کمی سازی اثرات انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای در چرخه حیات یک نیروگاه چرخه ترکیبی با استفاده از روش EPS

نرگس کارگری*[۱]، رضا مستوری[۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۹۰/۰۵/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله:
۹۰/۰۹/۰۷

کلمات کلیدی:
ارزیابی چرخه حیات (LCA) – راهبردهای اولویت زیست محیطی (EPS) – واحد بار زیست محیطی (ELU) – انتشار آلاینده های هوا – نیروگاه چرخه ترکیبی

چکیده:

ارزیابی چرخه حیات، یکی از ابزارهای مؤثر در تصمیم گیری است که قادر است اثرات زیست محیطی را ارزیابی کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد و مسیرهای مناسب با کمترین اثرات زیست محیطی را بیابد. به منظور تقویت LCA، روش ها و برنامه هایی وجود دارند که می توانند اثرات زیست محیطی یک محصول یا فرایند را در طول چرخه حیات کمی کرده و آنها را قابل مقایسه سازند که یکی از این روش ها، روش EPS می باشد. در سیستم EPS، می توان اثر زیست محیطی را برای انتشار های مختلف و مصرف منابع و انرژی محاسبه کرده و آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. محاسبه از طریق ELU انجام می شود. به عبارت دیگر، به منظور مقایسه اثرات زیست محیطی منابع و حمل و نقل کالا و مصرف مواد خام، اثر زیست محیطی باید کمی سازی شود. واحد مورد استفاده برای مقایسه اثر زیست‌محیطی در روش راهبردهای اولویت زیست‌محیطی (EPS) ELU می باشد.

در این مقاله، اثرات انتشار آلاینده های هوا در چرخه حیات یک نیروگاه چرخه ترکیبی از روش EPS و بر اساس ELU کمی سازی شده اند که نشان می دهد شدیدترین اثر زیست محیطی بر اساس واحد ELU به ترتیب ناشی از دی اکسید کربن، متان، ذرات معلق، اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد می باشد.

*۱) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان ـ گروه محیط زیست
۲) دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک ـ گروه عمران

n.kargari@tiau.ac.ir
r-mastouri@iau-arak.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

مقدمه

با افزایش آگاهی های زیست محیطی، صنایع شروع به ارزیابی نحوه اثر فعالیت های خود بر محیط زیست کرده اند. جوامع درباره مسائل تخریب منابع طبیعی و محیط زیست نگران شده اند. بسیاری از صنایع به این آگاهی ها با تولیدات "سبز" و استفاده از فرایندهای "سبز" پاسخ داده اند. عملکرد زیست محیطی تولیدات و فرایندها تبدیل به یک مسأله کلیدی شده است تا صنایع بتوانند اثرات زیست محیطی فعالیت های خود را به حداقل برسانند. بسیاری از شرکت ها، استفاده از راهبردهای بدون آلایندگی و سیستم های مدیریت محیط زیست را برای بهبود عملکرد زیست محیطی مفید می‌دانند. یکی از این ابزارها، "ارزیابی چرخه حیات" (LCA) [1] می باشد [١].

داده های LCA انتقال اثرات زیست محیطی را از یک محیط به محیط دیگر و از یک مرحله چرخه حیات به مرحله دیگر مشخص می کند. به عبارت دیگر، LCA به جلوگیری از انتقال مشکلات زیست محیطی از مرحله ای به مرحله دیگر کمک می کند.

به منظور تقویت LCA، روش ها و برنامه هایی وجود دارند که می توانند اثرات زیست محیطی یک محصول یا فرایند را در طول چرخه حیات کمی کرده و آنها را قابل مقایسه سازند که یکی از این روش ها، EPS می باشد [٢].

ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات یک تکنیک برای ارزیابی همه ورودی ها و خروجی های محصول (داده ها و ستانده ها)، فرایند یا خدمات (فهرست موجودی چرخه حیات)، ارزیابی زائدات، اثرات بر بهداشت انسان و اثرات اکولوژیکی (ارزیابی اثر) و تفسیر نتایج ارزیابی (تفسیر چرخه حیات) در کل چرخه حیات محصول یا فرایند مورد بررسی می باشد [١].

دو سازمان بین المللی ISO [2] و SETAC [3] ارزیابی چرخه حیات را به عنوان یک ابزار مدیریت زیست محیطی توسعه داده اند. در خانواده استانداردهای ISO، ISO 14040 و زیرمجموعه های آن به ارزیابی چرخه حیات اختصاص یافته است [٣].

