Journal of Environmental Research
Vol. 14, No. 28, Atumn & Winter 2024

Journal Homepage: www.iraneiap.ir
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

Document Type
Research Paper

Received
2023/08/27

Accepted
2024/01/01

Assessment of the Life Cycle of the Food Packaging Industry in Dehek Industrial Area

Azar Babaei[1], Romina Sayahnia*[2], Salma Ommi[3]

1. Master's student, Department of Environmental Planning and Design, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Environmental Planning and Design, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2024.191712

Abstract

The increase in the growth rate of the world population and the growth of the demand for the use of food resources has led to the development of food production and packaging. The food packaging industry is one of the most abundant industries, therefore it has significant polluting effects on the environment. Evaluating the harmful effects and identifying the origin of these effects in designing effective measures to reduce the harmful effects of this industry through reducing consumption, improving consumable raw materials and recycling is a way forward. With the aim of knowing the environmental effects of the packaging industry based on the life cycle approach, the environmental consequences of this industry have been applied to the vegetable packaging factory located in Dehak industrial town in the west of Tehran province. The destructive effects of this industry have been quantified based on the global ReCiPe method. The results of estimating the environmental effects of the process of food production and packaging (vegetables) in this study have shown the greatest environmental effect among the three groups of effects of resources, ecosystem and human health on human health. The origin of the greatest environmental load in this research has been shown as the source of damage through the investigation of effect groups, greenhouse vegetables and transportation. The results of the list of pollutant emissions obtained from the evaluation of environmental effects based on the life cycle in the studied factory indicate the emission of 2.2 kg due to fossil fuels and 74.7 grams of other activities in the air, the amount of carbon monoxide emission is 132 grams and also 7.96 grams in Air is also 874 milligrams and 2.83 grams in air per production of a package of vegetables (200 grams).

Keywords: LCA(1), Food Packaging Industry, Global Warming, Simapro

* Corresponding author: Email: r_sayahnia@sbu.ac.ir

Introduction

The inevitable expansion of industrial activities has increased the damage to the environment and has caused a decrease in the quality of air and water, an increase in acid rains and land degradation. Determining the amount of environmental effects caused by the production of products clarifies the amount of damages in different sectors. LCA can not only be useful in improving the compatibility of a product or service with the environment (Roy et al. 2009), but also the harmful environmental effects of the process of preparing raw materials and producing a product separately on water and soil are clarified in a way that All aspects of production, distribution and consumption are considered. Also, LCA is a popular tool that is widely used to evaluate the environmental effects of waste management systems (Kulczycka et al. 2015) and can be used as a knowledge base and a common method and approach in decision-making for the program to be Based on this, LCA has been used for the planning and environmental management of an "eco-industrial cluster" for the coexistence of industry and environment in southern Italy, in order to establish the possibility of creating a recycling loop in which the waste and by-products of several companies Check the input materials of the processes that are used in new products. The analysis of environmental effects with the life cycle approach showed that this approach has local and global benefits such as reducing the supply of raw materials and energy, minimizing buried waste and reducing the emission of greenhouse gases and acid gases. (Cellura, Ardente and Longo 2012). In order to complete the studies in order to examine the process from cradle to grave in the life cycle, it is necessary to collect the necessary information after use, which includes the process of recycling, landfilling, reuse and incineration (Valdivia et al., 2013). Several studies have been conducted on the life cycle assessment of various industries around the world, including Iran. For example, in 2017, Marashi et al studied the conservation of natural resources and achieving sustainable development, especially sustainable agriculture, through the life cycle assessment method of the sugar industry. Also, in 2015, Daneshi et al. evaluated the consequences of water consumption in the life cycle of milk production on the environment through Simapro. In this regard, in another comprehensive study, Abbasi et al. evaluated the environmental effects of the production process of comfortable furniture in 2015.

The packaging industry has expanded a lot due to the improvement of food storage and supply in the food industry, and it has caused a variety of dangerous polluting wastes to enter the atmosphere, water and soil. Considering the urgency and magnitude of environmental problems caused by food supply chains, it is necessary to provide recommendations to improve packaging.

Based on this, the aim of this research is to investigate the environmental effects of food packaging industries-vegetable packaging factories, and explain the pollution effects of this industry in the form of characterizing the effects using the life cycle assessment method, so that as an industry The pollution that has formed around big cities, its damage on humans and the surrounding environment should be clarified.

Methodology

The analysis in this research is based on the initial input of data related to the food packaging industry, which includes the main features of production and packaging and disposal of waste from the production process (including the process of manual sorting and machine packaging) primary raw materials). The relevant input information is entered in the SimaPro software so that, based on the entered data, the emission of greenhouse gases is calculated by the software. Input data includes land use data (as input from nature) and material and energy consumption (as exchanges with the technosphere). The calculations also include the total of greenhouse gases from the landfill and factory landfill gas and the problems related to the emission of greenhouse gases and other damage classifications. Damage classes can include a wide range of vulnerability to humans and resources, and the environment, which has different groupings based on the type of method selected in the analysis. To select materials and methods, the global database (Ecoinvent 3) of SimaPro software has been used. This database prepared by the Swiss Life Cycle Registration Center in collaboration with the Federal Institute of Technology in Zurich, which has the most complete databases.

Results and Discussion

LCA analysis for vegetable packaging, which is considered in this study, has been done using the data provided by the factory management. The raw materials used are estimated to be 200 grams of ready-to-eat vegetables per package. The input data includes data related to land use (as an input from nature), materials and energy consumption (as exchanges with the technosphere) and output data. It includes (landfill). In order

to quantify environmental effects in this study, ReCiPe method was used in SimaPro software. This method quantifies the effective environmental effects on humans and resource consumption. In this method, it is tried to evaluate the environmental effects based on the problem-oriented approach (CML-IA) and the harm-oriented approach (Eco-indicator 99).

During the process of preparation to packaging of vegetables in the studied factory, separately from the consumables and the production process due to waste burial, cellophane, transportation from the factory to the shop, transportation of garbage, glue, vegetables, disposable container (plastic type) (used in packaging) gas, electricity, water and 200 grams package. Based on the results obtained from the mentioned method, in the category of effects, the greatest environmental load related to vegetables has been obtained. After entering the input and output data in the software, the life cycle effect evaluation stage was carried out using the ReCiPe method, and the numerical results Each class of effect was obtained in the production of 200 grams package according to the table below. The most effective parts are mentioned in each category of the work. The results of this study showed that in exchange for the production of a 200-gram package, the reduction of fossil fuels (0.13) has the highest amount of pollution and water consumption, and aquatic ecosystems (2.25 x 10-4) have the lowest amount of pollution. be According to the damage-oriented approach in this method of environmental impact assessment, damage to resources is estimated in the form of economic damage (in monetary units), damage to the ecosystem (in terms of species per year) and damage to humans (in terms of days of life adjusted from disability and damage to human health) is described. Figure 1 shows the results obtained from the life cycle assessment in the stage of characterizing the effects using the ReCiPe method.

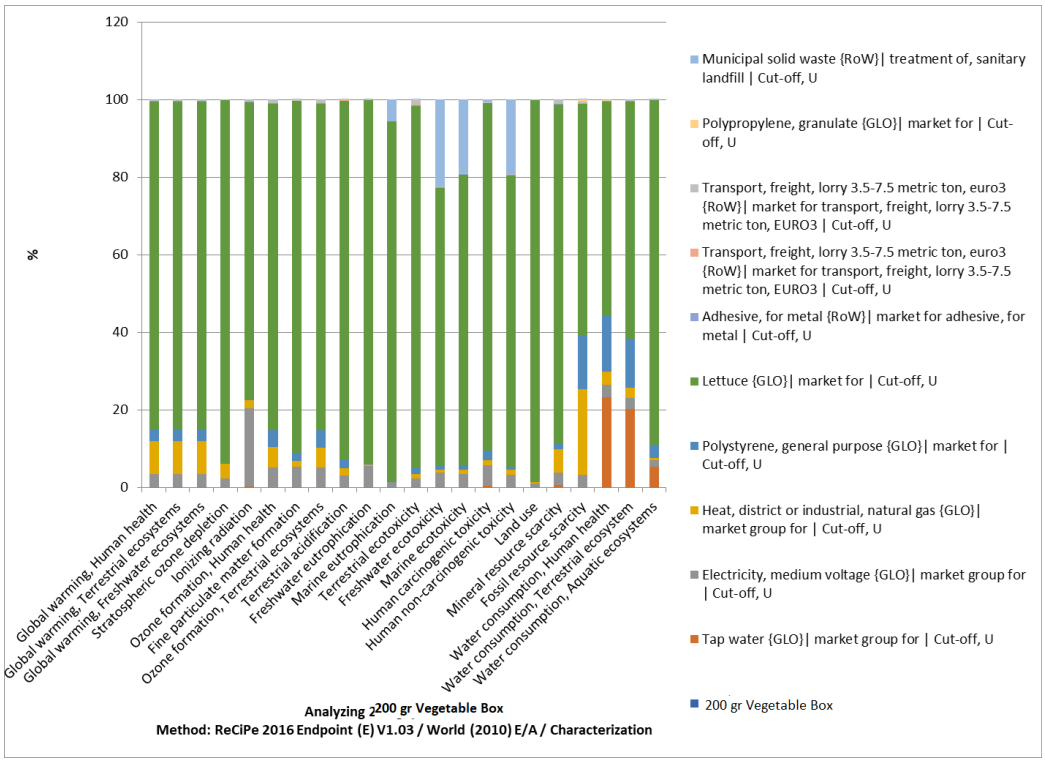


Figure (1): The results obtained from the life cycle in the stage of characterization of the effects using the ReCiPe method.

In normalization, an effort is made to normalize the effects based on a single unit so that it is possible to compare them with each other by getting rid of the unit constraint. ReCiPe shows. Based on the results obtained from this method, there are three classes of effect (human health, ecosystem, resources) in the normalization stage. The largest share of pollution in the category of damage to human health. According to the list of emissions listed in Table 3, the amount of carbon monoxide emission is 132 grams entering the air, and the amount of nitrogen oxide emitted in the air is 3.26 grams per 200 grams of vegetables. Also, the emission amount is 2.2 kg. The result of fossil fuels and 74.7 grams of other processes in the air and 234 mg through the soil and also 7.96 grams in the air and also 874 mg and 2.83 grams in the air are estimated. The

amount of emissions of other harmful pollutants, methane, hydrogen sulfide (H2S), hydrogen fluoride (HF) and hydrogen chloride (HCl) are easimated.

