نشریه علوم و مهندسی
آب و فاضلاب
سال اول، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۵

علوم و مهندسی
آب و فاضلاب

Journal of Water & Wastewater Science & Engineering (jwwse) Winter 2017, Vol. 1, No. 1.
Doi:10.22112/jwwse.2017.51057

مقایسه اثرات زیست‌محیطی ناشی از ساخت و اجرای انواع لوله‌های شبکه توزیع آب با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات

محسن حاجی بابایی[۱]، سارا نظیف[۲*]، سجاد واحدی زاده[۱]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول، ایمیل: snazif@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۵
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۵/۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۴

چکیده

اهمیت شبکه‌های توزیع آب در حفظ بهداشت و سلامت جامعه و همچنین نقش آن‌ها در ارائه خدمات عمومی به ساکنین شهرها و روستاها، باعث شده است تا مطالعات زیادی به بررسی عملکرد این شبکه‌ها بپردازند. بیشتر مطالعات صورت گرفته به جنبه‌های هیدرولیکی و کیفی شبکه‌ها پرداخته و این در حالی است که جنبه‌های زیست‌محیطی شبکه‌های توزیع آب کمتر موردتوجه قرار گرفته است. این مطالعه به بررسی اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید، حمل و نصب لوله‌های پی‌وی‌سی، پلی‌اتیلن با وزن مخصوص بالا، سیمانی الیاف دار و چدن نشکن پرداخته است. همچنین در فرآیند نصب، با در نظر گرفتن ترانشه مختص هر لوله، مقایسه‌ای بین اثرات زیست‌محیطی انواع ترانشه‌ها نیز صورت گرفته است. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی چرخه حیات گزینه‌های موجود، از نرم‌افزار SimaPro 8 استفاده‌شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که درمجموع سه فاز تولید، حمل و نصب، لوله‌های چدن نشکن بیشترین و لوله‌های پی‌وی‌سی کمترین اثرات زیست‌محیطی را به خود اختصاص می‌دهند. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنمایی برای طراحی و اجرای شبکه‌های توزیع آب با کمترین اثرات زیست‌محیطی موردتوجه قرار گیرد. در این مطالعه بخشی از شبکه توزیع آب شهر تهران به‌عنوان مطالعه موردی بررسی و پتانسیل کاهش اثرات زیست‌محیطی این شبکه با انتخاب لوله‌های مختلف تعیین‌شده است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، ارزیابی چرخه عمر، لوله‌ها، ترانشه‌ها، اثرات زیست‌محیطی

Comparing the Environmental Impacts Caused by Construction and Implementation of Different Pipes in Water Dis tribution Network using Life Cycle Assessment (LCA) Method

Mohsen Hajibabaei[1], Sara Nazif [2]* and Sajad Vahedizade[1]

1-MSc. Student, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Assis tant Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

*Corresponding Author, Email: snazif@ut.ac.ir

Received: 5/6/2017
Revised: 25/8/2017
Accepted: 26/8/2017

Abstract

Because of importance of water distribution networks in social health and their role in providing public service in urban and rural areas, many studies have inves tigated these networks performance. Most of the studies have focused on hydraulic and qualitative aspects of these networks, while the environmental aspects of them are less considered. In this study, the environmental impacts of production, transportation and ins tallation of Polyvinyl Chloride (PVC), High-Density Polyethylene (HDPE), Ductile Iron (DI) and Fiber cement pipes are investigated. Furthermore, considering the characteristics of the specific trench that is used for each pipe ins tallation, environmental impacts of different trenches are compared in ins tallation phase. In this paper, SimaPro 8 is used to evaluate the life cycle of considered alternatives. The results indicate that DI and PVC pipes have respectively the highest and lowes t environmental impacts in the whole process of production, transportation and ins tallation. The results of this study can be used as a guideline in design and cons truction of water distribution networks with the lowest environmental impacts. In this paper, a part of water dis tribution network of Tehran is chosen as the case study and the reduction potential of environmental impacts through using different pipes is investigated.

Keywords: Water dis tribution network, Life Cycle Assessment (LCA), Pipes, Trenches, Environmental impacts

۱- مقدمه

رشد جمعیت و صنعتی شدن شهرها باعث انتشار گازهای سمی، گرم شدن کره زمین و ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی فراوانی شده است. این امر محققان را بر آن داشت تا با بررسی اثرات زیست‌محیطی محصولات و خدمات، به انتخاب گزینه‌هایی با کمترین اثرات زیست‌محیطی بپردازند. همچنین باتوجه به نقش پروژه های عمرانی در پیامدهای زیست‌محیطی، در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی طرح‌ها و زیرساخت‌های عمرانی امری ضروری است. ازآن‌جایی‌که شبکه‌های توزیع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای زیرساخت‌های شهری محسوب می‌شوند، در دهه‌های گذشته جنبه‌های زیست‌محیطی این شبکه‌ها موردتوجه قرارگرفته است. متاسفانه در کشور ایران مطالعات اندکی به بررسی پیامدهای زیست‌محیطی شبکه‌های توزیع آب پرداخته‌اند و بیشتر آن‌ها جنبه‌های هیدرولیکی و کیفی این شبکه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. تحلیل چرخه عمر[۱] از روش‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری مهمی است که اثرات زیست‌محیطی محصولات و خدمات را موردبررسی قرار می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از تحلیل چرخه عمر، به مقایسه اثرات زیست‌محیطی چهار نوع لوله در سه فاز تولید، حمل و نصب پرداخته‌شده است. بنابراین در این مطالعه به پرسش‌های زیر پاسخ داده خواهد شد.

- اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید جنس‌های مختلف لوله نسبت به‌یکدیگر چقدر است؟

- سهم هر یک از فازهای تولید، حمل و نصب در اثرات زیست محیطی لوله‌ها چه مقدار است؟

- کدام یک از ترانشه‌های درنظر گرفته شده برای لوله‌ها کمترین اثرات زیست‌محیطی را بخود اختصاص می‌دهد؟

- چه مقدار پتانسیل کاهش اثرات زیست‌محیطی در شبکه مورد مطالعه وجود دارد؟

در ادامه به بررسی مطالعات مرتبط با ارزیابی چرخه حیات در شبکه های توزیع آب پرداخته می شود. گروهی از مطالعات به‌طور خاص به بررسی اثرات زیست‌محیطی لوله‌های شبکه توزیع آب یا شبکه جمع‌آوری فاضلاب اختصاص دارند. برای مثال Piratla et al. (2012) مقدار دی‌اکسید کربن آزاد شده در طول چرخه عمر چهار جنس از لوله‌های شبکه آب با قطر ۲۰۰ میلی‌متر را مورد بررسی قراردادند. در این تحقیق مراحل مختلف چرخه حیات لوله‌ها در نظر گرفته‌شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که لوله‌های پی‌وی‌سی مولکولی‌گرا[۲] در مقایسه با لوله‌های پی‌وی‌سی[۳]، چدنی[۴] و پلی‌اتیلن با وزن مخصوص بالا[۵]، مناسب‌ترین جنس ازنظر مقدار دی‌اکسید کربن آزادشده هستند. Sanjuan-delmás et al. (2014) با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات اثرات زیست‌محیطی لوله‌های شبکه توزیع آب را برای پنج جنس مختلف مقایسه کردند. در این تحقیق تنها فاز ساخت، حمل و نصب لوله‌ها در نظر گرفته‌شده و فاز بهره‌برداری و نگهداری وارد محاسبات نشده است. در این مطالعه دو قطر ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌متر که در شهرهای کوچک تا متوسط کاربرد زیادی دارند، مورد بررسی قرارگرفته است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در قطرهای ۹۰ میلی‌متر، لوله‌های پی‌وی‌سی و پلی‌اتیلن با وزن مخصوص بالا اثرات زیست‌محیطی مشابه ای دارند.

