فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱

۲۶۰-۲۴۵

مقاله پژوهشی

بررسی اثرهای محیط زیستی فرآیند دفع لجن صنعتی پالایشگاه روغن با رویکرد ارزیابی چرخه حیات با استفاده از مدل ارزیابی اثرهای CML-Baseline

هانیه مؤید کاظمی[۱]، مهدی جلیلی قاضی‌زاده[۲*]، مصطفی پناهی[۱]، زهرا عابدی[۱] و حمید رضا غفارزاده[۱]

[۱] گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

[۲] گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۸

مؤید کاظمی، ه.، م. جلیلی قاضی‌زاده، م. پناهی، ز. عابدی و ح.ر. غفارزاده. ۱۴۰۱. بررسی اثرهای محیط زیستی فرآیند دفع لجن صنعتی پالایشگاه روغن با رویکرد ارزیابی چرخه حیات با استفاده از مدل ارزیابی اثرهای CML-Baseline. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۲): ۲۴۵-۲۶۰.

سابقه و هدف: لجن تولید شده در پالایشگاه تولید کننده روغن، به‌دلیل حجم قابل توجه و پیچیدگی در ترکیب‌ها، بسیار مضر بوده و دفع معقول آن برای حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد. طی فرآیند تصفیه پساب در پالایشگاه روغن، لجن صنعتی آلوده و حاوی مواد سمی تولید می‌شود که شامل ترکیب‌های پلی آروماتیک هیدروکربن بوده و در گروه پسماندهای خطرناک طبقه‌بندی می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق ارزیابی چرخه حیات روش‌های دفع در دو سناریوی لندفیل و سوزاندن لجن صنعتی پالایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس با استفاده از نرم افزار ارزیابی چرخه حیات، openLCA با مدل ارزیابی اثرهای CML-Baseline، طبقه‌های مختلف اثرهای محیط زیستی بررسی و با استفاده از روش وزن دهی و بی بعد کردن هر یک از طبقه‌های اثر در دو سناریوی تعریف شده، بهترین سناریو از لحاظ محیط زیستی شناسایی گردیده است.

نتایج و بحث: نتایج از فهرست نویسی ۱۱ طبقه اثر شامل اسیدی شدن، تغییر اقلیم، کاهش منابع غیر زیستی (در دو بخش سوخت‌های فسیلی و عامل‌های مؤثر در ذخیره‌های نهایی) ، سمیت در سه بخش (آب آشامیدنی، آب دریایی، سمیت خاک)، اختناق دریاچه‌ای، مسمومیت انسان، تخریب لایه ازون، مه دود فتوشیمیایی به‌دست آمده است. نتایج نشان داده است، کمترین اثرهای محیط زیستی روی سنجه‌های سلامت انسان و گونه‌های گیاهی، مربوط به سناریوی لندفیل می‌باشد. سناریوی سوزاندن لجن، که به‌طور مستقیم به زباله سوز ارسال می‌شوند با انتشار بیشترین میزان دی اکسید کربن، متان و اکسیدهای نیتروژن به محیط به‌عنوان سناریو بدتر انتخاب شده است.

نتیجه‌گیری: نتایج بی بعد سازی در دو سناریوی مورد مطالعه نشان داد، سناریو ۱ (لندفیل) با مقدار (۶-)۱۰×۲.۹۴ ، کمترین و سناریوی ۲ (سوزاندن پسماند) با عدد (۵-)۱۰×۵.۴۲، بیشترین اثر تخریبی در محیط زیست را داشته‌اند.

* Corresponding Author: *Email Address*. ma_jalili@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.1158
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.2.14.5

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه حیات، نرم افزار openLCA، سنجه CML-Baseline، طبقه‌های اثر محیط زیستی، لجن صنعتی پالایشگاه روغن.

مقدمه

لجن تولید شده در پالایشگاه تولید کننده روغن، به‌دلیل حجم قابل توجه و پیچیدگی در ترکیب‌ها، بسیار مضر بوده و دفع معقول آن برای حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد. طی فرآیند تصفیه پساب در پالایشگاه روغن، لجن صنعتی آلوده و حاوی مواد سمی تولید می‌شود که شامل ترکیب‌های پلی آروماتیک هیدروکربن می‌باشد. هیدروکربن‌های پلی سایکلیک آروماتیک به‌دلیل ویژگی‌های سمی و سرطان‌زا در ارگانیسم‌های زنده به‌عنوان آلاینده‌های محیطی در نظر گرفته می‌شوند (Kazemi ; Cea-Barcia *et al*., 2013 moayed *et al*., 2020). به همین دلیل، نیاز به یک سیستم تصفیه ثانویه برای حذف آلودگی لجن به شدت احساس می‌شود. با افزایش ظرفیت تولید در پالایشگاه‌ها، ورودی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی بیشتر شده و به تبع آن تولید لجن نیز افزایش می‌یابد (Fijalkowski *et al*., 2017 ; Kwon *et al*., 2018). روش‌های قدیمی برای دفن لجن آلوده مانند لندفیل یا استفاده از زباله‌سوز پتانسیل ایجاد آلودگی در محیط زیست را داشته و همچنین هزینه حذف این آلاینده‌ها از محیط‌زیست را افزایش می‌دهد (Christensen *et al*., 2004 ; Fijalkowski *et al*., 2017). دفن لجن با دشواری‌های زیادی مواجه است، به‌طور خاص، به‌دلیل افزایش شهرنشینی، فضای دفن محدود است که منجر به افزایش هزینه حمل به مکان‌های دورتر می‌شود. افزون بر این، اعتراض‌های عمومی نسبت به بوی زباله و نگرانی‌های محیط زیستی در رابطه با انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی از شیرابه محل دفن زباله وجود دارد (Mulchandani *et al*., 2016). سوزاندن لجن فاضلاب، انتشار گازها که حاوی ترکیب‌های سمی هیدروکربن‌های آروماتیک هستند، بسیار بیشتر از لجن‌هایی می‌باشد که به‌طور ویژه روی آن‌ها فرآیند تصفیه انجام شده است (Otero *et al*., 2008; Park *et al*., 2009; Xiao *et al*., 2010) . فراهم کردن اطلاعات مفید در راستای انتخاب روش صحیح فرآیندی در تصفیه خانه پساب‌ها و انتخاب روش مناسب جهت دفن پسماند تولید شده به‌همراه ارزیابی خسارت‌های اقتصادی و محیط زیستی به شدت مورد نیاز است. ارزیابی چرخه حیات (LCA)[1] جهت ارزش گذاری هزینه‌های محیط زیستی با چرخه حیات محصول‌ها، فرآیندها یا فعالیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (ISO 14040, 2006).

