2025, 1(4): 125-130

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

The Toxicity footprint of Terrestrial and Aquatic Ecosystems Based on Life Cycle Perspective in Methanol Production

Amir Zamani[1], Mazaher Moeinaddini [1*], Ali Kazemi [2], Mohammad Ghodratyan [3]

[1] *Department of environmental science, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran*
[2] *Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran*
[3]*Department of Environmental, Marjan Petrochemical Company, Phase 2 Petrochemicals, Asaluyeh, Iran*

Key Words

Toxicity footprint
Inventory
Life Cycle
Methanol
Terrestrial and Aquatic Ecosystems

Abstract

Introduction: Given the current industrial development, the footprint of chemical production's environmental toxicity is increasing. The toxicity footprint depends on the environmental conditions and the time of poisoning agents' entry into the environment, as well as the properties of the substance released in terrestrial and aquatic (fresh and salty) ecosystems. In environmental management, a comprehensive understanding of the toxicity footprint and its causes is of paramount importance. Using life-cycle assessment, the toxicity footprint may be studied comprehensively and integratedly and based on the life cycle perspective, resulting in the identification of the most important life cycle components and stages affecting it. The present study was aimed at investigating the toxicity footprint of methanol production severally by utility and process units in terrestrial and aquatic ecosystems by the life-cycle assessment method. Identification and quantification of the toxicity footprint severally by process and utility units would contribute to better recognizing the methanol production unit's situation. By determining the necessary priorities, the plan of reducing the footprint of the product could be initiated. The system boundary was gate to gate of methanol production from natural gas.

Materials & methods: The functional unit in this study was one thousand tons of methanol production.

Results: According to the current study results, compared to the utility units, the process units were more effective in the toxicity footprint of terrestrial ecosystems, freshwater, and seawater.

Conclusion: The rate of toxicity footprint associated with process units in terrestrial ecosystems, fresh water, and seawater was 96.3%, 77.3%, and 76.4%, respectively.

Article info

* Corresponding Author's email:
moeinaddini@ut.ac.ir

Received: 20 February 2024
Reviewed: 20 March 2024
Revised: 22 May 2024
Accepted: 23 June 2024

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

مقاله علمی - پژوهشی

ردپای سمیت بوم سازگان‌های خشکی و آبی بر مبنای دیدگاه چرخه حیات در تولید متانول

امیر زمانی[۱]، مظاهر معین‌الدینی[۱]، علی کاظمی[۲]، محمد قدرتیان[۳]*

[۱] گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۲] گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران

[۳] اداره محیط‌زیست، شرکت پتروشیمی مرجان، فاز ۲ پتروشیمی‌ها، عسلویه، ایران

کلمات کلیدی

ردپای سمیت
سیاهه موجودی
چرخه حیات
متانول
بوم‌سازگان‌های خشکی و آبی

چکیده

مقدمه: ردپای سمیت محیط‌زیستی تولید مواد شیمیایی با توجه به توسعه صنعتی حال حاضر، رو به افزایش است. ردپای سمیت به شرایط محیطی، زمان ورود عوامل مسمومیت به محیط و خصوصیات‌مادهٔ منتشر شده در بوم سازگان‌های خشکی و آبی (شیرین و شور) بستگی دارد. در مدیریت محیط‌زیست، شناخت جامع از ردپای سمیت و دلایل بروز آن اهمیت زیادی دارد. می‌توان ردپای سمیت را بر اساس ایزو ۱٤۰٤۰، براساس دیدگاه چرخه حیات به‌صورت جامع و یکپارچه مطالعه نموده و مهم‌ترین مولفه ها و مراحل چرخه حیات موثر بر آن را شناسایی نمود. هدف از انجام این مطالعه، بررسی ردپای سمیت به تفکیک واحدهای پشتیبان و فرآیندی تولید متانول به‌روش ارزیابی چرخه حیات بوده است، و به‌دلیل بحث حساسیت و محدودیت‌هایی که در بوم‌سازگان آبی وجود دارد حوزه سمیت آب‌های شیرین و آب‌شور نیز بررسی شد. شناسایی و کمی‌سازی ردپای‌سمیت به تفکیک واحدهای فرآیندی و پشتیبان به شناخت بهتری از وضعیت واحد تولید متانول کمک خواهد کرد. با تعیین اولویت‌های لازم می‌توان برای برنامه کاهش ردپای محصول اقدام نمود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، مرز سامانه با رویکرد گهواره تا دروازه و واحد عملکردی تولید هزار تن متانول از گاز طبیعی درنظر گرفته شد.

