندی سبب افزایش کیفیت، کاهش بیماری، ایجاد قابلیت ردیابی و به‌طورکلی تأثیر بر ابعاد امنیت غذایی شوند [۱۵] .

۲-۷- چارچوب نظری پژوهش

چارچوب نظری این پژوهش بر ارتباط میان کلان روندهای مؤثر بر مواد غذایی، فناوری بسته‌بندی و امنیت غذایی تمرکز دارد. روندهایی مانند: رشد جمعیت، تغییر اقلیم و الگوی مصرف روندهای مؤثر فناوری بسته‌بندی بر امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فناوری‌های بسته‌بندی شامل بسته‌بندی هوشمند، فعال، زیست‌تخریب‌پذیر و سامانه‌های ردیابی رایانه‌ای از طریق کاهش فساد، افزایش ماندگاری، کاهش ضایعات و بهبود روش‌های حمل‌ونقل، بر بهبود سطح امنیت غذایی تأثیر می‌گذارند. این چارچوب نشان می‌دهد که نوآوری در بسته‌بندی چگونه می‌تواند ابعاد امنیت غذایی را تقویت یا تضعیف کند و مسیرهای اثرگذاری فناوری بر سامانه غذایی را روشن می‌سازد.(شکل ۱)



شکل(۱): چارچوب نظری پژوهش

۳- پیشینه پژوهش

بر حسب مطالعات موجود، توجه به افزایش ایمنی، کیفیت و پایداری مواد غذایی در حوزه بسته‌بندی مورد توجه واقع شده است. به‌عنوان‌مثال دراگو و همکاران [۱۶] با بررسی نوآوری‌های بسته‌بندی هوشمند نشان دادند که این فناوری‌ها توانایی بالایی برای بهبود کیفیت و ایمنی محصولات غذایی دارند، اما برای استقرار آن‌ها در صنایع غذایی به مطالعات تجربی بیشتری نیاز است. این خلأ پژوهشی فرصتی مناسب برای تحلیل روندها در سطح ملی و تطبیق با نیازهای ایران فراهم می‌کند. در یکی دیگر از مطالعات صورت‌گرفته، سالگادو و همکاران[۱۷] ، بر اهمیت ترکیب بسته‌بندی هوشمند با پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر تأکید کرده‌اند که علاوه بر کاهش ضایعات و افزایش پایداری زنجیره تأمین، نشان‌دهنده جهت‌گیری جهانی به سمت مواد دوستدار محیط‌زیست است. در ایران، با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی و ضرورت کاهش ضایعات غذایی، تطبیق این فناوری‌ها اهمیت مضاعفی دارد. در پژوهشی که توسط آزاد فر و همکاران [۱۸] صورت‌گرفته است، کاربرد فناوری نانو در تولید و بهبود سطح امنیت غذایی برجسته شده است. این مطالعه تمرکز محدودی بر روندهای بسته‌بندی دارد و نیاز به پیوند میان نوآوری و بسته‌بندی همچنان باقی است. به همین ترتیب، تواملورو [۱۹] بر شیوه‌های بین‌رشته‌ای بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی تأکید دارد و همکاری میان مهندسی مواد، ایمنی غذا و مدیریت زنجیره تأمین را برای توسعه فناوری‌های نوین ضروری می‌داند. در پژوهشی که توسط حبیب و همکاران [۲۰] صورت‌گرفته است سرعت تغییرات فناوری و ترجیحات مصرف‌کننده اگر با تحلیل دقیق و سیاست‌گذاری همراه شود به‌عنوان عامل اصلی شکل‌گیری نوآوری‌های بسته‌بندی و سرآغاز تحول در بازار شناسایی می‌شود. بیانلو [۲۱] در پژوهش خود نشان می‌دهد که فناوری پلاسمای سرد نمونه‌ای از نوآوری سبز و پیشرفته است که می‌تواند با بهبود خواص فیلم‌های زیستی، افزایش مقاومت مکانیکی و خاصیت ضدمیکروبی، زمینه کاهش وابستگی به پلاستیک‌های نفتی را فراهم کند؛ برای کاربرد عملی و ایمن یافته‌های این پژوهش در ایران نیاز به پژوهش‌های تطبیقی بیشتری است. جمع‌بندی منابع فوق نشان می‌دهد که گرایش جهانی حوزه بسته‌بندی به سمت بسته‌بندی فعال، هوشمند و پایدار با تمرکز بر فناوری‌های نوین مانند: حسگر، پلیمر زیستی، نانو و پلاسما است. با این حال، پژوهش تطبیقی فناوری‌های جهانی با شرایط محلی در ایران محدود است، بنابراین؛ بررسی روندهای جهانی فناوری بسته‌بندی و تطبیق آن‌ها با نیازهای ملی برای ارتقای امنیت غذایی تا افق ۱۴۱۵، اهمیت علمی و کاربردی فراوانی دارد و پژوهش حاضر با هدف پر کردن این خلأ، ارزشمند محسوب می‌شود.

۴- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با روش روندپژوهی و بر اساس ۱۱ گام معرفی شده در کتاب «آموخته‌ها و آزموده‌های آینده‌پژوهی» [۲۲] انجام شده است. هدف، بررسی روندهای فناوری بسته‌بندی و نقش آن‌ها در ارتقای امنیت غذایی تا افق ۱۴۱۵ است. پژوهش با تعیین محدوده موضوع و فراهم‌کردن تمهیدات لازم آغاز شد و گزاره‌ها و داده‌های مرتبط در پنج حوزه اصلی امنیت غذایی شامل: کشاورزی، مواد غذایی، دارویی، حمل‌ونقل و بسته‌بندی جمع‌آوری شد. این داده‌ها در چهار بُعد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فناوری تحلیل و بررسی شدند. روندهای بالادستی و اصلی با استفاده از اسناد، گزارش‌های جهانی و مقالات علمی استخراج شدند و فهرست اولیه روندها توسط هیئت تخصصی بازبینی شد. سپس هر روند بر اساس گزاره‌های موجود و داده‌های جهانی توصیف و تحلیل شد تا روابط میان روندها و پیامدهای کوتاه و بلندمدت آن‌ها مشخص شود. برای تحلیل و ارزیابی، از روش‌های کمی و کیفی بهره گرفته شد تا پابرجایی روندها و اثرات احتمالی بر امنیت غذایی مشخص گردد. گمانه‌زنی درباره آینده و دورنما با مشارکت اندیشکده‌های تخصصی انجام شد و ارزیابی نهایی روندها بر اساس تداوم، تقویت، تضعیف یا قطع آن‌ها صورت گرفت. همچنین، پیشنهاد شده است که روندها هر پنج سال یک‌بار بازنگری و به‌روزرسانی شوند تا تحلیل‌ها همیشه کاربردی و منطبق با تغییرات جهانی و ملی باقی بمانند. این روش‌شناسی با روشن‌کردن چگونگی اجرای هر گام روندپژوهی، نشان می‌دهد که چگونه داده‌ها و گزاره‌ها در پنج حوزه اصلی امنیت غذایی جمع‌آوری و تحلیل شده‌اند، روابط میان روندها شناسایی و پیامدهای کوتاه و بلندمدت آن‌ها ارزیابی شده است. همچنین، این روش به پژوهشگر امکان می‌دهد تحلیل‌های خود را با داده‌های جهانی تلفیق کرده و یافته‌ها را در چارچوب عملی و علمی آینده‌پژوهی به کار گیرد. به‌عبارت‌دیگر، روش‌شناسی حاضر نه‌تنها مسیر جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها را مشخص می‌کند، بلکه پایه‌ای مستحکم برای پایش مستمر، به‌روزرسانی روندها و ارائه توصیه‌های کاربردی برای ارتقای امنیت غذایی فراهم می‌آورد.

۵- یافته‌های پژوهش

یافته‌های این پژوهش شامل مهم‌ترین روندها، رویدادها، اقدامات صورت‌گرفته و پیشران‌های جهانی فناوری در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی است. در این بخش، پنج روند اصلی فناوری بسته‌بندی تشریح می‌شود. برای درک جامع‌تر این روندها، یک جدول مقایسه‌ای در پایان این بخش ارائه شده است. همچنین، برای هر روند یک تحلیل SWOT[1] ویژه ایران ارائه شده است تا میزان آمادگی کشور برای بهره‌برداری از این فناوری‌ها سنجیده شود.

