ویژه‌نامه پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱، زمستان ۱۳۹۳، از صفحه ۵۵ تا ۶۲

ارزیابی چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر از دیدگاه اثر برتغییر اقلیم

نرگس کارگری[1*]، رضا مستوری[2]، افسانه اقدامی[3]

۱ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، گروه محیط‌زیست، تاکستان
۲ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، گروه عمران، اراک
۳ رئیس گروه نظارت و ارزیابی محیط‌زیست، وزارت جهاد کشاورزی

چکیده

تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی موجب انتشار آلودگی‌های محیط‌زیستی و به ویژه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. با وجود آن که برق اتمی به عنوان یک فناوری بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد، اما در صورتی که کل چرخه حیات تولید برق اتمی در نظر قرار گیرد، امکان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مراحل مختلف وجود دارد. ارزیابی چرخه حیات یک رویکرد «گهواره تا گور» برای ارزیابی سیستم‌های مختلف است که قادر است اثرات محیط‌زیستی را در کل چرخه حیات یک فرآیند مورد ارزیابی قرار دهد. همچنین ارزیابی چرخه حیات امکان تخمین اثرات محیط‌زیستی تجمعی ناشی از همه مراحل چرخه حیات محصول را فراهم می‌آورد. بر همین اساس، به منظور ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثر بر تغییر اقلیم ناشی از بهره برداری نیروگاه اتمی بوشهر از این ابزار مدیریتی استفاده شده است. در طبقه‌بندی اثرات محیط‌زیستی در روش ارزیابی چرخه حیات، «تغییر اقلیم» به عنوان یکی از طبقات اثر در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است در روش ارزیابی چرخه حیات، سایر اثرات محیط‌زیستی نیز در نظر گرفته می‌شوند که در این مقاله مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. شایان ذکر است مدل تعیین ویژگی اثر تغییر اقلیم در این تحقیق، روش تعیین ویژگی و فاکتورهای GWP_{100} [1] بوده است. نتیجه ارزیابی چرخه حیات اثر تغییر اقلیم نیروگاه اتمی بوشهر نشان می‌دهد که انتشار اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید کربن بیشترین اثر تغییر اقلیم را در چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر خواهند داشت.

کلیدواژه ها: گازهای گلخانه‌ای، نیروگاه اتمی بوشهر، ارزیابی چرخه حیات (LCA)، تغییر اقلیم، پتانسیل گرمایش جهانی

* نویسنده مسئول
Email: nkargari@gmail.com

سرآغاز

مباحثات در خصوص انرژی و محیط‌زیست در بسیاری از کشورها شامل کشورهای در حال توسعه و کشورهای توسعه یافته در قرن ۲۱ افزایش یافت. به خصوص نگرانی‌ها در مورد تغییر اقلیم موجب در نظر گرفتن سیاست‌های متفاوتی گردید. سیاست‌های انرژی می‌تواند در مقابله با تغییر آب و هوا نقش مهمی داشته باشد، به این دلیل که تولید و مصرف انرژی در بخش‌های حمل و نقل، خانگی- تجاری و صنعتی سهم عمده‌ای از انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان ساخت را به خود اختصاص می‌دهند. در نتیجه، راهبردهای طولانی مدت برای دستیابی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیاز به تغییرات در منابع انرژی، زیرساختارها و میزان مصرف دارد (Pidgeon et al., 2008).

تولید برق با استفاده از سوخت‌های فسیلی موجب انتشار آلودگی‌های محیط‌زیستی و به ویژه گازهای گلخانه‌ای می‌شود. از آنجایی که سهم عمده تولید برق در حال حاضر وابسته به سوخت‌های فسیلی است، امکان کاهش چشمگیر انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق توسعه سایر فناوری‌های تولید برق مانند انرژی‌های نو و انرژی هسته‌ای در آینده نزدیک، کمی دور از انتظار خواهد بود (Rohatgi et al., 2002). اما بدیهی است در طولانی مدت و با گسترش فناوری‌های برق تجدیدپذیر و برق اتمی به جای نیروگاه‌های حرارتی، در روند انتشار گازهای گلخانه‌ای سیر نزولی مشاهده شود.

در حال حاضر عمده نیروگاه‌های موجود در ایران، از نوع نیروگاه‌های حرارتی است که بر اساس آمار سال ۱۳۸۶، حدود ۲۴ درصد انتشار دی‌اکسیدکربن بخش انرژی را به خود اختصاص می‌دهند. تنها نیروگاه اتمی ایران، نیروگاه اتمی بوشهر است که هنوز به بهره‌برداری نرسیده است (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۳۸۵).