Petit-Boix et al. (2014) با استفاده از تحلیل چرخه عمر به بررسی اثرات زیست‌محیطی لوله‌های پلی‌اتیلن، پی‌وی‌سی، سیمانی الیاف دار و بتنی، در شبکه جمع‌آوری فاضلاب پرداختند. در این مطالعه اثرات زیست‌محیطی ناشی از اجرای دو ترانشه برای لوله‌های پلاستیکی و دو ترانشه برای لوله‌های سیمانی و بتنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، لوله‌های پلی‌اتیلن بیشترین و لوله‌های بتنی کمترین اثرات زیست‌محیطی را به خود اختصاص می‌دهند. در این مطالعه فاز بهره‌برداری از شبکه در نظر گرفته نشده است. Vahidi et al. (2016) با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر، اثرات زیست‌محیطی شش نوع از لوله‌های شبکه جمع‌آوری فاضلاب را موردبررسی قراردادند. در این تحقیق علاوه بر فازهای تولید، حمل و نصب لوله‌ها، فاز بهره‌برداری از شبکه نیز در نظر گرفته‌شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که لوله‌های پی‌وی‌سی کمترین اثرات زیست‌محیطی را به خود اختصاص می‌دهند. در این مطالعه برای فاز نصب، تنها حفاری ترانشه در نظر گرفته‌شده است و از سایر ماشین‌آلات و مصالح مورداستفاده برای ترانشه، صرف‌نظر شده است.

وزن اثرات زیست‌محیطی هر یک از فازهای تولید، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری به گزینه‌ای که به‌عنوان

مطالعه موردی انتخاب می‌شود، وابستگی زیادی دارد. به‌عنوان‌مثال Stokes and Horvath (2006) با استفاده از ارزیابی چرخه انرژی سامانه‌های تأمین و توزیع آب نشان دادند ۹۱٪-۶۰٪ اثرات زیست‌محیطی مربوط به فاز بهره‌برداری (شامل پمپاژ آب) و ۳۶ ٪-۵٪ اثرات زیست‌محیطی مربوط به فاز تعمیر و نگهداری است. این در حالی است که فاز تولید تنها ۹٪-۴٪ اثرات زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده است. نتایج مشابه این تحقیق در مطالعات دیگر نیز یافت می‌شود Stokes and Horvath (2009), Roghani (2013) در بخشی از مطالعه خود با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر ورودی خروجی[۶] مقدار دی‌اکسید کربن معادل آزادشده را در شبکه جمع‌آوری فاضلاب محاسبه کرد. در این مطالعه علاوه بر در نظر گرفتن انرژی لازم برای تولید، انرژی مصرفی در فعالیت‌های بازرسی و تعمیر و نگهداری لوله‌های شبکه فاضلاب نیز وارد محاسبات شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مراحل ساخت و نصب لوله‌ها، نقش اساسی در تولید گازهای گلخانه‌ای دارند. در این تحقیق تنها یک جنس لوله در نظر گرفته شده است.

در تحقیق پیش رو اثرات زیست‌محیطی تولید لوله‌های پی‌وی‌سی، پلی‌اتیلن با وزن مخصوص بالا، سیمانی الیاف دار و چدن نشکن با استفاده از روش تحلیل چرخه عمر، بررسی می‌شود. در مرحله بعد با توجه به استانداردهای موجود و اطلاعات جمع‌آوری شده درباره نصب لوله‌های مختلف، اثرات زیست‌محیطی ترانشه‌های هر لوله بررسی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. سپس با تجمیع اثرات زیست‌محیطی ناشی از فازهای تولید، حمل و نصب، اثرات زیست‌محیطی نهایی هر لوله، تعیین خواهد شد. سعی شده است تا اطلاعات ورودی به نرم‌افزار بر اساس داده‌های موجود در کشور باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان نشانگری در شبکه‌های توزیع آب به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین مصالح، با کمترین اثرات زیست‌محیطی موردتوجه قرار گیرد.

۲- روش شناسی

در این مطالعه به‌منظور بررسی و مقایسه اثرات زیست‌محیطی از روش ارزیابی چرخه عمر استفاده‌شده است. با استفاده از این روش ابتدا کلیه منابع مصرف‌شده و فعالیت‌های انجام‌شده برای هدف موردنظر تعیین و سپس کلیه مواد منتشرشده به محیط و پیامدهای ناشی از انتشار آن‌ها بررسی می‌شود. در مورد مزایا و کمبودهای روش ارزیابی چرخه حیات نسبت به سایر روش‌های ارزیابی اثرات زیست محیطی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- در این روش با استفاده از نرم‌افزارهای موجود، امکان کمی‌کردن اثرات زیست محیطی و طبقه بندی آن‌ها در گروه‌های مختلف وجود دارد.
- در کشورهای مختلف، پایگاه‌های داده معتبری برمبنای روش ارزیابی چرخه حیات توسعه یافته اند که در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.
- برای استفاده از روش‌ارزیابی چرخه‌حیات نرم‌افزارهای زیادی وجود دارد که از معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به نرم‌افزار Simapro اشاره داشت. این نرم‌افزار مجهز به پایگاه داده معتبر و روش‌های مختلف است.
- مقایسه‌های صورت گرفته در این روش تنها به جنبه‌های زیست‌محیطی اشاره دارد و جنبه‌های اقتصادی در آن لحاظ نمی‌شود.
- ارزیابی دقیق اثرات زیست‌محیطی محصولات و خدمات در چارچوب روش ارزیابی چرخه حیات به جمع‌آوری حجم زیادی از داده‌های قابل استناد نیاز دارد که این فرآیند می‌تواند امری زمان‌بر و پرهزینه باشد.

سازمان استاندارد جهانی[۷] در استاندارد ۱۴۰۴۰ ارزیابی چرخه عمر را به‌صورت گردآوری و ارزیابی ورودی‌ها و خروجی‌ها و پیامدهای بالقوه زیست‌محیطی یک محصول در سراسر چرخه عمر آن تعریف می‌کند (ISO, 2006). درواقع چارچوب ارزیابی چرخه عمر شامل گام‌های تعریف هدف و دامنه کاربرد[۸]، تجزیه‌وتحلیل موجودی‌ها (سیاهه چرخه عمر)[۹] ، ارزیابی اثرات چرخه عمر[۱۰] و تفسیر[۱۱] است (ISO, 2006).