نتایج: نتایج پیامدهای ارزیابی ردپای سمیت بوم‌سازگان خشکی، آب‌های شیرین و آب دریا به ازای هزارتن تولید متانول به‌ترتیب ۱۷٦۰۰۰، ٤۹۹۰، ٦۳۹۰ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن است. واحدهای فرآیندی در میزان ردپای سمیت بوم سازگان خشکی، آب‌های شیرین و آب دریا بیش‌تر از واحدهای پشتیبان تاثیرگذار بودند.

بحث و نتیجه‌گیری: میزان ردپای سمیت مرتبط با واحدهای فرآیندی به‌ترتیب بوم سازگان خشکی، آب‌های شیرین و آب دریا به میزان ۹٦/۳، ۷۷/۳ و ۷٦/٤ درصد بوده است.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
moeinaddini@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ اسفند ۱٤۰۲
تاریخ داوری: ۱ فروردین ۱٤۰۳
تاریخ اصلاح: ۲ خرداد ۱٤۰۳
تاریخ پذیرش: ۳ تیر ۱٤۰۳

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

مقدمه

حدود ۵۰۰ سال قبل پاراسلسوس اظهار داشت که تمام مواد سمی هستند، هیچ ماده غیرسمی وجود ندارد، دوز مناسب و درست باعث تفکیک ماده از دارو می‌شود (۱، ۲). علم سم‌شناسی امروزی هنوزهم با این گفته‌ها موافق است و درنتیجه ردپای سمیت یک ماده ممکن است به چند عامل بستگی داشته باشد: ۱- مقدار ماده منتشر شده، ۲- توانایی ماده در جابجایی و پخش در محیط، ۳- پایداری ماده در محیط، ۴- در معرض قرارگرفتن و دسترسی زیستی و ۵-سمیت ماده (۳). بنابراین سمی بودن یک ماده تنها عامل ایجادکننده ردپای سمیت نیست. برای مثال ممکن است یک ماده بسیار سمی باشد، اما به‌دلیل عمر کوتاه یا قابلیت محدود در انتقال که در محیط دارد به موجود زنده هدف انتقال نیابد و تأثیر سمیت محیطی اندکی را از خود به‌جای می‌گذارد. از سویی دیگر، ممکن است ماده‌ای دیگر زیاد سمی نباشد، اما درصورت انتشار درمقادیر زیادو در دوره‌های طولانی مدت‌تر یا به‌دلیل برخورداری ازماندگاری زیاد، ردپای سمیت را از خود بر جای بگذارد. انتشار مواد شیمیایی در محیط ناشی از فرآیندهای تولید مواد صنعتی به‌خصوص در صنایع پتروشیمی بسته به شرایط مکان و زمان انتشار و مشخصات مادهٔ منتشر شده بر بوم سازگان‌های خشکی، آب شیرین و دریایی تأثیرگذار خواهد بود (۴). واحدهای اصلی کارخانه تولید متانول عبارت از گوگردزدایی، اشباع سازی، ریفورمینگ، سنتز متانول و تقطیر هستند. در هر یک از واحدهای اصلی، واحدهای پشتیبان مانند بخار، کولینگ، واحد جداسازی هوا و ...لازم است(۵). بعضی از مواردا‌ستفاده شده درصنعت به‌عنوان مثال الکتریسیته گرچه در موقعیت خارج از پتروشیمی تولید شده ولی پتانسیل سمیت دارد که در این مطالعه تمام موارد مورد مصرف ذکر شده در سیاهه موجودی، در ردپای سمیت دیده شده است. آن‌ها می‌توانند به طرق گوناگون بر موجود زنده تأثیر بگذارند و مرگ و میر را افزایش دهند.نرخ رشد یا باروری و تولیدمثل را بکاهند جهش‌ها را سبب شوند، تغییرات رفتاری و تغییر در زیست توده‌ها یا فتوسنتز و یا سایر فعالیت‌ها را سبب شوند (۶). روش‌های ارزیابی ردپاهایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند سمیت حدود ۲۵۰۰ ماده را در بوم سازگان‌های آبی تحت پوشش قرار می‌دهند. در حالی که اکثر روش‌های ارزیابی ردپاهای سمیت را در یک افق زمانی نامحدود در نظر می‌گیرد، روش ReCiPe استفاده شده در این مطالعه یک سناریو اضافه ارائه می‌دهد که در آن افق زمانی ۱۰۰ ساله را برای فلزات در نظر می‌گیرد (۴). این موضوع در ارزیابی ردپای سمیت بسیار دارای اهمیت است زیرا فلزات به سرعت تخریب نمی‌شوند و ردپای آن‌ها تا بازه‌های زمانی طولانی باقی می‌ماند. این امر باعث می‌شود تا برای فلزات امتیاز ردپای سمیت بالاتری در مقایسه با افق زمانی بی‌نهایت در نظر گرفته شود. بدین جهت که این مواد برای نسل کنونی و حاضر سمیت بسیار بالاتری دارند و در نظر گرفتن بازه زمانی ۱۰۰ ساله در مقایسه با افق زمانی بی‌نهایت امکان کم شدن اهمیت چنین موادی را برای نسل فعلی کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت متانول در دنیا و درنظرگرفتن ردپای سمیت آن در مرحله تولید در این مطالعه ردپاها به‌صورت جامع بر اساس ارزیابی چرخه حیات در بوم‌سازگان خشکی و آبی مطالعه شدو به‌دلیل بحث حساسیت و محدودیت‌هایی که در بوم‌سازگان آبی وجود دارد (۷)، ردپای سمیت برای اکوسیستم‌های آب‌های شیرین و شور بررسی شد.