ارزیابی چرخه حیات به‌طور گسترده‌ای برای برنامه‌های اقتصادی طرح‌های استراتژیک، بازاریابی و فروش مورد استفاده قرار گرفته است. کاربردهای اززیابی چرخه حیات شامل طراحی محصول، بهبود فرآیند و آموزش مصرف کننده می‌باشد (Yang *et al*., 1999). در ارزیابی محیط زیستی و اقتصادی روی لجن در کشور سوئیس با چهار سناریوی، کاربرد کشاورزی، استفاده از لجن به‌عنوان سوخت جانبی، سوزاندن به‌منظور بازیابی فسفر و تجزیه پذیری لجن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده است که سناریو کاربرد کشاورزی به‌عنوان راه حلی مناسب در هزینه-اثر[2] بوده است. (Houilon and Jolliet., 2005). در تحقیق دیگری در سوئیس شش سناریو شامل کاربرد کشاورزی، سوزاندن، اکسیداسیون مرطوب، لندفیل کردن، پیرولیز کردن و تولید سیمان مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد سوزاندن لجن در بستر سیالی و کاربرد کشاورزی به‌عنوان بهترین سناریوها شناخته شده‌اند. این تحقیق تنها به بررسی صرفه جویی انرژی و تأثیر انتشارات روی گرمایش جهانی کار شده است (Mario *et al*., 2007). ارزیابی اثرهای محیط زیستی چرخه حیات نقش به سزایی در کاهش و حل مشکل‌های مدیریت خدمات شهری به عهده خواهد داشت. هدف از انجام این مطالعه،

مقایسه سناریوهای مختلف مدیریت پسماند در شهرستان سیرجان با رویکرد ارزیابی چرخه حیات بوده است. بدین منظور ۴ سناریو لندفیل، بازیافت، زباله سوز و کمپوست در نظر گرفته شده است و فهرست نویسی چرخه حیات در هر سناریو به کمک مدل یکپارچه پسماند (IWM-۲) صورت پذیرفته است. نتایج به‌دست آمده از فهرست نویسی به نرم افزار OPENLCA وارد گردیده است. براساس روش TRACI2014، ارزیابی اثرهای محیط زیستی سناریوها انجام پذیرفته و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد سناریوی شامل ۱۹٪ بازیافت+ ۷۰٪ زباله سوز بهمراه ۱۱٪ لندفیل، در طبقه‌های اثر اسیدی شدن، اختناق دریاچه‌ای، تخلیه لایه ازون، تشکیل مه دود فتوشیمیایی و اثرهای تنفسی در بین سایر سناریوها کمترین بار محیط زیستی را به خود اختصاص داده است (Vahidi, 2017).

براساس مرور منابع موجود در زمینه ادبیات تحقیق، بیشتر مطالعات قبلی روی ارزیابی اقتصادی و محیط زیستی لجن-های شهری انجام شده است. مطالعات کمی روی ارزیابی اقتصادی و محیط زیستی لجن‌های صنعتی متمرکز شده است. همچنین در سناریوهای تعریف شده برای دفن لجن، انتشارات در هوا، خاک، آب به خوبی مورد ارزیابی قرار نگرفته است. با هدف رفع کمبودهای اطلاعاتی بالا، این مقاله پایه ریزی شده و در آن، بررسی آنالیزهای ترکیب‌های سمی PAH، فلزهای سنگین و تست شیرابه (TCLP)[۳]، انتشارات در سه بخش هوا، خاک و آب مربوط به لجن صنعتی پالایشگاه روغن به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، ارزیابی چرخه حیات در دو سناریوی لندفیل و سوزاندن لجن به‌صورت مستقیم در کوره زباله سوز مورد مطالعه قرار گرفته است. در نهایت، با استفاده از ارزیابی های انجام شده، بهترین سناریو و تصمیم‌های مؤثر برای مدیریت پسماند با هدف کمترین خسارت‌ها بر محیط زیست، برای تصفیه خانه لجن صنعتی بایستی مورد توجه قرارگیرد.

مواد و روش‌ها

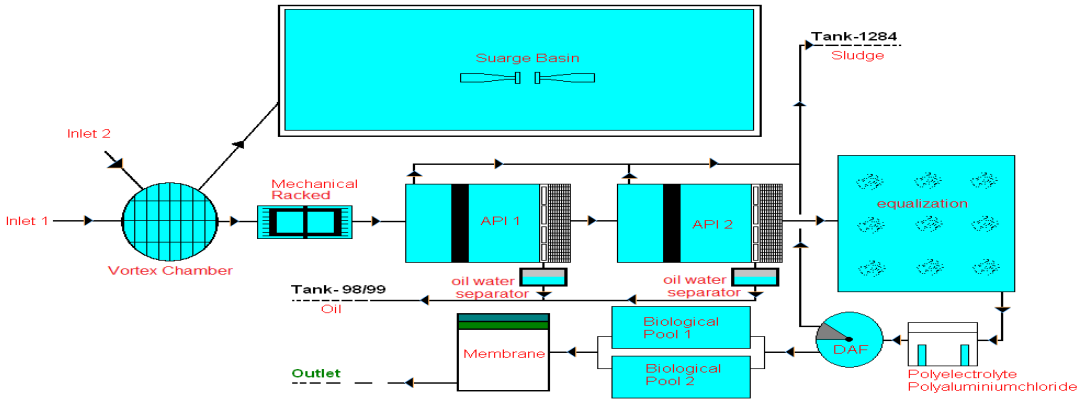
ارزیابی چرخه حیات روش استانداردی است که مطابق با استانداردهای ISO در سال ۱۹۹۸ ایجاد شد (Adu., Eshu and 2014). براساس استاندارد ISO ارزیابی چرخه حیات از چهار گام تشکیل شده است.

