دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

Central Tehran Branch, Islamic Azad University

فرم پیشنهاد تحقیق

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد

عنوان تحقیق به فارسی:

طراحی بسته بندی تعاملی هوشمند در ارتباط تصویری با تمرکز بر پایداری،تجربه کاربر و افزایش چرخه عمر بسته بندی

نام دانشجو: **دانشکده:**

نام خانوادگی دانشجو: **گروه تخصصی:**

رشته تحصیلی: **گرایش:**

نیمسال ورود به مقطع جاری: **نیمسال شروع به تحصیل:**

نام و نام خانوادگی استاد راهنما: **نام و نام خانوادگی استاد مشاور:**

۱- ۱-

موارد حائز اهمیت در تکمیل پیشنهاده تحقیق (پروپوزال)

۱) این پیشنهاده تنها در صورتی در گروه و شورای پژوهشی قابل طرح است که قبل از طرح، در سامانه پژوهشیار به تایید استاد/اساتید راهنما و مشاور رسیده و به ترتیب به گروه تخصصی و شورای پژوهشی دانشکده ارسال شده باشد.

۲) فاصله تاریخ تصویب پیشنهاده در شورای گروه تخصصی با تاریخ تصویب در شورای پژوهش دانشکده نباید بیش از ۱۵ روز باشد.

۳) فاصله تاریخ تصویب پیشنهاده در شورای پژوهشی دانشکده و ارسال پیشنهاده به معاونت پژوهش و فناوری واحد نباید بیش از ۱۵ روز باشد.

۴) دانشجو ملزم است از طریق سامانه پژوهشیار، تمامی مراحل ثبت پیشنهاده را تا زمان تایید معاون پژوهش و فناوری پیگیری نماید. در صورت عدم پیگیری مسئولیت رد پیشنهاده در هر یک از مراحل ارزیابی به عهده دانشجوست و تاخیر در زمان تصویب و دفاع متوجه واحد نخواهد بود.

۵) با توجه به اینکه پرداخت کمک هزینه های رساله/ پایان نامه ها مربوط به فعالیتهای آزمایشگاهی و کارگاهی منوط به تکمیل جدول بند ۷- استفاده از امکانات آزمایشگاهی واحد و تجهیزات و مواد مورد نیاز - می باشد، لازم است این بخش تکمیل گردد.

6) دانشجویانی که متقاضی کد اخلاق می باشند ضمن مطالعه و تکمیل بند ۸ پیشنهاده، به محض تصویب پیشنهاده درگروه تخصصی، مدارک مندرج در سایت معاونت پژوهشی را تهیه و به کمیته اخلاق دانشگاه ارسال نمایند.

توجه: لطفاً این فرم با مساعدت و هدایت استاد راهنما تکمیل شود.

۱- اطلاعات مربوط به دانشجو:

نام: .....نام خانوادگی: .....شماره دانشجویی:.....
مقطع:.....رشته تحصیلی: .....گروه تخصصی:.....
گرایش:.....نام‌دانشکده:.....سال ورود به مقطع جاری: ..... نیمسال ورودی:.....
آدرس پستی در تهران.....
تلفن ثابت محل سکونت: ..... تلفن همراه:..... پست الکترونیک:.....
آدرس پستی در شهرستان:.....
تلفن ثابت محل سکونت: .....تلفن محل کار: ..... دورنگار:.....

۲- اطلاعات مربوط به استادان راهنما و مشاور:

- دانشجویان دوره کارشناسی ارشد می‌توانند یک استاد راهنما و یک استاد مشاور انتخاب نمایند.
- در صورتی که استادان راهنما و مشاور مدعو باشند، لازم است سوابق تحصیلی، آموزشی و پژوهشی و همچنین آخرین حکم کارگزینی (حکم هیأت علمی) ضمیمه گردد.
- استادان راهنما و مشاور موظف هستند قبل از پذیرش پیشنهاده، به سقف ظرفیت خود در سامانه پژوهشیار توجه نموده و در صورت تکمیل بودن ظرفیت پذیرش، از در نوبت قراردادن و ایجاد وقفه در کار دانشجویان پرهیز نمایند.

اطلاعات مربوط به استاد راهنما:

☐ دانشگاهی

نام و نام خانوادگی..... آخرین مدرک تحصیلی:.....

☐ حوزوی

عضو هیأت علمی دانشگاه: .....

تخصص اصلی: ..... رتبه دانشگاهی (مرتبه علمی): تلفن همراه: .....

تلفن منزل یا محل کار:..... نام و نام خانوادگی به زبان انگلیسی: .....

نحوه همکاری با واحد:

☐ تمام وقت ☐ نیمه وقت ☐ مدعو یا وابسته

اطلاعات مربوط به استاد مشاور:

☐ دانشگاهی

نام و نام خانوادگی..... آخرین مدرک تحصیلی:.....

☐ حوزوی

عضو هیأت علمی دانشگاه .....

تخصص اصلی:..... رتبه دانشگاهی (مرتبه علمی): ..... تلفن همراه: .....

تلفن منزل یا محل کار:..... نام و نام خانوادگی به زبان انگلیسی: .....

نحوه همکاری با واحد:

☐ تمام وقت ☐ نیمه وقت ☐ مدعو یا وابسته

۳- اطلاعات مربوط به پیشنهاده:

الف- عنوان تحقیق

- عنوان به زبان فارسی:

طراحی بسته بندی تعاملی هوشمند در ارتباط تصویری با تمرکز بر پایداری،تجربه کاربر و افزایش چرخه عمر بسته بندی

- عنوان به زبان انگلیسی(آلمانی، فرانسه، عربی):

تذکر: صرفاً دانشجویان رشته‌های زبان آلمانی، فرانسه و عربی مجازند عنوان پیشنهاده خود را به زبان مربوطه در این بخش درج نمایند و برای بقیه دانشجویان، عنوان باید به زبان انگلیسی ذکر شود.

