

ارزیابی چرخه حیات زیرسامانه‌های بارگیری گاز، مایع، کانتینر، فله و تانکر در بندر پتروشیمی

سمانه فیاض^۱، مظاهر معین الدینی^{۱*}، شراره پور ابراهیم^۱، علی کاظمی^۲، بنیامین خوشنویسان^۳

^۱گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران
^۳گروه مهندسی چرخه حیات SDU، دانشگاه دانمارک جنوبی، دانمارک

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۶

چکیده

بنادر در انتقال بیش از ۸۰٪ کالاها و مواد نقش دارند. ارزیابی چرخه حیات امکان ارزیابی همزمان پیامدهای محیط‌زیستی را فراهم می‌کند که تاکنون برای بنادر غیرکانتینری انجام نشده است. هدف این مطالعه، ارزیابی چرخه حیات عملیات بارگیری مایع، گاز، کانتینر، فله و تانکر و تعیین موثرترین زیرسامانه‌ها در پیامدهای عملیات بندری است. ارزیابی برای دو محدوده مبدأ تولید تا بندر (محدوده ۱) و ورودی بندر تا بارگیری به کشتی (محدوده ۲) انجام شده است. واحد عملکردی، یک میلیون تن بارگیری برای هر زیرسامانه بارگیری و سپس در ازای یک میلیون تن بارگیری از کلیه زیرسامانه‌ها در نظر گرفته شده. نتایج نشان داد پیامدهای محیط‌زیستی محدوده ۱ نسبت به محدوده ۲ بسیار پایین‌تر می‌باشد و بهتر است جهت کاهش پیامدها روی عملیات داخل بندر تمرکز گردد. در پیامد گرمایش جهانی به‌ازای واحد عملکردی یک میلیون تن بارگیری کلی، زیرسامانه گاز بیشترین سهم (در حدود ۳۵٪) را دارد که ۵۰٪ آن ناشی از الکتریسیته و ۴۵٪ ناشی از فلرینگ است. زیرسامانه فله در حدود ۳۰٪ سهم دارد که کاملاً ناشی از الکتریسیته است. زیرسامانه مایع در حدود ۲۰٪ در این پیامد نقش دارد که ۹۵٪ از آن ناشی از الکتریسیته است. الکتریسیته همچنین بیشترین نقش را در کلیه پیامدهای هر زیرسامانه دارد. به ازای یک میلیون تن بارگیری کلی، زیرسامانه‌های فله، مایع و گاز به‌ترتیب بیشترین نقش را در پیامدهای محیط‌زیستی دارند. با توجه به نتایج حاصل، پیشنهاد می‌شود سناریوهای بهبود عملیات بندری با محوریت مصرف الکتریسیته و با در نظر گرفتن منابع تجدیدپذیر تأمین انرژی و حذف فلرینگ با توجه به نقش عمده آن در انتشار کربن تدوین گردد.

کلید واژگان: ارزیابی چرخه حیات، پیامدهای محیط‌زیستی بارگیری، سیاهه انتشار بندر

مقدمه

در صنعت حمل و نقل حیاتی است (Mou *et al.*, 2020). این موضوع اهمیت و کاربرد ارزیابی چرخه حیات به عنوان یک روش مدیریت محیط‌زیستی مناسب برای بیان پیامدهای محیط‌زیستی (Kouchaki-Penchah *et al.*, 2016) و ارزیابی و مدیریت گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها در بنادر را نمایان می‌کند (Nahlik *et al.*, 2016).

ارزیابی چرخه حیات در بنادر با اهداف مختلفی بکار گرفته شده است. مقایسه تراکتورهای^۱ الکتریکی و دیزلی در بندر کانتینری نشان داد که در صورت افزایش تأمین برق بندر از منابع انرژی تجدیدپذیر، با تغییر سامانه، می‌توان میزان انتشار را به صورت جدی کاهش داد (Kim *et al.*, 2011). مقایسه تجهیزات حمل بار (جرثقیل ریلی تیردار^۲ RTG) و تریلی دکلی^۳ (UTR) دیزلی و برقی) از نظر پیامدهای محیط‌زیستی در ترمینال کانتینری نشان داد که، برقی کردن تجهیزات بزرگتر تأثیر بیشتری در کاهش پیامدها دارد (Zrnica, 2013). ارزیابی چرخه حیات و هزینه‌یابی چرخه حیات^۴ (LCC) برای انتخاب بین سه نوع مبدل حرارتی مخازن محصولات نفتی در بندر مورد استفاده قرار گرفت (Adolfsson and Rashid, 2016). تجزیه تحلیل سیستمی زیرساخت‌های بنادر مختلف نشان داد در ترمینال‌های کانتینری عملیات انجام شده در بندر نقش مهمی در پیامدها ایفا می‌کنند. ترمینال‌های نفتی به دلیل انتقال توسط خط لوله، پیامدهای پایین‌تری دارند. ترمینال‌های مسافری نیز با وجود واحد عملکردی متفاوت پیامدهای بالایی دارند (Fridell *et al.*, 2016). زیرساخت‌های بندر (پی‌ریزی، مسیرهای آسفالتی و ساختمان‌ها) و همچنین استراتژی‌های تعمیر و نگهداری بنادر در مطالعه دیگری مورد تجزیه تحلیل و ارزیابی قرار گرفت (Zhang *et al.*, 2017). سناریوهای خودکارسازی حمل و نقل کانتینرها با توجه به پیامدهای محیط زیستی به‌ازای هر واحد کانتینر نیز در مطالعه دیگری مقایسه شدند

ارزیابی چرخه حیات، یک روش کمی و همه‌جانبه برای ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی، مصرف انرژی و منابع در کلیه مراحل زنجیره تأمین محصولات و خدمات است (Maranghi and Brondi, 2019) که با یک چشم‌انداز نظام‌مند از جابجایی بار یا پیامد محیط‌زیستی به بخش‌های دیگر جلوگیری می‌کند (Hauschild *et al.*, 2017). این دیدگاه می‌تواند پشتیبان مناسبی برای تصمیم‌گیری باشد و با تشخیص و کمی‌سازی مواد و انرژی مصرفی، ضایعات منتشرشده و برهم‌کنش‌های میان آن‌ها، اثرات محیط‌زیستی را ارزیابی کرد (Hauschild *et al.*, 2017).

صنایع شیمیایی بسیار انرژی‌بر و آلاینده هستند و طرح‌های بهبود در زنجیره تأمین محصولات آن‌ها در کاهش اثرات محیط‌زیستی اهمیت دارند (Maranghi and Brondi 2019). در مبادلات جهانی مواد خام، نیمه آماده و کالاهای آماده، در حدود ۱۰٪ تا ۷۰٪ اثرات محیط‌زیستی مواد و محصولات خارج از محل مصرف آن‌ها اتفاق می‌افتد (Corrado *et al.*, 2020). بنادر نیز به‌عنوان یکی از مراحل چرخه حیات مواد شیمیایی در پیامدهای زنجیره تأمین این مواد دخیل هستند (Darbra *et al.*, 2020) و به‌عنوان نقاط تقاطع زنجیره تأمین باید در برابر چالش‌های جهانی، منطقه‌ای و محلی پاسخگو باشند (IAPH, 2018). دو سوم جابجایی کالاها در جهان با حمل و نقل دریایی صورت می‌گیرد. بسیاری از بنادر امروزه بزرگ‌ترین منبع آلودگی هوا برای شهرهای ساحلی محسوب می‌شوند (Vujčić *et al.*, 2013). آلودگی هوا، گرمایش جهانی و مصرف انرژی تجدیدناپذیر در بحث حمل و نقل کالا، از چالش‌های اصلی محیط‌زیستی در سطح جهانی و منطقه‌ای محسوب می‌شود (Darbra *et al.*, 2020). نقش حمل و نقل در انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۳٪ گزارش شده است (Creutzig *et al.*, 2015). سازمان‌دهی و طراحی عملیات و فعالیت بنادر

³Utility tractor rig
⁴Life cycle costing

¹Yard tractors
²Rubber tyred gantry crane

همکاران (۲۰۲۰) در یک مطالعه پرسشنامه‌ای جایگاه اولویت‌های محیط زیستی بنادر را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تغییر اقلیم و ردپای کربن به ترتیب جایگاه ششم و هشتم را در ده اولویت محیط‌زیستی بنادر به خود اختصاص دادند (Azarkamand *et al.*, 2020).