(Shah- Kheiralipour, 2021, ; ISO 14044, 2006 ; nazari *et al*.,2016). گام اول تعریف هدف و دامنه است که در این مرحله همه مشخصات مطالعه از جمله هدف از مطالعه، تعریف دامنه و مرزهای سیستم، داده‌های کیفی و روند بررسی تعریف می‌شود. گام دوم فهرست نویسی چرخه حیات است که شامل جمع آوری اطلاعات، مدل سازی تولید محصول و تلفیق و تعیین داده‌های خروجی و ورودی در همه فرایند می‌باشد. به این ترتیب برای انجام ارزیابی چرخه حیات پسماندهای شهری، به تعریف و اجرای سناریوهای مختلف نیاز است (Haight, 2004). گام سوم تجزیه و تحلیل اثرهای چرخه حیات می باشد که براساس داده‌های فهرست موجود انجام می‌شود. گام چهارم تفسیر نتایج، مهمترین مرحله ارزیابی چرخه حیات می‌باشد. در این مرحله نحوه مدیریت و کاهش اثرهای منفی محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی هر یک از مرحله‌های چرخه حیات مورد تجزیه و تحلیل قرار می-گیرد (Eshu and Adu, 2014).

منطقه مورد مطالعه و نمونه گیری لجن

لجن صنعتی، در تصفیه‌خانه فاضلاب پالایشگاه‌های روغن در ایران تولید شده است. در فرآیند تصفیه پساب در این نوع از پالایشگاه‌ها، ورودی واحد تصفیه خانه به‌عنوان پساب پالایشگاه بعد از عبور از قسمت محفظه گردابه و آشغالگیر مکانیکی، وارد حوضچه API می‌گردد. در این حوضچه مواد روغنی از پساب جداسازی می‌گردد. حرکت رفت و برگشتی پارویی که به آهستگی توسط الکتروموتوری روی استخر در حرکت است، ذرات چربی شناور را به قسمت انتهایی استخر جمع و هدایت نموده و به ناودانی که در داخل آن لوله بخار عبور کرده، می‌ریزد.

آب بدون چربی، روغن و رسوبات، بعد از مرحله API، وارد استخر متعادل ساز می‌گردد. هدف از این کار، به‌دست آوردن محلولی یکنواخت و همگن و ارسال آن برای فرآیندهای دیگر تصفیه است. بعد از این مرحله، موادی نظیر پلی الکترولیت و پلی آلومینیم کلراید به آب اضافه می‌شود تا چسبندگی و انعقاد بین ذرات معلق در آب پدید آید تا در مرحله‌های بعدی بتوان بسادگی آن‌ها را جدا نمود. آب به‌همراه مواد افزودنی وارد سیستم DAF جهت جداسازی ذرات معلق گردیده است. آب سپس به سمت استخر بیولوژیک انتقال داده می‌شود. هدف از تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، انعقاد و حذف کلیه مواد معلق غیر قابل ته نشینی فاضلاب و تثبیت مواد آلی است. در این استخر، عمل کشت باکتری صورت می‌گیرد، بدین صورت که باکتری‌ها پس از اینکه تغذیه شدند، به‌همراه آن عمل هوادهی صورت می‌گیرد. پس از آنکه هوادهی به میزان کافی صورت گرفت، هوادهنده‌ها خاموش می‌شوند. هدف از خاموش نمودن دمنده‌ها، راکد کردن آب است تا باکتری‌های تغذیه شده کف آب ته نشین شوند و آب زلال به قسمت ممبرین راکتورها[۴] ارسال می‌شود. درواقع لجن‌های موجود به سالن آبگیری از لجن ارسال می‌شود. به‌همراه لجن‌ها، پلی الکترولیت نیز با آن میکس شده تا چسبندگی لازم را به لجن بدهد و سپس وارد دستگاه آبگیری[۵] از لجن شده است. نمونه لجن فاضلاب خام پس از آبگیری مکانیکی با استفاده از پرس فیلتر در جعبه نگهداری در یخچال با دمای زیر ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نمای کلی از واحد پساب صنعتی پالایشگاه روغن

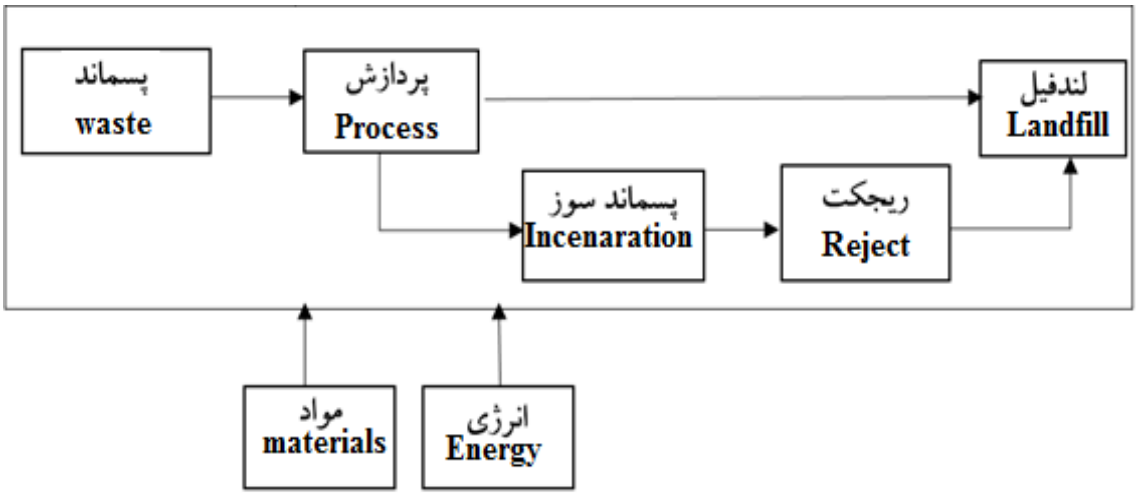
Fig. 1- Overview of the industrial wastewater unit of the oil refinery

شناسایی کمیت و کیفیت لجن تولیدی

برای آماده‌سازی و اندازه گیری ترکیب‌های PAH لجن خشک (جدول ۱)، از روش (Christensen *et al.* 2004) که با نام GC/MS شناخته می‌شود، بهره گیری شده است. همچنین آنالیز فلزهای سنگین مانند Cr, Ni, Mo, Zn , etc. از روش پیشنهادی(2014) Shamuyarira استفاده شده است (جدول ۲). همچنین نتایج آزمایش شیرابه TCLP (جدول ۳)، ترکیب‌های هیدروکربنی، مواد روغنی و گریس و ترکیب‌های غیرآلی[۶] مانند فسفات[۷] و نیترات[۸] بعنوان اطلاعات مورد نیاز برای نرم افزار مورد بررسی قرار گرفته است.

