



Research paper

(Received May 20, 2023

Accepted Aug. 15, 2023)

Environmental assessment of transportation railway by Life Cycle Assessment (LCA) Model (Case study: Kerman province)

Sara Safi Jahanshahi^{*1}, Morteza RiyaziNejad²

¹ Faculty of Civil, University of Azad Islamic, Tehran, Iran

² Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Kerman province is a mineral and industrial region undergoing progress and development. Due to the growth of industries and the location of Kerman province in a strategic position, transportation systems, and environmental effects have received much attention. In this study, using life cycle assessment, the environmental effects of the rail and cargo fleet in Kerman province have been investigated. At first, the required information on the transportation of goods for the periods of one and five years was collected in the operation phase, and by using the OPENLCA software, the steps related to the life cycle assessment were carried out. Based on the CML baseline method, which is one of the most comprehensive evaluation methods in this software, the environmental effects of produced pollutants and consumed resources during the life cycle of two scenarios with a one-year and five-year time period were determined and calculated in 11 effect classes. These studies, which were carried out in the direction of sustainable development and environmental protection, provide the necessary information on the transportation of goods for a one-year and five-year period and its effect on the various effect points of acidification, climate change, destruction of aquatic resources - elements, final reserves. Taking aquatic resources, fossil fuels, eutrophication, freshwater toxicity, human toxicity, marine aquatic toxicity, ozone layer destruction, photochemical smog, and soil toxicity showed. Therefore, the need for serious and detailed planning to overcome the aforementioned crises is felt more and more.

Keywords: Life Cycle Assessment, Railway Transportation, Environmental assessment, Rail Fleet

* Corresponding Author: Sara Safi Jahanshahi
Email: sara.jahanshahi@srbiau.ac.ir
Phone:09131973464



مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۶/۱۸

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات ناوگان حمل‌ونقل ریلی در استان کرمان با استفاده از نرم افزار OPENLCA

سارا صفی جهانشاهی*^۱، مرتضی ریاضی نژاد^۲

۱- دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

استان کرمان یک منطقه معدنی و صنعتی روبه پیشرفت و توسعه است. با توجه به روند رشد صنایع و قرار گرفتن استان کرمان در یک موقعیت استراتژیک، سیستم‌های حمل‌ونقل و اثرات محیط زیستی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه با استفاده از ارزیابی چرخه حیات به بررسی اثرات محیط‌زیستی ناوگان حمل‌ونقل ریلی و باری در محدوده استان کرمان پرداخته شده است. در ابتدا اطلاعات مورد نیاز از حمل کالا برای دوره‌های یک و پنج‌ساله در مرحله بهره‌برداری جمع‌آوری شد و با استفاده از نرم‌افزار OPENLCA مراحل مربوط به ارزیابی چرخه حیات صورت گرفت. براساس روش CML baseline که یکی از جامع‌ترین روش‌های ارزیابی در این نرم‌افزار است، اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌های تولیدشده و منابع مصرف‌شده در طی چرخه حیات دو سناریوی با دوره زمانی یک‌ساله و پنج‌ساله تعیین شده و در ۱۱ طبقه اثر محاسبه گردید. این مطالعات که در راستای توسعه پایدار و حفاظت محیط‌زیست صورت گرفت اطلاعات لازم از حمل کالا برای یک دوره یک‌ساله و پنج‌ساله را و تأثیر آن بر نقاط اثر گوناگون اسیدی شدن، تغییرات آب‌وهوا، از بین بردن منابع آبی - عناصر، ذخایر نهایی، از بین بردن منابع آبی، سوخت‌های فسیلی، یوتریفیکاسیون، سمیت آب شیرین، سمیت انسان، سمیت آبیان دریایی، تخریب لایه اوزون، مه دود فتوشیمیایی و سمیت خاک نشان داد. از این رو، نیاز به برنامه‌ریزی‌های جدی و دقیق برای عبور از بحران‌های ذکر شده بیش از پیش احساس می‌گردد.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، حمل‌ونقل ریلی، اثرات محیط‌زیستی، ناوگان باری، OPENLCA.

۱- مقدمه

صنعت حمل و نقل یک صنعت وسیع و عظیم است که انواع مختلف جابه‌جایی‌ها را از اتوبوس‌های درون‌شهری، برون‌شهری، مترو، حمل و نقل ریلی مسافربری تا حمل و نقل باری، دریایی، هوایی و زمینی در برمی‌گیرد [۱، ۲]. سیستم حمل و نقل به صورت کلی به سه دسته هوایی، زمینی و دریایی تقسیم‌بندی می‌شود. حمل و نقل زمینی به دو صورت جاده‌ای و ریلی انجام می‌پذیرد [۳]. حمل و نقل ریلی بهترین ابزار برای جابجایی به نیازهای حمل و نقل باری و مسافری است، اما این وسیله نقلیه در کشور ایران هرگز به درستی مورد توجه قرار نگرفته است. از ویژگی‌های حمل و نقل ریلی می‌توان به ارزان بودن، ایمنی و مصرف پائین انرژی و پتانسیل بالای انتقالات و مبادلات اشاره کرد [۳]. همچنین این نوع حمل و نقل دارای چندین نقاط قوت است که می‌تواند منجر به کاهش رشد هزینه‌ها شود و می‌تواند به دلیل ظرفیت حمل بار بالای قطار و کاهش اثرات خارجی در مقایسه با حمل و نقل جاده‌ای به کاهش انتشار آلاینده‌ها و بهبود امنیت جاده کمک کند [۳]. بخش حمل و نقل شدیداً وابسته به سوخت‌های فسیلی تجدید ناپذیر است. برپایه مطالعات انجام شده به وسیله آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) بخش حمل و نقل در سال ۲۰۲۰ بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی است [۴]. با توجه به حجم مصرف بالای سوخت‌های فسیلی در صنعت حمل و نقل و تولید آلاینده‌های محیط زیستی در سطح وسیع می‌توان آن را یکی از منابع مهم تولید و انتشار آلودگی هوا دانست. همچنین، بخش حمل و نقل یکی از اصلی‌ترین نقش‌ها را در کنترل گرمایش جهانی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفاء می‌کند [۵]. مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیستی در صنعت حمل و نقل ریلی عبارت‌اند از [۶]:

۱. گازهای خروجی موتورها: این گازها شامل دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن و ذرات معلق است که به‌عنوان آلودگی هوا شناخته می‌شوند. این گازها باعث افزایش گرمایش جهانی، بهبود کیفیت هوا و سلامتی افراد می‌شوند.