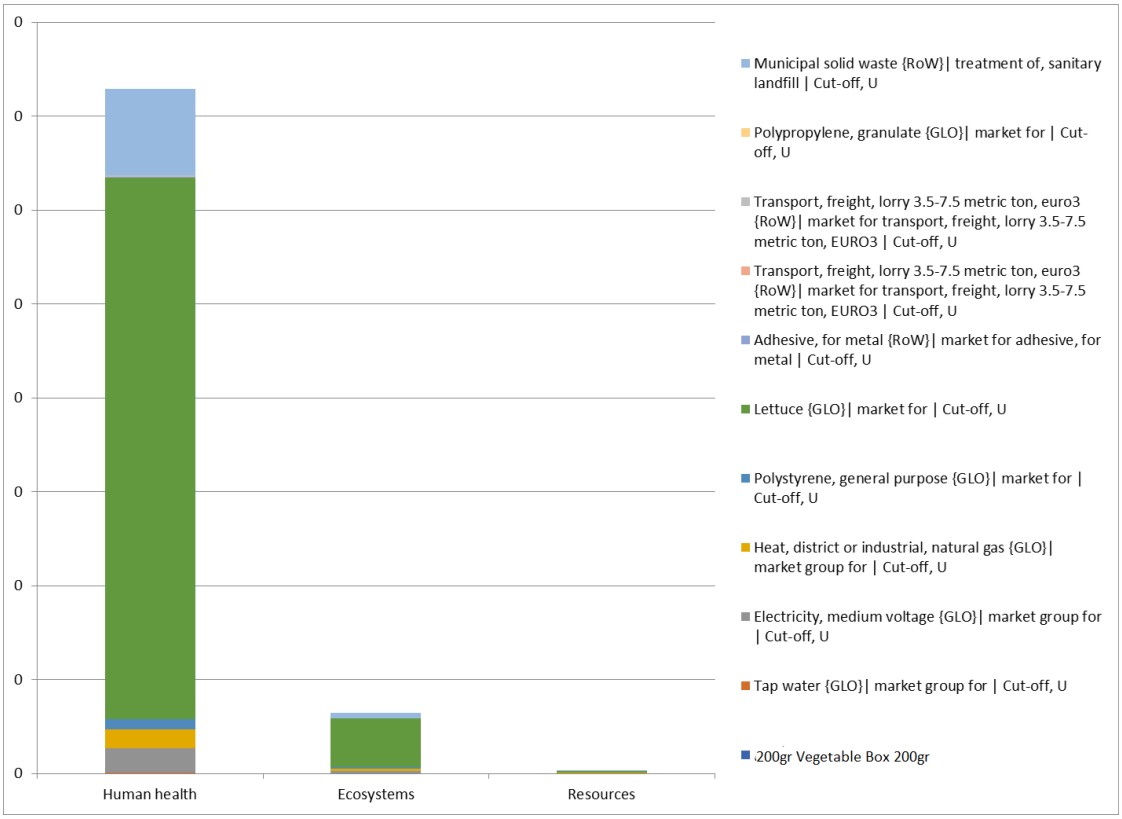


Figure (2): The results obtained from the life cycle in the stage of normalization and weighting of the effects using the ReCiPe method.

Conclusion

According to the results of this research, it is possible to reduce the negative and destructive effect on the environment by providing solutions to optimize energy consumption in the greenhouse and reduce waste in the vegetable production process. The increasing population growth and the need to produce more food as well as better use of production resources have drawn attention to greenhouse crops. In greenhouse crops, it is possible to better use the important resources of water, energy and land. The correct way to reduce vegetable waste is that the path between harvesting the product and its packaging should be as direct as possible. Everything depends on transportation, warehouse and speed. This is true if the greenhouses (or other cultivation places) reside in a place close to the factory. As long as there is no organized supply chain, product losses can be significant and this means wasted land, water, energy and chemicals used in production that are completely discarded.

There were limitations in life cycle log data collection. Air pollutant emission data were not measured directly in the factory. The processes in the software are used for inputs. The amounts of a number of raw materials have been calculated according to the studies conducted in other countries and have been converted from qualitative to quantitative based on the evaluation of global pollution. The results obtained from this research provide a comprehensive environmental analysis of packaging in Iran, which can help politicians and decision makers of the packaging industry to better understand nature.

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱٤، شماره ۲۸، پاییز و زمستان ۱٤۰۲، از صفحه ۲۳۵ تا ۲۵۳

ارزیابی چرخه حیات صنعت بسته‌بندی مواد غذایی واقع در ناحیه صنعتی دهک

آذر بابایی[۱]، رومینا سیاح نیا*[۲]، سلما امی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، برنامه‌ریزی محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیارگروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استادیارگروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱٤۰۲/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۲/۱۰/۱۱

چکیده

افزایش سرعت رشد جمعیت جهانی و به موجب آن رشد تقاضای استفاده از منابع غذایی، توسعه تولید و بسته‌بندی مواد غذایی را به همراه داشته است. صنعت بسته‌بندی مواد غذایی در زمره‌ی فراوان‌ترین صنایع می باشد، از این‌رو دارای اثرات آلاینده‌های قابل توجه بر محیط‌زیست است. ارزیابی اثرات مخرب و شناسایی منشا بروز این اثرات در طراحی اقدامات موثر جهت کاهش اثرات مضر این صنعت از طریق کاهش مصرف، بهبود مواد خام مصرفی و بازیافت راهگشا است. با هدف شناخت اثرات محیط‌زیستی صنایع بسته‌بندی بر اساس رویکرد چرخه حیات، پیامدهای محیط‌زیستی این صنعت برای کارخانه بسته‌بندی سبزیجات واقع در شهرک صنعتی دهک در غرب استان تهران به کار گرفته شده است. اثرات مخرب این صنعت براساس روش جهانی ReCiPe کمی شده است. نتایج برآورد اثرات محیط‌زیستی فرایند تولید و بسته‌بندی مواد غذایی (سبزیجات) در این مطالعه، بیشترین اثر محیط‌زیستی را دربین سه گروه اثر منابع، اکوسیستم و سلامتی انسان بر سلامتی انسان نشان داده است. منشا ایجاد بیشترین بار محیط‌زیستی در این پژوهش از طریق بررسی گروه‌های اثر، سبزیجات گلخانه‌ای و حمل و نقل را به عنوان منشا آسیب نشان داده است. نتایج سیاهه انتشارات آلاینده حاصل از ارزیابی اثرات محیط‌زیستی بر اساس چرخه حیات در کارخانه مورد مطالعه، حاکی از انتشار ۲/۲ کیلوگرم CO_2 به دلیل سوخت‌های فسیلی و ۷۴/۷ گرم سایر فعالیت‌ها در هوا، مقدار انتشار مونواکسیدکربن CO ۱۳۲ گرم و همچنین ۷/۹۶ گرم SO_2 در هوا ، همچنین ۸۷۴ میلیگرم $PM_{2.5}$ و ۲/۸۳ گرم PM_{10} در هوا را به ازای تولید یک بسته سبزی (۲۰۰گرم) است.

کلید واژه‌ها: چرخه حیات، صنایع بسته‌بندی مواد غذایی،گرمایش جهانی، روش ReCiPe

*نویسنده مسئول: Email: r_sayahnia@sbu.ac.ir
DOI: 10.22034/eiap.2024.191712

سرآغاز

گسترش گریزناپذیر فعالیت‌های صنعتی آسیب‌های محیط‌زیستی را افزون کرده است و باعث کاهش کیفیت آب و هوا، افزایش باران‌های اسیدی و گرمایش زمین شده است. تعیین میزان اثرات محیط‌زیستی ناشی از تولید محصولات، میزان آسیب‌ها را در بخش‌های مختلف روشن می‌کند. همچنین، تخمین میزان آلایندگی تولید محصولات، می‌تواند در طراحی راهکارهای مناسب و برنامه‌ریزی کاهش پیامدهای ناشی از تولید و توزیع و مصرف محصولات راهگشا باشد.

پس از توسعه استانداردهای LCA ایزو ۱۴۰۰ در سازمان بین‌المللی استاندارد در سال۲۰۰۲ ، سازمان ملل با مشارکت انجمن سم‌شناسی و شیمی محیطی (SETAC)، ارزیابی چرخه حیات را جهت ارزیابی اثرات محیط‌زیستی طراحی و پیشنهاد نمود (Sonnemann et al., 2003). تعریف چرخه حیات در ISO 14040به شکل زیر ارایه شده است: «مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای گردآوری و ارزیابی مواد و انرژی ورودی و خروجی و اثرات محیط‌زیستی همراه یک سیستم محصول در طول چرخه حیات آن» (Standardization 2006). با توجه به این تعریف، از LCA نه تنها می‌تواند در بهبود تطابق‌پذیری محصول یا خدمت با محیط‌زیست سود جست (Roy et al., 2009) بلکه اثرات مخرب محیطی فرایند تهیه مواد اولیه و تولید یک محصول به تفکیک بر آب و خاک روشن می‌شود به شکلی که تمام جنبه‌های تولید و توزیع و مصرف لحاظ می‌گردد. همچنین LCA یک ابزار محبوب است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی سیستم‌های مدیریت زباله استفاده می‌شود (Kulczycka et al., 2015) و می‌تواند به عنوان مبنای دانش و روش و رویکرد رایج محرک در تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی باشد. بر این اساس ارزیابی چرخه حیات برای برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیستی یک «خوشه‌ی بوم‌صنعتی» جهت همزیستی صنعت و محیط‌زیست در جنوب ایتالیا به کار گرفته شده است تا امکان‌پذیری ایجاد یک حلقه بازیافت که در آن ضایعات و محصولات فرعی چندین شرکت به عنوان مواد ورودی فرآیندهایی که در تولیدات جدید به کار گرفته می‌شوند، بررسی شود. تحلیل‌ها اثرات محیط‌زیستی با رویکرد چرخه حیات نشان دادند که این رویکرد دارای مزایای محلی و جهانی مانند کاهش تامین مواد خام و انرژی، به حداقل رساندن زباله‌های دفن شده و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گازهای اسیدی است (Cellura et al., 2012). به طورکلی، LCA می‌تواند به عنوان یک چارچوب کلی برای اندازه گیری عملکرد محیطی، همزیستی صنعتی استفاده شود (Mattila, 2018). به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات صورت گرفته در صنایع کشاورزی (Zalazar-Garcia et al., 2022; Astuti et al., 2021) صنایع لبنی (Kumar et al., 2021)، صنایع ساختمان‌سازی (Manjunatha et al., 2021; Cui & Shao, 2022)، صنایع تولید سیمان (Olagunju & Olanrewaju et al., 2020)، صنایع نفت و پتروشیمی (Sulistyawati et al., 2020)، صنایع تولید محصولات شیمیایی (Soleymani Angili et al., 2021)، صنایع فلزی (Farjana et al., 2019)، معدن‌کاری (Farjana et al., 2019) و صنایع غذایی و بسته‌بندی (Asadollahi et al., 2022; Lehmann et al., 2020; Zagklis et al., 2021; Molina-Besch et al., 2019) اشاره نمود.

