مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۲(۱۲۵-۱۰۷)

ارائه یک مدل اقتصادی به منظور مدیریت پسماند بسته‌بندی مواد غذایی با رویکرد توسعه پایدار[۱]

آویده اسدالهی[۲]

حمید توحیدی[۳]*

h_tohidi@azad.ac.ir

احمد شجاع[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۳**

زمینه و هدف: امروزه مدیریت پسماند بسته‌بندی مواد غذایی یک چالش در مقیاس جهانی می‌باشد که کشورهای درحال توسعه را با محدودیت‌های اقتصادی فراوانی مواجه کرده است. این پسماندها اگر به درستی مدیریت نشوند پیامدهای جبران ناپذیری بر کیفیت محیط زیست و سلامتی انسان بهمراه خواهد داشت. هدف این مقاله گزینش سناریوهای پایدار مدیریت پسماند با توجه به طراحی محصول می‌باشد.

روش بررسی: در این پژوهش با شبیه‌سازی یک مدل ریاضی دو هدفه، هزینه‌های ناشی از سناریوهای مدیریت پسماند و بطور همزمان اثرات مخرب بر کیفیت محیط زیست و سلامتی انسان کمینه‌سازی شده است. مدل ارائه شده که قابلیت استفاده در صنایع گوناگون را دارد با مد نظر قرار دادن جزئیات طراحی، آنالیز چرخه حیات و گزینه‌های پایان عمر محصول برای یک مثال واقعی، با بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک باینری پیاده‌سازی شده است.

یافته ها: به طور کلی برآورد جواب بهینه مدل پیشنهادی در هر گروه از محصولات، سناریو برنده متناسب با آلترناتیو طراحی بهینه را نشان می‌دهد که گزینه‌ای اقتصادی با کمترین میزان تاثیرات مخرب بر محیط زیست و سلامتی انسان می‌باشد. نتایج پیاده‌سازی مدل برای یک مثال واقعی نشان می‌دهد در هفت گروه محصول تعریف شده سناریو چهار (کاهش در مبدا ۲۵٪، بازیافت ۲۵ ٪ و سوزاندن ۴۵٪ و دفن بهداشتی ۵٪) و سناریو پنج (کاهش در منبع به میزان ۶۰ ٪، سوزاندن ۳۰٪ و دفن بهداشتی ۱۰٪) گزینه‌های غالب و برنده برای طراحی‌های بهینه در اکثر گروه محصولات می‌باشند.

۱- مقاله مستخرج از رساله دکتری آویده اسدالهی به راهنمایی دکتر حمید توحیدی و مشاوره دکتر احمد شجاع در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن می‌باشد.

۲- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، رودهن، ایران.

۳- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۴- استادیارگروه ریاضی و آمار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، رودهن، ایران.

بحث و نتیجه گیری: مدل شبیه‌سازی شده به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا برآوردی مناسب از پیامدهای محیط زیستی و اقتصادی محصول طراحی شده داشته باشند. همچنین این پژوهش به تصمیم گیرندگان و سیاست گذاران این امکان را می‌دهد تا در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار، با قانون گذاری تولیدکنندگان را به پذیرش مسئولیت در قبال مدیریت پایان عمر محصولات خود ترغیب نمایند.

واژه های کلیدی: توسعه پایدار، مدیریت پسماند، اثرات زیست محیطی، الگوریتم ژنتیک باینزی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 25, No. 8, November, 2023

An economic model for food packaging waste management with a sustainable development approach

Avideh Asadollahi[1]
Hamid Tohidi [2*]
h_tohidi@azad.ac.ir
Ahmad Shoja[3]

Admission Date: June 13, 2022 Date Received: February 20, 2022

Abstract

Background and Objective: Today, food packaging waste management is a challenge on a global scale that has faced many economic constraints in developing countries. If this waste is not managed properly, it will have irreparable consequences on the quality of the environment and human health. The purpose of this paper is to select sustainable scenarios for packaging waste management based on product design.

Material and Methodology: In this research, by simulating a mathematical model, the costs of waste management scenarios and at the same time the detrimental effects on environmental quality and human health have been minimized. The proposed model, which can be used in various industries, has been implemented using binary genetic optimization algorithm, taking into account the design details, life cycle analysis and end-of-life options (in the form of 9 management scenarios).

Findings: In general, estimating the optimal solution of the proposed model in each product group, shows the winning scenario appropriate to the optimal design alternative, which is an economic option with the least destructive effects on the environment and human health. The results of model implementation for a real example show in seven product groups defined four scenarios (25% source reduction, 25% recycling and 45% incineration and only 5% landfill) and scenario five (source reduction by 60% and incineration of 30% of waste and 10% landfill) are the winning options for optimal designs in most product groups.

Discussion and Conclusion: The simulated model helps manufacturers to have a proper estimate of the environmental and economic consequences of the designed product. This research also enables decision makers and policy makers to achieve the goals of sustainable development, by legislating more manufacturers to accept responsibility for end-of-life management of their products as well as municipalities to set up a network. Encourage urban waste management systems.

Keywords: Sustainable Development, Waste Management, Environmental Impacts, Binary Genetic Algorithm.

1- PhD student in Industrial Engineering, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University, Roudhan Branch, Roudhan, Iran.
2- Associate Professor, Faculty of Industrial Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.* (*Corresponding Author*)
3-Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Islamic Azad University, Roudhen branch, Roudhen, Iran.

مقدمه

بیماری سرطان، مشکلات گوارشی و تنفسی از جمله عوامل شایع مرگ انسان می‌باشدکه آلودگی محیط زیست و ورود مواد سمی به چرخه غذایی انسان از جمله دلایل این قبیل بیماری‌ها می‌باشد (۱). زباله‌های جامد شهری که از عوامل انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG)[1]، آلودگی آب‌های سطحی، خاک و در نهایت آلودگی چرخه غذایی می‌باشد، تهدیدی برای سلامتی انسان و طبیعت بشمار می‌آید (۲). تجمع این پسماندها در آب‌های جاری نه تنها اکوسیستم اقیانوس‌ها را تحت تاثیر قرار داده است بلکه از عوامل گرمایش زمین و بالا آمد سطح آب‌ها و تشدید حوادث طبیعی در سال‌های اخیر بوده است (۳). این در حالی است که در سال ۲۰۱۰، میزان زباله تولید شده در جهان حدود ۱,۳ میلیارد تن اندازه‌گیری شده است و تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۲۵ این مقدار به ۲,۲ میلیارد تن برسد (۴).

در حالی که موارد ذکر شده گواه بر ضرورت مدیریت پسماند می‌باشد، در سال ۲۰۱۴ سازمان ملل با توجه به اهداف هزاره و[2] تمدید چهارچوب جدید برای آن به منظور حل مشکلات جهانی، هفده هدف اساسی توسعه پایدار[3]را تدوین نمود. بر طبق این اهداف، تضمین الگوی طراحی و تولید پایدار، ارتقای کیفیت محیط زیست همچنین توجه به سلامتی و چرخه غذایی انسان از جمله‌ی اولویت‌هایی اعلام شدند که باید تا سال ۲۰۳۰ محقق شوند(۵). علاوه بر آن طبق اصل پانزدهم قانون اساسی ایران مبنی بر حفظ محیط زیست و همچنین تصویب قانون مدیریت پسماند توسط شورای نگهبان در سال ۱۳۸۳، اهمیت و ضرورت موضوع را نشان می‌هد.