۵-۱- روندهای جهانی فناوری در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی

طبق بررسی‌ها، ۵ روند جهانی فناوری در حوزه بسته‌بندی به شرح زیر قابل بیان است.

۵-۱-۱- توسعه‌ی حوزه بسته‌بندی با اینترنت بسته‌بندی

اینترنت بسته‌بندی امکان تعامل مؤثرتر مصرف‌کنندگان با نشان‌های تجاری را فراهم می‌کند. بسته‌بندی هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند کدهای QR[2]، برچسب‌های هوشمند، RFID[3] و NFC[4]، نقش یک حامل داده را ایفا کرده و امکان احراز هویت، ردیابی و پایش مستمر شرایط محصول را فراهم می‌سازد [۲۳]. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از حسگرهای زیستی و شاخص‌های زمان - دما می‌تواند نقش مؤثری در امنیت غذایی، کاهش فساد و جلوگیری از ضایعات غذایی داشته باشد [۲۴]. همچنین بهره‌گیری از سامانه‌های RFID و QR-Code، مدیریت بلادرنگ زنجیره تأمین را امکان‌پذیر می‌سازد که برای امنیت غذایی ملی اهمیت دارد. (جدول ۱)

جدول (۱): تحلیل SWOT توسعه حوزه بسته‌بندی با اینترنت بسته‌بندی

نقاط قوت	نقاط ضعف
وجود شرکت‌های فعال در تولید لیبل و RFID	کمبود زیرساخت‌های رایانه‌ای در زنجیره سرد
رشد استارتاپ‌های IoT	هزینه بالای حسگرهای هوشمند برای صنایع کوچک
توجه صنایع غذایی بزرگ به ردیابی	ضعف در استانداردسازی ملی داده‌ها
فرصت‌ها	**تهدیدها**
نیاز روزافزون به ردیابی در صادرات	تحریم‌ها و محدودیت واردات حسگر و تراشه
توسعه تجارت الکترونیک مواد غذایی	مقاومت صنایع سنتی در برابر فناوری‌های نو
برنامه‌های دولت در تحول دیجیتال	مشکلات امنیت سایبری و جعل داده

[1] SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
[2] QR: Quick-response code
[3] RFID: Radio Frequency Identification
[4] NFC: Near Field Communication

۵-۱-۲- توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر

پلاستیک‌های رایج که از اوایل قرن بیستم کاربرد گسترده یافته‌اند، به دلیل تجزیه بسیار آهسته، مشکلات زیست‌محیطی گسترده ایجاد کرده‌اند. افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان موجب شده بازار جهانی به سمت مواد زیست‌تخریب‌پذیر، پلیمرهای زیستی، نشاسته‌ای و پایه گیاهی حرکت کند [۲۵].(جدول ۲)

جدول (۲): تحلیل SWOT توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از مواد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر

نقاط قوت	نقاط ضعف
دسترسی گسترده به منابع کشاورزی (ذرت، نیشکر، ضایعات کشاورزی)	نبود فناوری صنعتی تولید پلیمرهای زیستی در مقیاس اقتصادی
توانمندی پژوهشی دانشگاه‌ها	هزینه بالای تولید نسبت به پلاستیک‌های نفتی
فرصت‌ها	**تهدیدها**
بازار صادراتی برای بسته‌بندی پایدار	رقابت شدید با کشورهای دارای فناوری پیشرفته
افزایش مقررات جهانی منع پلاستیک یک‌بارمصرف	نوسانات قیمت مواد اولیه کشاورزی
حمایت از اقتصاد سبز	کمبود خط‌مشی‌های الزام‌آور در کشور

۵-۱-۳- توسعه‌ی حوزه بسته‌بندی با استفاده از چاپ رایانه‌ای

چاپ رایانه‌ای محدودیت‌های روش‌های سنتی (افست[1]، فلکسو[2]) را کاهش داده و به دلیل عدم نیاز به قالب یا کلیشه، موجب سرعت بیشتر، سفارشی‌سازی، کاهش هزینه و انعطاف‌پذیری تولید می‌شود [۲۶]. (جدول ۳)

[1] Offset printing
[2] Flexography

جدول (۳): تحلیل SWOT توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از چاپ رایانه‌ای

نقاط قوت	نقاط ضعف
افزایش واردات دستگاه‌های چاپ دیجیتال	هزینه بسیار بالای دستگاه‌ها و مواد مصرفی
تقاضای زیاد صنایع غذایی برای چاپ سفارشی	محدودیت دانش فنی برای تعمیر و نگهداری
رشد شرکت‌های طراحی گرافیک	کیفیت ناپایدار مرکب‌ها در برخی دستگاه‌ها
فرصت‌ها	**تهدیدها**
گسترش بسته‌بندی‌های کوتاه‌تیراژ و مناسب تجارت الکترونیک	تحریم و محدودیت دسترسی به دستگاه‌های مدرن
رشد فرهنگ تجاری‌سازی	رقابت منطقه‌ای با ترکیه و امارات
افزایش تقاضای بسته‌بندی شخصی‌سازی‌شده	افزایش نرخ ارز و قیمت دستگاه‌ها

۵-۱-۴- توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از خودکارسازی بسته‌بندی

خودکارسازی فرایندهای بسته‌بندی شامل پرکردن، بسته کردن، پالت‌گذاری و کنترل کیفیت است. استفاده از بازوهای رباتیک، بینایی ماشین و هوش مصنوعی به کاهش خطای انسانی و افزایش سرعت کمک می‌کند [۲۷]. (جدول ۴)

جدول (۴): تحلیل SWOT توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از خودکارسازی بسته‌بندی

نقاط قوت	نقاط ضعف
پیشرفت شرکت‌های سازنده تجهیزات صنعتی داخلی	هزینه اولیه بسیار بالا برای صنایع کوچک
امکان مهندسی معکوس تجهیزات	کمبود متخصص در حوزه هوش مصنوعی صنعتی
رشد خودکارسازی در صنایع لبنی و نوشیدنی	فرسودگی خطوط قدیمی صنایع غذایی
فرصت‌ها	**تهدیدها**
افزایش فشار برای کاهش ضایعات و خطا	تحریم‌ها و محدودیت قطعات یدکی
گسترش زنجیره تأمین سرد	تهدید بیکاری کارگران کم‌مهارت
نیاز صنایع صادرات‌محور به کیفیت بالا	ناپایداری اقتصادی و محدودیت سرمایه‌گذاری

۵-۱-۵- توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از مواد بسته‌بندی فعال

بسته‌بندی فعال با استفاده از ترکیباتی مانند جاذب اکسیژن، رطوبت، اتیلن و عوامل ضدمیکروبی باعث افزایش ماندگاری، کاهش فساد و بهبود کیفیت مواد غذایی می‌شود [۲۸]. باتوجه‌به اینکه یک‌سوم غذای تولیدی در جهان هدر می‌رود، این فناوری اهمیت ویژه‌ای در کاهش ضایعات دارد [۳].(جدول ۵)

جدول (۵): تحلیل SWOT توسعه حوزه بسته‌بندی با استفاده از مواد بسته‌بندی فعال

نقاط قوت	نقاط ضعف
وجود شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در نانوفناوری	نبود استانداردهای مشخص ملی برای بسته‌بندی فعال
دسترسی به پژوهشگران حوزه شیمی و زیست‌فناوری	کمبود تجهیزات تخصصی تولید جاذب‌های صنعتی
بازار بزرگ صنایع لبنی، میوه و پروتئین	ضعف در مدیریت زنجیره سرد برای تکمیل اثربخشی فناوری
فرصت‌ها	**تهدیدها**
افزایش تقاضا برای غذاهای با ماندگاری طولانی	محدودیت واردات مواد اولیه
امکان جهش صادراتی در مواد غذایی بسته‌بندی‌شده	نبود آگاهی کافی مصرف‌کننده درباره این فناوری
توسعه بازار صنایع دارویی	هزینه بالای تولید در مقایسه با بسته‌بندی معمولی

۵-۱-۶- جدول مقایسه‌ای روندهای جهانی فناوری بسته‌بندی مواد غذایی

برای شفاف شدن مقایسه روندهای فناوری بسته‌بندی، جدول (۶) شامل مزایا، محدودیت‌ها و ویژگی‌های کلیدی هر روند ارائه شده است. این پارامترها بر اساس مرور ادبیات علمی، گزارش‌های صنعتی بین‌المللی و تحلیل وضعیت موجود در ایران استخراج شده‌اند.