اثرات محیط‌زیستی شامل شناسایی، تعریف و اندازه‌گیری اثرات و تفسیر نتایج جهت برنامه‌ریزی و ارایه راهکار می‌شود. در قدم نخست برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی لازم است تا داده‌های مورد نیاز جمع آوری شود. داده‌های ورودی شامل داده‌های خام، فرآوری و تولید محصول و حمل‌ونقل و انرژی می‌شود. جهت تکمیل مطالعات به جهت بررسی فرایند از گهواره تا گور در چرخه حیات لازم است اطلاعات لازم پس از استفاده نیز صورت‌برداری شود که شامل فرایند بازیافت، دفن زباله، استفاده دوباره و سوزاندن می‌شود(Valdivia et al., 2013). با توجه به تهدید اکوسیستم‌ها در اثر رشد بی‌رویه زباله‌های پلاستیکی تولید شده در هر سال، و در عین حال بحران مدیریت زباله بی‌سابقه ایجاد شده ناشی از آن، تحقیق بر انواع پیامدها و میزان اثرات محیط‌زیستی مخرب ناشی از استفاده پلاستیک در بسته‌بندی سبزیجات در این مطالعه مدنظر قرار گرفته است. همچنین به دلیل افزایش غلظت گازهای آلاینده در شهر تهران ناشی از فرآیند حمل‌ونقل مواد ورودی به کارخانه و توزیع تولیدات به مراکز فروشگاهی، مسافت‌ها بر اساس داده‌های کتابخانه‌ای و اطلاعات نرم‌افزار SimaPro جهت ارزیابی اثرات در محاسبات وارد شده است.

مطالعات متعددی در مورد ارزیابی چرخه حیات صنایع مختلف در سراسر جهان از جمله ایران انجام شده که از داده‌های کتابخانه

این نرم‌افزار و تخمین آسیب به محیط‌زیست در آن بهره گرفته شده است. برای مثال، (Marashi et al., 2019) از طریق روش ارزیابی چرخه حیات صنعت شکر، حفظ منابع‌طبیعی و دست یافتن به توسعه پایدار و به ویژه کشاورزی پایدار را بررسی کردند. همچنین، (Daneshi et al., 2017) پیامدهای مصرف آب در چرخه حیات تولید شیر بر محیط‌زیست از طریق Simapro مورد ارزیابی قرار دادند. در همین راستا در مطالعه جامع دیگری، (Abbasi et al., 2016) ارزیابی اثرات محیط‌زیستی فرآیند تولید مبلمان راحتی را مورد بررسی قرار دادند. اثرات محیط‌زیستی ناشی از تولید بسته‌بندی روغن کلزا در استان اصفهان نیز به شیوه چرخه حیات در این نرم‌افزار مورد مطالعه قرار گرفته است در این مطالعه پلاستیک و مقوا استفاده شده در بسته‌بندی و سوخت دیزل به کار گرفته شده در فرآیند تولید به عنوان نقاط داغ تولید این محصول معرفی شده است (Khanali et al., 2018).

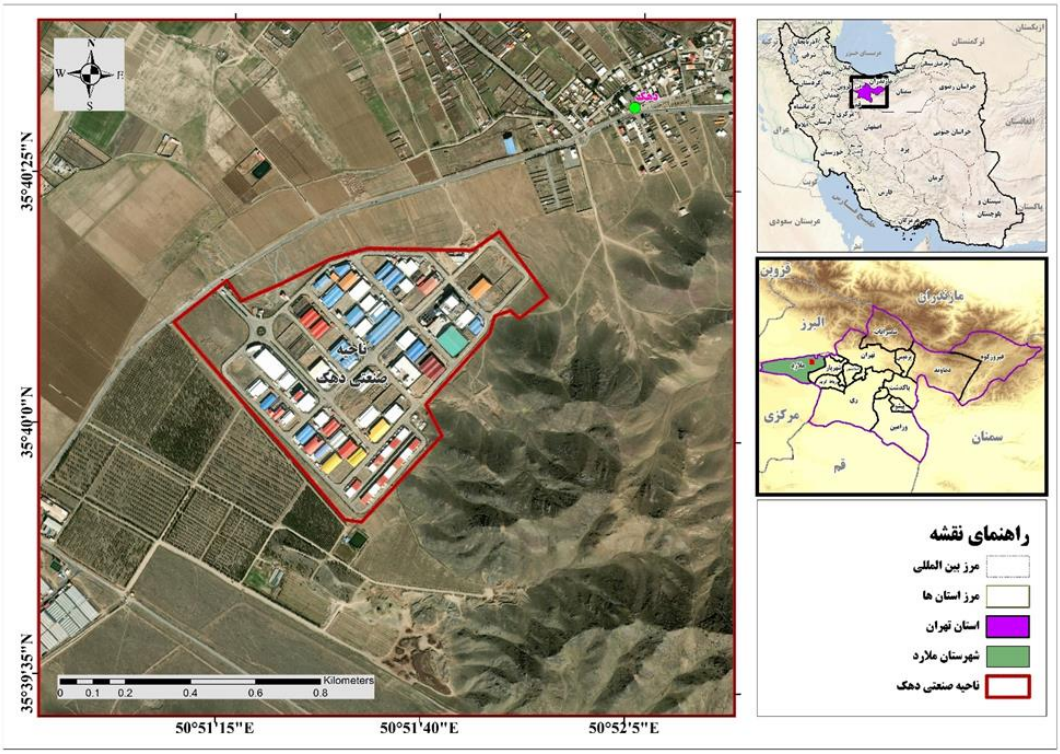
صنایع بسته‌بندی به دلیل بهبود نحوه نگهداری و عرضه موادغذایی در صنایع غذایی گسترش بسیاری داشته است و موجب شده تا انواعی از پسماندهای آلاینده خطرناک وارد جو، آب و خاک شود. با توجه به فوریت و بزرگی مشکلات محیط‌زیستی ناشی از زنجیره‌های تامین مواد غذایی لازم است که توصیه‌هایی برای بهبود بسته‌بندی ارایه شود. طراحی استراتژی‌های کارآمد مستلزم مطالعه اثرات محیط‌زیستی حاصل از ارزیابی چرخه زندگی مواد غذایی مرتبط با بسته‌بندی است. جهت تامین این هدف مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است. (Zhang et al., 2015) تاثیر مواد خام جهت بسته‌بندی گوشت را براساس رویکرد ارزیابی چرخه حیات با استفاده از نرم‌افزار SimaPro بررسی کردند. در مطالعه مشابه اثرات مستقیم و غیر مستقیم بسته‌بندی از طریق LCA، برای صنایع غذایی چین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق، تاثیر محیطی مستقیم‌بندی مواد غذایی، تاثیر ناشی از تولید و پایان عمر مواد بسته‌بندی و تاثیر محیطی غیرمستقیم آن ناشی از تاثیر آن بر چرخه عمر محصول غذایی (با تاثیر آن بر ضایعات مواد غذایی و بازده لجستیکی) در نظر گرفته شده است، نتایج ارزیابی چرخه حیات در این مطالعه حاکی از آن است که تاثیر محیطی غیرمستقیم بسته‌بندی موادغذایی در عمل به اندازه کافی در نظر گرفته نمی‌شود. بر اساس این نتایج، این مقاله خواستار بررسی سیستماتیک‌تر تاثیر محیطی غیرمستقیم بسته‌بندی در LCAهای موادغذایی آینده است، همچنین نتایج این مطالعه نشان داده است که تکمیل ویژگی‌های بسته‌بندی خاص (مانند شکل، وزن و نوع مواد) جهت انجام LCA،کاهش عدم‌قطعیت‌های ارزیابی چرخه حیات LCA را به همراه خواهد داشت (Molina-Besch et al., 2019). نوع مواد مصرفی در فرآیند بسته‌بندی از جمله‌ی مهمترین عوامل تعیین‌کننده میزان تاثیرات محیط‌زیستی است که با به کارگیری رویکرد چرخه حیات LCA می‌توان به مطالعه آن پرداخته و بر اساس نتایج سیاست‌های کاهش اثرات محیط‌زیستی را برنامه‌ریزی نمود. جهت کاهش اثرات مخرب ناشی از به کارگیری انواع پلیمرها در صنعت پلاستیک‌سازی یکی از مهمترین استراتژی‌ها به کارگیری برخی از پلاستیک‌های زیستی به عنوان راه‌حلی امیدوارکننده برای جلوگیری از نشت پلاستیک به محیط‌زیست شناسایی شده است. با این حال، چنین جایگزین‌هایی ممکن است لزوما بهبودی در تاثیر کلی بر محیط‌زیست ایجاد نکنند، به‌ویژه زمانی که کارایی آن‌ها در جلوگیری از اتلاف موادغذایی در نظر گرفته می‌شود. بررسی سیستماتیک رابطه بین بسته‌بندی موادغذایی و ضایعات موادغذایی است که بر اساس ارزیابی چرخه عمر بسته‌بندی موادغذایی پلاستیکی متعارف و زیست تخریب‌پذیر (LCAs) صورت گرفته است، نشانگر آن است که گرچه پلاستیک‌های زیستی دارای مزایای محیط‌زیستی برای کاهش پتانسیل گرمایش جهانی و استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر هستند، اما این موارد اغلب توسط ورودی‌های کشاورزی مورد نیاز برای تولید مواد خام پلاستیک‌های زیستی رد می‌شوند. به علاوه LCAهای صورت گرفته تا کنون شواهد کافی برای بیان این که کدام پلیمر در کاهش ضایعات موادغذایی بهترین است، ارایه نمی‌کنند، آنها بر ردپای محیطی مرتبط با تولید مواد غذایی و ضایعات مواد غذایی تاکید می‌کنند و اهمیت گنجاندن خود غذا در LCAهای بسته‌بندی موادغذایی را برجسته می‌کنند همچنین به بار محیط‌زیستی تولید موادغذایی و فرآیند آماده‌سازی آن اشاره می‌کنند (Kakadellis & Harris 2020). به طورکلی تمرکز بیشتر مطالعات ارزیابی اثرات بر به کارگیری مواد جایگزین تجزیه‌پذیر جهت بسته‌بندی موادغذایی بوده است، زیرا استفاده از پلاستیک‌های زیستی تخریب‌پذیر، امکان دفن زباله یا سوزاندن به جریان‌های «سبزتر» مانند هضم بی‌هوازی و کمپوست را فراهم می‌کنند و به اقتصاد دایره‌ای نیز کمک می‌کنند (Molina-Besch et al., 2019). مقایسه سه نوع

بسته‌بندی برای توزیع شیر، با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات نشان داده است که پلاستیک قابل کمپوست زیستی می‌تواند وسیله‌ای قدرتمند برای ایجاد اقتصاد دایره‌ای برای اقلام دور ریختنی باشد، مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی بر یک کارتن چند لایه و یک بطری شیشه‌ای نتایج نشان می‌دهد که مطابق با مفروضات یک سناریوی ایده‌آل، سیستم بیوپلاستیک عملکرد بهتری نسبت به سیستم‌های مبتنی بر فسیل و کارتن‌های چند لایه در مقوله‌های تغییر اقلیم، تخریب لایه ازن، سمیت برای انسانی، پتاسیل مغذی شدن[۲]، ماده خاص و زمین دارد (Cappiello et al., 2022). بر این اساس هدف این پژوهش بررسی اثرات محیطزیستی صنایع بسته‌بندی موادغذایی- کارخانه بسته‌بندی سبزیجات، اثرات آلایندگی این صنعت را در قالب ویژگی‌سازی اثرات با استفاده از روش ارزیابی چرخه‌حیات تبیین می‌کند تا به عنوان یک صنعت فراگیرکه در اطراف شهرهای بزرگ شکل گرفته است، آسیب‌های آن بر انسان و محیط پیرامون روشن گردد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه ناحیه صنعتی دهک