از سوی دیگر در استاندارد ایزو ۱۴۰۰۱ مرتبط با حفظ محیط زیست، اشاره شده که تولید کنندگان موظف هستند پسماند و اثرات نامطلوب محیطی محصولات خود را کاهش دهند (۶). در مطالعات اخیر بر روی استراتژی‌های مدیریت پسماند در کشورهای توسعه یافته و پیش گام، عملکرد استراتژی‌های بکار گرفته شده آنالیز و مقایسه گشته است. این در حالی است که ضرورت لحاظ تعداد قابل توجه فاکتورهای مقایسه‌ای، مانع از به تصویر کشیدن جامع عملکرد استراتژی‌ها شده است (۷). لذا لزوم نیاز به استفاده از مدل‌های ریاضی برای تصمیم گیری مشاهده می‌شود که مطالعات محدودی به این مهم پرداخته‌اند. با علم بر این موضوع، تمرکز تحقیق پیشرو بر بکارگیری مدل ریاضی چند هدفه به منظور انتخاب سناریوهای پایدار مدیریت پسماند در صنعت بسته بندی مواد غذایی می‌باشد.

هدف از این تحقیق ارائه سناریوهایی هم راستا با اهداف اقتصادی و محیط زیستی توسعه پایدار می‌باشدکه با شبیه‌سازی یک مدل دو هدفه، هزینه‌های ناشی از سناریوها مینیمم سازی شده، همچنین آثار محیط زیستی و انسانی متناسب با چرخه عمر محصول به حداقل رسیده است. به منظور بهینه‌سازی مدل پیشنهادی از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک باینری استفاده شده تا با لحاظ محدودیت‌های مسئله، جواب‌های بهینه شناسایی شوند. شایان ذکر است، لحاظ طراحی‌های مختلف محصولات در مدل تصمیم‌گیری، استفاده از داده‌های واقعی و جامعیت مدل پیشنهادی برای استفاده انواع مختلف بسته بندی‌ها، مطالعه حاضر را متمایز می‌سازد.

به منظور مدیریت پسماند، ضروری است به چگونگی طراحی یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر ابعاد توسعه پایدار به عنوان سوال مطالعه حاضر پاسخ داده شودکه لازمه آن، ارزیابی چرخه عمر(LCA)[4]محصول می‌باشد(۸). به طور کلی در مطالعه حاضر برای تعیین مسیر پایداری با توجه به مطالب اشاره شده، مراحل پیشبرد پژوهش به عبارت زیر می باشد:

- طراحی سناریوهای مدیریت پسماند ناشی از بسته‌بندی مواد غذایی
- طراحی و بهینه سازی یک مدل تصمیم‌گیری (اقتصادی- محیط زیستی) به منظور انتخاب سناریوها و طراحی‌های پایدار

در ادامه این مقاله، ابتدا در بخش دوم پیشینه‌ی تحقیق بررسی شده همچنین شکاف تحقیقاتی و نوآوری در این مطالعه بیان گردیده، سپس شواهد آماری، بانک داده و روش بکار گرفته شده در بخش سوم شرح داده شده است. در بخش چهارم، خروجی

1- Greenhouse Gas
2- Millennium Development Goals (MDGs)
3- Sustainable Development Goals
4- Life Cycle Assessment (LCA)

مدل پیشنهادی آورده شده است و نهایتا" در بخش پنجم با ارائه نتایج تحقیق و پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی مقاله به پایان رسیده است.

۲-مروری بر ادبیات

۱،۲. ادبیات نظری

توسعه پایدار: پیش از قرن هجده میلادی زمانی یک جامعه را توسعه یافته می‌دانستند که از بعد اقتصادی به تکامل رسیده باشد، اما ناپایداری در توسعه، تخریب محیط زیست و منابع طبیعی را می‌توان از نتایج این رویکرد دانست. لذا به موجب آن امروز توسعه ابعادی فراتر دارد، مانند دوستدار محیط زیست و حفظ سلامتی انسان (۹).

استراتژی مدیریت پسماند با قابلیت جایگزینی: ترکیبی از گزینه‌هایی چون بازیافت، دفن بهداشتی، سوزاندن، استفاده مجدد به عنوان سرنوشت پایانی محصول پس از مصرف در این مطالعه استراتژی‌های پایان عمر گفته می‌شود که تصمیم گیرنده می‌تواند درصدهای مختلفی از آنها را جایگزین یکدیگرکند.

چرخه زندگی محصول: چرخه عمر محصول مدت زمانی است که یک محصول برای اولین بار تولید شده تا زمانی که به مصرف برسد. چرخه عمر یک محصول معمولاً به چهار مرحله تقسیم می شود. تولید، توزیع، مصرف و زوال (۱۰).

الگوریتم ژنتیک: امروزه با علم برآن که توسعه پایدار نیاز به تصمیم‌گیری چند معیاره دارد، از علوم ریاضی و الگوریتم‌های هوشمند کمک گرفته می‌شود تا بایدها و نبایدها با لحاظ کردن محدودیت‌ها دنیای واقعی بهینه گردد. الگوریتم ژنتیک یکی از این ابزارهای قدرتمند می‌باشد که به مفاهیم پایه آن در ادامه اشاره شده است. یکی ازمهمترین الگوریتم های تکاملی که برای بهینه سازی توابع از آن استفاده می‌شود الگوریتم ژنتیک می‌باشد. این الگوریتم یک تکنیک جستجوی تصادفی می‌باشد که براساس نسل شناسی و انتخاب طبیعی کار می‌کند. اولین بار این مفهوم کاربردی توسط هالند[1] در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است (۱۱). مکانیزم این الگوریتم به این صورت می‌باشد که برای هر جواب یک کروموزوم تعریف می‌شود که مراحل این الگوریتم را می‌توان چنین به ذکر کرد:

۱- ایجاد جمعیت اولیه

۲- انتخاب والدین و انجام تقاطع و ایجاد جمعیت فرزندان

۳- انتخاب والدین و انجام جهش و ایجاد جمعیت جهش یافتگان

۴- انتخاب اعضای جمعیت اصلی جدید از میان جمعیت اصلی فرزندان و جهش یافتگان

۵- در صورت برآورده نشدن شرایط خاتمه به مرحله دوم می رویم در غیر این صورت به مرحله شش می‌رویم

۶- پایان

الگوریتم ژنتیک باینری: به طور کلی نوع مسئله تعیین کننده روش انجام جهش و تقاطع می‌باشد لذا در این قسمت روش‌های مورد استفاده در مسائل باینری توضیح داده خواهد شد. با فرض اینکه n_{var} تعداد مجهولات باشد و X $=(x_1, x_2 , x_3 \dots x_{var})$ که در آن x_i ها تنها مقادیر صفر و یک را می‌گیرند، تابع $F(X)$ را که دارای دامنه صفر و یک و برد اعداد حقیقی می‌باشد را باینری می‌گویند (۱۲).

چرخه انتخاب رولت ویل: چرخه رولت ویل یکی از عملگرهای پرکاربرد در الگوریتم ژنتیک می‌باشد(۱۳). در این عملگر احتمال انتخاب یک رشته یا کروموزوم برای قرار گرفتن در مخزن، متناسب با برازندگی آن یعنی F_i می‌باشد. با علم بر آن که اندازه جمعیت در این الگوریتم ثابت است، حاصل جمع تمامی احتمالات محاسبه شده برای انتخاب و قرار گرفتن کروموزوم‌ها در مخزن برابر یک می‌باشد. لذا احتمال انتخاب کروموزوم iام برابر است با $\mathrm{p_i} = \frac{\mathrm{F_i}}{\sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{n}} \mathrm{F_i}}$ که در این رابطه n برابر اندازه جمعیت می‌باشد. محیط یک چرخه رولت با برازندگی هر یک از کروموزوم ها نشانه گذاری شده است که در هر بار چرخش، نمونه ای که توسط نشانگر نشان داده شود به مخزن اضافه می‌شود. در این مطالعه به طور خاص از این چرخه انتخاب برای گزینش عملگر تقاطعی استفاده شده است.