با وجود آن که برق اتمی به عنوان یک فناوری بدون انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار می‌گیرد، اما در صورتی که کل چرخه حیات تولید برق اتمی مدنظر قرار گیرد، امکان انتشار گازهای گلخانه‌ای در مراحل مختلف تولید برق اتمی از جمله استخراج، غنی‌سازی سوخت و دفع پسماندها وجود دارد (Fthenakis & Kim, 2007). تفاوت در انتشار گازهای گلخانه‌ای برای زنجیره انرژی هسته‌ای را می‌توان به فناوری غنی‌سازی مورد استفاده علاوه بر نوع فناوری انرژی هسته‌ای (مانند راکتور آب تحت فشار (PWR)[۲]، راکتور آب جوشان (BWR)[۳] نسبت داد. زنجیره انرژی هسته‌ای به طورکلی شامل معدن‌کاوی اورانیوم، آسیاب، تبدیل، غنی‌سازی، تولید سوخت، ساخت نیروگاه، فرآوری مجدد، آماده‌سازی سوخت مصرف شده، ذخیره‌سازی موقت زائدات رادیواکتیو و انبار نهایی زائدات رادیواکتیو می‌باشد. برخلاف نیروگاه‌های سوخت فسیلی، عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های هسته‌ای ناشی از مراحل بالادستی سوخت و چرخه فناوری می‌باشد (Dones et al., 2005).

معرفی ارزیابی چرخه حیات

با افزایش آگاهی‌های محیط‌زیستی، صنایع شروع به ارزیابی نحوه اثر فعالیت‌های خود بر محیط‌زیست کرده‌اند. عملکرد محیط‌زیستی تولیدات و فرآیندها تبدیل به یک مسئله کلیدی شده است تا صنایع بتوانند اثرات محیط‌زیستی فعالیت‌های خود را به حداقل برسانند. بسیاری از صنایع، استفاده از استراتژی‌های بدون آلایندگی و سیستم‌های مدیریت محیط‌زیست را برای بهبود عملکرد محیط‌زیستی مفید می‌دانند. یکی از این ابزارهای مدیریت محیط‌زیست، «ارزیابی چرخه حیات» (LCA)[۴] می‌باشد. ارزیابی چرخه حیات یک رویکرد «گهواره تا گور» برای ارزیابی سیستم‌های صنعتی است. ارزیابی چرخه حیات امکان تخمین اثرات محیط‌زیستی تجمعی ناشی از همه مراحل چرخه حیات محصول را فراهم می‌آورد. همچنین LCA یک تکنیک برای ارزیابی جنبه‌های محیط‌زیستی و اثرات بالقوه همراه با محصول، فرآیند یا خدمات است. به عبارت دیگر ارزیابی چرخه حیات یک تکنیک برای ارزیابی همه ورودی‌ها و خروجی‌های محصول (داده‌ها و ستانده‌ها)، فرآیند 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 فرآیند مورد بررسی می‌باشد (EPA, 2001).

در ISO 14040 تعریف زیر در مورد LCA ارائه شده است:

«مجموعه‌ای از روش‌های سیستماتیک برای گردآوری و ارزیابی مواد و انرژی ورودی و خروجی و اثرات محیط‌زیستی همراه یک سیستم محصول در طول چرخه حیات آن» (Zapp, 2003).

بنابراین، LCA ابزاری برای تجزیه و تحلیل اثرات محیط‌زیستی محصولات در همه مراحل چرخه حیات آن‌ها- از استخراج منابع تا تولید مواد، تولید قطعات و تولید نهایی محصول و استفاده از محصول تا مدیریت پس از دورانداختن آن شامل بازیافت، استفاده مجدد و دفع نهایی- (به عبارت دیگر از گهواره تا گور)

می‌باشد. کل سیستم فرایندهای واحد شامل چرخه حیات محصول «سیستم محصول»[۵] نامیده می‌شود (Guinee et al., 2002). فرآیند LCA می‌تواند به تصمیم‌گیران در انتخاب محصول یا فرآیند با کمترین اثرات محیطزیستی کمک کند. LCA به جلوگیری از انتقال مشکلات محیطزیستی از مرحله‌ای به مرحله دیگر کمک می‌کند (SAIC, 2006).

اجرای یک پروژه LCA تنها اجرای یک پروژه مطالعاتی نیست. نتایج LCA می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های صنعت، دولت و سازمان‌های غیردولتی استفاده شود. این نتایج می‌تواند تصمیمات را بر اساس سرمایه، مسائل سیاسی یا برآوردهای استراتژیک مشخص کند. بنابراین بهتر است پروژه LCA به عنوان یک فرایند سازمانی که می‌تواند به روش‌های متفاوتی انجام شود، مورد توجه قرار گیرد (Guinee et al., 2002).