Design of Intelligent Interactive Packaging in Visual Communication with a Focus on Sustainability, User Experience, and Extending the Packaging Life Cycle

ب- تعداد واحد پایان‌نامه:

پ- بیان مسأله اساسی تحقیق به طور کلی (شامل تشریح مسأله و معرفی آن، بیان جنبه‌های مجهول و مبهم، بیان متغیرهای مربوطه):

بسته‌بندی به‌مثابه یکی از کانونی‌ترین رسانه‌های ارتباطات بصری، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به نحوه ادراک، تفسیر و تعامل کاربران با محصولات در نقاط متعدد زندگی روزمره آنان ایفا می‌کند. بسته‌بندی فراتر از کارکردهای حفاظت و نگهداری محصول، هویت برند، دستورالعمل‌های مصرف، و به‌طور فزاینده روایت‌های پیچیده‌تر مرتبط با مسئولیت‌پذیری اجتماعی و زیست‌محیطی را منتقل می‌کند. در سال‌های اخیر، تحولات فناوری‌های هوشمند و تعاملی، بسته‌بندی را از سطحی ایستا به واسطی پویا تبدیل کرده‌اند که می‌تواند به ورودی کاربر پاسخ دهد، به محیط‌های دیجیتال متصل شود، یا محتوای ارتباطی خود را در گذر زمان تطبیق دهد. چنین «بسته‌بندی هوشمندِ تعاملی» این ظرفیت را دارد که تجربه کاربر را پیش از خرید، در نقطه فروش، هنگام استفاده، و حتی پس از مصرف محصول میانجی‌گری کند. بااین‌حال، ادغام قابلیت‌های تعاملی در بسیاری از نمونه‌ها عمدتاً تحت تأثیر نوآوری‌های تبلیغاتی یا آزمون‌وخطای فناورانه پیش می‌رود، نه بر مبنای یک چشم‌انداز طراحی منسجم. ازاین‌رو، ضرورت دارد بسته‌بندی هوشمند تعاملی به‌عنوان یک نظام ارتباطی و تجربه‌محور مفهوم‌پردازی شود؛ نظامی که پیوند میان محصول، کاربر و محیط را به‌صورت آگاهانه‌تر، هدفمندتر و پایدارتر برقرار کند.

با وجود گسترش عناصر هوشمند و تعاملی در بسته‌بندی، همچنان درباره چگونگی طراحی این ویژگی‌ها برای پشتیبانی هم‌زمان از پایداری و تجربه کاربری در سراسر چرخه عمر بسته‌بندی، شفافیت کافی وجود ندارد. هنوز روشن نیست که اشکال کنونی تعامل‌پذیری، صرفاً در لحظه خرید و درگیری کوتاه‌مدت با محصول مؤثرند یا می‌توانند به ایجاد رابطه‌ای بلندمدت‌تر بین کاربر و بسته‌بندی منجر شوند؛ رابطه‌ای که در قالب نگهداشت، استفاده مجدد، بازکاربرد (کاربری مجدد) یا دفع مسئولانه بسته‌بندی تحقق یابد. همچنین این پرسش پابرجاست که کدام گونه‌های تعامل—از گرافیک‌های قابل اسکن ساده تا فناوری‌های تعبیه‌شده پیچیده‌تر—به‌طور معنادار به فهم کاربران از پیامدهای زیست‌محیطی و افزایش تمایل آنان به اتخاذ رفتارهای پایدار کمک می‌کنند. هم‌زمان، در عمل طراحی موجود، هم‌کنشی میان ارتباطات بصری، سازوکارهای تعاملی، ارزش ادراک‌شده و پیامدهای محیط‌زیستی به‌صورت نظام‌مند تبیین نشده است. در نتیجه، طراحان ممکن است جذابیت بصری، تمایز برند یا جلوه‌گری فناوری را در اولویت قرار دهند، بی‌آنکه چارچوبی روشن برای درک اثر این انتخاب‌ها بر تداوم استفاده از بسته‌بندی و ردپای نهایی آن بر محیط‌زیست در اختیار داشته باشند. این فقدان فهم یکپارچه، هم در سطح مفهومی و هم در سطح عملی، موجب ابهام در تعیین این می‌شود که در توسعه بسته‌بندی هوشمند تعاملیِ معطوف به افزایش طول چرخه عمر بسته‌بندی، کدام پارامترهای طراحی باید در اولویت قرار گیرند.

پژوهش حاضر به‌طور مستقیم به این ابهام‌ها می‌پردازد و بررسی می‌کند که بسته‌بندی هوشمند تعاملی چگونه می‌تواند به‌صورت راهبردی، به‌عنوان یک نظام ارتباطات بصری طراحی شود تا پایداری و تجربه کاربری را در امتداد چرخه عمرِ گسترش‌یافته بسته‌بندی پشتیبانی کند. تمرکز مطالعه بر عناصر ارتباطی و تعاملی‌ای است که می‌توانند کاربران را به نگهداشت، استفاده مجدد، یا سایر اشکال درگیری با بسته‌بندی فراتر از لحظه خرید و گشودن بسته ترغیب کنند. این پژوهش می‌کوشد روابط میان راهبردهای بصری، شیوه‌های تعامل، ادراکات

کاربر و پیامدهای رفتاری مرتبط با تداوم تعامل با بسته‌بندی را صورت‌بندی و تبیین کند. بر این اساس، هدف آن تدوین یک چارچوب طراحی‌محور است که بتواند طراحان گرافیک و متخصصان بسته‌بندی را در خلق راه‌حل‌های بسته‌بندی هوشمند تعاملی هدایت کند؛ راه‌حل‌هایی که نوآوری فناورانه را با مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی و تجربه کاربری معنادار همسو می‌سازند. بنابراین، پرسش محوری پژوهش چنین صورت‌بندی می‌شود: بسته‌بندی هوشمند تعاملی در حوزه ارتباطات بصری چگونه می‌تواند طراحی شود تا با گسترش چرخه عمر بسته‌بندی، تجربه کاربر را بهبود دهد و پایداری را تقویت کند؟ طرح مسئله به این صورت، پروژه را به‌عنوان سهمی در گفتمان نظری و نیز در عمل حرفه‌ای طراحی ارتباطات بصری تثبیت می‌کند و مبنایی ساختاریافته برای مطالعات تجربی بعدی و مداخلات طراحیِ کاربردی فراهم می‌آورد.