۲. نوسانات صوتی: قطارهای حمل و نقل ریلی باعث تولید نوسانات صوتی هستند که می‌تواند برای ساکنین مناطق نزدیک به خطوط راه‌آهن مزاحمت ایجاد کند و به سلامت افراد آسیب برساند.

۳. پسماندهای حمل و نقل: حمل و نقل ریلی باعث تولید پسماندهایی مانند روغن موتور، باتری‌های خراب و لاستیک‌های زیرین می‌شود که در صورت عدم دفع صحیح، به آلودگی زمین و آب‌ها منجر می‌شوند.

۴. تولید صدا و لرزش: قطارهای حمل و نقل ریلی باعث تولید صدا و لرزش هستند که می‌تواند برای ساکنین مناطق نزدیک به خطوط راه‌آهن مزاحمت ایجاد کند و به سلامت افراد آسیب برساند.

۵. استفاده از سوخت‌های فسیلی: استفاده از سوخت‌های فسیلی مانند بنزین و گازوئیل در قطارهای حمل و نقل ریلی باعث افزایش آلودگی هوا و گرمایش جهانی می‌شود.

ابزارهای متعددی جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی وجود دارد که یکی از آن‌ها ارزیابی چرخه حیات است. در ISO 14040 تعریف زیر در مورد ارزیابی چرخه حیات ارائه شده است:

مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای گردآوری و ارزیابی مواد و انرژی ورودی و خروجی و اثرات زیست‌محیطی همراه یک سیستم محصول در طول چرخه حیات آن [۷].

ارزیابی چرخه حیات یک رویکرد گهواره تا گور^۱ برای ارزیابی سیستم‌های صنعتی، محصولات و خدمات است. گهواره تا گور با جمع‌آوری مواد خام از زمین برای تولید محصول شروع می‌شود و با برگشت محصول مصرف‌شده به زمین به پایان می‌رسد. ارزیابی چرخه حیات یا ارزیابی چرخه عمر (LCA) امکان تخمین اثرات زیست‌محیطی تجمعی ناشی از همه مراحل چرخه حیات محصول را فراهم می‌آورد [۸]. ارزیابی چرخه حیات در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط انجمن سم‌شناسی محیط زیستی و شیمی و سازمان بین‌المللی استاندارد به‌عنوان ISO 14040-3 تکمیل و پس‌از آن در سال ۲۰۰۶، ISO 14040 تجدیدنظر گردید.

کاربرد این روش جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به‌خصوص در زمینه فرآیند تصمیم‌گیری و طراحی استراتژی‌ها رو به افزایش است [۹]. از آنجاکه در استان کرمان حمل و نقل یک نیاز اساسی است و برای تصمیم‌گیری در زمینه افزایش صنعت حمل و نقل ریلی بهینه و آگاهی از میزان آلودگی منتشره توسط این صنعت فعالیت و مطالعات جدی انجام نگرفته است در نظر داریم تا با ابزار ارزیابی چرخه حیات که یک روش جدید است بستر یک تحقیق وسیع‌تر و ایجاد پایگاه داده قوی را برای رفع این معضل استانی و بررسی اثرات محیط‌زیستی ناوگان حمل و نقل ریلی باری در مقیاس استانی ایجاد کنیم.

¹ Cradle to Grave

در مطالعه‌ای که با استفاده از ارزیابی چرخه حیات اثرات تغییرات اقلیمی راه‌آهن سوئد مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰] میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل تغییرات حمل‌ونقل به راه‌آهن پرسرعت به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. با این وجود، ساخت و نگهداری راه‌آهن جدید ممکن است این اثر را تضعیف کند. همچنین، در مورد مشابه دیگری با استفاده از ارزیابی چرخه حیات خط بتنی یک راه‌آهن تکمیل‌شده در شمال سوئد مورد ارزیابی محیط زیستی قرار گرفت [۱۱]. در طول کل کار ساخت‌وساز مسائل مربوط به محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفت و اطلاعات محیط‌زیست در تمام مرحله ساخت‌وساز جمع‌آوری گردید. خط بتنی در بسیاری از مطالعات LCA مورد استفاده قرار گرفته است.

در پژوهشی دیگر ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات راه‌آهن پرسرعت کالیفرنیا در مقایسه با حالت‌های مختلف حمل‌ونقل از جمله راه‌آهن سنگین، سفرهای هوایی با هواپیما و سفرهای زمینی با اتومبیل از بعد میزان آلودگی تولیدشده و منابع مصرف‌شده در سناریوهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند [۱۲]. نتایج نشان داد که راه‌آهن پرسرعت کالیفرنیا دارای گازهای گلخانه‌ای پایین‌تر و مصرف انرژی نهایی مصرف‌شده بالاتری است. همچنین، در مطالعه‌ای مشابه دیگری با استفاده از فرایند LCA انتشار گازهای گلخانه‌ای در ساخت راه‌آهن پرسرعت کالیفرنیا با مشخص کردن چندین نوع زیربنا تخمین زده شد [۱۳]. نتایج نشان داد که ۸۰ درصد از انتشارات زیربنایی ناشی از تولید مواد بوده و تونل زنی و سازه‌های هوایی که تنها ۱۵ درصد طول مسیر را به خود اختصاص داده‌اند منجر به ۶۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است.