۲-۱- تعریف هدف و دامنه کاربرد

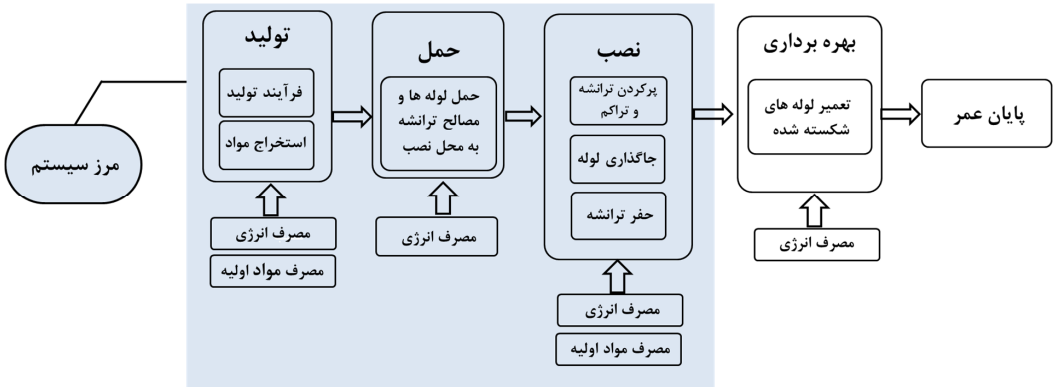
این مرحله شامل تعیین هدف مطالعه، مرزهای سیستم و واحد عملکرد[۱۲] سیستم است (Kirk et al., 2005). مقایسه ارزیابی چرخه عمر بر مبنای مقایسه کردن اثرات زیست‌محیطی ناشی از مقدار معینی از محصول یا خدمتی که ثمره کار سیستم است انجام می‌شود و این مقدار معین، واحد عملکرد نامیده می‌شود (Akhoundi, 2016). هدف از این تحقیق مقایسه اثرات زیست‌محیطی تولید، حمل و نصب چهار جنس لوله در دو اندازه مختلف است. مرز سیستم شامل فعالیت‌های

انجام‌شده در فاز تولید، حمل و نصب است. شکل ۱ شامل کل فازهای شبکه توزیع است که در آن مرز سیستم درنظر گرفته شده با کادر مشخص شده است. در این مطالعه اثرات ناشی از فاز بهره‌برداری از شبکه در نظر گرفته نشده است. همچنین واحد عملکردی به‌صورت یک متر لوله تعریف‌شده و اثرات زیست‌محیطی تمام فازها بر اساس واحد عملکردی یک متر لوله محاسبه‌شده است.

۲-۲- تجزیه‌وتحلیل موجودی (سیاهه چرخه عمر)

این مرحله شامل شناسایی و کمی کردن کلیه منابع مورداستفاده مانند انرژی، آب، مواد خام و فرآوری شده؛ کلیه مواد منتشر شده به محیط‌زیست مانند انتشار آلاینده‌ها به هوا، خاک، آب و ضایعات ناشی از تولید و مصرف محصول است. ازآنجایی‌که در تولید محصولات نهایی، خدمات و کالاهای زیادی نقش دارند، بررسی اثرات زیست‌محیطی یک محصول نهایی به حجم زیادی از داده‌های ورودی نیاز دارد. جمع‌آوری مستقیم این داده‌ها امری زمان‌بر و پرهزینه است، لذا می‌توان از پایگاه‌های داده معتبر استفاده کرد. پایگاه Ecoinvent نسبت به پایگاه‌های دیگر دارای حجم وسیعی از اطلاعات محصولات و خدمات است (Ecoinvent, 2009). این پایگاه از مقبولیت جهانی برخوردار بوده و دارای حجم وسیعی از داده‌های قابل استناد مانند مصالح ساختمانی، فلزات، برق، فرآیندهای تولیدی، فرآیندهای ساختمانی، ماشین‌آلات حمل‌ونقل، مدیریت پسماند، تأمین آب و ... است (Ecoinvent, 2009). در این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی از نرم‌افزار Simapro (Pre' Consultants, 2014) استفاده شده است. این نرم‌افزار یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه عمر و حاوی اطلاعات پایگاه داده Ecoinvent v3 است. در این مطالعه با توجه به جدول ۱، مواد اولیه و فرآیندهای مرتبط با هر یک از فازها با توجه به داده‌های موجود در کشور مشخص می‌شوند.

در مرحله بعد اطلاعات جمع‌آوری‌شده با استفاده از پایگاه داده، وارد نرم‌افزار می‌شود. به‌منظور مقایسه اثرات زیست‌محیطی لوله‌های پلی‌اتیلن با وزن مخصوص بالا، پی‌وی‌سی، چدن نشکن و سیمانی الیاف دار دو قطر ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. با توجه به تعداد زیاد داده‌های ورودی به نرم افزار در جدول ۲، برای نمونه داده‌های ورودی مربوط به یک متر لوله چدن نشکن به قطر ۲۰۰ میلی‌متر در سه فاز تولید، حمل و نصب آورده شده است. فاز تولید شامل مواد و فرآیندها برای تولید لوله است که اطلاعات این فاز به‌وسیله جمع‌آوری داده‌های موردنیاز از کارخانه‌ها به‌دست‌آمده است. برای تمام قطرها، از لوله‌هایی با فشار حداکثر ۱۰ بار استفاده‌شده است. تلاش شده که اطلاعات این فاز به‌صورت کامل گردآوری شود. برای مثال برای لوله‌های چدن نشکن علاوه بر مواد و فرآیندهای اصلی، مصالح و فرآیندهایی که برای پوشش‌های داخلی و خارجی لوله‌ها استفاده می‌شوند نیز در نظر گرفته‌شده است. این در حالی است که در بیشتر مطالعات پیشین از اثرات این پوشش‌ها صرف‌نظر شده است. با توجه به اثرات نامطلوب آزبست بر سلامتی انسان و ممنوعیت استفاده از لوله‌های آزبست سیمان در شبکه توزیع آب بسیاری از کشورها، در این مطالعه اثرات زیست‌محیطی لوله‌های سیمانی الیاف دار مورد بررسی قرارگرفته است. در لوله‌های سیمانی الیاف دار، الیاف مصنوعی جایگزین آزبست شده‌اند. فاز حمل‌ونقل شامل سه بخش است:

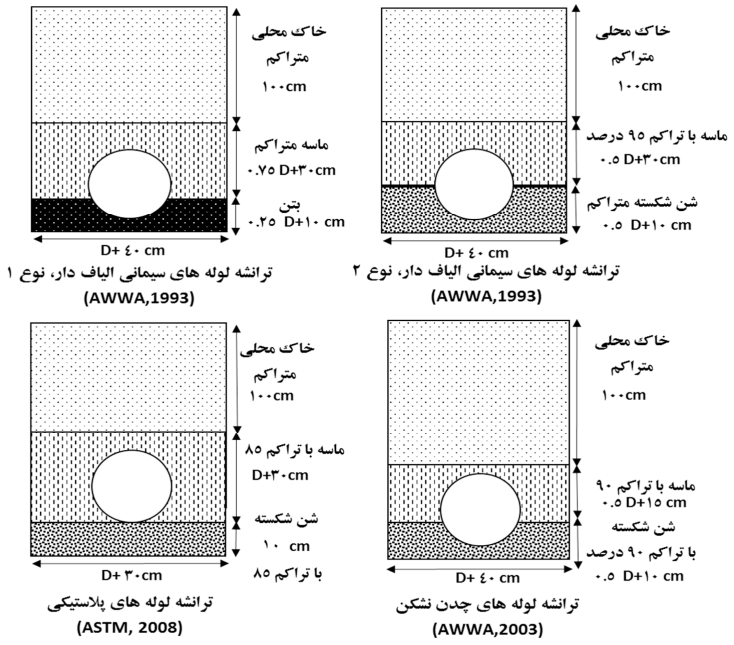


شکل ۱- مرز سیستم در نظر گرفته‌شده

جدول ۱- موارد در نظر گرفته‌شده و صرف‌نظر شده در آنالیز چرخه عمر

فاز	موارد در نظر گرفته‌شده در آنالیز چرخه عمر	موارد صرف‌نظر شده
تولید	مواد خام اولیه (پی‌وی‌سی، پلی‌اتیلن، چدن، سنگ‌آهک، سیمان، الیاف مصنوعی)، اثرات زیست‌محیطی تجهیزات تولید لوله (دستگاه اکسترودر برای لوله‌های پلاستیکی، ریخته‌گری و ...)، پوشش‌های محافظتی لوله‌ها (چسب قیر، ملات سیمان، روی)	تولید و نگهداری تجهیزات مورداستفاده در خط تولید لوله
حمل‌ونقل	فاصله حمل لوله و مصالح ترانشه، نوع وسیله نقلیه، سوخت مصرفی	تولید و نگهداری وسایل نقلیه
نصب	اثرات زیست‌محیطی تجهیزات نصب لوله (دستگاه حفاری و غلتک به‌منظور تراکم)، مصالح موردنیاز در ترانشه (شن و ماسه، بتن)	تولید و نگهداری ماشین‌آلات نصب

حمل لوله‌ها از کارخانه به محل نصب، حمل مصالح موردنیاز ترانشه از منبع قرضه و یا کارخانه به محل نصب و حمل خاک مازاد ترانشه از محل نصب تا محل دپو. در این مطالعه برای حمل لوله و مصالح ترانشه تا محل نصب فاصله ۳۰ کیلومتری (فاصله کارخانه‌ای که بخشی از اطلاعات از آن گرفته شده است تا محدوده موردمطالعه) و برای تخلیه خاک مازاد ترانشه، فاصله ۱۵ کیلومتری در نظر گرفته شده است. با توجه به استانداردهای بین‌المللی(AWWA 1993; AWWA 2003; ASTM 2008.) و همچنین اطلاعات جمع‌آوری‌شده از منطقه موردمطالعه، اثرات ناشی از اجرای چهار نوع ترانشه مورد بررسی قرارگرفته است. از بین ترانشه‌های مورد استفاده برای هر جنس لوله، ترانشه ای که بیشترین بار خارجی را تحمل می‌کند، انتخاب‌شده است. ترانشه‌های بررسی شده در فاز نصب در شکل ۲ نشان داده شده است. برای لوله‌های سیمانی الیاف دار دو نوع ترانشه در نظر گرفته شده است. در ترانشه‌های لوله‌های پلاستیکی، چدن و سیمانی نوع دو، بسترسازی با شن شکسته و در ترانشه سیمانی نوع ۱ بسترسازی با بتن انجام می‌شود. همچنین تراکم خاک در لایه‌های ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متری و توسط غلتکی صورت گرفته که هر ساعت ۶۰/۸۶ کیلووات انرژی مصرف می‌کند (Sanjuan-delmás et al., 2014). با توجه به درصد تراکم هر ترانشه و همچنین نوع و ارتفاع خاکی که متراکم می‌شود، زمان کارکرد غلتک در هر ترانشه متفاوت است.



شکل ۲- ترانشه‌های بررسی‌شده در فاز نصب

جدول ۲- داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای ۱ متر لوله چدن نشکن به قطر ۲۰۰ میلی‌متر

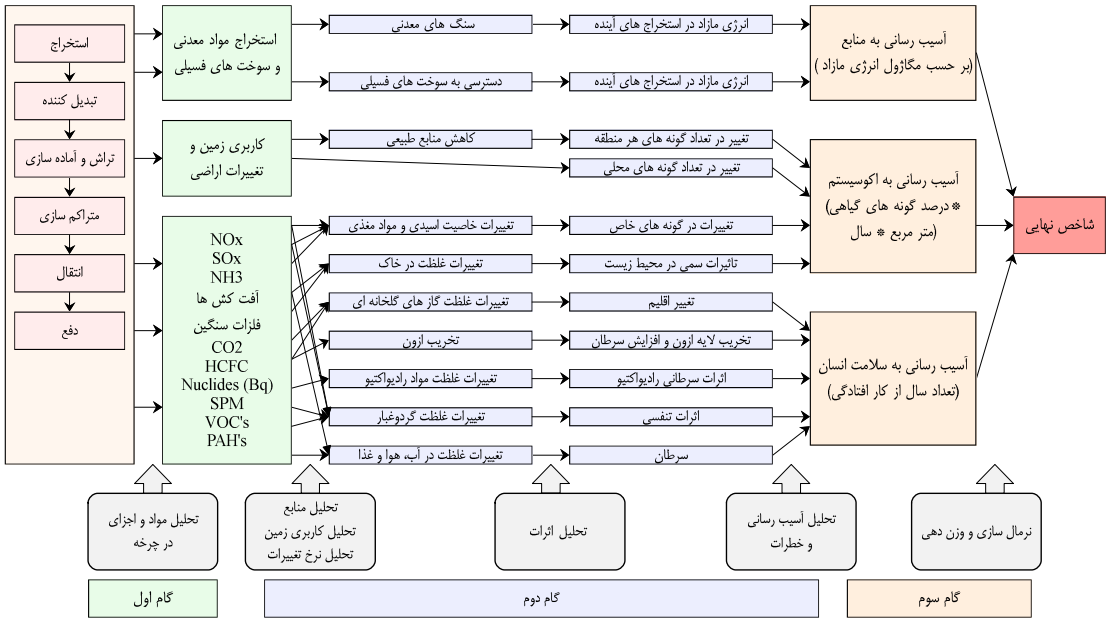
فاز	مصالح/ فرآیندها	واحد	مقدار	اطلاعات ورودی به نرم افزار Simapro
تولید	چدن نشکن	kg	۳۲/۳	Cast iron {GLO}| market for | Alloc Def, S
	فرآیند تولید	kg	۳۲/۳	Metal working, average for metal product manufacturing {GLO}| market for | Alloc Def, S
	ملات سیمان (برای پوشش داخلی)	kg	۳/۵۳	Cement mortar {GLO}| market for | Alloc Def, S
	چسب قیر (برای پوشش خارجی)	kg	۰/۱۹	Bitumen adhesive compound, hot {GLO}| market for
	روی اکسید (برای پوشش خارجی)	kg	۰/۰۸	Zinc {GLO}| market for
	فرآیند پوشش روی	m2	۰/۶۳	Zinc coat, pieces, adjustment per micro-m {GLO}| market for
حمل	حمل لوله با کامیون ۳۲ تنی	tkm	۱/۰۸	Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | Alloc Def, S
	حمل ماسه با کامیون ۱۶ تا ۳۲ تنی	tkm	۷/۲۳	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | Alloc Def, S
	حمل شن با کامیون ۱۶ تا ۳۲ تنی	tkm	۵/۳۲	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | Alloc Def, S
	حمل خاک مازاد با کامیون ۱۶ تا۳۲ تنی از محل نصب به محل دپو	tkm	۶/۴۴	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 {GLO}| market for | Alloc Def, S
نصب	شن برای پرکردن ترانشه	kg	۱۷۷/۳۱	Gravel, crushed {GLO}| market for
	ماسه برای پرکردن ترانشه	kg	۲۴۱/۷۴	Sand {GLO}| market for
	دستگاه حفاری	m3	۰/۸۷	Excavation, hydraulic digger {GLO}| market for
	غلتک لرزنده	hr	۰/۵	Machine operation, diesel, < 18.64 kW, steady-state {GLO}| market for

