بررسی و تجزیه وتحلیل بسته‌بندی محصولات، حفظ محیط زیست و هزینه‌های مرتبط

دریافت: ۹۵/۷/۲۶ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۹

مترجمین:
منصوره صادقی
باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد علی‌آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آباد کتول، ایران
m_sadeghi2701@yahoo.com

هرمز مهرانی
گروه مدیریت، واحد علی‌آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی‌آباد کتول، ایران
mehrani@aliabadiau.ac.ir

ارزیابی اثرات چرخه حیات بسته‌بندی / اطلاعات محیطی / فن آماری (AHP) / فن آماری (TOPSIS) / بسته‌بندی پایدار / هزینه متغیر پایدار تولیدکننده

چکیده

در اتحادیه اروپا، مقررات مسئولیت‌پذیری گسترش یافته تولیدکننده نتوانست بسته‌بندی‌های دوستدار محیط زیست را ترویج کندکه دلیل عمده آن استفاده از ابزارهای اقتصادی به ویژه هزینه تولیدکننده و نادیده گرفتن عوامل دیگر است. در این مقاله، به منظور بهبود اثر هزینه تولیدکننده، از بعدارتباطی و همچنین تأثیرگذاری بر کیفیت بسته‌بندی، مدلی ریاضی برای محاسبه هزینه‌های متغیر پایداری تولیدکننده پیشنهاد شده است. توسعه این مدل شامل گام‌های زیر است: انتخاب معیارهای پایداری، یکپارچه‌سازی معیارها با استفاده از شیوه تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرموله کردن محاسبه هزینه متغیر پایداری تولیدکننده و یکپارچه‌سازی سیستم تعاملی تارنما پایه برای شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان برای محاسبه هزینه‌های متغیر خودشان. جنبه‌های پایداری مورد نظر شامل ابعاد اجتماعی مرتبط با ارزیابی اثرات چرخه حیات بسته‌بندی (مانند گرم شدن کره زمین و مسمومیت انسانی) و جنبه‌های اجتماعی مرتبط با ارائه اطلاعات در مورد بسته‌بندی (مانند نماد سطل زباله و اطلاعات اثرکربن) هستند. مدل ریاضی نهایی از نتایج پایداری با شیوه تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شده است. اگر سطح پایداری پایین باشد یعنی این که اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی منفی باشند، هزینه‌ها از هزینه‌های فعلی (۲۰۰/۸یورو در هر تن) بیشتر می‌شود. بالعکس اگر سطح پایداری بالا باشد هزینه‌ها

کاهش می‌یابند. در تجزیه و تحلیل حساسیت، کم‌ترین هزینه برای بسته‌بندی پلی اتیلن به دست آمد که ۱۹۱/۸۹یورو برای هر تن پسماند بود که شامل ۱۰درصد مواد بازیافت می‌گردید. اطلاعات بازیافت در بسته‌بندی‌های مرتبط با اثر کربن و نماد بازیافت موجود بود. بیشترین هزینه‌ها که ۲۱۸/۶۹ یورو در هر تن پسماند بود برای بسته‌بندی‌های پلی‌وینیل کلراید (PVC) بدون مواد بازیافت و بدون هرگونه اطلاعات زیست‌محیطی محاسبه شد. مدل پیشنهادی در سیستم تعاملی تارنما پایه اجرا شد که شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات می‌توانند انواع مختلف بسته‌بندی را برای کاهش هزینه‌ها شبیه‌سازی کنند. در این مقاله موفقیت این رویکرد مورد بحث قرار گرفت که شامل توانایی بالقوه آن برای تغییر رفتار بسته‌بندی شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات و افزایش سطح پایداری بسته‌بندی در آینده نزدیک است.

مقدمه

در اتحادیه اروپا، بعد از تصویب مقررات مربوط به پرداخت هزینه‌های آلودگی‌های محیط زیست توسط آلوده‌کنندگان آن، مدیریت پسماندهای بسته‌بندی مورد نظر قرار گرفت. با این حال، سازمان‌های دیگری که در چرخه حیات بسته‌بندی در گیر هستند مانند شرکت‌های بسته‌بندی باید مسئولیت‌های بیشتری را بپذیرند و در کاهش پسماندها تلاش کنند. به چنین شرایطی، مسئولیت گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی اطلاق می‌گردد.

طبق تعریف سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی[۱]، مسئولیت گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی رویکردی زیست‌محیطی است که در آن مسئولیت فیزیکی و مالی تولیدکننده به مراحل قبل از مصرف نیز گسترش می‌یابد. دو ویژگی مرتبط با سیاست مسئولیت گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی وجود دارد که عبارتند از: (۱) هدایت جریان مسئولیت‌پذیری به سمت تولیدکنندگان پسماندها و نه شهرداری‌ها؛ و (۲) ایجاد انگیزه‌هایی برای شرکت‌های تولیدکننده تا ملاحظات زیست‌محیطی مرتبط با طراحی محصولاتشان را مورد نظر قرار دهند [۱] و [۲]. به منظور اجرای موفق مقررات مرتبط با مسئولیت‌پذیری گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی، ابزاری اقتصادی ضروری است که برابر آن تولیدکنندگان کل هزینه‌های سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی را پرداخت کنند. در این روش، شهرداری‌ها از هزینه مالی جمع‌آوری و مدیریت پسماندهای بسته‌بندی معاف می‌شوند.

مسئولیت گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی در کشورهای مختلفی در اروپامورد استفاده قرار گرفته است و سیستم نقطه سبز برای پسماندهای بسته‌بندی در اروپا به‌طور گسترده‌ای مطرح می‌باشد [۱] و [۳]. با این که در این روش، مسئولیت مدیریت پسماندهای بسته‌بندی به تولیدکنندگان محول گردیده است و آن‌ها را متعهد می‌کند که از نظر مالی بخشی از هزینه‌های مدیریت پسماندهای بسته‌بندی را پرداخت کنند [۴]، اما شواهدی وجود ندارد که نشان دهد مدیریت پسماندها بهبود یافته است و یا این که طراحی بسته‌بندی‌ها از نظر استانداردهای زیست‌محیطی بهتر شده است. برابر نظر واتکینز و همکاران (۲۰۱۲)، رابطه بین مسئولیت‌پذیری گسترش یافته تولیدکنندگان و عملکرد بازیافت و بهبود بسته‌بندی محصولات ثابت نشده است. دمپسی و همکاران (۲۰۱۰) اعلام کردند که مقررات مرتبط بامسئولیت گسترش یافته تولیدکنندگان، برای ترویج حفاظت از محیط زیست طراحی و یا اجرا نشده‌اند. اخیرا مطالعاتی انجام شده است تا تأثیر مقررات مسئولیت‌پذیری گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی تولیدکنندگان را بر راهبردهای نوآوری به ویژه در ترویج محصولات دوستدار محیط زیست بررسی کند[۵].

محققین متعددی بر ضرورت توسعه روش‌هایی برای محاسبه هزینه‌های مسئولیت‌پذیری گسترش یافته تولیدکنندگان بسته‌بندی تاکید دارند تا بدین وسیله هم طراحی بسته‌بندی و هم مدیریت آن بهبود یابد [۴] [۶] و [۷]. چندین راهبرد برای محاسبه هزینه‌مسئولیت‌پذیری گسترش یافته تولیدکنندگان بسته‌بندی وجود دارد. یک راهبرد براساس نوع بسته‌بندی (بسته‌بندی اول، دوم و سوم)، نوع مواد (کاغذ/مقوای نازک، پلاستیک، فلز، شیشه، و چوب)، حجم بسته‌بندی، و خاستگاه مواد (شهری و غیرشهری) می‌باشد. این راهبرد در ارتباط با

هزینه‌های مدیریت پسماندهای بسته‌بندی است. هنگامی که مواد بسته‌بندی دارای فشردگی بالاتری باشند و یا بازار بزرگی برای مواد بازیافتی وجود داشته باشد، هزینه آن کمتر می‌شود. این راهبرد را می‌توان به راحتی برای بسته‌بندی‌های معمولی بکار گرفت، اما کاربرد آن برای بسته‌بندی‌های خاص نظیر انواع مختلف پلیمر یا انواع مختلف کاغذ، دشوارتر است. این مواد پیچیده‌تر نیاز به اطلاعات بیشتر در مورد ویژگی‌های بسته‌بندی و هزینه‌های اضافی مدیریت آن‌ها دارند. راهبرد فوق برای ترویج بسته‌بندی‌های پایدار نیز مناسب نیست، زیرا تنها بر جنبه‌های اقتصادی مدیریت پسماندهای بسته‌بندی تمرکز دارد.

راهبرد دیگر برای محاسبه هزینه‌ها، بازیافت‌پذیر کردن بسته‌بندی‌ها است. این راهبرد درسیستم نقطه سبز فرانسه [۸] مورد استفاده قرار گرفته است، که در آن جرائم مالی و پاداش‌هایی در ارتباط با کیفیت بسته‌بندی اعمال می‌شود. جرایم مالی شامل افزایش هزینه‌ها در مواردی است که در آن‌ها کیفیت ضعیف بسته‌بندی‌ها منجر به بدتر شدن مواد بازیافتی می‌شود و یاقابل بازیافت نیست. پاداش هنگامی پرداخت می‌شود که تولیدکننده بسته‌بندی از مواد کمتری استفاده می‌کند و یا در فعالیت‌های مرتبط با آگاه‌سازی زیست‌محیطی در جامعه شرکت می‌کند. چنین راهبردی برای قابل بازیافت کردن بسته‌بندی‌ها مثبت است زیرا به نفع شرکت‌هایی است که فعالیت‌های مرتبط با بازیافت را انجام می‌دهند. از آن جایی که مسئولیت مالی اقدامات به صورت کلی به واحدهای تولیدکننده بسته‌بندی تحمیل می‌شود لذا تلاش برابر را از کلیه ذینفع‌ها برای تشویق بسته‌بندی‌های پایدارتر ایجاد نمی‌کند. چنین رویکردی نیازمند توافق همگانی بین ذینفع‌ها در مورد ویژگی‌های فنی با حداقل الزامات است تا اطمینان حاصل گردد که مواد قابل بازیافت توسط صنعت استفاده خواهد شد.