احداث ناحیه صنعتی دهک با هدف توسعه صنایع تبدیلی در شهرستان ملارد، با وسعت ۵۰ هکتاری در آذر ۱۳۸۵ مصوب شده و به‌منظور استقرار صنایع تبدیلی در دستور کار قرار گرفته است. این ناحیه در سال ۱۳۷۳ با مشارکت جهاد سازندگی و در زمینی به مساحت ۵۰ هکتار به منظور استقرار واحدهای صنعتی تبدیلی به کشاورزی احداث و در سال ۸۶ به شرکت شهرک‌های صنعتی واگذار شد. این شهرک در ۶۰ کیلومتری شهرتهران در شهرستان ملارد واقع شده است. انتقال کارگاه‌های موجود در نقاط مختلف و ساماندهی وضعیت موجود به همراه توسعه اشتغال و نظارت بر حسن اجرای قوانین و مقررات از مهم‌ترین اهداف در احداث ناحیه صنعتی دهک است. صنایع مجاز برای استقرار در ناحیه صنعتی دهک، صنایع غذایی و بسته‌بندی موادغذایی می‌باشد. ناحیه صنعتی دهک، دارای ۲۷ واحد فعال صنعتی و کارگاهی می‌باشد. غالب فعالیت‌ها در این ناحیه در زمره خدمات بسته‌بندی موادغذایی قرار می‌گیرد. از این‌رو جهت مطالعه کارخانه بسته‌بندی سبزیجات به عنوان نمونه انتخاب و اطلاعات لازم جهت تجزیه و تحلیل‌ها از آن دریافت گردیده است.



شکل (۱): موقعیت شهرک صنعتی دهک منطقه در ایران، استان تهران، شهرستان ملارد

روش پژوهش

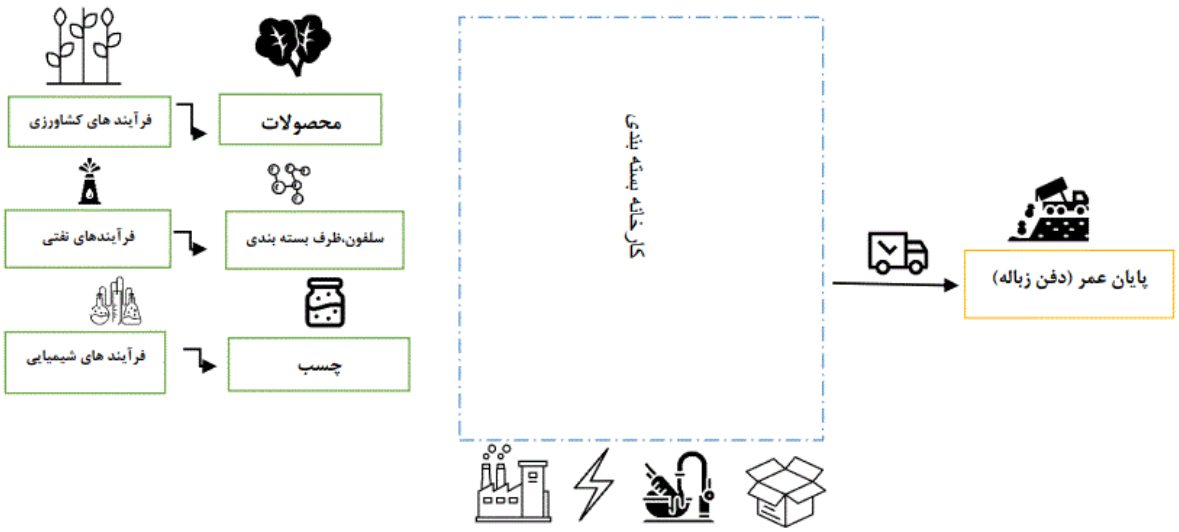
تجزیه و تحلیل در این پژوهش بر اساس ورودی اولیه داده‌های مربوط به صنعت بسته‌بندی موادغذایی است که به ویژگی‌های اصلی تولید و بسته‌بندی و دفع زباله ناشی از فرآیند تولید (شامل فرایند مرتب‌سازی دستی و بسته‌بندی دستگاهی مواد خام اولیه) می‌شود. اطلاعات ورودی مربوط در نرم‌افزار SimaPro وارد می‌شود تا بر اساس داده‌های وارد شده، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط نرم‌افزار محاسبه گردد. داده‌های ورودی شامل داده‌های مربوط به کاربری زمین (به عنوان ورودی از طبیعت) و مواد و مصرف انرژی (به عنوان مبادلات با تکنوسفر) است.

محاسبات نیز، مجموع گازهای گلخانه‌ای از محل دفن زباله و گاز محل دفن کارخانه و مشکلات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر طبقه‌بندی‌های آسیب را در بر می‌گیرد. طبقات آسیب می‌تواند دامنه گسترده‌ای از آسیب‌پذیری به انسان و منابع، و محیطزیست را شامل شود که براساس نوع روش منتخب در تجزیه و تحلیل گروه‌بندی متفاوتی دارد.

برای انتخاب مواد و روش‌ها از پایگاه داده‌ی جهانی (Ecoinvent 3) نرم‌افزار SimaPro بهره گرفته شده است. این پایگاه داده‌ای که توسط مرکز سیاهه‌نویسی چرخه حیات سوئیس با همکاری موسسه فدرال فناوری زوریخ تهیه شده، که از کامل‌ترین پایگاه‌های داده‌ای برخوردار است. این پایگاه داده‌ای بیش از ۱۰ هزار فرایند عمومی را پوشش می‌دهد که صنایع انـرژی، حمل ونقل، ساختمـان، مـواد شیمیایی، کشاورزی، مقوا، عامل‌های شستشو و مدیریت پسماند را شامل می‌شود (Valderrama et al., 2012; Zalazar-Garcia et al., 2022; Calderón et al., 2010). این نرم‌افزار امکان تجزیه و تحلیل دقیق در صنایع بسته‌بندی موادغذایی را نیز فراهم می‌کند (Kakadellis & Harris, 2020; Williams & Wikström, 2011).

شرح سیستم و مرزها

در طول ارزیابی چرخه حیات کارخانه بسته‌بندی سبزیجات، محصولات طی یک سری فرآیندهای تولید شده و آماده توزیع می‌شود، در ابتدا سبزیجات در یک فرآیند کشت کشاورزی در گلخانه تولید می‌شوند و پس از انتقال به کارخانه و طی مراحل آماده‌سازی (طبقه‌بندی، شستشو، از رده خارج شدن ضایعات غیرقابل مصرف) برای بسته‌بندی آماده می‌شود. جهت بسته‌بندی انواعی از محصولات پلاستیکی به کار گرفته می‌شود. نفت خام در ترکیبات بسیار زیادی در طبیعت وجود دارد. سلفون و پلیاستایرن نیز پلاستیک‌های پایه نفتی محسوب می‌شوند. حمل‌ونقل به منظور ورود مواد اولیه به داخل کارخانه در نرم‌افزار سیماپرو لحاظ شده است. پس از ورود مواد به کارخانه طی مصرف برق، سوزاندن گاز طبیعی و گذراندن مراحل شستشو و بسته‌بندی، محصولات به مراکز فروش منتقل می‌شود. در نهایت پس از مصرف محصول در منازل، پسماند به محل دفن زباله منتقل و دفن می‌شوند. این فرآیند به صورت شماتیک در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): مرز سیستم فرایند بسته‌بندی سبزیجات

داده‌های ورودی

تجزیه و تحلیل LCA برای بسته‌بندی سبزیجات که مدنظر این مطالعه است با استفاده از داده‌های ارایه شده مدیریت کارخانه، انجام شده است. این اطلاعات شامل مقدار مصرف مواد و انرژی و تولید انرژی از بیوگاز (جدول ۱) است که به عنوان اطلاعات ورودی موجود در نرم‌افزار SimaPro وارد شده است. لازم به ذکر است که مواد خام مورد استفاده به ازای بسته‌بندی ۲۰۰ گرم سبزی آماده مصرف برآورد شده است. داده‌های ورودی شامل داده‌های مربوط به کاربری زمین (به عنوان ورودی از طبیعت) و مواد و مصرف انرژی (به عنوان مبادلات با تکنوسفر) و داده خروجی شامل (دفن زباله) می‌باشد.

جدول (۱): داده‌های موجود برای ورودی محاسبات ارزیابی چرخه حیات

	شماره	مواد	مقدار	واحد
مواد خام ورودی اولیه (به ازای یک بسته ۲۰۰ گرمی)	۱	سبزی	۶۰۰	gr
	۲	ظرف یک بار مصرف (پلی استایرن)	۲۳/۶۶	gr
	۳	سلفون (پلی پروپیلن)	۱	gr
	۴	چسب	۰/۳۵	gr
	۵	آب	۲	L
	۶	برق (۳۰ روز)	۰/۱۱	kWh
	۷	مصرف گاز (۳۰ روزه)	۴۷۴۹/۵۷	kJ
	۸	ضایعات	*۲۵/۰۱	gr
	۹	حمل و نقل (ازکارخانه تا مارکت)	۰/۰۰۷۸۷۵	ton/km
	۱۰	حمل و نقل (ضایعات)	۰/۰۰۰۸۷۵۳	ton/km
	۱۱	تغییر کاربری (استفاده از زمین)	۲۲۰۰	m^2

* در این مطالعه مجموع ضایعات۲۵/۰۱ گرم برای هر بسته ۲۰۰ گرمی حاصل از چسب، سلفون و ظرف پلاستیکی است که براساس نرخ پسماند پلاستیک در ایران، ۳۵ درصد آن در قالب بازیافت و باقیمانده به صورت دفن زباله فرض شده است.

روش منتخب برای ارزیابی اثرات چرخه‌حیات (LCIA)

به منظور کمی‌سازی اثرات محیط‌زیستی در این مطالعه، از روش ReCiPe در نرم‌افزار SimaPro استفاده شده است.

روش ReCiPe

این روش تاثیرات محیط‌زیستی موثر بر انسان و مصرف منابع را کمی می‌کند. در این روش تلاش می‌شود بر اساس رویکرد مشکل‌گرا در (CML-IA)و رویکرد آسیب‌گرا (Eco-indicator 99) اثرات محیطی ارزیابی گردد. رویکرد آسیب‌گرا، در دو سطح اثرات را بررسی می‌کند. در سطح نقطه میانی به هجده دسته اثر طبقه‌بندی کرده و بررسی می‌کند و در سطح نقطه پایانی، اثرات نقطه میانی توسط ضرب و جمع عوامل خسارت‌ها به سه دسته نقطه پایانی شامل سلامت انسان، اکوسیستم و هزینه‌های مازاد منابع دسته‌بندی می‌شوند (Goedkoop et al., 2009) گروه‌های اثر مورد استفاده در این مطالعه طبق روش ReCiPe را مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که از آنجا که به روشنی در نقاط پایانی طبقه اثرات و نقش فرآیندها و مواد ورودی به کار گرفته روشن نمی‌شود. این روش ارزیابی بر پایه دو مرحله یعنی در نقاط میانی و پایانی انجام می‌شود تا جزییات به نیکی شناسایی شود.