مرزهای سیستم

مرزهای سیستم به نحوی تعیین می‌شوند که واحدهای فرآیندی مورد نظر LCA را در بر داشته باشد. مرزهای مجموعه موردمطالعه از جمع‌آوری پسماند تولید شده لجن تصفیه خانه پالایشگاه روغن شروع می‌شود و با دفع نهایی زباله پایان می‌پذیرد. دو سناریوی لندفیل و سوزاندن لجن در در زباله سوز در این پژوهش مورد ارزیابی محیط زیستی قرارگرفته است. تفاوت این سناریوها بیشتر در بخش دفع نهایی بوده و فرض شده است که تمامی این گزینه‌ها در یک محل مستقر می‌شوند. مرزبندی سیستم مدیریت پسماند در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- مرزبندی سامانه مدیریت پسماند صنعتی در پالایشگاه روغن

Fig. 2 - Boundary of industrial waste management system in oil refinery

سناریوهای تعریف شده

سناریو ۱: لندفیل

در این سناریو تمام لجن تولید شده پالایشگاه روغن، در طول یکسال به لندفیل ارسال می‌شوند. مسافت جهت حمل و نقل پسماند صنعتی در سناریو دفن بهداشتی ۱۴۰کیلومتر از پالایشگاه مد نظر در نظر گرفته شده است. در سناریو زباله سوز به‌دلیل نزدیکی به محل ۷۰ کیلومتر برآورد شده است. میزان مصرف سوخت در بلدوزر درسایت لندفیل برای تمامی پسماندهای بیان شده در مدت زمان۲۶ ساعت کار معادل ۴۰۸ لیتر گازوئیل (۳۵۰.۸۸ کیلوگرم) می‌باشد. (دانسیته گازوئیل ۸۶۰ کیلو گرم بر متر مکعب می‌باشد).

سناریو ۲: سوزاندن لجن در زباله سوز

در این سناریو تمام لجن تولید شده پالایشگاه روغن، در طول یکسال، توسط پیمانکار معتمد در سایت مشخص به‌صورت ۱۰۰ درصد در زباله سوز سوزانده می‌شود. در دستگاه زباله سوز۳/۵ تن در مدت زمان ۸ ساعت می‌سوزند که به ازای هر یکساعت ۳۰۰ لیتر گازوئیل مورد نیاز می‌باشد. میزان مصرف سوخت (گازوئیل) برای ۳۳۰ تن پسماند در مدت زمان ۷۵۴ ساعت، برابر با ۲۲۶.۲۸۵ لیتر (۱۹۴.۶۰۵ کیلوگرم) در مدت یکسال می‌باشد. تمامی اطلاعات به‌دست آمده از دو سناریو، در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین ضریب انتشار گازهای خروجی از زباله سوز از لیست راهنمای انتشارات آلودگی هوا استفاده شده است. تمامی عناصر آنالیز شده در لجن صنعتی در ضریب انتشار گازهای خروجی ضرب و به‌عنوان دیتای خروجی در نرم افزار محاسبه گردیده است (EMEP-EEA, 2019). افزون بر انجام آنالیزهای آزمایشگاهی، به‌منظور اجرای مدل در سناریوهای مختلف می‌بایست موازنه انرژی در سناریوهای مختلف انجام گرفته است. مبنای محاسبات بر مبنای تولید ۳۳۰ تن لجن صنعتی در یک سال می‌باشد.

روش CML-Baseline

در روش CML-Baseline، ۱۱ پارامتر طبقه اثر، شامل: اسیدی شدن، تغییر اقلیم، کاهش منابع غیر زیستی، در دو بخش سوخت‌های فسیلی و عامل‌های مؤثر در ذخیره‌های نهایی سمیت در سه بخش (آب آشامیدنی، آب دریایی، سمیت در خاک)، یوتیرفیکاسیون، مسمومیت انسان، تخریب لایه ازون، مه دود فتوشیمیایی ارزیابی می‌گردد. (OpenLCA manual, 2017). در راستای مشخص کردن بهینه‌ترین سناریو، از نرم افزار openLCA و سنجه‌های ارزیابی با متد

CML-Baseline روی لجن صنعتی استفاده شده است.

وزن دهی[9] و بی بعد کردن گروه‌های اثرها[10]

برای ارزیابی سه گروه آسیب با واحدهای متفاوت، این دسته آسیب‌ها بی بعد گردیده‌اند. راه بدیهی برای انجام این کار استفاده از یک گام نرمال سازی است. با توسعه سنجه اکو برای اروپا، از مقادیر نرمال سازی اروپا استفاده شده است. با بی بعد سازی نتایج در دو سناریوی مطرح شده، میزان آسیب‌ها در هر بخش قابل مقایسه با یکدیگر شده است. همچنین استاندارد ISO 14042 این تغییر را امکان پذیر می‌کند(Goedkoop, 2015).

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از آزمایش مربوط به فلزهای سنگین در لجن پالایشگاه به‌عنوان اطلاعات مورد نیاز ورودی به نرم افزار با دو استاندارد سازمان استاندارد جهانی EPA , WHO مقایسه گردیده است. نتایج نشان می-دهد، تمامی پارامترها در حد استانداردهای جهانی می-باشد.