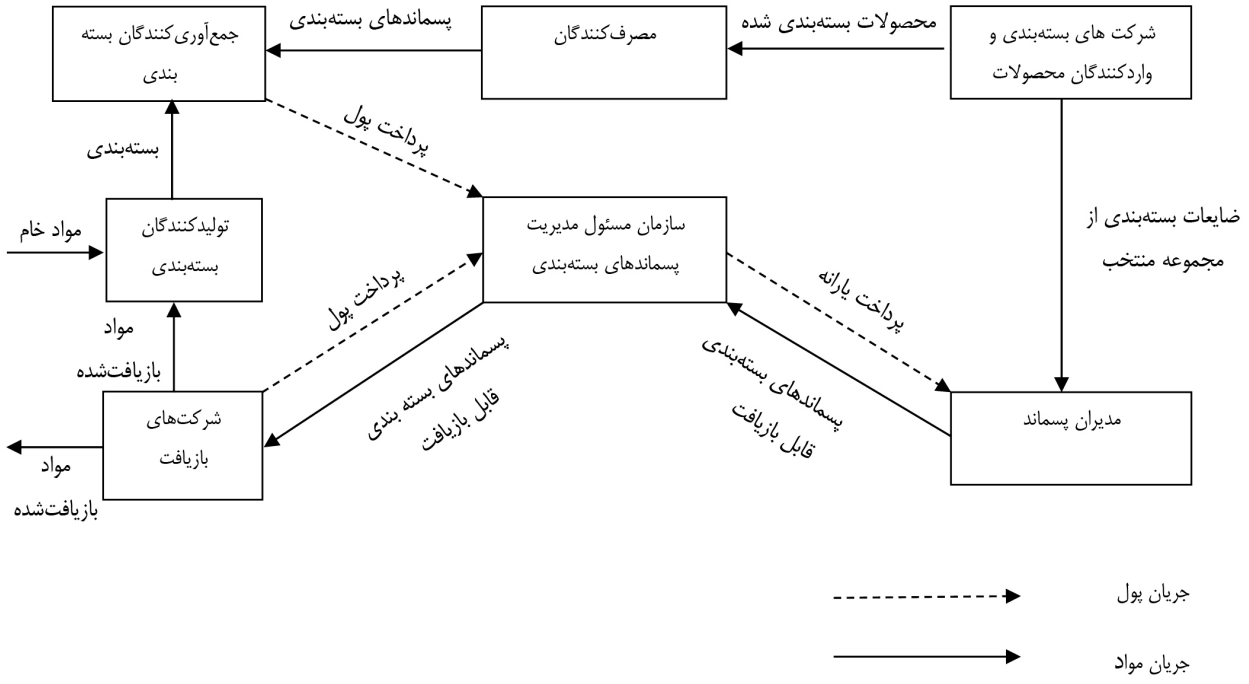
نقاط ضعف اشاره شدهٔ فوق نیاز به عرضه راهبردهای جدیدی را آشکار می‌سازد. در این مقاله، راهبردی ابداعی را ارائه کرده ایم که براساس آن با اندازه گیری سطح پایداری چرخه حیات بسته‌بندی بتوان هزینه آن را محاسبه کرد. در این روش هزینه‌ها شامل جنبه‌های مختلف پایداری از جمله اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی می‌گردد. جنبه‌های اقتصادی تنها عاملی است که در اغلب سیستم‌ها مورد نظر قرار گرفته است و منعکس‌کننده هزینه‌های مدیریت پسماندهای بسته‌بندی است. جنبه‌های محیطی شامل اثرات زیست‌محیطی است که در چرخه حیات بسته‌بندی اتفاق می‌افتد. جنبه‌های اجتماعی مرتبط با اطلاعات زیست‌محیطی است که بر روی بسته‌بندی‌ها ذکر می‌گردند. برای انجام این کار، مدل ریاضی بدیعی برای بسته‌بندی مواد پلاستیکی برای بزرگترین سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی در پرتقال که سیستم گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی را در این کشور اداره می‌کند ارائه شده، توسعه یافته و آزمایش گردیده است.

۱. طراحی مدل

سیستم نقطه سبز پرتغال مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی در این کشور است. مشابه دیگر سیستم‌های مسئولیت گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی، موسساتی که پرداخت را انجام می‌دهند آنهایی هستند که محصولات بسته‌بندی شده را به بازار عرضه می‌کنند و شامل شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات بسته‌بندی شده هستند. مدیریت پسماندهای بسته‌بندی شهری و همچنین غیر شهری که اغلب صنعتی هستند متفاوت می‌باشند.

در سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی شهری که در نمودار (۱) نشان داده شده است، مواد خام به مواد بسته‌بندی تبدیل می‌شوند و سپس برای بسته‌بندی محصولات به تولیدکنندگان فروخته می‌شوند. مصرف‌کنندگان، محصولات بسته‌بندی شده را خریداری می‌کنند و سپس پسماندهای بسته‌بندی را به انبارهای بازیافت عرضه می‌کنند. پسماندهای بسته‌بندی که از مبدا تفکیک شده‌اند شامل پلی اتیلن ترفتالیت (PET ۵۲ درصد کل وزن پسماندهای بسته‌بندی که از مبدا تفکیک شده‌اند را شامل می‌شود) و هشت درصد نیز که کوچکترین مقدار پسماندهای بسته‌بندی شده از نظر وزنی هستند از نوع پلی پروپیلن می‌باشند. جمع‌آوری‌کنندگان پسماندها، پسماندهای بسته‌بندی را به کارخانجات بازیافت مواد اولیه تحویل می‌دهند

که در آن جا دسته‌بندی و برای بازیافت ارسال می‌گردند. مواد بازیافتی توسط صنایع برای تولید بسته‌بندی‌های جدید و یا سایر محصولات استفاده می‌شود. بسته‌بندی‌هایی که از مبدا تفکیک نشده باشند با پسماندهای شهرداری‌ها مخلوط و سپس ذخیره و بازیابی می‌گردند اما با کیفیتی پایین‌تر.



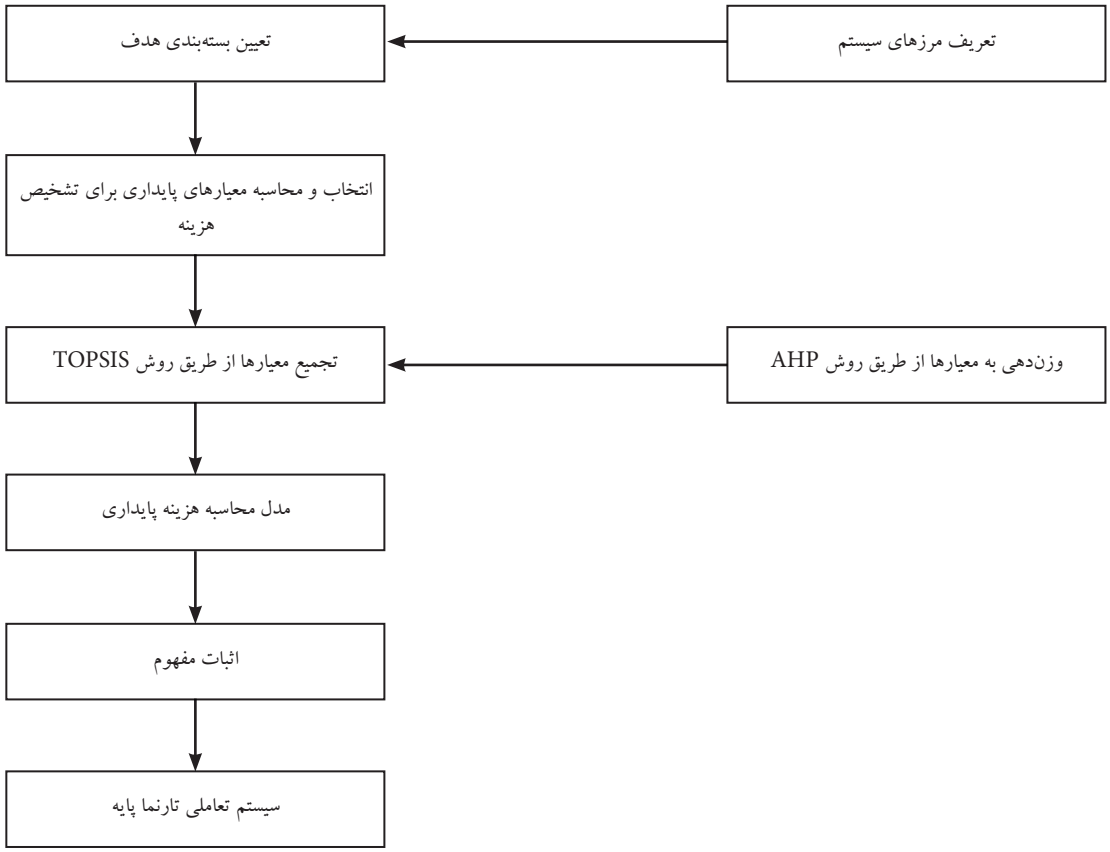
نمودار ۱ـ سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی پرتقال
(فقط سیستم بسته‌بندی شهری)

بابت جریان پول در سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی شهری، شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات هزینه‌ای را به سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی پرداخت می‌کنند. این سازمان این قول و تعهد را می‌دهد که بسته‌بندی به طریقی عرضه گردد که از نظر محیطی مسئول و هماهنگ با قوانین مسئولیت‌پذیری گسترش یافته تولیدکنندگان بسته‌بندی باشد[۹]. هزینه‌های پرداخت شده با افزایش قیمت کالاها به توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان، و در نهایت به مصرف‌کنندگان منتقل می‌شود. وجوه مالی دریافت شده برای پرداخت هزینه‌های سیستم پسماندهای تفکیک شده از مبدا، حمل و نقل و دسته‌بندی پسماندها برای بازیافت استفاده می‌شود. بازیافت‌کنندگان، پسماندهای بسته‌بندی دسته‌بندی شده را که در شرایط مناسبی برای فروش در بازار باشند را خریداری و بابت آن پول پرداخت می‌کنند.

