نقش بسته‌بندی در مدیریت زنجیره تأمین و حمل و نقل کالا

(مقاله علمی – پژوهشی)

*حمید میرزاحسین (نویسنده مسئول)، استاد، گروه مهندسی عمران- برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده فنی‌مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران

محمدرضا کمالی نژاد، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران- برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mirzahossein@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۵- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲

صفحه ۹۴-۸۱

چکیده

بسته‌بندی یکی از ارکان اساسی در مدیریت زنجیره تأمین و حمل‌ونقل کالا است که نقش مهمی در بهینه‌سازی فرآیندهای لجستیکی، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری ایفا می‌کند. طراحی مناسب بسته‌بندی علاوه بر محافظت از کالا در برابر آسیب‌های فیزیکی و عوامل محیطی، موجب کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، بهبود چیدمان محموله، افزایش ایمنی، کاهش ضایعات و تسهیل عملیات بارگیری و تخلیه می‌شود. همچنین بسته‌بندی استاندارد، خسارات ناشی از حمل‌ونقل را کاهش داده و هماهنگی در زنجیره تأمین را بهبود می‌بخشد. با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، توسعه بسته‌بندی‌های پایدار و قابل بازیافت به یکی از اولویت‌های اصلی صنعت حمل‌ونقل تبدیل شده است. استفاده از استانداردهای بین‌المللی در طراحی بسته‌بندی ضمن جلوگیری از اتلاف منابع، به هماهنگی بهتر میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان در سطح جهانی کمک می‌کند. این پژوهش با هدف اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در انتخاب بسته‌بندی و تعیین نوع بهینه آن انجام شده است. برای این منظور از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد و چهار معیار اصلی شامل «هزینه»، «عملکرد و حفاظت»، «پایداری» و «هوشمندی و قابلیت ردیابی» برای چهار گزینه بسته‌بندی «پلاستیکی»، «کاغذی/مقوایی»، «هوشمند» و «زیست‌تخریب‌پذیر» مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که معیار «هزینه» با وزن ۰,۵۵ بیشترین اهمیت را دارد و بسته‌بندی پلاستیکی با وزن نهایی ۰,۵۰۵ به‌عنوان گزینه بهینه شناسایی شد. این یافته بیانگر آن است که اگرچه مباحث نظری بر اهمیت فزاینده بسته‌بندی‌های پایدار و هوشمند تأکید دارند، در عمل ملاحظات اقتصادی همچنان تعیین‌کننده‌ترین عامل در انتخاب بسته‌بندی هستند.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، حمل‌ونقل کالا، زنجیره تأمین، طراحی بسته‌بندی، مدیریت زنجیره تأمین

۱-مقدمه

در دنیای لجستیک و زنجیره تأمین، بسته‌بندی نقشی فراتر از یک پوشش ساده برای محافظت از کالا ایفا می‌کند. بسته‌بندی در حمل و نقل به مجموعه فرآیندها، مواد و تکنیک‌هایی اطلاق می‌شود که برای آماده‌سازی کالا جهت حمل، نگهداری، انبار و تحویل به کار می‌رود. این تعریف جامع، تمامی جنبه‌های عملیاتی و لجستیکی را در بر می‌گیرد که برای انتقال ایمن و

کارآمد کالا از نقطه مبدا به مقصد ضروری است (García-Arca et al., 2017; Saghir, 2004). بسته‌بندی نه تنها وظیفه محافظت از کالاها در برابر آسیب‌ها و شرایط نامساعد محیطی را بر عهده دارد، بلکه تأثیر قابل‌توجهی بر کارایی حمل‌ونقل، مدیریت موجودی و کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین دارد (Pålsson & Hellström, 2016). اهمیت بسته‌بندی در زنجیره تأمین به جنبه‌های مختلفی گره خورده است. بسته‌بندی به بهبود فرآیندهای لجستیکی کمک می‌کند، فضای بهینه‌ای در انبار و وسایل نقلیه ایجاد می‌نماید و باعث کاهش ضایعات ناشی از آسیب کالا می‌شود. علاوه بر این، بسته‌بندی مناسب می‌تواند به شناسایی سریع‌تر محصولات، ردیابی مؤثرتر در طول مسیر حمل‌ونقل و سازگاری با مقررات مختلف ملی و بین‌المللی کمک کند. در کنار این مزایا، نگرانی‌های زیست‌محیطی و نیاز به کاهش استفاده از مواد مضر در بسته‌بندی، اهمیت استفاده از فناوری‌های نوین و بسته‌بندی پایدار را دوچندان کرده است (Sultana & Akter, 2022).

بسته‌بندی در حمل‌ونقل یکی از ارکان اساسی زنجیره تأمین به‌شمار می‌آید که نقش کلیدی در حفظ کیفیت و ایمنی کالاها در جریان جابه‌جایی دارد. این مفهوم به مجموعه‌ای از طراحی‌ها و تدابیر اشاره دارد که برای محافظت از کالا در برابر خطرات مختلف از جمله آسیب‌های مکانیکی، عوامل محیطی و دیگر شرایط نامطلوب به‌کار گرفته می‌شود. بسته‌بندی مناسب نه تنها از کیفیت محصول حفاظت می‌کند، بلکه از طریق تسهیل در فرآیندهای لجستیکی و کاهش هزینه‌ها، به بهبود عملکرد زنجیره تأمین کمک می‌کند (García-Arca et al., 2014).

بسته‌بندی‌ها بر اساس کاربرد و سطح محافظتی که ارائه می‌دهند، به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: بسته‌بندی اولیه، ثانویه و ثالثیه. که دو مورد اول اهمیت بیشتری دارد، زیرا آن‌ها تأثیر مستقیم‌تری بر محصولات دارند. بسته‌بندی اولیه و ثانویه به طور هماهنگ کار می‌کنند و اگر نقص در هر کدام از بسته‌بندی‌ها رخ دهد، کالا را به خطر می اندازد (Soroka, 2020).

بسته‌بندی اولیه، اولین لایه محافظتی است که مستقیماً با محصول در تماس بوده و به ظرف کالا نیز معروف است، معمولاً از مواد مقاوم به رطوبت، هوا و تغییرات دما ساخته می‌شود. این نوع بسته‌بندی معمولاً برای محصولاتی مانند مواد غذایی و دارویی ضروری است و نقش مهمی در حفظ سلامت و کیفیت کالا ایفا می‌کند. قوطی فلزی و پلاستیکی، تیوپ، بطری شیشه‌ای، کیسه، گونی، پاکت، سیلندر، سطل، گالن و بشکه از نمونه‌های متداول بسته‌بندی اولیه هستند که مستقیماً با کالا در تماس‌اند.

بسته‌بندی ثانویه، لایه‌ای است که مجموعه‌ای از بسته‌بندی‌های اولیه را در بر می‌گیرد و معمولاً برای تسهیل حمل‌ونقل و نظم‌دهی به کالاها طراحی می‌شود. این نوع بسته‌بندی علاوه بر ارائه حفاظت بیشتر، به یکپارچگی کالاها کمک کرده و احتمال آسیب به بسته‌بندی‌های اولیه را کاهش می‌دهد. کارتن، صندوق چوبی، رول، بشکه، و سایر تمهیداتی که چندین کالا را در خود جای می‌دهند، از نمونه‌های بسته‌بندی ثانویه هستند. این بسته‌بندی‌ها معمولاً سخت‌تر و مقاوم‌تر از بسته‌بندی اولیه طراحی می‌شوند. در نهایت، بسته‌بندی ثالثیه که به بسته بندی برای حمل و نقل نیز شناخته می‌شود، برای جابه‌جایی و انبارداری مقیاس بزرگ طراحی می‌شود. این نوع بسته‌بندی شامل استفاده از ابزارهایی مانند پالت‌ها و کانتینرهاست که نقش مهمی در حمل‌ونقل انبوه کالاها ایفا می‌کند (Paine & Paine, 2012; Yam & Lee, 2012).