مراحل اجرای ارزیابی چرخه حیات (چارچوب LCA)

ارزیابی چرخه حیات، یک کار بزرگ و پیچیده است که متغیرهای بسیار زیادی در آن وجود دارد. با این وجود، توافق کلی در مورد ساختار رسمی LCA ایجاد شده که از سه مرحله تشکیل شده است:

- تعریف هدف و دامنه
- تجزیه و تحلیل فهرست موجودی (Inventory)
- تجزیه و تحلیل اثر

همه مراحل در نهایت به تفسیر نتایج ختم می‌شوند (در برخی مراجع، با احتساب مرحله تفسیر نتایج، چهار مرحله در نظر گرفته می‌شود).

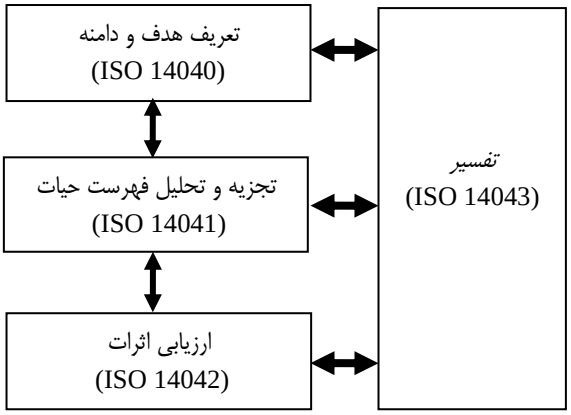
مفهوم روش ارزیابی چرخه حیات در شکل (۱) نشان داده شده است (Guinee et al., 2002).

ابتدا هدف و دامنه LCA تعریف می‌شود. سپس تجزیه و تحلیل فهرست موجودی (Inventory) و تجزیه و تحلیل اثر انجام می‌شود. تفسیر نتایج در هر مرحله، تحلیلی بالقوه را نشان می‌دهد که ممکن است روی هر مرحله اثر بگذارد بنابراین کل فرآیند انعطاف‌پذیر خواهد بود (Guinee et al., 2002).

ویژگی‌های نیروگاه اتمی بوشهر

نیروگاه اتمی بوشهر دارای یک راکتور PWR از نوع روسی (VVER-1000) با ظرفیت نامی ۱۰۰۰ مگاوات می‌باشد. خنک‌سازی راکتور با استفاده از آب شور دریا (خلیج فارس) انجام می‌شود که آب مصرفی آن ۸۴۸۰۰ مترمکعب در ساعت می‌باشد و دمای آب خروجی به خلیج فارس تنها ۱ درجه سانتیگراد بیش از دمای آب خلیج می‌باشد. تقریبا ۸۰ تن سوخت از نوع دی‌اکسیداورانیوم در راکتور نیروگاه اتمی بوشهر جایگزاری می‌شود که پس از یک سال یک سوم آن مصرف می‌شود و بنابراین هر سال مقدار مصرف شده مجددا جایگزاری می‌شود. برق خروجی حدود MW ۷۰۰۰ در سال خواهد بود. بنابراین انتظار می‌رود در طول عمر نیروگاه (۳۰ سال)، حدود MW ۲۱۰۰۰۰ برق تولید شود. همچنین انتظار می‌رود در سال ۲۰۱۵، نیروگاه اتمی بوشهر ۲/۲ درصد از نیاز برق کشور را تامین نماید.