یک دلیل اساسی برای انتخاب چنین رویکردی، این واقعیت است که مصرف نهایی محصول، موجب تحریک وضعیت اقتصادی می شود. بنابراین، مصرف نهایی فرصت هایی را برای مدیریت غیر مستقیم زیست محیطی در طول زنجیره یا شبکه فرایندهای محصول ایجاد می کند.

---

1) Life Cycle Assessment
2) International Standards Organization
3) Society of Environmental Toxicology and Chemistry

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

دلیل اساسی دیگر این است که رویکرد گهواره تا گور، از "انتقال مشکلات" جلوگیری می کند. [۴].

قابلیت پیگیری انتقال اثرات زیست محیطی می تواند به تصمیم گیران و مدیران در شناخت ویژگی های زیست محیطی گزینه های محصول یا فرایند کمک کند. با انجام LCA، تحلیل گران می توانند:

- ارزیابی سیستماتیک نتایج زیست محیطی همراه با محصول را توسعه دهند.
- اثرات زیست محیطی همراه با یک یا چند محصول یا فرایند را مورد بررسی قرار دهند.
- به دریافت پذیرش افراد ذینفع (جامعه و غیره) برای یک برنامه طرح ریزی شده کمک کنند.
- انتشار به هوا، آب و زمین را در هر مرحله از چرخه حیات کمی سازند.
- به شناخت جابجایی اثرات زیست محیطی در مراحل چرخه حیات و محیط زیست پذیرنده کمک کنند.
- اثرات انسانی و اکولوژیکی مصرف مواد و انتشار به محیط زیست را در جوامع محلی، منطقه ای و جهانی ارزیابی نمایند.
- اثرات انسانی و اکولوژیکی بین دو یا چند محصول یا فرایند را شناسایی و مقایسه کنند.
- اثرات مربوط به یک یا چند محیط تحت اثر را شناسایی کنند [۵].

ارزیابی چرخه حیات (LCA) ابزاری برای ایجاد یک تصویر کلی از اثرات زیست محیطی یک محصول یا سامانه در طول عمر آن از استخراج مواد خام، تولید، مصرف، بازیافت و در نهایت دفع زائدات می باشد [۶].

ارزیابی چرخه حیات می تواند برای هر سیستم فعالیت صنعتی استفاده شود تا بار کمی بر محیط زیست را تخمین بزند [۷].

معرفی راهبرد اولویت زیست محیطی EPS[1]

روش های متعددی برای ارزیابی کل اثرات زیست محیطی در چرخه حیات یک فرایند توسعه یافته است،اگرچه توافق عمومی در مورد استفاده از یک روش هنوز وجود ندارد [۸]. این روش ها عبارتند از NETS, ELP, 0EPS و EP که در جدول ۱ مورد مقایسه قرار گرفته اند [۲].

در سیستم EPS، می توان اثر زیست محیطی را برای انتشار های مختلف و مصرف منابع و انرژی محاسبه کرده و آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. محاسبه از طریق ELU انجام می شود. محاسبات، پنج زمینه ایمنی را شامل سلامت، تنوع زیستی، تولید زیستی، منابع و ارزش های زیبایی شناختی در نظر می گیرد. این اهداف در جدول ۲ به تفصیل مشخص

1) Environmental priority strategies

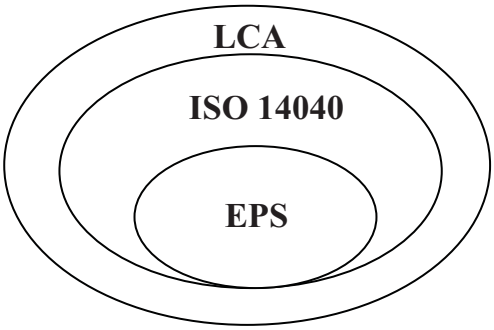
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

شده‌اند.

روش EPS بر اساس استاندارد ۱۴۰۴۰ ISO طراحی شده است. در واقع، ارتباط بین EPS، LCA و ISO 14040 در شکل ۱ نشان داده شده است [۹].