در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی پایداری گزینه‌های مختلف ساخت‌وساز برای یک خط راه‌آهن دومسیره با تعیین اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌های مربوط به برنامه‌ریزی و انتخاب‌های مختلف ساخت‌وساز از نظر مصالح و استراتژی‌های تعمیر و نگهداری انجام شد [۱۴]. برای این منظور، ابتدا یک مدل چرخه حیات از زیرساخت‌های راه‌آهن معمولی^۲ با یک مسیر بالاست^۳ توسعه داده شد. مطالعه مورد نظر دو واحد عملکردی متفاوت از یک خط راه‌آهن دومسیره را در تراز مستقیم شامل یک کیلومتر بخش خاک‌ریزی و یک کیلومتر از بخش برش در نظر گرفت. پس از تعریف پنج سناریوی زیرساختی راه‌آهن جایگزین با مواد مختلف (مواد بکر یا بازیافتی) و روش‌های ساخت‌وساز (به‌عنوان مثال، تثبیت آهک)، دو رویکرد مختلف تعمیر و نگهداری مسیر راه‌آهن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین در پژوهشی دیگر ارزیابی چرخه حیات حمل‌ونقل بین دو شهر در آناتولی میانه با استفاده از دو سناریوی راه‌آهن و بزرگراه مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفت [۱۵]. طبق نتایج با افزایش ضریب بهره‌برداری از راه‌آهن، نسبت آسیب‌های محیط زیستی کاهش یافت. بیشترین تغییر در کیفیت اکوسیستم مشاهده شد. همچنین، تجزیه و تحلیل هزینه و فایده اجتماعی نشان داد که در سناریوی جایگزینی ۱۰۰٪ بزرگراه با حمل‌ونقل ریلی کمترین هزینه خسارت نتیجه می‌شود.

از بررسی مقالات فوق می‌توان نتیجه گرفت، درک درست اثرات محیط زیستی سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی با توجه به شرایط محلی می‌تواند در تصمیم‌گیری کمک شایانی کند. لذا، با توجه به نقش روزافزون حمل‌ونقل ریلی در استان کرمان و افزایش تقاضای آن لازم و ضروری است که دیدگاه محیط زیستی مناسب‌تری را در این باره داشته باشیم. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی محیط زیستی ناوگان حمل‌ونقل ریلی استان کرمان به روش ارزیابی چرخه حیات با استفاده از نرم‌افزار OPENLCA است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان کرمان با وسعتی معادل ۱۸۰۷۲۶ کیلومتر مربع حدود ۱۱.۱ درصد از مساحت کشور را در برداشته است. استان کرمان از این حیث رتبه دوم در کشور محسوب می‌گردد. در حال حاضر، شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران در این استان فعالیت می‌کند و به صورت منظم قطارهای باری را از کرمان به سایر نقاط کشور ارسال می‌کند. این استان با قرار گرفتن در مسیرهای ترانزیت بندرهای جنوبی به نقاط شمالی و شرق کشور به‌عنوان چهارراه ارتباطی در مرکز کشور از اهمیت ژئوپلیتیک و ژئواستراتژیک خاصی به‌عنوان محور پایدار امنیت ملی برخوردار است.

² Non-Ballasted Track

³ Ballasted Track

استان کرمان یکی از استان‌های کشور است که از نظر میزان عرضه تسهیلات حمل‌ونقلی در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار گرفته است. بسیاری از شهرستان‌های استان علاوه بر شبکه جاده‌ای به شبکه راه‌آهن سراسری نیز دسترسی دارند که این امر بیشتر به واسطه وجود معادن متعدد و صنایع وابسته به آن است. راه‌آهن کرمان دارای ۱۷ ایستگاه است. طول خطوط اصلی و فرعی این اداره کل ۶۸۴ کیلومتر بوده این اداره کل دارای ۲۳۸۵ دهانه پل است که قسمت اعظم روسازی خط از نوع تراورس بتنی با ریل R۶۰ است که امکان افزایش سرعت قطارها را فراهم می‌سازد.

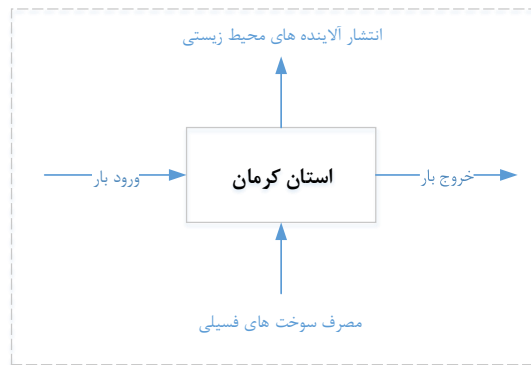
۲-۲- مدل ارزیابی چرخه حیات

در ادامه، مراحل مدل‌سازی LCA به طور خلاصه توضیح داده شده است [۱۶]:

۱. تعریف هدف و دامنه: در ابتدا، هدف دقیق تحقیق تعیین می‌شود و محدوده مدل‌سازی نیز تعیین می‌شود. محدوده باید شامل تمام فرآیندها و مواد اولیه مورد نیاز برای تولید محصول یا خدمت مورد بررسی باشد.
 ۲. انتخاب گردآوری داده‌ها: داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی LCA باید به دقت از منابع معتبر گردآوری شوند. این شامل داده‌های مصرف انرژی، انتشارات گازهای گلخانه‌ای، مصرف آب و سایر تاثیرات زیست‌محیطی است.
 ۳. ایجاد نمودار فرآیند: فرآیند تولید یا خدمت ارائه شده باید به صورت جزئیات مدل‌سازی شود. این نمودار شامل تمام مراحل، از جمله تولید مواد اولیه، تولید، بسته‌بندی، حمل و نقل، استفاده و پسماند تولیدی محصول یا هرگونه اقدام قابل توجه در فرآیند خدمات است.
 ۴. تخمین مصرف انرژی و منابع: میزان انرژی مصرفی در هر مرحله از فرآیند تولید یا خدمات و همچنین مصرف منابع طبیعی محاسبه می‌شود.
 ۵. ارزیابی آثار زیست‌محیطی: با استفاده از داده‌ها و مدل‌های مد نظر، تاثیرات زیست‌محیطی مراحل مختلف مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، از جمله انتشارات گازهای گلخانه‌ای و مصرف آب.
 ۶. تفسیر نتایج: داده‌ها و نتایج بدست آمده بررسی و تفسیر می‌شوند تا نقاط قوت و ضعف محصول یا فرآیند مورد بررسی مشخص شود. همچنین، در این مرحله میتوان به ارائه پیشنهادات برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی محصول یا خدمات مورد بررسی پرداخت.
 ۷. ارائه گزارش: در نهایت، نتایج به دقت در گزارشی شفاف و علمی منعکس می‌شود که شامل روش‌شناسی استفاده شده، داده‌ها، نتایج و نتیجه‌گیری‌های نهایی است.
- در ادامه توضیحات تکمیلی درباره گام‌های اصلی انجام مدل ارزیابی چرخه حیات ارائه شده است.

❖ تعیین اهداف و دامنه

در این مرحله ضمن جمع‌آوری اطلاعات اولیه، چهارچوب کلی یک مطالعه ارزیابی چرخه زندگی شامل نتیجه و عواید حاصل از پژوهش، توصیف واحد عملکردی، مرزهای آن، تخصیص منابع و انتخاب بخش‌های اثر مشخص می‌شود. انتخاب مرز سامانه به دلیل اینکه تأثیر زیادی بر روی نتایج حاصل از ارزیابی چرخه زندگی می‌گذارد، از جمله اقدامات بسیار مهم و ضروری در این مرحله است. هدف این پژوهش، مقایسه اثرات محیط زیستی سناریوهای انتخاب‌شده بر اساس مقیاس استانی در دو حالت وضعیت کنونی و وضعیت آتی ۵ ساله است. واحد عملکردی در این مطالعه وزن (تناژ) حمل شده بر اساس مسافت معین است در دوره یک‌ساله ۱۳۹۶ در سناریو اول جای می‌گیرد. سناریو دوم برای دوره ۵ سال ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۰ و با در نظر گرفتن افزایش ظرفیت حمل و نقل ریلی صورت گرفته است. اطلاعات مورد استفاده در این قسمت بر اساس داده‌های کسب شده از اتاق بازرگانی استان کرمان است. مرز سیستم در این سناریوها از ورود بار به واگن‌ها و حرکت لوکوموتیو و میزان مصرف سوخت آن‌ها طی سفر و میزان انتشار آلاینده‌ها به محیط تعریف شده است. لازم به ذکر است که ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در این مطالعه برای مرحله بهره‌برداری است.



شکل ۱- مرز سیستم

❖ فهرست‌نویسی چرخه حیات

داده‌های اولیه موردنیاز برای فهرست‌نویسی چرخه حیات از گزارش‌های اداره کل راه‌آهن استان کرمان و مطالعات انجام‌شده و نیز مصاحبه حضوری با کارکنان به دست آمد همچنین در تهیه فهرست‌نویسی تکمیلی سناریوها از داده‌های مربوط به سوخت دیزل در پایگاه داده ELCD استفاده شده است. جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز پژوهش با مراجعه به پایانه بار و مصاحبه حضوری با کارکنان، بررسی مستندات فنی و آنالیزهای محیطی از لوکوموتیوهای عملیاتی به دست آمد.

❖ ارزیابی اثرات چرخه حیات

ارزیابی اثرات چرخه حیات مرحله‌ای از ارزیابی چرخه حیات است که باهدف درک و ارزیابی بزرگی و اهمیت اثرات محیط زیستی بالقوه یک محصول یا خدمات انجام می‌شود. در این مرحله اطلاعات و داده‌های متنوع و زیادی که در مرحله فهرست‌نویسی به دست آمده‌اند، به شاخص‌ها و طبقات کمتری تنزل می‌یابند تا تفسیر این اطلاعات آسان‌تر شود و نتایج روشن‌تری در اختیار تصمیم‌گیران و مدیران قرار گیرد [۱۷]. در مرحله ارزیابی اثرات چرخه حیات مقادیر به دست آمده شده در مرحله فهرست‌نویسی چرخه حیات به نرم‌افزار OPENLCA وارد می‌شود این نرم‌افزار از سال ۲۰۰۶ توسط شرکت Greendelta توسعه یافته است و مجهز به پایگاه داده‌های معتبر و روش‌های مختلفی برای ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی پایداری، ارزیابی چرخه حیات اجتماعی، هزینه چرخه حیات، ردپاهای آب و کربن و... است [۱۸]. روش ارزیابی اثرات مورد استفاده در این مطالعه، روش CML baseline انتخاب شده است. این روش برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ توسط دانشگاه لیدن در هلند مورد استفاده قرار گرفت. این روش به دو صورت پایه خطی و غیرخطی موجود است در حالی که استفاده از روش پایه خطی آن شایع‌تر است. طبقات اثر این روش در جدول ۱ نشان داده شده است:

جدول ۱- دسته‌بندی‌های روش CML در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (پایه خطی)

طبقه اثر	واحد
اسیدی شدن	kg SO ₂ eq.
تغییرات آب‌وهوا	kg CO ₂ eq.
از بین بردن منابع آبی - عناصر، ذخایر نهایی	kg antimony eq.
از بین بردن منابع آبی - سوخت‌های فسیلی	MJ
یوتریفیکاسیون	kg PO ₄ - eq.
سمیت آب شیرین	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
سمیت انسان	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
سمیت آبزیان دریایی	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
تخریب لایه اوزون	kg CFC-11 eq.
مه دود فتوشیمیایی	kg ethylene eq.
سمیت خاک	kg 1,4-dichlorobenzene eq.