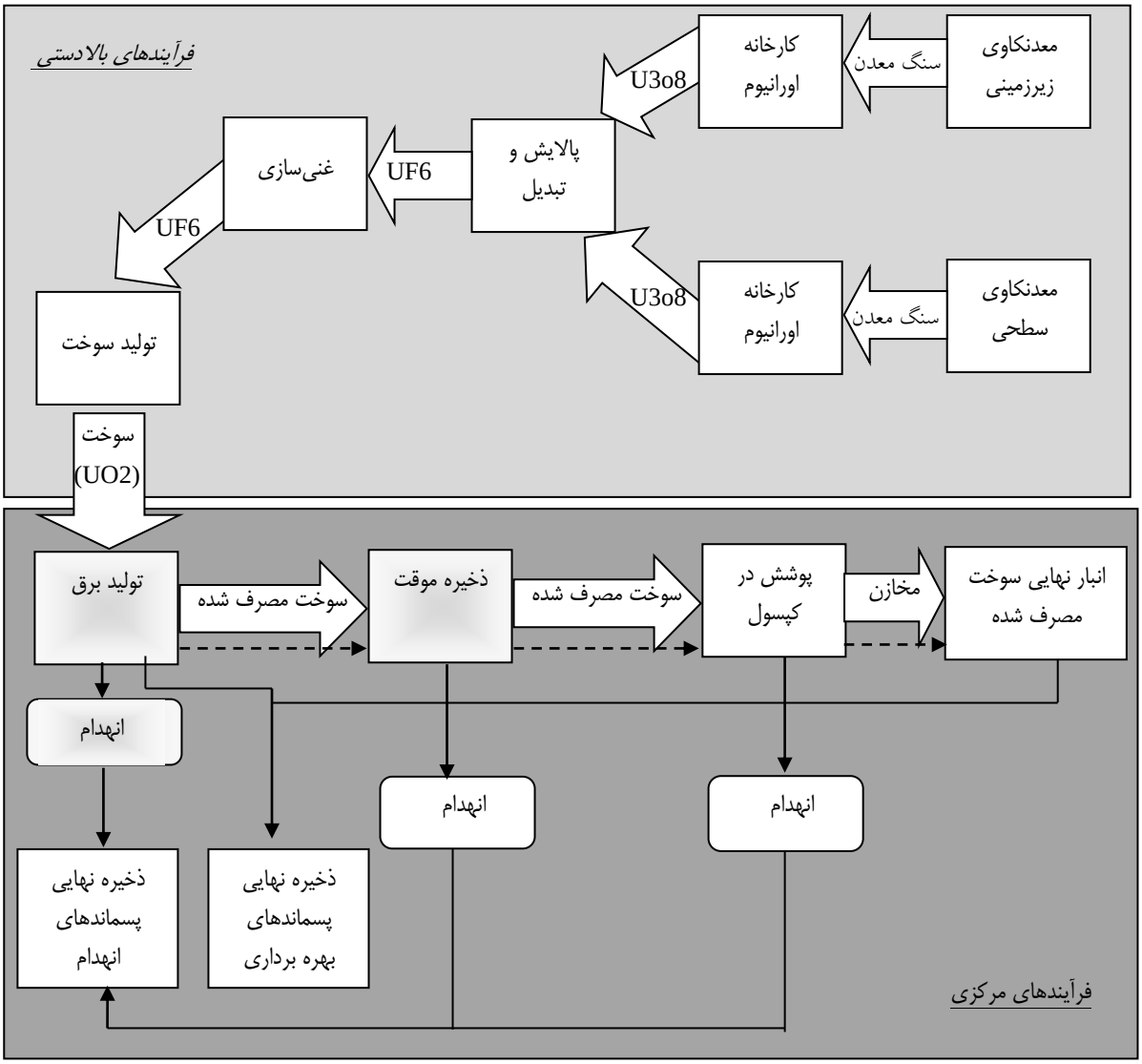
ژنراتور نیروگاه اتمی بوشهر از نوع سنکرون سه فاز می‌باشد که سیم پیچ استاتور آن با آب خنک می‌گردد. خنک‌کننده روتور و هسته استاتور آن نیز هیدروژن می‌باشد. قدرت خروجی آن ۱۰۰۰ مگاوات و دارای دو قطب بوده و با مارک صنعتی TBB – 1000 2/27/T3 – معرفی می‌شود. ولتاژ خروجی استاتور آن نیز ۲۷kv می‌باشد (نیروگاه اتمی بوشهر، ۱۳۸۸).



شکل (۱): چهارچوب ارزیابی چرخه حیات (Guinee et al., 2002)

چرخه سوخت هسته‌ای

شکل (۲) مسیر گام به گام استخراج اورانیوم تا دفع پسمان‌های هسته‌ای را به طور خلاصه نشان می‌دهد. فرآوری اورانیوم از معدن تا تکمیل سوخت هسته‌ای، فرآیندهای بالادستی نامیده می‌شود در حالی که بهره‌برداری از نیروگاه اتمی و مدیریت زائدات نیروگاه اتمی، فرآیندهای مرکزی هستند. فرآیندهای پایین دستی نیز شامل انتقال و توزیع برق به مصرف‌کنندگان می‌باشد (Vattenfall AB Generation Nordic, 2007).