مواد و روش‌ها

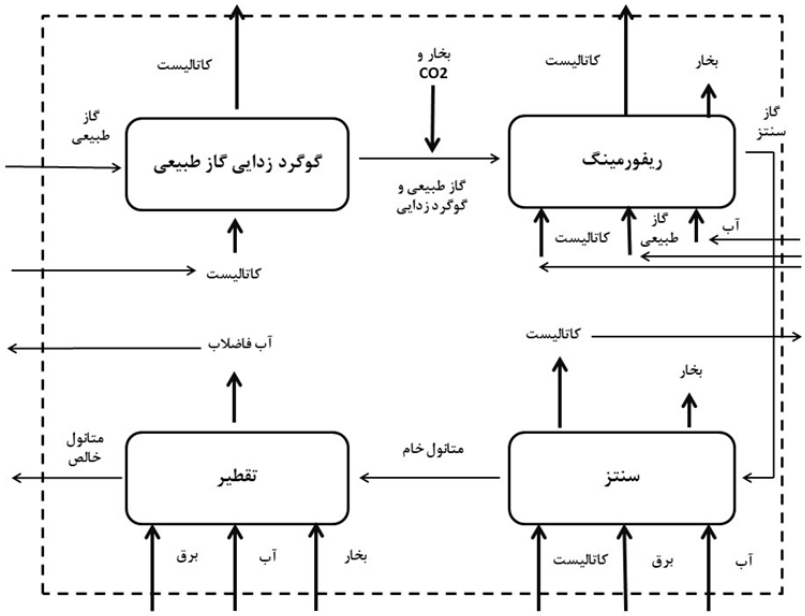
به‌طورکلی ارزیابی چرخه حیات بر پایه استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ انجام می‌شود که شامل چهار فاز هدف و دامنه، سیاهه موجودی، ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی و تفسیر است (۸، ۹، ۱۰):

هدف و دامنه: در این مطالعه واحد عملکردی تولید هزار تن متانول و مرز سیستم گهواره تا دروازه است (شکل ۱).