جدول (۶): جدول مقایسه‌ای روندهای جهانی فناوری بسته‌بندی مواد غذایی

روند فناوری	مزایا	محدودیت‌ها	کاربردهای اصلی	سطح بلوغ جهانی	آمادگی ایران
بسته‌بندی هوشمند	ردیابی، امنیت، کاهش ضایعات	هزینه بالا، زیرساخت رایانه‌ای	لبنیات، گوشت، صادرات	بالا	متوسط
مواد زیست‌تخریب‌پذیر	پایداری، کاهش آلودگی	هزینه تولید بالا	میوه، سبزی، خشکیجات	متوسط–بالا	متوسط–پایین
چاپ رایانه‌ای	سرعت، سفارشی‌سازی، کیفیت	وابستگی به واردات تجهیزات	اسنک، نوشیدنی، پک‌های سفارشی	بالا	متوسط
خودکارسازی بسته‌بندی	کاهش خطا، سرعت، کیفیت	نیاز به سرمایه‌گذاری بالا	لبنیات، نوشیدنی، فرآوری‌شده	بسیار بالا	متوسط
بسته‌بندی فعال	افزایش ماندگاری و کیفیت	هزینه تولید	پروتئین، میوه، دارو	متوسط	متوسط

۵-۲- رویدادهای فناوری در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی

برخی از رویدادهای مهم فناوری در حوزه بسته‌بندی به شرح زیر است:

۵-۲-۱- نمایشگاه‌های تجاری بین‌المللی

این نمایشگاه‌ها برای مرور کلی صنعت و نمایش آخرین نوآوری‌ها در بسته‌بندی برگزار می‌گردد. برخی از این نمایشگاه‌ها عبارتند از: فتچ‌پک[1] در آلمان که پوشش‌دهنده زنجیره ارزش بسته‌بندی در اروپا و فراتر از آن است [۲۹]. پک اکسپو[2] در ایالات متحده آمریکا و مکان‌های مختلف که طیف وسیعی از فناوری‌های بسته‌بندی را پوشش می‌دهد [۳۰]. اینترپک[3] در آلمان که بر روی یکپارچه‌سازی فناوری بسته‌بندی تمرکز دارد [۳۱] و چاپناپلاس[4] در چین که بر

[1] FachPack
[2] Pack Expo
[3] Interpack
[4] Chinaplas

فناوری‌های مربوط به صنعت پلاستیک و لاستیک متمرکز است و نقش قابل‌توجهی در بسته‌بندی بازار آسیا دارد [۳۲].

۵-۲-۲- کارگاه‌ها و کنفرانس‌های تخصصی

این کارگاه‌ها به حوزه‌های خاص فناوری بسته‌بندی می‌پردازند. برخی از این کارگاه‌ها عبارتند از: کنفرانس نوآوری‌های بسته‌بندی که بر پایداری و مواد نوآورانه تمرکز دارند [۳۳].کنفرانس‌های سازمان‌های حرفه‌ای که توسط سازمان‌هایی مانند مؤسسه حرفه‌ای بسته‌بندی و نهادهای مشابه در سراسر جهان با موضوع‌های خاص مانند مواد نگهدارنده، ایمنی بسته‌بندی مواد غذایی و غیره برگزار می‌شود [۳۴] و کنفرانس‌های دانشگاهی که با برنامه‌های مدون و مهندسی علم مواد میزبان حوزه‌های تحقیقاتی بسته‌بندی هستند [۳۵].

۵-۲-۳- رویدادهای برخط

با افزایش رویدادهای برخط، قابلیت قابل‌توجهی برای اشتراک دانش فناوری بسته‌بندی توسط فعالان این حوزه ایجاد شده است. شرکت‌ها و سازمان‌ها، کارگاه مجازی را برای معرفی محصولات، فناوری‌ها و گرایش‌های خاص این صنعت برگزار می‌کنند که اطلاعات بسیاری را در اختیار فعالان این حوزه قرار می‌دهند [۳۶].

۵-۳- اقدامات مهم صورت گرفته در حوزه فناوری بسته‌بندی مواد غذایی

حوزه بسته‌بندی شاهد پیشرفت‌های قابل‌توجهی در فناوری است که سبب بهبود کارایی، پایداری و ایمنی مواد غذایی شده است. برخی از اقدامات مهم عبارتند از:

۵-۳-۱- پیشرفت‌های علم مواد

پلاستیک‌های بر پایه نفت در حال جایگزینی با پلیمرهای مشتق شده از منابع تجدیدپذیر مانند نشاسته ذرت، باگاس نیشکر یا جلبک دریایی هستند که اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده می‌دهند [۳۷]. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی ساخته‌شده از کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها یا لیپیدها می‌توانند جایگزین فیلم‌های پلاستیکی سنتی شوند و با کاهش ضایعات سبب بهبود وضعیت سلامتی جامعه شوند [۳۸]. برای کنترل و نظارت بر عوامل محیطی مانند: جاذب‌های اکسیژن و رطوبت، عوامل ضدمیکروبی و شاخص‌های دما و زمان، از حسگرها در مواد بسته‌بندی استفاده می‌شود. کنترل مستمر وضعیت مواد سبب افزایش عمر مفید مواد غذایی می‌شود [۳۹]. مواد پیشرفته با خواص محافظت در برابر اکسیژن، رطوبت، نور و گازها در حال توسعه هستند که منجر به ماندگاری طولانی‌تر محصولات [۴۰] نوآوری در رزین‌های پلاستیکی قابلیت بازیافت و تبدیل به کود مواد بسته‌بندی را بهبود می‌بخشد [۴۱].

۵-۳-۲- طراحی بسته‌بندی به روش نوین

طراحی ساختار بسته‌بندی سبک علاوه بر استفاده کمتر از مواد، حفاظت لازم را ایجاد می‌کنند و باعث کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی می‌شوند [۴۲].[۴۳]. استفاده از فناوری‌های چاپ سه‌بعدی در موارد سفارشی، سبب کاهش ضایعات اضافی می‌شوند[۴۴]. پیاده‌سازی سامانه‌های خودکار و ربات‌ها در خطوط بسته‌بندی سبب کاهش خطاها و هزینه‌های نیروی کار و افزایش بهره‌وری می‌شوند [۴۵]. توسعه ماشین‌آلات بسته‌بندی با سرعت بالا سبب افزایش توان و کاهش زمان تولید می‌شوند [۴۶].

۵-۳-۳- قابلیت ردیابی مواد غذایی

برچسب‌های شناسایی فرکانس رادیویی و بارکدهای پیشرفته جهت ردیابی محصولات از طریق زنجیره تأمین مورداستفاده قرار می‌گیرند [۴۷]. حسگرهای پایشگر برای نظارت بر دما، رطوبت و سایر عوامل مهم مرتبط با ایمنی و کیفیت مواد غذایی طراحی‌شده‌اند تا اطلاعات محصول را در زمان واقعی ارائه دهند [۴۸]. طراحی بسته‌هایی با که به‌وضوح نشان‌دهنده دست‌کاری در محصول بوده و از مصرف‌کنندگان در برابر محصولات ناایمن محافظت می‌کنند [۴۹].

۵-۳-۴- نوآوری با محوریت مصرف‌کنندگان

طراحی بسته‌هایی که باز کردن، استفاده و دورریختن آن‌ها آسان‌تر است، تجربه مصرف‌کنندگان را بهبود می‌بخشد[۵۰]. بسته‌بندی در اندازه‌های خاص برای کاهش ضایعات مواد غذایی در سطح مصرف‌کننده درحال‌توسعه هستند[۵۱]. طراحی بسته‌بندی با ویژگی آب‌بندی سبب حفظ تازگی و افزایش عمر مفید محصول می‌شود [۵۲]. برخی از این اقدامات منحصربه‌فرد نیستند و چندین فناوری با هم ترکیب‌شده‌اند که اجرای مداوم آن‌ها سبب کاهش ضایعات، پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی و افزایش امنیت غذایی می‌شود [۵۳].