❖ تفسیر نتایج

در این مرحله، نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی اثر مورد ارزشیابی قرار می‌گیرد تا مراحل یا نقاطی که در مسیر تولید و مصرف محصول بیشترین و کمترین اثر سوء برای محیط‌زیست را داشته‌اند، مشخص گردد و در نهایت نتیجه‌گیری و ارائه راهکارها مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱۹].

۳- بحث و نتایج

جهت انجام ارزیابی چرخه حیات ناوگان حمل‌ونقل ریلی استان کرمان، داده‌های موردنیاز برای سناریوهای در نظر گرفته‌شده جمع‌آوری گردید. این داده‌ها شامل نوع لوکوموتیو، میزان سوخت گازوییل طی یک سال، میزان مسافت طی شده در داخل استان و آلودگی‌هایی که این نوع از لوکوموتیو در حین حمل بار با مصرف سوخت وارد می‌کند، است. در ادامه داده‌های جمع‌آوری‌شده برای هر سناریو و همچنین آلاینده‌های خروجی، آورده شده است:

۳-۱- سناریو یک

در این سناریو، بار قابل حمل توسط واگن‌ها و لوکوموتیو در استان جابجا می‌شود. میزان مصرف سوخت در طی سال ۱۳۹۶ بار برحسب تن و مسافت طی شده برحسب کیلومتر برای سناریو یک در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲- اطلاعات ورودی سناریو یک

میزان بار برحسب تن	مسافت طی شده برحسب کیلومتر	مصرف انرژی برحسب لیتر
۲۷,۰۲۳,۰۳۱	۸,۵۰۹,۵۰۰	۳۴,۰۳۸,۰۰۰

۳-۲- سناریو دو

در سناریو دوم میزان بار قابل حمل در استان با توجه به دوره ۵ سال ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۰ مورد بررسی و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی قرار می‌گیرد. میزان مصرف سوخت در طی دوره پنج‌ساله، میزان بار برحسب تن و مسافت طی شده برحسب کیلومتر برای این سناریو در جدول ۳ آورده شده است:

جدول ۳- اطلاعات ورودی سناریو دو

میزان بار برحسب تن	مسافت طی شده برحسب کیلومتر	مصرف انرژی برحسب لیتر
۵۵,۹۳۷,۶۷۴	۱۷,۶۱۴,۶۶۵	۷۰,۴۵۸,۶۶۰

۳-۳- اطلاعات مربوط به لوکوموتیو مورد مطالعه (GT22)

با توجه به بازدیدهای میدانی و تهیه پرسشنامه از افراد در اداره کل راه‌آهن استان بیشترین لوکوموتیو مورد استفاده در حمل بار برند GE مدل GT22 است. GT22 اولین بار در سال ۱۹۷۲ پس از افزایش محبوبیت لوکوموتیو شش محور معرفی شد. سری GT در حال حاضر با توجه به تعداد محور تعیین‌شده برای آن اجازه می‌دهد تا لوکوموتیو، بارهای سنگین‌تر را در سرعت‌های پایین‌تر با کمترین چرخ‌های چرخان حمل کند. میزان بار قابل حمل توسط این لوکوموتیو در حدود ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ تن است. ظرفیت سوخت این نوع از لوکوموتیو ۳۰۰۰ لیتر گازوییل است که به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر ۴۰۰ لیتر مصرف سوخت دارد.

۳-۳-۱- خروجی‌های دودکش لوکوموتیو (GT22)

با توجه به میزان مسافت طی شده در یک سال توسط حوزه ناوگان باری و حجم سوخت مصرفی، خروجی‌های دودکش لوکوموتیو (GT22) در جدول ۴ آورده شده است. این اطلاعات برای تحلیل و بررسی توسط نرم‌افزار OPENLCA ضروری است. اطلاعات ارائه‌شده بر اساس آنالیز خروجی دودکش لوکوموتیو مورد استفاده و تکمیل برخی از پارامترهای آن از اطلاعات و اسناد فنی است که از شرکت راه آهن استان کرمان اخذ و مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۴- داده‌های جمع‌آوری شده از خروجی دودکش لوکوموتیو

آلاینده	نرخ انتشار	واحد
CO	۱۰.۰۷	gr/lit
NO	۹۵.۷	gr/lit
PM10	۳۲۵	µg/m3
PM2.5	۲۲۸	µg/m3
Pb	۰.۴۶	µg/m3
Al	۰.۶۲	µg/m3
Ba	۰.۳۳	µg/m3
Bc	۶.۳	µg/m3
Ca	۵.۲	µg/m3
Cl	۲.۳	µg/m3
Cr	۰.۶	µg/m3
Cu	۲.۵	µg/m3
Fe	۹۴	µg/m3
K	۰.۷	µg/m3
Mg	۰.۴۳	µg/m3
Mn	۱	µg/m3
Ni	۰.۷	µg/m3
S	۳.۷	µg/m3
Si	۴.۹	µg/m3
Ti	۰.۲۳	µg/m3
Zn	۰.۷	µg/m3

۳-۴- نتایج ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به روش CML baseline

در این مرحله، داده‌های وارد شده به نرم‌افزار OPENLCA بر اساس روش CML baseline، در ۱۱ طبقه اثر، مورد ارزیابی اثرات زیست‌محیطی قرار گرفته شده است. این روش در تخصیص نتایج فهرست‌نویسی چرخه حیات به طبقات اثر مختلف و طبقه‌بندی کردن آن‌ها به ما کمک می‌کند.