۲-۳- ارزیابی اثرات چرخه عمر

هدف از ارزیابی اثرات چرخه عمر، درک و ارزیابی اندازه و اهمیت اثرات بالقوه زیست‌محیطی ناشی از یک محصول است. در این گام اثرات بالقوه ناشی از مصرف منابع محیطی و تولید آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت ارزیابی می‌شود. یکی از روش‌هایی که برای بررسی اثرات چرخه عمر پروژه‌های آب و فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد EI 99 است. در این روش با توجه به تجزیه‌وتحلیل موجودی (سیاهه چرخه عمر)، اثرات زیست‌محیطی محصول نهایی در ۱۱ گروه اثرات میانی مانند تغییر اقلیم، تغذیه گرایی، تخریب لایه ازون، تنفس گازهای غیر آلی و... طبقه‌بندی می‌شوند (Pré Consultants, 2000). برای درک بهتر اثرات ناشی از چرخه عمر سیستم، این اثرات میانی به سه اثر نهایی آسیب وارده به سلامت انسان، آسیب وارده به کیفیت اکوسیستم و آسیب وارده به منابع اولیه تبدیل می‌شوند (Kirk et al., 2005). آسیب وارده به سلامت انسان توسط سال‌های زندگی با معلولیت بیان می‌شود و با نمایه DALY[۱۳] که توسط سازمان بهداشت جهانی و بانک جهانی استفاده می‌شود، نشان داده‌شده است. همچنین آسیب وارده به کیفیت اکوسیستم بر اساس گونه‌های از بین رفته در یک منطقه معین و در طول یک‌زمان مشخص بیان می‌شود (Akhoundi, 2016). آسیب وارده به منابع اولیه نیز با انرژی مازادی که نیاز است تا در آینده استخراج مواد معدنی و سوخت‌های فسیلی صورت گیرد، بیان می‌شود (Akhoundi, 2016). تبدیل ۱۱ گروه از اثرات میانی به سه گروه از اثرات پایانی باعث سهولت در مقایسه بین گزینه‌های مختلف می‌شود. بعد از وزن دهی سه گروه از اثرات پایانی نتیجه نهایی یک مقدار عددی به نام Eco-indicator است. شکل ۳ مراحل مختلف روش EI 99 را نشان می‌دهد (Pré Consultants, 2000). یکی دیگر از روش‌های ارزیابی چرخه حیات TRACI است که توسط اداره حفاظت محیط‌زیست آمریکا تدوین شده است. در این روش با توجه به داده‌های ورودی به سیستم، اثرات زیست‌محیطی در یازده گروه اثرات میانی مانند تخریب لایه ازن، گرم شدن کره زمین، اسیدی شدن، مه دود، اثرات تنفسی و غیره طبقه‌بندی می‌شوند. در

این روش برخلاف روش EI 99 اثرات میانی به اثرات پایانی تبدیل نخواهند شد. در این تحقیق به‌منظور انتخاب بهترین گزینه از روش EI 99 و به‌منظور مقایسه اثرات میانی از روش TRACI استفاده‌شده است.

و نسبت به لوله پی‌وی‌سی صورت گرفته است. نتایج این شکل حاکی از آن است که پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از تولید لوله‌های پی‌وی‌سی نسبت به سایر لوله‌ها کمتر است. همچنین در فاز تولید، لوله پی‌وی‌سی و لوله پلی‌اتیلن با وزن مخصوص بالا، تقریباً اثرات زیست‌محیطی مشابهی دارند. این در حالی



شکل ۳- مراحل ارزیابی اثرات چرخه عمر مطابق روش EI99 (Pré Consultants, 2000)

۳- نتایج مقایسه اثرات زیست‌محیطی

نتایج این مطالعه شامل دو بخش است. در بخش اول اثرات میانی (تخریب لایه ازون، گرمایش جهانی، مه دود، اسیدی شدن، اثرات تنفسی، کاهش سوخت‌های فسیلی) فازهای مختلف لوله‌ها با استفاده از روش TRACI بررسی می‌شود. در بخش دوم با استفاده از روش EI 99 اثرات زیست‌محیطی در یک شاخص تجمیع پیدا کرده و بدین ترتیب لوله‌ای که در تمام فازها کمترین اثرات زیست‌محیطی را دارد، مشخص می‌شود. با توجه به تعداد زیاد داده‌های خروجی، جدول ۳ تنها بخشی از خروجی‌های نرم‌افزار Simapro که به لوله‌های پی‌وی‌سی اختصاص دارد را نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت فاز تولید لوله‌ها، شکل ۴ با استفاده از روش TRACI مقایسه‌ای بین پیامدهای ناشی از تولید لوله‌هایی به قطر ۲۰۰ میلی‌متر را ارائه می‌کند. این مقایسه به‌صورت نسبی

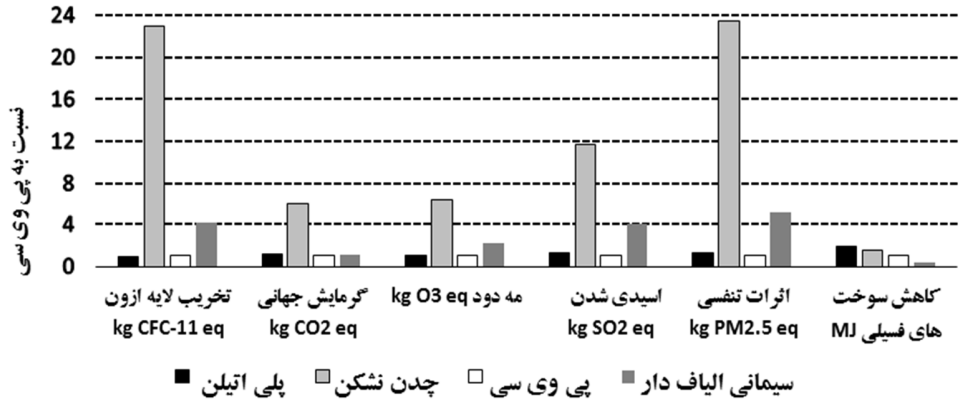
است که در اکثر پیامدها، لوله چدن نشکن سهم بیشتری نسبت به دو جنس دیگر دارد. برای مثال اثر گرمایش جهانی تولید لوله چدن تقریباً ۶ برابر لوله‌های دیگر است. نیاز به مواد اولیه بیشتر برای ساخت لوله‌های چدنی نسبت به سایر لوله‌ها، می‌تواند یکی از دلایل اختلاف بین پیامدهای زیست‌محیطی باشد. برای مثال برای تولید لوله چدنی به طول یک متر و به قطر ۲۰۰ میلی‌متر، ۳۶ کیلوگرم مواد اولیه نیاز است و این در حالی است که مواد اولیه برای تولید لوله پی‌وی‌سی با همان طول و قطر، ۸/۵ کیلوگرم است.