۱-۱-شرایط عمومی بسته بندی اولیه و ثانویه

بسته‌بندی اولیه نخستین لایه‌ای است که مستقیماً با کالا در تماس بوده و از آن محافظت می‌کند. این بسته‌بندی نه‌تنها وظیفه نگهداری و حفظ کیفیت محصول را بر عهده دارد، بلکه به‌عنوان عاملی مؤثر در جلب توجه مشتری و ایجاد تجربه‌ای مثبت برای مصرف‌کننده عمل می‌کند. طراحی این لایه باید متناسب با نوع کالا باشد و از نظر جنس، شکل و ویژگی‌ها با محصول هماهنگی داشته باشد. همچنین، بسته‌بندی اولیه باید با نوع مصرف کالا سازگار بوده و قابلیت نگهداری طولانی‌مدت را فراهم کند (مانند قوطی‌های کنسرو). رعایت استانداردهای ایمنی و بهداشتی، مقاومت در برابر شرایط جوی مختلف و درج اطلاعات ضروری (مانند دستورالعمل‌ها و هشدارها) از دیگر الزامات این نوع بسته‌بندی است. در برخی موارد، مانند کالاهای لوکس، طراحی بسته‌بندی اولیه باید جذاب و منحصربه‌فرد باشد تا ارزش محصول را افزایش دهد (Chen et al., 2020; Cholewa-Wójcik & Kawecka, 2014).

بسته‌بندی ثانویه به‌عنوان لایه دوم، نقش کلیدی در حمل‌ونقل، انبارداری و توزیع کالا دارد. این بسته‌بندی معمولاً شامل کارتن‌ها، پالت‌ها یا سایر لایه‌های محافظ است که چندین واحد از محصول را در بر می‌گیرد. طراحی بسته‌بندی ثانویه باید

به‌گونه‌ای باشد که امکان جابه‌جایی آسان (مانند وجود دسته‌های برشی روی کارتن) و مقاومت در برابر شرایط حمل‌ونقل را فراهم کند. از آنجا که بسته‌بندی‌های اولیه ممکن است ظریف باشند، بسته‌بندی ثانویه باید استحکام کافی برای محافظت از کالا در برابر ضربه و آسیب‌های احتمالی داشته باشد. همچنین، درج اطلاعاتی مانند تعداد کالا، مشخصات محصول و علائم استاندارد بر روی بسته‌بندی ثانویه، مدیریت انبار و حمل‌ونقل را تسهیل می‌کند (García-Arca et al., 2016; Hellström & Nilsson, 2011). در مجموع، رعایت اصول طراحی و ساخت بسته‌بندی اولیه و ثانویه نه‌تنها به حفظ کیفیت کالا و جلب رضایت مشتری کمک می‌کند، بلکه موجب کاهش هزینه‌های تولید و توزیع شده و سهم بازار محصول را افزایش می‌دهد.

۲-پیشینه تحقیق

عاصم و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه موردی خود با عنوان "اهمیت بسته‌بندی پایدار: یک مطالعه موردی از منظر زنجیره تأمین"، به بررسی عملی تطبیق اصول پایداری در بسته‌بندی یک شرکت واقعی پرداختند. روش شناسی این تحقیق کیفی بود که از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته بازپاسخ و مشاهدات برای درک فرآیندهای فعلی بخش بسته‌بندی و زنجیره تأمین شرکت Midas Safety و برنامه‌های آن برای سازگاری پایداری استفاده کرد. یافته‌ها و نتایج، راهکارهای عملیاتی متعددی را برای کاهش اثرات محیط زیستی شناسایی نمود که مهم‌ترین آن‌ها شامل استانداردسازی بسته‌بندی برای تمام مشتریان، حذف پالت‌های چوبی، توسعه تأمین‌کنندگان محلی، تغییر طراحی بسته‌بندی برای فشرده‌تر و سبک‌تر شدن آن، و کاهش ردپای کربن با تشویق تجارت دریایی به جای هوایی بود. این مطالعه نتیجه گرفت که موفقیت در توسعه بسته‌بندی پایدار هم به عوامل داخلی (مانند استفاده از مواد جایگزین مانند کاغذهای بادوام و بسته‌بندی‌های حبابدار مقوایی) و هم به عوامل خارجی (مانند در دسترس بودن و توانایی تأمین‌کنندگان محلی) وابسته است. محدودیت این مطالعه، تمرکز بر یک شرکت واحد است که اگرچه غنای کیفی دارد، اما تعمیم‌پذیری گسترده نتایج را محدود می‌کند (Asim et al., 2022).

ژو و همکاران (۲۰۲۲) در یک مطالعه مروری سیستماتیک با عنوان "طراحی بسته‌بندی برای اقتصاد چرخشی: یک مرور نظام‌مند"، به تلفیق و ساختاربندی دانش موجود در این حوزه پرداختند. روش شناسی این تحقیق، انجام یک مرور نظام‌مند گسترده بر ادبیات پژوهشی در حال رشد در مورد طراحی بسته‌بندی در رابطه با اقتصاد چرخشی بود. یافته‌ها و نتایج منجر به ارائه یک چارچوب جامع برای طراحی بسته‌بندی چرخشی شد که یافته‌ها را در سه بخش خلاصه می‌کند: (i) عواملی که انتخاب مواد را تعیین می‌کنند، (ii) راهبردها، رهنمودها و ملاحظات طراحی که باید در مراحل طراحی مفهومی و توسعه طراحی در نظر گرفته شوند، و (iii) ابزارها و شاخص‌هایی برای کمک به اعتبارسنجی طراحی و ارزیابی چرخشی بودن بسته‌بندی. این مقاله تأکید می‌کند که طراحی بسته‌بندی سنگ بنای اساسی برای گذار از مدل خطی فعلی به یک سیستم اقتصاد چرخشی است. نویسندگان همچنین گرایش‌های آینده تحقیق در زمینه‌هایی مانند مواد جدید، طراحی برای تسهیل بازیافت، ابزارهای ارزیابی طراحی، آموزش طراحی و سیاست‌گذاری را شناسایی و بحث کردند. این مقاله به دلیل ارائه یک چارچوب ساختاریافته، نقشه راهی برای محققان و متخصصان صنعت فراهم می‌آورد (Zhu et al., 2022).

بسته‌بندی به عنوان یکی از ارکان کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین، نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی لجستیکی، کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد پایدار ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر، رویکرد لجستیک بسته‌بندی پایدار به عنوان چارچوبی جامع برای تلفیق طراحی بسته‌بندی، مدیریت لجستیک و توسعه محصول جدید مطرح شده است. گارسیا–آرکا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با عنوان «لجستیک بسته‌بندی پایدار: ارتباط بین پایداری و رقابت‌پذیری در زنجیره‌های تأمین» به بررسی نقش یکپارچه بسته‌بندی به عنوان محرک بهبود پایداری و کارایی پرداختند. روش شناسی این پژوهش ترکیبی از مرور نظام‌مند ادبیات و یک مطالعه میدانی از طریق توزیع پرسشنامه الکترونیکی در بخش صنعتی اسباب‌بازی اسپانیا بود. یافته‌ها و نتایج نشان داد که توسعه و استقرار رویکرد "بسته‌بندی لجستیک پایدار" به صورت فعالانه منجر ارتقای عملکرد پایدار در تقریباً تمامی جنبه‌های مورد بررسی، از جمله کاهش مصرف مواد، بهبود کارایی لجستیک و کاهش ردپای کربن می‌شود. یکی از یافته‌های کلیدی، تأکید بر این موضوع بود که بسته‌بندی لجستیک پایدار یک رویکرد نوآورانه است که فقدان آن در ادبیات به صورت تجربی و یکپارچه احساس می‌شد. از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به تمرکز بر یک صنعت خاص (اسباب‌بازی) و یک کشور اشاره

کرد که تعمیم‌پذیری نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش به عنوان یک چارچوب مفهومی پایه برای مطالعات آتی در نظر گرفته شده است (García-Arca et al., 2017).