تجزیه و تحلیل سیاهه موجودی: پس از بازدید از منطقه‌ویژه اقتصادی انرژی پارس و انتخاب شرکت مورد نظر و بررسی مدارک طراحی فرایند تولید (BFD، PFD و UFD) و تدوین مدل سیاهه موجودی (Inventory) اطلاعات از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شد که در این پرسشنامه اطلاعات مورد نیاز شامل: داده‌های مربوط به مصرف‌مواد، انرژی، منابع‌طبیعی، تولید متانول، پسماندها و انتشارات در بازه یک‌ساله ۱۴۰۱ جمع‌آوری شد (جدول ۱).

ارزیابی پیامد یا ارزیابی اثرات چرخه زندگی: پس از این که همه داده‌های جمع‌آوری شده (سیاهه موجودی) از واحدها بر اساس‌واحدعملکردی استانداردشدند. مدل ReCiPe به‌منظور ارزیابی ردپای سمیت استفاده شد. ReCiPe جانشین روش‌های سازگار-Eco indicator 99 و CML IA است (۱۱). در این مطالعه مطابق جدول ۲، سه ردپای سمیت بوم سازگان خشکی، آب‌های شیرین و آب دریا بر مبنای کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن بر اساس واحد عملکردی در واحدهای پشتیبان و فرآیندی مقایسه شدند.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]



شکل ۱: مرز سامانه مورد مطالعه

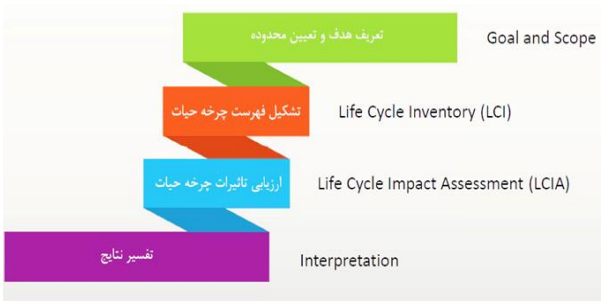
جدول۱: سیاهه موجودی چرخه حیات به ازای هزار تن متانول

سیاهه موجودی	مقدار مصرف	واحد
گاز طبیعی (خوراک)	۸۰۹/۴	هزار نرمال مترمکعب
گاز طبیعی (سوخت)	۱۳۵/۷	هزار نرمال مترمکعب
اکسیژن	۳۱۸/۸	هزار نرمال مترمکعب
بخار	۶۰/۸	تن
آب یون زدایی شده برای تولید بخار (DM Water)	۵۶۲/۷	متر مکعب
آب خنک کننده (CWM)	۸۵۳/۸	متر مکعب
هوای سرویس (PA)	۱۹۸۹/۸	نرمال متر مکعب
نیتروژن	۸۴۶۴	نرمال متر مکعب
هوای ابزار دقیق (IA)	۱۱۵/۲	نرمال متر مکعب
الکتریسیته	۴۸/۴	مگاوات ساعت
کاتالیست	۱۲۱/۹	کیلوگرم
کربن دی اکسید	۲۷۴/۷	تن

جدول۲: نمای کلی از سه دسته ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین، آب دریا و خشکی در مدل ReCiPe2016 (۴)

شاخص ردپا	مخفف	واحد معادل
ردپای سمیت بوم‌سازگان خشکی	TETP	kg 1,4-DCB to industrial soil
ردپای سمیت بوم‌سازگان آب‌شیرین	FETP	kg 1,4-DCB to fresh water
ردپای سمیت بوم سازگان آب‌دریا	METP	kg 1,4-DCB to marine water