یکی دیگر از موارد مهم در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، توجه به عمر مفید محصولات است. برای مثال ممکن است عمر مفید لوله‌های چدن نشکن بیشتر از لوله‌های دیگر باشد و همین امر موجب شود تا استفاده از این لوله‌ها ازنظر زیست‌محیطی

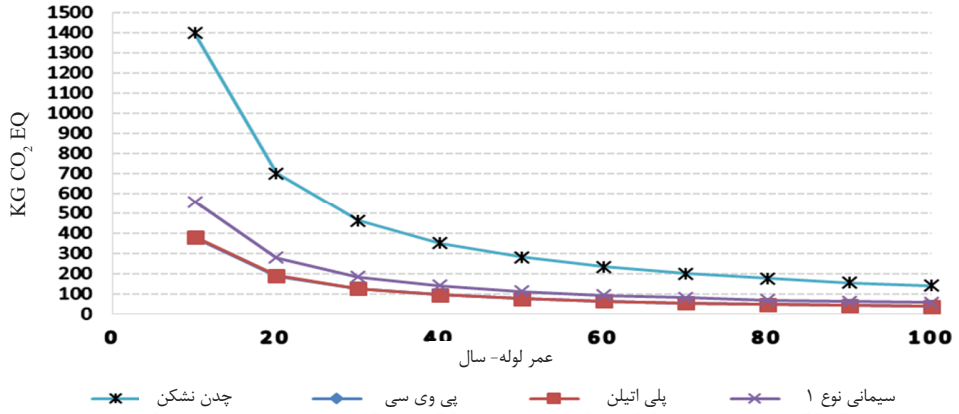
مطلوب‌تر باشد. متخصصان معتقدند که عمر مفید لوله‌های پی‌وی‌سی، پلی‌اتیلن و چدن نشکن می‌تواند تا ۱۰۰ سال در نظر گرفته شود (Sanjuan-delmás et al., 2014). از طرفی در عمرهای بیش از ۵۰ سال، نیاز به تعمیر و نگهداری و حفاظت بیشتر از لوله‌ها افزایش می‌یابد. همچنین عمر لوله‌ها با توجه به نوسانات فشار در گره‌های مصرف، می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد؛ بنابراین عمر مفید لوله‌ها علاوه بر جنس لوله به شرایط بهره‌برداری از شبکه نیز وابسته است. در این مطالعه با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از بهره‌بردار، عمر مفید تمام جنس‌ها ۵۰ سال در نظر گرفته‌شده است.

با توجه به شکل ۵، از دی‌اکسید کربن معادل آزادشده به‌عنوان نشانگری به‌منظور مقایسه اثرات زیست‌محیطی لوله‌ها در طول عمرهای مفید مختلف استفاده‌شده است. در شکل ۵ با توجه به منطبق شدن نمودارهای پی‌وی‌سی و پلی‌اتیلن در طول عمرهای مفید مختلف بر یکدیگر، این لوله‌ها اثرات زیست‌محیطی مشابهی دارند. مطابق این شکل در صورتی اثرات زیست‌محیطی لوله چدن و لوله‌های پلاستیکی یکسان می‌شود که عمر مفید چدن تقریباً ۳/۵ برابر لوله‌های پلاستیکی باشد.

در شکل ۶ با تجمیع اثرات زیست‌محیطی هر ترانشه مشخص شد که ترانشه لوله‌های سیمانی نوع ۱، بیشترین اثرات را به خود اختصاص داده‌اند. علت اصلی این امر استفاده از بتن به‌جای



شکل ۴- مقایسه اثرات فاز تولید برای قطر ۲۰۰ میلی‌متر



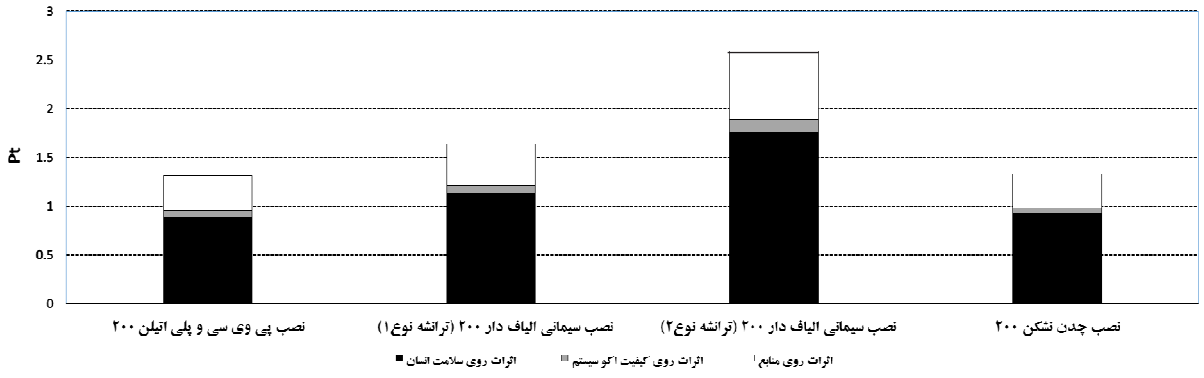
شکل ۵- آنالیز حساسیت برای میلی‌متر قطر ۲۰۰ در دوره زمانی ۱۰۰ ساله

جدول ۳- خروجی نرم‌افزار Simapro مربوط به لوله‌های پی‌وی‌سی

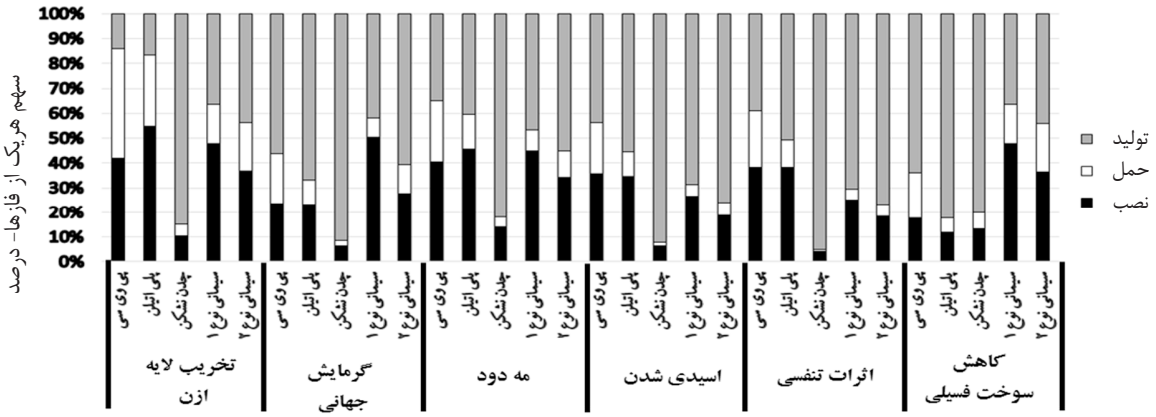
جنس لوله	رده پیامد	واحد	تولید		نصب			حمل
			مواد اولیه	فرآیند تولید	شن	ماسه	ماشین آلات نصب	حمل لوله و مصالح
PVC ۲۰۰ mm	تخریب لایه ازون	kg CFC-11 eq	3.15E-07	2.80E-07	2.27E-07	9.01E-07	6.46E-07	1.86E-06
	گرمایش جهانی	kg CO2 eq	1.73E+01	3.76E+00	1.52E+00	4.64E+00	2.68E+00	7.56E+00
	مه دود	kg O3 eq	9.79E-01	1.89E-01	1.68E-01	6.57E-01	5.21E-01	8.19E-01
	اسیدی شدن	kg SO2 eq	5.38E-02	1.97E-02	9.73E-03	3.23E-02	1.80E-02	3.48E-02
	اثرات تنفسی	kg PM2.5 eq	4.35E-03	5.75E-03	2.17E-03	5.49E-03	2.19E-03	5.86E-03
	کاهش سوخت های فسیلی	MJ surplus	5.45E+01	2.70E+00	2.08E+00	8.05E+00	5.71E+00	1.65E+01
PVC ۵۰۰ mm	تخریب لایه ازون	kg CFC-11 eq	1.90E-06	1.73E-06	3.63E-07	1.83E-06	7.37E-07	1.98E-06
	گرمایش جهانی	kg CO2 eq	1.07E+02	2.32E+01	2.43E+00	9.41E+00	3.06E+00	8.05E+00
	مه دود	kg O3 eq	6.05E+00	1.17E+00	2.68E-01	1.33E+00	6.30E-01	1.06E+00
	اسیدی شدن	kg SO2 eq	3.33E-01	1.22E-01	1.56E-02	6.56E-02	2.17E-02	4.24E-02
	اثرات تنفسی	kg PM2.5 eq	2.68E-02	3.56E-02	3.48E-03	1.11E-02	2.71E-03	6.63E-03
	کاهش سوخت های فسیلی	MJ surplus	3.36E+02	1.67E+01	3.33E+00	1.63E+01	6.52E+00	1.76E+01