1- Holland

۲,۲. پیشینه تحقیق

توسعه پایدار بدون تردید یک مفهوم پیچیده است که ابعاد مختلفی را در بر می‌گیرد. دلیل این مهم آن است که توسعه پایدار با کیفیت زندگی در یک جامعه ارتباط کامل داشته و تجربه یک زندگی سالم و ایمن را میسر می‌سازد (۱۴). در حا حاضر الگوی تولید فعلی، عمدتا" بر اساس اقتصاد خطی یعنی ساختن، مصرف و دور ریختن است اما اقتصاد دایره‌ای، مرحله بازیابی را برای بستن این چرخه و جلوگیری از هدر رفت‌ها در نظر می‌گیرد (۱۵). به همین ترتیب در سال ۲۰۱۵ قوانین جدیدی برای طراحی محصولات دوستدار محیط زیست که آنها را بازیافت پذیرتر از قبل می‌کند تعیین شد، چنین قوانینی مسئولیت تولید کننده را نسبت به مرحله پایان زندگی محصول تولید شده پررنگ می‌کرند (۱۶). با اتخاذ رویکرد جدید در انتخاب مواد و طراحی محصولات می‌توان به این مهم که حداقل کردن ضایعات و ثاثیرات منفی بر محیط زیست و سلامتی انسان می‌باشد دست یافت. بر این اساس انتخاب مواد و طراحی محصول از جمله فاکتورهای اثر گذاری هستند که باید در فرآیند تولید توسط طراحان در نظر گرفته شوند.

بعد از کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه در سال ۱۹۸۷، حفاظت محیط زیست را به عنوان اصلی‌ترین عامل برای بقای بشر مورد استقبال قرار گرفت. مصوبه‌ی این کمیسیون تولید کنندگان را به طراحی محصولات پایدار با مسئولیت تولیدکنندگان در قبال مدیریت پایان عمر محصولات خود تشویق می‌کند (۱۷). در نظر گرفتن گزینه پایان عمر محصولات و تعریف استراتژی برای مدیریت پسماند این امکان را به تولید کننده و مصرف کننده می‌دهد تا با آگاهی از نتایج زیست محیطی و انسانی محصول طراحی شده در سرانه تولید و مصرف این قبیل محصولات تجدید نظر کنند. همچنین به سیاست گذاران و کارشناسان تصویری روشن برای قانون گذاری و ارائه نظر کارشناسی می‌دهد. در این راستا، تحقیقاتی در زمینه مدیریت پسماند و طراحی در سالهای اخیر صورت گرفته است که بخشی از آن در جدول(۱) آورده شده و همزمان به شکاف مطالعاتی آنها اشاره گردیده است.

جدول ۱- شکاف مطالعاتی در بین پژوهش های مشابه طی سال‌های ۲۰۱۶ تا۲۰۲۱

Table 1. Study gap between similar researches from 2016 to 2021

نام نویسندگان	منبع	سال	روش	حوزه تحقیق	سناریو ترکیبی مدیریت پسماند	پارامترهای طراحی محصول	پارامترهای محیط زیستی	پارامترهای اقتصادی	استفاده از مدل ریاضی
آملی و همکاران	(۱۸)	۲۰۱۶	مدلسازی	الکترونیکی	●	√	√	√	√
باتنی[1] و همکاران	(۱۹)	۲۰۱۶	LCA	بسته بندی	●	√	√	√	
وو[2] و همکاران	(۲۰)	۲۰۱۶	مدل برنامه ریزی	خانواده ای از محصولات	●	●	●	√	√

1- Battini

2- Wu

صالح	(۲۱)	۲۰۱۶	امتیاز بندی	سه نوع بسته بندی	●	●	√	●	●
جوشی[1] و همکاران	(۲۲)	۲۰۱۸	مدلسازی	خانواده ای از محصولات	●	√		●	√
بهروز نیا و همکاران	(۲۳)	۲۰۲۰	LCA	پسماند جامد شهری	●	●	√	●	●
آبجون[2] و همکاران	(۲۴)	۲۰۲۰	LCA	بسته بندی پلاستیکی	●	●	√	●	●
بوتروس[3] و همکاران	(۲۵)	۲۰۲۱	LCA	بطری pet و شیشه	√	●	√	●	●
اسپریفیکو[4] و همکاران	(۲۶)	۲۰۲۱	دسته بندی	بسه بندی پنیر	●	●	√	●	●
لین[5] و همکاران	(۲۷)	۲۰۲۱	LCA و مدلسازی	مواد غذایی	√	●	√	√	√
زانگ[6] و همکاران	(۲۸)	۲۰۲۱	LCA	مدیریت پسماند شهری	√	●	√	√	●
کان[7] و همکاران	(۲۹)	۲۰۲۲	LCA	بسته بندی پلاستیکی	●	●	√	●	●
دفو فرارا[8] و همکاران	(۳۰)	۲۰۲۲	تحلیل LCA, آماری	بطری شیشه ای و پلاستیکی و قوطی آلومینیومی	●	●	√	●	●
در مطالعه حاضر		۲۰۲۲	LCA و مدلسازی	بسته بندی مواد غذایی	√	√	√	√	√

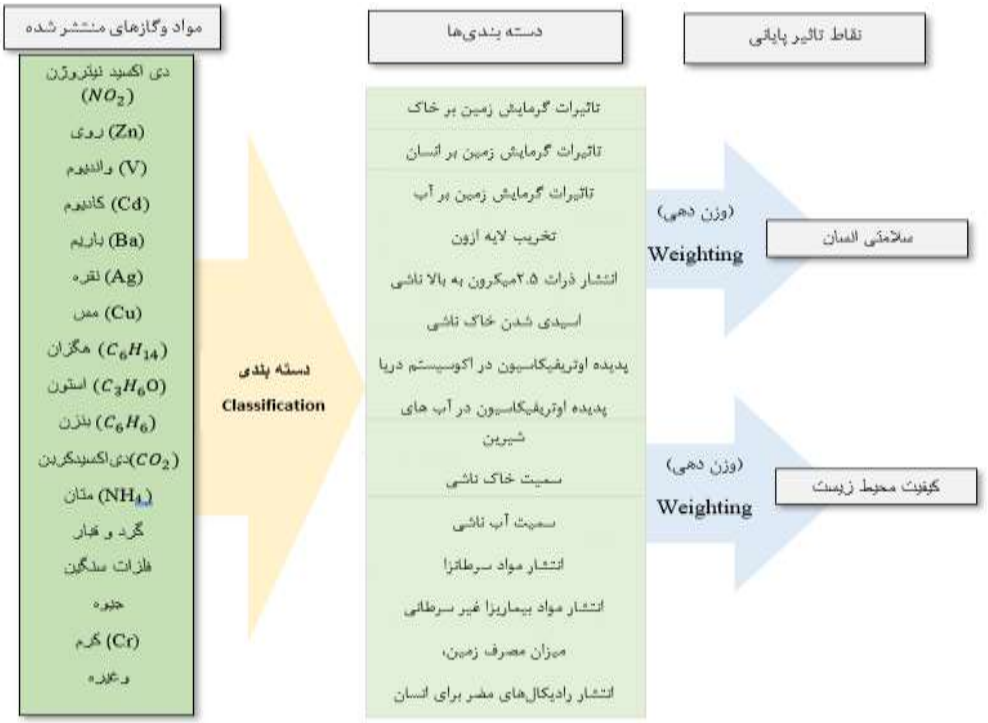
با توجه به جدول (۱) آنچه مشخص است در مطالعات انجام شده به صورت محدود, گزینه های پایان عمر در اکثر سناریوهایی ترکیبی آورده شده است. همچنین هزینه های سناریوهای تعریف شده و میزان تاثیر گذاری آنها بر سلامتی انسان و محیط زیست آنچنان که باید به طور کامل گزارشات نشده است لذا اطلاعات قابل اعتمادتری در این بخش برای تصمیم گیری نیاز است. با مرور پژوهش‌های سال های اخیر نیاز به ارائه یک مدل تصمیم-گیری چند معیاره که در قالب یک مدل ریاضی که رویکردی اقتصادی و محیط زیستی داشته باشد مشاهده می شد. همچنین برای تصمیم گیری صحیح در حوزه مدیریت پسماند لازم است گزینه هایی همچون طراحی محصولات لحاظ گردد که در پژوهش های انجام شده این مهم دیده نمی‌شود.