پالسون و هلمستروم (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با عنوان «لجستیک بسته‌بندی در عمل زنجیره تأمین: وضعیت فعلی، مبادلات و پتانسیل بهبود» به کاوش عمیق در چالش‌ها و فرصت‌های واقعی سیستم‌های بسته‌بندی پرداختند. روش شناسی این مطالعه مبتنی بر یک رویکرد مطالعه موردی چندگانه بود که در آن ۲۲ زنجیره تأمین کامل (شامل تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش) از طریق نقشه‌برداری و مصاحبه‌های ساختاریافته مورد تحلیل قرار گرفتند. یافته‌ها و نتایج، شکاف‌ها و مبادلات کلیدی را در سیستم‌های بسته‌بندی شناسایی کرد؛ به عنوان مثال، تصمیماتی که یک تولیدکننده برای بهینه‌سازی هزینه خود می‌گیرد، ممکن است هزینه‌های قابل توجهی را برای خرده‌فروش ایجاد کند. یکی از یافته‌های مهم، پتانسیل بزرگ بهبود از طریق درنظرگیری نیازهای تمامی بازیگران، حتی آنانی که در فرآیند طراحی بسته‌بندی نقشی ندارند، بود. محققان مدل‌هایی برای تسهیم هزینه–فایده و تصمیم‌گیری درباره این مبادلات پیشنهاد دادند (Pålsson & Hellström, 2016).

گارسیا–آرکا و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیق دیگری با عنوان «لجستیک بسته‌بندی: ترویج کارایی پایدار در زنجیره‌های تأمین» به اجرا و تحلیل یک مدل عملیاتی برای بسته‌بندی لجستیک پایدار پرداختند. روش شناسی این پژوهش تلفیقی از مطالعه موردی و اقدام پژوهی بود که در آن فرآیند تحول در زنجیره تأمین شرکت خرده‌فروشی «مِرکادونا» و یکی از تأمین‌کنندگان اصلی آن به دقت بررسی و همراهی شد. یافته‌ها و نتایج منجر به طراحی یک مدل اجرایی شامل چهار رکن اصلی (یکپارچه‌سازی طراحی بسته‌بندی و محصول، هماهنگی بین بخشی، اندازه‌گیری مشترک شاخص‌ها و همکاری در زنجیره تأمین) و سه مرحله تکاملی (بهبود درونی، بهبود بیرونی و ادغام شبکه‌ای) گردید. نتایج نشان داد که این رویکرد منجر به ادغام کارایی و پایداری شده و رقابت‌پذیری زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد (García-Arca et al., 2014).

هلمستروم و نیلسون (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای با عنوان «نوآوری در بسته‌بندی با محرک لجستیک: مطالعه موردی در IKEA» پتانسیل استراتژیک بسته‌بندی را به عنوان یک محرک نوآوری در لجستیک بررسی کردند. روش شناسی این تحقیق یک مطالعه موردی بر روی نوآوری حامل واحد بار در شرکت IKEA بود که امکان ردیابی تأثیرات آن در طول زمان و در سطوح مختلف زنجیره تأمین را فراهم می‌کرد. یافته‌ها و نتایج نشان داد که این نوآوری لجستیک–محور، تأثیرات شگرفی بر بهره‌وری در تمام مراحل، از ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل تا بازیابی در فروشگاه و تجربه مشتری داشت. یک یافته کلیدی، لزوم اتخاذ یک چشم‌انداز سیستمی برای درک کامل هزینه‌ها و منافع نوآوری در بسته‌بندی بود، چرا که بهینه‌سازی در یک نقطه ممکن است باعث ناکارامدی در نقطه دیگری از زنجیره شود. این مقاله بسته‌بندی را به عنوان یک مؤلفه استراتژیک برای ایجاد مزیت رقابتی معرفی می‌کند (Hellström & Nilsson, 2011).

ورگس و لوئیس (۲۰۰۷) در تحقیق خود با عنوان «نوآوری زیست‌محیطی در بسته‌بندی صنعتی: رویکرد زنجیره تأمین» به بررسی ضرورت همکاری برای دستیابی به پایداری واقعی پرداختند. روش شناسی این تحقیق مبتنی بر مرور ادبیات و یک برنامه تحقیقاتی–نمایشی در استرالیا بود که در آن چندین زنجیره تأمین مورد مطالعه قرار گرفتند. یافته‌ها و نتایج نشان داد که مقررات محیط زیستی به‌طور فزاینده‌ای بر بسته‌بندی صنعتی متمرکز شده‌اند و نوآوری در این حوزه مستلزم یک رویکرد زنجیره تأمین تعاونی است. آن‌ها استدلال کردند که تنها از طریق همکاری و بهینه‌سازی مشترک می‌توان همزمان به کاهش هزینه‌های تجاری و کاهش تاثیر محیط زیستی دست یافت. این مقاله از نخستین مطالعاتی بود که به صراحت بر روی بسته‌بندی صنعتی و لزوم همکاری در زنجیره تأمین برای دستیابی به پایداری تمرکز کرد (Verghese & Lewis, 2007).

ساغیر (۲۰۰۴) در تحقیق خود با عنوان «مفهوم لجستیک بسته‌بندی» به تعریف و تبیین این مفهوم نوظهور پرداخت. روش شناسی این تحقیق شامل مطالعات موردی در صنعت خرده‌فروشی سوئد و هلند برای شناسایی پارامترها و فعالیت‌های کلیدی در فرآیند بسته‌بندی لجستیک بود. یافته‌ها و نتایج نشان داد که آگاهی از اهمیت و پتانسیل بسته‌بندی در لجستیک بسیار پایین است. این تحقیق بر نیاز به توسعه مدل‌های تحلیلی و ارزیابی که بتوانند تمام فعالیت‌های مرتبط در طول زنجیره تأمین را در نظر بگیرند، تأکید کرد. در نهایت، یک مدل مفهومی برای بسته‌بندی لجستیک ارائه شد (Saghir, 2004).

۳-روش تحقیق

باتوجه‌به هدف پژوهش که کاربردی است و ماهیت مسئله که چندمعیاره است، روش تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر نحوه‌ی گردآوری داده‌ها، توصیفی - کاربردی است. رویکرد حاکم بر تحلیل داده‌ها، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. داده‌های این تحقیق بر اساس قضاوت‌های کیفی خبرگان گردآوری شدند. چارچوب اصلی تحلیل، استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین اهمیت معیارها و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها است.

برای انجام محاسبات مربوط به روش تحلیل سلسله مراتبی از نرم‌افزار Expert Choice استفاده گردید. جامعه آماری این پژوهش را متخصصان و خبرگان فعال در حوزه لجستیک، زنجیره تأمین، بازرگانی تشکیل می‌دهند.

۳-۱-ابزار گردآوری داده‌ها

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها در این پژوهش، پرسش‌نامه مقایسات زوجی بود که به‌عنوان هسته مرکزی روش تحلیل سلسله مراتبی برای انجام کلیه محاسبات و تحلیل‌ها مورداستفاده قرار گرفت. این پرسش‌نامه به‌گونه‌ای طراحی شد که امکان ثبت قضاوت‌های خبرگان در مورد مقایسه‌های زوجی معیارها و زیرمعیارهای مختلف پژوهش را فراهم می‌آورد. مزیت اصلی این پرسش‌نامه در توانایی آن برای تبدیل قضاوت‌های کیفی کارشناسان به داده‌های کمی موردنیاز برای محاسبات ریاضی روش تحلیل سلسله مراتبی نهفته است.