در نهایت با انجام و تکمیل پروسه جمع‌آوری اطلاعات از اداره کل راه‌آهن استان برای دو سناریو، پایگاه داده اولیه مختص این پروژه در نرم‌افزار OPENLCA ایجاد گردید و با توجه به روش CML baseline ارزیابی اثرات زیست‌محیطی انجام گردید و در نهایت در یازده طبقه اثر مختلف آلاینده‌ها طبقه‌بندی گردید جدول ۵ نشان‌دهنده نتایج ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در طبقات اثر مختلف است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در طبقات اثر

طبقه اثر	واحد	سناریو اول (۱۳۹۶)	سناریو دوم (۱۳۹۶-۱۴۰۰)
اسیدی شدن	kg SO ₂ eq.	363738	7529367
تغییرات آب‌وهوا	kg CO ₂ eq.	553558676	1145866459
از بین بردن منابع آبی - عناصر، ذخایر نهایی	kg antimony eq.	311.2376184	644.2618702
از بین بردن منابع آبی - سوخت‌های فسیلی	MJ	7153145121	14807010400
یونتریفیکاسیون	kg PO ₄ - eq.	291525	603457
سمیت آب شیرین	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	241127	499132
سمیت انسان	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	44358155.18	91821381.21
سمیت آبزیان دریایی	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	63202266756	1.30829E+11
تخریب لایه اوزون	kg CFC-11 eq.	10.31384356	21.34965616
مه دود فتوشیمیایی	kg ethylene eq.	368592.4711	762986.3526
سمیت خاک	kg 1,4-dichlorobenzene eq.	1353749.212	2802260.868

از آنجاکه هرکدام از محل‌های تأثیرگذاری آلاینده‌ها دارای واحد مختص به خود است نمی‌توان به‌طور دقیق میزان بیشترین و کمترین آلودگی را تشخیص داد اما همان‌طور که از نتایج برمی‌آید میزان آلاینده‌ها در سناریوی دوم با افزایش حجم بار و مصرف انرژی تا حدود دو برابر افزایش یافته است. میزان آلودگی هوا تقریباً یکی از پارامترهای دارای بیشترین آلودگی می‌تواند برآورد شود. می‌توان گفت کمترین میزان آلودگی را در منابع آبی داشته‌ایم.

آلاینده غالب برای طبقه اثر اسیدی شدن NO_x است که از آلاینده‌های خروجی‌های لوکوموتیو است که با افزایش مسافت طی شده، میزان انتشار این آلاینده نیز افزایش یافته و بر اسیدی شدن محیط تأثیر بیشتری گذاشته است همچنین میزان گوگرد دی‌اکسید منتشرشده به هوا، میزان آمونیاک، اکسید نیتروژن در خاک و آب‌های شور و شیرین که از عوامل اسیدی بودن است مقدار قابل توجهی آلاینده را به محیط زیست وارد می‌کنند.

تغییرات آب و هوا که با پارامتر کربن دی‌اکسید سنجیده می‌شود نیز یک آلاینده بسیار جدی با میزان قابل تأمل می‌باشد. تغییرات آب و هوایی می‌تواند به‌عنوان تغییر در دمای جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای که توسط فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود تعریف شوند. در حال حاضر مطالعات حاکی از آن است که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر قابل توجهی بر روی تغییرات آب و هوا دارد و این افزایش دمای جهانی موجب اختلال در اقلیم، بیابان‌زایی، افزایش سطح دریا و گسترش بیماری می‌شود.

یوتریفیکاسیون تشکیل غلظت مواد مغذی شیمیایی در یک اکوسیستم است که منجر به تولید غیرطبیعی می‌شود. این پدیده باعث رشد بیش از حد جلبک در رودخانه‌ها، کاهش شدید کیفیت آب و جمعیت حیوانات می‌شود. انتشارات آمونیاک، نیترات، اکسید نیتروژن و فسفر به هوا و یا آب، باعث بروز این پدیده می‌شوند.