1- Joshi
2- Abejón
3- Boutros
4- Spreafico
5- Lin
6- Zhang
7- kan
8- De Feo

روش تحقیق

- ارزیابی چرخه زندگی (LCA)

تجزیه و تحلیل چرخه عمر معمولاً شامل جزئیات گسترده‌ای است که تصمیم‌گیری را به شدت پیچیده یا حتی غیرممکن می‌کند. در ارزیابی تاثیر چرخه عمر (LCA)، از متد ReCiPe2016 که جریان مواد در فاز اول با تعداد محدودی از شاخص‌ها در نقاط میانی و انتهایی نشان می‌دهد استفاده می‌شود (۳۱). روش‌های مختلفی برای ارزیابی چرخه عمر وجود دارد که از رایج‌ترین آنها متد ReCiPe2016 و شبیه ساز SimaPro می‌باشد که در مطالعات اخیر از آن استفاده شده است (۳۲-۳۳). این روش نقاط میانی و پایانی مربوط به سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم را پوشش می‌دهدکه تأثیرات چرخه عمر یک محصول از طریق طبقه‌بندی و وزن‌دهی داده‌ها بررسی می‌کند. به طور کلی طبقه بندی مرحله ای است که در آن داده‌ها گروه‌بندی شده و گروه تاثیر به عنوان نقاط میانی شناسایی گشته و داده‌ها به آنها اختصاص داده می‌شوند. شکل (۱) ارتباط بین پانزده نقطه میانی و دو نقطه پایانی با استفاده از روش ReCiPe 2016 نشان می‌دهد،



شکل۱- بررسی چرخه عمر محصول با استفاده از متد Endpoint ReCiPe 2016

Figure 1. Life cycle assessment using the Endpoint ReCiPe 2016 method

هدف اصلی ارزیابی چرخه زندگی شناسایی اثرات بالقوه آن و ارتباط بین چرخه عمر محصول و محیط پیرامون‌اش است که شامل دو مرحله اصلی می‌باشد (۳۴). (۱) تعریف اهداف (۲) جمع آوری اطلاعات و داده های مربوط به چرخه عمر محصول و ارزیابی تأثیر چرخه عمر.

تعریف اهداف: هدف اصلی این مطالعه انتخاب سناریو مدیریت پسماند با صرفه اقتصادی برای بسته بندی مواد غذایی با در نظر گرفتن طراحی محصول و اثرات مخرب آنها می‌باشد. لذا ضروری است به چگونگی طراحی یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر ابعاد توسعه پایدار به عنوان سوال مطالعه حاضر پاسخ داده شود.

در این مطالعه با استفاده از متد ReCiPe چرخه حیات بسته بندی‌ها شبیه سازی شده و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آن به عنوان بخشی از ورودی‌های مدل ریاضی استفاده شده است.

جمع آوری داده و اطلاعات: داده های در این مطالعه به عنوان پارامترهای ورودی برای مدل ریاضی جمع آوری شده است. این داده ها به عنوان ورودی مدل در دو بخش جمع آوری گشته، داده هایی که از صنعت گرفته شده و دادهای که از پایگانه داده

LCA گرفته شده است که اطلاعات صنعتی شامل موارد زیر می‌باشد:

- انواع طراحی‌های موجود برای بسته‌بندی نوشیدنی‌ها و روغن‌های خوراکی مایع ایرانی موجود در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱(جدول (۳))
- حداقل میزان بازیابی و بازگشت پذیری قابل قبول برای محصول که توسط صنف صنعتی به واحدهای تولیدی اعلام گشته
- بخشی از داده های اقتصادی شامل هزینه تجهیزات حمل و نقل، جمع آوری و پردازش پسماندها از واحد صنعتی فعال در این زمینه جمع آوری گشته که با توجه به طراحی و سناریو آخر عمر هر محصول در یک رنج مشخص، تابع احتمال یکنواخت پیوسته می‌باشد.
- و نیز داده‌های که از پایگانه داده LCA استخراج شده‌اند شامل موارد ذیل می‌باشد:
- به علت فقدان نگرش پایداری در اکثر صنایع ایران چرخه زندگی محصولات توسط تولیدکنندگان ارزیابی نمی‌شود و عملا اطلاعاتی در این بخش وجود ندارد. لذا محققان این عرصه در کشورهای درحال توسعه از پایگاه های داده LCA استفاده می‌نمایند (۳۵). استفاده از شبیه‌ساز SimaPro v. 9 به عنوان یک ابزار شناخته شده در ارزیابی چرخه زندگی محصول، استفاده از پایگاه داده LCA را به منظور بررسی اثرات نامطلوب هریک از طراحی ها و سناریوهای مدیریت پسماند میسر می‌سازد (۳۶). دادها در این پایگاه کمی و حقیقی هستند که حاصل مطالعات محققان در کشورهای آلمان، سوئیس و سایر کشورهای اروپایی می‌باشد.
- به دلیل اینکه بخش جمع آوری و جداسازی و حمل پسماند شهری در ایران توسط نیروی کار غیر رسمی و کودکان کار صورت می‌گیرد آمار دقیقی از دستمزدها در این بخش وجود ندارد، لذا برای استخراج بخشی از داده‌های اقتصادی مرتبط با دستمزدها از شبیه ساز مدل کاهش ضایعات[1] که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[2] (۳۷) برای کمک به برنامه ریزان و سازمان ها در مدیریت پسماند جامد تهیه شده، استفاده گردیده است. نرم افزار توصیه شده محاسبه میزان دستمزدها برای ظیف گسترده‌ای از استراتژی‌های مدیریت پسماند را امکان پذیر می‌سازد که با درج اطلاعات مربوط به استراتژی‌ها، وزن مواد بازیافتی و مسافت‌ها هزنیه نفر ساعت نیروی کار مورد نیاز را محاسبه می‌کند.

- مدل ریاضی مورد استفاده:

در بسیاری از صنایع، تولیدکنندگان به منظور ارائه گزینه‌های مختلف به بازار رقابتی، خانواده‌ای از محصولات را تولید و در بسته‌بندی‌های متنوع ارائه می‌دهند. بسته‌بندی محصولات، معمولا از بخشهای مختلفی تشکیل شده که هر بخش از طراحی خاص خود را برخوردار است. لذا مدل تصمیم‌گیری پیشنهادی این امکان را می‌دهد که با کمینه‌سازی اثرات مخرب زیست محیطی و سلامتی انسانی، هزینه‌های اقتصادی نیز به حداقل رسانده شود. همچنین در این مدل میزان بازیابی و بازگشت پذیری محصولات لحاظ شده است. به طور کلی درصد احیای مجدد محصول پس از مصرف، در این مطالعه میزان بازیابی محصول نام گذاری شده است، مانند میزان بازیابی قابل قبول برای بطری‌های آبمعدنی، چرا که بعضی از آنها قابلیت بازیافت و تبدیل به گرانول اولیه را دارند و دسته‌ای دیگر که این قابلیت را ندارند، خرد شده و در ساخت سیمان‌های سبک استفاده می‌شود. همچنین فاکتور دیگر نرخ بازگشت پذیری محصول می‌باشد که به احتمال بازگشت مجدد محصول پس از مصرف به چرخه تولیدگفته می‌شود مانند بطری‌های شیشه‌ای که نسبت به بطری پلاستیکی نرخ بازگشت کمتری دارند چرا که مصرف کنندگان آنها را برای مصارف شخصی نگهداری می‌کند و یا به دلیل شکنندگی و رها سازی آنها به خرده شیشه تبدیل می‌شوند.