ت- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق:

بسته‌بندی به یکی از عرصه‌های محوریِ تلاقیِ انتظارات پایداری، ارتباطات بازاریابی و کارکردهای عملکردی محصول تبدیل شده است، در حالی که اصطلاحات و صورت‌بندی‌های مفهومی موجود هنوز تنها بخشی از گستره نقش آن را در توسعه پایدار تبیین می‌کنند (لینده و همکاران ۲۰۱۶). بسته‌بندی به‌عنوان اصلی‌ترین رابط بصری میان محصول و کاربر، ناگزیر است به‌صورت هم‌زمان هویت برند، اطلاعات مصرف و اعتبارنامه‌های زیست‌محیطی را از طریق ویژگی‌های گرافیکی و ساختاری خود انتقال دهد. مرور نظام‌مند ادبیاتِ طراحی بسته‌بندی پایدار از منظر مصرف‌کننده نشان می‌دهد که بسیاری از برندها ادعاهای پایداری را بر بسته‌بندی درج می‌کنند، اما انتخاب مواد و راهبردهای چرخه‌عمر را به‌طور کامل با این پیام‌ها همسو نمی‌سازند و همین ناهمخوانی می‌تواند به شکل‌گیری ادراکات متناقض در کاربران بینجامد (برانکا و همکاران ۲۰۲۴). پژوهش‌های مکمل درباره راهبردهای بسته‌بندی چرخشی در بخش لوازم آرایشی نیز نشان می‌دهد که مداخلات طراحی به‌ندرت ارتباطات، چرخش‌پذیری مواد و مشارکت کاربر را به‌صورت کل‌نگر در سراسر چرخه عمر بسته‌بندی یکپارچه می‌کنند (کستنر و همکاران ۲۰۲۳). افزون بر این، یک ترکیب‌پژوهی مبتنی بر چارچوب «محرک-ارگانیسم-پاسخ» در پژوهش‌های بسته‌بندی پایدار، از پراکندگی چشمگیر در نحوه نظریه‌پردازیِ محرک‌های بصری و ساختاری، از جمله عناصر بالقوه هوشمند و تعاملی، در ارتباط با پاسخ‌های کاربر و رفتارهای بلندمدت پرده برمی‌دارد و ضرورت مدل‌های یکپارچه‌ای را برجسته می‌سازد که ارتباطات بصری را به پیامدهای پایداری پیوند دهند (قییمالی‌اوغلو و همکاران ۲۰۲۴).

شتاب در توسعه فناوری‌های بسته‌بندی هوشمند و هوشمندساز، پیچیدگی این چشم‌انداز را افزایش داده است. مرورهای فنی درباره مفاهیم و کاربردهای بسته‌بندی هوشمند نشان می‌دهند که شاخص‌های تعبیه‌شده، حسگرها و کارکردهای ارتباطی می‌توانند پایش کیفیت غذا، ایمنی و شفافیت زنجیره تأمین را بهبود دهند، اما هم‌زمان لایه‌های جدیدی از مواد و فناوری را به نظام بسته‌بندی می‌افزایند (چن و همکاران ۲۰۲۰). پژوهش‌های مرتبط با شاخص‌های مبتنی بر رنگ‌دانه‌های طبیعی نیز نشان می‌دهند که مواد پاسخ‌گو می‌توانند تازگی یا فساد را به‌صورت بصری و وابسته به زمان اطلاع‌رسانی کنند و بدین‌ترتیب نقش ارتباطی بسته‌بندی را به تعامل فعال با کاربر تبدیل سازند (پریادارشی و همکاران ۲۰۲۱). بااین‌حال، مرورهای جامع فناوری‌های بسته‌بندی هوشمند تأکید می‌کنند که این نوآوری‌ها غالباً عمدتاً با معیارهای فنی یا ایمنی غذایی ارزیابی

می‌شوند و سنجش نظام‌مندِ ردپای زیست‌محیطی، بازیافت‌پذیری و پیامدهای آن‌ها برای چرخشی‌سازی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد (داویدسکو و همکاران ۲۰۲۵). در نتیجه، تبیین این‌که تحت چه شرایطی کارکردهای هوشمند واقعاً از پایداری پشتیبانی می‌کنند و صرفاً به پیچیدگی و مصرف منابع در سامانه بسته‌بندی نمی‌افزایند، به یک ضرورت پژوهشی فوری بدل شده است (داویدسکو و همکاران ۲۰۲۵).

ادبیات مربوط به ادراکات مصرف‌کننده درباره بسته‌بندی هوشمند و پایدار نیز ضرورت تمرکز بر «بسته‌بندی هوشمندِ تعاملی» را تقویت می‌کند. مرور نظام‌مند پاسخ‌های مصرف‌کننده به بسته‌بندی هوشمند غذایی نشان می‌دهد که کاربران اطلاعات مربوط به تازگی، ایمنی و اصالت را ارزشمند می‌دانند، اما از حیث اعتماد به فناوری و تمایل به پرداخت برای ویژگی‌های افزوده تفاوت‌های چشمگیری نشان می‌دهند (یانگ و همکاران ۲۰۲۰). چندین مطالعه تجربی در چین و سایر بازارها نیز بیان می‌کند که مصرف‌کنندگان از دریافت اطلاعات تقویت‌شده درباره کیفیت و ایمنی استقبال می‌کنند، اما هم‌زمان نسبت به کارپذیری، حریم خصوصی داده‌ها و «تصنعی» بودن راه‌حل‌های فناورانهِ پرشدت نگرانی دارند (لی و همکاران ۲۰۲۰؛ بالسینگ و ورما ۲۰۲۴). این یافته‌ها بر ناهمگونی انتظارات دلالت دارند و نشان می‌دهند که بخش‌های مختلف کاربران در توازن میان سادگی، شفافیت و نوآوری مسیرهای متفاوتی را ترجیح می‌دهند. همچنین با وجود شواهد امیدوارکننده مبنی بر اینکه برخی ویژگی‌های هوشمند می‌توانند اتلاف غذا را کاهش دهند یا به بهبود نگهداری کمک کنند، همچنان ناسازگاری‌هایی درباره این مسئله وجود دارد که آیا این راه‌حل‌ها واقعاً اثرات زیست‌محیطی را کاهش می‌دهند یا صرفاً بارهای محیط‌زیستی را در زنجیره ارزش جابه‌جا می‌کنند. یک مرور تلفیقی اخیر نتیجه می‌گیرد که منافع زیست‌محیطی بسته‌بندی هوشمند به‌شدت وابسته به زمینه است و به‌طور ناکافی کمّی‌سازی شده است و همین وضعیت، فوریت مطالعات کاربرمحور را که به‌طور هم‌زمان پیامدهای پایداری و کیفیت تجربه را لحاظ کنند، افزایش می‌دهد (داویدسکو و همکاران ۲۰۲۵).