تفسیر نتایج



شکل۲: فازهای ارزیابی چرخه حیات

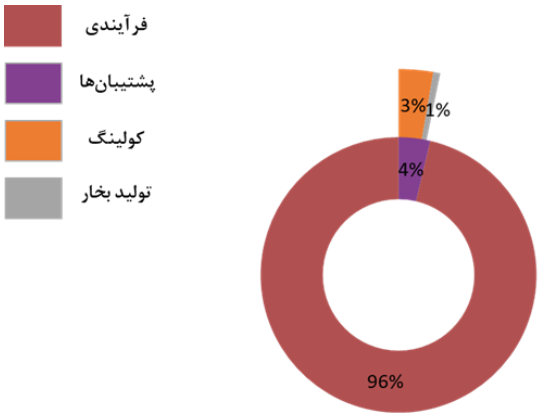
نتایج

در این مطالعه نتایج براساس فازهای ارزیابی چرخه حیات ارائه شده است، در بخش ابتدایی نتایج جمع‌بندی فاز دوم یا سیاهه موجودی چرخه حیات بوده (جدول ۱) و در بخش بعدی ردپاهای سمیت مربوط به سیاهه موجودی مرتبط با واحد عملکردی آورده شده است (جدول ۳). ردپای سمیت بوم سازگان خشکی به تفکیک واحدهای پشتیبان و واحد فرآیندی مقایسه شدند (شکل ۳). ارزیابی ردپای سمیت بوم‌سازگان آب‌های شیرین ۴۹۹۰ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن است. در این مطالعه ارزیابی ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین به تفکیک واحدهای پشتیبان و واحد فرآیندی نیز مقایسه شدند (شکل ۴). نتایج ارزیابی ردپای سمیت بوم‌سازگان آب‌دریا ۶۳۹۰ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن است. در این مطالعه ارزیابی ردپای سمیت بوم سازگان آب‌دریا به تفکیک واحدهای پشتیبان و واحد فرآیندی نیز مقایسه شدند (شکل ۵).

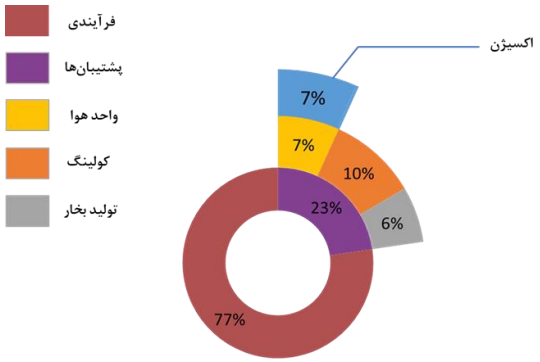
[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

جدول۳: ردپای سمیت به ازای هزار تن متانول (کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن)

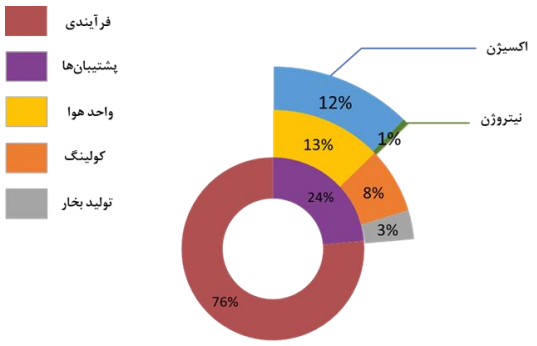
واحد	ردپای سمیت	درصد
ردپای سمیت بوم سازگان خشکی		
پشتیبان‌ها	۶۵۲۳/۱	۳/۷
فرآیندی	۱۶۹۴۷۶/۹	۹۶/۳
کل	۱۷۶۰۰۰	۱۰۰
ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین		
پشتیبان	۱۱۳۳/۷	۲۲/۷
فرآیندی	۳۸۵۶/۳	۷۷/۳
کل	۴۹۹۰	۱۰۰
ردپای سمیت بوم سازگان آب دریا		
پشتیبان‌ها	۱۵۰۸/۹	۲۳/۶
فرآیندی	۴۸۸۱/۱	۷۶/۴
کل	۶۳۹۰	۱۰۰



شکل۳: سهم ردپای سمیت بوم سازگان خشکی به تفکیک واحدهای پشتیبان و واحد فرآیندی

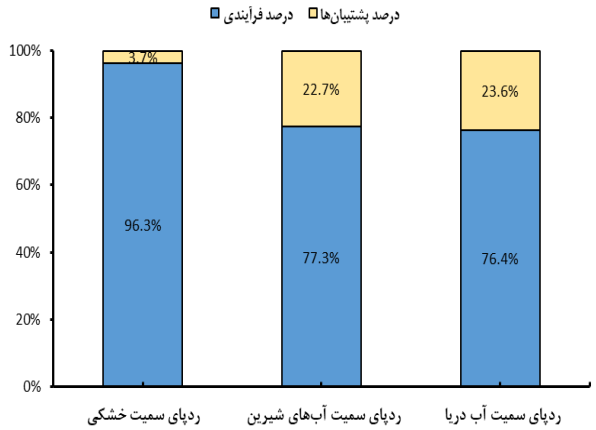


شکل۴: سهم ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین به تفکیک بخش‌های مرتبط با واحدهای پشتیبان و واحدهای فرآیندی