1- The Waste Reduction Model (WARM)

2- Environment Protection Agency (EPA)

به منظور شناسایی طراحی و گزینه پایان عمر مناسب، برای سادگی کار و درک بهتر مدل، یک ماده خاص که تشکیل دهنده‌ی گروهی از محصولات می‌باشد و سهم عمده‌ای را دارد، به عنوان سر گروه آن قبیل از محصولات در نظر گرفته شده است. این سر گروه‌ها با اندیس i تعریف شده‌اند. برای هر محصول از گروه i با طراحی j چند گزینه پایان عمر که در قالب سناریو تعریف شده، که با اندیس k نشان داده شده است. متغیرها در این مدل باینری(صفر و یک) می‌باشند که از نوع متغیرهای واقعی[1] محصوب می‌شوند به طوری که اگر برای محصول i طراحی j انتخاب شود $\boldsymbol{x_{ij}}$ برابر یک در غیر این صورت صفر می‌باشد و همچنین اگر برای محصول i با طراحی j سناریو k انتخاب شود $\boldsymbol{y_{ij}}$ یک در غیر این صورت صفر می‌باشد. جزئیات مدل ریاضی برای مسئله تصمیم گیری تعریف شده به شرح زیر می‌باشد:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k (gt_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + gh_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + gf_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + od_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + lu_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + pm_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + tc_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + mu_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + fu_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + lr_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + te_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + fe_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + hc_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + hnc_{ij}^k x_{ij} y_{ijk}) \quad (۳)$$

$$\text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k (ctf_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + ctw_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + ccf_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + ccf_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + cpf_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} + cpf_{ij}^k x_{ij} y_{ijk}) \quad (۴)$$

Subject to

$$\sum_j \sum_k rv_{ij}^k x_{ij} y_{ijk} \geq L_i^A \qquad i \in P \quad (۵)$$

$$\sum_j rn_{ij} x_{ij} \geq L_i^B \qquad i \in P \quad (۶)$$

$$\sum_{j \epsilon D_i} x_{ij} = 1 \qquad i \in P \quad (۷)$$

$$\sum_{k \epsilon S_{ij}} y_{ijk} = x_{ij} \qquad i \in P \text{ , j} \epsilon D_i \quad (۸)$$

$$x_{ij} \epsilon \{0,1\} \qquad i \in P \text{ , j} \epsilon D_i \quad (۹)$$

$$y_{ij} \epsilon \{0,1\} \qquad i \in P \text{ , j} \epsilon D_i \text{ , k} \epsilon S_{ij} \quad (۱۰)$$

در این مدل تصمیم‌گیری، تابع هدف اول مقدار اثرات زیست محیطی ناشی از چرخه عمر(تولید محصول و سناریو پایان عمر) محصول طراحی شده را به حداقل می‌رساند، در حالی که تابع هدف دوم هزینه‌های اقتصادی مدیریت پسماند طراحی‌های انتخاب شده را به حداقل می‌رساند. محدودیت های (۵) و (۶) نرخ بازیابی و نرخ بازگشت‌پذیری محصول را کنترل می‌کنند که به ترتیب نرخ ثابت L_i^A و L_i^B حداقل مقدار قابل قبول برای نرخ بازیابی و بازگشت پذیری محصول هستند که معمولاً بر اساس مقررات زیست محیطی تنظیم می‌شود، و یا در صورت نبود مقررات اجباری، بر اساس طرح تصویب شده در اصناف این مقادیر تعیین می‌گردد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که فقط یک طراحی برای هر گروه از محصولات باید انتخاب شود. با توجه به محدودیت (۸)، دقیقاً یک سناریو از سناریوهای موجود را به یک آلترناتیو طراحی اختصاص می‌دهد. در این تحقیق سناریوها به صورت ترکیبی از پنج گزینه آخر عمر شامل دفن در لندفیل[2]، سوزاندن[3] به منظور تولید انرژی، استفاده مجدد[4]، بازیافت و کاهش در منبع[5] به معنای استفاده کمتر از مواد اولیه، طراحی شده‌اند. در نهایت محدودیت های (۹) و (۱۰) یکپارچگی را بر متغیرهای تصمیم تضمین می‌کند و مدل را به یک مدل ریاضی باینری تبدیل می‌کند. در ادامه جزئیات بیشتر مدل پیشنهادی آورده شده است.

سناریو ۱: دفن بهداشتی پسماندهای بسته‌بندی مواد غذایی در لندفیل‌های باز به صورت کامل

1- Real Variable
2- Landfill
3- Incineration
4- Reuse
5- Source reduction

سناریو ۲ : سوزاندن به منظور تولید به انرژی در مراکز زباله سوزی با توجه به الگوی ۷۵٪ سوزاندن و ۲۵٪ دفن در لندفیل

سناریو ۳: گزینه بازیافت به عنوان گزینه پایان عمر به میزان ۳۰٪ و دفن بهداشتی به میزان ۷۰٪

سناریو ۴: کاهش در مبدا به میزان ۲۵٪، بازیافت ۲۵ ٪ و تولید انرژی از ۴۵٪بسته بندی تعریف شده و تنها ۵٪ دفن بهداشتی

سناریو ۵ :کاهش در منبع به میزان ۶۰ ٪ و سوزاندن ۳۰٪ از پسماندها و دفن بهداشتی ۱۰٪ باقی مانده.

سناریو ۶ : سوزاندن پسماندهای بسته‌بندی‌ها به منظور تولید انرژی در مراکز زباله سوزی به صورت کامل

سناریو ۷ : استفاده مجدد از بسته‌بندی‌ها ۵۰٪ و دفن الباقی به میزان ۵۰٪

سناریو ۸ : استفاده مجدد از بسته‌بندی‌ها ۱۰٪ و میزان بازیافت ۲۰٪ و سوزاندن ۳۰٪ و دفن الباقی ۳۰٪

سناریو ۹ : استفاده مجدد از بسته‌بندی‌ها ۴۰٪ و دفن الباقی به میزان ۶۰٪

مجموعه ها و متغیره	
P	مجموعه محصولات که در یک گروه قرار دارند اندیس شده با i
D_i	طراحی‌های مختلف محصول قرار گرفته در یک گروه اندیس شده با j
S_{ij}	سناریو مدیریت پسماند موجود برای محصول i با طراحی j اندیس شده با k
x_{ij}	متغیر باینری اگر برای محصول i ، طراحی j انتخاب شود مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌باشد
y_{ijk}	متغیر باینری اگر برای محصول i با طراحی j ، سناریو k انتخاب شود مقدار یک را می‌گیرد در غیر این صورت صفر می‌باشد
پارامترها	
gt_{ij}^{k}	تاثیرات گرمایش زمین بر خاک، ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
gh_{ij}^{k}	تاثیرات گرمایش زمین بر انسان، ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
gf_{ij}^{k}	تاثیرات گرمایش زمین بر آب، ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
od_{ij}^{k}	تخریب لایه ازون، ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
pm_{ij}^{k}	انتشار ذرات ۲,۵میکرون به بالا ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
tc_{ij}^{k}	اسیدی شدن خاک ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
mu_{ij}^{k}	پدیده اوتریفیکاسیون در اکوسیستم دریا ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
fu_{ij}^{k}	پدیده اوتریفیکاسیون در آب های شیرین ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
te_{ij}^{k}	سمیت خاک ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
fe_{ij}^{k}	سمیت آب ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
hc_{ij}^{k}	انتشار مواد سرطانزا ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
hnc_{ij}^{k}	انتشار مواد بیماریزا غیر سرطانی ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
lu_{ij}^{k}	میزان مصرف زمین، ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
lr_{ij}^{k}	انتشار رادیکال‌های مضر برای انسان ناشی از محصول i با طراحی j و سناریو k مدیریت پسماند
L_i^A	مینیمم نرخ بازیابی قابل قبول برای محصول طراحی شده
L_i^B	مینیمم نرخ بازگشت پذیری محصول طراحی شده پس از مصرف

ctw_{ij}^{k}	هزینه نیروی کار جهت۲۰(مایل) حمل و نقل محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
ccw_{ij}^{k}	هزینه نیروی کار جهت جمع آوری محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
cpw_{ij}^{k}	هزینه نیروی کار به منظور پردازش محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
پارامترهای احتمالی با تابع احتمال یونیفرم	
rv_{ij}^{k}	میزان بازیابی محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
rn_{ij}	میزان بازگشت پذیری محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
ctf_{ij}^{k}	هزینه تجهیزات لازم جهت ۲۰(مایل) حمل و نقل محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
ccf_{ij}^{k}	هزینه تجهیزات لازم جهت جمع آوری محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند
cpf_{ij}^{k}	هزینه تجهیزات لازم به منظور پردازش محصول i با طراحی jو سناریو k مدیریت پسماند