مدیریت سیستم پسماندهای بسته‌بندی غیرشهری، بسیار ساده‌تر است زیرا که تولیدکننده پسماندها مشخص می‌کند که چه سازمانی پسماندهای بسته‌بندی را دریافت خواهد کرد. تاکنون، پسماندهای بسته‌بندی صنعتی یا بازیافت می‌شدند و یا این که در زمین دفن می‌گردیدند و مقدار کمی نیز برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در سیستم پسماندهای غیر شهری، هزینه‌ها توسط شرکت‌هایی پرداخت می‌شود که بسته‌بندی‌ها را به بازار عرضه می‌کنند. بخشی از وجوه جمع‌آوری شده برای تامین مالی یارانه‌های اطلاعاتی هزینه می‌شود.

این یارانه‌ها برای پشتیبانی از هزینه‌های جمع‌آوری‌کنندگان پسماندهای بخش خصوصی و همچنین مدیریت و ارائه اطلاعات در مورد مقدار پسماندهای بسته‌بندی غیرشهری مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای جبران هزینه‌های سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی ارسال می‌شود. سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی در پرتقال بر مبنای اصول بازار آزاد اداره می‌گردد.

در حال حاضر، هزینه مدیریت سیستم پسماندهای بسته‌بندی شهری و غیر شهری برابر درآمدهای آن است وفقط جنبه‌های اقتصادی سیستم را منعکس می‌کند و فاقد هر گونه سودی است. برای رفع این مشکل که ارزش مالی این سیستم فرآیند بسته‌بندی پایدار را تشویق نمی‌کند، مدل پیشنهادی جنبه‌های زیر را مورد توجه قرار می‌دهد که در نمودار (۲) نشان داده شده است.



نمودار ۲ـ روش مورد استفاده در طراحی و تدوین مدل هزینه متغیر

- تعیین بسته‌بندی هدف. در سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی پرتقال انواع مختلفی از بسته‌بندی‌ها وجود دارند که عبارتند از: بسته‌بندی اول که در تماس مستقیم با محصول است. بسته‌بندی دوم که در ارتباط با نمایش کالا در قفسه است و بسته‌بندی سوم که مرتبط با حمل و نقل می‌باشد. بسته‌بندی‌های دیگر شامل بسته‌های پلاستیکی ویژه مواد غذایی و بسته‌های چند لایه که شامل چندین عنصر متفاوت هستند و برای محصولاتی استفاده می‌شوند که به صورت بسته حاوی چندین کالا عرضه می‌گردند. در این مقاله هدف، بررسی بسته‌بندی اول، بسته‌های پلاستیکی و بسته‌های چند لایه است. در این تحقیق برای هر نوع بسته‌بندی، پلیمرهای متفاوتی بر مبنای استفاده عمومی ان در بازار انتخاب شد.
- تعریف مرزهای سیستم. مرز سیستم شامل کل بسته‌بندی

و چرخه حیات پسماندهای بسته‌بندی در پرتقال است. سیستم بسته‌بندی شامل استخراج مواد خام، حمل و نقل محصولات بسته‌بندی شده (بسته‌بندی اول، دوم و سوم) به نقاط توزیع و به انبارها، استفاده از محصولات بسته‌بندی شده توسط مصرف‌کنندگان و مدیریت مرحله آخر چرخه حیات بسته‌بندی است (شامل پسماندهای بسته‌بندی بخش‌های منتخب و پسماندهای بسته‌بندی شهرداری‌ها، جداسازی پسماندها، بازیافت، ازبین بردن مکانیکی پسماندها، سوزاندن و دفن کردن). چرخه حیات محصول از مرزهای سیستم حذف شد تا فرآیند تجزیه و تحلیل ساده‌تر انجام گردد. سیستم بسته‌بندی شهری و غیر شهری به صورت مجزا مورد نظر قرار گرفته است زیرا که جریان مواد آن‌ها متفاوت است.

- معیارهای انتخاب و محاسبه پایداری. برای محاسبه هزینه پایداری ضروری است که عناصر پایداری مورد استفاده تعریف گردند. عناصر اقتصادی شامل هزینه‌های اداره سیستم است. این هزینه‌ها شامل مدیریت پسماندهای بسته‌بندی پلاستیکی است که به صورت کلی محاسبه می‌شوند زیرا که اطلاعاتی وجود ندارد که بین انواع مختلف پلیمرها تمایز ایجاد کند. معیارهای زیست‌محیطی مورد استفاده از چرخه حیات بسته‌بندی انتخاب شد. ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی معمول‌ترین روش مورد استفاده برای کمی کردن اثرات زیست‌محیطی است[۱۰]. معیارهای دیگر زیست‌محیطی شامل مقدار مواد بازیافت مورد استفاده در بسته‌بندی‌های جدید محصولات است. معیارهای اجتماعی، مرتبط با حجم اطلاعاتی است که برای آگاه‌سازی جامعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. معیارهای پایداری منتخب برای ایجاد سازه جهت بررسی وضعیت پایداری مورد استفاده قرار گرفت.
- انتخاب روش تجمیع معیارها. بعد از این که نیمرخ پایداری مشخص شد ضروری است که کلیه اطلاعات را تجمیع کنیم تا به یک عدد برسیم که پایداری بسته‌بندی است. در این گام شیوه تصمیم‌گیری چند معیاره مورد استفاده قرار گرفت[۱۱]. هدف اصلی، تجمیع داده‌هایی از انواع و ابعاد مختلف برای رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف با هدف دستیابی به بهترین راه حل است. روش مورد استفاده برای تجمیع ویژگی‌های بسته‌بندی با معیارهای موزون (TOPSIS) تکنیکی برای دسته‌بندی ترجیحات براساس مشابهت‌ها جهت دستیابی به یک راه حل ایده آل است که توسط هوآنگ و یون (۱۹۸۱) توسعه یافته است. از آنجایی که شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات وزن‌های مختلفی به معیارها می‌دهند، وزن هر معیار باید تعیین شود. روش مورد استفاده برای محاسبه وزن معیارهای مختلف، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است که توسط ساعتی[۱۲] توسعه یافته است.
- مدل محاسبه هزینه پایداری. در این مقاله مدلی ریاضی توسعه یافت تا اطمینان حاصل گردد که پاداش و یا جریمه مالی را بتوان از معیارهای پایداری به دست آورد.
- اثبات مفهوم. اولین نمونه آزمایشی با نرم‌افزار اکسل مایکروسافت به منظور مقایسه دست‌آوردها با اهداف توسعه یافت. قبل از توسعه مدل تعاملی تارنماپایه نهایی، آزمایش‌ها و راستی آزمایی‌های متعددی انجام شد.
- مدل تعاملی تارنما پایه. در مرحله نهایی، مدل تعاملی تارنماپایه با استفاده از نرم‌افزار javascript 4. 2 (EXT js 4. 2) توسعه یافت. این نرم‌افزار به سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی برای محاسبه هزینه‌های جدید ارسال شد.

۲. تشریح مدل هزینه پایدار بسته‌بندی برای تولیدکننده

در این بخش، درخصوص جزئیات مدل جدید بحث می‌نماییم. هدف اصلی، کمک به شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات است تا جنبه‌هایی را که باید برای کاهش هزینه‌ها با استفاده از سیستم خبره مورد نظر قرار دهند درک کنند. روش‌شناختی‌های متفاوتی با توجه به نوع محصولات و جنبه‌های مختلف آن برابر مقتضیات به شرح زیر توسعه یافت.

۱ـ۲. انتخاب و محاسبه معیارهای پایداری

۱ـ۱ـ۲. معیارهای زیست‌محیطی با ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی

برای بررسی اثرات زیست‌محیطی، از روش ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی و با بهره گیری از استانداردهای ایزو خانواده ۱۴۰۴۰ (ISO,2006a,b) استفاده شد [۱۳و۱۴]. در این روش، اطلاعات مربوط به مصرف مواد و انرژی و همچنین آلوده‌کنندگان در چرخه حیات محصول گردآوری گردید. ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی معمولا به چهار مرحله تقسیم می‌شود که عبارتند از: تعریف هدف و حوزه فعالیت، اثرات کل چرخه حیات، ارزیابی چرخه حیات، وتعبیر و تفسیر [۱۲و۱۳]. نرم‌افزار مورد استفاده برای این فعالیت‌ها، Umberto version 5. 5 بود [۱۵]. هدف و حوزه اقدامات ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی، محاسبه اثرات زیست‌محیطی بسته‌بندی‌های پلاستیکی منتخب است. واحد مورد مطالعه، ۱۰۰۰کیلوگرم محصول روی پالت بود که به یک واحد خرده‌فروشی تحویل داده شده بود. برای هر نوع بسته‌بندی (بسته‌بندی پلاستیکی اول، بسته‌های پلاستیکی و بسته‌های با چند روکش پلاستیکی) واحد یکسانی برای محاسبه اثرات زیست‌محیطی آن با توجه به معیارهای منتخب استفاده شد.