۵-۴- پیشران‌های فناوری در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی

چندین پیشران کلیدی در فناوری از طریق نوآوری در طراحی و استفاده از مواد، آینده بسته‌بندی را شکل می‌دهند. ۶ مورد از پیشران‌های مهم فناوری در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی به شرح زیر هستند:

۵-۴-۱- نگرانی‌های پایداری زیست‌محیطی

این مورد مهم‌ترین پیشران فناوری در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی است که با افزایش آگاهی جامعه از مسائل زیست‌محیطی، آلودگی‌های پلاستیک و تغییرات آب‌وهوایی، صنعت را مجبور به یافتن جایگزین‌های پایدارتر کرده است[۵۴]. در این راستا، جستجوی مواد تجدیدپذیر و قابل تبدیل به کود برای جایگزینی پلاستیک‌های سنتی بر پایه نفت درحال‌توسعه است[۵۵]. طراحی بسته‌بندی‌هایی که قابل‌بازیافت و استفاده چندین‌باره هستند موردتأکید قرار گرفته‌اند[۵۶]. مقدار مواد مورد استفاده در بسته‌بندی‌ها در حال کاهش هستند [۵۷]. سامانه‌هایی که در آن مواد بسته‌بندی در یک سامانه حلقه بسته مورد بازیابی و استفاده مجدد قرار می‌گیرند در حال کاوش و طراحی هستند [۵۸].

۵-۴-۲- رشد تجارت الکترونیک در صنعت مواد غذایی

تجارت الکترونیک مواد غذایی نیازمند روش‌هایی برای حفاظت از کالاها در حین حمل‌ونقل است، لذا؛ از بسته‌بندی‌های محافظ که دارای بالشتک برای جذب ضربه و جلوگیری از آسیب حین حمل‌ونقل استفاده می‌شود[۵۹]. برای رسیدن به پایداری در تجارت الکترونیک مواد غذایی جایگزین‌های سازگار با محیط‌زیست در حال توسعه هستند [۶۰].

۵-۴-۳- پیشرفت در مواد بسته‌بندی مواد غذایی

در سال‌های اخیر، توسعه مواد بسته‌بندی با ویژگی‌های بهبودیافته، به‌ویژه در زمینه بسته‌بندی هوشمند و فعال، شتاب قابل‌توجهی یافته است[۶۱]. بسته‌بندی هوشمند برای نظارت و کنترل شرایط داخل بسته، با استفاده از حسگرها و شاخص‌های زمان - دما، امکان ردیابی وضعیت محصول و پیشگیری از فساد زودرس را فراهم می‌کند [۴۰]. از سوی دیگر، بسته‌بندی فعال با افزودن مواد خاص مانند: جاذب‌های اکسیژن، رطوبت‌گیرها و ترکیبات ضدمیکروبی، محیط داخلی بسته را بهبود داده و عمر مفید محصول را افزایش می‌دهد [۶۲]. این پیشرفت‌ها علاوه بر کاهش ضایعات مواد غذایی، به ارتقای ایمنی و کیفیت محصولات کمک می‌کنند و نقش مهمی در افزایش امنیت غذایی دارند.

۵-۴-۴- حفظ ایمنی مواد غذایی باقابلیت ردیابی

قابلیت ردیابی سبب اطمینان از حفظ ایمنی مواد غذایی می‌شود. بدین منظور فناوری‌های رادیو شناسه با استفاده از حسگرها برای نظارت و ردیابی شرایط محصولات در سراسر زنجیره تأمین به‌کار گرفته می‌شود [۴۸]. همچنین فناوری بسته‌بندی غیرقابل دست‌کاری، نشان‌دهنده دست‌کاری در محصول است [۴۹].

۵-۴-۵- بهره‌گیری از خودکارسازی و رباتیک در بسته‌بندی مواد غذایی

افزایش خودکارسازی در بسته‌بندی مواد غذایی سبب کاهش هزینه‌ها و خطاهای نیروی کار و بهبود کارایی است. در خطوط بسته‌بندی خودکار ربات‌ها به طور فزاینده‌ای سبب افزایش سرعت و دقت عملیات بسته‌بندی مواد غذایی می‌شوند [۴۶]. استفاده از فناوری کنترل کیفیت مبتنی بر هوش مصنوعی سبب بهبود فرایند کنترل کیفیت و تشخیص عیوب می‌شود [۶۲].

۵-۴-۶- ترجیحات مصرف‌کننده

ترجیحات مصرف‌کننده نقش مهمی را در شکل‌گیری روش‌های بسته‌بندی مواد غذایی دارد. بسته‌بندی آسان و کاربرپسند مطابق با ترجیحات مصرف‌کنندگان ارائه می‌شود[۶۴]. نگرانی‌های مصرف‌کنندگان در مورد محیط‌زیست به شکل‌گیری بسته‌بندی‌های سازگار با محیط‌زیست منجر شده است [۶۵]. ایجاد جذابیت و زیبایی در بسته‌بندی سبب انعکاس تصویر نشان تجاری برای مصرف‌کنندگان می‌شود [۶۶].

۶- نتایج پژوهش

اینترنت بسته‌بندی با استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند کدهای پاسخ سریع، تراشه‌های ارتباط میدان نزدیک و امنیت داده‌ها، ارتباط نشان تجاری را با مصرف‌کنندگان بهبود می‌بخشد. حرکت به سمت گزینه‌های زیست‌تخریب‌پذیر به دلیل اثرات زیست‌محیطی پلاستیک در حال افزایش است. چاپ رایانه‌ای هزینه‌های نیروی کار و روش‌های سنتی را کاهش می‌دهد. خودکارسازی دقت بسته‌بندی را بهبود می‌بخشد، درحالی‌که سامانه‌های هوش مصنوعی کیفیت را تضمین می‌کنند. بسته‌بندی فعال با کنترل مستمر زنجیره تأمین سبب کاهش ضایعات و افزایش عمر مفید مواد غذایی می‌شود. رویدادهای کلیدی در فناوری بسته‌بندی سبب پیشرفت و توسعه این صنعت در سایر کشورها می‌شود. ازآنجایی‌که موضوع این پژوهش، بررسی روندهای فناوری حوزه بسته‌بندی مواد غذایی در آینده امنیت غذایی ایران است و با توجه به اینکه دسترسی به داده‌های هر کشوری نیازمند اطلاعات خاص و دقیق است که حتی با تحقیقات گسترده، به‌دست‌آوردن اطلاعات کاملاً قابل‌اعتماد و به‌روز در مورد این موضوع می‌تواند چالش‌برانگیز باشد، بنابراین؛ ارائه پیشنهادهای خاص برای استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری در صنعت بسته‌بندی

ایران مستلزم شناخت دقیق از محیط نظارتی، دسترسی به فناوری، محدودیت‌های زیرساختی و شیوه‌های صنعتی موجود است. بااین‌حال، می‌توان با درنظرگرفتن چالش‌ها و فرصت‌های موجود در ایران، چند پیشنهاد کلی در قالب بهبودهای فرایندی، توانمندی‌ها و چالش‌های ایران به شرح زیر ارائه داد:

۶-۱- پیشنهادها در راستای بهبودهای فرآیندی

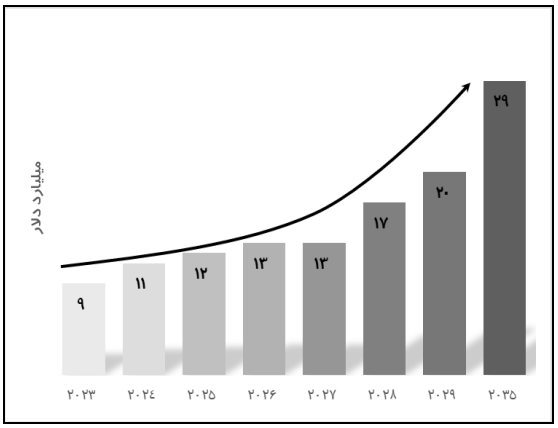
به‌جای تمرکز بر فناوری‌های پیشرفته و گران‌قیمت که ممکن است نیاز به واردات گسترده و تخصصی داشته باشند، می‌توان به‌آسانی فناوری‌هایی را مطابق با توانمندی‌های ایران تهیه و توسعه داد. اسکندری در بررسی خود بر اهمیت هم‌افزایی میان دانشگاه و صنعت در توسعه فناوری‌های نوین بسته‌بندی تأکید می‌کند. وی معتقد است که گذار از بسته‌بندی سنتی به بسته‌بندی هوشمند و زیست‌تخریب‌پذیر، نیازمند سیاست‌گذاری‌های حمایتی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های تحقیقاتی بومی است. از دیدگاه او، تحقق این امر در افق ۱۴۱۵ می‌تواند ضمن کاهش ضایعات، بهره‌وری اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی را در زنجیره تأمین مواد غذایی ایران افزایش دهد [۶۷]. مواردی مانند اجرای خودکارسازی نسبتاً ساده مانند پالت‌بندی کالا، برچسب‌زدن، چاپ رایانه‌ای با زیرساخت‌های موجود و تجهیزات در دسترس نمونه‌ای از این فناوری‌ها است. از طرفی باتوجه‌به منابع موجود در ایران مانند محصولات جانبی کشاورزی می‌توان مواد زیست‌تخریب‌پذیر جایگزین را کاوش و ترویج داد. این مواد سبب کاهش ضایعات ناشی از مصرف مواد مخرب محیط‌زیست شده و پایداری آن را افزایش می‌دهد. همچنین می‌توان روی زیرساخت‌هایی مانند تأمین انرژی از سوخت‌های جایگزین، بهبود دسترسی به اینترنت و پرورش نیروی کار ماهر تمرکز کرد.

۶-۲- روندهای فناوری جهانی، توانمندی‌های ایران و پیشنهادها

برای اینکه درک دقیق‌تری از وضعیت پنج روند اصلی فناوری بسته‌بندی داشته باشیم، لازم بود تصویری کمی از سرعت رشد هر یک فراهم شود. از آنجایی که داده‌های قابل‌اتکا در مورد بازار ایران در این حوزه‌ها محدود، پراکنده و بعضاً ناموجود است، بنابراین در این بخش از گزارش‌های معتبر بین‌المللی استفاده شده است. نمودارهایی که در ادامه آمده‌اند، بر اساس اطلاعات منتشر شده توسط مجموعه‌هایی مانند Grand View Research، Future Market Insights، Mordor Intelligence و Towards Packaging ترسیم شده‌اند. البته باید توجه داشت که این نمودارها بیانگر روند جهانی رشد فناوری‌ها هستند و لزوماً میزان یا سرعت رشد آن‌ها در ایران را نشان نمی‌دهند، اما می‌توانند به ما کمک کنند بفهمیم جهان به کدام سمت در حال حرکت است و کدام حوزه‌ها بیشترین شتاب را دارند. به بیان دیگر، هدف از ارائه این نمودارها مقایسه شدت و جهت حرکت هر فناوری در سطح جهانی است تا بتوان در تحلیل نهایی پژوهش، اهمیت و وزن هر روند را برای آینده امنیت غذایی ایران بهتر ارزیابی کرد.

۶-۳- اینترنت بسته‌بندی

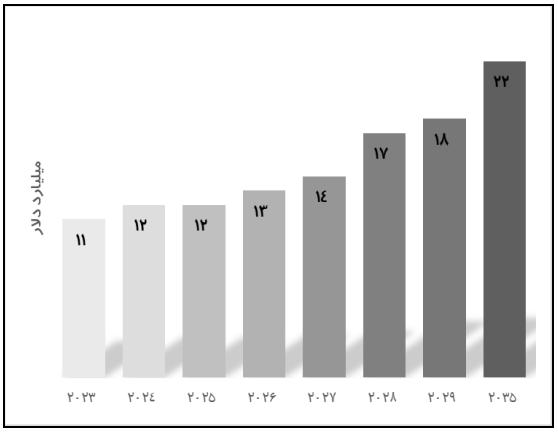
فناوری اینترنت بسته‌بندی نیاز به سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در زیرساخت‌های کشور دارد، لذا؛ می‌توان جنبه‌های خاصی از این فناوری را مانند استفاده از کدهای پاسخ سریع در ردیابی محصول و جمع‌آوری داده‌ها به‌تدریج پیاده‌سازی کردنمودار زیر نشان‌دهنده رشد این فناوری است (نرخ رشد ۸/۲ ٪)(نمودار ۱)



نمودار (۱): نرخ رشد اینترنت بسته بندی [۶۸]

۶-۴- بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر

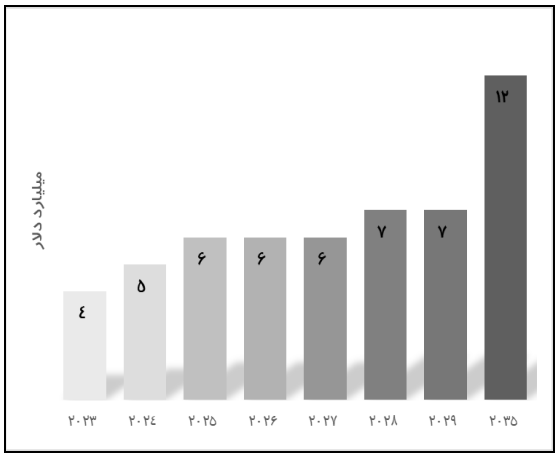
ایران با توجه به مواد محلی موجود دارای توانایی قابل‌توجهی در تحقیق و توسعه مواد جایگزین است. نمودار زیر نشان‌دهنده رشد این فناوری است (نرخ رشد ۶/۱ ٪).(نمودار ۲)



نمودار (۲): نرخ رشد بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر [۶۹]

۶-۵- چاپ رایانه‌ای

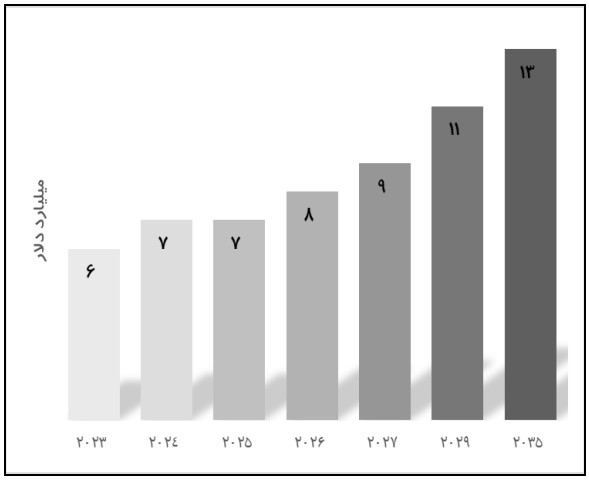
انتخاب تجهیزات سازگار با مهارت‌ها و زیرساخت‌های موجود با توجه به نقش این فناوری در کاهش هزینه‌ها و انعطاف‌پذیری فرایند بسته‌بندی ضروری است. نمودار ۳ نشان‌دهنده رشد این فناوری است (نرخ رشد ۵/۱ ٪).



نمودار (۳): نرخ رشد چاپ دیجیتال [۷۰]

۶-۶- خودکارسازی بسته‌بندی

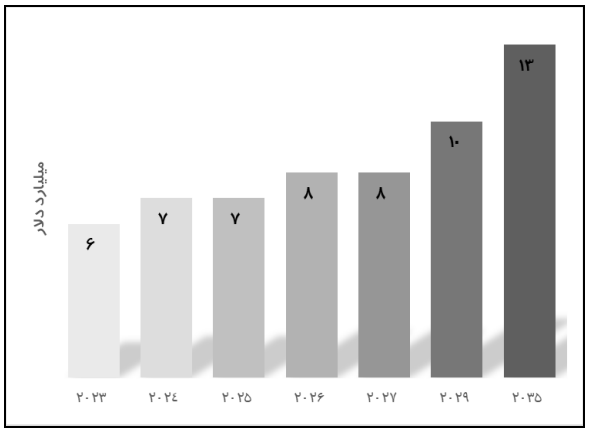
اجرای خودکارسازی ساده، سبب بهبود کارایی شده و زمینه استقرار خودکارسازی پیشرفته‌تر را برای آینده فراهم می‌کند. نمودار ۴ نشان‌دهنده رشد این فناوری است (نرخ رشد ۷/۲۶٪).