همان‌طور که در مطالعات ارزیابی چرخه حیات بنادر انجام شده مشاهده می‌شود، این شیوه غالباً در بنادر کانتینری جهت مقایسه سناریوهای تغییر منبع انرژی تجهیزات حمل و نقل بار از دیزل به الکتریسیته و یا هیبرید مورد استفاده قرار گرفته است. در چرخه حیات زنجیره تأمین مواد شیمیایی نیز مطالعات زیادی با در نظر گرفتن مراحل استخراج منابع، تولید، انتقال، مصرف و دفع، انجام شده ولی عملیات بارگیری در بنادر و ترمینال که با توجه به تمرکز بالای تبادلات در یک نقطه و یک مقطع زمانی اثرات قابل توجهی را ایجاد می‌کند، چندان مورد توجه قرار نگرفته است (Maranghi and Brondi, 2019). در این مطالعه برای نخستین بار، ارزیابی چرخه حیات برای زیرسامانه‌های بارگیری مایع، گاز، فله، کانتینر و تانکر در بندر پتروشیمی به‌اجرا درآمد. تصویر هوایی بندر و اسکله‌های مایعات (۳-۶)، اسکله‌های کانتینری (۷ و ۸) اسکله فله (۱۳) و اسکله‌های گازی (۱۴ و ۱۵) در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به افزایش قابل توجه غلظت آلاینده‌های هوا در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (PSEEZ, 2020)، در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار، سند راهبردی بهبود کیفیت هوای منطقه (OLR, IRI, 2020) و همچنین ابلاغیه استقرار مدیریت انرژی به‌منظور کاهش شاخص شدت انرژی تدوین شده است (PSEEZ, 2015). ارزیابی جامع پیامدهای محیط‌زیستی با رویکرد چرخه حیات اولین گام جهت استقرار مدیریت محیط‌زیستی و پاسخگویی به الزامات و تعهدات منطقه‌ای و جهانی محسوب می‌شود.

(Prapasongsa and Mookhavas, 2018). در مطالعه ای دیگر، تجهیزات حمل بار کانتینری در بندر با پیش‌رانه برقی، فسیلی و ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت همچنین نقش هر فاز از چرخه حیات در هر پیامد ارزیابی شد. به‌طور کلی مرحله «استفاده» و پس از آن بسته به نوع پیامد مرحله «تولید» از اهمیت بیشتری برخوردار بودند (Scharpenberg *et al.*, 2018). Chang و همکاران (۲۰۱۹)، گزینه‌های سوخت دیزل، برق، گاز طبیعی مایع و سلول سوختی هیدروژن را برای ماشین‌های یدک‌کش بندر مقایسه کردند. نتایج نشان داد یدک‌کش‌های دیزلی بالاترین انتشار کربن را دارند و نقطه داغ^۵ چرخه حیات آن‌ها مرحله «استفاده» بود. یدک‌کش‌های برقی کمترین انتشار کربن را داشتند و نقطه داغ چرخه حیات آن‌ها مرحله «استخراج مواد خام» گزارش شد (Chang *et al.*, 2019). در مطالعه دیگر، تدوین سیاهه انتشار آلاینده‌های مرتبط با بندر و شبیه‌سازی اثرات محیط‌زیستی نشان داد که آلاینده‌های منتشر شده از کامیون‌های حمل کانتینر به بندر نسبت به تجهیزات حمل بار داخل بندر نقش بیشتری در آلودگی هوا دارند (Zhou *et al.*, 2020). همکاران (۲۰۲۰) جهت محاسبه ردپای کربن در عملیات ساخت، تعمیر و نگهداری زیر ساخت‌های بندری از ارزیابی چرخه حیات استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد که ماشین‌آلات (۸۵٪) و مواد مصرفی (۱۵٪) عوامل اصلی در کل انتشار کربن هستند (De Los Reyes *et al.*, 2020). همکاران (۲۰۲۰) ردپای کربن بندر در سه دامنه (۱) انتشار مستقیم ناشی از زیرساخت‌ها، (۲) انتشار ناشی از مصرف برق زیرساخت‌ها و (۳) انتشار ناشی از ماشین‌آلات، وسایل نقلیه و کشتی‌ها با روش ارزیابی چرخه حیات محاسبه و نقاط داغ را در هر دامنه مشخص نمودند. مشخص شد که مصرف گازوئیل در دامنه ۱، روشنایی ساختمان در دامنه ۲ و ترافیک کشتی‌ها در بندر کروز و کانتینری در دامنه ۳ نقش عمده را بر ردپای کربن دارند (Ballester *et al.*, 2020). Azarkamand و



شکل ۱- تصویر هوایی حوضچه و پسرانه بندر پتروشیمی

مواد و روش‌ها

بندر پتروشیمی مورد مطالعه با وسعت ۳۲۰ هکتار و ظرفیت سالیانه ۳۵ میلیون تن دارای دو موج‌شکن غربی و شرقی، ۱۵ پست اسکله جهت بارگیری و تخلیه مایعات، گازها، مواد فله خشک و کانتینری از بزرگ‌ترین بنادر خاورمیانه به‌شمار می‌آید همچنین به‌عنوان شاه‌رگ اصلی مبادلات کالا در منطقه، صادرات محصولات پتروشیمی تولیدی و فازهای گازی پارس جنوبی را انجام می‌دهد. این بندر مهم‌ترین زیرساخت در حوزه سیستم ترابری بین‌المللی مواد و محصولات در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و بزرگ‌ترین بندر پتروشیمی دنیا است (PSEEZ, 2018). در اسکله ۳-۶، مایعات نفتی توسط خط لوله، منتقل و بارگیری می‌شوند. باقی‌مانده بنزن و تولوئن در بازوی بارگیری توسط واحد VRU^۶ بازگشت داده می‌شود و باقیمانده دیگر به مخازن ضایعات منتقل می‌شود. در اسکله ۷ و ۸ پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به‌صورت کانتینری بارگیری می‌شود. در اسکله ۱۳ اوره به‌صورت فله توسط یک نوار نقاله از مبدا تولیدکننده به کشتی بارگیری می‌شود. اوره ریزشی از نوار نقاله در کیسه‌های بزرگ جمع‌آوری و به‌عنوان اوره ضایعاتی فروخته می‌شود. در اسکله شرقی ۱۴ و ۱۵، گازها توسط خط لوله در

دمای ۳۰- تا ۸۰- درجه از مبدأ پتروشیمی‌ها و فازهای گازی منتقل و بارگیری می‌شوند. گاز باقی‌مانده در بازوها به فلر^۷ فرستاده می‌شود. استایرن منومر نیز توسط خط لوله به بندر منتقل و به‌صورت تانکری جهت فروش داخلی بارگیری می‌شود (PSEEZ, 2018). تنوع زیرسامانه‌های بارگیری در بندر پتروشیمی پارس، چالش‌های محیط‌زیستی متنوعی را به‌دنبال دارد و آن را به یک مطالعه موردی مناسب برای ارزیابی چرخه حیات تبدیل می‌کند. پنج روش بارگیری محصولات پتروشیمی در شکل ۲ ارائه شده است.