جدول ۱ـ بسته‌بندی پلاستیکی مورد نظر در مدل هزینه متغیر

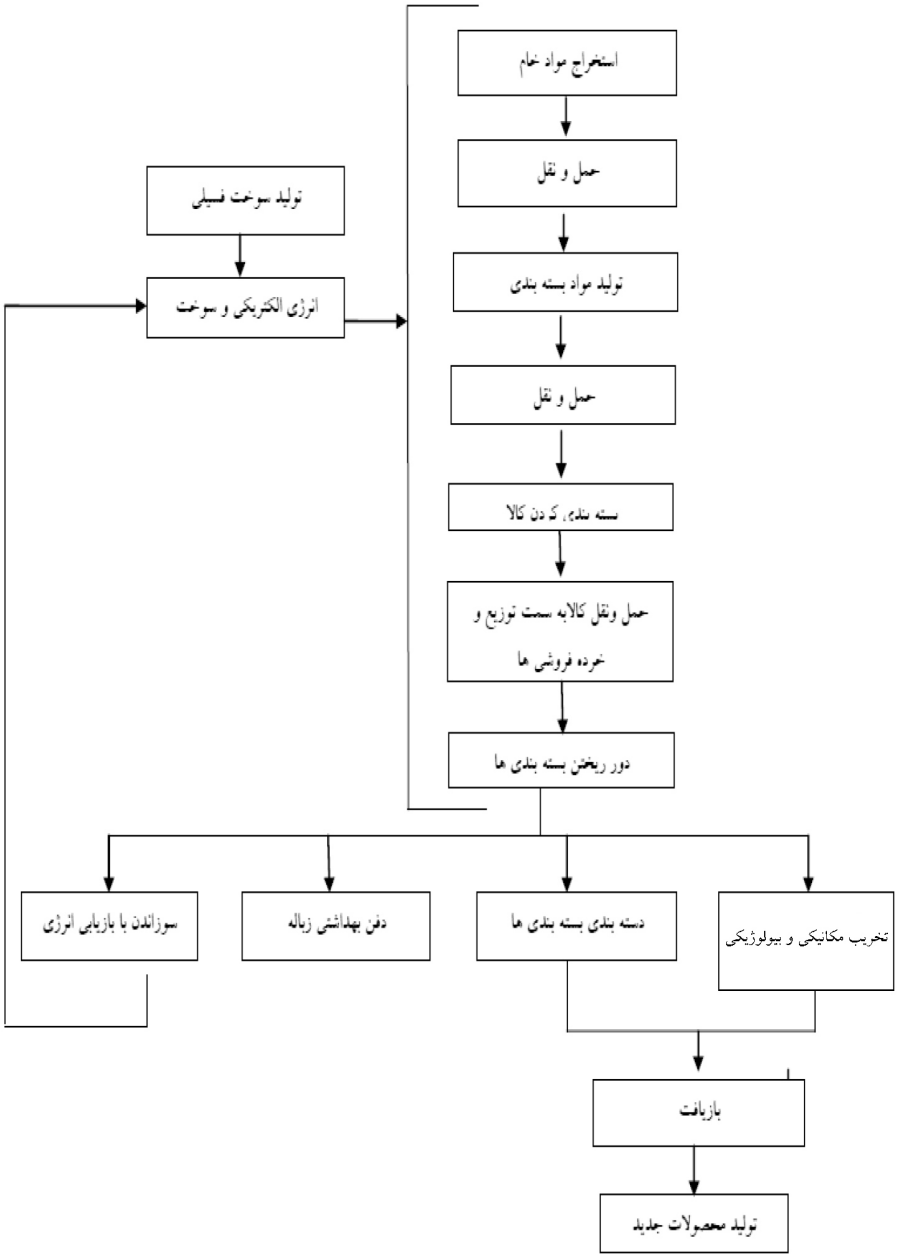
بسته‌بندی چند لایه	کیسه‌های پلاستیکی	بسته‌بندی اولیه	بسته‌بندی پلاستیکی
روکش‌دار، روکش شده با آلومینیوم، PE، PP	PE, PP	EPS, PE, PET, PP, PS, PVC	نوع مواد

EPS ـ پلی استایرن انبساطی، PE ـ پلی اتیلن، PET ـ پلی اتیلن ترفتالات، PP ـ پلی پروپیلن، PS ـ پلی استایرن، PVC ـ پلی وینیل کلرید.

مرزهای مورد استفاده در چرخه حیات بسته‌بندی از نوع استنادی است زیرا که کلیه مسئولیت‌های مرتبط با هر مرحله از چرخه حیات بسته‌بندی را در لحظه‌ای خاص ارزیابی می‌کند[۱۶]. از آنجایی که ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی فقط در مورد بسته‌بندی کاربرد دارد و شامل محصول نمی‌گردد لذا از یک رویکرد محدود تبعیت می‌کندکه در نمودار (۳) نشان داده شده است. پوشش جغرافیایی این ابزار کشور پرتقال است، با این حال انتهای چرخه حیات بسته‌بندی شامل اسپانیا نیز می‌شود زیرا که بعضی از واحدهای بازیافت که پسماندهای بسته‌بندی پرتقال را اداره می‌کنند در اسپانیا مستقر هستند. فناوری مورد استفاده (فناوری مشخص و یا آمیخته فناوری) و داده‌های جمع‌آوری شده در سطح ملی و در سطح اروپا بود. دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۲–۲۰۱۰ را شامل گردید.

در سیستم ارائه شده در نمودار (۳)، اقدامات متعدد مرتبط با محصولات دیگر شامل پلاستیک بازیافت و انرژی برق نیز نشان داده شده است. برای حل چند وظیفه‌ای بودن فرآیند، مرز سیستم در محدوده‌ای خاص گسترش یافت. در این مقاله، محتوای بازیافت (مقدار مواد بازیافت بسته‌بندی) در کاهش اثرات زیست‌محیطی بسته‌بندی در ارزیابی چرخه حیات آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی، مسئله چند وظیفه‌ای بودن بدون تخصیص و با به کارگیری راهبردی حل شد که قبلا توسط ورقس و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شده بود. این مولفین روش ۵۰ : ۵۰ را ارائه کردند که برابر آن ۵۰ درصد سود بازیافت به سیستم بسته‌بندی بر مبنای محتوای مواد بازیافتی اختصاص می‌یابد. ۵۰ درصد باقیمانده نیز به بازیافت بسته‌بندی در پایان چرخه حیات آن اختصاص می‌یابد. روش ۵۰ –۵۰ به علت این که منعکس‌کننده مدیریت مناسب پسماندها است و مواد بسته‌بندی مجددا بازیافت و در بسته‌بندی‌های جدید به‌کار می‌روند، از اهمیت زیادی برخوردار است.

مواد به کار رفته در هر نوع بسته‌بندی پلاستیکی براساس منابع آن است که در جدول (۲) نشان داده شده است. مراحل چرخه حیات بسته‌بندی و فرآیندها که در نمودار (۳) و جدول (۲) ارائه شده انداز پایگاه داده نرم‌افزاری Umberto [۱۴] اخذ شده است. در مواردی که اطلاعات کهنه وقدیمی بودند و یا این که منطقه جغرافیایی آن‌ها نا مشخص بودند از پایگاه‌های داده‌های دیگری استفاده شد. در مورد کیفیت داده‌ها سازگاری جغرافیایی آن‌ها مورد نظر قرار گرفت. با این حال اخذ داده کامل از کلیه مراحل بسته‌بندی مانند مرحله جاگذاری محصولات در داخل بسته‌بندی مقدور نبود. در این تحقیق مرحله جاگذاری



نمودار ۳ـ مرزهای سیستم مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی

محصولات در داخل بسته‌بندی مورد نظر قرار نگرفت زیرا که از منابع ملی اطلاعات جداگانه‌ای در این رابطه وجود ندارد (جاگذاری محصولات در داخل بسته‌بندی با مرحله تولید محصول مرتبط است).

معیارهای زیست‌محیطی که در این تحقیق مورد نظر قرار گرفت شامل شش طبقه اثرات است که از منبع CML ۲۰۰۱ [۱۰] استفاده شد که خود شامل چهارده طبقه است. این شش طبقه اثرات محیطی عبارتند از: دور ریختن مواد، اسیدی شدن محیط، ورود مواد بسته‌بندی در خاک، گرم شدن کره زمین، مسمومیت انسانی و اکسیده شدن با مواد شیمیایی. متغیرهای فوق معمولا در مطالعات مدیریت پسماند بسته‌بندی [۱۷ و ۱۸]، بسته‌بندی و پسماند بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۹ و ۲۰].

جدول ۲ـ طبقه‌بندی مواد بسته‌بندی برای تشریح مدل

مرحله چرخه حیات	شرح	منبع
استخراج مواد خام، حمل و نقل و تولید بسته‌بندی	ورودی و خروجی مرتبط با استخراج مواد، حمل و نقل و تولید بستبه‌بندی	ifu Hamburg (2009), PlasticsEurope (2013), ProBas (2013), Ribeiro (2002), Silva (2002)
حمل و نقل به نقطه توزیع	موجودی‌های مرتبط با حمل و نقل، شامل مصرف سوخت و آلودگی‌های حاصله	ifu Hamburg (2009), ProBas (2013)
حمل و نقل ازنقطه توزیع به خرده‌فروشی ها	موجودی‌های مرتبط به حمل و نقل، شامل مصرف سوخت و آلودگی‌های حاصله	ifu Hamburg (2009), ProBas (2013)
مدیریت پسماندها	مصرف و آلودگی‌های حاصل شده مرتبط با فرآیند پردازش، دور ریختن مواد بسته‌بندی در انتهای حیات آن شامل جمع‌آوری، بازیافت، دور ریختن مکانیکی و سوزاندن	ifu Hamburg (2009), Pires et al. (2011)

۲ـ۱ـ۲. توجه به جنبه‌های اجتماعی با ارائه اطلاعات زیست‌محیطی

جنبه‌های اجتماعی شامل معیارهای مرتبط با آگاهی‌های زیست‌محیطی است که از طریق اطلاعات روی برچسب بسته‌بندی ارائه می‌گردد. وجود اطلاعات صحیح زیست‌محیطی با ارائه آگاهی‌های زیست‌محیطی و ترویج مدیریت بهتر پسماندهای بسته‌بندی به ویژه خاتمه دادن صحیح چرخه حیات بسته‌بندی با قرار دادن زباله‌ها در سطل‌های بازیافت از اهمیت زیادی برخوردار است. این اقدامات به ویژه در پرتقال از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا که ابزار دیگری برای تشویق شهروندان جهت شرکت در طرح بازیافت پسماندهای بسته‌بندی وجود ندارد و نرخ بازیافت در سطح پایینی قرار دارد. بنابراین، پنج معیار با گزینه‌های بلی/خیر برای ارزیابی وجود اطلاعات زیست‌محیطی روی برچسب‌های بسته‌بندی انتخاب شد که عبارتند از: نماد بازیافت، اطلاعات آثار کربن، محتوای مواد بازیافت روی برچسب بسته‌بندی، نماد سطل‌های زباله و فقدان هر گونه اطلاعات زیست‌محیطی. دو معیار آخر منفی هستند زیرا که یا اقدامات منفی را تشویق می‌کنند و یا این که به مدیریت صحیح بسته‌بندی کمکی نمی‌کنند.