در کنار این محور، پژوهش‌های ارتباطات بصری در بسته‌بندی دلایل دیگری برای نگرانی نسبت به رویه‌های جاری ارائه می‌کنند. مطالعات حوزه بسته‌بندی مواد غذایی و شیرینی نشان می‌دهند که رنگ، تایپوگرافی، تصویرسازی و ترکیب‌بندی می‌توانند انتظارات مربوط به کیفیت، لذت‌مندی و سلامت‌مندی را به‌طور چشمگیری شکل دهند و گاه نشانه‌های عینی‌تری مانند فهرست ترکیبات یا گواهی‌نامه‌ها را تحت‌الشعاع قرار دهند (کوواچ و همکاران ۲۰۱۹). پژوهش‌های تجربی درباره هم‌پاسخی‌های بصری-چشایی نیز نشان می‌دهد که دستکاری‌های ظریف در فرم و سبک گرافیکی می‌تواند پیش از مصرف، شدت طعم، شیرینی یا تازگی ادراک‌شده را تغییر دهد (توگاوا و همکاران ۲۰۱۹). در حوزه لوازم آرایشی پایدار و «سبز» نیز پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که ترکیب‌های خاص بصری و ساختاری روی بسته‌بندی می‌تواند اعتبار زیست‌محیطی ادراک‌شده و تمایل به پرداخت را افزایش دهد، اما این اثرات همواره با عملکرد واقعی زیست‌محیطی سامانه محصول-بسته‌بندی همراستا نیست (پرّه و همکاران ۲۰۲۵). مجموع این شواهد نشان می‌دهد که بسته‌بندی میانجی بصری بسیار قدرتمندی برای معنابخشی به پایداری است، اما بسیاری از طراحی‌های موجود همچنان ماهیتی ایستا دارند و از ظرفیت سازوکارهای هوشمند و تعاملی برای ارتباط شفاف‌تر و درگیرکننده‌ترِ وضعیت‌های متغیر محصول یا گزینه‌های چرخه‌عمرِ توسعه‌یافته بهره نمی‌گیرند (برانکا و همکاران ۲۰۲۴).

از منظر عوامل انسانی نیز ادبیات مربوط به تعامل کاربر-بسته‌بندی و فناوری‌های واقعیت افزوده، ضرورت پژوهش حاضر را تقویت می‌کند. یک مرور روزآمد از تعامل کاربر-بسته‌بندی که بیش از صد مطالعه را تلفیق کرده است نشان می‌دهد که بسیاری از مسائل کارپذیری در مراحل مشخصی مانند حمل‌کردن، گشودن و دفع رخ می‌دهد و این مسائل به‌ویژه برای گروه‌های آسیب‌پذیر برجسته‌تر است (مومانی و استون ۲۰۱۸). پژوهش‌های مرتبط با ادغام واقعیت افزوده در بسته‌بندی محصول نیز هم از ظرفیت بالای درگیری و مشارکت سخن می‌گویند و هم چالش‌های طراحیِ مهمی را در زمینه توجه، بار شناختی و سودمندی ادراک‌شده گزارش می‌کنند (کیگوئولینه و برازیولیته ۲۰۲۲). تحلیل‌های نظام‌مند طراحی بسته‌بندیِ تقویت‌شده با واقعیت افزوده نشان می‌دهد که فناوری زمانی تجربه کاربر را غنا می‌بخشد که با گرافیک بسته‌بندی، سلسله‌مراتب اطلاعات و انتظارات تعامل‌پذیری به‌دقت هم‌تراز شود (رانی و رِملی ۲۰۲۳). مطالعه‌ای موردی درباره بسته‌بندی واقعیت افزوده تعاملی برای روایت‌پردازی نیز نشان می‌دهد که تعاملات روایت‌محور و مکان‌مند می‌تواند درگیری کاربر با فرم فیزیکی بسته‌بندی را تعمیق کند، اما هم‌زمان دشواری‌های مفهومی و عملیِ پیوند لایه‌های فیزیکی و مجازی را آشکار می‌سازد (دائو ۲۰۲۳).

با وجود این پیشرفت‌ها، چارچوب‌های طراحی‌ای که به‌طور صریح پایداری، تجربه کاربری و تعامل هوشمند را در سراسر چرخه عمر بسته‌بندی یکپارچه کنند، همچنان کمتر توسعه یافته‌اند. پژوهش‌های بنیادی درباره کارکردها و ویژگی‌های بسته‌بندی روشن کرده‌اند که بسته‌بندی از طریق حفاظت، لجستیک و ارتباطات به‌صورت غیرمستقیم به توسعه پایدار کمک می‌کند، اما پیامدهای تعامل‌پذیری، اتصال‌پذیری و جریان‌های داده را هنوز به‌طور کامل وارد تحلیل نکرده است (لینده و همکاران ۲۰۱۶). مرورهای نظام‌مند درباره راهبردهای بسته‌بندی چرخشی در لوازم آرایشی نیز طیفی از رویکردهای مادی و ساختاری را ترسیم کرده‌اند، اما به تقویت دیجیتال، مؤلفه‌های هوشمند یا ارتباطات تعاملیِ کاربرمحور تنها به‌صورت حاشیه‌ای پرداخته‌اند (کستنر و همکاران ۲۰۲۳). پیشنهادهای اخیر برای چارچوب‌های طراحی که چرخشی‌سازی و پایداری را در بسته‌بندی برجسته می‌کنند نیز بر ضرورت توازن میان الزامات عملکردی و محیط‌زیستی تأکید دارند، اما ارتباطات و تعامل کاربر را عمدتاً در قالب ویژگی‌های ایستا یا رهنمودهای کلی صورت‌بندی می‌کنند (پاتان و آئوریسیچیو ۲۰۲۵). همچنین ترکیب‌پژوهی‌های مبتنی بر چارچوب محرک-ارگانیسم-پاسخ خواهان عملیاتی‌سازی دقیق‌تر این مسئله هستند که چگونه محرک‌های مشخص طراحی، از جمله عناصر هوشمند و تعاملی، پیامدهای شناختی، عاطفی و رفتاری را در گذر زمان شکل می‌دهند (قییمالی‌اوغلو و همکاران ۲۰۲۴). هم‌پیوندی نظری میان این رشته‌ها همچنان محدود است و همین محدودیت، ضرورت پژوهشی متمرکز بر بسته‌بندی هوشمند تعاملی به‌مثابه یک نظام ارتباطات بصری را افزایش می‌دهد. سنتز مبتنی بر محرک-ارگانیسم-پاسخ بر اهمیت فهم پردازش روان‌شناختی نشانه‌های محیط‌زیستی تأکید دارد، اما هنوز مدل‌های تفصیلیِ محرک‌های تعاملی یا سازگارپذیر را که در آن بسته‌بندی در طول عمر خود وضعیت یا محتوای ارتباطی را تغییر می‌دهد، به‌طور کافی وارد تحلیل نکرده است (قییمالی‌اوغلو و همکاران ۲۰۲۴). مرور نظام‌مند ادراکات مصرف‌کننده از بسته‌بندی هوشمند غذایی نیز نگرش‌ها درباره ایمنی، کیفیت و شفافیت اطلاعات را ترسیم می‌کند، اما این نگرش‌ها را کمتر به راهبردهای طراحی بصری یا سازه‌های صریح تجربه کاربری مانند کارپذیری، لذت‌مندی و اعتماد پیوند می‌دهد (یانگ و همکاران ۲۰۲۰). مرورهای فنی معماری‌های بسته‌بندی