جدول ۱: روش های مورد استفاده در کمی سازی اثرات زیست محیطی در مطالعات LCA [۲]

نام	EP	EPS	ELP	NETS
سازمان	BUWAL, SWISS	IVL, SWEDEN	WASWDA UNIVERSITY, JAPAN	MIE UNIVERSITY, JAPAN
روش	فاصله تا هدف	روش ارزیابی مالی	پرسشنامه	تئوری توازن مقاومت محیط پذیرنده
واحد	EP (ECO POINT)	ELU (ENVIRONMENTAL LOAD UNITS)	ELP (ENVIRONMENTAL LOAD POINT)	NETS (NUMERICAL ECO-LOAD TOTAL STANDARDIZATION)
استاندارد سازی برای اثرات مختلف زیست محیطی	اثرات زیست محیطی بر اساس EF (ECO FACTOR) بیان می شود شامل F_k (ارزش هدف دولتی) و F_i (ارزش داخلی موجود) بر هر فاکتور زیست محیطی، $EF_i = \frac{1}{F_k} \times \frac{F_i}{F_k} \times 10^{12}$ کل اثر زیست محیطی EP برابر است با $EP = \sum_i (EF_i \times X_i)$	استاندارد سازی برای اثرات زیست محیطی با استفاده از (هزینه برای جلوگیری از تداخلات زیست محیطی) × (رنج اثر × شدت ×دوره ماندگاری) در هر فاکتور زیست محیطی که ELI (شاخص بار زیست محیطی) نامیده می شود. کل اثر زیست محیطی ELV برابر است با $ELV = \sum_i (ELI_i \times X_i)$	اثرات استاندارد شده برای فاکتور زیست محیطی ELF_k شامل فاکتورهای وزن دهی $C_{j,k}$ (برای یک فاکتور زیست محیطی k در یک طبقه اثر زیست محیطی J)، فاکتور وزن دهی W_j (تعیین شده توسط پرسشنامه های طبقه بندی شده) و A_j (انتشار تجمعی سالانه / مصرف در J). $A_j = \sum (C_{jk} \times X_k)$ $ELF_k = \sum (C_{jk} \times X_k / A_j) \times 10^{16}$ $ELP_i = \sum_k (ELF_i \times X_{i,k})$	استانداردسازی بر اساس توازن بین "loader's" مقدار حداکثر قابل قبول برای انتشار یا مصرف (P_i) و "receiver's" مقدار تحمل حداکثر (MEV_i)، در یک فاکتور زیست محیطی i. اثرات استانداردشده برای هر فاکتور زیست محیطی با استفاده از ضریب تبدیل ELM_i با توجه به loader (P_i) و receiver (MEV) نشان داده می شود. $P_i \times ELM_i = MEV$ کل اثرات برابر است با: $EcL = \sum ELM_i \times X_i$



شکل۱): ارتباط LCA، ISO 14040 و EPS [۹]

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

جدول ۲): اهداف EPS [۹]

موضوع ایمنی	اصل ارزش‌گذاری / ارزیابی
تنوع زیستی	هزینه جامعه برای حفاظت تنوع زیستی
بهداشت / سلامت انسان	هزینه جامعه برای کاهش مرگ و میر در اثر خطرات مختلف و تمایل به پرداخت برای دوری از بیماری، تحمل و ناراحتی
تولید	قیمت های بازار سازمان توسعه و همکاری های اقتصادی
منابع	اثر بر سایر موضوعات ایمنی منابع به حالت اول بازمی گردند.
ارزش های زیبایی شناختی	تمایل افراد به پرداخت

به منظور مقایسه اثرات زیست محیطی منابع و حمل و نقل کالا و مصرف مواد خام، اثر زیست محیطی باید کمی سازی شود. واحد مورد استفاده برای مقایسه اثر زیست محیطی در روش راهبردهای اولویت زیست محیطی(EPS) ELU می‌باشد. به عنوان مثال، می توان از این طریق اثر زیست محیطی حمل و نقل را با اثر زیست محیطی مصرف مواد مقایسه کرد.

مزیت اصلی استفاده از سیستمی نظیر EPS این است که به طراح محصول یا فرایند کمک می‌کند تا نگرانی های زیست محیطی را در مراحل اولیه ایجاد محصولات جدید در نظر بگیرد. همچنین اثرات زیست محیطی متفاوت می‌تواند در این سیستم از طریق یک فرایند ارزش‌گذاری مورد مقایسه قرار گیرند.