۱۲معیار (زیست‌محیطی و اجتماعی) برای نیمرخ بسته‌بندی پایدار تعریف شده‌اند که در جدول (۳) به صورت خلاصه ارائه گردیده‌اند. اثرات زیست‌محیطی شامل شش گروه به اضافه استفاده از مواد بازیافت هستند. محاسبه ارزیابی چرخه حیات شامل بازیافت نیز می‌باشد زیرا که استفاده از مواد بازیافت در خاتمه چرخه حیات بسته‌بندی و دستیابی به اهداف مسئولیت گسترش یافته پسماندهای بسته‌بندی است و جنبه آخر نیز با روش ۵۰ – ۵۰ انجام می‌شود که در پاراگراف‌های قبلی تشریح شدند.

جدول ۳ـ معیارهای پایداری مورد استفاده برای مدل‌سازی هزینه پایداری تولیدکننده

عناصر پایداری	معیار
زیست‌محیطی	دورریختن مواد
	اسیدی شدن محیط
	ورود مواد بسته‌بندی در خاک
	گرم شدن کره زمین
	مسمومیت انسانی
	اکسیده شدن با مواد شیمیایی
	استفاده از مواد بازیافت
اجتماعی	نماد سطل بازیافت (بلی/خیر)
	اطلاعات محتوای مواد بازیافت (بلی/خیر)
	اطلاعات اثرکربن (بلی/خیر)
	نماد سطل زباله (بلی/خیر)
	فقدان هر گونه اطلاعات زیست‌محیطی (بلی/خیر)

۲ـ۲. تجمیع معیارهای پایدار

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، گزینه‌های مختلف را با ملاحظه معیارهای مختلف ارزیابی می‌کند که نتیجه آن رتبه‌بندی گروه‌ها بین ۰ و ۱ است، که در آن گزینه‌های نزدیک به عدد ۱ بهترین هستند. در این مقاله رویکرد مشابهی مورد استفاده

قرار گرفت تا چندین معیار را که مشخص‌کننده بسته‌بندی پلاستیکی است تجمیع کند. مجموعه بسته‌بندی‌های موجود براساس معیارهای پایداری منتخب بررسی شدند. نیم‌رخ‌های بسته‌بندی با بسته‌بندی‌هایی که شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات قصد دارند وارد بازار کنند مقایسه شدند. معیارهای تصمیم‌گیری چند معیاره، بسته‌بندی‌ها را گروه‌بندی می‌کند که نتیجه آن ارائه ارزش بین ۰ و ۱ به آن‌ها است. مجموعه بسته‌بندی موجود که برای بسته‌بندی‌های پلاستیکی شهری در نظر گرفته شدند معمول‌ترین بسته‌بندی‌هایی هستند که در پرتقال استفاده می‌شوند. این بسته‌بندی‌ها بدون استفاده از مواد بازیافت است و هیچ اطلاعات زیست‌محیطی نیز روی آن‌ها درج نمی‌گردد.

تجمیع معیارهای پایداری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و با فن آماری TOPSIS انجام شد که توسط هوانگ و یون (۱۹۸۱) ابداع شده بود.

برای مقایسه زوجی معیارها سه نوع نیمرخ از شرکت‌های تولیدکننده بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات جمع‌آوری شد که عباتند از: نیمرخ توجه به محیطزیست، نیمرخ توجه به سود و بازاریابی، نیمرخ توجه به اثربخشی هزینه‌ها.

نیمرخ اول اهمیت بیشتری را به اثرات زیست‌محیطی و اهمیت کمتری را به معیارهای اجتماعی می‌دهد. نیمرخ دوم اهمیت بیشتری به معیارهای اجتماعی می‌دهد و اطلاعات زیست محیطی مانند بازاریابی سبز را مورد نظر قرار می‌دهد. نیمرخ سوم حفظ وضع موجود است که تولیدکنندگان مواد بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات تلاش می‌کنند تا اقدامات جاری را ادامه دهند.

نتیجه اهمیت نسبی ۱۲معیار که با استفاده از فن آماری AHP به دست آمده است در جدول (۴) ارائه شده است. مهم‌ترین معیارها عبارتند از: نماد سطل بازیافت، گرم شدن کره‌زمین و استفاده از مواد بازیافت. کم اهمیت‌ترین معیارها شامل نماد سطل زباله و فقدان هر گونه اطلاعات زیست‌محیطی است.

جدول ٤. وزن معیارها که توسط فناوری APH محاسبه شده است

معیار	وزن
دور ریختن مواد	۰/۰۸۹
اسیدی شدن محیط	۰/۸۸
ورود مواد بسته‌بندی در خاک	۰/۰۸۷
گرم شدن کره زمین	۰/۰۱۳
مسمومیت انسانی	۰/۰۹۵
اکسیده شدن موادشیمیایی	۰/۰۸۵
استفاده از مواد بازیافت	۰/۰۹۷
نماد سطل بازیافت (بلی/خیر)	۰/۱۲۰
استفاده از مواد بازیافت (بلی/خیر)	۰/۰۷۶
اطلاعات اثر کربن	۰/۰۷۷
نماد سطل زباله	۰/۰۳۴
فقدان هر گونه اطلاعات زیست‌محیطی	۰/۰۴۰
سازگاری آماری	
λ max	۱۲/۱۷۶
CI	۰/۰۱۶
RI	۱/۵۴
نسبت ثبات	۰/۰۱

۳ـ۲. مدل محاسبه هزینه پایداری

برای محاسبه هزینه بسته‌بندی بر حسب پاداش و یا جریمه مالی براساس چشم‌انداز پایداری، فرمول ریاضی به شرح زیر تدوین گردید:

[(بسته‌بندی ـ تجمیع پایداری) × درصد پایداری × هزینه]– هزینه= هزینه متغیر پایداری تولیدکننده

که در آن:

– هزینه متغیر پایدار تولیدکننده عبارت است از هزینه به کار رفته برای پسماندهای بسته‌بندی (یورو به ازای هر تن).

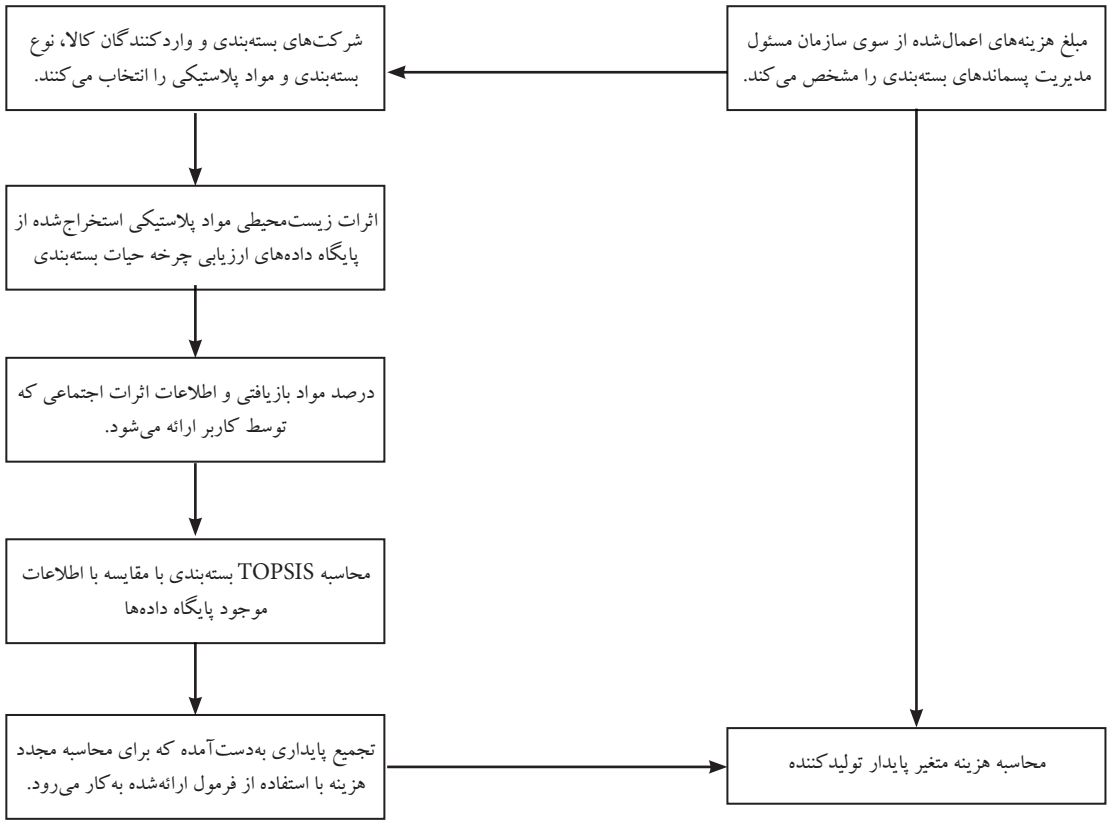
– درصد پایداری عبارت است از اهمیت پایداری (درصد ارزش تقسیم بر ۱۰۰؛ نمی‌تواند صفر باشد).

–تجمیع پایداری عبارت است از نتایج به‌دست آمده از TOPSIS، R_j (بین ۰ و ۱).

اگر درصد پایداری صفر باشد، در این صورت هزینه پایداری تولیدکننده برابر با هزینه معمولی خواهد بود، به این معنی که پایداری اهمیتی ندارد و در نتیجه تمایزی در هزینه مسئولیت‌پذیری گسترش یافته برای تولیدکننده وجود ندارد.