یافته‌ها

مراحل ارزیابی چرخه حیات

تجزیه و تحلیل اثرات محیط‌زیستی با رویکرد چرخه حیات از طریق وارد کردن اطلاعات ورودی در قالب سیاهه چرخه حیات در نرم‌افزار SimaPro وارد شده و طی مراحل زیر تا بیشترین و کمترین سود و زیان محیط‌زیستی ارزشیابی گردد.

ویژگی‌سازی

در ویژگی‌سازی، مقدار آلاینده‌های ناشی از فرایند تولید محصول

مورد مطالعه مشخص شده و بر اساس میزان تولید آن در گروه‌های اثرگذار بر محیطزیست لحاظ می‌شوند و جهت تعیین میزان مشارکت آنها در هر طبقه اثر در عامل ویژگی‌سازی ضرب می‌شوند تا سهم آنها درانواع اثرات محیطی معین گردد. مقدار عدد ویژگی‌سازی یا ضریب ویژگی‌سازی براساس مطالعات پیشین سهم هر ماده یا فرایند را در یک اثر خاص به وسیله یک ضریب کمی معین نموده است (Morelli et al., 2018).

این اثرات بر اساس دسته‌بندی زیر در ده دسته کلی در ویژگی‌سازی مطالعه شده است:

۱. کاهش منابع‌طبیعی: این پتانسیل شامل مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر است منابع و منابع تجدیدناپذیر (مانند باد، جریان آب). در این بخش کاهش منابع غیرزیستی مدنظر است (Goedkoop et al., 2008). در این مطالعه تحت عنوان ویژگی‌های مصرف آب- انسان، مصرف آب- اکوسیستم زمینی، مصرف آب- اکوسیستم آبی، استفاده از زمین و کمبود مواد معدنی کمی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲. کاهش سوخت فسیلی: این شاخص مربوط به نرخ بهره‌برداری از منابع معدنی و سوخت‌های فسیلی است (Goedkoop et al., 2008). جهت ارزیابی اثرات مخرب بسته‌بندی سبزیجات بر کاهش منابع فسیلی در این مطالعه این اثر تحت عنوان کمبود سوخت‌های فسیلی بررسی شده است.

۳. گرمایش جهانی: این شاخص به اندازه‌گیری غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌پردازد و اثر آن را در گرمایش جهانی به وسیله نرمال کردن تقریب می‌زند (Goedkoop et al., 2008). در این مطالعه در قالب سه ویژگی گرمایش جهانی- سلامتی انسان و گرمایش جهانی- اکوسیستم زمینی همچنین گرمایش جهانی- اکوسیستم آب شیرین و تابش‌های یونیزه‌کننده بررسی شده است.

۴. تشکیل ازن انسانی: پتانسیل تخریب لایه ازن که توسط هیدروکربن‌ها، کربن، فلوئور و کلر (CFC) توسط انسان ایجاد می‌شود توسط سنجش میزان غلظت تولید این گازها طی هر فرآیند اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه تحت عنوان تشکیل ازن انسانی کمی شده است.

۵. سمیت انسان: شاخص سمیت انسان از طریق میزان استفاده یک واحد مواد شیمیایی مصرفی یک فرآیند برآورد می‌گردد، که به دو صورت ارزش طبقه‌بندی سم‌شناسی انسان از هوا HCA و آب HCW سنجیده می‌شود (Ghasempour, 2018). اثرات مخرب سمی بر انسان از طریق سمیت محیطزیست زمینی، سمیت‌های سرطان‌زا برای انسان و سمیت‌های غیرسرطان‌زا برای انسان، اثر مخرب ساختار ازن بر سلامتی انسان در این مطالعه کمی شده و مورد تحقیق قرار گرفته است.

۶. سمیت برای آب شیرین: این دسته شاخص به تاثیر بر اکوسیستم‌های آب شیرین اشاره دارد، در نتیجه انتشار مواد سمی به هوا، آب و خاک پتانسیل سمیت محیطزیستی آب شیرین با محاسبه میزان انتشار معادل ۱,۴-دی کلروبنزن به عنوان شاخص جهانی/ قاره‌ای/ منطقه‌ای و محلی اندازه‌گیری می‌شود (Goedkoop et al., 2008). در این مطالعه تحت عنوان سمیت محیطزیست آب شیرین مورد تحقیق قرار گرفته است.

۷. سمیت برای دریا: سمیت محیطزیست دریایی بر تاثیرات مواد سمی منتشر شده طی فرآیند تولید بر اکوسیستم دریایی می‌پردازد. اثرات مخرب فرآیند بسته‌بندی سبزیجات در این مطالعه تحت عنوان سمیت محیطزیست دریایی کمی شده است.

۸. اکسیداسیون فتوشیمیایی: واکنش دهنده‌های شیمیایی کلیدی شکل‌گیری مه دود فتوشیمیایی NO_x و هیدروکربن‌ها و مواد آلی فرار هستند که یکی از آثار مخرب آنها اثر گذاری بر غلظت ازن است که از طریق سنجش پتاسیل تولید یک ظرفیت ازن در طول فرآیند بررسی می‌شود (Goedkoop et al., 2008). در این مطالعه از طریق پتاسیل تشکیل تشکیل ذرات معلق و پتاسیل تشکیل (تولید) ازن- اکوسیستم زمینی ارزیابی شده است.

۹. اسیدی شدن: پتانسیل اسیدی شدن تاثیر اسیدی شدن SO_2، اکسید نیتروژن و آمونیوم SO_X نیز مشابه SO_2 است (Ghasempour, 2018). برای مطالعه اثر اسیدی شدن فرایند بسته‌بندی سبزیجات در این پژوهش تحت عنوان شاخص اسیدی شدن زمین ویژگی‌سازی و ارزیابی شده است.

۱۰. مغذی شدن آب شیرین[۳]: پتانسیل مغذی شدن آب شیرین بر اساس انتشار PO_4^{-2}، اکسیداسیون نیتروژن N_2O و آمونیوم NH_4 مورد بررسی قرار می‌گیرد (Goedkoop et al., 2008). در این پژوهش به صورت دو ویژگی مغذی

شدن آب شیرین و مغذی شدن دریایی کمی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

باید به این مهم توجه داشت که میزان سمیت برای آب‌های شیرین و سمیت برای دریا و یا سایر اثرات براساس سیاهه نهایی از ترکیبات سمی تولیده شده طی فرآیند آماده‌سازی محصول در نرم‌افزار برآورد می‌شود. در واقع «پتاسیل آلودگی» بدون لحاظ فاصله تا منابع محیطی (به طور مثال فاصله تا آب شیرین یا دریا) تخمین زده می‌شود. زیرا، محصول مورد مطالعه طیف وسیعی از بازار را در سراسر کشور پوشش می‌دهد از سوی دیگر با توجه به این مهم که نرخ پسماند برای این مطالعه براساس مطالعه انجام شده برای ایران برآورد شده است، محدود کردن مرز سیستم به کارخانه یا استان از دقت محاسبات می‌کاهد. در مطالعه اخیر نرخ پسماند در ایران ۳۵ درصد برای ظروف پلاستیکی و مشتقات پلاستیکی حاصل شده است. از این رو در مطالعه حاضر ۳۵ درصد از وزن پلاستیک برای هر بسته به عنوان بازیافت و ۶۵ درصد دفن زمینی در نظر گرفته شده است (Golhosseini et al., 2023; Jamialahmadi et al., 2022).

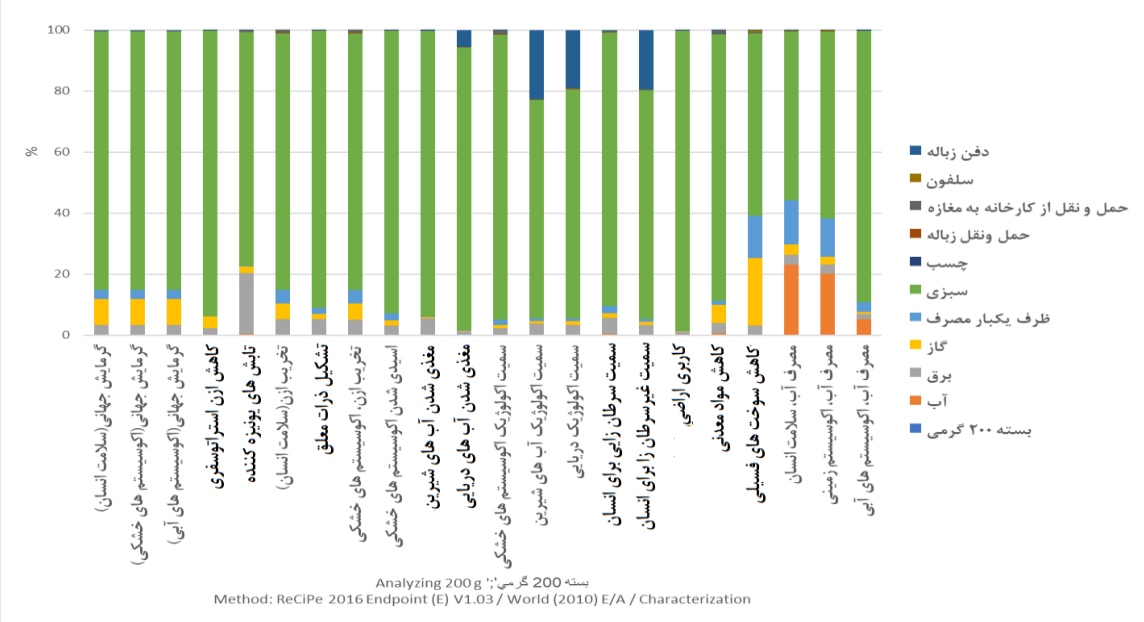
واحد اندازه گیری این اثرات در جدول (۲) آمده است لازم به ذکر است به منظور محاسبه اثرات بالقوه محیط‌زیستی نتیجه شاخص اکولوژیکی تجمعی (یک امتیاز) به صورت سهم در یک نقطه $[Pt]$ بیان شده است. نتایج دسته آسیب وزنی بیان شده در امتیاز $[Pt]$مربوط به سه دسته آسیب: سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، نتایج طبقه‌بندی تاثیر مشخص شده بر حسب سه واحد، سال‌های زندگی تعدیل شده از کارافتادگی $[DAILY]$ کسری بالقوه ناپدید شده·مساحت در سال $[m^2/year]$ و انرژی مازاد $[MJ]$ برآورد شده است. لازم به ذکر است در جدول (۲) سهم هر اثر با توجه به سهم آن از یک نقطه و امتیاز برآورد شده در تخریب محیط‌زیست در ستون کمیت برآورد شده است.