طراحی پرسش‌نامه بر اساس مقیاس ۹ نقطه‌ای ساعتی انجام شد که در آن از خبرگان خواسته می‌شد تا میزان ارجحیت هر یک از معیارها را نسبت به دیگری در مقیاس ۱ (ترجیح مساوی) تا ۹ (ترجیح مطلق) مشخص نمایند. این مقیاس که به طور گسترده در مطالعات روش تحلیل سلسله مراتبی مورداستفاده قرار می‌گیرد، امکان سنجش میزان ترجیح یک معیار نسبت به معیار دیگر را با دقت و انعطاف‌پذیری بالا امکان‌پذیر می‌نماید. جزئیات این مقیاس در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. مقیاس ساعتی ۹ نقطه‌ای مورداستفاده در مقایسات زوجی

مقدار عددی	تعریف	توضیح
۱	اهمیت کاملاً مساوی	دو عامل اهمیت یکسانی دارند.
۳	اهمیت کمی بیشتر	تجربه و قضاوت، عامل اول را کمی مهم‌تر نشان می‌دهد.
۵	اهمیت بیشتر	تجربه و قضاوت، عامل اول را مهم‌تر نشان می‌دهد.
۷	اهمیت خیلی بیشتر	عامل اول بسیار قوی‌تر مهم است و برتری آن در عمل اثبات شده است.
۹	اهمیت مطلق	اهمیت عامل اول به‌صورت مطلق اثبات شده است.
۲, ٤, ٦, ۸	مقادیر میانی	برای مواقعی که نیاز به مصالحه بین دو قضاوت وجود دارد.

پرسش‌نامه شامل سه بخش است.

بخش اول، اطلاعات عمومی پاسخ‌دهندگان مثل، جنسیت، سن، سطح تحصیلات، سابقه کار در صنعت لجستیک و نقش شغلی.

بخش دوم، مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی که معیارهای اصلی شامل:

-هزینه

-هوشمندی و قابلیت ردیابی

-عملکرد و حفاظت

-پایداری

و بخش سوم، مقایسات زوجی بین گزینه‌های تحت هر یک از معیارهای اصلی که به شرح ادامه است.

-پلاستیکی

-کاغذی/مقوایی

-هوشمند

-زیست‌تخریب‌پذیر

۳-۲-روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی، فرایند تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در این پژوهش در چندین مرحله متوالی و به‌دقت برنامه‌ریزی شده انجام گرفت. در گام نخست، داده‌های خام حاصل از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده توسط خبرگان، در محیط نرم‌افزار Microsoft Excel وارد و سازماندهی شدند. ازآنجایی‌که لازم بود قضاوت‌های خبرگان با یکدیگر تلفیق شود، از روش میانگین هندسی نظرات آنان به‌عنوان معیار نهایی برای هر مقایسه زوجی استفاده گردید. این روش به دلیل سازگاری ذاتی با ریاضیات روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و همچنین جلوگیری از تأثیرپذیری بیش از حد از نظرات افراطی، به‌عنوان یک روش استاندارد و قابل‌اتکا برای تجمیع آرا انتخاب شد. در مرحله بعد، یک مدل سلسله‌مراتبی کامل منطبق بر ساختار عوامل شناسایی شده که شامل یک هدف اصلی، چهار معیار اصلی و چهار گزینه تحت هرمعیار بود، در نرم‌افزار تخصصی Expert Choice نسخه ۱۱ ایجاد گردید. این مدل به‌عنوان چارچوبی پایه برای واردکردن کلیه قضاوت‌های زوجی و در نهایت، محاسبه وزن نهایی عوامل ایفای نقش کرد. سپس، مقادیر میانگین هندسی محاسبه شده برای هر یک از مقایسات زوجی، به‌دقت در نرم‌افزار مذکور وارد شد.

یکی از مراحل حیاتی در این فرایند، بررسی پایایی قضاوت‌های وارد شده به مدل بود. بدین منظور، پس از واردکردن هر مجموعه از مقایسات، نرخ ناسازگاری توسط خود نرم‌افزار محاسبه گردید. مطابق با اصول روش‌شناسی روش تحلیل سلسله مراتبی نرخ ناسازگاری می‌بایست مقداری کمتر از ۰٫۱ را نشان می‌داد تا قضاوت‌ها از ثبات و سازگاری درونی قابل قبولی برخوردار باشند. در موارد محدودی که این نرخ از حد استاندارد فراتر می‌رفت، با بازبینی در داده‌های پرسش‌نامه‌ها و محاسبات اولیه، نسبت به اصلاح و بهینه‌سازی داده‌ها اقدام شد تا اطمینان لازم از قابلیت اعتماد نتایج حاصل آید. در این مرحله، نرم‌افزار با به‌کارگیری الگوریتم‌های مبتنی بر مقادیر ویژه، وزن نهایی هر یک از عوامل را محاسبه نمود. این وزن‌ها که اعدادی بین صفر و یک هستند، به طور مستقیم بیانگر اهمیت و اولویت نسبی هر عامل در فرایند تصمیم‌گیری نهایی محسوب می‌شوند. در ادامه، کلیه عوامل بر مبنای وزن نهایی محاسبه‌شده، از بیشترین به کمترین وزن، رتبه‌بندی شدند.

٤-اصول طراحی بسته‌بندی در حمل‌ونقل

بسته‌بندی مناسب یکی از جنبه‌های حیاتی در زنجیره تأمین و حمل‌ونقل کالاهاست که می‌تواند تأثیر زیادی بر هزینه‌ها، زمان تحویل و ایمنی کالاها داشته باشد. طراحی صحیح بسته‌بندی نه تنها از آسیب به محصولات جلوگیری می‌کند، بلکه موجب کاهش هزینه‌های لجستیکی و بهبود کارایی در سیستم‌های حمل‌ونقل می‌شود. علاوه بر این، استفاده از بسته‌بندی‌های استاندارد، اطمینان مشتریان را نیز افزایش می‌دهد (Igilar, 2023; Verghese & Lewis, 2007).

٤-١-کاهش آسیب به محصولات در طول حمل‌ونقل

یکی از پایه‌ای ترین اصول طراحی بسته‌بندی در حمل‌ونقل، کاهش آسیب به محصولات در طول حمل‌ونقل است.

بسته‌بندی باید به گونه‌ای باشد که بتواند محصولات را در برابر ضربه، لرزش و فشار و تغییرات دمایی و رطوبتی محافظت کند؛ چرا که، حمل‌ونقل کالاها معمولاً شامل تکانه‌ها و ارتعاشات ناشی از وسایل نقلیه، جابجایی‌های دستی یا سقوط‌های احتمالی است و بسته‌بندی‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که این تکانه‌ها را جذب کرده و از آسیب‌دیدگی کالا جلوگیری کنند (García-Arca et al., 2014). برای مثال، بسته‌بندی‌های حباب‌دار و ضربه‌گیرها، پلی‌استایرن یا پلاستیک‌های مقاوم و یا تغییر در ساختار بسته‌بندی برای جذب و توزیع انرژی ضربه می‌توانند تأثیر زیادی در کاهش آسیب‌های فیزیکی به کالاها داشته باشند. در تجارت بین‌المللی، به دلیل طولانی بودن مسافت، محصولات اغلب در معرض تغییرات دمایی، رطوبت و نور خورشید قرار می‌گیرند. برای حفظ کیفیت و ایمنی کالا، بسته‌بندی‌ها باید مقاوم به آب و هوا باشند (Schaefer & Cheung, 2018). بسته‌بندی مناسب می‌تواند از فساد کالاها در حین حمل‌ونقل بین‌المللی جلوگیری کند و فرآیندهای گمرکی را تسهیل نماید. علاوه بر این، در این نوع حمل‌ونقل باید به مسائل مربوط به ابعاد و وزن بسته‌بندی توجه ویژه‌ای شود تا هزینه‌های حمل‌ونقل اضافی کاهش یابد (Asim et al., 2022; Tosun et al., 2019). استفاده از مواد مقاوم مانند فیلم‌های پلی‌اتیلن، لایه‌های چندگانه و پوشش‌های ضدآب می‌تواند مفید باشد.

٤-٢-بهینه‌سازی فضا و کاهش هزینه‌ها

یکی از اهداف اصلی طراحی بسته‌بندی، بهینه‌سازی فضای حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌ها است. بسته‌بندی باید به گونه‌ای طراحی شود که فضای کمتری را اشغال کند و در عین حال از آسیب به محصول جلوگیری کند. طراحی مناسب می‌تواند منجر به کاهش تعداد بارهای حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی شود. به علاوه، بسته‌بندی باید از نظر ابعاد متناسب با وسایل حمل‌ونقل (مانند کامیون، کشتی یا هواپیما) باشد تا فضای اضافی در خودروها و محفظه‌های حمل‌ونقل استفاده نشود (Stock & Lambert, 2001).