شکل (۲): مسیر گام به گام استخراج اورانیوم تا دفع پسماندهای هسته‌ای (Vattenfall AB Generation Nordic, 2007)

اجرای ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه اتمی بوشهر

تعریف هدف و دامنه

مهمترین اهداف ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه اتمی بوشهر شامل موارد زیر می‌باشد:

- ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه حیات فرآیند تولید برق اتمی در نیروگاه اتمی بوشهر
- شناسایی پتانسیل‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه حیات تولید برق اتمی
- کمک به تصمیم‌گیران در تولید برق اتمی یا سایر فناوری‌های تولید برق با توجه به ویژگی‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای
- کمک به تصمیم‌گیران در زمینه سیاست‌های انرژی در کشور

تجزیه و تحلیل فهرست موجودی چرخه حیات (LCI)[۶]

جمع‌آوری داده‌ها برای فهرست موجودی چرخه حیات در اجرای موفق ارزیابی چرخه حیات همواره یک عامل بحرانی محسوب می‌شود. دستیابی به داده‌های معتبر مانع مهمی در پیشرفت و استفاده از LCA در مدیریت محیط‌زیست است (Curran et al., 2005).

نتیجه اصلی این مرحله، ارائه جدولی از فهرست ورودی‌ها (مواد و انرژی) و خروجی‌ها (انتشار به محیط‌زیست) به ازای واحد عملکردی می‌باشد مانند کیلوگرم دی اکسید کربن، یا کیلوگرم سنگ معدن آهن یا متر مکعب گاز طبیعی و غیره. در واقع جدول

فهرست موجودی که نتیجه این مرحله می‌باشد، ورودی برای گام بعد (ارزیابی اثر) محسوب می‌شود (Guinee et al., 2002).

واحد کارکردی[۷]

واحد کارکردی، یک توصیف کمی از سیستم خدمات یا محصول فرآیند مورد بررسی می‌باشد (Rebitzer et al., 2004).

بنابراین، با توجه به هدف این تحقیق، واحد کارکردی در نظر گرفته شده در این مطالعه ۱ KWh برق اتمی تولید شده از نیروگاه اتمی بوشهر می‌باشد.

تعریف مرزهای سیستم

از آنجایی که چرخه حیات کامل یک نیروگاه اتمی بسیار گسترده است، در نظر گرفتن کل چرخه حیات علاوه بر این که بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است، در بسیاری از بخش‌ها انجام آن به علت عدم دسترسی به داده‌ها عملا غیرممکن می‌باشد.

مرزهای سیستم مطالعه ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه اتمی بوشهر در شکل (۳) به صورت شماتیک نشان داده شده است. در این مطالعه، تهیه سوخت اتمی، ساخت و بهره‌برداری از نیروگاه اتمی بوشهر (فرآیند تولید برق) به عنوان مرزهای سیستم در نظر گرفته شده است.

ارزیابی اثر چرخه حیات (LCIA)

ارزیابی اثر چرخه حیات، مرحله‌ای است که در آن مجموعه نتایج مرحله قبل (جدول فهرست موجودی) بر اساس اثرات محیط‌زیستی تفسیر می‌شود. در پایان این مرحله، فهرستی از طبقات اثر تعریف شده و برای مداخلات محیط‌زیستی مرتبط به شاخص‌های مناسب طبقات اثرات، مدل‌سازی می‌شوند. این مرحله دارای چندین زیر بخش است که در زیر آمده است (Guinee et al., 2002).

انتخاب و تعریف طبقات اثرات

در مرحله ارزیابی اثر، نتایج تجزیه و تحلیل فهرست موجودی به طبقات اثرات محیط‌زیستی مانند گرمایش جهانی، تولید اسید[۸]، سمیت مناطق خشکی مرتبط می‌شود. در پایان این مرحله، طبقات اثر مرتبط باید شناسایی شوند. به منظور تسهیل این فرآیند، فهرستی از طبقات اثر برای انجام پروژه‌های LCA ارائه شده است. از این فهرست می‌توان طبقات اثر مرتبط با نوع پروژه و دامنه و اهداف پروژه را انتخاب نمود.

این طبقات اثر عبارتند از:

- کاهش منابع غیرزیستی
- رقابت زمین
- تغییر اقلیم
- کاهش ازن استراتوسفری
- سمیت بر انسان
- سمیت اکولوژیکی
- تشکیل فتواکسیدان‌ها
- ایجاد اسید
- یوتروفیکاسیون
- تابش‌های رادیواکتیو (Vattenfall AB Generation (Nordic, 2007

همانگونه که در طبقات اثر مطالعات ارزیابی چرخه حیات مشاهده می‌شود، تغییر اقلیم یکی از طبقات اثر می‌باشد که در این مقاله به این طبقه اثر پرداخته شده است.

انتخاب روش‌های تعیین ویژگی: شاخص‌های طبقه، مدل‌ها و فاکتورهای تعیین ویژگی

برای یک طبقه اثر، روش تعیین ویژگی شامل یک شاخص طبقه، یک مدل تعیین ویژگی و فاکتورهای تعیین ویژگی مشتق شده از مدل می‌شود.