نتایج ارزیابی اثرهای چرخه حیات[11] در هر دو سناریو به روش CML مقایسه گردیده است. در طبقه اثر تخلیه به محیط غیر زیستی، سناریوهای لندفیل (سناریوی ۱)، استفاده از کوره زباله سوز (سناریوی ۲)، به ترتیب بارهای محیط زیستی کمتری دارند. سناریوی اول با کمترین میزان انتشار آنتیموان (Sb)[12]، به محیط در مقایسه با سناریوهای دیگر طبقه اثر برتر می‌باشد. در طبقه اثر اسیدی شدن، سناریوی اول با کمترین انتشار اکسیدهای سولفور، به محیط در مقایسه با سناریوهای دیگر کمترین اثر محیط زیستی داشته است. طبقه اثر اختناق دریاچه‌ای، سناریوی اول به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب گردیده است، زیرا اکسیدهای نیتروژن و آمونیوم منتشر شده در هوا و آمونیاک، آمونیوم، نیترات و فسفات حل شده در آب کمتر از سایر سناریوها می‌باشد. همچنین این سناریو ازنظر سنجه BOD و COD دارای آلودگی کمتری می‌باشد. در طبقه اثر سمیت اکوسیستمی آبی، سناریوی اول، میزان انتشارات کمتری از گازهای سمی و خطرناک مانند کادمیوم، نیکل و روی به هوا و همچنین کاهش و صرفه‌جویی در تولید و انتشار فلزهای سنگین مانند آرسنیک، باریم، کادمیوم، کروم، مس، سرب، نیکل، روی به محیط آبی داشته است. سناریوی سوزاندن لجن، که به‌طور مستقیم به زباله سوز ارسال می‌شوند با انتشار بیشترین میزان CO_2 و متان و اکسیدهای نیتروژن به محیط به‌عنوان بدتر انتخاب شده است. طبقه اثر سلامت بشر، سرطان‌زایی، سناریو اول کمترین میزان نشر ترکیب‌هایی مانند PAH در فرم‌های گازی و مایع و همچنین عناصری مانند سرب و آرسنیک در فرم‌های مایع داشته است. در طبقه اثر تخلیه لایه ازون، سناریوی اول با توجه به کمتر بودن میزان نشر ترکیب‌های هالوژنه و هیدروکلروفلوئوروکربن‌هایی نظیر CFC11 و نسبت به دیگر سناریو می‌باشد که در اثر تجزیه سبب تخریب لایه ازون می‌گردند، به‌عنوان سناریوی برتر محیط زیستی شناخته شده است. در طبقه اثر مه دود فتوشیمیایی، سناریوی اول به‌عنوان اولویت اول ما انتخاب می‌شود و دلیل آن کاهش آلاینده‌هایی نظیر هیدروکربن‌ها (بنزن و متعلقات آن، بوتان، هپتان، هگزان و ...) و متان و صرفه‌جویی در تولید آلاینده‌هایی مانند C_2H_4 نسبت به سایر سناریوها می‌باشد. همچنین این سناریو کمترین ذرات معلق را به هوا منتشر می‌کند. طبقه اثر آلودگی خاک سناریوی اول به‌عنوان برترین سناریو در بخش خاک انتخاب می‌شود. طبقه اثر آلودگی خاک برحسبkg 1,4-DB معادل محاسبه شده است. البته سناریوی دوم در این بخش نتیجه بهتر نسبت به سناریوی اول داشته است. نتایج در جدول ۵ الی ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱- آنالیز ترکیب‌های PAH به روش GC / MS

Table 1. Analysis of PAH compounds by GC / MS method

Test name (نام آزمایش)	Results (نتایج)	Unit (واحد)	Test method (روش آزمایش)
Naphthalene	5.4	mg/kg	Extraction & ISO 17993
Acenaphthene	4.5		
Fluorene	3.5		
Phenanthrene	1.1		
Anthracene	0.1		
Fluoranthene	16.3		
Pyrene	1.7		
Benz[a]anthracene	0.1		
Chrysene	1.1		
Benzo[b]fluoranthene	1.3		
Benzo[k]fluoranthene	0.35		
Benzo[a]pyrene	1.8		
Dibenz[a,h]anthracene	2.9		
Benzo[g,h,i]perylene	9.9		
Indeno[1,2,3-c, d]pyrene	2.6		
Total PAH	52.65		

جدول۲- نتایج آزمایش فلزهای سنگین به روش ICP – MS

Table 2. Analysis of heavy metals by ICP - MS method

1225 MMS-01 – ppm														
Element	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy
1225	0.6	78215	2.2	147	0.9	0.4	8155	0.4	14	3.6	98	0.7	99	1.22
Element	Er	Eu	Fe	Gd	Hf	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na
1225	0.94	0.3	9628	1.31	0.73	<0.5	1892	8	22	0.15	3241	65	23.9	2551
Element	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pr	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr
1225	4.6	3.2	20	4459	84	0.39	11	13219	1.1	2.8	7.68	1.12	3.5	105
Element	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
1225	0.33	0.22	<0.1	6.7	613	<0.1	0.26	4	54	<1	8.5	0.6	2325	28

جدول ۳- نتایج آزمایش TCLP لجن بیولوژیک

Table 3. Results of TCLP analysis of biological sludge

نمونه مورد آزمایش Sample	Unit	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Se
لجن تصفیه خانه Sewage sludge	ppm	<0.02	<0.05	0.26	<0.02	0.13	0.07	<0.05	<0.05	<0.05

جدول ۴- انرژی مصرف شده در سناریوهای مختلف به ازای واحد عملکردی (سالانه)

Table 4. Energy consumed in different scenarios per operating unit (annual)

سناریو ۲ Scenario 2	سناریو ۱ Scenario 1	واحد Unit	مشخصات Specifications
330	330	تن Ton	مقدار پسماند The amount of waste
23100	46200	تن × کیلومتر Ton × km	مصرف سوخت (گازوئیل)جهت حمل و نقل Fuel consumption (diesel) for transportation
408	408	لیتر× سال Lit × year	مصرف سوخت (گازوئیل) درتجهیزات مورد استفاده Fuel consumption (diesel) in the equipment used
226258	-	لیتر Lit	مصرف سوخت (گازوئیل) در زباله سوز Fuel consumption (diesel) in the incinerator
70	140	کیلومتر Km	مسافت طی شده تا محل دفن Distance traveled to burial site

جدول ۵- نتایج ارزیابی اثرهای محیط زیستی لجن صنعتی در سناریوهای مختلف در بخش هوا به روش CML-Baseline