به منظور نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی یک مثال از دنیای واقعی شبیه سازی شده است. به طور کلی, بسته بندی نوشیدنی ها و روغن های مایع خوراکی از تنوع مواد و طراحی قابل توجه ای برخوردار است که به هر یک از طراحی‌های موجود برای یک خانواده از محصولات، یک آلترناتیو طراحی در این مطالعه می‌گوییم. این طراحی ها با D_i در جدول (۳) نمایش داده شده است. تعداد ۷ خانواده از محصولات انتخاب شده است که بر اساس وزن بیشترین ماده تشکیل دهنده, گروه بندی شده‌اند. طراحی‌های در نظر گرفته شده عمداتا" از چهار بخش درب, بدنه, برچسب و دسته تشکیل شده‌اند که برای بسته بندی یک لیتر مایعات از قبیل آب, روغن و انواع نوشیدنی‌ها استفاده می‌شوند. در این جدول هفت گروه از بسته بندی ها شامل بطری های پلی اتیلن ترفتلات، پلی اتیلن سخت، شیشه، چندلایه های تتراپک، دوی پک و قوطی‌ها از جنس حلب و آلومینیوم در وزن‌ها و جزئیات طراحی مختلف آورده شده است. تمامی طراحی‌های آورده شده شبیه سازی شده‌اند و اثرات ناشی از تولید و گزینه پایان عمر آنها کمیت سازی شده و به عنوان ورودی در مدل ریاضی استفاده شده است.

جدول ۳- خلاصه ای از طراحی های بسته بندی برای یک لیتر مایعات

Table 3. Summary of packaging designs for one liter of liquids

سرگروه بسته بندی	طراحی	مواد استفاده شده درب	دسته	برچسب	وزن بدنه (gr)	مواد استفاده شده در بدنه	وزن کل (gr)
بطری از جنس پلی اتیلن ترفتلات	D1	HDPE		Paper	۲۶	PET [۱]	۳۰,۷۶
	D2	HDPE	HDPE[۳]	OPP[۲]	۲۳,۵	PET	۳۲,۷۱
	D3	HDPE	HDPE	PVC[۴]	۵۰,۲۳	PET	۶۴,۰۴
	D4	LDPE[۵]- ALU [۶]	HDPE	OPP	۲۳,۵	PET	۳۴,۱۴

1- Polyethylene Terephthalate
2- Oriented Polypropylene
3- Density Polyethylene
4- Polyvinyl Chloride
5- Low Density Polyethylene
6- Aluminium

دوی پک	D1	HDPE		Ink	۲۸	PET - LDPE (Film) - ALU	۳۲
	D2	HDPE		Ink	۳۰	OPP - Paper - LDPE	۳۴
	D3	LDPE - HDPE		Ink	۲۴	Paper - ALU - LDPE	۲۹
	D4	LDPE - HDPE		Ink	۲۶	PVC - ALU - LDPE	۳۰
شیشه	D1	ALU - LDPE		Paper	۷۰۰	Packaging glass (White)	۷۰۶,۴۹
	D2	Cork - PVC		Paper	۷۰۰	Packaging glass (Brown)	۷۰۷,۵۳
	D3	LDPE - ALU - PC - PP		Paper	۷۰۰	Packaging glass (Green)	۷۲۱,۶۸
تتراپک	D1	LDPE - HDPE		Ink	۳۷	ALU - Carton - LDPE	۴۱
	D2			Ink	۳۵	PET - LDPE	۳۵
	D3			Ink	۴۵	ALU - Carton - LDPE - Paper	۴۵
حلب	D1	Easy open - PP		Ink	۷۳	Tin Plate (Sheet)	۹۷,۷۵
	D2	HDPE		Ink	۱۳۶,۸۹	Tin Plate	۱۴۰,۷۵
	D3	Tin		Ink	۱۳۶,۸۹	Tin Plate	۱۴۷,۱۲
پلی اتیلن سخت	D1	HDPE - ALU- LDPE	HDPE	OPP	۵۷	HDPE	۷۱,۱
	D2	HDPE	HDPE	Paper	۷۰	HDPE	۷۶,۹۳
	D3	HDPE		PVC	۵۰	HDPE	۵۶,۸۱
آلومینیوم	D1	Easy open - PP		Ink	۵۰	ALU	۶۷,۵
	D2	HDPE		Ink	۸۰	ALU	۹۲,۵۸
	D3	ALU		Ink	۸۰	ALU	۸۶,۱۴

جواب‌های مسئله

با توجه به این واقعیت که امروزه تولید کنندگان با هدف افزایش سهم خود از بازار و سود آوری بیشتر تمایل به عرضه محصولات خود در بسته بندی‌های متنوع دارند, حل مدل پیشنهادی به تصمیم گیرندگان کمک می‌کند تا از بین طراحی های موجود در هر خانواده از محصولات انتخاب‌هایی بهینه داشته باشند. در جدول (۴) جواب نهایی مسأله مطرح شده آورده شده است. جواب بهینه بر مبنا کمینه کردن تاثیرات زیست محیطی و هزینه های اقتصادی ناشی از سناریوهای مدیریت پسماند از جمله جواب‌های محلی می‌باشند و نهایتاً این تصمیم گیرنده است که با توجه به تبادلات بین اهداف، یکی از این جوابهای محلی را به عنوان جواب رضایت بخش خود انتخاب می‌کند. برای حل این مسأله از تنظیمات پارامترهایی که به آنها در جدول (۴) اشاره شده استفاده گردیده است. به طور کلی برای حل این مسأله یا هر مسأله دلخواه دیگر می‌توان با ترکیبات مختلف پارامترهای الگوریتم مسأله را حل کرد تا بهترین ترکیب پارامترها برای هر مسأله بدست آید.

لازم به ذکر است که مسئله با در نظر گرفتن دو محدویت نرخ بازیابی محصول بعد از طراحی و بازگشت پذیری آن بعد از مصرف

که دارای پارامتر های احتمالی با توابع احتمالی یکنواخت می-باشد برآورد شده است. به طور کلی، حداقل مقدار قابل قبول برای نرخ بازیابی و بازگشت پذیری محصول معمولاً بر اساس مقررات زیست محیطی تنظیم می‌شود، یا در صورت نبود مقررات اجباری، بر اساس قوانین مصوب شده در صنف ها و یا توسط خود تولید کننده این مقادیر تعیین می‌گردد، در محاسبات مسئله تعریف شده این مقادیر از متخصصان در عرصه تولید پرسیده شده و لحاظ گردیده است. برای برآورد مدل شبیه سازی شده دو ترم جریمه[1] به منظور لحاظ کردن محدودیت های مدل استفاده شده است. همچنین اهمیت دو تابع هدف اقتصادی و محیط زیستی برابر در نظر گرفته شده، لذا برای تبدیل آنها به یک تابع تک هدفه ضرایبی یکسان تعریف گردیده است.