بدیهی است ارزش‌گذاری اثرات مختلف زیست محیطی هرگز در همه نقاط یکسان نیستند. ارزش ها ممکن است در کشورهای مختلف متفاوت باشند، حتی از زمانی به زمان دیگر نیز تغییر کنند. بنابراین، مهم است سیستمی وجود داشته باشد که برای چنین تغییراتی به سادگی قابل تعدیل باشد. سیستم ESP به اندازه کافی انعطاف پذیر است که مناسب باشد و ابزاری کاربردی است که می تواند در فرایند طراحی در بخش های مختلف جغرافیایی مورد استفاده قرار گیرد [۱۰].

باید توجه داشت که محاسبات ELU بسیار تخمینی است و محدودیت هایی دارد. جدی ترین محدودیت ها عبارتند از:

- شاخص منابع، تنها انتشار خروجی را اندازه گیری می کند و انتشار در طول فرآوری منابع را در نظر نمی گیرد. این موضوع به این مفهوم است که مصرف انرژی و انتشار در طول فرآوری، به عنوان مثال، فلزات (که می تواند مقدار قابل توجهی هم داشته باشد) در نظر گرفته نمی شود.
- زائدات اندازه گیری نمی شوند. شاخص EPS برای زائدات وجود ندارد. بسته به آنچه اتفاق می افتد، می توان تصور کرد که میزان انتشار، انرژی یا مواد افزایش می یابد یعنی علاوه بر کاهش اثرات (یا عدم وجود اثرات)، اثرات افزایش نیز می یابند.
- بسیاری از مواد شاخص منبع یا شاخص انتشار ندارند.

به همین دلایل، نتایج باید تنها به عنوان یک شاخص و نشانه از مقدار اثر زیست محیطی مورد توجه قرار گیرند [۱۱].

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

در بیان اثرات زیست محیطی بر اساس ELU باید توجه داشت هر چه ELU بزرگتر باشد، اثر بر محیط زیست شدیدتر است [۶].

در استفاده از ELU برای مواد و فرایندها، ELU به ازای کیلوگرم هر ماده از طریق ضرب شاخص زیست محیطی در مقدار مواد منتشر شده به محیط زیست برای فعالیت، فرایند یا چرخه حیات محصول در مطالعه محاسبه می شود. نتایج این تجزیه و تحلیل در سطوح تجمعی گروه بندی می شود.

شاخص مزبور این امکان را ایجاد می کند که اثرات مضر انتشار و استفاده از منابع طبیعی کمی سازی شوند. یک ویژگی منحصر به فرد این سیستم این است که فاکتورهای مختلف می تواند وزن دهی شود تا یک ارزش ایجاد کند که کل بار زیست محیطی را توصیف کند. این موضوع این امکان را ایجاد می‌کند که شاخص های زیست محیطی نه تنها برای مواد خام بلکه برای فرایندها یا بخش های فرایند در گزینه های مختلف طراحی ایجاد شود.

سیستم EPS راه حل نهایی برای جلوگیری از اثرات زیست محیطی نیست اما برای تصمیم گیران خلاصه ای از الگوهای پیچیده انرژی، مواد و انتشار آلاینده ها در یک حالت قابل مدیریت، قابل درک و قابل بازنگری ایجاد می کند [۱۰].

محاسبه بار زیست محیطی

محاسبه بار زیست محیطی انتشار آلاینده ها در چرخه حیات یک نیروگاه چرخه ترکیبی بر اساس فهرست داده های موجود از چرخه حیات این نیروگاه ها انجام می شود. از آنجایی که داده های اولیه بر اساس فهرست داده‌های موجود می‌باشد، بنابراین، مربوط به نیروگاه مشخصی نبوده و در صورت نبود داده های خاص برای یک نیروگاه مشخص، می‌توان از نتایج برای هر نیروگاه چرخه ترکیبی استفاده نمود. فهرست داده های موجودی انتشار گازهای گلخانه ای و آلاینده در یک نیروگاه چرخه ترکیبی به صورت جدول ۳ می باشد [۱۲]. لازم به ذکر است واحد عملکردی مورد نظر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه چرخه ترکیبی است.

جدول ۳): فهرست داده های موجودی (LCI)1 انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای در یک نیروگاه چرخه ترکیبی [۱۲]

منبع طبیعی / انتشار	g/kWh
NOx	5.70E-01
SO_X	3.24E-01
CO	2.87E-01
SPM	1.33E-01
CO_2	4.40E+02
CH_4	2.82E+OO
N_2O	7.19E-04
NH_3	2.10E-02

1) Life Cycle Inventory

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

برای محاسبه اثرات زیست محیطی برداشت منابع مذکور بر اساس ELU از فرمول زیر استفاده شده است.

$$\text{اثر زیست محیطی} = \sum_{i} \text{Factor}_i \times m_i \quad (۱)$$

بر همین اساس، کل اثر و بار زیست محیطی بر اساس ELU بیان می شود. ELU/kg ضریب وزن دهی بر اساس روش EPS برای منابع طبیعی می باشد. m بر اساس کیلوگرم، مقدار منبع i مورد استفاده است [۴].