شن در بسترسازی لوله است. همچنین ترانشه‌های لوله‌های پلاستیکی و ترانشه لوله چدنی، تقریباً اثرات زیست‌محیطی مشابهی دارند. شکل ۷، سهم فازهای لوله‌های مختلف را در هر یک از پیامدهای زیست‌محیطی نشان می‌دهد. اثرات زیست‌محیطی فاز نصب در لوله‌های سیمانی الیاف داری که در ترانشه آن‌ها از بتن استفاده شده است (سیمانی نوع ۱)، در تمام پیامدهای زیست‌محیطی، از لوله‌های سیمانی الیاف داری که در ترانشه آن‌ها از مصالح شن و ماسه استفاده‌شده (سیمانی نوع ۲)، بیشتر است. همچنین در لوله‌های چدن نشکن اثرات زیست‌محیطی فاز تولید در مقایسه با اثرات فاز حمل و نصب بسیار بیشتر است.

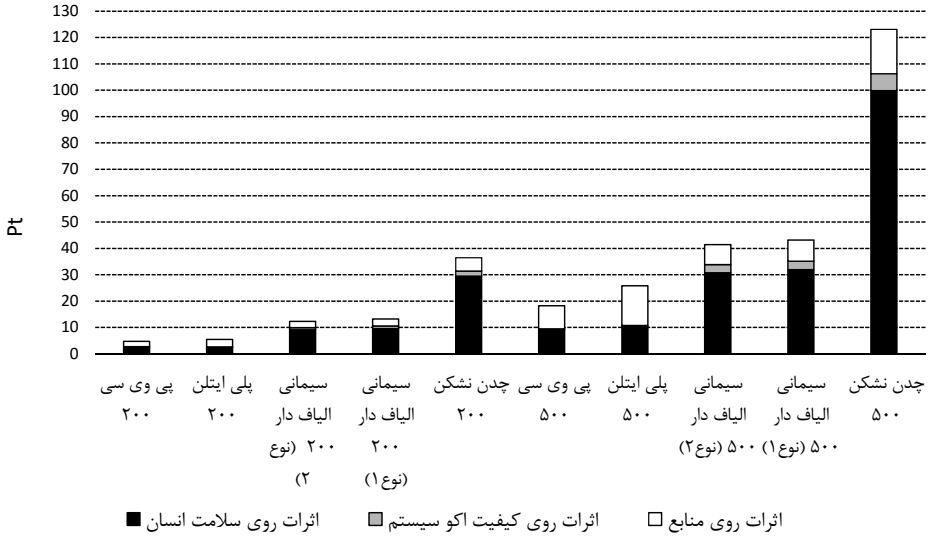
در شکل ۸ با استفاده از روش EI 99 سه گروه از اثرات پایانی (اثرات روی سلامت انسان، اثرات روی کیفیت اکوسیستم و اثرات روی منابع) تجمیع شده و نتیجه نهایی یک مقدار عددی به نام Eco-indicator است. با در نظر گرفتن عمر مفید ۵۰ سال برای تمام لوله‌ها، شکل ۸ نشان می‌دهد که لوله‌های پی‌وی‌سی در کل چرخه مورد بررسی (تولید، حمل و نصب) نسبت به سایر لوله‌ها کمترین و لوله‌های چدن نشکن، بیشترین اثرات زیست‌محیطی را دارند. همچنین علت تفاوت بین اثرات زیست‌محیطی لوله‌های سیمانی نوع ۱ و ۲ تنها ناشی از تفاوت در اجرای ترانشه‌های آن‌ها است.



شکل ۶- مقایسه اثرات زیست‌محیطی ترانشه‌های مختلف برای لوله‌هایی به قطر ۲۰۰ میلی‌متر



شکل ۷- سهم فازها در اثرات میانی برای لوله‌هایی به قطر ۲۰۰ میلی‌متر



شکل ۸- مقایسه اثرات پایانی لوله‌ها با استفاده از روش EI 99

۴- مطالعه موردی

محدوده موردمطالعه با مساحت ۴۱۳۶۳ هکتار، یکی از مناطق جنوب شهر تهران است. جمعیت این منطقه در سال ۱۳۹۴، ۱۱۴۸۴۹ نفر، و سرانه مصرف آب با تلفات شبکه، ۲۴۰/۷ لیتر به ازای هر نفر در روز بوده است. مشخصات لوله‌های این شبکه در جدول ۴ آورده شده است. عمر لوله‌های پلاستیکی این شبکه ۱۰ سال، عمر لوله‌ها فولادی و آزبست سیمان ۳۰ سال و عمر لوله‌های چدن نشکن بالای ۳۰ است. با توجه به فرسودگی لوله‌های چدن نشکن، این لوله ها در اولویت بهسازی و نوسازی قرارگرفته‌اند. ۵۰ درصد لوله‌های چدنی (۲۹۵۲۱ متر) دارای قطر ۱۰۰ میلی‌متر، ۱۹/۵ درصد (۱۱۵۳۴ متر) از آن‌ها دارای قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ۸/۶ درصد (۵۰۶۷ متر) از آن‌ها دارای قطر ۲۰۰ میلی‌متر هستند. در این مطالعه ابتدا اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید، حمل و نصب لوله‌های چدنی ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر موجود در شبکه محاسبه‌شده و سپس با فرض جایگزینی این لوله‌ها با لوله‌ای که کمترین اثرات زیست‌محیطی را دارد (پی‌وی‌سی)، پتانسیل کاهش اثرات زیست‌محیطی شبکه به دست می‌آید.