مراحل انجام ارزیابی چرخه حیات: ابتدا طی بازدید از بندر پتروشیمی پارس، نحوه انتقال و بارگیری محصولات با خط لوله، نوار نقاله و کانتینر، منابع انتشار آلاینده‌ها و مصرف انرژی شناسایی و بررسی گردید. سپس ارزیابی چرخه حیات بر اساس مراحل تعیین‌شده در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ در چهار مرحله: تعریف دامنه و هدف^۸، تحلیل سیاهه موجودی^۹، ارزیابی پیامدهای چرخه زندگی^{۱۰} و تفسیر نتایج^{۱۱} انجام شد (ISO, 2020). پیامدهای محیط‌زیستی بر مبنای استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۴:۲۰۰۶ و ایزو ۱۴۰۰۱:۲۰۱۵ (Boucher et al., 2017).

^۹Life cycle Inventory (LCI)

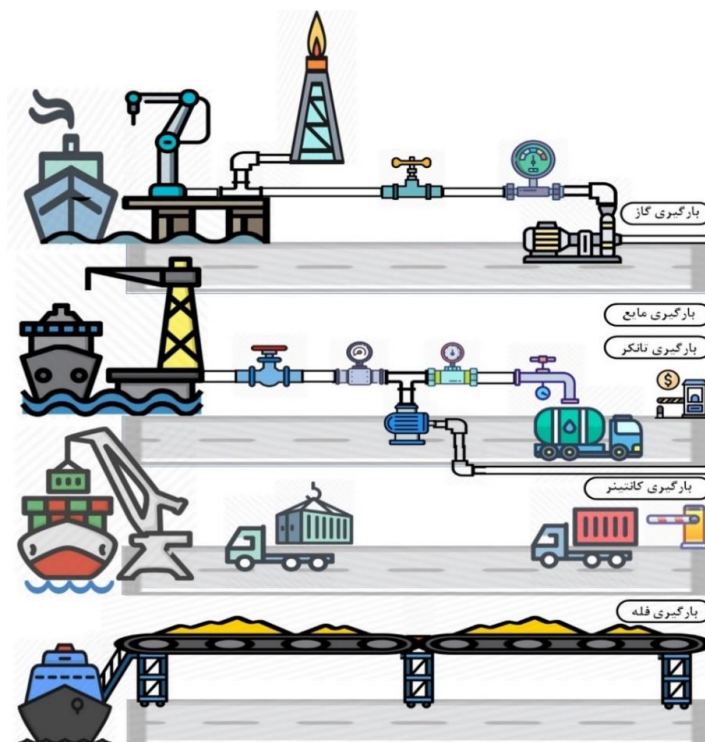
^{۱۰}Life cycle impact assessment (LCIA)

^{۱۱}Interpretation

^۶Vapor Recovery Unit

^۷مشعل

^۸Goal and scope definition



شکل ۲- نمودار شماتیک پنج زیرسامانه بارگیری

تهیه شد (جدول ۱).

مقادیر انتشار ذکر شده در جدول ۱ از روش‌های استاندارد محاسبه و به سیاهه موجودی اضافه شده است (EPA, 2020). انتشارات فرار آلاینده‌ها، ناشی از اتصالات و عملیات بارگیری بر اساس فاکتورهای انتشار EPA AP-۴۲ برآورد شد (EPA, 1950, 2006). انتشارات مرتبط با بارگیری مایعات بر اساس دستورالعمل محاسبه سیاهه انتشار بنادر^{۱۴} EPA محاسبه شد (EPA, 2021). انتشار آلاینده به صورت فرار از خطوط انتقال، با توجه به تعداد اتصالات و تجهیزات بر اساس دستورالعمل‌های AP-۴۲ محاسبه گردید (BP, 2019). انتشار ناشی از بارگیری بر اساس مدل مخزن^{۱۵} با در نظر گرفتن نوع عملیات بارگیری و بازدهی سامانه کنترل انتشار محاسبه شد (EPA, 2006). انتشار ناشی از خودروها به دلیل مصرف سوخت، سایدگی لاستیک‌ها و ترمز بر اساس ضرایب انتشار مدل MOVES و سایل نقلیه جاده-^{۱۶} ای^{۱۵} برآورد شد (EPA, 2021). داده‌های پس‌زمینه^{۱۶} مراحل بیرون از محدوده‌های مورد مطالعه نیز باتوجه به

مرز مطالعه، شامل دو محدوده از مبدأ تولید کالا (پتروشیمی) تا ورودی بندر (محدوده ۱ یا مبدأ تا بندر) و عملیات بارگیری در محدوده داخل مرز بندر (محدوده ۲ یا محدوده بندر) است (شکل ۳). مرز هر زیرسامانه بارگیری لزوماً بر مرز فیزیکی بندر منطبق نیست و به صورت مجزا تعریف می‌شود. مواد و انرژی مصرفی و ضایعات و انتشارات تولیدی ناشی از عملیات مشترک پشتیبانی و خدماتی بندر مانند واحد تعمیرات، نقلیه و اداری نیز با توجه به نسبت سهم زیرسامانه‌ها تقسیم می‌شود. یک میلیون تن بارگیری مواد به‌عنوان واحد عملکردی FU^{۱۲} انتخاب شد که کلیه پیامدها و انتشارها به‌ازای این واحد عملکردی سنجش و ارائه می‌شود (Xu et al., 2014).

اطلاعات و داده‌های مواد مصرفی، انرژی، منابع مورد استفاده، انتشارها و زائده‌ها به صورت سیاهه موجودی و براساس دو محدوده ذکر شده گردآوری شد. در این مرحله، فهرست کاملی از ورودی‌ها و خروجی‌ها با انجام موازنه جرم برای زیرسامانه‌های بارگیری مایع، گاز، کانتینر، فله و تانکر

¹⁴TANK

¹⁵MOVES road

¹⁶Background

¹²Functional unit

¹³Environmental Protection Agency (EPA-420-B-20-046)

جدول ۱- سیاہی موجودی محدودہ ۱ (مبدا تا بندر) و محدودہ ۲ (بندر)