هوشمند نیز حسگرها، شاخص‌ها و کانال‌های ارتباطی را فهرست می‌کنند، اما راهنمایی نسبتاً اندکی درباره این‌که این کارکردها چگونه باید از طریق طراحی گرافیک و الگوهای تعامل بصری‌سازی و زمان‌بندی شوند تا رفتارهای پایدار را تقویت کنند، ارائه می‌دهند (چن و همکاران ۲۰۲۰). بنابراین، شکاف مفهومی میان پژوهش‌های بسته‌بندیِ معطوف به پایداری، چارچوب‌های تجربه کاربری و فناوری‌های بسته‌بندی هوشمند شکل گرفته است و این شکاف به یک پژوهش تلفیقی و اختصاصی نیاز دارد.

از حیث روش‌شناختی نیز تحولات اخیر در ابزارهای طراحی و سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری برای بسته‌بندی پایدار، ضرورت پژوهش پیشنهادی را تقویت می‌کند. یک ابزار مقدماتیِ تصمیم‌گیری برای طراحی بسته‌بندی پایدار نشان می‌دهد که طراحان می‌توانند در مقایسه گزینه‌های بسته‌بندی بر پایه چندین شاخص زیست‌محیطی پشتیبانی شوند، اما تمرکز آن عمدتاً بر انتخاب‌های ساختاری و مادی است و ارتباطات بصری و تعاملی را کمتر پوشش می‌دهد (شو و همکاران ۲۰۲۵). چارچوب‌های طراحی برای بسته‌بندی چرخشی و پایدار نیز بر فرایندهای چندمرحله‌ای و داده‌محور تکیه دارند، اما ارتباطات کاربرمحور را غالباً به مرحله‌های پایانی طراحی یا به‌عنوان قیدی ثانویه حواله می‌دهند (پاتان و آئوریسیچیو ۲۰۲۵). در مقابل، مطالعات بسته‌بندی لوازم آرایشی سبز نشان می‌دهد که تغییرات کوچک در طراحی بصری می‌تواند ادراک پایداری و تمایل به پرداخت را به‌طور معناداری تغییر دهد و همین امر نشان می‌دهد که ارتباطات و تعامل باید بسیار زودتر در فرایند طراحی ادغام شود (پرّه و همکاران ۲۰۲۵). از این رو، فرصت روش‌شناختی روشنی برای توسعه رویکردهایی وجود دارد که به‌طور هم‌زمان چرخش‌پذیری مواد، کارکردهای هوشمند و ارتباطات بصری/تعاملی را در سراسر چرخه عمر بسته‌بندی لحاظ کنند.

همین خلأ روش‌شناختی در پژوهش‌هایی که مواد هوشمند و حسگری پیشرفته را با طراحی کاربرمحور تلفیق می‌کنند نیز مشاهده می‌شود. مرورهای مربوط به مواد بسته‌بندی هوشمند از پیشرفت چشمگیر در بسترهای زیست‌تخریب‌پذیر، شاخص‌های زیست‌پایه و سامانه‌های رنگ‌سنجیِ نشان‌دهنده وضعیت محصول سخن می‌گویند، اما ارزیابی‌ها غالباً به عملکرد آزمایشگاهی محدود می‌ماند و به نحوه تفسیر کاربران از این نشانه‌ها در زمینه‌های واقعی کمتر توجه می‌شود (پریادارشی و همکاران ۲۰۲۱). پیمایش‌های جامع فناوری‌های بسته‌بندی هوشمند نیز بر ضرورت هم‌ترازی کارکردهایی مانند پایش تازگی، آشکارسازی دست‌کاری و رهگیری با اهداف کلان پایداری تأکید می‌کنند، اما اشاره می‌کنند که پذیرش کاربر و الگوهای تعامل به‌ندرت به‌صورت نظام‌مند سنجیده می‌شود (داویدسکو و همکاران ۲۰۲۵). پژوهش‌های تعامل کاربر-بسته‌بندی نیز بینش‌های کیفی و کمی ارزشمندی درباره نحوه دست‌گرفتن، گشودن و دفع بسته‌ها در گروه‌های جمعیت‌شناختی مختلف ارائه کرده‌اند، اما به امکان‌ها و پیچیدگی‌های جدیدی که ویژگی‌های هوشمند یا تقویت دیجیتال وارد می‌کنند، به‌طور صریح نپرداخته‌اند (مومانی و استون ۲۰۱۸). در نهایت، ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیریِ طراحی بسته‌بندی پایدار ظرفیت چارچوب‌های ساختاریافته را برای هدایت سازش‌های طراحی نشان می‌دهند، اما هنوز برای مدل‌سازی تعاملات پویا در شرایطی که بسته‌بندی تعاملی، متصل و از نظر بصری سازگارپذیر می‌شود، گسترش نیافته‌اند (شو و همکاران ۲۰۲۵).

در این بستر گسترده‌تر، جمعیت هدفِ پژوهش حاضر با چالش‌هایی چندلایه مواجه است که ضرورت مطالعه را تشدید می‌کند. طراحان، مدیران برند و سایر ذی‌نفعان به‌طور فزاینده‌ای موظف هستند بسته‌بندی‌هایی ارائه

کنند که علاوه بر برآوردن الزامات عملکردی و مقرراتی، پایداری را به‌صورت معتبر ارتباط دهد، تجربه‌های کاربری معنادار فراهم سازد و راهبردهای چرخه‌عمرِ توسعه‌یافته مانند استفاده مجدد، شارژ مجدد و بازکاربرد را پشتیبانی کند. هم‌زمان، کاربران در مواجهه با تراکم اطلاعات بصری، تکثر برچسب‌های زیست‌محیطی و ظهور ویژگی‌های هوشمند در محصولات روزمره، با دشواری در رمزگشایی این مسئله روبه‌رو می‌شوند که کدام نشانه‌های طراحی واقعاً از کنش پایدار حمایت می‌کنند و کدام نشانه‌ها صرفاً نوآوری سطحی را بازنمایی می‌کنند. ازاین‌رو، بسته‌بندی هوشمند تعاملی که در نقطه تلاقیِ طراحی گرافیک، تعامل تجربه‌محور و مسئولیت زیست‌محیطی قرار دارد، میدان آزمونی انتقادی برای بازاندیشیِ نقش ارتباطات بصری در هدایت رفتار در سراسر چرخه عمر بسته محسوب می‌شود. تمرکز اختصاصی بر این تلاقی، در یک زمینه کاربری و محصولیِ تعریف‌شده، به نیازهای عملی و فشارهای تصمیم‌گیریِ جمعیت هدف پاسخ می‌دهد و هم‌زمان به یکپارچه‌سازی نظریِ پایداری، تجربه کاربری و تعامل هوشمند در طراحی بسته‌بندی کمک می‌کند.