بر اساس فرمول فوق، ELU برای هر یک از آلاینده های منتشره در چرخه حیات نیروگاه چرخه ترکیبی بر اساس جدول ۴ محاسبه شده است. به عنوان مثال، در خصوص اکسیدهای نیتروژن بر اساس LCI مقدار آن بر حسب گرم بر کیلووات ساعت (واحد عملکردی) برابر ۰/۵۷ می باشد و واحد بار زیست محیطی آن ۲/۱۳ می باشد. بنابراین، بر اساس فرمول، واحد بار زیست محیطی آن ۱/۲۱ خواهد بود. بر همین اساس، واحد بار زیست محیطی هر یک از گازهای منتشره محاسبه شده است.

جدول ٤): واحد بار زیست محیطی (ELU) برای انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای در چرخه حیات نیروگاه چرخه ترکیبی

ELU/kg	ماده منتشره به محیط زیست
1.21E+00	NOx
1.06E+00	SO_X
9.50E-02	CO
4.79E+00	SPM
4.75E+01	CO_2
7.67E+00	CH_4
2.75E-02	N_2O
6.09E-02	NH_3

نتیجه گیری

در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای، شدیدترین اثر زیست محیطی بر اساس واحد ELU ناشی از CO2 می باشد که منجر به گرمایش جهانی می شود. پس از آن، به ترتیب انتشار متان، ذرات معلق، اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد دارای بیشترین شدت انتشار هستند. از آنجایی که متان و اکسیدهای نیتروژن نیز از گازهای گلخانه ای محسوب می شوند، بنابراین، انتظار می رود اثر گلخانه ای و گرمایش جهانی از شدت اثر بالایی در بین سایر اثرات برخوردار باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

منابع

[1] EPA, 2001, LCAccess – LCA 101, U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation (LCA 101 – introduction to LCA).

[2] Sate Sampattagul, Yukio Kimura , Yucho Sadamichi, Anugerah Widiyanto, Akira Nishimura, Naoki Maruyama, Seizo Kato, 2004, AN INTEGRATED LIFE CYCLE ECO-IMPROVEMENT AND *NETS*-GREEN PRODUCTIVITY INDEX OF VENDING MACHINES, International Life Cycle Assessment and Life Cycle Management conference, LCA center.

[3] Zapp, Petra, 2003, Life Cycle Assessment and Energy Technologies, Systems Analysis and Technology Evaluation (STE), Forschungszentrum Julich.

[4] Guinee, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J., 2002, Handbook on Life Cycle Assessment, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

[5] SAIC, 2006, Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, EPA.

[6] Sami Al-Halabieh, 1999, Electrical Power Engineering, Powerformer, Lappeenranta University of Technology (LUT).

[7] Seizo Kato, Naoki Maruyama, Yasuki Nikai, Hidekazu Takai, and Anugerah Widiyanto,Life Cycle Assessment Estimation for Eco-Management of Co-Generation Systems, J. Energy Resour. Technol. -- March 2001 -- Volume 123, Issue 1, 15.

[8] Marja-Kaarina Söderqvist, Finnra Erkki Vesikari,2003, LIFECON DELIVERABLE D 1.1 GENERIC TECHNICAL HANDBOOK FOR A PREDICTIVE LIFE CYCLE MANAGEMENT SYSTEM OF CONCRETE STRUCTURES (LMS), European Community, Fifth Framework Program.

[9] http://eps.esa.chalmers.se/defaultmethod.htm.

[10] Richards, Deanna J., 1997, The Industrial Green Game Implications For Environmental Design And Management, National Academy Press.

[11] Zackrisson, Mats, Bengtsson, Gunnar, Norberg, Camilla, 2004, Measuring your Company's Environmental Impact (Templates & tools for a complete ISO 14001 initial review), Earthscan Publication.

[12] Spath, P.L., Mann, M.K., 2000, Life cycle assessment of a natural gas combined – cycle power generation system, NREL.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]