۴ـ۲. اثبات مفهوم

عناصر مورد نیاز برای تمایز هزینه در بخش قبلی تشریح گردیدند. دراین قسمت توضیح خواهیم داد که چگونه این عناصر در مدل ارائه شده در نمودار۴ یکپارچه شده‌اند تا هزینه تمایز محاسبه گردد. نخست، بسته‌بندی‌کننده و یا واردکننده محصول، نوع بسته‌بندی را انتخاب می‌کند. در گام بعدی، اثرات زیست‌محیطی مواد بسته‌بندی از پایگاه داده‌های ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی دریافت و مجددا ارزیابی می‌شود. اثرات اجتماعی بسته‌بندی نیز از سوی شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان کالا ارائه می‌گردد که در نتیجه آن مشخصات بسته‌بندی تکمیل می‌شود. آنگاه، برای تکمیل مشخصات بسته‌بندی از فن آماری TOPSIS استفاده می‌گردد.



نمودار ٤ـ مدل پیشنهادی برای محاسبه هزینه متغیر پایدار تولیدکننده

به منظور اجرای TOPSIS، پایگاه داده‌های بسته‌بندی، داده‌های متداول‌ترین نوع بسته‌بندی که در حال حاضر بسته‌بندی پلاستیکی است که در بازار موجود است و فاقد اطلاعات لازم در مورد مواد بازیافتی و اثرات زیست‌محیطی است را جمع‌آوری می‌کند. برای مثال، برای بسته‌بندی اول فن آماری TOPSIS ۱+۶ گزینه را مورد نظر قرار می‌دهد (یک گزینه توسط شرکت بسته‌بندی و یا واردکننده محصول ارائه می‌گردد و شش گزینه دیگر نیز شش نوع بسته‌بندی براساس پلیمرهای مختلفی است که در جدول ۱ ارائه شده‌اند). نتیجه TOPSIS، هزینه متغیرپایدارتولیدکننده با استفاده از تجمیع پایداری است. با استفاده از فرمول هزینه متغیر تولیدکننده که در پاراگراف ۳-۲-تعریف شده است هزینه متغیر به دست می‌آید.

۵ـ۲. توسعه سیستم تعاملی تارنماپایه

در فرآیند توسعه سیستم تعاملی تارنما پایه سه چالش عمده وجود داشت که عبارت بودند از: اطمینان از سهولت استفاده توسط کاربران، فعال کردن آن به صورتی که به عنوان یک سیستم خبره عمل کند و ارائه گزارش واقعی عملکرد ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی به سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی. نخست، نمونه اولیه‌ای برای آزمون مدل ریاضی در برنامه اکسل ایجاد شد که با استفاده از آن توانستیم چرخه حیات بسته‌بندی را مورد بازنگری قرار داده و بهبود بخشیم. سپس، مدل ریاضی مورد نظر به سیستم تعاملی تارنما پایه تبدیل شد که با استفاده از نرم‌افزار EXT JS 4.2 طراحی و تدوین شده بود [۲۱].

این سیستم به کمک نمونه اولیه اعتبارسنجی شد و در نتیجه باعث اصلاح بیشتر مدل گردید. هدف از این کار ارائه نتایج مربوط به مزایا و معایب به شکلی قابل فهم بود. سیستم تعاملی تارنما پایه نتایج را از طریق فرآیند پشت سرهم ارائه می‌کند. نخست، شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان کالا مبلغ هزینه موجود را بررسی می‌کنند، سپس اجزای پایداری را ملاحظه کرده و در نهایت هزینه متغیر پایداری را که باید پرداخت شود محاسبه می‌کنند.

۶ـ۲. نتایج مطالعه موردی و تجزیه و تحلیل حساسیت

موضوع مطالعه موردی که به منظور نشان دادن نحوه تمایز هزینه‌ها توسط مدل ریاضی انتخاب شد، بسته‌بندی اولیه پلی‌اتیلنی به شکل بطری و یا جعبه در سیستم شهری است. هزینه فعلی که به سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی پرداخت می‌گردد ۲۰۰/۸۰ یورو است. برابر معیارهای پایداری، نیمرخ بسته‌بندی برابر جدول (۵) است. این نوع بسته‌بندی با استفاده از برنامه TOPSIS با سایر بسته‌بندی‌های این گروه مقایسه شد که مقدار ۰/۸۷۰۰ برای تجمیع پایداری به دست آمد.

جدول ۵ـ نرخ اولیه بسته‌بندی پلی اتیلن

معیار	مشخصات بسته‌بندی پلی اتیلن
دور ریختن مواد	۳/۲۶۴
اسیدی شدن محیط	۱/۵۹۷
ورود مواد بسته‌بندی در خاک	۰/۱۳۱
گرم شدن کره زمین	۳۴۹/۴۶۴
مسمومیت انسانی	۶۴/۵۹۶
اکسیده شدن مواد شیمیایی	۰/۰۸۸
ترکیب شدن با محتوای مواد بازیافت	۰
نماد سطل بازیافت	بلی
اطلاعات محتوای مواد بازیافت	خیر
اطلاعات اثر کربن	خیر
نماد سطل زباله	خیر
فقدان هر گونه اطلاعات زیست‌محیطی	خیر

مبلغ هزینه متغیر پایداری به دست آمده نیز ۱۹۳/۷۷ یورو بود. مبلغ به دست آمده از رقمی که توسط سازمان مسئول مدیریت ضایعات بسته‌بندی برای هزینه‌ها دریافت می‌شود کمتر است زیرا اثرات زیست‌محیطی مواد پلی اتیلنی کمتر از سایر پلیمرهای این گروه از بسته‌بندی‌ها است و استفاده از نماد سطل بازیافت بر روی بسته‌بندی‌ها نیزاز لحاظ اجتماعی دارای اثرات مثبت می‌باشد.

با شبیه‌سازی نتایج هزینه‌های متغیر پایداری، تحلیل حساسیت برای بسته‌بندی اولیه از جنس (PVC) که دارای نماد سطل بازیافت بود انجام گرفت. از آنجایی که اثرات زیست‌محیطی منفی PVC بیشتر از پلی اتیلن است، ایجاد تغییری ساده باعث افزایش مبلغ هزینه متغیر پایداری تا ۲۱۲/۸۰ یورو می‌شود که ۱۹/۰۳ یورو بیشتر از مقدار قبلی آن است.

علاوه بر نوع مواد، تجزیه و تحلیل حساسیت تغییرات در اثرات اجتماعی را نیز مورد بررسی قرار داد. زمانی که تعداد بیشتری از عناصر اطلاعاتی زیست‌محیطی (نماد سطل بازیافت، اطلاعات اثر کربن) روی بسته‌بندی‌ها درج گردد، مقدار هزینه‌های متغیر پایداری برای هر دو نوع مواد به‌کار رفته در بسته‌بندی کمتر می‌گردد. به عنوان مثال، زمانی که از نماد سطل بازیافت بر روی بسته‌بندی‌ها استفاده می‌شود، مبلغ هزینه متغیر پایداری به شکل قابل توجهی

کاهش می‌یابد زیرا جزو اطلاعات صحیح است و از طرف دیگر یکی از مهم‌ترین معیارها محسوب می‌گردد. در مقابل، زمانی که اطلاعات نادرست باشند (به عنوان مثال، استفاده از نماد سطل زباله) یا هیچ نوع اطلاعاتی درج نگردد، مبلغ هزینه متغیر پایداری بیشتر می‌شود. اما زمانی که هر دو حالت را داشته باشیم یعنی درج اطلاعات زیست‌محیطی صحیح، اطلاعات زیست‌محیطی نادرست وعدم درج اطلاعات، مبلغ هزینه متغیر پایداری کمتر از حالت حضور اطلاعات نادرست وعدم درج اطلاعات به تنهایی و بیشتر از زمانی است که تنها حالت چاپ اطلاعات درست را داریم. همین نتایج درمورد PVC نیز به دست آمد.

سایر مشاهدات حاکی از آن است که استفاده از مواد بازیافتی در بسته‌بندی‌ها نیز باعث کاهش مبلغ هزینه متغیر پایداری می‌گردد. زمانی که استفاده از مواد بازیافتی در بسته‌بندی هابه‌طور همزمان با وجود اطلاعات در مورد محتوای مواد بازیافتی، نماد سطل بازیافت، و اطلاعات مربوط به اثر کربن همراه شود، مبلغ هزینه‌های متغیر پایداری به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. درج اطلاعات مربوط به محتوای مواد بازیافتی به خودی خود چندان مبلغ هزینه متغیر پایداری را کاهش نمی‌دهد زیرا درجه اهمیت این معیار ناچیز است.

این یافته‌ها در مورد مواد بسته‌بندی پلی اتیلن و PVC صدق می‌کند. با این حال، PVC و پلی اتیلن از لحاظ ترکیب مواد بازیافتی در بسته‌بندی‌ها با هم تفاوت دارند. در چنین حالتی و با وجوداطلاعات مربوط به محتوای مواد بازیافتی مربوط به پلی اتیلن، مبلغ هزینه متغیر پایداری کمتر از زمانی است که اطلاعات محتوای مواد، نماد سطل زباله، و اطلاعات اثر کربن روی بسته‌بندی‌ها چاپ شده است. دلیل آن هم چاپ نماد سطل زباله بر روی بسته‌بندی است که باعث افزایش هزینه متغیر پایداری می‌شود، زیرا جزو اطلاعات غلط می‌باشد. اگر همین وضعیت را این بار برای PVC در نظر بگیریم خواهیم دید که مبلغ هزینه متغیر پایداری به دست آمده مشابه حالتی است که در آن اطلاعات محتوای مواد بازیافتی، نماد سطل زباله، و اطلاعات اثرکربن وجود دارد و یا حالتی که تنها اطلاعات محتوای اطلاعات بازیافتی روی بسته‌بندی‌ها درج شده است (به ترتیب مقادیر ۲۱۲/۴۹ و ۲۱۲/۶۹ یورو برای مبلغ هزینه متغیر پایداری به دست آمد). دلیل این رخداد، اثرات زیست‌محیطی بسیار منفی PVC است که مبلغ هزینه متغیر پایداری را افزایش می‌دهد و ترکیب ۱۰ درصد از مواد بازیافتی نیز برای جبران خسارات ناشی از آن کافی نیست.