٤-٣-پایداری و مسائل زیست‌محیطی

در دهه‌های اخیر، توجه به پایداری و مسائل زیست‌محیطی در طراحی بسته‌بندی اهمیت بیشتری یافته است. استفاده از مواد بازیافتی و کاهش مصرف پلاستیک‌های یک‌بارمصرف به یکی از اولویت‌های اصلی در طراحی بسته‌بندی تبدیل شده است. بسته‌بندی‌های قابل بازیافت نه تنها به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کنند، بلکه هزینه‌های مرتبط با مواد اولیه را نیز کاهش می‌دهند. استفاده از بسته‌بندی‌های زیست‌محیطی در حمل‌ونقل می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش اثرات زیست‌محیطی و همچنین بهبود تصویر برند شرکت‌ها داشته باشد (Ashrafian et al., 2019; Meherishi et al., 2019; Rajesh & Subhashini, 2021).

نقش بسته‌بندی در بهینه‌سازی حمل‌ونقل

بسته‌بندی یکی از عوامل کلیدی در بهینه‌سازی حمل‌ونقل است که می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش هزینه‌ها، بهبود بهره‌وری، و کاهش اثرات زیست‌محیطی داشته باشد.

کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل

بسته‌بندی مناسب می‌تواند در جنبه‌های مختلف حمل‌ونقل تأثیر قابل‌توجهی در کاهش هزینه‌های مرتبط داشته باشد. استفاده از بسته‌بندی‌های سبک و مقاوم به کاهش وزن کلی محموله‌ها کمک می‌کند که این موضوع به‌ویژه در حمل‌ونقل هوایی و دریایی که هزینه‌ها بر اساس وزن محاسبه می‌شوند، اهمیت زیادی دارد؛ می‌تواند از هزینه‌های اضافی مانند جریمه‌های مربوط به ابعاد و وزن اضافی جلوگیری کند و فرآیند حمل‌ونقل را اقتصادی‌تر سازد. علاوه بر این، بسته‌بندی‌هایی که به کاهش آسیب‌دیدگی کالاها در طول حمل‌ونقل کمک می‌کنند، هزینه‌های ناشی از خسارت و تعویض کالا را کاهش می‌دهند (Gámez A et al., 2015; Gezerman & Erişmiş, 2012).

بهینه‌سازی فضای انبار و وسایل نقلیه

طراحی بسته‌بندی‌هایی که شکل و ابعاد منظم و فشرده‌ای دارند، می‌تواند فضای انبار و وسایل نقلیه را بهینه کند. بسته‌بندی‌هایی که قابل انباشت هستند، امکان استفاده بهتر از فضای عمودی انبارها و کانتینرها را فراهم می‌کنند که باعث امکان حمل مقادیر بیشتری از محصولات در یک وسیله نقلیه فراهم می‌شوند. این امر منجر به کاهش تعداد سفرها و هزینه‌ها می‌شود (Hellström & Nilsson, 2011; Pålsson & Hellström, 2016). برای مثال، در حمل‌ونقل کانتینری، بسته‌بندی‌های مکعبی و بدون فضای خالی، امکان بارگیری حداکثری کالاها را در کانتینرها فراهم می‌کنند. در انبارداری، استفاده از پالت‌ها و بسته‌بندی‌های استاندارد به کاهش فضای مورد نیاز و بهبود دسترسی به کالاها کمک می‌کند.

سهولت در جابجایی، بارگیری و تخلیه کالا

بسته‌بندی‌هایی که مجهز به دستگیره یا محل‌های قابل‌حمل باشند یا بسته‌هایی که به‌راحتی با تجهیزات استاندارد جابه‌جا شوند (مانند لیفتراک یا جک‌پالت)، بسته‌بندی‌هایی که قابلیت چیدمان بهتر و مدیریت آسان‌تر را دارند، فرآیندهای بارگیری، تخلیه و انبارداری را تسهیل می‌کنند. این امر به سهولت در جابجایی، صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های نیروی انسانی کمک می‌کند (Mahalik, 2009; Tosun et al., 2019).

اطلاع‌رسانی و ردیابی کالاها

برچسب‌گذاری دقیق و واضح روی بسته‌بندی‌ها به شناسایی سریع کالاها کمک می‌کند و احتمال خطا در جابجایی را کاهش می‌دهد و باعث افزایش بهره‌وری زنجیره تأمین می‌شود. بسته‌بندی‌های مجهز به بارکد، برچسب‌هایRFID، کدهای QR امکان شناسایی و ردیابی کالاها در تمام مراحل حمل‌ونقل را فراهم می‌کند. این فناوری‌ها اطلاعاتی درباره مبدا، مقصد و شرایط حمل ارائه می‌دهند و از گم‌شدن یا تأخیر کالاها جلوگیری می‌کنند. مزایای اصلی شامل افزایش شفافیت، صرفه‌جویی در زمان، کاهش هزینه‌ها است (Chen et al., 2020; Fernandez et al., 2023).

سازگاری با محیط‌زیست

استفاده از مواد بازیافتی، زیست‌تخریب‌پذیر در ساخت و تولید بسته‌بندی سازگار با محیط‌زیست به کاهش مصرف منابع طبیعی و تولید ضایعات کمک می‌کند. جایگزینی پلاستیک‌های

یک‌بارمصرف با مواد چندبارمصرف یا بازیافتی، باعث کاهش ردپای کربنی و انرژی مصرفی در تولید و حمل‌ونقل می‌شود. این رویکرد علاوه بر حفاظت از محیط‌زیست، هزینه‌های لجستیکی را کاهش داده و بهره‌وری زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد و به حمل‌ونقل پایدار کمک می‌کند (Meherishi et al., 2019; Verghese & Lewis, 2007; Zhu et al., 2022).

انواع بسته بندی

بسته‌بندی نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ کیفیت محصول، جلب توجه مشتری و سهولت حمل‌ونقل دارد. انتخاب روش مناسب بسته‌بندی به عوامل متعددی از جمله نوع محصول، هزینه، ملاحظات زیست‌محیطی و نیازهای بازار بستگی دارد. در اینجا به بررسی جامع روش‌های مختلف بسته‌بندی، مزایا، معایب و کاربردهای هر یک می‌پردازیم.

بسته‌بندی پلاستیکی

بسته‌بندی پلاستیکی به دلیل سبکی، مقاومت در برابر رطوبت و ضربه، و هزینه تولید نسبتاً پایین، یکی از پرکاربردترین روش‌ها در صنایع مختلف است. این نوع بسته‌بندی انعطاف‌پذیری بالایی دارد؛ بسته به نوع محصول انواع پلاستیک مورد استفاده، PET (پلی اتیلن ترفتالات) که برای بطری‌های آب و نوشیدنی. HDPE (پلی اتیلن با چگالی بالا) برای ظروف شیر، شامپو و مواد شوینده. PVC (پلی وینیل کلرید) برای بسته‌بندی غذایی و بطری‌های روغن. LDPE (پلی اتیلن با چگالی پایین) برای نایلون‌های حباب‌دار و کیسه‌های فریزر. با این حال، بزرگترین چالش آن آلودگی محیط‌زیست است، زیرا بسیاری از پلاستیک‌ها تجزیه‌ناپذیر هستند و بازیافت برخی از آن‌ها نیز دشوار است (Marsh & Bugusu, 2007).

بسته‌بندی کاغذی و مقوایی

بسته‌بندی کاغذی و مقوایی به دلیل سازگاری با محیط‌زیست و قابلیت بازیافت بالا، جایگزین مناسبی برای پلاستیک محسوب می‌شود. این روش برای بسته‌بندی محصولات خشک مانند غلات، داروها و کالاهای سبک‌وزن مناسب است. انواع کاغذ یا مقوا مورد استفاده، کرافت، مقاوم برای محصولات صنعتی یا غذایی خشک. مقوای موج‌دار (کارتن)، کاغذ گلاسه برای جعبه‌های لوکس. یکی از مزایای اصلی آن، امکان چاپ با کیفیت بالا برای طراحی‌های جذاب است. با این حال، مقاومت کم در برابر رطوبت و پارگی از محدودیت‌های آن محسوب می‌شود و گاهی نیاز به پوشش‌های محافظتی اضافی دارد (Onwulata, 2014).