شکل ۵: سهم ردپای سمیت بوم سازگان آب دریا به تفکیک بخش‌های مرتبط با واحدهای پشتیبان و واحدهای فرآیندی

براساس واحدهای فرآیندی و پشتیبان نتایج نشان داد که در ردپای سمیت بوم‌سازگان آب‌های شیرین، آب دریا و خشکی، واحدهای فرآیندی مهم‌تر از واحدهای پشتیبان بودند (شکل ۶).



شکل۶: ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین، آب دریا و خشکی به تفکیک واحدهای فرآیندی و پشتیبان

بحث

با توجه به نتایج جدول‌های ۱ و ۳، سیاهه موجودی، مصرف الکتریسیته به ازای تولید هزار تن متانول، ۴۸/۴ مگاوات ساعت بوده که از این میزان در واحدهای پشتیبان ۸۷/۴٪ (۴۲/۳ مگاوات ساعت) و در واحدهای فرآیندی ۱۲/۶٪ (۶/۱ مگاوات ساعت) الکتریسیته مصرف می‌شود. در واحدهای پشتیبان که سهم عمده‌ای دارند واحد جداسازی هوا با ۸۵/۴٪ (۴۱/۳ مگاوات ساعت) بیش ترین مصرف الکتریسیته در تولید متانول را دارد. نتایج ارزیابی ردپای سمیت بوم سازگان خشکی، آب‌های شیرین و آب دریا به ازای هزارتن متانول

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج مربوط به ردپای سمیت بوم‌سازگان خشکی، نسبت به ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین و دریا بیش‌تر و ۱۷۶۰۰۰ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن است. دلیل اهمیت بیش‌تر ردپای سمیت در خشکی استفاده بیش‌تر نهاده‌های ذکر شده در سیاهه موجودی است که از محیط خشکی استحصال شدن. هم‌چنین مقدار این پیامد بیش‌تر از سایر مطالعه‌ها بود (۱۲، ۱۳). که این موضوع به‌دلیل جمع‌آوری سیاهه موجودی کامل‌تر بود، به عنوان مثال کاتالیست‌ها و ضایعات کاتالیستی که مهم‌ترین بخش در حوزه سمیت خشکی‌اند در این مطالعه محاسبه شدند. مدل مورد استفاده در این مطالعه جدیدتر بود، روش‌های سمیت در سال‌های جدید توسعه پیدا کرده و در این پژوهش از آخرین ورژن روش برای ارزیابی سمیت استفاده شد در صورتی که در مطالعات پیشین از CML که مدلی است در گذشته استفاده می‌شده ارزیابی صورت گرفته. در این مطالعه سعی بر این بود که اطلاعات دست اول (اطلاعات دقیقی که در صنایع بوده) جمع‌آوری شود در حالی که در سایر مقالات از اطلاعات دست دوم (مقالات و سایر منابع) استفاده کرده بودند. نتایج ارائه شده در شکل ۳ نشان داد که ردپای سمیت بوم سازگان خشکی برای واحدهای پشتیبان و فرآیندی به ترتیب ۹۶٪ (۶۵۲۳/۱ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن) و ۴٪ (۱۶۹۴۷۶/۹ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن) است. در واحدهای پشتیبان به‌ترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین سهم ردپای سمیت بوم سازگان خشکی کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن مربوط به واحد کولینگ ۳٪ و تولید بخار ۱٪ است. نتایج ارائه شده در شکل ۴ نشان‌داد که ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین برای واحدهای فرآیندی و پشتیبان به ترتیب ۷۷/۳٪ (۳۸۵۶/۳ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن) و ۲۲/۷٪ (۱۱۳۳/۷ کیلوگرم‌معادل دی‌کلروبنزن) است. در واحدهای پشتیبان به‌ترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین سهم ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های‌شیرین کیلوگرم معادل‌دی‌کلروبنزن مربوط به واحد کولینگ ۱۰٪، واحد جداسازی‌هوا ۷٪ و تولیدبخار ۶٪ است. تولید اکسیژن‌در واحد جداسازی هوا با ۷٪ ردپای سمیت بوم‌سازگان آب‌های شیرین بیش‌ترین سهم را در واحد جداسازی هوا داشته است. در مطالعات مرتبط (۱۲، ۱۳) این موضوع دارای اهمیت بوده و مقدار این ردپا بیش‌تر از سایر مطالعه‌ها بود. نتایج ارائه شده در شکل ۵ نشان داد که ردپای سمیت بوم سازگان آب دریا برای واحدهای فرآیندی و پشتیبان به‌ترتیب ۷۶/۴٪ (۴۸۸۱/۱ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن) و ۲۳/۶٪ (۱۵۰۸/۹ کیلوگرم معادل دی‌کلروبنزن) است. در واحدهای پشتیبان به‌ترتیب از بیش‌ترین به کم‌ترین سهم ردپای سمیت بوم سازگان‌آب‌دریا کیلوگرم معادل‌دی‌کلروبنزن مربوط به‌واحد جداسازی هوا ۱۳٪، کولینگ ۸٪ و تولید بخار ۳٪ است. تولید اکسیژن در واحد جداسازی هوا با ۱۲٪ ردپای سمیت بوم سازگان آب دریا بیش‌ترین سهم را در واحد جداسازی هوا داشته است. در مطالعات مرتبط (۱۲، ۱۳) این موضوع دارای اهمیت بوده و مقدار این ردپا بیش‌تر از سایر مطالعه‌ها بود. براساس واحدهای فرآیندی و پشتیبان نتایج نشان داد که در ردپای سمیت بوم‌سازگان آب‌های شیرین، آب دریا و خشکی، واحدهای فرآیندی مهم‌تر از واحدهای پشتیبان بودند (شکل ۶).