جدول ۴- تعدادی از جواب های الگوریتم ژنتیک باینری

Table 4. A number of binary genetic algorithm's answers

سرگروه بسته بندی ها	سناریو مدیریت پسماند برنده		آلترناتیو طراحی برنده	مقدار بهینه
بطری پلاستیکی (PET)	S5	کاهش در منبع ۶۰ ٪ و سوزاندن ۳۰٪ و دفن ۱۰٪	D2	۴۰۰۳۷۱,۵
بطری پلاستیک سخت (HDPE)	S4	کاهش در منبع ۲۵٪،بازیافت ۲۵ ٪ و تولید انرژی ۴۵٪و ۵٪ دفن	D1	
بطری شیشه ای (GLASS)	S7	استفاده مجدد ۵۰٪ و دفن الباقی ۵۰٪	D3	
قوطی حلب (TIN)	S3	بازیافت ۳۰٪ و دفن بهداشتی ۷۰٪	D3	
قوطی آلومینیوم (ALU)	S4	کاهش در منبع ۲۵٪،بازیافت ۲۵ ٪ و تولید انرژی ۴۵٪و ۵٪ دفن	D1	
چندلایه (TetraPak)	S5	کاهش در منبع ۶۰ ٪ و سوزاندن ۳۰٪ و دفن ۱۰٪.	D2	
چندلایه (DoyPak)	S4	کاهش در منبع ۲۵٪،بازیافت ۲۵ ٪ و تولید انرژی ۴۵٪و ۵٪ دفن	D2	

```
MaxIt=1300; % Maximum Number of Iterations
nPop=20; % Population Size
pc=0.8; % Crossover Percentage
pm=0.3; % Mutation Percentage
mu=0.02; % Mutation Rate
nm=round(pm*nPop); % Number of Mutants
nc=2*round(pc*nPop/2);  % Number of Offspring (Parents)
```

تنظیم پارامتر الگوریتم	مقدار
اندازه جمعیت	20
احتمال‌عملگر جهشی	0.3
احتمال‌عملگر تقاطعی	0.8
شرط توقف	1300 بار تکرار
تعداد نسل ها	100

1- Penalty term

به طور کلی مطالعات محدودی به استراتژی‌های اقتصادی برای مدیریت پسماند پرداخته‌اند. خان[1] و همکاران در سال ۲۰۲۲ در قالب یک مطالعه مروری به این موضوع تاکید داشته‌اند که در سالهای اخیر به دلیل بودجه محدود شهرداری‌ها برای مدیریت پسماند، کشورها به سمت تخلیه پسماند در سایت‌های زباله سوق داده می‌شوند. لذا لزوم استراتژی‌های مقرون به صرفه نیاز کشورهای درحال توسعه می‌باشد که لازمه آن حمایت دولت و رفع موانع سیاسی و مالی است(۳۹). همچنین در مطالعه‌ای مشابه اخیرا که توسط هوانگ[2] و همکاران در سال ۲۰۲۲ بر روی استراتژیهای تولید انرژی از پسماند انجام شده است، تبدیل پسماند به برق و گرما با روش W2E از جمله رویکردهای مناسب برای مدیریت پسماند و جلوگیری از آلودگی محیطی معرفی شده است. روش W2E از انتشار گازهای سمی سرطانزا در هنگام سوزاندن پسماند جلوگیری می‌کند، لذا حافظ سلامتی انسان بوده و صرفه اقتصادی قابل قبولی دارد. اما این درحالی است که این قبیل استراتژی‌ها تنها برای بخشی از پسماندها قابل اجرا می‌باشد و لازم است از سناریوهای ترکیبی استفاده شود و برآورد و مقایسه‌ای کلی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری صورت گیرد(۳۸).

نتیجه گیری و پیشنهادها

امروز تولید کنندگان محصولات برای ایفای نقش در بازارهای رقابتی نیازمند تولید محصول در طیف گسترده و بسته بندی متنوع می‌باشند. از این روی تنها یک جواب دقیق، کارایی واقعی را در دنیای امروز نخواهد داشت، علاوه برآن در کشورهای درحال توسعه محدودیت‌های زیادی در بخش‌های مختلف زنجیره تامین وجود دارد که نیاز به ارائه جواب‌های بهینه محلی را پررنگ تر می‌کند تا با ترجیحات مختلف اتخاذ شوند. در این مطالعه، یک مدل بهینه سازی دو معیاره با اهداف به حداقل رساندن هزینه های مدیریت پسماند و اثرات زیست محیطی با در نظر گرفتن نرخ بازگشت پذیری و بازیابی محصول به عنوان دو محدودیت، طراحی و برآورد شده است. همچنین کارایی مدل توسط یک مطالعه موردی درصنعت بسته بندی مواد غذایی نشان داده شد. با ارائه جوابهای بهینه این امکان به تصمیم گیرنده داده شده است تا با توجه به ترجیحات و سیاست های کلان از بین طراحی های موجود طراحی سازگارتر با محیط زیست و سناریو پایان عمر اقتصادی را انتخاب نمایند. این رویکرد با این هدف اتخاذ شده است تا هرچه بیشتر نتایج حاصله با محدودیت های دنیای واقعی سازگار باشد.

همان طور که اشاره شد، مدل پیشنهادی یک کلان بوده است، بدین معنا که می‌تواند برای انواع بسته بندی ها استفاده گردد و همچنین در صنایعی که محصولات از اجزای زیادی برخوردار هستند قابلیت پیاده سازی دارد. باتوجه به نتایج بدست آمده در جدول چهار برای مثال موردی برای بسته بندی نوشیدنی‌ها و روغن‌های خوراکی برای بطری های PET و چندلایه تتراپک طراحی دوم و سناریو چهار (کاهش در منبع ۶۰ ٪ ، سوزاندن ۳۰٪ و دفن ۱۰٪) انتخاب مناسب بوده است، همچنین برای بطری‌های HDEP و قوطی آلومینیومی طراحی اول و سناریو پنج (کاهش در منبع ۲۵٪، بازیافت ۲۵ ٪ و تولید انرژی ۴۵٪و ۵٪ دفن) انتخاب شده است. نیز برای بطری‌های شیشه‌ای و حلبی با طراحی بهینه سوم سناریو برنده به ترتیب سناریو هفتم(استفاده مجدد ۵۰٪ و دفن الباقی ۵۰٪) و سوم(بازیافت ۳۰٪ و دفن بهداشتی ۷۰٪) بوده است. آنچه مشخص است سناریو چهارم که سهم اصلی آن تولید انرژی از پسماند می‌باشد و سناریو پنج که تمرکز بر کاهش در منبع دارد سناریوهای غالب برای طراحی‌های موجود می‌باشد. نتایج بدست آمده کارایی مدل پیشنهادی را نشان می‌هد، لذا به تولیدکنندگان و طراحان محصولات توصیه می شود با بکارگیری آن، انتخابی پایدار در طراحی محصولات و مدیریت پسماند داشته باشند.

محدودیت اصلی این مطالعه نیاز به داده های چرخه عمر محصولات می‌باشد که این قبیل از داده ها باید توسط تولید کنندگان با توجه به طراحی خاص محصول خود محاسبه و جمع آوری شود که متاسفانه به علت فقدان نگرش پایداری در صنایع

1- Khan
2- Hoang
3- Life cycle database

کشور این رویکرد غالبا" وجود ندارد. لذا در کشورهای درحال توسعه مانند ایران از پایگاه‌های داده جهانی چرخه عمر محصول مانند SimaPro و Gabi پایگاه های مشابه دیگر که توسط محققان و فعالان این عرصه جمع آوری شده استفاده می‌شود. علاوه بر آن به دلیل اینکه بخش جمع آوری، جداسازی و حمل پسماند شهری در ایران توسط نیروی کار غیر رسمی و کودکان کار صورت می‌گیرد آمار دقیقی از دستمزدها در این بخش وجود ندارد لذا توصیه می‌شود، تصمیم گیرندگان و سیاست گذاران به طور خاص سازمان استاندارد ملی و شهرداری‌ها به این مهم برای دستیابی به توسعه پایدار و مدیریت پسماند محصولات با اتخاذ قوانین جدید وارد عمل شوند. دستورعمل‌های جدید می‌تواند تولیدکنندگان را به محاسبه پیامدهای چرخه عمر محصولات خود و شهرداری‌ها را به راه اندازی شبکه نظام‌مند جمع آوری و بازیافت پسماند شهری ملزم کند.