بسته‌بندی شیشه‌ای

شیشه به دلیل غیرواکنشی بودن و ایمنی بالا، برای بسته‌بندی مواد غذایی، دارویی و محصولات آرایشی–بهداشتی ایده‌آل است. همچنین، قابلیت بازیافت نامحدود و ظاهر لوکس آن، از دیگر مزایای این روش است. اما وزن بالا و شکنندگی شیشه، هزینه حمل‌ونقل را افزایش می‌دهد و نیاز به مراقبت ویژه در جابجایی دارد (Onwulata, 2014).

بسته‌بندی فلزی

قوطی‌های فلزی و بسته‌بندی‌های آلومینیومی به دلیل مقاومت بالا در برابر ضربه، دما، نور و اکسیژن، برای محصولاتی مانند کنسروها، نوشیدنی‌های گازدار و اسپری‌ها استفاده می‌شوند. فلزات قابلیت بازیافت بالایی دارند، اما هزینه تولید و وزن بیشتر آن‌ها نسبت به پلاستیک و کاغذ، از معایب این روش محسوب می‌شود (Saeed et al., 2023).

بسته‌بندی زیست‌تجزیه‌پذیر

با افزایش نگرانی‌ها درباره آلودگی پلاستیکی، بسته‌بندی‌های ساخته‌شده از از منابع طبیعی و گیاهی مانند نشاسته یا پلیمرهای زیستی مواد گیاهی مانند نشاسته ذرت، نیشکر و جلبک مورد توجه قرار گرفته‌اند. این بسته‌بندی‌ها پس از مصرف به‌راحتی در طبیعت تجزیه می‌شوند و برای محصولات ارگانیک و دوستدار محیط‌زیست مناسب هستند (Sani et al., 2021). کامپوزیت‌های سبک و مقاوم که از ترکیباتی مانند فیبرکربن یا آلومینیوم نازک به‌دلیل وزن کم و مقاومت بالا در برابر ضربه ساخته می‌شوند، و در بسته‌بندی کالاهای حساس کاربرد دارند. یا کارتن‌های قابل بازیافت که تولیدشده از الیاف بازیافتی هستند و برای بسته‌بندی کالاها مورد استفاده قرار می‌گیرند و نه تنها به کاهش ضایعات کمک می‌کند، بلکه هزینه‌های تولید را نیز کاهش می‌دهد (Rajesh & Subhashini, 2021; Thulasisingh et al., 2022).

بسته‌بندی هوشمند

با پیشرفت فناوری، بسته‌بندی هوشمند به یکی از مهم‌ترین نوآوری‌ها در حوزه حمل‌ونقل تبدیل شده است. بسته‌بندی‌های هوشمند به حسگرها، برچسب‌های RFID، و فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا مجهز هستند. این فناوری‌ها امکان نظارت بر شرایط کالا در طول مسیر حمل‌ونقل را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، کنترل دما و رطوبت توسط حسگرهای تعبیه‌شده در بسته‌بندی مواد حساس مانند داروها یا محصولات غذایی، که می‌توانند تغییرات دما و رطوبت را ثبت کرده و اطلاعات را به‌صورت زنده به سیستم‌های مرکزی ارسال کنند (Chen et

al., 2020; Igilar, 2023; Schaefer & Cheung, 2018). ردیابی و شناسایی بسته‌ها با استفاده از RFID یا کدهای QR که بر روی بسته‌بندی‌ها ثبت شده و به شناسایی سریع کالا و ردیابی موقعیت جغرافیایی آن در زنجیره تأمین کمک می‌کند. و فناوری‌های دیگر که علاوه بر کاهش ریسک خرابی کالاها، به بهبود کارایی و شفافیت در زنجیره تأمین منجر می‌شوند (Kaushani et al., 2022).

بسته‌بندی‌های ماژولار و انعطاف‌پذیر

بسته‌بندی‌های ماژولار شامل واحدهای استانداردی است که به گونه‌ای طراحی می‌شوند که به‌راحتی به‌طور منظم در کنار هم قرار بگیرند، مانند قطعات لگو، و با انواع مختلف روش‌های حمل‌ونقل (زمینی، هوایی، دریایی) سازگار باشند. این بسته‌بندی‌ها معمولاً دارای ابعاد استاندارد هستند که به‌طور منظم و هماهنگ در کانتینرها یا وسایل نقلیه قرار گیرند و فضای کمتری اشغال کنند (Ashrafian et al., 2019; Pienimaa et al., 2004). انعطاف‌پذیری این بسته‌بندی‌ها که قابلیت تغییر شکل یا اندازه را دارند، امکان استفاده در حمل‌ونقل‌های چندوجهی را فراهم می‌کنند. همچنین این بسته‌بندی‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در برابر شرایط مختلف محیطی و فیزیکی مانند تکانه‌ها، تغییرات دما و فشار هوا مقاوم باشند (Philipp et al., 2020).

هر روش بسته‌بندی با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد خود، مزایا و معایب خاصی دارد که آن را برای کاربردهای خاصی مناسب می‌سازد. انتخاب روش بهینه به عواملی مانند هزینه، نیازهای محافظتی، ملاحظات زیست‌محیطی و نوع محصول بستگی دارد. در جدول ۱، مقایسه‌ای جامع بین روش‌های مختلف بسته‌بندی آورده شده است.

جدول۲. مقایسه روش‌های مختلف بسته‌بندی

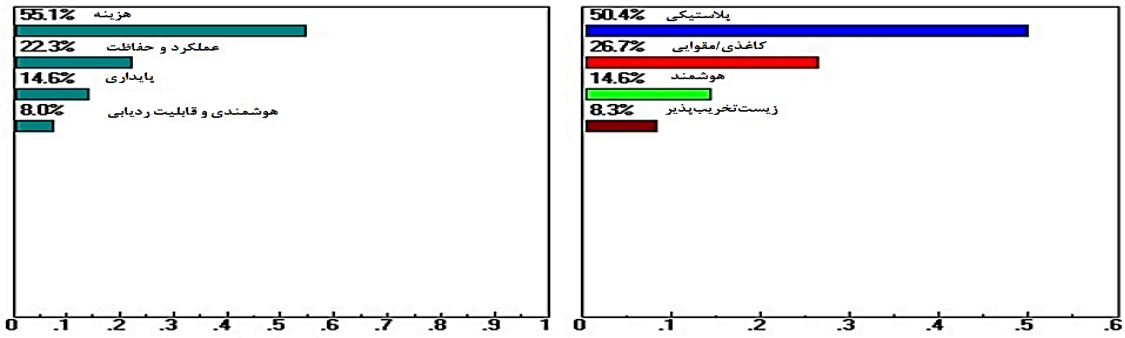
بسته‌بندی / معیار	پلاستیکی	کاغذی/مقوایی	شیشه‌ای	فلزی	زیست تجزیه‌پذیر	هوشمند	ماژولار/ انعطاف‌پذیر
هزینه تولید	کم	متوسط	بالا	بالا	بالا	بسیار بالا	متوسط–بالا
وزن	بسیار سبک	سبک	سنگین	سنگین	سبک–متوسط	متغیر	سبک–متوسط
مقاومت مکانیکی	بالا	متوسط	شکننده	بسیار بالا	متوسط–پایین	متغیر	بالا
محافظت از محصول	خوب	متوسط	عالی	عالی	متوسط	عالی (با نظارت)	خوب–عالی
مقاومت در برابر رطوبت	عالی	ضعیف	عالی	عالی	متوسط	متغیر	خوب–عالی
قابلیت بازیافت	محدود	عالی	عالی	عالی	تجزیه‌پذیر	محدود	متوسط–خوب
تأثیر محیط‌زیستی	منفی	مثبت	مثبت	نسبتاً مثبت	بسیار مثبت	متغیر	نسبتاً مثبت
ظاهر و طراحی	متنوع	عالی	لوکس	صنعتی	ساده	مدرن	کاربردی
کاربردهای اصلی	مواد غذایی، کالاهای مصرفی	محصولات خشک، بسته‌بندی ثانویه	مواد غذایی، دارویی، لوکس	کنسروها، نوشیدنی‌ها	محصولات ارگانیک	داروها، محصولات حساس	حمل‌ونقل چندوجهی
عمر مفید	طولانی	متوسط	طولانی	بسیار طولانی	کوتاه–متوسط	بسته به فناوری	طولانی