جدول (۲): شاخص‌های ارزیابی چرخه‌ی حیات به ازای تولید بسته ۲۰۰ گرمی

طبقات اثر	واحد	مقدار کل	اثرگذارترین بخش‌ها
گرمایش جهانی (سلامت انسان)	DAILY*	۲/۸۴×۱۰$^{-۵}$	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
گرمایش جهانی (اکوسیستم‌های خشکی)	species. yr†	۵/۶۸×۱۰$^{-۸}$	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
گرمایش جهانی(اکوسیستم‌های آبی)	species. yr	۱/۵۵×۱۰$^{-۱۲}$	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
کاهش ازن استراتوسفر	DAILY	۳/۰۱×۱۰$^{-۹}$	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
تابش‌های یونیزه کننده	DAILY	۱/۱×۱۰$^{-۹}$	کاشت سبزی، مصرف برق، سوزاندن گاز طبیعی
تخریب ازن (سلامت انسان)	DAILY	۳/۱۴×۱۰$^{-۹}$	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
تشکیل ذرات معلق	DAILY	۲/۲۵×۱۰$^{-۶}$	کاشت سبزی، مصرف برق، تولید ظرف یکبار مصرف
تخریب ازن، اکوسیستم‌های خشکی	species. yr	۴/۶×۱۰$^{-۱۰}$	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
اسیدی شدن اکوسیستم‌های خشکی	species. yr	۲/۰۲×۱۰$^{-۹}$	کاشت سبزی، مصرف برق، تولید ظرف یک بار مصرف
مغذی شدن آب‌های شیرین	species. yr	۵/۴۷×۱۰$^{-۱۰}$	کاشت سبزی، مصرف برق، تولید ظرف یک بار مصرف
مغذی شدن آب دریا	species. yr	۳/۸۵×۱۰$^{-۱۳}$	کاشت سبزی، دفن زباله، مصرف برق
سمیت اکولوژیک اکوسیستم‌های خشکی	species. yr	۳/۳×۱۰$^{-۱۱}$	کاشت سبزی، مصرف برق، تولید ظرف یک بار مصرف
سمیت اکولوژیک آب‌های شیرین	species. yr	۳/۳۴×۱۰$^{-۱۱}$	کاشت سبزی، زباله، مصرف برق
سمیت اکولوژیک دریایی	species. yr	۴/۷۶×۱۰$^{-۸}$	کاشت سبزی، زباله، مصرف برق
سمیت سرطان‌زا برای انسان	DAILY	۱/۴۴×۱۰$^{-۵}$	کاشت سبزی، مصرف برق، تولید ظرف یک بار مصرف
سمیت غیر سرطان‌زا برای انسان	DAILY	۸/۵۱×۱۰$^{-۵}$	کاشت سبزی، زباله، مصرف برق
کاربری اراضی	species. yr	۸/۲۶×۱۰$^{-۱۰}$	کاشت سبزی، مصرف برق، تولید ظرف یک بار مصرف
کاهش مواد معدنی	USD††	۰/۰۰۰۳	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، مصرف برق
کاهش سوخت‌های فسیلی	USD	۰/۱۳	کاشت سبزی، سوزاندن گاز طبیعی، تولید ظرف یک بار مصرف
مصرف آب، سلامت انسان	DAILY	۱/۹۲×۱۰$^{-۸}$	کاشت سبزی، مصرف آب، تولید ظرف یک بار مصرف
مصرف آب، اکوسیستم زمینی	species. yr	۱/۳۴×۱۰$^{-۱۰}$	کاشت سبزی، مصرف آب، تولید ظرف یک بار مصرف
مصرف آب، اکوسیستم آبی	species. yr	۲/۲۵×۱۰$^{-۱۴}$	کاشت سبزی، مصرف آب، تولید ظرف یک بار مصرف

*در آن واحد **DAILY** روزانه †**species. Yr** گونه در سال ††**USD** دلار

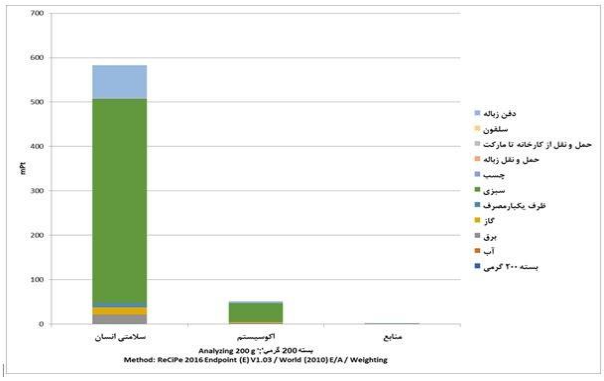
شکل (۳) نتایج به‌دست آمده از ارزیابی چرخه حیات در مرحله ویژگی‌سازی اثرات را با استفاده از روش ReCiPe نشان می‌دهد. این ارزیابی بر اساس سهم کل آسیب وارد شده که در جدول (۲) گزارش شده است طی فرآیند آماده‌سازی تا بسته‌بندی سبزیجات در کارخانه مورد مطالعه به تفکیک مواد مصرفی و فرآیند تولید ناشی ازدفن زباله، سلفون، حمل‌ونقل از کارخانه به مغازه، حمل‌ونقل زباله، چسب، سبزی، ظرف یک بار مصرف (نوع پلاستیک مورد استفاده در بسته‌بندی) گاز، برق، آب و بسته ۲۰۰ گرمی برآورد شده است. براساس نتایج به‌دست آمده از روش مذکور در طبقه اثرات بیشترین بار محیطزیستی مربوط به سبزی حاصل شده است. پس از واردکردن داده‌های ورودی و خروجی در نرم‌افزار، مرحله ارزیابی اثر چرخه حیات با استفاده از روش ReCiPe صورت گرفت و نتایج عددی هر طبقه اثر در تولید بسته ۲۰۰ گرمی مطابق جدول زیر به دست آمد. اثرگذارترین بخش‌ها به ترتیب در هر طبقه اثر بیان شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که در ازای تولید یک بسته ۲۰۰ گرمی، کاهش سوخت‌های فسیلی (۰/۱۳) بیشترین میزان آلایندگی و مصرف آب، اکوسیستم‌های آبی ($۲/۲۵\times۱۰^{-۴}$) کمترین میزان آلایندگی را دارا می‌باشد. با توجه به رویکرد آسیب‌گرا در این شیوه ارزیابی اثرات محیطزیستی برآورد آسیب به منابع در قالب خسارت اقتصادی (بر حسب واحد پولی) آسیب به اکوسیستم (برحسب گونه در سال) و آسیب به انسان (برحسب روزهای زندگی تعدیل شده از کارافتادگی و آسیب به سلامت انسان) توصیف شده است.



شکل (۳) : نتایج به دست آمده از چرخه حیات در مرحله ویژگی‌سازی اثرات با استفاده از روش ReCiPe

نرمال‌سازی اثرات

در نرمال‌سازی تلاش می‌شود تا براساس یک واحد اثرات نرمال شده تا با رهایی از قید واحد امکان مقایسه آنها با یکدیگر فراهم گردد. شکل (۴) نتایج به دست آمده از نتایج ارزیابی چرخه حیات در مرحله نرمال‌سازی اثرات را با استفاده از روش ReCiPe نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده از این روش در مرحله نرمال‌سازی سه طبقه اثر (سلامتی انسان، اکوسیستم، منابع) وجود دارد. بیشترین سهم آلایندگی در طبقه اثر آسیب به سلامتی انسان است. بر اساس جدول در طبقه اثر آسیب به سلامتی انسان، کاشت سبزی ۷۹ درصد، زباله ۱۲/۶ درصد و برق ۳/۵۲ درصد بالاترین سهم را در ایجاد بار محیطزیستی دارند. در طبقه اثر اکوسیستم، کاشت سبزی ۸۰/۷ درصد، زباله ۸/۴۱ درصد و گاز ۵۰/۱ درصد بالاترین سهم را در ایجاد بار محیطزیستی دارند. در طبقه اثر برداشت از منابع، کاشت سبزی ۵۹/۸ درصد، گاز ۲۲/۱ درصد و ظرف یک بار مصرف ۱۳/۸ درصد بالاترین سهم را در ایجاد بار محیطزیستی دارند.



شکل (۴): نتایج به دست آمده از چرخه حیات در مرحله نرمال‌سازی و وزن‌دهی اثرات با استفاده از روش ReCiPe.

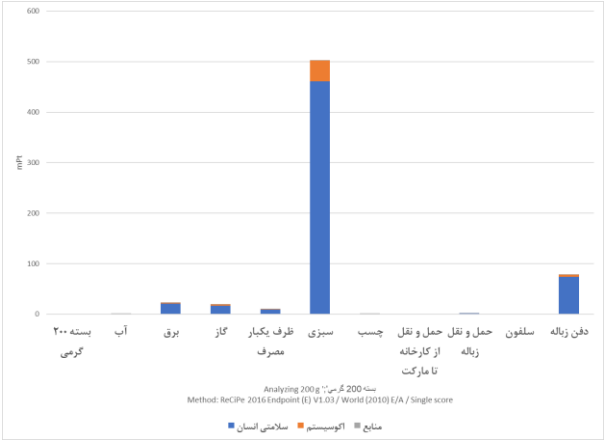
مرحله امتیازدهی نهایی

در شکل (۵) سهم هر یک از مواد و فرآیندهای آماده‌سازی و توزیع محصول در اثرات مخرب منابع، اکوسیستم و انسان مشاهده می‌شود همان‌طور که از شکل پیدا است سبزی بیشترین بار محیطزیستی را دارد که با توجه به واحد محاسبه نرم‌افزار که سهم از یک نقطه آسیب به محیطزیست است این سهم بیشترین اثر را در زمینه آسیب به انسان به خود اختصاص داده است. در پژوهش حاضر، در مرحله امتیازدهی ارزیابی اثرات محیطزیستی با استفاده از روش ReCiPe، از مجموع ۶۳۶ میلی‌پوینت (سهم از یک نقطه)، ۵۰۳ میلی‌پوینت تولید سبزی، ۷۸ میلی‌پوینت زباله و برق با ۲۲/۳ میلی‌پوینت بیشترین نقش را در ایجاد بار محیطزیستی ایفا می‌کند. در تولید سبزی بالاترین آلایندگی را طبقه آسیب به سلامتی انسان با مقدار ۴۶۱ میلی‌پوینت به خود اختصاص می‌دهد. در نتیجه فرآیند تولید سبزی گلخانه‌ای دارای بیشترین بار محیطزیستی است (شکل ۵).

سیاهه انتشارات گازها و ترکیبات آلاینده در طول فرآیند بسته‌بندی در این مطالعه در جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) : سیاهه انتشارات آلاینده حاصل از ارزیابی چرخه‌حیات به ازای تولید بسته ۲۰۰ گرمی سبزی بر اساس روش ReCiPe

دی اکسید کربن CO_2		
۱۷۴ گرم	هوا	دی اکسید کربن CO_2، بیوژنیک
۲۳۴ میلی گرم	خاک	دی اکسید کربن CO_2 به خاک یا ذخایر زیست توده
دی اکسید گوگرد SO_2		
۷/۹۶گرم	هوا	دی اکسید گوگرد SO_2
ذرات معلق PM		
۸۷۴ میلی گرم	هوا	ذرات معلق $PM_{2.5}$
متان CH_4		
ng۹۳۴	هوا	متان CH_4
۶۹/۴ میلی گرم	آب	Methane, dichloro-, HCC-30
مونوکسید کربن CO		
۷۳۷ میلی گرم	هوا	مونوکسید کربن CO، بیوژنیک
هیدروژن فلوراید HF		
۲۰/۷میلی گرم	هوا	هیدروژن فلوراید HF
هیدروژن کلرید HCL		
۲۴۸میلی گرم	هوا	هیدرژن کلرید HCL
اکسیژن مورد نیاز بیو شیمیائی BOD		
۹۲/۲ گرم	آب	نیاز بیولوژیکی اکسیژن $BOD5$
اکسیدهای نیتروژن NO_X		
۳/۲۶گرم	هوا	اکسیدهای نیتروژن NO_X



شکل (۵): بخش‌های اثر امتیازدهی شده به ازای تولید بسته ۲۰۰ گرمی با استفاده از روش ReCiPe.