تغییر اقلیم به عنوان اثر انتشار انسان‌ساخت بر افزایش جذب اشعه گرمایی تعریف می‌شود. این امر ممکن است دارای اثرات مضر بر سلامت اکوسیستم‌ها، سلامت انسان و مواد داشته باشد. زمینه‌های حفاظت شامل بهداشت انسان، محیط‌زیست طبیعی و محیط‌زیست انسان‌ساخت می‌شود. مدل تعیین ویژگی اثر تغییر اقلیم روش تعیین ویژگی و فاکتورهای "GWP_{100}" می‌باشد (Guinee et al., 2002).

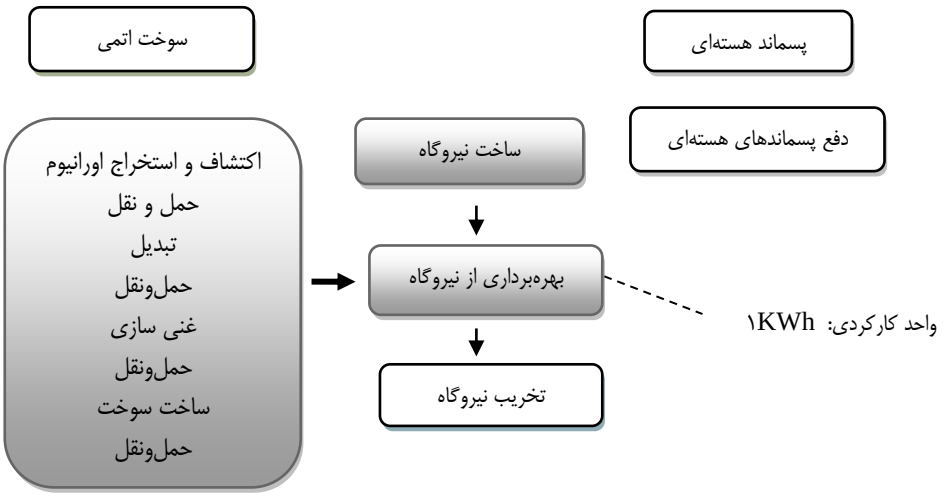
جدول (۱) ضرایب تعیین ویژگی مواد مؤثر در تغییر اقلیم را بر اساس روش GWP_{100} نشان می‌دهد (Houghton et al., 1994).

لازم به ذکر است گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی، از مرحله تجزیه و تحلیل فهرست موجودی نتیجه گرفته شده‌اند.

معادله تعیین ویژگی اثر تغییر اقلیم بر اساس ضرایب فوق به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{تغییر اقلیم} = \sum_{i} GWP_{a,i} \times m_i$$

نتیجه شاخص بر حسب کیلوگرم ماده مرجع (CO_2) بیان



شکل (۳): نمایش شماتیک مرزهای سیستم مطالعه ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه اتمی بوشهر

جدول (۱): ضرایب GWP_{100} برای تعیین ویژگی گازهای گلخانه‌ای (Houghton et al., 1994)

گاز گلخانه‌ای	GWP_{100} (kg CO_2 eq./kg)
CO_2	1
CFC-12	8500
NOx	310
Halon-1301	5600
HCFC-22	1700
CH_4	21
SF_6	23900

می‌شود. $GWP_{a,i}$ پتانسیل گرمایش جهانی برای ماده i در سال‌های a می‌باشد و m_i بر حسب کیلوگرم، کمیت ماده i منتشر شده است. به این ترتیب برای محاسبه تعیین ویژگی اثر تغییر اقلیم در نیروگاه اتمی بوشهر با توجه به فهرست موجودی چرخه حیات در مرزهای سیستم تعریف شده بر اساس ضرایب فوق به صورت زیر عمل می‌شود.

تعیین ویژگی چرخه حیات گازهای گلخانه‌ای نیروگاه اتمی بوشهر بر اساس جدول (۲) می‌باشد.

طبقه‌بندی (classification)

در این گام، مداخلات محیط‌زیستی توصیف شده و کمی شده در تجزیه و تحلیل فهرست موجودی بر یک اساس کمی خالص به طبقات اثر پیش انتخاب شده اختصاص می‌یابد (Guinee et al., 2002).

همان‌طور که ذکر شد در طبقه‌بندی اثرات، مداخلات محیط‌زیستی به طبقه اثرات پیشنهادی اختصاص می‌یابد. از آنجایی که در تحقیق حاضر، فقط یک طبقه اثر موردنظر است (تغییر اقلیم)، بنابراین تداخل اثری بین گازهای گلخانه‌ای با سایر طبقات اثر وجود نخواهد داشت.