یافته‌ها و تجزیه و تحلیل

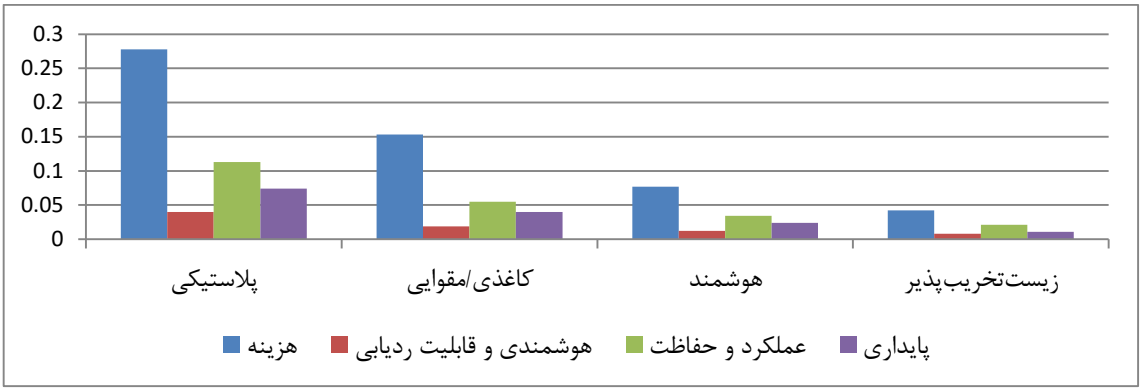
پس از گردآوری داده‌ها، ویژگی‌های دموگرافیک نمونه آماری مورد بررسی قرار گرفت. از میان ۱۵ خبره مشارکت‌کننده، ۸۰ درصد مرد و ۲۰ درصد زن بودند. از نظر سطح تحصیلات، همهٔ پاسخ‌دهندگان دارای مدرک دانشگاهی بودند که

۵۳٫۳ درصد در مقطع کارشناسی ارشد و ۲۶٫۷ درصد در مقطع دکتری تحصیل کرده بودند. از نظر سابقهٔ کاری، ۶۶٫۷ درصد از افراد دارای حداقل ۵ سال تجربه در حوزهٔ لجستیک و زنجیرهٔ تأمین بودند و اکثریت آنان (۴۶٫۷ درصد) در شرکت‌های حمل‌ونقل و لجستیک فعالیت داشتند. این ترکیب، نشان‌دهندهٔ غنای تخصصی و عملی نمونه آماری و افزایش قابلیت اعتماد به قضاوت‌های ارائه‌شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل روش تحلیل سلسله مراتبی که در شکل ۱ به صورت گرافیکی نمایش داده شده است، نشان داد که از میان چهار معیار اصلی مورد بررسی، معیار «هزینه» با وزن نسبی ۰٫۵۵ مهم‌ترین معیار در انتخاب نوع بسته‌بندی از دیدگاه خبرگان است. پس از آن به ترتیب معیارهای «عملکرد و حفاظت» (۰٫۲۲۳)، «پایداری» (۰٫۱۴۹) و «هوشمندی و قابلیت ردیابی» (۰٫۰۷۹) قرار گرفتند. این اولویت‌بندی نشان‌دهنده آن است که ملاحظات اقتصادی و عملکردی در مقایسه با ملاحظات زیست‌محیطی و فناورانه، وزن بیشتری در تصمیم‌گیری دارند. در سطح گزینه‌ها، بسته‌بندی پلاستیکی با وزن نهایی ۰٫۵۰۵ به عنوان بهینه‌ترین گزینه شناسایی شد. بررسی وزن‌های موضعی نشان داد که این برتری عمدتاً ناشی از عملکرد قوی این گزینه در معیارهای هزینه (۰٫۲۷۸) و عملکرد و حفاظت (۰٫۱۱۳) است. بسته‌بندی کاغذی/مقوایی با وزن نهایی ۰٫۲۶۷ در رتبه دوم قرار گرفت که نشان‌دهنده عملکرد متعادل‌تر آن در معیارهای مختلف است. بسته‌بندی هوشمند (۰٫۱۴۷) و زیست‌تخریب‌پذیر (۰٫۰۸۲) به ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم قرار گرفتند؛ در شکل ۲ مقایسه وزن نهایی گزینه‌های بسته‌بندی تحت هر معیار براساس نتایج تحلیل و خروجی نرم‌افزار آورده شده است. این یافته‌ها حاکی از آن است که اگرچه در ادبیات موضوع بر اهمیت بسته‌بندی‌های پایدار و هوشمند تأکید می‌شود. در عمل، ملاحظات اقتصادی و عملکردی همچنان تعیین‌کننده‌ترین عوامل در انتخاب بسته‌بندی هستند. عملکرد ضعیف گزینه‌های جایگزین در معیار هزینه، مهم‌ترین مانع در پذیرش گسترده آن‌ها به شمار می‌رود. از دیدگاه مدیریت زنجیره تأمین، این نتایج نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بسته‌بندی، نیازمند توازن بین اهداف اقتصادی، عملکردی و زیست‌محیطی است. در شرایط کنونی، بسته‌بندی پلاستیکی به دلیل برتری در معیارهای هزینه و عملکرد، گزینه بهینه محسوب می‌شود.

با این حال، با توجه به افزایش توجه به مسائل زیست‌محیطی و امکان وضع قوانین سختگیرانه‌تر در آینده، توصیه می‌شود سازمان‌ها به تدریج زمینه استفاده از بسته‌بندی‌های پایدارتر را فراهم آورند.



شکل ۱. اولویت‌بندی نهایی معیارها و گزینه‌ها بر اساس نتایج AHP



شکل ۲. مقایسه وزن نهایی گزینه‌های بسته‌بندی تحت هر معیار

۵- نتیجه‌گیری

بسته‌بندی در مدیریت زنجیره تأمین و حمل‌ونقل کالا، نقشی اساسی و غیرقابل چشم‌پوشی ایفا می‌کند. این فرآیند نه تنها به حفظ کیفیت کالا در طول حمل‌ونقل کمک می‌کند، بلکه به کاهش هزینه‌ها، بهینه‌سازی زمان و فرآیندهای لجستیکی و همچنین ارتقاء تجربه مشتری می‌انجامد. بسته‌بندی مؤثر باید قادر باشد کالا را از آسیب‌های احتمالی محافظت کند و در عین حال با استانداردهای بین‌المللی تطابق داشته باشد تا فرآیندهای حمل‌ونقل را تسهیل نماید. در دنیای امروز، با توجه به پیشرفت‌های فناوری و نیاز به حفاظت بهتر از محیط‌زیست، بسته‌بندی هوشمند و استفاده از مواد زیست‌سازگار به‌عنوان راهکارهایی نوین مطرح شده‌اند. این فناوری‌ها نه تنها به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کمک می‌کنند، بلکه موجب افزایش کارایی در مدیریت زنجیره تأمین می‌شوند. از طرفی، بسته‌بندی باید با توجه به ویژگی‌های خاص کالا، شرایط حمل‌ونقل و نیازهای مشتری طراحی شود تا عملکرد بهینه‌ای داشته باشد. یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل روش تحلیل سلسله مراتبی حاکی از آن است که ملاحظات اقتصادی با وزن نسبی (۰,۵۵) مهم‌ترین معیار در انتخاب نوع بسته‌بندی از دیدگاه خبرگان صنعت است. پس از آن معیارهای عملکرد و حفاظت (۰,۲۲۳)، پایداری (۰,۱۴۹) و هوشمندی و قابلیت ردیابی (۰,۰۷۹) در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در میان گزینه‌های مختلف، بسته‌بندی پلاستیکی با وزن نهایی (۰,۵۰۵) به عنوان بهینه‌ترین گزینه شناسایی شد. این امر عمدتاً ناشی از عملکرد برتر آن در معیارهای هزینه و حفاظت فیزیکی است. این نتیجه، شکاف بین مباحث نظری (که بر اهمیت فزاینده بسته‌بندی‌های پایدار و هوشمند تأکید دارند) و واقعیت‌های عملی و اقتصادی صنعت را آشکار می‌سازد و نشان می‌دهد که علی‌رغم افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی، هزینه همچنان به عنوان مانع اصلی در پذیرش گسترده بسته‌بندی‌های جایگزین عمل می‌کند. در پایان می‌توان تأکید کرد که بسته‌بندی دیگر تنها یک پوشش حفاظتی نیست، بلکه یک ابزار راهبردی است که در صورت طراحی و مدیریت هوشمندانه، می‌تواند به عاملی کلیدی برای کاهش هزینه‌ها، افزایش رضایت مشتری، بهبود پایداری و کسب مزیت رقابتی پایدار در زنجیره تأمین تبدیل شود.