بر اساس سیاهه انتشارات مندرج جدول (۳) مقدار انتشار مونواکسیدکربن CO ۱۳۲ گرم است که وارد هوا می‌شود و مقدار اکسید نیترژن NO_X منتشر در هوا نیز ۳/۲۶ گرم در هوا به ازای فرآیند تولید ۲۰۰ گرم سبزی تخمین زده شده است. همچنین مقدار انتشار ۲/۲کیلوگرم CO_2 حاصل از سوخت‌های فسیلی و ۷۴/۷ گر مسایر فرایندها در هوا و ۲۳۴ میلی‌گرم از طریق خاک و همچنین ۷/۹۶ گرم SO_2 در هوا و همچنین ۸۷۴ میلی‌گرم $PM_{2.5}$ و ۲/۸۳ گرم PM_{10} در هوا برآورد شده است. مقدار انتشار سایر آلاینده‌های مضر ترکیبات متان، هیدرژن سولفید (H2S)، هیدروژن فلویورید (HF) و (HCl) کلرید هیدرژن در جدول (۳) آمده است.

بحث و نتیجه‌گیری

موضوع آلودگی صنعتی مربوط به همه ملت‌های روی کره زمین است. در نتیجه، گام‌های زیادی برای جستجوی راه‌حل‌های دایمی برای مشکل برداشته شده است. فناوری بهتری برای دفع زباله و بازیافت تا حد امکان آب آلوده در صنایع در حال توسعه است. بیشترین اثرات ناشی از فعالیت‌های صنعتی پراکنش مواد سمی بر هوا، آب و زمین است. در این مطالعه با هدف تحلیل پیامدها بر اثرات محیطزیستی صنایع بسته‌بندی موادغذایی که به دلیل تقاضای بالا در اطراف شهرهای بزرگ شکل گرفته است، یکی از کارخانجات برگزیده شده و با استفاده از روش ReCiPe که شامل مراحل ویژگی‌سازی و نرمال‌سازی و امتیازدهی است، ارزیابی اثرات محیطزیستی با رویکرد چرخه حیات شامل تولید مـواد خام اولیه تا آماده‌سازی و تولید محصول و پایان آن صورت گرفته است. که نتایج ذیل را به همراه داشته است:

۱. نتایج مرحله ویژگی‌سازی در نقطه میانی تجزیه و تحلیل حاکی از آن است که در طبقه اثرگرمایش جهانی- سلامتی انسان، گرمایش جهانی- اکوسیستم زمینی، و گرمایش جهانی- اکوسیستم آب شیرین، کاهش ازن استراتوسفری، اشعه یونیزاسیون، تشکیل تشکیل ذرات معلق، تخریب ازن- سلامتی انسان، تخریب لایه ازن- اکوسیستم خشکی، اسیدی شدن- اکوسیستم خشکی، مغذی شدن آب شیرین، مغذی شدن آب دریایی، سمیت اکولوژیک اکوسیستم‌های خشکی، سمیت اکولوژیک آب‌های شیرین، سمیت اکولوژیک دریایی، سمیت‌های سرطان و غیرسرطان‌زا برای انسان، کاربری اراضی (استفاده از زمین)، کاهش منابع معدنی، کاهش سوخت‌های فسیلی، مصرف آب- سلامتی انسان، مصرف آب- اکوسیستم زمینی، مصرف آب- اکوسیستم آبی سهم بیشتر اثر مخرب متعلق به فرآیند تولید گلخانه‌ای سبزی است. به این ترتیب از مجموع ۶۳۶ میلی‌پوینت (سهم از یک نقطه)، ۵۰۳ میلی‌پوینت تولید سبزی، ۷۸ میلی‌پوینت زباله و برق با ۲۲/۳ میلی‌پوینت بیشترین نقش را در ایجاد بار محیطزیستی به خود اختصاص داده است.

۲. بر اساس بررسی نتایج طبقه میانی اثرات محیطزیستی به ازای تولید یک بسته ۲۰۰ گرمی، کاهش سوخت‌های فسیلی (۰/۱۳) بیشترین میزان آلایندگی و مصرف آب، اکوسیستم های آبی ($۲/۲۵\times۱۰^{-۴}$) کمترین میزان اثر را دارا می‌باشد.

۳. مطالعه نتایج نرمال‌سازی طبقات اثر در مرحله امتیازدهی نهایی (نقطه پایانی ارزیابی چرخه‌حیات) بیشترین آسیب حاصل از فرآیند تولید و بسته‌بندی سبزی گلخانه‌ای را در زمینه آسیب به انسان در مقایسه با آسیب به منابع و اکوسیستم نشان می‌دهد. از طریق بررسی گروه‌های اثر بیشترین بار محیطزیستی در این پژوهش از سبزیجات گلخانه‌ای و حمل‌ونقل ناشی شده است.

۴. ارزیابی اثرات محیطزیستی بر اساس چرخه‌حیات در کارخانه مورد مطالعه، انتشار ۲/۲ کیلوگرم CO_2 در هوا به دلیل سوخت‌های فسیلی، مقدار انتشار مونواکسیدکربن CO ۱۳۲ گرم همچنین ۸۷۴ میلی‌گرم $PM_{2.5}$ و ۲/۸۳ گرم

PM_{10} در هوا را به ازای تولید یک بسته سبزی (۲۰۰گرم) نشان می‌دهد.

۵. با تجزیه و تحلیل داده‌ها طی مراحل مختلف، فرآیندهایی که بیشترین اثر منفی محیط‌زیستی را وارد می‌کنند، شناسایی شد. در روش ReCiPe به ترتیب فرآیند تولید سبزی، دفن زباله، برق، گاز و تولید ظرف یک بار مصرف بالاترین اثر منفی محیط‌زیستی را شامل می‌شوند. با پردازش فرآیند تولید سبزی با استفاده از این روش، مصرف انرژی بیشترین اثر محیط‌زیستی را دارد. در کشت گلخانه‌ای، مصرف انرژی مهم‌ترین عاملی است که باعث می‌شود تولید سبزی اثرات منفی محیط‌زیستی داشته باشد. برای تولید هر بسته ۲۰۰ گرمی، ۶۰۰ گرم سبزی استفاده می‌شود. حجم بالای دور ریز از دیگر عوامل اثرات مخرب فرآیند تولید سبزی است.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، با ارایه راهکارهایی در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در گلخانه و کاهش دور ریز در فرآیند تولید سبزی می‌توان اثر منفی و مخرب محیط‌زیستی آن را کاهش داد. رشد روزافزون جمعیت و نیاز به تولید بیشتر موادغذایی و همچنین استفاده بهتر از منابع تولید، کشت‌های گلخانه‌ای را مورد توجه قرار داده است. در کشت‌های گلخانه‌ای امکان بهره‌برداری بهتر از منابع مهم آب، انرژی و زمین فراهم می‌شود. بهره‌وری از زمین در کشت گلخانه‌ای تا ۲۰ برابر کشت در فضای باز است. همچنین امکان بهره‌برداری از زمین‌های غیر حاصل خیز برای احداث گلخانه‌ها وجود دارد. سطح زیر کشت تولیدات گلخانه‌ای در دو دهه اخیر در ایران گسترش چشمگیری یافته و به بیش از ۷۰ هزار هکتار رسیده است که پتاسیل کاهش اثرات مخرب کشت را از این طریق به شرط کشت اصولی فراهم می‌کند. اما در مطالعه حاضر کشت گلخانه‌ای سبزی اثرات محیطی‌زیستی را به دلیل افزایش انتشار گاز گلخانه‌ای بالا برده است. از آنجا که بیش از نیمی از گلخانه‌های کشور در مناطق معتدل و سردسیر با زمستان‌های نسبتا سرد قرار دارند که برای تولید محصول در پاییز و زمستان، نیازمند تأمین گرما با استفاده از سوخت‌های فسیلی است. میزان مصرف سوخت برای تولید گرما بسته به شرایط اقلیمی منطقه، نوع گلخانه و نوع محصول متفاوت است. از عوامل اصلی برای بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف سوخت در گلخانه‌ها، کاهش سطح تبادلی پوشش گلخانه با هوای بیرون است. بیشترین میزان اتلاف گرما در گلخانه‌ها از طریق خروج از سطح پوششی گلخانه انجام می‌شود که به عوامل مختلفی از جمله شکل گلخانه، ارتفاع، جنس پوشش، دمای محیط اطراف، سرعت باد و جهت گلخانه بستگی دارد. در گلخانه‌های چند قلو یا پیوسته سطح تماس پوشش آنها کم و اتلاف گرما کاهش می‌یابد. شیشه با کیفیت‌ترین پوشش گلخانه است. کاهش اتلاف حرارت از سطح تبادلی پوشش گلخانه، افزایش عملکرد تجهیزات حرارتی و توزیع مناسب دمای داخل گلخانه به وسیله فن‌های چرخش هوا از راهکارهای مهم در افزایش بهره‌وری مصرف سوخت در سیستم گرمایشی گلخانه‌ها است. استفاده از پرده‌های حافظ انرژی می‌تواند تا ۴۰ درصد انرژی مورد نیاز برای گرم کردن و در نتیجه مصرف سوخت را کاهش دهد.

روش صحیح در کاهش دورریز سبزیجات این است که مسیر بین برداشت محصول تا کارخانه و بسته‌بندی آن باید تا حد امکان مستقیم و بی‌واسطه باشد. همه چیز بستگی به حمل‌ونقل، انبار و سرعت دارد. این موضوع در صورتی که گلخانه‌ها (یا مکان‌های کشت دیگر) در مکانی نزدیک به کارخانه اقامت داشته باشند، صحیح است. تا زمانی که زنجیره تامین سازماندهی شده‌ای وجود نداشته باشد، تلفات محصول می‌تواند قابل ملاحظه باشد و این به معنای هدر رفت زمین، آب، انرژی و مواد شیمیایی است که برای تولید مورد استفاده قرار گرفته و به کلی دورریز شده است. کوتاه‌کردنِ زنجیره می‌تواند استدلال مناسبی برای کاهش دورریز سبزیجات باشد.