Table 5. Results of the assessment of environmental impact of industrial sludge in different scenarios in the air sector by CML-Baseline method

پارامترهای طبقات اثر (هوا) Air – impact category			
انتشارات در هوا Emission to air	واحد Unit	سناریو۱ Scenario 1	سناریو۲ Scenario 2
گروه اثرها Impact category		نتایج Result	نتایج Result
کاهش منابع غیر زیستی (سوخت‌های فسیلی) Abiotic (fossil fuels)	MJ	0	0
کاهش منابع غیر زیستی Abiotic	kg Sb eq	0.002362345	0.208592363
اسیدی شدن Acidification	kg SO2 eq	3.122111307	1748.647801
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg PO4--- eq	0.255695143	141.8391618
سمیت روی آب آشامیدنی Eco-toxicity	kg 1,4-DB eq	1.374200099	319092.836
گرمایش جهانی Climate change	kg CO2 eq	518.5066774	287625.9272
مسمومیت انسان Human toxicity	kg 1,4-DB eq	43.63545509	8990963.492
سمیت روی آب دریا Ocean toxicity	kg 1,4-DB eq	56775.52	1282596611
تخریب لایه ازون Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2.1362E-05	0.011849947
اکسیدهای فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.026831541	16.11534941
سمیت روی منابع خاکی Territory toxicity	kg 1,4-DB eq	0.252234915	89685.4197

جدول ۶- نتایج ارزیابی اثرهای محیط زیستی لجن صنعتی در سناریوهای مختلف در بخش خاک به روشCML-Baseline

Table 6. Results of evaluation of environmental impact of industrial sludge in different scenarios in soil section by CML-Baseline method

پارامترهای طبقات اثر (خاک) Soil – impact category			
انتشارات در خاک Emission to soil	واحد Unit	سناریو۱ Scenario 1	سناریو۲ Scenario 2
گروه اثرها Impact category		نتایج Result	نتایج Result
کاهش منابع غیر زیستی (سوخت‌های فسیلی) Abiotic (Fossil Fuels)	MJ	0	0
کاهش منابع غیر زیستی Abiotic	kg Sb eq	0.002362345	0.208592
اسیدی شدن Acidification	kg SO2 eq	3.122111307	1731.897
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg PO4--- eq	0.356675143	141.9401
سمیت روی آب آشامیدنی Eco-toxicity	kg 1,4-DB eq	3284.266089	4587.635
گرمایش جهانی Climate change	kg CO2 eq	518.5066774	287625.9
مسمومیت انسان Human toxicity	kg 1,4-DB eq	-327.586149	25177.38
سمیت روی آب دریا Ocean toxicity	kg 1,4-DB eq	-147160.619	31933968

ادامه جدول ۶- نتایج ارزیابی اثرهای محیط زیستی لجن صنعتی در سناریوهای مختلف در بخش خاک به روشCML-Baseline

Table 6. Cont. Results of evaluation of environmental impact of industrial sludge in different scenarios in soil section by CML-Baseline method

پارامترهای طبقات اثر (خاک) Soil – impact category			
انتشارات در خاک Emission to Soil	واحد Unit	سناریو۱ Scenario 1	سناریو۲ Scenario 2
گروه اثرها Impact category		نتایج Result	نتایج Result
تخریب لایه ازون Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2.1362E-05	0.01185
اکسیدهای فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.026831541	14.88399
سمیت روی منابع خاکی Toxicity territory	kg 1,4-DB eq	-888.297489	-1467.51

جدول ۷- نتایج ارزیابی اثرهای محیط زیستی لجن صنعتی در سناریوهای مختلف در بخش آب به روش CML-Baseline

Table 7. Results of evaluation of environmental impact of industrial sludge in different scenarios in the water sector by CML-Baseline method

پارامترهای طبقات اثر (آب) Water – impact category			
انتشارات در آب Emission to water	واحد Unit	سناریو۱ Scenario 1	سناریو۲ Scenario 2
گروه اثرها Impact category		نتایج Result	نتایج Result
کاهش منابع غیر زیستی (سوخت‌های فسیلی) Abiotic (fossil fuels)	MJ	0	0
کاهش منابع غیر زیستی Abiotic	kg Sb eq	0.000372445	0.206602463
اسیدی شدن Acidification	kg SO2 eq	3.122111307	1731.897001
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	kg PO4--- eq	0.255695143	141.8391618
سمیت روی آب آشامیدنی Eco-toxicity	kg 1,4-DB eq	606965.3618	602465.6176
گرمایش جهانی Climate change	kg CO2 eq	518.5066774	287625.9272
مسمومیت انسان Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1757.665519	21973.31161
سمیت روی آب دریا Ocean toxicity	kg 1,4-DB eq	1050500.426	30283970.87
تخریب لایه ازون Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2.1362E-05	0.011849947
اکسیدهای فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.026831541	14.88398741
سمیت روی منابع خاکی Toxicity territory	kg 1,4-DB eq	15.65557679	110.8225468

وزن دهی و بی بعد کردن گروه‌های اثرهای در سناریوهای مورد بررسی

با استفاده از روش وزن دهی و بی بعد کردن هر یک از اثرها در سناریوها، می‌توان اثرها را در هر بخش به‌صورت اعدادی بی بعد با یکدیگر جمع نمود و در نهایت به مقایسه کمترین اثر محیط زیستی پرداخته شده است. (جدول‌های ۸، ۹)