ث- مرور ادبیات و سوابق مربوطه:

مطالعات داخلی

رضایی و همکاران (۱۳۹۷) در قالب یک مطالعه پیمایشی، ادراک مصرف‌کنندگان از بسته‌بندی پایدار و پیامدهای آن برای پایداری اجتماعی را در زمینه ایران بررسی کردند. این پژوهش بر ۲۵۰ نفر از مصرف‌کنندگان شهر اصفهان متمرکز بود و با بهره‌گیری از پرسش‌نامه ساختاریافته، سطح دانش محیط‌زیستی مشارکت‌کنندگان، میزان آشنایی آنان با مفهوم بسته‌بندی پایدار، و درجه اثرگذاری این نوع بسته‌بندی بر تصمیم‌های خرید را ارزیابی کرد. هدف اصلی پژوهش آن بود که مشخص شود مصرف‌کنندگان تا چه اندازه از بسته‌بندی پایدار آگاه هستند، هنگام ارزیابی محصولات چه میزان به نشانه‌ها و پیام‌های مرتبط با آن توجه می‌کنند، و ادراکات آنان چگونه با رفتارهای طرفدار محیط‌زیست و برداشتشان از ابعاد اجتماعی پایداری ارتباط می‌یابد. نتایج نشان داد که با وجود گرایش کلی و اعلام‌شده پاسخ‌گویان به رفتارهای سازگار با محیط‌زیست، بخش قابل توجهی از آنان دانش تخصصی و مهارت‌های تشخیص لازم برای شناسایی گزینه‌های بسته‌بندی پایدار در بازار را در اختیار نداشتند. بر این اساس، بسته‌بندی پایدار در عمل به عامل تعیین‌کننده‌ای در تصمیم خرید تبدیل نشد و شکافی معنادار میان نگرانی انتزاعی نسبت به محیط‌زیست و انتخاب‌های عینی مرتبط با بسته‌بندی آشکار شد. نویسندگان نتیجه گرفتند که این شکاف بر اهمیت بُعد اجتماعی بسته‌بندی پایدار دلالت دارد و نشان می‌دهد افزایش آگاهی و فهم مصرف‌کننده از نشانه‌ها و پیام‌های بسته‌بندی، شرطی کلیدی برای حمایت مؤثر از تلاش‌های پایداری در طراحی و عملِ بسته‌بندی محسوب می‌شود.

طبائیان و همکاران (۱۴۰۳) در یک پژوهش کاربردیِ کمّی بررسی کردند که ویژگی‌های مشخصِ بسته‌بندی مبتنی بر واقعیت افزوده چگونه بر ارزش ادراک‌شده و نیّت‌های رفتاری مصرف‌کنندگان نسبت به گزِ سنتی ایرانی اثر می‌گذارد. آنان چهار ویژگیِ واقعیت افزوده شامل تعامل‌پذیری، اطلاع‌رسانی، لذت‌مندی و سودمندی را به‌عنوان متغیرهای تبیینی در نظر گرفتند و اثر آن‌ها را بر دو بُعد «ارزش لذت‌گرایانه» و «ارزش کارکردی» در چارچوب مدل‌یابی معادلات ساختاری تحلیل کردند. داده‌ها از طریق ۲۳۶ پرسش‌نامه مصرف‌کنندگان گردآوری شد و نتایج نشان داد که هر چهار ویژگی واقعیت افزوده به‌طور معناداری هر دو نوع ارزش لذت‌گرایانه

و کارکردی را افزایش دادند. همچنین هر یک از دو بُعد ارزش، نیّت‌های رفتاری را به‌صورت مثبت تقویت کردند و این نیّت‌ها شامل قصد خرید و تمایل به پرداخت قیمت بالاتر بود. برآیند یافته‌ها نشان داد که بسته‌بندی واقعیت افزوده، در صورت طراحی دقیقِ تجربه و اطلاعات، می‌تواند یک محصول سنتی را به تجربه‌ای تعاملی تبدیل کند و از طریق تقویت ارزش ادراک‌شده، پاسخ‌های مطلوب‌تری در مصرف‌کننده ایجاد کند.

صادقی‌زاده یزدی و کشاورز (۱۴۰۴) در یک جمع‌بندی تحلیلی، سامانه‌های بسته‌بندی هوشمندِ غذایی را با تمرکز بر نشانگرهای رنگ‌سنجیِ مبتنی بر رنگ‌دانه‌های طبیعیِ استخراج‌شده از کورکومین و آنتوسیانین‌ها بررسی کردند. بر اساس مرور مطالعات آزمایشی و مرورهای اخیر، آنان توضیح دادند که چگونه این رنگ‌دانه‌ها، هنگامی که در فیلم‌ها یا پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر ادغام می‌شوند، تغییر رنگ وابسته به pH نشان می‌دهند و می‌توانند تازگی غذا، فساد میکروبی یا تخریب شیمیایی را به‌صورت بلادرنگ آشکارسازی کنند. این مقاله به نقش دوگانه این سامانه‌ها توجه داد، زیرا این سامانه‌ها می‌توانند هم‌زمان حفاظت آنتی‌اکسیدانی یا ضدمیکروبی فراهم کنند و هم به‌عنوان نشانگرهای بصریِ وضعیت کیفیت عمل کنند. نویسندگان همچنین چالش‌های فنی کلیدی را شامل پایداری رنگ‌دانه، سازگاری با ماتریس‌های پلیمری و ضرورت کالیبراسیون گذارهای رنگی متناسب با محصول غذایی و شرایط زنجیره تأمین تبیین کردند. این تحلیل با برجسته‌سازی هم قابلیت‌ها و هم محدودیت‌ها، سامانه‌های رنگ‌دانه طبیعی را به‌عنوان مؤلفه‌ای امیدبخش و رو به مرکزیت در طراحی بسته‌بندی هوشمندِ پایدار صورت‌بندی کرد.