نمودار (۴): نرخ رشد خودکارسازی بسته‌بندی [۷۱]

۶-۷- بسته‌بندی فعال

این فناوری پیشرفته نیاز به مواد، دانش تخصصی و توانایی بلندمدت دارد، لذا؛ در ابتدا تمرکز بر روی بهبودهای قابل‌دسترس‌تر در طراحی بسته‌بندی و انتخاب مواد برای افزایش عمر مفید ضروری است. نمودار ۵ نشان‌دهنده رشد این فناوری است (نرخ رشد ۷/۵٪).



نمودار (۵): نرخ رشد بسته‌بندی فعال [۷۲]

۶-۸- چالش‌های موجود در ایران و پیشنهادها

۶-۸-۱- تحریم‌ها و محدودیت‌های واردات

تحریم‌ها و محدودیت‌های واردات یکی از چالش های ایران است که می‌توان با امکان‌سنجی دقیق واردات تجهیزات، مواد و همکاری با کشورهایی که مشمول تحریم‌های تجهیزات یا فناوری نیستند با این چالش مقابله کرد.

۶-۸-۲- شکاف‌های مهارتی

شکاف‌های مهارتی یکی دیگر از چالش‌های ایران است که می‌توان با سرمایه‌گذاری در برنامه‌های آموزشی و پرورش کارگران با مهارت‌های لازم، فناوری‌های جدید را بهره‌برداری و حفظ کرد.

۶-۸-۳- تأمین مالی

تأمین مالی یکی دیگر از چالش‌های ایران است که می‌توان با ایمن‌سازی ساختارهای تأمین مالی مناسب برای ارتقای فناورانه تلاش کرد.

در نهایت در پاسخ به سؤال این پژوهش می‌توان گفت؛ با توجه به بررسی روندهای فناوری در حوزه بسته‌بندی مواد غذایی و تحلیل توانمندی‌ها، فرصت‌ها و محدودیت‌های ایران، مشخص شد که برخی روندها بیشترین تأثیر را بر امنیت غذایی کشور در افق ۱۴۱۵ خواهند داشت. بسته‌بندی هوشمند با بهره‌گیری از اینترنت بسته‌بندی و حسگرهای زیستی نقش کلیدی در ردیابی و اطمینان از ایمنی مواد غذایی ایفا می‌کند و امکان مدیریت بلادرنگ(بی‌وقفه) زنجیره تأمین را فراهم می‌آورد. بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر ضمن کاهش اثرات زیست‌محیطی، قابلیت تولید با مواد محلی و منابع تجدیدپذیر را دارد و پایداری زنجیره تأمین را تقویت می‌کند. چاپ رایانه‌ای و خودکارسازی بسته‌بندی با کاهش هزینه‌ها، بهبود دقت و افزایش بهره‌وری، توان عملیاتی صنایع غذایی را ارتقا می‌دهند. بسته‌بندی

فعال با کنترل محیط داخلی محصول و کاهش ضایعات، بـه افـزایش عمر مفید مواد غذایی و کاهش هدررفت کمک می‌کند، امـا نیازمنـد سرمایه‌گذاری و دانش تخصصی بیشتری است. با توجـه بـه ترکیـب اثرگذاری، قابلیت پیاده‌سازی و دسترسی به منابع، می‌توان رونـدهای فناوری را از نظـر اهمیـت و اولویـت در ایـران بـه‌صـورت جـدول ۷ رتبه‌بندی کرد:

جدول (۷): رتبه‌بندی یافته‌های پژوهش

روند فناوری	اهمیت بر امنیت غذایی	قابلیت پیاده‌سازی در ایران	اثر اقتصادی و محیطی	رتبه نهایی
اینترنت بسته‌بندی	بسیار بالا	متوسط	بالا	۱
بسته‌بندی زیست‌تخریب‌پذیر	بالا	بالا	بسیار بالا	۲
خودکارسازی بسته‌بندی	متوسط	بالا	متوسط	۳
چاپ رایانه‌ای	متوسط	بالا	متوسط	۴
بسته‌بندی فعال	بالا	متوسط	بالا	۵

۷- مراجع

[1] T. Abekoon, J. Smith, و M. Kumar, "A comprehensive review to evaluate the synergy of intelligent food packaging with modern food technology and artificial intelligence field," Discover Sustainability, vol. 5, no. 1, p. 160, 2024. https://doi:10.1007/s43621-024-00371-7

[۲] ر. اکبری و م. نصرالله‌زاده، «ضایعات کشاورزی ایران»، ساینس، ۱۴۰۱، جلد ۳۷۵، شماره ۶۵۸۴، ص. ۹۸۴–۹۸۵، ۱۴۰۱
. https://doi.org/10.1126/science.abn9765

[3] A. Rauoof, A. Rather, S. Padder, T. Rehman, S. Baba, N. Sharma, M. Mubarak, A. Husain, S. K. Singh Khan، و A. Shoukat, "New insights in food security and environmental sustainability through waste food management," Environmental Science and Pollution Research, pp. 1–23, 2023, https://doi.org/10.1007/s11356-023-26462-y

[4] K. R. Dörnyei, L. Zhang, و P. Kumar, "Sustainable food packaging: An updated definition following a holistic approach," Frontiers in Sustainable Food Systems, vol. 7, p. 1119052, 2023. https://doi:10.3389/fsufs.2023.1119052

[5] M. Mesci, A. Yilmaz, و R. Patel, "The Impact of Technology on Food Waste: Smart Packaging," Akademik Gida, pp. 51–56, 2024. https://www.akademikgida.com

[6] A. El Guerraf, B. Singh, و C. Martin, "Smart conducting polymer innovations for sustainable and safe food packaging technologies," Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, vol. 23, no. 6, p. e70045, 2024. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13070

[۷] ع. علی احمدی، ف. ثقفی، و م. فتحیان، «ارائـه متـدولوژی تحلیـل رونـد بـرای شکل‌گیری استراتژی و آینده‌نگاری»، مدیریت فردا، شماره ۵، ۱۳۸۶
. https://ensani.ir/fa/article/20546

[۸] م. فخرایی و کیقبادی، نگاهی به روش‌های آینده‌پژوهی، تهران: آینده‌پژوه، چاپ ۱، ۱۳۹۳.

[۹] ر. اسلاتر و همکاران، نواندیشی برای هزاره نـوین: مفـاهیم، روش‌هـا و ایـده‌هـای آینده‌پژوهی، ترجمه عقیل ملکی‌فر، س. ا. ابراهیمی و و. وحیدی مطلق، تهران: مرکـز آینده‌پژوهی علوم و فناوری دفاعی - مؤسسه آموزشـی و تحقیقـاتی صـنایع دفـاعی، ۱۳۸۸.

[۱۰] ع.ا. عباسی، ح. ساکن، و م. بهرامی، "تحلیل تأثیر روند در آینده‌پژوهی،" سومین همایش ملی آینده‌پژوهی، تهران، ۱۳۹۳. ص ۱-۸.
https://www.sid.ir/paper/2801393

[11] E. Cornish, Futuring: The Exploration of the Future, USA: The World Future Society, 2004.

[12] Uribe, J. Martinez, و F. Gomez, "Ecuador y Bolivia Son Casos Excepcionales En Reducción de Inseguridad Alimentaria En La Región," Social Indicators Research, vol. 95, no. 1, pp. 215–230, 2010. https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-009-9555-6

[13] D. E. Nye, "Can We Define 'Technology'?," in Writing in a Technological World, pp. 57–67, Routledge, 2019.

[14] K. Michael, L. Brown, و A. Thomas, "Dealing with technological trajectories: Where we have come from and where we are going," IEEE Transactions on Technology and Society, vol. 1, no. 1, pp. 2–7, 2020. https://doi.org/10.1109/TTS.2020.2993898

[15] N. C. Saha, "Food packaging: concepts and its significance," in Food Packaging: Materials, Techniques and Environmental Issues, pp. 1–45, Springer Nature Singapore, 2022.