تاکر		کانتینر		فلہ		مایع		گاز		زیرسامانہ بارگیری
۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	محدودہ
۱E-۰۲/۴		۶E+۰۹/۱		۶E+۳۳/۲		۶E+۵۵/۹		۶E+۲۷/۴		MMt
ورودی										
۳E+۷۳/۳		۲E-۲۴/۱		۰E+۰۰/۰		۳E-۰۱/۱		۳E-۲۷/۱		۳m
۴E+۰۹/۱		۳E-۰۱/۴		۰E+۰۰/۰		۳E-۲۹/۲		۳E-۰۸/۳		m3
۳E+۳۰/۴		۳E-۵۸/۱		۰E+۰۰/۰		۴E-۰۵/۹		۳E-۲۲/۱		m3
۵E+۱۹/۱		۲E-۳۹/۴		۰E+۰۰/۰		۲E-۵۱/۲		۲E-۳۸/۳		m3
انرژی مصرفی										
۲E+۱۹/۵		۳E-۷۳/۱		۰E+۰۰/۰		۴E-۴۰/۱		۳E-۸۹/۸		۳m
۴E+۷۹/۱		۱E-۲۰/۴		۰E+۴۵/۱		۰E+۰۰/۰		۳E-۱۲/۴		۲E-۴۰/۵
۴E+۱۲/۱		۲E-۷۱/۳		۰E+۰۰/۰		۳E-۰۲/۳		۳E-۸۰/۳		lit
۲E+۰۲/۹		۴E-۴۹/۱		۳E-۳۰/۱		۰E+۰۰/۰		۲E-۶۷/۱		۴E-۲۹/۳
						۳E-۰۵/۱		۴E-۳۴/۶		۲E-۷۰/۳
زائدات (پسماند و فاضلاب)										
۰E+۰۰/۰		۷E-۵۰/۹		۷E-۷۱/۹		۰E+۰۷/۹		۷E-۴۵/۹		t
۰E+۰۰/۰		۷E-۶۵/۱		۸E-۷۳/۷		۱E-۰۰/۹		۷E-۲۷/۱		t
۷E-۳۲/۴		۷E-۹۴/۳		۷E-۰۳/۴		۰E+۷۶/۳		۷E-۹۲/۳		t
۷E-۲۷/۱		۷E-۱۶/۱		۷E-۱۸/۱		۰E+۱۱/۱		۷E-۱۵/۱		t
۰E+۰۰/۰		۶E-۴۹/۸		۰E+۰۰/۰		۱E+۲۴/۱		۶E-۱۷/۲		t
۶E-۹۶/۱		۶E-۹۷/۱		۶E-۸۲/۱		۱E+۷۰/۱		۶E-۷۸/۱		t
۲E-۴۴/۶		۷E-۴۲/۱		۸E-۱۱/۱		۱E-۵۹/۲		۸E-۴۴/۲		t
۸E-۹۱/۱		۸E-۷۴/۱		۸E-۷۸/۱		۱E-۶۶/۱		۸E-۷۳/۱		t
۰E+۰۰/۰		۶E-۶۵/۲		۰E+۰۰/۰		۰E+۰۰/۰		۰E+۰۰/۰		t
۰E+۰۰/۰		۷E-۰۹/۷		۷E-۳۳/۳		۰E+۱۰/۳		۷E-۶۳/۳		t
۶E-۵۷/۳		۶E-۲۶/۳		۶E-۳۳/۳		۱E+۱۱/۳		۶E-۲۴/۳		t
۰E+۲۸/۲		۶E-۵۴/۷		۰E+۰۰/۰		۰E+۸۶/۵		۷E-۷۲/۷		t
۷E-۰۴/۶		۷E-۵۰/۵		۷E-۶۲/۵		۰E+۲۵/۵		۷E-۴۸/۵		t
۸E-۹۶/۸		۸E-۱۷/۸		۸E-۳۵/۸		۱E-۸۰/۷		۸E-۱۳/۸		t
۸E-۲۱/۱		۸E-۱۰/۱		۸E-۱۲/۱		۱E-۰۵/۱		۸E-۱۰/۱		t
۲E+۱۳/۱		۳E-۷۶/۳				۳E+۹۲/۲		۴E-۸۵/۳		m3
						۱E+۲۰/۷				m3
انتشار آلاینده ها به آب										
				۶E-۶۱/۱						t
						۶E-۵۰/۳				t
انتشار آلاینده ها به هوا										
۳E-۰۶/۷		۹E-۶۲/۷				۱۰E-۸۹/۳		۱۲E-۰۰/۸		t
۴E-۱۶/۳		۹E-۶۲/۷				۹E-۳۲/۱		۱۲E-۰۰/۸		t
۴E-۳۷/۱		۹E-۶۲/۷				۱۰E-۳۰/۵		۱۲E-۰۰/۸		t
۴E-۲۴/۱		۹E-۶۲/۷				۱۰E-۷۷/۴		۱۲E-۰۰/۸		t
۵E-۸۸/۶		۹E-۶۲/۷				۱۰E-۶۵/۲		۱۲E-۰۰/۸		t
۵E-۸۸/۶		۹E-۶۲/۷				۱۰E-۶۵/۲		۱۲E-۰۰/۸		t
						۱۰E-۸۳/۲		۱۲E-۰۰/۸		t
						۱۰E-۱۰/۴		۱۲E-۰۰/۸		t

جدول ۱- ادامه

تانکر		کانتینر		فله		مایع		گاز		زیرسامانه بارگیری	
۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	محدوده	
										t	برش ۳ کربنه
										t	برش ۵-۶ کربنه
										t	برش ۴ کربنه
										t	پروپیلن
										t	اتان
										t	سولفور
										t	دی‌اتیلن گلایکول
										t	برش سنگین نفتی
										t	مونو اتیلن گلایکول
										t	متانول
										t	متانول ضایعاتی
										t	زایلین مخلوط
										t	نفتا
										t	اُورتو زایلین
										t	پارا زایلین
										t	بنزین دی بیرولیز
										t	آمونیاک
										t	بوتان
										t	پروپان
										t	متان
										t	دی‌اکسید کربن
										t	مونو اکسید کربن
										t	اکسیدهای نیتروژن
										t	کل هیدروکربن
										t	ذرات ۲/۵ میکرون
انتشار آلاینده‌ها به خاک											
										t	اُوره

جزئیات برای ارزیابی چرخه حیات بندر تدوین نشده است (جدول ۱).

روش ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی بندر با توجه به ماهیت مطالعه به صورت ALCA^{۱۹} یا ارزیابی خصیصه محور در نظر گرفته شد (ISO, 2020). همچنین روش ReCiPe Midpoint H برای ارزیابی پیامدها با در نظر گرفتن ۱۸ پیامد گرمایش جهانی، کاهش ازن استراتوسفری، تابش یونیزه‌کننده، تشکیل ازن - سلامت

مشخصات هر فرآیند یا تجهیزات بکار رفته از پایگاه‌های اطلاعاتی تهیه گردید. برای الکتریسیته، داده‌های ایران از پایگاه داده کتابخانه جهانی آمار و تراز انرژی آژانس بین‌المللی انرژی^{۱۷} (آمار و تراز انرژی جهانی ۲۰۲۲) و برای بقیه داده‌های پس‌زمینه مرتبط‌ترین فرآیندهای جهانی APOS (ROW)^{۱۸} از پایگاه‌های داده Ecoinvent و USLCI انتخاب شده است (Creutzig et al., 2015). براساس مطالعات نویسندگان، تاکنون سیاهه‌ای با این میزان

¹⁹Attributional LCA

¹⁷OECD

¹⁸Rest of world

انسان، تشکیل ذرات معلق، تشکیل اُزن - اکوسیستم‌های خاکی، اسیدی شدن خاک، پرغذایی آب شیرین (یوتروفی)، پرغذایی دریا، سمیت خاک، سمیت آب شیرین، سمیت دریا، سمیت سرطان‌زای انسان، سمیت غیرسرطان‌زای انسان، کاربری زمین، کاهش منابع معدنی، کاهش منابع فسیلی و مصرف آب به‌عنوان پیامدهای نقطه میانی مورد استفاده قرار گرفت (Huijbregts et al., 2016). باتوجه به نتایج ارزیابی پیامدهای مهم شناسایی و نقش هر زیرسامانه در پیامدهای چرخه حیات کل عملیات بندری مشخص شد.