جدول ۸ - وزن دهی و بی بعد کردن گروه‌های اثرها در سناریوی لندفیل

Table 8. Weighing and dimensioning of impact groups in the landfill scenario

روش CML-Baseline CML-Baseline method	هوا Air	خاک Soil	آب Water	
گروه‌های اثر Impact categories	نتایج Result	نتایج Result	نتایج Result	
سمیت در اکو سیستم آبی Water eco-toxicity	1.28E-09	1.57E-08	2.91E-06	
کاهش منابع غیر زیستی Abiotic	3.92149E-10	3.92E-10	2.36E-08	
اسیدی شدن Acidification	1.85453E-10	1.85E-10	3.52E-09	
گرمایش جهانی Climate change	9.95533E-11	9.96E-11	1.85E-10	
سمیت در انسان Human toxicity	8.72709E-11	1.93E-11	1.35E-10	
مه دود فتوشیمیایی Photochemical oxidation	1.55086E-11	1.55E-11	9.96E-11	
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	1.38075E-11	2.09E-12	6.18E-11	
سمیت آب شیرین Water toxicity	6.58242E-12	0	1.55E-11	
سمیت در خاک Territory toxicity	2.17174E-12	-6.55E-10	1.38E-11	
تخریب لایه ازون Ozone layer depletion	2.09348E-12	-3.31E-09	2.09E-12	
سوخت‌های فسیلی Fossil fuels	0.00000E+00	-7.65E-09	0	
مجموع Total	2.08E-09	4.83E-09	2.94E-06	2.94E-06

جدول ۹- وزن دهی و بی بعد کردن گروه‌های اثرها در سناریوی سوزاندن در زباله سوز

Table 9. Weighing and dimensioning the impact groups in the incineration scenario in the incinerator

روش CML-Baseline CML-Baseline method	هوا Air	خاک Soil	آب Water
گروه‌های اثر Impact categories	نتایج Result	نتایج Result	نتایج Result
سمیت در اکو سیستم آبی Water eco-toxicity	2.89E-05	7.19E-07	2.89E-06
کاهش منابع غیر زیستی Abiotic	1.80E-05	1.03E-07	6.81E-07
اسیدی شدن Acidification	1.53E-06	5.52E-08	1.03E-07
گرمایش جهانی Climate change	7.72E-07	5.04E-08	5.52E-08
مسمومیت انسان Human toxicity	1.04E-07	3.46E-08	4.39E-08

ادامه جدول ۹- وزن دهی و بی بعد کردن گروه‌های اثرها در سناریوی سوزاندن در زباله سوز
Table 9. Cont.Weighing and dimensioning the impact groups in the incineration scenario in the incinerator

روش CML-Baseline CML-Baseline method	هوا Air	خاک Soil	آب Water	
گروه‌های اثر Impact categories	نتایج Result	نتایج Result	نتایج Result	
مه دود فتوشیمیایی Photochemical oxidation	5.52E-08	2.20E-08	3.43E-08	
اختناق دریاچه‌ای Eutrophication	3.46E-08	8.60E-09	8.60E-09	
سمیت آب شیرین Water toxicity	9.31E-09	7.66E-09	7.66E-09	
سمیت در خاک Territory toxicity	7.66E-09	1.16E-09	1.16E-09	
تخریب لایه ازون Ozone layer depletion	1.16E-09	0	9.54E-10	
سوخت‌های فسیلی Fossil fuels	0	-1.26E-08	0	
مجموع Total	4.94E-05	9.88E-07	3.82E-06	5.42E-05

نتیجه‌گیری

استفاده از نرم افزار پیشرفته openLCA به‌عنوان ابزاری دربررسی چرخه حیات (LCA) به‌منظور بررسی اثرهای محیط زیستی و اقتصادی کمک شایانی نموده است. استفاده از روش‌های پیشرفته سنجه ارزیابی اثرهای چرخه حیات (LCIA) مانند CML-Baseline در این مقاله بررسی شده است. ارزیابی اثرها در سه بخش انتشار به خاک، هوا، آب جز موارد بسیار مهمی است که در بسیاری از تحقیق‌ها صورت گرفته شده به‌طور کامل با جزییات بالا دیده نشده است و فقط در یک فاز انتشار لحاظ شده است. مجموع تمامی انتشارات در این مقاله به‌طور کامل در نرم افزار تعریف و مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت. یکی از موارد بسیار مهم در بررسی‌های صورت گرفته، استفاده از آزمایش‌های بسیار دقیق در شناسایی ترکیب‌ها و عناصر موجود در لجن بوده است که تغییرات جزیی در میزان این ترکیب‌ها، در محاسبات نقش بسیار بالایی را ایفا کرده است. همچنین استفاده از روش وزن دهی و بی بعد کردن هر یک از طبقات اثرهای محیط زیستی و انسانی در سناریوها با توجه به بعد دار بودن اعداد به‌دست آمده نقش مهمی در مقایسه سناریوها ایجاد کرده است. اثرها در هر بخش به‌صورت اعدادی بی بعد تبدیل شده است و در نهایت اعداد به‌دست آمده جهت مقایسه با یکدیگر جمع شده است و در نهایت بهترین سناریو با کمترین اثر محیط زیستی مشخص شده است. نتایج بی بعد سازی در دو سناریوی مورد مطالعه نشان داد، سناریو ۱ (لندفیل) با عدد $۲.۹۴\times۱۰^{(-۶)}$ و سناریوی ۲ (سوزاندن پسماند) عدد$۵.۴۲\times۱۰^{(-۵)}$، به ترتیب کمترین اثر تخریبی در محیط زیست را داشته‌اند. این مطالعه توصیف کاملی از فرآیندهای تصفیه لجن صنعتی و پتانسیل بهبود را مشخص می‌نماید. بهترین روش اقتصادی و محیط زیستی جهت دفن لجن صنعتی روغن، روش لندفیل با کمترین اثرهای محیط زیستی می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Life cycle assessment
[2] Cost-effective
[3] Toxicity Characteristic Leaching Procedure
[4] Membrane reactor
[5] Screw Press
[6] Inorganic substances
[7] Phosphates
[8] Nitrate
[9] Weighting
[10] Normalization and damage assessment
[11] LCIA: life cycle impact assessment
[12] Antimony

منابع

Adu, G.A. and Eshu, J.F., 2014. "Life Cycle Assessment for Environmental Product Declaration of Tropical African Mahogany (Khaya) Lumber Produced in Ghana", International Tropical Timber Organization (ITTO).

EMEP-EEA, 2019. Air Pollution Emission Inventory Guidebook. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Cea-Barcia, G., Carrère, H., Steyer, J.P. and Patureau, D., 2013. "Evidence for PAH removal coupled to the first steps of anaerobic digestion in sewage sludge". International Journal Chemistry Engineering. 2013.

Christensen, N., Batstone, D.J., He, Z., Angelidaki, I. and Schmidt, J.E., 2004. "Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from sewage sludge by anaerobic degradation". Water Science Technology. 50, 237–244.