[16] E. Drago, M. Rossi, و S. Liu, "Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review," Foods, vol. 9, no. 11, p. 1628, 2020. https://doi.org/10.3390/foods9111628

[17] P. R. Salgado, F. Almeida, و R. Singh, "Recent developments in smart food packaging focused on biobased and biodegradable polymers," Frontiers in Sustainable Food Systems, vol. 5, p. 630393, 2021. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.630393

[18] M. Azadfar, S. Hosseini, و K. Rahimi, "Using Nanotechnology in Food Production: Ensuring Food Security Development in Iran," Journal of Agricultural Science and Technology, vol. 24, no. 6, pp. 1331–1343, 2022. https://jast.modares.ac.ir

[19] J. S. Tumuluru, Ed., Food Processing and Packaging Technologies: Recent Advances, 2023.

[20] M. Habib, A. Kumar و S. Patel, "Emerging trends in food packaging," in Biodegradable and Edible Food Packaging, pp. 435–476, 2024.

[۲۱] ف. بیانلو، «کاربرد پلاسمای سرد در بسته‌بندی مواد غذایی»، فصـلنامه علـوم و فنون بسته‌بندی، جلد ۱، شماره ۱، ص. ۱۵-۲۱، ۱۴۰۰
. https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=190

[۲۲] ع. پدرام و م. احمدیان، آموزه‌ها و آزموده‌های آینده‌پژوهی، تهران: افق راهبردی، چاپ ۱، ۱۳۹۴.

[23] R. Kumar و K. N. Bairwa, "A Review: Aeronautical Components and Systems Should have their Weight Reduced throughout the Design Process," Int. J. Adv. Eng. Manag. Sci., vol. 9, no. 3, 2023 http://ijaems.com

[۲۴] م. حاجی‌غفارلو، «بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی: معرفی، مطالعه امکان‌سنجی و کاربردهای آن در صنعت غذا»، فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، جلد ۱، شماره ۲، ص. ۲۱-۳۴، ۱۴۰۰. https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=200

[25] A. Panou و I. K. Karabagias, "Biodegradable Packaging Materials for Foods Preservation: Sources, Advantages, Limitations, and Future Perspectives," Coatings, vol. 13, no. 7, p. 1176, 2023. https://doi.org/10.3390/coatings13071176

[26] K. Meng و F. Liu, "Application of 3D Digital Image Processing Technology in Modern Packaging Design," Advances in Multimedia, 2022, Art. 101. https://doi.org/10.1155/2022/1234567

[27] T. Ncube, S. Moyo، و J. Dlamini, "Environmental Impact of Food Packaging Materials: A Review of Contemporary Development from

[43] R. Pant, P. Sharma و S. Gupta, "Sustainable Packaging Design using Life Cycle Thinking," in E3S Web of Conf., vol. 581, p. 01034, EDP Sciences, 2024. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458101034

[44] S. K. Lodhi, M. R. Khan، و T. Singh, "3D Printing Techniques: Transforming Manufacturing with Precision and Sustainability," Int. J. Multidiscip. Sci. Arts, vol. 3, no. 3, pp. 129–138, 2024 https://doi.org/10.3390/polym15061485

[45] F. Yuan, H. Li و J. Zhang, "Design of an Intelligent Packaging and Warehousing System Based on PLC and Industrial Robots," in 2024 4th Int. Conf. Mach. Learn. Intell. Syst. Eng. (MLISE), pp. 379–382, IEEE, June 2024. https://doi.org/10.1109/MLISE57849.2024.00341

[46] I. Kustiyawan, M. Rahman Roestan و C. Riani, "Automated Packaging Machine Analysis with The Overall Equipment Efficiency Method," International Journal of Industrial Engineering & Production Research, vol. 34, no. 4, Dec. 2023. https://www.ijiepr.com

[47] H. Xu, J. Wang، و P. Li, "RF-Ray: Sensing objects in the package via RFID systems," IEEE Syst. J., vol. 17, no. 1, pp. 558–568, 2022. https://doi.org/10.1109/JSYST.2022.3145678

[48] Z. Kakimova, A. Novak، و L. Horvath, "Advancements in nano bio sensors for food quality and safety assurance—a review," Slovak J. Food Sci./Potravinarstvo, vol. 17, no. 1, 2023. http://potravinarstvo.com

[49] I. Steinkamp, J. Müller و S. Becker, "U.S. Patent No. 11,827,438," Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2023. https://patents.google.com/patent/US11827438

[50] A. Rossa-Sierra, M. Lopez، و F. Hernandez, "Food Packaging Design that Reduce Consumer-Generated Waste," Ergonomics in Design, vol. 47, pp. 241–247, 2022. https://doi.org/10.1177/10648046221095489

[51] L. M. Raippalinna, "Food Waste Reduction: Political Consumerism and Tactics of Resisting Consumerist Overflow," Ethnologia Scandinavica, vol. 53, 2023. https://doi.org/10.16993/es.102

[52] K. T. Lee, "Shelf-life extension of fresh and processed meat products by various packaging applications," Korean J. Packag. Sci. Technol., vol. 24, no. 2, pp. 57–64, 2018. http://kjpst.or.kr

[53] S. Balamurugan, R. Kumar، و V. Sharma, "IoT-Blockchain driven traceability techniques for improved safety measures in food supply chain," Int. J. Inf. Technol., vol. 14, no. 2, pp. 1087–1098, 2022. https://doi.org/10.1007/s41870-021-00843-0

[54] Ncube, T. Mwangi، و P. Chirwa, "Environmental Impact of Food Packaging Materials: A Review of Contemporary Development from Conventional Plastics to Polylactic Acid Based Materials," Materials, vol. 13, no. 21, p. 4994, 2020. https://doi.org/10.3390/ma13214994

[55] M. V. Khumalo و S. Muniyasamy, "Bioplastics: Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview," in Biodegradable Polymers, Blends and Biocomposites, pp. 26–68, 2024.

[56] B. Yalçın Özkan, N. Ulutaş, E. Uslu, M. Kulalı، و Ö. Tekin, "A Review of The Recyclable Packaging Design in Flexible Packaging Industry," International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling, vol. 6, no. 3, pp. 128–135, 2023. http://ijepeom.org

[57] D. Kumar, S. Patel و R. Singh, "Biosorption of malachite green dye by mycomass and phytomass influence by industrial effluent heavy metals," Invited/Lead Papers. https://www.researchgate.net/publication/336915696

[58] A. Tenhunen-Lunkka, P. Salonen، و M. Virtanen, "Implementing a circular business model for reusable packaging: Multidisciplinary learnings from reusable pizza packaging," Sustain. Prod. Consum., vol. 48, pp. 62–83, 2024. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.01.007

[59] P. Yin, R. Zhang، و S. Li, "Enhanced Foam Package Design for Drop/Impact Using Accurate Predictive Simulation," IEEE Trans. Conventional Plastics to Polylactic Acid Based Materials," Materials, vol. 13, no. 21, p. 4994, 2020. https://doi.org/10.3390/ma13214994

[۲۸] س. اکبری، «مروری بر بسته‌بندی‌های فعال دربردارنده ترکیبات زداینده»، فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، جلد ۲، شماره ۲، ص. ۳۹-۴۵، ۱۴۰۲. https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=220

[29] J. García-Arca, F. López، و M. Pérez, "Packaging design for competitiveness. Contextualizing the search and adoption of changes from a sustainable supply chain perspective," Int. J. Prod. Manag. Eng., vol. 10, no. 2, pp. 115–130, 2022. https://revistas.um.es/ijpm/article/view/ijpm.10.2.21423

[30] PACK EXPO International 2024, "PACK EXPO International 2024 Opens as the Largest Show in Its History, Spotlighting Industry Growth, Innovation, and Sustainability," Chicago, IL, USA, Nov. 3–6, 2024 .https://www.packexpointernational.com

[31] J. Yang, L. Chen، و H. Tan, "Special Section on InterPACK2021," J. Electron. Package., vol. 145, no. 1, p. 010301, 2023. https://doi.org/10.1115/1.4056661

[32] Adsale Exhibition Services Ltd., "CHINAPLAS 2025: Asia's Leading Plastics and Rubber Expo," Shenzhen World Exhibition & Convention Center (Bao'an), Guangdong, China, Apr. 15–18, 2025. [Online]. Available:https://www.chinaplasonline.com/eng (Accessed: Nov. 9, 2025)