نتایج و بحث

ارزیابی اثرات چرخه حیات LCIA: مقادیر پیامدهای زیرسامانه‌های بارگیری در هر دو محدوده به‌ازای واحد عملکردی ۱ میلیون تن بارگیری گاز، مایع، کانتینر، تانکر و فله در جدول ۲ نشان ارائه شده است. نتایج نشان داد که بارگیری تانکر بیشترین تأثیر را در همه پیامدها به‌ازای واحد عملکردی دارد، اما به‌دلیل مقادیر بسیار کمتر بارگیری سالانه در مقایسه با سایر زیرسامانه‌ها، نقش قابل توجهی در پیامدهای کلی این بندر ندارد. سهم عوامل مؤثر در پیامدهای زیرسامانه‌های گازی، مایع، کانتینر، فله و تانکر در شکل ۴ نشان داده شده است. در زیرسامانه بارگیری گازی، همان‌طور که مشاهده می‌شود (شکل ۴-الف)، انتشار مستقیم ناشی از فلرینگ سهم عمده‌ای در پیامدهای گرمایش جهانی، تشکیل اُزن و ذرات معلق دارد. مصرف الکتریسیته مؤثرترین عامل و به‌دنبال آن نیتروژن و آب در بیشتر پیامدها نقش دارند. بررسی عوامل دخیل در تولید نیتروژن و آب نشان داد که الکتریسیته بیشترین سهم را در هر دو فرآیند دارد.

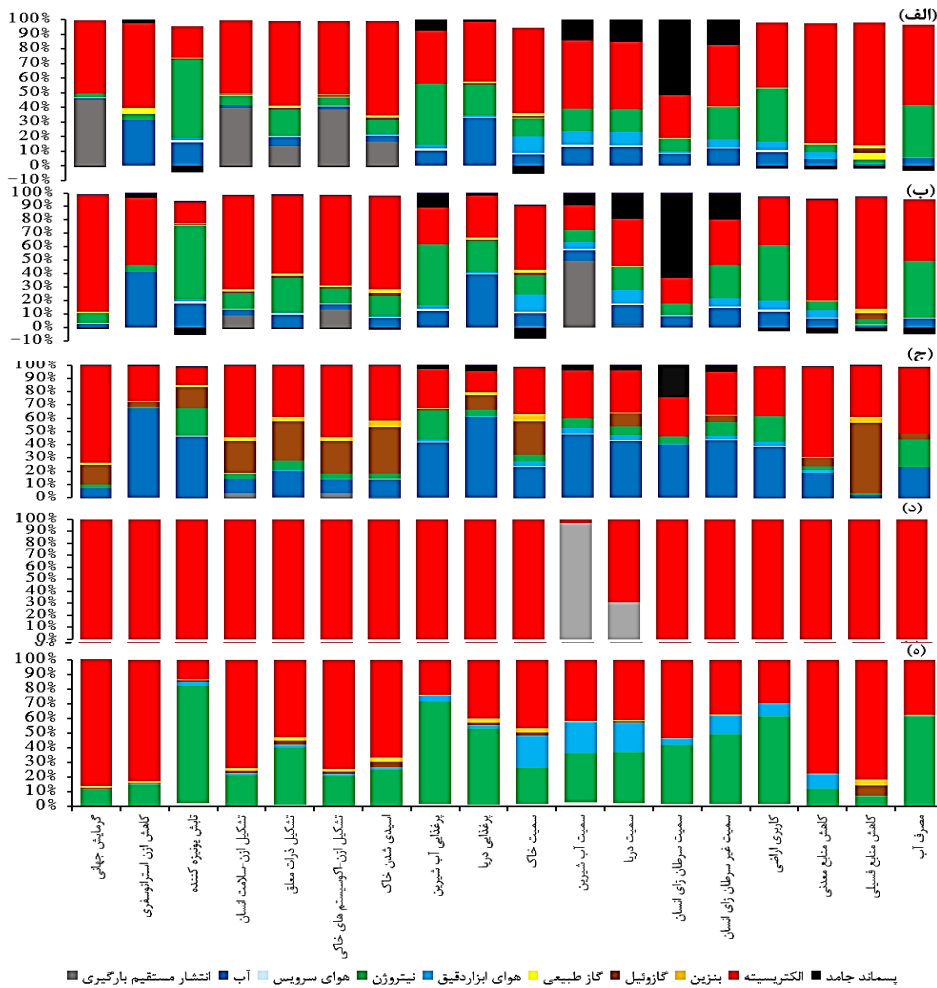
در زیرسامانه بارگیری مایع، (شکل ۴-ب)، الکتریسیته و به‌دنبال آن هوای ابزار دقیق و آب مصرفی نقش اصلی را در بیشتر پیامدها ایفا می‌کنند. مشابه زیرسامانه گازی، دلیل سهم نیتروژن و آب مصرفی در پیامدها، الکتریسیته حاصل از سوخت فسیلی مورد استفاده در جداسازی هوا و فرآیند

اسمز معکوس است. انتشار مستقیم (ناشی از بارگیری مایع)، در پیامد سمیت محیط‌زیستی دریایی، سهم بالایی دارد. در زیرسامانه بارگیری کانتینر (شکل ۴-ج) مصرف الکتریسیته و به‌دنبال آن آب و دیزل به‌ترتیب سهم بیشتری در پیامدهای حاصل دارند. نقش زیاد مصرف آب با توجه به سهم بیشتر سامانه کانتینری (۴۵ درصد) در مقایسه با سایر زیرسامانه‌ها در مصرف آب قابل توجیه است. بخش عمده آب مصرفی بندر، برای مصارف انسانی و آبیاری فضای سبز است که براساس سرانه تعداد کارکنان به هر زیرسامانه تقسیم‌بندی شده است. گازوئیل نیز همچنان که انتظار می‌رود سهم قابل توجهی در پیامدهای کاهش منابع فسیلی، اسیدی شدن خاک، تشکیل ذرات معلق و تشکیل اُزن - سلامت انسان دارد. در زیرسامانه بارگیری فله، همان‌طور که در شکل ۴-د نشان داده شده است، پیچیدگی کمی در مقایسه با سایر زیرسامانه‌ها دارد. برق مصرفی نوار نقاله و ریزش اُره به دریا و نفوذ به خاک در هنگام بارگیری به‌عنوان عوامل پیامدهای بارگیری در نظر گرفته شده است. در زیرسامانه بارگیری تانکر (شکل ۴-ه)، مصرف برق و نیتروژن عمدتاً عامل همه پیامدها در این زیرسامانه هستند. براساس نتایج به‌دست آمده برای همه روش‌های بارگیری، می‌توان بیان نمود که در کل، الکتریسیته مهم‌ترین عامل در کلیه زیرسامانه‌ها و در بیشتر پیامدها است. به‌دنبال آن نیتروژن مصرفی قرار دارد. بدین ترتیب الکتریسیته به‌صورت مستقیم و غیر مستقیم بزرگترین سهم را در اکثر پیامدهای زیرسامانه‌های بارگیری دارد.