روزبهانی و همکاران (۱۴۰۴) در یک مطالعه آزمایشیِ مواد، فیلم‌های هوشمندِ کیتوسانی را با افزودن عصاره آنتوسیانینِ سماق به‌عنوان نشانگر رنگ‌سنجی برای پایش روند رسیدگی پنیر لاکتیکی توسعه دادند. پژوهشگران با روش ریخته‌گری، فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر تولید کردند و ویژگی‌های آن‌ها را به‌صورت نظام‌مند شامل ضخامت، کدری، نفوذپذیری بخار آب، استحکام کششی، ازدیاد طول در نقطه شکست، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و فعالیت ضدمیکروبی علیه استافیلوکوکوس اورئوس توصیف و ارزیابی کردند. فیلم‌ها در طول زمان نگهداری تغییر رنگ حساس به pH را به‌طور آشکار نشان دادند و هم‌زمان با افزایش تولید اسید لاکتیک، از رنگ قهوه‌ای به صورتی تغییر کردند و بدین‌ترتیب پیشرفت رسیدگی پنیر را به‌صورت بصری علامت‌گذاری کردند. افزودن عصاره سماق نسبت به فیلم‌های کنترلِ کیتوسان، استحکام مکانیکی، ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد ضدمیکروبی را بهبود داد و در عین حال رطوبت و نفوذپذیری بخار آب را کاهش داد. نویسندگان نتیجه گرفتند که فیلم‌های کیتوسانیِ مبتنی بر سماق می‌توانند به‌عنوان راه‌حلی مقاوم در بسته‌بندی هوشمند عمل کنند و ضمن ارتقای ایمنی و کیفیت پنیر، یک نشانگر بصریِ شهودی برای فهم وضعیت تازگی در اختیار مصرف‌کننده قرار دهند.

مطالعات خارجی

یانگ و همکاران (۲۰۲۰) در یک مرور نظام‌مند، ۲۸ مطالعه تجربی را درباره ادراکات مصرف‌کنندگان از فناوری‌های بسته‌بندی هوشمند غذایی (شامل بسته‌بندی فعال و بسته‌بندی هوشمندِ اطلاعات‌محور) طی دهه پیش از انتشار مطالعه تلفیق کردند. نویسندگان با تحلیل پژوهش‌های اولیه درباره بسته‌بندی فعال، مانند مواد

ضدمیکروبی و جاذب‌های اکسیژن، بسته‌بندی هوشمند، مانند نشانگرهای زمان-دما و حسگرهای رسیدگی، و نیز سامانه‌های مبتنی بر فناوری نانو، از نرم‌افزار NVivo برای کدگذاری و خوشه‌بندی مضمون‌ها استفاده کردند و نتایج را در قالب چهار طبقه «انگیزه‌ها»، «موانع»، «متغیرهای کنترل» و «عوامل تعدیل‌گر» سامان دادند. یافته‌ها نشان داد که منافع ادراک‌شده‌ای مانند ارتقای ایمنی، حفظ تازگی و افزایش سهولت استفاده، محرک‌های اصلی پذیرش این فناوری‌ها محسوب می‌شوند، در حالی که ادراک ریسک، بی‌اعتمادی به فناوری، و نگرانی‌هایی درباره «غیرطبیعی بودن» یا پیامدهای سلامت‌محور به‌صورت مکرر به‌عنوان موانع پذیرش ظاهر می‌شوند. نویسندگان با اتکا به مدل‌های تثبیت‌شده رفتار مصرف‌کننده، از جمله «نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده» و مدل‌های نگرشی، یک چارچوب مفهومی پیشنهاد کردند که توضیح می‌دهد چگونه باورها، کنترل ادراک‌شده و هنجارهای اجتماعی، نیّت خرید محصولات دارای بسته‌بندی هوشمند را شکل می‌دهند. آنان همچنین بر تمرکز جغرافیایی پژوهش‌ها در اروپا و قاره آمریکا تأکید کردند و ضرورت مطالعات میان‌فرهنگیِ متنوع‌تر و نیز راهبردهای ارتباطی شفاف‌تر را برای پاسخ‌گویی به نگرانی‌های مصرف‌کنندگان و تقویت پذیرش آگاهانه برجسته ساختند.

گیگائوری و همکاران (۲۰۲۴) در یک مطالعه کیفیِ اکتشافی بررسی کردند که تولیدکنندگان مواد غذایی در گرجستان بسته‌بندی هوشمندِ اطلاعات‌محور را چگونه ادراک می‌کنند و کدام کارکردها را برای محصولات خود مرتبط‌تر می‌دانند. پژوهش با نمونه‌گیری هدفمند و انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با تولیدکنندگان، سطوح آگاهی، منافع ادراک‌شده، هزینه‌های ادراک‌شده و محدودیت‌های اجراییِ مرتبط با پذیرش راه‌حل‌های بسته‌بندی هوشمند را واکاوی کرد. نتایج نشان داد که آگاهی و وضوح مفهومی درباره فناوری‌های بسته‌بندی هوشمند در میان مصاحبه‌شوندگان نسبتاً پایین بود، اما در عین حال علاقه قابل توجهی به کارکردهایی مانند رهگیری‌پذیری، پایش شرایط، و نشانگرهای کیفیت و ایمنی وجود داشت که می‌توانند تمایز محصول را تقویت کنند و اعتماد مصرف‌کننده را افزایش دهند. مشارکت‌کنندگان هزینه، پیچیدگی فناورانه و محدودیت دانش بازار را به‌عنوان موانع اصلی مطرح کردند، اما هم‌زمان امکان کاهش اتلاف و تقویت جایگاه برند را در افق بلندمدت به‌عنوان پیامدهای بالقوه به رسمیت شناختند. نویسندگان نتیجه گرفتند که اقتصادهای در حال توسعه‌ای مانند گرجستان ظرفیت نهفته معناداری برای بازار بسته‌بندی هوشمند دارند، مشروط بر آنکه فرایندهای آگاهی‌بخشی، انتقال دانش و تدوین مدل‌های کسب‌وکار متناسب با تولیدکنندگان اجرا شود.