[33] Z. Qin, Y. Wang، و X. Li, "Food packaging for ripening and preserving banana based on ethylene-loaded nanofiber films deposited with nanosized cyclodextrin metal-organic frameworks and TiO2 nanoparticles," Food Packag. Shelf Life, vol. 45, p. 101332, 2024. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101332

[34] R. Rachmawati, S. Putri، و H. Santoso, "Pemberdayaan Umkm Kerupuk Singkong Melaui Pembinaan Ekewirausahaan Dan Peningkatan Kesadaran Hukum Perlindungan Konsumn," J. Abdimas Bina Bangsa, vol. 5, no. 1, pp. 124–131, 2024. https://journal.binabangsa.ac.id

[35] N. Saud, A. Khan و M. Ali, "International Conference on Electronic and Advanced Materials 2021," in J. Phys.: Conf. Ser., vol. 2169, no. 1, p. 011001, IOP Publishing, 2022. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2169/1/011001

[36] M. Saputra, R. Wibowo، و L. Hartono, "Digitization and Packaging Innovation Training on SME Rumah Kita," Soeropati: J. Community Serv., vol. 5, no. 1, pp. 23–31, 2022. https://journal.soeropati.ac.id

[37] H. S. Samuel, A. Kumar، و F. Tan, "Biodegradable, Recyclable, and Renewable Polymers as Alternatives to Traditional Petroleum-based Plastics," Asian J. Environ. Res., vol. 1, no. 3, pp. 152–165, 2024. https://asianjer.org

[38] A. Phillips و M. Sen, "Edible Material as a Sustainable Eco-Friendly Option of Food Packaging," Food Coatings and Preservation Technologies, pp. 447–483, 2024.

[39] H. Du, J. Li، و X. Chen, "A review on smart active packaging systems for food preservation: Applications and future trends," Trends Food Sci. Technol., p. 104200, 2023. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104200

[40] X. Zhang, Y. Liu، و H. Wang, "Synergistically improved oxygen barrier properties of polyethylene terephthalate by combining 'active' and 'passive' barrier techniques," Macromol. Mater. Eng., vol. 307, no. 5, p. 2100847, 2022. https://doi.org/10.1002/mame.202100847

[41] Q. Ding و H. Zhu, "The key to solving plastic packaging wastes: Design for recycling and recycling technology," Polymers, vol. 15, no. 6, p. 1485, 2023. https://doi.org/10.3390/polym15061485

[42] J. Zambujal-Oliveira و C. Fernandes, "The contribution of sustainable packaging to the circular food supply chain," Packag. Technol. Sci., vol. 37, no. 5, pp. 443–456, 2024. https://doi.org/10.1002/pts.2679

Compon., Packag., Manuf. Technol., vol. 13, no. 5, pp. 638–645, 2023. https://doi.org/10.1109/TCPMT.2023.3281234
[60] B. Frommeyer, L. Schmidt، و T. Weber, "Recycled or reusable: A multi-method assessment of eco-friendly packaging in online retail," J. Ind. Ecol., vol. 28, no. 1, pp. 100–115, 2024. https://doi.org/10.1111/jiec.12312
[61] G. Behera, P. Sharma، و R. Kumar, "Advancements in Edible Electronics and Robotics for Smart Food Packaging Processes," in Edible Electronics for Smart Technology Solutions, pp. 167–196, IGI Global, 2025.
[62] P. Chidre, A. Patel، و R. Sharma, "Nanomaterials: Potential broad spectrum antimicrobial agents," Curr. Nanomater., vol. 8, no. 4, pp. 319–327, 2023. https://doi.org/10.2174/2210681211666230222112913
[63] K. Poojashree, M. Sen، و S. Patel, "A Comparative Study and Analysis on ML Algorithm for Defective Package Detection System With Quantum Networking Integration," in Quantum Networks and Their Applications in AI, pp. 80–97, IGI Global, 2024.
[64] M. Roy, S. Singh، و P. Verma, "How does product packaging features influence the purchase decision of young adult?," Psikoislamika: J. Psikol. dan Psikol. Islam, vol. 20, no. 1, pp. 506–515, 2023. https://journal.psikoislamika.ac.id
[65] F. Akbarina and S. Muslim, "Digital-Based Green Marketing Strategy and Its Impact on Consumer Loyalty for Environmentally Friendly Products (Biodegradable Detergent)," J. Ilmiah Edunomika, vol. 8, no. 4, 2024. https://edunomika.journals.unimus.ac.id
[66] G. Muthusamy, R. Kumar، و L. Singh, "Analyzing Irrational Purchase Decision on Aesthetic Packaging: The Moderating Role of Emotional Appeal," Int. J. Art Des., vol. 8, no. 2/SI, p. 88, 2024. https://ijad.org
[۶۷] م. اسکندری، «مروری بر توسعه صنعت بسته‌بندی مواد غذایی و روش‌های نوین آن»، فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، جلد ۲، شماره ۱، ص. ۵۱-۶۰، ۱۴۰۲.
https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=210
[68] Grand View Research, "Internet of Packaging Market Size, Share & Trends Analysis Report," 2025. [Online]. Available: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/internet-of-packaging-market-report
[69] Future Market Insights, "Biodegradable Packaging Market Size and Share Forecast Outlook 2025 to 2035," 2025. [Online]. Available: https://www.futuremarketinsights.com/reports/biodegradable-packaging-market
[70] Future Market Insights, "Digital Printing Packaging Market Trends, Growth, Forecast 2025 to 2035," 2025. [Online]. Available: https://www.futuremarketinsights.com/reports/digital-printing-for-packaging-market
[71] Mordor Intelligence, "Packaging Automation Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts," 2025. [Online]. Available: https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/packaging-automation-market-industry
[72] Towards Packaging, "Active Packaging Market Driven by 7.5% CAGR (2025–34)," 2025. [Online]. Available: https://www.towardspackaging.com/insights/active-packaging-market
[73] R. Akbari and M. Nasrollahzadeh, "Agricultural Waste in Iran," Science, vol. 375, no. 6584, pp. 984–985, 2022. (in Persian) https://doi.org/10.1126/science.abn9765
[74] A. Ali Ahmadi, F. Seghofi, and M. Fathian, "Providing a trend analysis methodology for strategy formation and foresight," Modiriat Farda, no. 5, 2007. (in Persian). https://ensani.ir/fa/article/20546
[75] M. Fakhrayi and K. Kiqbadi, A Look at Foresight Methods, Tehran: Ayandeh-Pajouh, 2014. (in Persian)
[76] R. Slater et al., Foresight for the New Millennium: Concepts, Methods, and Foresight Ideas, translated by A. Malekifar, S. A. Ebrahimi, and V. Vahidi Motlagh, Tehran: Center for Foresight in Defense Science and Technology - Educational and Research Institute of Defense Industries, 2009. (in Persian)
[77] A. A. Abbasi, H. Saken, and M. Bahrami, "Trend impact analysis in foresight," 3rd National Foresight Conference, Tehran, 2014. [Online]. Available: https://www.sid.ir/paper/2801393, pp. 1–8. (in Persian) https://www.sid.ir/paper/2801393
[78] F. Bayenlu, "Application of cold plasma in food packaging," Journal of Packaging Science and Technology, vol. 1, no. 1, pp. 15–21, 2021. (in Persian).
https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=190
[79] A. Pedram and M. Ahmadian, Teachings and Experiments in Foresight, Tehran: Ofogh Rahbordi, 2015. (in Persian)
[80] M. Hajighafarlo, "Smart food packaging: Introduction, feasibility study, and applications in the food industry," Journal of Packaging Science and Technology, vol. 1, no. 2, pp. 21–34, 2021. (in Persian)
https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=200
[81] S. Akbari, "A review of active packaging containing scavenging compounds," Journal of Packaging Science and Technology, vol. 2, no. 2, pp. 39–45, 2023. (in Persian)
https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=220
[82] M. Eskandari, "A review of the development of the food packaging industry and its modern methods," Journal of Packaging Science and Technology, vol. 2, no. 1, pp. 51–60, 2023. (in Persian)
https://packaging.ihu.ac.ir/?page_id=210