٦-مراجع

-Ashrafian, A., Pettersen, O.-G., Kuntze, K., Franke, J., Alfnes, E., Henriksen, K., & Spone, J. (2019). Full-Scale Discrete Event Simulation of an Automated Modular Conveyor System for Warehouse Logistics. In .

-Asim, Z., Shamsi, I. R. A., Wahaj, M., Raza , A., Abul Hasan, S., Siddiqui, S. A., Seng Teck, T. (2022). Significance of Sustainable Packaging: A Case-Study from a Supply Chain Perspective. *5*(6), 117 .

-Chen, S., Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., & Aliakbarian, B. (2020). The role of smart packaging system in food supply chain. *85*, 517-525.

-Cholewa-Wójcik, A., & Kawecka, A. (2014). Packaging quality assurance in supply chain .

-Fernandez, C. M., Alves, J., Gaspar, P. D., Lima, T. M., & Silva, P. D. (2023). Innovative processes in smart packaging. *A Systematic Review. 103*, 986-1003 .

-Gámez A, H., Cardona, O., Mejía Argueta, C., & Sarmiento, A. (2015). A cost-efficient method to optimize package size in emerging markets. *241*, 917-926 .

-García-Arca, J., Garrido, A. T. G. P., & Prado-Prado, J. C. (2017). Sustainable Packaging Logistics. *The link between Sustainability and Competitiveness in Supply Chains. 9*(7), 1098.

-García-Arca, J., Gonzalez-Portela Garrido, A. T., & Prado, P. (2016). Packaging Logistics for improving performance in supply chains: The role of meta-standards implementation. *26* .

-García-Arca, J., Prado-Prado, J. C., & González-Portela Garrido, A. T. (2014). Packaging logistics: promoting sustainable efficiency in supply chains. *44*, 325-346 .

-Gezerman, A. O., & Erişmiş, M. (2012). How cost can be reduced by packaging design. *47*, 8619-8621.

-Hellström, D., & Nilsson, F. (2011). Logistics-driven packaging innovation: a case study at IKEA. *39*(9), 638-657 .

-Igilar, C. (2023). Analysis of Perishable Goods Transportation. *11*, 35-72 .

-Kaushani, K. G., Rathnasinghe, N., Katuwavila, N., Jayasinghe, R., Nilmini, R., & Priyadarshana, G. (2022). Trends in Smart Packaging Technologies for Sustainable Monitoring of Food Quality and Safety. *07*, 07-30 .

-Mahalik, N. (2009). Processing and packaging automation systems: A review. *3*, 12-25 .

-Sani, M. A., Azizi-Lalabadi, M., Tavassoli, M., Mohammadi, K., & McClements, D. J. (2021). Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials. *11*(5), 1331 .

-Schaefer, D., & Cheung, W. (2018). Smart Packaging: Opportunities and Challenges. *72* .

-Soroka, W. (2020). Fundamentals of packaging technology. *Institute of Packaging Professionals .*

-Stock, J. R., & Lambert, D. M. (2001). Strategic logistics management. *McGraw-Hill/Irwin .*

-Sultana, R., & Akter, M. S. (2022). Impact of Effective Inventory Management on Supply Chain Performance. *XLIII*, 121-143 .

-Thulasisingh, A., Kumar, K., & Yamunadevi, B. (2022). Biodegradable packaging materials. *79*, 4467-4496 .

-Tosun, E. G., Karagül, K., Şahin, Y., & Kay, M. (2020). Route planning methods for a modular warehouse system. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA),* 10(1), 17-25.

-Verghese, K., & Lewis, H. (2007). Environmental innovation in industrial packaging: a supply chain approach. *45*(18-19), 4381-4401.

-Yam, K. L., & Lee, D. S. (2012). Handbook of Food Packaging. *Springer .*

-Zhu, Z., Liu, W., Ye, S., & Batista, L.(2022). Packaging design for the circular economy: A systematic review. *32*, 817-832 .

-Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *72*(3), R39-R55 .

-Meherishi, L., Narayana, S., & Ranjani, K. (2019). Sustainable packaging for supply chain management in the circular economy: A review. *237*.

-Onwulata, C. (2014). Food Packaging Principles and Practice, 3rd Edition. *38* .

-Paine, F. A., & Paine, H. Y. (2012). *A* handbook of food packaging. *Springer Science & Business Media .*

Pålsson, H., & Hellström, D. (2016) .Packaging logistics in supply chain practice – current state, trade-offs and improvement potential. *19*(5), 351-368 .

-Philipp, B., Fulconis, F., & Zeroual, T. (2020). Packaging Trends in International Transportation and Logistics. *IGI Global Scientific Publishing,* 54-73.

-Pienimaa, S. K., Miettinen, J., & Ristolainen, E. (2004). Stacked modular package. *27*(3), 461-466 .

-Rajesh, P., & Subhashini, V. (2021). Sustainable Packaging from Waste Material: A Review on Innovative Solutions for Cleaner Environment. S*pringer .*

-Saeed, M., Mansha, A., Bokhari, T., & Ali, A. (2023). Metal packaging for food items advantages, *Disadvantages and Applications.*

-Saghir, M. (2004). The Concept of Packaging Logistics .

The Role of Packaging in Supply Chain Management and Freight Transportation

Hamid Mirzahossein, *Professor, Department of Civil -Transportation Planning, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.*

Mohammadreza Kamalinezhad, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering – Transportation Planning, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

E-mail: mirzahossein@eng.ikiu.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

Packaging plays a crucial role in supply chain management and freight transportation by optimizing logistics, reducing costs, and enhancing productivity. Effective packaging design protects goods from damage and environmental factors, reduces transportation costs, improves cargo arrangement, increases safety, minimizes waste, and facilitates loading and unloading. Standardized packaging also enhances storage efficiency and coordination within the supply chain. Recently, environmental concerns have driven a growing focus on sustainable and recyclable packaging. Applying international standards in packaging design helps prevent resource waste and strengthens global coordination among suppliers, manufacturers, and distributors. This research aimed to identify and prioritize the key criteria influencing packaging selection and to determine the optimal packaging type for freight transportation. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP), four main criteria, cost, performance and protection, sustainability, and intelligence and traceability, were evaluated alongside four packaging alternatives: plastic, paper/cardboard, smart, and biodegradable. The results show that cost, with a weight of 0.55, is the most influential criterion, while plastic packaging, with a final weight of 0.505, emerged as the optimal choice. Although sustainability and smart technologies are increasingly emphasized in theory and policy, practical decision-making in packaging selection remains primarily driven by economic considerations.

Keywords: Packaging, Freight Transportation, Supply Chain, Packaging Design, Supply Chain Management