با توجه به تعریف پارامترها، ارزش هزینه متغیر پایداری تولیدکننده در تحلیل پارامترها می‌تواند بیشتر و یا کمتر از مبلغ هزینه فعلی باشد. جدول (۷) تحلیل پارامترها را برای درصد پایداری و بسته‌بندی نشان می‌دهد.

جدول۷ـ تجزیه و تحلیل پارامتر برای مطالعه موردی بسته‌بندی اول پلی اتیلن

درصد پایداری	بسته‌بندی	هزینه متغیرپایداری تولیدکننده (یورو در هر تن)
۱	۰	۲۶/۱۰
۰/۸	۰	۶۱/۰۴
۱	۰/۳	۸۶/۳۴
۰/۸	/۳	۱۰۹/۲۳
۰/۵	۰	۱۱۳/۴۵
۱	۰/۵	۱۲۶/۵۰
۰/۸	۰/۵	۱۴۱/۳۶
۰/۵	۰/۳	۱۴۳/۵۷
۰/۳	۰	۱۴۸/۳۹
۰/۵	۰/۵	۱۶۳/۶۵
۰/۳	۰/۳	۱۶۶/۴۶
۰/۳	۰/۵	۱۷۸/۵۱
۰/۱	۰	۱۸۳/۳۳
۱	۰/۸	۱۸۶/۷۴
۰/۱	۰/۳	۱۸۹/۳۵
۰/۸	۰/۸	۱۸۹/۵۵
۰/۱	۰/۵	۱۹۳/۳۷
۰/۵	۰/۸	۱۹۳/۷۷
۰/۳	۰/۸	۱۹۶/۵۸
۰/۱	۰/۸	۱۹۹/۳۹
۰/۱	۱	۲۰۳/۴۱
۰/۳	۱	۲۰۸/۶۳
۰/۵	۱	۲۱۳/۸۵
۰/۸	۱	۲۲۱/۶۸
۱	۱	۲۲۶/۹۰

اگر هر دو پارامتر عدد یک باشند، مبلغ هزینه متغیر پایداری تولیدکننده بالاترین مبلغ و ۲۲۶/۹۰یورو در هر تن می‌گردد.

معنی این وضعیت آن است که وقتی که بسته‌بندی با پایدارترین بسته‌بندی‌ها مقایسه می‌شود (پارامتر بسته‌بندی) و همین طور وقتی که پایداری از بیشترین اهمیت برخوردار است (پارامتر درصد پایداری)، بسته‌بندی‌کننده یا واردکننده محصول نیاز به تلاش قابل ملاحظه‌ای دارد تا هزینه متغیر پایداری تولیدکننده را کاهش دهد. در مقایسه وقتی که پایداری نیز مهم است (درصد پایداری=۱) اما بسته‌بندی با کمترین پایداری (بسته‌بندی =۰) مقایسه شود هزینه متغیر پایداری تولیدکننده حداقل یعنی ۲۶/۱۰ یورو در هر تن می‌شود. چنین نتایجی به شرکت بسته‌بندی‌کننده یا واردکننده محصول نشان می‌دهدکه نیازی به تغییر در بسته‌بندی‌های خود ندارند که علامت غلطی است. به همین دلیل بسته‌بندی نباید صفر باشد اما همواره باید دارای ارزش بالا و نزدیک یک باشد، مانند ارزش ۰/۸ که در مطالعه فعلی مورد استفاده قرار گرفته است.

۳. بحث و بررسی

چالش‌های اصلی مدل ریاضی ارائه شده خصوصیات چرخه حیات بسته‌بندی‌ها از دیدگاه‌های پایداری و ترکیب کلیه خصوصیات پایداری برای دستیابی به هزینه متغیر بودند. اگرچه مدل ریاضی ارائه شده ثابت کرد که توانایی دستیابی به هدف مورد نظر یعنی کاهش هزینه متغیر پایداری را دارد ولی لازم است چند هشدار در ارتباط با نتایج به دست آمده داده شود. مطابق با معیارهای زیست‌محیطی، ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی با متوسط داده‌های مربوط به اندازه‌های مختلف بسته‌بندی و توابع یک پلیمر خاص ارتباط دارد. لازم است دانش و اطلاعات موجود در زمینه کلیه فرآیندهای تولید و جزئیات دقیق چرخه حیات مواد خاص به صورت جامع مورد بررسی قرار گیرد تا بتوانیم نتایج ارزیابی چرخه حیات بسته‌بندی را به کلیه بسته‌بندی‌های پلاستیکی تعمیم دهیم. در ارتباط با جنبه‌های اجتماعی نیز می‌توان معیارهای انتخاب شده را مورد تجدید نظر قرار داد و تغییراتی در آن‌ها ایجاد کرد. به این ترتیب می‌توان سایر اطلاعات زیست‌محیطی و یا حتی سایر معیارهای اجتماعی، از جمله معیارهای مربوط به ایجاد شغل و یا شرایط کاری در کارخانه‌های بازیافت را نیز لحاظ کرد.

شیوه تصمیم‌گیری چند معیاره توانایی تجمیع کلیه جنبه‌های پایداری به صورت یک مقدار واحد را دارد. اگرچه وزن دهی معیارها براساس نظریه‌های موجود انجام شد ولی روند وزن دهی به راحتی از طریق داده‌های تجربی قابل اجرا است. نتیجه کل به دست آمده از روش TOPSIS رقمی بین ۰ و ۱ بود و به این ترتیب تشریح جزئیات مدل ریاضی آسان‌تر شد.

مدل ریاضی ارائه شده بسیار تطبیق‌پذیر بوده و قادر است مبلغ هزینه متغیر پایداری را از طریق درصد پایداری پارامتر افزایش یا کاهش دهد. مبلغ هزینه متغیر پایداری می‌تواند شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات را تحت تأثیر قرار داده و آن‌ها را به سمت تغییر بسته‌بندی فعلی و استفاده از بسته‌بندی‌های پایدارتر سوق دهد. یکی دیگر از ویژگی‌های این مدل ریاضی آن است که سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی می‌تواند از این فرمول برای محاسبه درآمد لازم به منظور حفظ سیستم مدیریت پسماندهای بسته‌بندی پرتقال استفاده کند، یعنی تغییر در بازار برای استفاده از مواد بازیافتی و در مقدار پسماندهای بسته‌بندی جمع‌آوری و طبقه‌بندی شده. این امر از طریق پارامتر بسته‌بندی محقق می‌شود. اگرچه ویژگی تطبیق‌پذیری این مدل در طول فرآیند تحلیل پارامتر نشان داده شده است، ولی مقادیر پارامتر باید با دقت تعریف شوند تا از ارائه اطلاعات غلط به کارخانه‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات جلوگیری شود و همچنین بقای سازمان مسئول مدیریت پسماندهای بسته‌بندی نیز تضمین گردد.

بسته به شرایط مختلف، مبلغ هزینه متغیر پایداری در مدل ریاضی تدوین شده تغییر می‌کند. زمانی که مقدار اطلاعات زیست‌محیطی صحیح بر روی بسته‌بندی‌ها کافی باشد، زمانی که از مواد بازیافتی در ساخت بسته‌بندی‌های جدید استفاده شود، و یا زمانی که پلیمر به کار رفته در ساخت بسته‌بندی‌ها دارای حداقل اثرات زیست‌محیطی باشد، مبلغ هزینه متغیر پایداری کمتر از مبلغ هزینه فعلی خواهد بود. در مقابل، زمانی که هیچ گونه اطلاعات زیست‌محیطی روی بسته‌بندی‌ها درج نشده باشد، از ترکیبی از مواد بازیافتی در ساخت بسته‌بندی‌ها

استفاده نشده باشد، و یا زمانی که پلیمر استفاده شده دارای اثرات منفی زیست‌محیطی بالایی باشد آنگاه مبلغ هزینه متغیر پایداری از مقدار هزینه فعلی بیشتر خواهد بود. سیستم تعاملی تارنما پایه تدوین شده که استفاده آن برای کاربران آسان است به شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان کالا در تعیین دلیل و مقدار بهای پرداختی و یا علت اجتناب از پرداخت هزینه کمک کرده و علائم صحیح بکار رفته در بسته‌بندی را مشخص می‌کند. به این ترتیب، این سیستم قادر است رفتار شرکت‌های بسته‌بندی و واردکنندگان محصولات را در ارتباط با بسته‌بندی هایشان و در پاسخ به مبلغ هزینه متغیر پایداری و یا جنبه‌های پایداری که بر روی هزینه‌ها تأثیر می‌گذارد را تغییر داده و یا اصلاح کند.

نتیجه‌گیری و ملاحظات

در پژوهش حاضر، یک مدل ریاضی برای محاسبه هزینه متغیر پایداری بسته‌بندی با توجه به درجات مختلف پایداری بسته‌بندی‌ها ارائه شد. ارزیابی موثر چرخه حیات بسته‌بندی با به کارگیری روش تصمیم‌گیری چند معیاره، TOPSIS و AHP منجر به دستیابی به یک راه حل دقیق، شفاف، و تطبیقی شد که اثرات بسته‌بندی بر روی محیط زیست و جامعه را برجسته‌تر نموده و در فرآیند تصمیم‌گیری در مورد توسعه بسته‌بندی نقش موثری ایفا می‌کند. مدل ریاضی مذکور یک راه حل ابتکاری و خلاقانه برای هزینه‌های متغیربسته‌بندی فراهم می‌کند که می‌توان آن را در سایر سیستم‌های مسئولیت‌پذیری گسترش یافته تولیدکنندگان بسته‌بندی محصولات نیز به کار برد. رویکرد ما در مطالعه حاضر تنها به بسته‌بندی‌های پلاستیکی محدود بود ولی می‌توان آن را به سایر مواد بسته‌بندی نیز تعمیم داد.