پسماند به‌دلیل انجام عملیات بازیافت و مدیریت پسماند به دو شکل بهبوددهنده و تشدیدکننده نقش دارد و در پیامدهای سمیت به‌خصوص سمیت سرطان‌زایی برای انسان دارای نقش عمده است. همچنین بازیافت پسماند در بهبود یکسری پیامدها، نقش جزئی دارد. مقادیر منفی ارائه شده در نمودار نمایانگر بهبود در پیامدها است. بررسی سهم پسماندهای مختلف نشان داد، خاکستر دریافتی از کشتی‌ها بیشترین سهم را در پیامدهای ناشی از پسماند دارد.

جدول ۲- پیامدهای زیرسامانه‌های بارگیری به‌ازای واحد عملکردی در محدوده ۱ (مبدأ تا بندر) و محدوده ۲ (بندر)

پیامد		واحد		بارگیری گاز		بارگیری مایع		بارگیری کانتینر		بارگیری تانکر		بارگیری فله	
محدوده													
				۱		۲		۱		۲		۱	
گرمايش جهانی	kgCO ₂ eq	۲۴۰E-۳	۷۱۳E-۱	۶۸۵E-۴	۲۱۰۶E-۱	۵۱۳۳E-۴	۹۱۹۴E-۱	۹۱۷۱E-۵	۵۱۹۰E+۵	۱۰۹E-۳	۲۵۸E-۳	۱۰۹E-۳	۲۵۸E-۳
کاهش آزن استراتوسفری	kg CFC ₁₁ eq	۷۱۰۹E-۹	۱۷۷۴E-۷	۳۱۱E-۱۰	۱۰۰۶E-۷	۱۰۰۶E-۷	۷۱۹۴E-۷	۴۱۴۱E-۱۱	۱۷۷۵E-۱	۴۹۵E-۱۰	۳۷۵E-۹	۴۹۵E-۱۰	
تابش یونیزه کننده	kBqCo-60eq	۷۱۰۹E-۵	۲۵۷E-۳	۲۱۰۲E-۵	۱۷۷۷E-۳	۵۱۴۳E-۶	۹۱۳۸E-۳	۲۱۸۶E-۶	۶۵۷E+۳	۳۲۱E-۵	۸۱۸E-۵	۳۲۱E-۵	
تشکیل آزون سلامت انسان	kg NOx eq	۳۴۴E-۶	۷۲۰E-۴	۹۸۵E-۷	۲۱۶۱E-۴	۱۳۰E-۶	۱۳۸E-۳	۱۸۵E-۴	۷۰۴E+۲	۱۵۷E-۶	۳۵E-۶	۱۵۷E-۶	
تشکیل ذرات معلق	kg PM2/5 eq	۱۸۶E-۶	۲۳۷E-۴	۵۳۰E-۷	۱۲۱E-۴	۷۹۰E-۷	۷۴۵E-۴	۷۵۱E-۸	۳۷۸E+۲	۸۳۲E-۷	۵۵۷E-۷	۸۳۲E-۷	
تشکیل آزن اکوسیستم‌های خاکی	kg NOx eq	۳۵۶E-۶	۷۳۷E-۴	۱۰۱E-۶	۱۲۸۳E-۴	۱۳۷E-۶	۱۴۳E-۳	۱۳۷E-۶	۷۲۷E+۲	۱۶۱E-۶	۴۰۶E-۶	۱۶۱E-۶	
اسیدی شدن خاک	kg SO ₂ eq	۵۰۶E-۶	۶۳۸E-۴	۱۴۴E-۶	۳۱۰E-۴	۲۱۶۴E-۶	۲۱۰۷E-۳	۲۱۰۵E-۷	۹۰۲E+۲	۲۸E-۶	۳۱۹E-۶	۲۸E-۶	
پرغذایی آب شیرین	kg P eq	۶۱۷۰E-۸	۲۱۰۵E-۵	۱۹۱E-۸	۱۳۱E-۵	۹۳۸۳E-۵	۵۴۰E-۵	۲۱۷E-۹	۴۳۹E+۱	۳۰۴E-۸	۸۲۰E-۸	۳۰۴E-۸	
پرغذایی دریا	kg N eq	۸۱۹۹E-۹	۵۱۲E-۶	۲۵۶E-۹	۳۱۷E-۶	۵۸۸E-۹	۳۱۲E-۵	۳۶۳E-۱۰	۱۰۸E+۱	۴۱۷E-۹	۵۲۷E-۸	۴۱۷E-۹	
سمیت خاک	kg 1,2,4-DCB	۲۵۰E-۳	۱۱۵E-۱	۷۱۲E-۴	۶۱۷E-۲	۴۱۲E-۴	۴۳۶E-۱	۱۱۸E-۴	۲۳۳E+۵	۱۱۳E-۳	۳۳۶E-۳	۱۱۳E-۳	
سمیت آب شیرین	kg 1,2,4-DCB	۲۹۱E-۳	۱۱۷E-۱	۳۳۴E-۶	۳۱۸۰E-۳	۱۴۴E-۷	۸۰۴E-۳	۱۱۶E-۶	۴۶۳E+۳	۵۳۲E-۶	۹۲۲E-۴	۵۳۲E-۶	
سمیت دریا	kg 1,2,4-DCB	۱۷۱E-۵	۳۱۸E-۳	۴۸۷E-۶	۲۱۶۰E-۳	۳۸۱E-۶	۳۱۶E-۲	۱۱۶E-۶	۶۰۹E+۳	۷۱۳E-۶	۴۲۲E-۴	۷۱۳E-۶	
سمیت سرطان‌زای انسان	kg 1,2,4-DCB	۱۰۲E-۵	۷۵۸E-۳	۲۹۱E-۶	۶۱۴E-۳	۲۱۱E-۷	۱۶۲E-۲	۷۱۷E-۴	۶۰۳E+۳	۴۶۲E-۶	۵۱۷E-۵	۴۶۲E-۶	
سمیت غیر سرطان‌زای انسان	kg 1,2,4-DCB	۲۶۲E-۴	۶۴۱E-۲	۷۴۷E-۵	۴۱۲E-۲	۲۹۰E-۵	۱۷۹E-۱	۱۶۸E-۳	۱۰۵E+۵	۱۱۹E-۴	۹۱۴E-۴	۱۱۹E-۴	
کاربری ارضی	m ² a crop eq	۲۱۰۹E-۵	۵۷۹E-۳	۵۱۷E-۶	۳۱۶E-۳	۰۰۰E+۰	۱۴۸E-۲	۸۴۵E-۷	۱۳۱E+۴	۹۲۸E-۶	۸۲۶E-۵	۹۲۸E-۶	
کاهش منابع معدنی	kg Cu eq	۸۵۱E-۷	۲۳۳E-۴	۲۴۳E-۷	۱۲۵E-۴	۱۴۴E-۷	۶۱۹E-۴	۳۴۴E-۸	۳۷۵E+۲	۳۸۶E-۷	۴۲۵E-۶	۳۸۶E-۷	
کاهش منابع فسفیلی	kg oil eq	۸۲۷E-۴	۱۵۶E-۱	۲۴۲E-۴	۷۱۹E-۲	۱۳۷E-۳	۷۱۲E-۱	۳۴۲E-۵	۲۳۷E+۵	۳۸۴E-۴	۲۵۲E-۳	۳۸۴E-۴	
مصرف آب	m ³	۴۰۳E-۶	۸۳۹E-۴	۱۱۸E-۶	۴۲۳E-۴	۴۱۰E-۷	۶۳۲E-۴	۱۶۳E-۷	۱۶E+۳	۱۶E-۶	۴۰۶E-۵	۱۶E-۶	



شکل ۴- سهم عوامل مختلف در پیامدهای هر یک زیرسامانه بارگیری الف-گازی، ب-مایع، ج-کانتینری، د-فله،

ه-تانکری



شکل ۵- سهم هریک از روش‌های بارگیری در پیامدهای کلی عملیات بندری به‌ازای واحد عملکردی

مایع، گاز و کانتینر دارد، توصیه می‌شود که سناریوهای بهبود با تمرکز بر صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف برق و همچنین و جایگزینی برق فسیلی با انرژی تجدیدپذیر تدوین گردد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نقش مهم بنادر به‌عنوان نقاط تقاطع زنجیره تأمین و لزوم پاسخگویی در برابر چالش‌های جهانی و منطقه‌ای، ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان یک روش همه‌جانبه ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی می‌تواند پشتیبان مناسبی برای تصمیم‌گیری باشد.