جدول (۲): تعیین ویژگی گازهای گلخانه‌ای چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر بر اساس ضرایب GWP_{100} به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی

گاز گلخانه‌ای	GWP_{100} (kg CO_2 eq./kg)
CO2	5.50E-03
CFC-12	5.95E-05
NOx	6.85E-03
Halon-1301	5.4544E-08
HCFC-22	3.96E-06
CH_4	1.34E-04
SF_6	6.55E-05
تعیین ویژگی اثر اقلیم چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی	1.26E-02

تعیین ویژگی

در گام تعیین ویژگی ارزیابی اثر مداخلات محیط‌زیستی تخصیص داده شده به یک طبقه اثر مشخص در بخش طبقه‌بندی بر اساس واحد متعارف برای همان طبقه کمی می‌شوند و مجموع به صورت یک نمره (نتیجه شاخص) ارائه می‌شود. نتیجه برای هر طبقه اثر مشخص به یک نتیجه شاخص طبقه اشاره داشته و مجموعه کامل نتایج شاخص طبقه به عنوان پروفایل محیط‌زیستی مطرح می‌شود (Guinee et al., 2002). با توجه به این که در این مقاله فقط یک طبقه اثر در نظر گرفته شده است، امکان ارائه پروفایل محیط‌زیستی وجود ندارد.

نرمالیزه کردن

14042 نرمالیزه کردن را به عنوان «محاسبه دامنه نتایج شاخص نسبت به اطلاعات مرجع» تعریف می‌کند. اطلاعات مرجع ممکن است با جامعه ارائه شده (مانند اروپا یا جهان)، فرد (مانند شهروند) یا سایر سیستم‌ها در دوره زمانی ارائه شده، مرتبط باشد. هدف اصلی نرمالیزه کردن، درک بهتر از اهمیت و دامنه نسبی نتایج برای هر سیستم محصول در مطالعه می‌باشد (Guinee et al., 2002).

ضرایب مورد استفاده جهت نرمالیزه کردن طبقه اثر تغییر اقلیم برای کل جهان در جدول (۳) مشخص شده است (Huijbergts et al., 2003).

جدول (۳): ضرایب نرمالیزه کردن طبقه اثر تغییر اقلیم برای کل جهان (Huijbergts et al., 2003)

طبقه اثر	ضریب نرمالیزه کردن
تغییر اقلیم	3.86E+13

نتیجه شاخص بر اساس فرمول زیر به دست می‌آید.

$$\text{نتیجه شاخص} = \sum_{i} m_{i,ref} \times \text{characterization factor}_{i,cat}$$

$$\text{نتیجه شاخص نرمالیزه شده} = \frac{\text{Indicator result}_{cat}}{\text{Indicator result}_{cat,ref}}$$

در فرمول فوق:

- $\text{Indicator result}_{cat,ref}$: نتیجه شاخص برای طبقه اثر cat و سیستم مرجع ref
- $m_{i,ref}$: دامنه مداخلات i (شامل انتشار، استخراج منابع و غیره) همراه با سیستم مرجع ref
- $\text{characteristion factor}_{i,cat}$: ضریب تعیین ویژگی برای مداخلات i و طبقه اثر cat

نتیجه شاخص نرمالیزه برای طبقه اثر تغییر اقلیم در ارزیابی چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر در جدول (۴) مشخص شده است.

جدول (۴): نتایج شاخص نرمالیزه برای طبقه اثر تغییر اقلیم در ارزیابی چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی

طبقه اثر	مقدار (yr)
تغییر اقلیم	3.27E-16

گروه‌بندی

گروه‌بندی یک گام از ارزیابی اثر است که در آن طبقات اثر در یک یا چند مجموعه جمع می‌شود. گروه‌بندی طبقات اثر برای تسهیل تفسیر نتایج انجام می‌شود که انجام آن اختیاری است که دو رویکرد برای آن در دسترس است: دسته‌بندی کردن و رتبه‌بندی کردن که بر اساس ISO به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

- دسته‌بندی کردن شاخص‌های طبقه بر اساس عددی مانند تعیین ویژگی مثل انتشار یا منابع یا مقیاس‌های فضایی جهانی، منطقه‌ای و محلی.
- رتبه‌بندی کردن شاخص‌های طبقه بر اساس مقیاس ترتیبی مانند روش سلسله مراتبی مثل اولویت زیاد، متوسط و کم (رتبه‌بندی بر اساس انتخاب‌های ارزشی است) (Guinee et al., 2002).

برای گروه‌بندی اثر تغییر اقلیم در نیروگاه اتمی بوشهر، از دو روش مقیاس‌های فضایی و تعیین ویژگی (محل پذیرنده یا استخراج) استفاده شده است. علت این انتخاب این است که نظر کارشناسی در گروه‌بندی به حداقل برسد. به این ترتیب در مقیاس فضایی طبقه اثر تغییر اقلیم دارای مقیاس جهانی است و در تعیین ویژگی انتشار، انتشار به هوا در نظر گرفته می‌شود.