برای مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود:

- برآوردهای محیط زیستی و اقتصادی استفاده از تکنولوژی جدید در زمینه مدیریت پسماند محصولات در مدل پیشنهادی اعمال شود.
- درج هرچه بیشتر محدویت‌های دنیای واقعی در مدل تصمیم‌گیری پیشنهادی یکی دیگر از چالش های آیندگان می‌باشد.
- همچنین فاکتور دیگر که می‌تواند در نظر گرفته شود، محاسبه مسئولیت جمعی و تبعات اجتماعی در مراحل مختلف چرخه عمر محصول می‌باشد که تولید کنندگان، مصرف کنندگان و سیاست گذاران را شامل می‌شود و می‌تواند نتایج قابل توجه‌ای را دربر داشته باشد.

References

1. Zhu, F., Ding, R., Lei, R., et al., 2019. The short-term effects of air pollution on respiratory diseases and lung cancer mortality in Hefei: A time-series analysis. Respiratory medicine. Vol.146, pp. 57-65.
2. Deng, Y., Peng, P., Jia, L., et al., 2020. Environmental exposure-associated human health risk of dioxin compounds in the vicinity of a municipal solid waste incinerator in Shanghai, China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. Vol.105(1), pp. 173-9.
3. Vishwakarma, A.2020. Unsustainable management of plastic wastes in India: A threat to global warming and climate change. Contemporary environmental issues and challenges in era of climate change: Springer. pp. 235-44.
4. Pavi, S., Kramer, L., Gomes, L., et al., 2017. Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. Bioresource Technology. Vol. 228.
5. UN. Sustainable development goals, 2015: https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/.
6. ISO 14001: 2015, Environmental management systems and Requirements with guidance for use: https://www.iso.org/standard/60857.html
7. Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., et al.,2017. The Next Generation of Sustainable Food Packaging to Preserve Our Environment in a Circular Economy Context. Frontiers in Nutrition. Vol.5(121).
8. Kirchain, Jr RE., Gregory, JR., Olivetti, EA,2017. Environmental life-cycle assessment. Nature Materials. Vol.16(7), pp. 693-7.
9. Scharlemann, JP., Brock, RC., Balfour, N., et al.,2020. Towards understanding interactions between Sustainable Development Goals: The role of environment–human linkages.

Sustainability science. Vol.15(6), pp. 1573-84.

10. Nielsen, TD., Hasselbalch, J., Holmberg, K., Stripple, J.2020. Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment.Vol. 9(1), pp. 360.
11. Sumida, BH., Houston, A., McNamara, J., et al.1990. Genetic algorithms and evolution. Journal of Theoretical Biology. Vol.147(1), pp. 59-84.
12. Houck, CR., Joines, J., Kay, MG.,1995. A genetic algorithm for function optimization: a Matlab implementation. Ncsu-ie tr. Vol. 95(09), pp. 1-10.
13. Hu, J., Sun, Y., Qingzhen, X., 2010. editors. Notice of Retraction: The theory and application of Genetic Algorithm. International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering; IEEE.
14. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, NMP., et al., 2017. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production. VoL.143, pp. 757-68.
15. Karayılan, S., Yılmaz, Ö., Uysal, Ç., et al. 2021. Prospective evaluation of circular economy practices within plastic packaging value chain through optimization of life cycle impacts and circularity. Resources, Conservation and Recycling. Vol.173, pp.105691.
16. Bourguignon, D.,2016. Circular economy package four legislative proposals on waste. In: Parliment E, editor. European Parliamentary Research Service (EPRS). pp. 573-936.
17. Nnorom, I.C., Osibanjo, O., 2008. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations and their poor applications in the developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*.Vol. 52,pp. 843–858.
18. Ameli, M., Mansour, S., Ahmadi-Javid, A., 2016. A multi-objective model for selecting design alternatives and end-of-life options under uncertainty: A sustainable approach. Resources, Conservation and Recycling. Vol.109, pp.123-36.
19. Battini, D., Calzavara, M., Persona, A., Sgarbossa, F., 2016. Sustainable Packaging Development for Fresh Food Supply Chains. Packaging Technology and Science. Vol.29, pp. 25-43.
20. Wu Z, Kwong CK, Lee CKM, Tang J. Joint decision of product configuration and remanufacturing for product family design. International Journal of Production Research.;54(15):4689-702.
21. Saleh, Y., 2016. Comparative life cycle assessment of beverages packages in Palestine. *Journal of Cleaner Production.* Vol. 131, pp.28-42.
22. Joshi, A. D., Gupta, S. M., Ishigaki, A., 2018. Evaluation of Design Alternatives of Sensor Embedded End-of-life Products in Multiple Periods. *Procedia CIRP*. Vol. *61*, pp. 98-103.
23. Behrooznia, L., Sharifi, M., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., 2020. Comparative life cycle environmental impacts of two scenarios for managing an organic fraction of municipal solid waste in Rasht-Iran. *Journal of Cleaner Production*. Vol. *268*, pp. 122217.
24. Abejón, R., Bala, A., Vázquez-Rowe, I., et al., 2020. When plastic packaging should be preferred: Life cycle analysis of packages for fruit and vegetable

distribution in the Spanish peninsular market. *Resources, Conservation and Recycling.* Vol. 155, pp. 104666.

25. Boutros, M., Saba, S., Manneh, R., 2021. Life cycle assessment of two packaging materials for carbonated beverages (polyethylene terephthalate vs. glass): Case study for the lebanese context and importance of the end-of-life scenarios. *Journal of Cleaner Production*.Vol. 314, pp.128289.
26. Spreafico, C., Russo, D.,2021. A sustainable cheese packaging survey involving scientific papers and patents. *Journal of Cleaner Production.*Vol. 293, pp. 126196.
27. Lin, Z., Ooi, J. K., Woon, K. S., 2021. An integrated life cycle multi-objective optimization model for health-environment-economic nexus in food waste management sector. *Science of The Total Environment*. pp. 151541.
28. Zhang, J., Qin, Q., Li, G., et al., 2021. Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*. Vol. *287*, pp. 112238.
29. Kan, M., Miller, SA., 2022. Environmental impacts of plastic packaging of food products. *Resources, Conservation and Recycling.*Vol.180, pp. 106156.
30. De Feo, G., Ferrara, C., Minichini, F., 2022. Comparison between the perceived and actual environmental sustainability of beverage packagings in glass, plastic, and aluminium. *Journal of Cleaner Production.*Vol. 333,pp. 130158.
31. Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., & van Zelm, R. 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.Vol. *22*(2), pp. 138-147.
32. Baldowska-Witos, P., Kruszelnicka, W., Kasner, R., et al., 2019. Impact of the plastic bottle production on the natural environment. Part 1. Application of the ReCiPe 2016 assessment method to identify environmental problems. Przemysl Chemiczny.Vol. 98(10), pp. 1662-7.
33. Borghesi, G., Stefanini, R., Vignali, G.,2022. Life cycle assessment of packaged organic dairy product: A comparison of different methods for the environmental assessment of alternative scenarios. Journal of Food Engineering. Vol.318, pp. 110902.
34. Arvanitoyannis, I. S., 2008. ISO 14040: Life Cycle Assessment (LCA) – Principles and Guidelines., *Waste Management for the Food Industries* . pp. 97-132
35. Ameli, M., Mansour, S., Ahmadi, A. 2019. A simulation-optimization model for sustainable product design and efficient end-of-life management based on individual producer responsibility. Resources, Conservation and Recycling. Vol.140, pp. 246-58.
36. SimaPro, 2021: https://www.simapro.com/
37. EPA, (2021). *Waste Reduction Model (WARM)*. https://www.epa.gov/warm
38. Hoang, AT., Varbanov, PS., Nižetić, S., et al,2022. Perspective review on Municipal Solid Waste-to-energy route: Characteristics, management strategy, and role in circular economy. Journal of Cleaner Production. VoL.359,pp.131897.

39. Khan, AH., López-Maldonado, EA., Khan, NA., et al., 2022. Current solid waste management strategies and energy recovery in developing countries - State of art review. Chemosphere. Vol.291, pp.133088.