Di Noi, C., Ciroth, A. and Srocka, M., 2017, "OpenLCA manual version 1.7". GreenDelta GmbH, Berlin, Germany.

Fijalkowski, K., Rorat, A., Grobelak, A. and Kacprzak, M.J., 2017. "The presence of contaminations in sewage sludge – The current situation". Journal Environmental Management. 203, 1126–1136.

Haight M, 2004. "Integrated solid waste management model (Technical report)".

ISO 14044, 2006. "Environmental Management–Life Cycle Assessment Requirements and guidelines".

Houilon, G. and Jolliet, O., 2005. "Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge: energy and global warming analysis". Journal of Cleaner Production. 13, 287-299.

International Organization for Standardization (ISO 14040), 2006. "Environmental Management-life Cycle Assessment-general Principles and Framework".

Goedkoop, M.J., 2015. "Eco-indicator 99, Methodology report". Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, Netherlands.

Kazemi Moayed, H., Panahi, M., Jalili Ghazizade, M., Abedi, Z.and Ghaffarzadeh, H., 2020, "Removal of PAH compounds from refinery industrial sludge as hazardous environmental contaminants through anaerobic digestion". International Journal of Environmental Science and Technology.

Kheiralipour, K., 2021, "Environmental Life cycle assessment". Elam University Publication.

Kwon, E.E., Lee, T., Ok, Y.S., Tsang, D.C.W., Park, C. and Lee, J., 2018. "Impact of calcium carbonate on pyrolysis of sewage sludge". Energy 153, 726–731.

Mario, T., Patrizia, B. and Lorenzo, M., 2007. "An environmental LCA of alternative scenarios of urban sewage sludge treatment and disposal". Journal of Physical Therapy Science. 11, 153-164.

Mulchandani, A. and Westerhoff, P., 2016. "Recovery opportunities for metals and energy from sewage sludges". Bioresource Technology. 215, 215–226.

Otero, M., Calvo, L.F., Gil, M. V., García, A.I. and Morán, A., 2008. "Co-combustion of different sewage sludge and coal: A non-isothermal thermogravimetric kinetic analysis". Bioresource Technology. 99, 6311–6319.

Park, J.M., Lee, S.B., Kim, J.P., Kim, M.J., Kwon, O.S. and Jung, D. I.I., 2009. "Behavior of PAHs

from sewage sludge incinerators in Korea". Waste Management. 29, 690–695.

Shahnazary, M., Jalili Ghazizadeh M. and Shahbazi, A., 2017. "Investigation of Different Alternatives on Municipal Solid Waste Disposal by Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach (Case Study: Ramsar)". Journal of Civil and Environmental Engineering. 47(2), 29-38.

Shamuyarira, K.K. and Gumbo, J.R., 2014. "Assessment of heavy metals in municipal sewage sludge: A case study of Limpopo Province, South Africa". International Journal Environmental Research and Public Health 11, 2569–2579.

Vahidi, H. and Rastikerdar, A., 2018. "Evaluation of the Life Cycle of Household Waste Management Scenarios in Moderate Iranian Cities; Case Study Sirjan City". Environmental Energy and Economic Research. 111-121.

Xiao, H. and Liu, K., 2010. "Co-combustion kinetics of sewage sludge with coal and coal gangue under different atmospheres". Energy Conversion and Management. 51, 1976–1980.

Yang, J., Hao, Y. and Chen, S., 1999. "Application of the life-cycle analysis in the selection of sludge treatment and disposal processes". Pollution Prevention Technologies. 12, 204-206.

Environmental Sciences Vol.20 / No.2 / Summer 2022

245-260

Original Article

Investigation of environmental impact of oil refinery industrial sludge disposal process by life cycle assessment approach using CML-Baseline impact assessment model

Hanieh Kazemi Moayed,[1] Mahdi Jalili Ghazizade,[2*] Mostafa Panahi,[1] Zahra Abedi [1]and Hamid Reza Ghaffarzade [1]

[1] Department of Environmental Economics, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran
[2] Department of Environmental Technologies, Environmental Science Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.02.05 Accepted: 2022.04.17

Kazemi Moayed, H., Jalili Ghazizade, M., Panahi, M., Abedi, Z. and Ghaffarzade, H.R., 2022. Investigation of environmental impact of oil refinery industrial sludge disposal process by life cycle assessment approach using CML-Baseline impact assessment model. Environmental Sciences. 20(2): 245-260.

Introduction: The sludge produced in the oil refinery is very harmful due to the significant volume and complexity of the compounds, and its reasonable disposal is very important for environmental protection and sustainable development. During the effluent treatment process in the oil refinery, contaminated industrial sludge containing toxic substances is produced, which contains polyaromatic hydrocarbon compounds and is classified as hazardous wastes.

Material and methods: In this study, the life cycle evaluation of disposal methods in two scenarios of landfill and incineration on industrial sludge of oil refinery in Iran has been investigated. Using life cycle assessment software and open LCA with CML-Baseline Impact Assessment Model, different environmental impact categories were examined and using weighting and dimensionless method of each effect class in the two defined scenarios, the best scenario has been identified in terms of the environment.

Results and discussion: The results from 11 categories including acidification, climate change, reduction of abiotic resources, related to both fossil fuels and factors affecting final reserves, toxicity drinking water,

* Corresponding Author: *Email Address*. ma_jalili@sbu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.1158
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.2.14.5

seawater, and soil, eutrophication, human poisoning, ozone layer depletion, and photochemical oxidation have been evaluated. The results showed that the least environmental effects on indicators of human and plant species health are related to the landfill scenario. The sludge incineration scenario, which is sent directly to the incinerator, has been selected as the worse scenario with the highest emissions of carbon dioxide, methane and nitrogen oxides into the environment.

Conclusion: The results of dimension lessness in the two studied scenarios showed that Scenario 1 (Landfill) with a value of 2.94×10^{-6} and Scenario 2 (waste incineration) with a number of 5.42×10^{-6} had the most and the least destructive effect on the environment, respectively.

Keywords: Life cycle assessment, openLCA software, CML-Baseline index, Environmental impact, Oil refinery industrial sludge.