تفسیر چرخه حیات

تفسیر چرخه حیات مرحله‌ای است که در آن نتایج تجزیه و تحلیل ارزشیابی شده و نتیجه‌گیری کلی انجام می‌شود (SAIC, 2006). نتیجه تفسیر چرخه حیات تغییر اقلیم نیروگاه اتمی بوشهر در بخش بحث و نتیجه‌گیری آمده است.

یافته‌ها

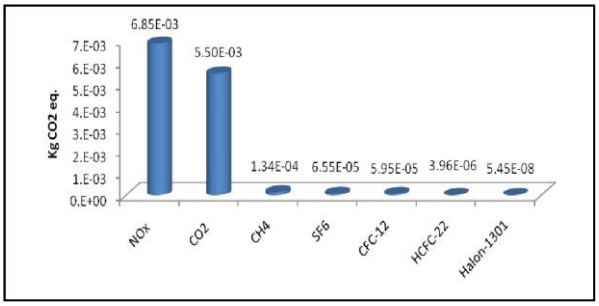
نتیجه ارزیابی اثر چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثر بر تغییر اقلیم بر اساس LCI و ضرایب GWP در شکل (۳) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسیدکربن بیشترین اثر را تغییر اقلیم ناشی از چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر دارند. این در حالی است که بیشترین ضریب پتانسیل گرمایش جهانی متعلق به هگزافلوئورید گوگرد است اما با توجه به داده‌های فهرست موجودی چرخه حیات، اکسیدهای نیتروژن بیشترین اثر را در نقش نیروگاه اتمی بوشهر در گرمایش جهانی دارد.

یادداشت‌ها

1. Global Warming Potential
2. Pressurized Water Reactor
3. Boiling Water Reactor
4. Life Cycle Assessment
5. Product System
6. Life Cycle Inventory
7. Functional Unit
8. Acidification



شکل (۳): انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر

فهرست منابع

دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. ۱۳۸۵. ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۴، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی.

روابط عمومی نیروگاه اتمی بوشهر. ۱۳۸۸. آشنایی با نیروگاه اتمی بوشهر، روابط عمومی نیروگاه اتمی بوشهر.

Curran, M. A.; Mann, M. & Gregory, N. 2005. The international workshop on electricity data for life cycle inventories, Journal of Cleaner Production, 13: 853 – 862.

Dones, R.; Heck, T.; Emmenegger, M.F. & Jungbluth, N. 2005. Life-cycle Inventories for the Nuclear and Natural Gas Energy Systems, and Examples of Uncertainty Analysis, International Journal of Life Cycle Analysis.

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

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.

Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Bruce, J.; Lee H.; Callander, B.A.; Haites, E.; Harris, N. & Maskell, K. 1994. Climate Change, Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge.

Huijbergts, M.A.J.; de Koning, A.; van Oers, L.; Huppens, G. & Suh, S. 2003. Normalisation figure for environmental life cycle assessment, The Netherlands (1997/1998), Western Europe (1995) and the World (1990 and 1995). Journal of Cleaner Production, 11: 737 – 748.

Pidgeon, N. F.; Lorenzoni, I. & Poortinga, W. 2008. Climate change or nuclear power – No thanks! A quantitative study of public perceptions and risk framing in Britain, Global Environmental Change, 18: 69-85.

Rebitzer, G.; Ekvall, T.; Frischknecht, R.; Hunkeler, D.; Norris, G.; Rydberg, T.; Schmidt, W.P.; Suh, S.; Weidema, B. P. & Pennington, D. W. 2004. Life cycle assessment, Part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications, Environmenttal International Journal.

Rohatgi, U.; Jo, J. H.; Lee, J. C. & Bari, R. A. 2002. Impact of the Nuclear Options on the Environment and the Economy, Nucl. Technol. 137: 252 – 264.

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

Fthenakis, V. M. & Kim, H. C. 2007. Greenhouse Gas Emissions From Solar Electric And Nuclear Power: A Life Cycle Study, Energy Policy, Vol. 35, pp. 2549-2557

Vattenfall AB Generation Nordic. 2007. Vattenfall AB Generation Nordic Certified Environmental, Product Declaration, EPD of Electricity from Ringhals Nuclear Power Plant, Vattenfall.

Zapp, P. 2003. Life Cycle Assessment and Energy Technologies, Systems Analysis and Technology Evaluation (STE), Forschungszentrum Julich.