این شیوه ارزیابی تاکنون برای بررسی عملیات در بنادر غیر کانتینری استفاده نشده است. همچنین تاکنون سیاهه موجودی با این سطح از جزئیات بر اساس داده‌های واقعی عملیات بندری و با در نظر گرفتن کلیه منابع انتشار و ضایعات مایع و جامد جهت ارزیابی عملیات بنادر بکار گرفته نشده است. این مطالعه اولین ارزیابی چرخه حیات بندر پتروشیمی با زیرسامانه‌های متنوع بارگیری است. همچنین نظر به اینکه مرحله بارگیری در ارزیابی زنجیره تأمین مواد شیمیایی گنجانده نشده است، نتایج این مطالعه می‌تواند به

همچنین در کلیه زیرسامانه‌ها سهم عوامل مؤثر در محدوده ۱ در مقایسه با سهم عوامل در محدوده ۲ تقریباً ناچیز است. بیشترین نسبت پیامدهای محدوده ۱ به ۲ به میزان ۱/۲٪ مربوط به سمیت خاک در بارگیری گاز است. مقادیر این پیامد برای محدوده ۱ و ۲ به ترتیب 3×10^{-3} و 1×10^{-1} kg DCB-۴ است. نسبت باقی پیامدها در همه زیرسامانه‌ها کمتر از این مقدار و در برخی موارد نزدیک به صفر است. بنابراین توصیه می‌شود جهت کاهش پیامدها بر عملیات محدوده ۲ در داخل مرز بندر تمرکز نمود.

پیامدهای کلی عملیات بارگیری در بندر: هر زیرسامانه بارگیری براساس تناژ بارگیری سالانه در پیامدهای کلی بندر نقش دارد. در شکل ۵، سهم هر زیرسامانه در پیامدهای کلی عملیات بندری به‌ازای هر میلیون تن بارگیری نشان داده شده است. بر اساس نتایج، زیرسامانه‌های بارگیری فله، مایع و گاز سهم عمده‌ای در پیامدهای عملیات بندری دارند. زیرسامانه کانتینر نسبت به سه زیرسامانه فوق نقش کمتری دارد و نقش زیرسامانه تانکر نیز به دلیل مقادیر بارگیری سالیانه پایین‌تر نسبت به بقیه بسیار کمتر است. از آنجایی که الکتریسیته بیشترین سهم را در پیامدهای هر سه زیرسامانه

PM2/5 eq) و کاهش منابع فسيلی (kg oil eq) در ازای بارگيری یک کانتينر ۲۰ فوت به ترتيب ۱۵/۳۶، ۰/۱۸، ۰/۰۸ و ۵/۳۲ گزارش شده است که اين پيامدها در ازای همين مقدار بارگيری در اين مطالعه به ترتيب ۲۹، ۱۲، ۰/۰۳، ۰/۰۱ و ۸/۸۳ برآورد شد.

باتوجه به نتايج به دست آمده در اين مطالعه، الکتريسيته مصرفی که از گاز طبيعی توليد می شود و مهمترين نقش را در پيامدهای هر روش بارگيری و همچنين در پيامدهای کلی عمليات بندری دارد. در بارگيری کانتينری مصرف ديزل نیز پس از الکتريسيته در ايجاد پيامدها نقش مؤثری داشت. در بارگيری گازی انتشار ناشی از فلرینگ در حدود ۵۰٪ انتشار گاز گلخانه‌ای و تشکيل ازن استراتوسفري و ايجاد سميت برای انسان و خاک دارد همچنين در حدود ۲۰٪ سهم در پيامد ذرات معلق و اسيدی شدن خاک را برعهده دارد. با توجه به نتايج، توصيه می گردد که سناريوهای بهبوددهنده با تأکيد برصرفه جویی و بهينه سازی در مصرف الکتريسيته، استفاده از انرژی تجديدپذير و حذف فلرینگ تدوين گردد.

تقدير و تشکر

از مديران و کارکنان محترم بخش HSE، محيطزيست و عمليات بندر پتروشيمي پارس که در تأمين داده‌های مورد نیاز همکاري بسيار ارزشمندی داشته‌اند؛ صميمانه تشکر می نماييم.

References

- Adolfsson, M., Rashid, S., 2016. Life cycle assessment and life cycle cost of heat exchangers a case for inter terminals Sweden AB located in port of Gothenburg. Master's thesis. pp. 8-12.
- Anonymous., 2020. Strategies for air pollution control in PSEEZ-98-04-01. (In Persian).
- Azarkamand, S., Balbaa, A., Wooldridge, C., Darbra, R.M., 2020. Climate change challenges and response options for the port sector. Sustainability 12(17), 1-14.
- Ballester, V.C., Lo-Iacono-ferreira, V.G., Artacho-Ramírez, M.Á., Capuz-Rizo, S.F., 2020. The carbon footprint of valencia port:

عنوان حلقه مفقوده تکميل اين زنجيره مورد استناد قرار گيرد. ارزيايی چرخه حيات ابتدا برای هر یک از زیرسامانه‌های بارگيری و سپس برای کل عمليات بارگيری در بندر انجام شد. نتايج ارزيايی چرخه حيات کل عمليات بندری نشان داد زیرسامانه‌های بارگيری به ترتيب با سهم تقريبی فله (۶۵٪-۸٪)، مايع (۵۰٪-۱۵٪) و گاز (۳۵٪-۱۰٪) در پيامدهای مختلف نقش دارند. سهم زیرسامانه کانتينری در پيامدهای کلی به مقدار کمتری (۳۸٪-۸٪) است و سهم زیرسامانه تانکر نیز در مقايسه با ديگر زیرسامانه‌ها بسيار ناچيز (۵٪-۲٪) است. در پيامد گرمایش جهانی بارگيری گاز بيشتريين سهم (در حدود ۳۵٪) را دارد. ارزيايی اين زیرسامانه بارگيری نشان داد که در آن الکتريسيته ۵۰٪ و انتشارمستقيم بارگيری ناشی از فلر حدود ۴۵٪ سهم دارد. بارگيری فله در حدود ۳۰٪ در اين پيامد سهم دارد که کلاً مربوط به مصرف الکتريسته است. بارگيری مايع در حدود ۲۰٪ سهم دارد که ارزيايی اين زیرسامانه نقش مصرف الکتريسيته را در حدود ۹۵٪ نشان داده است. بارگيری کانتينری نیز در حدود ۲۰٪ در پيامد گرمایش جهانی نقش دارد در ارزيايی اين زیرسامانه مشخص شد ۷۵٪ آن ناشی از الکتريسيته و کمتر از ۲۰٪ مربوط به ديزل مصرفی می‌اشد.