جدول ۵ کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از جایگزین کردن ۴۶ کیلومتر لوله چدن نشکن با قطرهای ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متر با ۴۶ کیلومتر لوله پی‌وی‌سی با قطرهای ۱۱۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۵، درصورتی‌که در بازسازی ۴۶ کیلومتر از شبکه به جای چدن

جدول ۴- مشخصات لوله‌های منطقه مورد مطالعه

جنس لوله	طول لوله (متر)	درصد
چدن نشکن	۵۹۰۶۸	۷۶/۷
پلی اتیلن	۴۸۸۶	۶/۴
پی وی سی	۱۲۵۴	۱/۶
آزبست	۱۰۸۱۴	۱۴/۱
فولادی	۹۵۶	۱/۲
جمع کل	۷۶۹۷۸	۱۰۰

نشکن از پی‌وی‌سی استفاده شود، در طول عمر مفید لوله (۵۰ سال)، تقریباً ۲۹۳۲ تن، دی‌اکسید کربن کمتری تولید خواهد شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با استفاده از تحلیل چرخه عمر و با جایگزین کردن محصولاتی با اثرات زیست‌محیطی کمتر می‌توان تا حد زیادی پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی را کاهش داد.

انتخاب کارخانه و یا منابع شن و ماسه‌ای که مسافت کمتری تا محل نصب دارند، اثرات زیست‌محیطی این فاز را کاهش داد. در فاز نصب، با در نظر گرفتن ترانشه‌های مختص هر لوله، مقایسه‌ای بین اثرات زیست‌محیطی انواع ترانشه‌ها نیز صورت گرفت. سپس با استفاده از روش EI 99 و با تجمیع اثرات در یک شاخص مشخص شد که درمجموع سه فاز تولید، حمل و نصب، لوله‌های پی‌وی‌سی دارای کمترین اثرات زیست‌محیطی

جدول ۵- کاهش اثرات زیست‌محیطی در منطقه مورد بررسی

رده پیامد	واحد	تولید حمل و نصب ۴۶ کیلومتر لوله چدن نشکن	تولید حمل و نصب ۴۶ کیلومتر لوله پی وی سی	کاهش اثرات زیست محیطی
تخریب لایه ازون	kg CFC-11 eq	۰/۵	۰/۱۸	۰/۳۲
گرمایش جهانی	kg CO2 eq	۴۱۴۱۷۶۳/۴۰	۱۲۰۹۲۰۴/۷۰	۲۹۳۲۵۵۸/۷۰
مه دود	kg O3 eq	۲۸۴۴۸۳/۴۹	۱۲۴۹۳۶/۴۶	۱۵۹۵۴۷/۰۳
اسیدی شدن	kg SO2 eq	۲۷۶۰۸/۰۳	۵۹۵۶/۰۴	۲۱۶۵۱/۹۹
اثرات تنفسی	kg PM2.5 eq	۷۲۲۷/۴۳	۹۴۱/۶۲	۶۲۸۵/۸۱
کاهش سوخت های فسیلی	MJ surplus	۳۵۴۰۹۶۵/۹۰	۲۷۲۴۵۵۰	۸۱۶۴۱۵/۹۰

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر، اثرات زیست‌محیطی لوله‌های پی‌وی‌سی، پلی‌اتیلن با تراکم بالا، سیمانی الیاف دار و چدن نشکن در سه فاز تولید، حمل و نصب موردبررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در فاز تولید، اثرات زیست‌محیطی لوله چدن نشکن بسیار بیشتر از دو جنس دیگر است. همچنین ازآن‌جایی‌که فاز حمل وابسته به فاصله کارخانه تا محل نصب است، می‌توان با

نسبت به پلی‌اتیلن با تراکم بالا، سیمانی الیاف دار و چدن نشکن هستند. همچنین نتایج حاصل از کاربست تحلیل چرخه عمر در بخشی از شبکه توزیع آب شهر تهران، نشان از کارایی این روش در کاهش پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان راهنما برای انتخاب لوله‌ها و ترانشه‌های با کمترین اثرات زیست‌محیطی موردتوجه مدیران و بهره‌برداران قرار گیرد.

۶- پی نوشت ها

1- Life Cycle Assessment
2- Molecular-Oriented PVC (PVC-O)
3- Polyvinyl Chloride (PVC)
4- Ductile Iron (DI)
5- High-Density Polyethylene (HDPE)
6- Input-Output Life Cycle Assessment
7- International Organization for Standardization
8- Goal and Scope Definition
9- Life Cycle Inventory
10- Life Cycle Impact Assessment
11- Interpretation
12- Functional Unit
13- Disability Adjusted Life Years

۷- مراجع

Akhoundi, A., (2016), "Investigation of wastewater reuse alternative using life cycle sustainability analysis method", MSc. Thesis, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran.

AWWA, (1993), *Standard for the selection of asbestos cement pressure pipe, 4 in through 16 in (100 mm through 400 mm), for water distribution systems*, American Water Works Association, Denver, Colo.

AWWA, (2003), *Ductile-Iron pipe and fittings*, Vol. 41, Standards Committee A21 on Ductile-Iron Pipe and Fittings, American Water Works Association.

A.S.T.M., (2008), *D2321 Standard practice for the underground installation of thermoplastic pipe for sewers and other gravity-flow applications*, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Ecoinvent., (2009), Swiss Centre for Life Cycle Inventories, ecoinvent database v3.0, http://www.ecoinvent.ch/.

ISO, (2006), ISO 14044 - Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidance.

Kirk, B., Etnier, C., Kärrman, E., and Johnstone., S., (2005), *Methods for comparison of wastewater treatment options*, Project No. WU-HT-03-33, Prepared for the National Decentralized Water Resources Capacity Development Project, Washington University, St. Louis, MO, by Ocean Arks International, Burlington, VT.

Petit-Boix, A., Sanjuan-Delmás, D., Gasol, C.M., Villalba, G., Suárez-Ojeda, M.E., Gabarrell, X., Josa, A., and Rieradevall, J., (2014), "Environmental assessment of sewer construction in small to medium sized cities using life cycle assessment", *Water Resources Management*, 28(4), 979-997.

Piratla, K.R., Ariaratnam, S.T., and Cohen, A., (2011), "Estimation of CO2 emissions from the life cycle of a potable water pipeline project", *Journal of Management in Engineering*, 28(1), 22-30.

Pre' Consultants, (2014), *SimaPro database manual.* PRe', 1–48.

Pré Consultants, (2000), Eco-indicator 99 manual for designers.

Roghani, B., (2013), "Estimating the Sewerage network performance based on value engineering and environmental issues", MSc. Thesis, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran.

Sanjuan-Delmás, D., Petit-Boix, A., Gasol, C.M., Villalba, G., Suárez-Ojeda, M.E., Gabarrell, X., Josa, A., and Rieradevall, J., (2014), "Environmental assessment of different pipelines for drinking water transport and distribution network in small to medium cities: a case from Betanzos, Spain", *Journal of Cleaner Production*, 66, 588-598.

Stokes, J., and Horvath, A., (2006), 'Life cycle energy assessment of alternative water supply systems", *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(5), 335-343.

Stokes, J.R., and Horvath, A. (2009), "Energy and air emission effects of water supply", *Environmental Science and Technology*, 43(8), 2680-2687.

Vahidi, E., Jin, E., Das, M., Singh, M., and Zhao, F., (2016), "Environmental life cycle analysis of pipe materials for sewer systems", *Sustainable Cities and Society*, 27, 67-174.