نتیجه‌گیری: انتشار مواد شیمیایی در محیط ناشی از فرآیندهای تولید مواد صنعتی به‌خصوص در صنایع پتروشیمی بسته به شرایط مکان و زمان انتشار و مشخصات مادهٔ منتشر شده بر بوم‌سازگان‌های مختلف تأثیرگذار خواهد بود. با در نظر گرفتن ردپای سمیت متانول در مرحله تولید در این مطالعه ردپای سمیت به‌صورت جامع (بوم سازگان خشکی، آب شیرین و دریا) دیده شد. ارزیابی ردپای سمیت بوم سازگان بر آب‌های شیرین، آب دریا و خشکی تولید محصولات مانند متانول و واحدهای پشتیبان آن‌ها، به‌دلیل گستردگی و توسعه روزافزون از دیدگاه چرخه حیات دارای اهمیت است. برای تولید یک محصول مانند متانول، واحدهای فرآیندی و خدمات پشتیبان مانند تامین بخار، کولینگ که بایستی تامین شود و برای فراهم نمودن آن‌ها نیاز به مصرف ماده و انرژی وجود دارد. هدف این مطالعه ارزیابی ردپای سمیت بوم سازگان خشکی، آب‌های شیرین و دریا به تفکیک واحدهای پشتیبان و فرآیندی برای تولید متانول بود. مرز سامانه با رویکرد گهواره تا دروازه تولید متانول و واحد عملکردی در این مطالعه هزار تن متانول درنظر گرفته شد. برای ارزیابی ردپاها از ایزو ۱۴۰۴۰ براساس دیدگاه چرخه حیات استفاده شد. با توجه به اهمیت تولید متانول در صنایع پتروشیمی ایران، نتایج این مطالعه نشان داد که شناسایی و کمی نمودن ردپاها به تفکیک واحدهای فرآیندی و پشتیبان به شناخت بهتری از وضعیت محیط‌زیست واحد کمک خواهد کرد. با تعیین اولویت‌های لازم می‌توان برای برنامه کاهش ردپای محصول اقدام نمود. سیاهه موجودی برمبنای واحد عملکردی مرتبط با واحدهای فرآیندی و پشتیبان شامل سیستم تولیدبخار، واحد جداسازی‌هوا و کولینگ‌برای‌تولیدمتانول جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مصرف الکتریسیته در واحدهای پشتیبان (۴۲/۳ مگاوات ساعت، ۸۷/۴٪) و در واحدهای فرآیندی (۶/۱ مگاوات ساعت، ۱۲/۶٪) بود. براساس واحدهای فرآیندی و پشتیبان نتایج نشان داد که در ردپای سمیت بوم سازگان آب‌های شیرین، آب دریا و خشکی، واحدهای فرآیندی مهم‌تر از واحدهای پشتیبان بودند و در هر سه ردپا در واحد جداسازی هوا، تولید اکسیژن مهم‌ترین نقش را داشت. بنابراین در برنامه مدیریت محیط زیست واحد از نظر سمیت بایستی این بخش‌ها دیده شوند.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