حمل‌ونقل یکی از مهمترین مواردی است که می‌تواند از اثرات محیط‌زیستی بکاهد به کارگیری حمل و نقل‌های متفاوت هواپیما، کشتی، کامیون اثر مسافت طولانی‌تر و به کارگیری سوخت فسیلی بیشتر را عامل اصلی بار محیط‌زیستی بیشتر نشان داده است (Verghese et al., 2010). نزدیکی مراکز تولید مواد خام اولیه به مکان‌های توزیع و آماده‌سازی برای مصرف یک راهکار موثر جهت کاهش اثرات است. به کارگیری این اصل در مکانیابی کارخانجات صنایع غذایی می‌تواند تاثیر ات قابل ملاحظه‌ای محیط‌زیستی داشته باشد. همان‌طور که از نتایج حاصل این پژوهش بر کم بودن اثر حمل‌ونقل جهت توزیع محصول به دلیل نزدیکی کارخانه به مراکز خرید شهری دلالت دارد. از این‌رو بازنگری بر مکانیابی این فعالیت‌ها بستر کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات مضر ناشی از احتراق سوخت را فراهم می‌کند .

با تکیه بر ارزیابی اثرات محیطزیستی در قالب چرخه حیات، امکان کاهش اثرات را از طریق ارایه راهکارهایی چون بازیافت و به کارگیری ضایعات در تولید سایر محصولات بررسی می‌شود. دو رویکرد ممکن وجود دارد که می‌توانند به کاهش تاثیر آلودگی صنعتی کمک کنند. اولاً، صنایع می توانند وابستگی خود را به محصولی که باعث آلودگی می‌شود، کاهش دهند. گزینه دیگر تصفیه زباله‌های صنعتی برای حذف اجزای سمی است تا بقیه زباله‌ها به طور ایمن دفع شوند. این همیشه آسان نیست و لازم است که هر کارخانه رویه‌های مناسبی را برای تمیز کردن محصولات جانبی زاید خود اجرا کند. با این حال، می‌تواند به کاهش آلودگی خاک، هوا و آب در حال تولید کمک کند. با داشتن چنین اطلاعاتی مدیران توانمندی بیشتری در زمینه بازیافت و کنترل و دفع پسماند خواهند داشت. با استفاده از پیشنهادات و راهکارهای ارایه شده در جهت بهینه‌سازی فرآیند تولید سبزی می‌توان اثر منفی و مخرب محیطزیستی آن را کاهش داد. بنابراین با شناسایی نقاط داغ هر کدام از صنایع، می‌توان جریان مواد و انرژی را در این سیستم ها به نحوی مدیریت کرد که پسماندهای حاصل از یک فرایند به عنوان مـواد اولیه در فرایند دیگر به‌کار روند و در نهایت منجر به کاهش بار منفی محیطزیستی در کل سیستم خواهد شد. ارزیابی چرخه حیات یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری به منظور بهبود مدیریت محیطزیستی به‌شمار می‌رود.

در جمع‌آوری داده‌های سیاهه چرخه‌حیات محدودیت‌های وجود داشت. داده‌های انتشار آلاینده‌های هوا مستقیما در کارخانه اندازه‌گیری نشد. از فرآیندهای موجود در نرم‌افزار برای وروردی‌ها استفاده شده است. مقادیر تعدادی از مواد اولیه با توجه به مطالعات انجام شده در سایر کشورها محاسبه و براساس میزان آلایندگی جهانی ارزیابی از کیفی به کمی تبدیل شده است. به علاوه نتایج به دست آمده از این تحقیق یک آنالیز جامع محیطزیستی از بسته‌بندی در ایران ارایه می‌کند که می‌تواند به سیاستمداران و تصمیم‌گیران صنعت بسته‌بندی کمک کند که طبیعت را بهتر درک کنند.

یادداشت‌ها

1. Life cycle assessment
2. Eutrophication Potential
3. Eutrophication

منابع

Asadollahi, A., H. Tohidi & A. Shoja. 2022. Sustainable waste management scenarios for food packaging materials using SimaPro and WARM. International Journal of Environmental Science and Technology, 19**,** 9479-9494.

Astuti, R., B. C. Kurniawan & D. T. Setiyawan. 2021. Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) in environmental impact evaluation on production of ground coffee. In E3S Web of Conferences. EDP Sciences.

Calderón, L. A., L. Iglesias, A. Laca, M. Herrero & M. Díaz .2010. The utility of Life Cycle Assessment in the ready meal food industry. Resources, conservation and recycling, 54**,** 1196-1207.

Cappiello, G., C. Aversa, A. Genovesi & M. Barletta. 2022. Life cycle assessment (LCA) of bio-based packaging solutions for extended shelf-life (ESL) milk. Environmental Science and Pollution Research, 29**,** 18617-18628.

Cellura, M., F. Ardente & S. Longo. 2012. From the LCA of food products to the environmental assessment of protected crops districts: a case-study in the south of Italy. Journal of environmental management, 93**,** 194-208.

Cui, Q. & F. Shao .2022. Comparison of life cycle assessment for laminating and glazing processes based on simapro. Pigment & Resin Technology.

Davis, G. & J. Song. 2006. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. Industrial crops and products, 23**,** 147-161.

Daneshi, A., Esmaili Sari, A., Daneshi, M., & Baumann, H. (2017). Environmental Impact of Water Use in Life Cycle of Milk Production. Journal of Natural Environment, 69(4), 997-1015. doi: 10.22059/jne.2017.115635.832

Farjana, S. H., N. Huda & M. P. Mahmud. 2018. Environmental impact assessment of european non-ferro mining industries through life-cycle assessment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 012019. IOP Publishing.

Farjana, Shahjadi Hisan; Huda, Nazmul; Mahmud, M. A. Parvez. 2019. Life cycle analysis of copper-gold-lead-silver-zinc beneficiation process. Science of the Total Environment, 659**,** 41-52.

Farjana, S. H., N. Huda, M. P. Mahmud & R. Saidur. 2019. A review on the impact of mining and mineral processing industries through life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 231**,** 1200-1217.

Ghasempour, A. 2018. Evaluation of environmental effects in producing three main crops (corn, wheat and soybean) using life cycle assessment. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 20**,** 126-137.

Golhosseini, Z., M. Jalili Ghazizade & E. Safari .2023. Simulating of clogging process in the leachate collection system in the municipal solid waste landfill using column experiments. Pollution.

Goedkoop, M., M. Oele, A. de Schryver, M. Vieira & S. Hegger. 2008. SimaPro database manual methods library. PRé Consultants, The Netherlands**,** 22-25.

Jamialahmadi, N., M. Hashemi & M. Jalili Ghazizade .2022. Assessment of the current municipal solid waste management system in Tehran, Iran: challenges and opportunities for sustainable development. Journal of Material Cycles and Waste Management, 24**,** 2054-2067.

Kakadellis, S. & Z. M. Harris (2020) Don't scrap the waste: The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment–A critical review. Journal of Cleaner Production, 274**,** 122831.

Kulczycka, J., L. Lelek, A. Lewandowska & J. Zarebska (2015) Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management--Comparison of Results Using Different LCA Models. Polish Journal of Environmental Studies, 24.

Kumar, M., V. K. Choubey, A. Deepak, V. V. Gedam & R. D. Raut (2021) Life cycle assessment (LCA) of dairy processing industry: A case study of North India. Journal of Cleaner Production, 326**,** 129331.

Lehmann, L. M., M. Borzęcka, K. Żyłowska, A. Pisanelli, G. Russo & B. B. Ghaley. 2020. Environmental impact assessments of integrated food and non-food production systems in Italy and Denmark. Energies, 13**,** 849.

Khanali, M., S. A. Mousavi, M. Sharifi, F. K. Nasab & K.-w. Chau. 2018. Life cycle assessment of canola edible oil production in Iran: a case study in Isfahan province. Journal of Cleaner Production, 196**,** 714-725

Manjunatha, M., S. Preethi, H. Mounika & K. Niveditha. 2021. Life cycle assessment (LCA) of concrete prepared with sustainable cement-based materials. Materials Today: Proceedings, 47**,** 3637-3644.

Marashi, F., Jafarzadeh Haghighi fard, N., Khorasani, N., & Monavari, S. M. (2019). Life Cycle Assessment of the Sugar Industry: A Case Study of Amir Kabir Sugar Cane Industry. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 49(4), 597-608. doi: 10.22059/ijbse.2018.245462.665005

Mattila, T. J.. 2018. Use of input–output analysis in LCA. Life Cycle Assessment**,** 349-372.

Molina-Besch, K., F. Wikström & H. Williams. 2019. The environmental impact of packaging in food supply chains—does life cycle assessment of food provide the full picture? The International Journal of Life Cycle Assessment, 24**,** 37-50.

Morelli, B., T. R. Hawkins, B. Niblick, A. D. Henderson, H. E. Golden, J. E. Compton, E. J. Cooter & J. C. Bare .2018. Critical review of eutrophication models for life cycle assessment. Environmental science & technology, 52**,** 9562-9578.

Olagunju, B. D. & O. A. Olanrewaju .2020. Comparison of life cycle assessment tools in cement production. South African Journal of Industrial Engineering, 31**,** 70-83.

Roy, P., D. Nei, T. Orikasa, Q. Xu, H. Okadome, N. Nakamura & T. Shiina .2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of food engineering, 90**,** 1-10.

Soleymani Angili, T., K. Grzesik, A. Rödl & M. Kaltschmitt. 2021. Life cycle assessment of bioethanol production: A review of feedstock, technology and methodology. Energies, 14**,** 2939.

Sonnemann, G., M. Tsang, F. Castells & M. Schuhmacher. 2003. Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. CRC press.

Standardization, I. O. f. 2006. Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework. ISO.

Sulistyawati, S., A. Iswara & R. Boedisantoso. 2020. Impacts Assessment of Crude Oil Exploration Using Life Cycle Assessment (LCA). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 012025. IOP Publishing.

Valderrama, C., R. Granados, J. L. Cortina, C. M. Gasol, M. Guillem & A. Josa. 2012. Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study. Journal of Cleaner Production, 25**,** 60-67.

Verghese, K. L., R. Horne & A. Carre .2010. PIQET: the design and development of an online 'streamlined'LCA tool for sustainable packaging design decision support. The International Journal of Life Cycle Assessment, 15**,** 608-620.

Williams, H. & F. Wikström. 2011. Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items. Journal of Cleaner Production, 19**,** 43-48.

Zagklis, D., K. Tsigkou, P. Tsafrakidou, C. Zafiri & M. Kornaros. 2021. Life cycle assessment of the anaerobic co-digestion of used disposable nappies and expired food products. Journal of Cleaner Production, 304**,** 127118.

Zalazar-Garcia, D., A. Fernandez, L. Rodriguez-Ortiz, E. Torres, A. Reyes-Urrutia, M. Echegaray, R. Rodriguez & G. Mazza. 2022. Exergo-ecological analysis and life cycle assessment of agro-wastes using a combined simulation approach based on cape open to cape open (COCO) and SimaPro free-software. Renewable Energy.

Zhang, H., M. Hortal, A. Dobon, J. M. Bermudez & M. Lara-Lledo. 2015. The effect of active packaging on minimizing food losses: Life cycle assessment (LCA) of essential oil component-enabled packaging for fresh beef. Packaging Technology and Science, 28**,** 761-774.