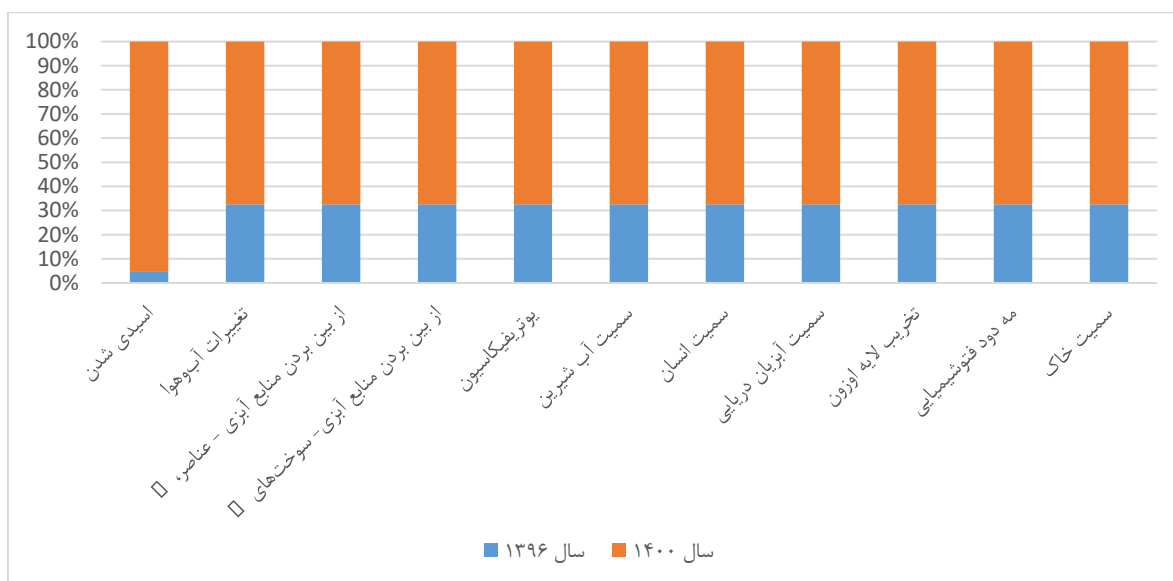
مقدار مصرف منابع آبیوتیک یک ماده (به‌عنوان مثال لجن یا زغال سنگ) یک اندازه‌گیری از کمبود مواد است. این بدان معنی است که به مقدار منابع استفاده‌شده و میزان استخراج بستگی دارد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این طبقه اثر، سناریو دوم تا حدود دو برابر متناسب با افزایش میزان مصرف سوخت، افزایش یافته است.

مسمومیت زیست‌محیطی به‌عنوان سه مقوله تأثیرگذار جداگانه محاسبه می‌شود که آب شیرین، دریایی و زمین را بررسی می‌کند. پتانسیل سمیت یک شاخص محاسبه‌شده است که نشان‌دهنده آسیب بالقوه یک واحد شیمیایی آزادشده به محیط زیست می‌باشد و بر اساس دو پارامتر ترکیب ذاتی و دوز بالقوه سنجیده می‌شود. این مواد شیمیایی به‌طور بالقوه خطرناک و به روی انسان از طریق استنشاق، مصرف و حتی تماس قابل انتقال می‌باشند. همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است و طبق تعاریف سمیت می‌بینیم که میزان قابل توجهی از عناصر سنگین هم در سناریو یک و هم در سناریو دوم در سه دسته آب شیرین، دریایی و زمینی وارد محیط زیست می‌شوند. از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به باریوم، کروم، مس، سرب، نیکل، قلع و ذرات معلق اشاره کرد. با توجه به جدول ۵، مشاهده می‌شود که مقدار به‌دست‌آمده در طبقات اثر سمیت انسانی و آبی بیشترین مقدار را داشته در حالی که اهم تأثیر آن در سلامت آبریان دریایی می‌باشد؛ اما آنچه باید توجه خود را بدان معطوف کنیم دور بودن استان کرمان به منابع دریایی می‌باشد و دلیل محکم‌تر ما کم بودن منابع آب شیرین در این استان است چراکه اکنون نیز ما در استان با بحران آب شیرین در سفره‌های زیرزمینی، اقلیم گرم و خشک این منطقه و کاهش روزافزون نزولات آسمانی مواجه هستیم پس می‌توان نتیجه گرفت که گرچه مقدار این پارامتر نسبت به دوتای دیگر کمتر می‌باشد اما درجه اهمیت بسیار بالایی دارد.

تخریب لایه اوزون نیز که به‌عنوان یک دسته مهم از تحلیل موجود می‌باشد مقدار آن بسیار مهم است اگرچه این مقدار در ابتدا نسبت به سایر موارد از جمله تغییرات آب و هوایی کم جلوه می‌کند اما زمانی که این مقدار را فقط برای اوزون موجود روی لایه هوای استان کرمان در نظر می‌گیریم می‌تواند اهمیت خود را نمایان سازد. هالوژن‌ها و کلروفلوئوروکربن‌ها علت اصلی تخریب اوزون می‌باشند. یکی از آلودگی‌های قابل‌رؤیت که از نظر میزان انتشار قابل توجه می‌باشد مه دود فتوشیمیایی است که میزان آن نسبت به سایر آلودگی‌ها می‌تواند قابل‌بررسی و تحلیل باشد. آلاینده‌های غالب در این طبقه اثر را NO_x و CO تشکیل می‌دهند.

از دیگر موارد تأثیرگذار در اکوسیستم استان کرمان که بازهم در هر دو سناریو دارای مقدار رو به رشد و قابل اهمیتی می‌باشد سمیت خاک است. گرچه استان کرمان یک استان پهناور و به لحاظ اقلیمی گرم و خشک می‌باشد این میزان آلودگی نیز شاید در وهله اول جز اولویت‌های زیست‌محیطی قرار نگیرد اما قطعاً در مراحل بعد باید مورد توجه باشد.

با توجه به روش CML baseline، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در ۱۱ طبقه اثر انجام گردید و بار زیست‌محیطی هر طبقه اثر تعیین شد که درصد تغییرات اثرات محیط زیستی بررسی شده برای دو سناریو در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- مقایسه درصد تغییرات اثرات محیط زیستی برای سناریوهای مورد بررسی