منابع

1. **Joko, T., Sulistiyani, S., Setiani, O., Rahardjo, M. and Arumdani, I., 2023.** Life Cycle Analysis on Pesticide Exposure and Residues in the Environment of Brebes County Shallot Farms and Farmers. *Journal of Ecological Engineering*. 24(3): 76-89. doi: 10.12911/22998993/157424
2. **Alishahi, M., Masbah, M. and Tulabi Dezfuli, Z., 2018.** Comparison of Toxicity of Silver Nanoparticles in Three fish species: *Cyprinus carpio*, *Ctenopharyngodon idella* and *Hypophthamichthys molitrix*. *Journal of Animal Environment*. 10(1): 179-184. (in Persian)
3. **Hauschild, M.Z. and Huijbregts, M.A., 2015.** Introducing life cycle impact assessment. Springer. 1-16. doi: 10.1007/978-94-017-9744-3_1
4. **Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K. and Olsen, S.I., 2018.** Life cycle assessment: Theory and Practice. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-56475-3
5. **Dalena, F., Senatore, A., Marino, A., Gordano, A., Basile, M. and Basile, A.J.M., 2018.** Methanol production and applications: an overview. 3-28. doi: 10.1016/B978-0-444-63903-5.00001-7
6. **Turconi, R., Boldrin, A. and Astrup, T.J.R., 2013.** Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.28: 555-565. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.013
7. **Henderson, A.D., Hauschild, M.Z., van De Meent, D., Huijbregts, M.A., Larsen, H.F. and Margni, M., 2011.** USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 16(8): 701-709. doi: 10.1007/s11367-011-0294-6
8. **Khanna, N., Wadhwa, J., Pitroda, A., Shah, P., Schoop, J. and Sarıkaya, M.J.S.M., 2022.** Life cycle assessment of environmentally friendly initiatives for sustainable machining: A short review of current knowledge and a case study. *Sustainable Materials and Technologies*. e00413. doi: 10.1016/j.susmat.2022.e00413
9. **Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K., Klüppel, H.J. and Tijolca, J., 2006.** The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 11(2): 80-85. doi: 10.1065/lca2006.02.002
10. **Javanmir pour shirzadi, Z., Zamani Hargalani, F., Robati, M. and Taghavi, L., 2023.** Evaluation of synthesized organic and inorganic based nanoadsorbents to lead removal with Life cycle assessment approach %J *Journal of Animal Environment*. 14(4): 309-316. doi: 10.22034/AEJ.2022.329416.2756 (In Persian)
11. **Feng, H., Zhao, J., Hollberg, A. and Habert, G., 2023.** Where to focus? Developing a LCA impact category selection tool for manufacturers of building materials. *Journal of Cleaner Production*. 405(11): 136936. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136936
12. **Chen, Z., Shen, Q., Sun, N. and Wei, W., 2019.** Life cycle assessment of typical methanol production routes: The environmental impacts analysis and power optimization. *Journal of Cleaner Production*. 220(2): 408-416. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.101
13. **Sutar, D.D. and Jadhav, S., 2022.** Life cycle assessment of methanol production by natural gas route. *Materials Today Proceedings*. 57. doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.164

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]