در مطالعه Mokkhavas و Prapasongsa (۲۰۱۸) مقادير پيامدهای گرمایش جهانی (kg CO₂ eq)، اسيدی شدن خاک (kg SO₂ eq)، تشکيل ذرات معلق (kg

A case study of the port authority of Valencia (Spain), International Journal of Environmental Research and Public Health 17(21), 1-16.

- Boucher, J., Evequoz, P., Friot, D., Mayer, S., & Lierde, N. Van., 2017. Adopting a life cycle perspective through ISO14001: a game changer how to increase your company's performance using ecodesign.
- BP., 2019. Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries. BP Energy Outlook 4, 1-48. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy->

- outlook-2019.pdf
- Chang, C.C., Huang, P.C., Tu, J.S., 2019. Life cycle assessment of yard tractors using hydrogen fuel at the Port of Kaohsiung, Taiwan. *Energy* 189, 116222.
- Corrado, S., Rydberg, T., Oliveira, F., Cerutti, A., Sala, S., 2020. Out of sight out of mind? A life cycle-based environmental assessment of goods traded by the European Union. *Journal of Cleaner Production* 246, 118954.
- Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O.Y., Mattauch, L., Van Vuuren, D.P., McCollum, D., Minx, J., 2015. Transport: A roadblock to climate change mitigation?. *Science* 350(6263), 911-912.
- Darbra, R. M., Wooldridge, C., Puig, M., 2020. ESPO Environmental Report 2020 EcoPortsinSights 2020. *Environmental Policy and Law* 4(4), 177.
- De Los Reyes, R., Fernández-Sánchez, G., Esteban, M.D., Rodríguez, R.R., 2020. Carbon footprint of a port infrastructure from a life cycle approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(20).
- EPA., 1950. AP-42 Gasoline and diesel industrial engines, Issue Ic, pp. 1-15, EPA.
- EPA., 2006. Air emissions factors and quantification. liquid storage tanks. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification>. (Accessed January 2022)
- EPA., 2021. Inventory guidance: Ports emissions inventory guidance, Methodologies for estimating port-related and goods movement mobile source emissions, EPA.
- EPA., 2021. MOVES and other mobile source emissions models | US EPA. <https://www.epa.gov/moves>. (Accessed January 2022).
- Fridell, E., Stripple, H., Winnes, H., 2016. Port infrastructures in a system perspective: a part of the project environmental calculations for transport infrastructure. <https://trid.trb.org/view/1506472> (Accessed January 2022).
- Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I., 2017. *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*, Springer, pp. 162-170.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R., 2016. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level, *International Journal of Life Cycle Assessment* 22(2), 138-147.
- IAPH., 2018. World Ports Sustainability Program (Wpsp) Chapter, Issue March, pp. 14-18. https://movisa.org.mx/images/NoBS_Report.pdf
- ISO., 2020. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. Amendment 2, ISO. <https://www.iso.org/standard/76122.html>
- Kim, J., Rahimi, M., Newell, J., 2011. Life-Cycle Emissions from Port Electrification: A Case Study of Cargo Handling Tractors at the Port of Los Angeles 6(6), 321-337.
- Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M., Mousazadeh, H., Zarea-Hosseiniabadi, H., Nabavi-Pelesaraei, A., 2016. Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. *Journal of Cleaner Production* 112, 343-350.
- Maranghi, S., Brondi, C., 2019. Life cycle assessment in the chemical product chain challenges, methodological approaches and applications, *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9).
- Mou, N., Wang, C., Yang, T., Zhang, L., 2020. Evaluation of development potential of ports in the Yangtze River Delta using FAHP-entropy model. *Sustainability* 12(2), 439.
- Nahlik, M.J., Kaehr, A.T., Chester, M.V., Horvath, A. & Taptich, M.N., 2016. Goods movement life cycle assessment for greenhouse gas reduction goals. *Journal of Industrial Ecology* 20(2), 317-328.
- OLR, IRI., 2020. Action letter of the executive bodies to reduce environmental pollution from industries located in the Pars Energy Special Economic Zone. Organization of laws and regulations of the Islamic Republic of Iran. (in Persian)
- PSEEZ., 2015. Notification of establishment of energy management. Pars special energy economic zone organization. (In Persian)
- PSEEZ., 2018. Investment handbook, Pars special economic energy zone, Features, and potentials. (In Persian)
- Prapasongsa, T., Mookhavas, O., 2018. Life cycle assessment of automated container port logistics systems. The 7th international conference on green and sustainable innovation (ICGSI)16-20 October, Bangkok, Thailand.

- Scharpenberg, C., Pohl, E., Lauven, L.-P., Geldermann, J., 2018. Ecological assessment of port equipment for container terminals. Logistics and sustainable supply chain management, Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), pp. 3-20.
- Vujičić, A., Zrnić, N., Jerman, B., 2013. Ports sustainability: A life cycle assessment of zero emission cargo handling equipment. Journal of Mechanical Engineering 59(9), 547-555.
- Xu, J., Cruz-Machado, V.A., Lev, B., Nickel, S., 2014. Advances in intelligent systems and computing Vol. 281, Issue January. Springer.
- Zhang, Y., Kim, C.W., Tee, K.F., Lam, J.S.L., 2017. Optimal sustainable life cycle maintenance strategies for port infrastructures. Journal of Cleaner Production 142, 1693-1709.
- Zhou, Y., Zhang, Y., Ma, D., Lu, J., Luo, W., Fu, Y. & Li, S., 2020. Port-Related Emissions, Environmental Impacts and their implication on green traffic policy in Shanghai. Sustainability 12(10), 4162.

Lifecycle assessment of gas, liquid, container, bulk, and tanker loading in petrochemical Port

Samaneh Fayyaz¹, Mazaher Moeinaddini^{*1}, Sharareh Pourebrahim¹, Ali Kazemi²,
Benyamin Khoshnevisan³

¹Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

²Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran

³Department of Life Cycle Engineering, University of Southern Denmark, Denmark

*Corresponding author: moeinaddini@ut.ac.ir

Abstract

Ports are involved in transferring more than 80% of materials and goods. With life cycle assessment, all environmental impacts are assessed simultaneously and this method has not been implemented for non-container ports. The goal of the study is life cycle assessment of liquid, gas, container, bulk, and tanker loading in the port to define the most impactful processes-sub in the port operations. Life cycle assessment is done from the source of production to the port (scope 1) and from the gate of the port to loading to ships (scope 2). One MMt of loading material is considered as functional unit. The results of the study showed that the impacts of scope 1 are far lower than scope 2 and it is worth focusing on scope 2 for any environmental improvements. In the global warming impact, gas loading has the highest share of 35%, of which 50% is due to electricity, and 45% is due to flaring. Bulk loading with a share of 30% entirely due to electricity is the second. Liquid loading with a share of 20% has the third rank as a result of electricity by 95%. It can be seen that in all sub-processes, electricity has a major role in all impact categories. In port operation LCA, per each MMt of total loading, bulk, liquid, and gas loading have the highest share over 18 impact categories to different extents. It is suggested to develop improving scenarios focused on electricity consumption, considering renewable energy sources, and no flaring for the port.

Keywords: Life cycle assessment, Impact category, Port emission inventory