آکاردی و همکاران (۲۰۲۵) در یک آزمایش اکتشافیِ نوروMارکتینگ، دو کاربرد «ایستا» در برابر «فراگیر» واقعیت افزوده را که بر برچسب بسته‌بندی پنیر پیاده‌سازی شده بود مقایسه کردند تا اثر آن‌ها بر پاسخ‌های شناختی، هیجانی و رفتاری مصرف‌کنندگان سنجیده شود. این پژوهش با طرح درون‌آزمودنی و مشارکت ۲۰ نفر انجام شد و سنجه‌های عصب‌فیزیولوژیک، شامل الکتروانسفالوگرافی، ضربان قلب و هدایت پوستی، با مقیاس‌های خودگزارشیِ غوطه‌وری واقعیت افزوده، اطلاع‌رسانی ادراک‌شده، اصالت ادراک‌شده و ارزیابی‌های مرتبط با خرید ترکیب شد. در شرایط واقعیت افزوده فراگیر که کاربران را از طریق «درگاه مجازی» به محیط ۳۶۰ درجه یک مزرعه لبنی با روایت‌پردازی تعاملی منتقل می‌کرد، سطح درگیری هیجانی بالاتر و تا حدی درگیری شناختی بالاتری نسبت به حالت هم‌پوشانی ایستا مشاهده شد. داده‌های خودگزارشی نیز نشان داد که نسخه فراگیر، غوطه‌وری ادراک‌شده را افزایش می‌دهد و در چند بُعد، ادراک اطلاع‌رسانی و اصالتِ محصول

و برند را بهبود می‌بخشد. این یافته‌ها نشان دادند که میزان «فراگیری» واقعیت افزوده بر برچسب بسته‌بندی می‌تواند به‌صورت معنادار تجربه و ارزیابی مصرف‌کننده را تغییر دهد و پشتوانه تجربی برای به‌کارگیری قالب‌های تعاملیِ درگیرکننده‌تر در طراحی بسته‌بندی تعاملی فراهم سازد.

لیو و همکاران (۲۰۲۵) در یک مرور نظام‌مندِ ترکیبی، اثر چندبعدی طراحی بسته‌بندی بر قصد خرید را با تلفیق تحلیل کتاب‌سنجی و مرور ساخت‌مند ادبیات بررسی کردند. نویسندگان با اتکا به ۲۲۱ مقاله نمایه‌شده در پایگاهWeb of Science ، تحلیل عملکرد و نگاشت علم را با نرم‌افزارهای CiteSpace و VOSviewerانجام دادند و هم‌زمان از پروتکل SPAR-4-SLR برای ساخت‌دهی مرور استفاده کردند تا مضمون‌ها، شبکه‌ها و روندهای پژوهشی در پیوند طراحی بسته‌بندی و تصمیم‌گیری مصرف‌کننده شناسایی شوند. تحلیل آنان پنج خوشه مضمونی اصلی را آشکار کرد که شامل نقش بسته‌بندی در فرایند تصمیم‌گیری مصرف‌کننده، عناصر بصری و ساختاری بسته‌بندی، شکل‌گیری انتظار و ارزیابی محصول، ارتباط‌دهی و پردازش اطلاعات بسته‌بندی، و اثرات محیط‌زیستی و پایداری بسته‌بندی بود. آنان همچنین توزیع کشورها، مؤسسه‌ها و نشریات پیشرو را ترسیم کردند و تمرکز مشارکت‌ها در حوزه‌های بازاریابی، طراحی و رفتار مصرف‌کننده را نشان دادند و شکاف‌هایی را در پیوند با فناوری‌های نوظهور، زمینه‌های میان‌فرهنگی و سازش‌های پایداری برجسته ساختند. این مرور با سامان‌دهی مسیرهای پژوهشی آینده بر مبنای چارچوب «نظریه-روش-زمینه»، دستورکار پژوهشی جامعی برای بررسی دقیق‌تر تعامل ویژگی‌های طراحی بسته‌بندی با روان‌شناسی مصرف‌کننده و شرایط بازار ارائه کرد.

یونگ و لیو (۲۰۲۰) در یک مقاله مروری جامع، پیشرفت‌های اخیر در فیلم‌های بسته‌بندی فعال و هوشمندِ مبتنی بر آنتوسیانین را با تمرکز بر روش‌های آماده‌سازی، ویژگی‌های فیزیکی و کارکردی و کاربردها در مواد غذایی غنی از پروتئین تلفیق کردند. آنان توضیح دادند که آنتوسیانین‌های استخراج‌شده از منابع گیاهی متنوع چگونه در ماتریس‌های پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر، از جمله پلی‌ساکاریدها و پروتئین‌ها، ادغام می‌شوند و فیلم‌هایی ایجاد می‌کنند که تغییر رنگ حساس بهpH ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و در برخی فرمولاسیون‌ها اثرات ضدمیکروبی نشان می‌دهند. نویسندگان روش‌های فرایندی، از جمله ریخته‌گری و اکستروژن، را مقایسه کردند و نشان دادند که غلظت رنگ‌دانه، افزودنی‌های هم‌افزا و شرایط محیطی چگونه بر پایداری رنگ، استحکام مکانیکی، ویژگی‌های سدگری و میزان پاسخ‌مندی در برابر تغییرات مرتبط با فساد اثر می‌گذارند. در این مرور بر کاربردهای عملی تأکید شد که در آن فیلم‌های آنتوسیانینی به‌عنوان نشانگر تازگی برای ماهی، گوشت و سایر محصولات فسادپذیر عمل می‌کنند و تغییرات pH و ترکیبات فرّار را به‌صورت بصری سیگنال‌دهی می‌کنند. نویسندگان نتیجه گرفتند که این فیلم‌ها ظرفیت تلفیق پایداری، حفاظت فعال و پایش هوشمند را دارند، اما چالش‌هایی مانند پایداری رنگ‌دانه، استانداردسازی پاسخ رنگی و مقیاس‌پذیری تولید صنعتی همچنان پابرجا است.

ژای و همکاران (۲۰۲۵) در یک مرور متمرکز، وضعیت دانش و فناوری در حوزه نشانگرهای رنگ‌سنجیِ تازگی غذا برای بسته‌بندی هوشمند را با توجه به پیشرفت‌های فنی، کاستی‌های موجود و راه‌حل‌های بالقوه تحلیل کردند. آنان نشانگرها را بر اساس سازوکار حسگری، مانند رنگ‌زاهای حساس بهpH ، معرف‌های حساس به گاز و سامانه‌های آنزیمی، بر پایه آنالیت‌های هدفِ مرتبط با فساد، و نیز بر مبنای مواد پشتیبان از پلیمرهای