۴- نتیجه‌گیری

برای ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات ناوگان حمل‌ونقل ریلی استان کرمان، اطلاعات مورد نیاز از حمل کالا برای یک دوره یک‌ساله و پنج‌ساله در مرحله بهره‌برداری جمع‌آوری شد و با ورود به نرم‌افزار OPENLCA مراحل مربوط به ارزیابی چرخه حیات صورت پذیرفت. براساس روش CML baseline که یکی از جامع‌ترین روش‌های ارزیابی در این نرم‌افزار می‌باشد، اثرات زیست‌محیطی آلاینده‌های تولیدشده و منابع مصرف‌شده در طی چرخه حیات سناریوهای تعیین‌شده در طبقات اثر اسیدی شدن، تغییرات آب‌وهوایی، از بین بردن منابع آبی (عناصر، ذخایر نهایی)، از بین بردن منابع آبی (سوخت‌های فسیلی)، یوتروفیکاسیون، سمیت آب شیرین، سمیت انسان، سمیت آبریان دریایی، تخریب لایه اوزون، مه دود فتوشیمیایی، سمیت خاک محاسبه گردید. نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه که در راستای توسعه پایدار و باهدف حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد، یک دید کلی و جامع از اثرات زیست‌محیطی ناوگان حمل‌ونقل ریلی استان کرمان به ما می‌دهد. از بررسی تمام نتایج آنچه مسلم است تأثیر گرمایش هوا و ایجاد گازهای گلخانه‌ای و همچنین مصرف سوخت‌های فسیلی از عوامل تأثیرگذار حمل‌ونقل ریلی در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به شمار می‌رود. آنچه از نتایج با توجه به تمامی پارامترهای در نظر گرفته‌شده برای استان برمی‌آید اهمیت منابع و سوخت‌های فسیلی، لزوم توجه به مقوله گرمایش هوا و کمبود منابع آب شیرین می‌باشد. با توجه به مصرف هر چه بیشتر سوخت‌های فسیلی، کاهش مواد معدنی و خاک، افزایش پسماندهای معدنی، ایجاد تغییرات جدی در آب‌وهوای حساس منطقه در اثر افزایش دما و کاهش نزولات جوی در این استان، نیاز به برنامه‌ریزی‌های جدی و دقیق برای عبور از بحران‌های ذکرشده بیش‌ازپیش احساس می‌گردد.

پیشنهاد می‌شود در مطالعاتی دیگر به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در زمینه حمل‌ونقل ریلی (مسافری)، هوایی، زمینی و آلودگی‌های مرتبط با آن‌ها پرداخته شود همچنین پیشنهاد می‌شود قبل از انجام طرح‌های عمرانی ساخت و پیشرفت حوزه حمل‌ونقل ریلی مطالعاتی در زمینه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مرحله ساخت صورت پذیرد.

۵- منابع

1. Dobruszkes, F. and M. Givoni, Competition, integration, substitution: Myths and realities concerning the relationship between high-speed rail and air transport in Europe, in sustainable aviation futures. 2013, Emerald Group Publishing Limited. p. 175-197. [https://doi.org/10.1108/S2044-9941\(2013\)0000004008](https://doi.org/10.1108/S2044-9941(2013)0000004008)
2. Chen, Z., et al., The impact of high-speed rail investment on economic and environmental change in China: A dynamic CGE analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2016. 92: p. 232-245. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.08.006>
3. Wang, L., et al., Accessibility impact of the present and future high-speed rail network: A case study of Jiangsu Province, China. *Journal of Transport Geography*, 2016. 54: p. 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.05.015>
4. Chen, J., High-speed rail and energy consumption in China: The intermediary roles of industry and technology. *Energy*, 2021. 230: p. 120816. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120816>
5. Celauro, C., et al., Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015. 34: p. 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.001>
6. Hoxha, E., et al. Life cycle assessment (LCA) to evaluate the environmental impacts of urban roads: a literature review. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/588/3/032032
7. ISO, Environmental Management life Cycle Assessment Principles and Framework, ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardisation, 2006a.
8. Shams Fallah, F., et al., Investigation of solid waste disposal alternatives in Lavan Island using life cycle assessment approach. *International Journal of Environmental Research*, 2012. 7(1): p. 155-164. DOI: 10.22059/IJER.2012.594
9. Mohammadi, F., et al., Life cycle assessment (LCA) of the energetic use of bagasse in Iranian sugar industry. *Renewable Energy*, 2020. 145: p. 1870-1882. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.023>
10. Reinhard, J. and R. Zah, Global environmental consequences of increased biodiesel consumption in Switzerland: consequential life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2009. 17: p. S46-S56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.05.003>
11. Stripple, H. and S. Uppenberg, Life cycle assessment of railways and rail transports-Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line. 2010, IVL Svenska Miljöinstitutet.
12. Chester, M. and A. Horvath, Life-cycle assessment of high-speed rail: the case of California. *Environmental research letters*, 2010. 5(1): p. 014003. DOI: 10.1088/1748-9326/5/1/014003
13. Åkerman, J., Transport systems meeting long-term climate targets: A backcasting approach. 2011, KTH Royal Institute of Technology. (Doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology).

14. Celauro, C., A. Cardella, and M. Guerrieri, LCA of Different Construction Choices for a Double-Track Railway Line for Sustainability Evaluations. *Sustainability*, 2023. 15(6): p. 5066. DOI: [10.3390/su15065066](https://doi.org/10.3390/su15065066)
15. Bilgili, L., et al., Evaluation of railway versus highway emissions using LCA approach between the two cities of Middle Anatolia. *Sustainable Cities and Society*, 2019. 49 :p. 101635. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101635>
16. Hauschild, M.Z., Introduction to LCA methodology. *Life cycle assessment: Theory and practice*, 2018: p. 59-66. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_6
17. Winter, S., et al., openLCA 1.4-Comprehensive User Manual. GreenDelta GmbH, Berlin, Germany, 2015: p. 1-81.
18. Li, X.-J. and Y.-d. Zheng, Using LCA to research carbon footprint for precast concrete piles during the building construction stage: A China study. *Journal of Cleaner Production*, 2020. 245: p. 118754. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118754>
19. Klöpffer, W. and B. Grahl, *Life cycle assessment (LCA): a guide to best practice*. 2014: John Wiley & Sons.