برای اطمینان از موفقیت مدل هزینه متغیر مبتنی بر پایداری بسته‌بندی در مقایسه با وضعیت فعلی که در آن بسته‌بندی‌ها تنها براساس بازاریابی و حفاظت از محصول طراحی و تولید می‌شوند، باید تفاوت بین بهترین و بدترین نوع بسته‌بندی‌ها از لحاظ داشتن همین ویژگی‌ها مشخص گردد. همچنین، تغییر رفتار کسانی که در بازار بسته‌بندی محصولات فعالیت دارند را باید در ارتباط با دیدگاه و نظر آنان در مورد مدل ریاضی پیشنهادی و ابزاری که برای تعیین هزینه‌های متغیر طراحی شده‌اند مورد مطالعه و بررسی قرار داد. از طرفی، نظرات مصرف‌کنندگان در مورد بسته‌بندی پایدار نیز باید مورد مطالعه قرار گیرد. به عنوان مثال، اگر مصرف‌کننده تحت شرایطی خاص قیمت محصول بسته‌بندی شده را با قیمت محصولات رقیب مقایسه کند و در نتیجه، تمایلی به خرید بسته‌بندی‌های پایدار با قیمت بالاتر را نداشته باشد، تلاش و اقدامات کارخانه‌های بسته‌بندی و واردکنندگان کالا در جهت بهبود پایداری بسته‌بندی‌ها به فروش بیشتر و در نتیجه ترویج بسته‌بندی پایدار منجر نمی‌شود.

مدل پیشنهادی برای یک کشور خاص (پرتغال) طراحی شده است که در آن پیاده‌سازی، موفقیت، و تأثیر این طرح تنها در مورد محصولات بسته‌بندی شده داخلی و یا ملی مشهود خواهد بود. با این حال، می‌توان این مدل را در چندین کشور عضو اتحادیه اروپا نیز طراحی و اجرا کرد. به این ترتیب، اقداماتی که در چند کشور برای ترویج بسته‌بندی‌های پایدار انجام می‌شود بسیار موثرتر از زمانی است که تنها در یک کشور اجرا می‌گردد، چرا که تحت این شرایط می‌توان سیستم هزینه متغیر را در مورد محصولات وارد شده و یا صادر شده بین چندین کشور عضو اتحادیه اروپا اعمال کرد.

پی‌نوشت

اضافه مترجمان: این نوشتار ترجمه مقاله‌ای با عنوان

Extended producer responsibility: a differential fee model for promoting sustainable packaging

نوشته:

Ana Pires, Graça Martinho, Rita Ribeiro, Mafalda Mota, Luís Teixeira

است.

1. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2001
2. Forslind, 2009
3. PRO Europe, 2015
4. Watkins & etal,2012
5. Brouillat & Oltra,2012

6. van Rossem & etal, 2006
7. Mota & etal, 2012
8. Eco-Emballages, 2014
9. Spicer & Johnson, 2004
10. Guinee & etal,2002
11. Triantaphyllou, 2000
12. Saaty, 1980
13. International Standard Organization (ISO), 2006a.
14. International Standard Organization (ISO), 2006b.
15. ifu Hamburg, 2009
16. Chang & Pires,2015
17. Pires and Martinho, 2013
18. Pires & et al, 2011
19. Bovea and Gallardo, 2006
20. Lazarevic & et al, 2010
21. Sencha, 2014

منابع

Algar. Physical Characterization of Municipal Solid Waste at a Multi-municipal Waste Association in the Algarve Region. Final report (in Portuguese) 2010.

Bello-Dambatta, A., Farmani, R., Javadi, A. A., Evans, B. M.. The analytical hierarchy process for contaminated land management. Adv. Eng. Inf. 23, 433- 441, 2009.

Bovea, M. D., Gallardo, A. The influence of impact assessment methods on materials selection for eco-design. Mater. Des. 27, 209-215,2006.

Brouillat, E., Oltra, V. Extended producer responsibility instruments and innovation in eco-design: an exploration through a simulation model. Ecol. Econ. 83, 236- 245,2012.

Chang, N. B., Pires, A. Sustainable Solid Waste Management: a Systems Engineering Approach. IEEE Book Series on Systems Science and Engineering. Wiley-IEEE Press, Hoboken, New Jersey, 2015.

Dempsey, M., van Rossem, C., Lifset, R., Linnell, J., Gregory, J., Atasu, A., Perry, J., Sverkman, A., van Wassenhove, L. N., Therkelsen, M., Sundberg, V., Mayers, C. K., Kalimo, H. Individual Producer Responsibility: a Review of Practical Approaches to Implementing Individual Producer Responsibility for

the WEEE Directive. INSEAD Working Paper no. 2010/71/TOM/INSEAD Social Innovation Centre, 2010.

Eco-Emballages. Green Dot Contributory Scheme: a More Accurate, More Fair and More Focused on Price Ecodesign. http: //www. ecoemballages. fr/ entreprises/bareme-contributif-point-vert-un-tarif-plus-precis-plus-equitableet-plus-axe-sur-leco (accessed 15. 04. 14.) (in French),2014.

Forslind, K. H. Does the financing of extended producer responsibility influence economic growth? J. Clean. Prod. 17, 297-30, 2009.

Guin_ee, J. B., Gorr_ee, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H. A., de Bruijn, H., Huijbregts, M. A. J., Lindeijer, E., Roorda, A. A. H., van der Ven, B. L., Weidema, B. P. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer, Dordrecht,2002.

Hwang, K., Yoon, C. -H. Multiple Attribute Decision Making e Methods and Applications: a State-of-the Art Survey. Springer-Verlag, Berlin, 1981.

IFU Hamburg. Umberto 5. 5 Software. Institut Für Umweltinformatik, Hamburg GmbH, Germany,2009.

International Standard Organization (ISO), 2006a. ISO 14040 Environmental Management e Life Cycle Assessment: Principles and Framework. ISO, Switzerland.

International Standard Organization (ISO), 2006b. ISO 14044 Environmental Management e Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines. ISO, Switzerland.

Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Izadikhah, M. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data. Appl. Math. Comput. 175, 1375-1384, 2006.

Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N.,Brandt, N. Plastic waste management in the context of a European recycling society: comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. Resour. Conserv. Recycl. 55,246-259,2010.

Lin, Z. -C., Yang, C. -B. Evaluation of machine selection by the AHP method. J. Mater. Process. Technol. 57, 253-258, 1996.

Ma, D., Zheng, X. In:. 9/9-9/1 Scale Method of AHP. In: 2nd Int. Symp. AHP, Pittsburgh, PA, USA, pp. 197-

202,1991.

Mota, M., Pires, A., Ribeiro, R., Martinho, G., 2012. Comparative Study on Fees: the Packaging Waste Case. In: EIMPack Congr. 2012, Lisbon, Portugal.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Extended Producer Responsibility: a Guidance Manual for Governments. OECD, Paris,2001.

Pires, A., Martinho, G. Life cycle assessment of a waste lubricant oil managementsystem. Int. J. Life Cycle Assess. 18, 102-112,2013.

Pires, A., Chang, N. B., Martinho, G. Reliability-based life cycle assessment for future solid waste management alternatives in Portugal. Int. J. Life Cycle Assess. 16, 316-337,2011.

Plastics Europe. Eco-profiles., http: //www. plasticseurope. org (accessed10. 01. 13.),2013.

Pordata, 2012. Waste. http: //www. Pordata. pt/Tema/Portugal/AmbienteEnergiaeTerritorio-23 (accessed 20. 01. 13.) (in Portuguese). PRO Europe, 2015. Overview. http: //www. pro-e. org/About. html (accesed 15. 06. 15).

ProBas. Zum ProBas Projekt. www. probas. umweltbundesamt. de/php/index. php? (accessed 15. 01. 14.),2013.

Ribeiro, P. J. T. Food Packaging: Contributions to the Definition of Ecoefficient Policies in Portugal. Dissertation for MSc. Degree in Engineering and TechnologyManagement by Instituto Superior T_ ecnico, Lisbon (in Portuguese),2002.

Ribeiro, R. A., Moreira, A. M., Broek, P. V. D., Pimentel, A. Hybrid assessment method for software engineering decisions. Decis. Support Syst. 51, 208-219,2011.

Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 1980

Saaty, T. L., Vargas, L. G., 2001. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Kluwer Academic Publishers, Massachusets. Sencha Inc, 2014. Extension JavaScript. https: //www. sencha. com/products/extjs/ (accessed 10. 07. 13.).

Silva, P. G. S. Environmental Innovation in the Management of Beverage Packaging in Portugal. Dissertation for MSc. Degree in Engineering and Technology Management by Instituto Superior T_ ecnico, Lisbon (in Portuguese),2002.

Spicer, A. J., Johnson, M. R. Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility. J. Clean. Prod. 12, 37-45,2004.

Triantaphyllou, E. Multiple Criteria Decision Making Methods: a Comparative Study. Springer, London,2000.

Valorlis. Multimunicipal Action Plan e Suitability Plan for PERSU II – PAPERSU (Plano de acç~ao multimunicipal e Plano de adequaç~ao ao PERSU - PAPERSU). In Portuguese (Valorlis),2008.

van Rossem, C., Tojo, N., Lindhqvist, T.,. Extended Producer Responsibility e an Examination of its Impact on Innovation and Greening Products (Report for the Greenpeace International, the Friends of the Earth and the European Environmental Bureau),2006.

Verghese, K. L., Horne, R., Carre, A. PIQET: the design and development of an online 'streamlined' LCA tool for sustainable packaging design decision support. Int. J. Life Cycle Assess. 15, 608- 620,2010.

Watkins, E., Hogg, D., Mitsios, A., Mudgal, S., Neubauer, A., Reisinger, H., Troeltzsch, J., van Acoleyen, M. Use of Economic Instruments and Waste Management Performances e Final Report. Report for the European Commission (DG ENV),2012.