پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۰، شماره ۱۹، بهار و تابستان ۱۳۹۸، از صفحه ۶۷ تا ۷۷

ارزیابی محیط‌زیستی نیروگاه سیکل ترکیبی یزد با استفاده از روش LCA

راضیه رضایی راد[۱]؛ محمدرضا علمی*[۲]؛ رضا صمدی[۳] فرهاد؛ نژاد کورکی[۴]

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع‌طبیعی محیط‌زیست، دانشگاه یزد، ایران
۲ استادیار گروه محیط‌زیست دانشگاه یزد، ایران
۳ مدیر دفتر محیط‌زیست سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)، ایران
۴ دانشیار گروه محیط‌زیست دانشگاه یزد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۱۳؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰)

چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثرات محیط‌زیستی تولید برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد با روش ارزیابی چرخه‌حیات (LCA)[(۱)] انجام پذیرفت. بدین‌منظور ابتدا کلیه مواد، منابع‌محیطی، تکنولوژی‌های مورد استفاده و میزان انتشارات مختلف به محیط به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت برق که واحد مرجع در نظر گرفته شده، صورت‌برداری شدند. سرانجام تاثیر هر یک از این نهاده‌ها در قالب شاخص‌های محیط‌زیستی، کمّی شده و در نهایت ارزیابی اثرات محیط‌زیستی تولید برق با استفاده از نرم‌افزار Simapro8 در ۱۰ طبقه اثر انجام شد. نتایج ارزیابی نشان داد که اثرات سمیت آب‌های آزاد، تخلیه منابع فسیلی، اسیدی شدن و گرمایش جهانی در تولید یک مگاوات ساعت برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد بیشتر از سایر اثرات، به محیط‌زیست آسیب می‌رسانند. از طرفی سوخت‌های فسیلی بیشترین بار منفی محیط‌زیستی را از بین سایر ورودی‌ها ایجاد می‌نمایند. شاخص نهایی پتانسیل گرمایش جهانی در طول چرخه حیات تولید ۱ مگاوات ساعت برق در نیروگاه یزد، در مرحله بهره‌برداری ۶۲۳ کیلوگرم معادل انتشار گاز CO2 محاسبه شدکه نسبت به مرحله ساخت نیروگاه دارای اثر بیشتری در این طبقه اثر بود.

کلید واژه‌ها: ارزیابی چرخه حیات، شاخص محیط‌زیستی، Simapro8، نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، سوخت فسیلی

*نویسنده مسئول: Email: melmi@yazd.ac.ir

سرآغاز

صنعت برق را می‌توان یکی از صنایع بنیادی دانست که توسعه و پیشرفت اقتصادی کشور و بهبود سطح رفاه خانواده بدون آن امری سخت و حتی غیرممکن است (Ashrafzadeh & Samii, 2009). احداث نیروگاه‌های جدید البته با مدیریت ویژه در شبکه‌های توزیع، انتقال و مصرف انرژی یکی از ضروری‌ترین موارد کشورهای در حال توسعه است (Ashrafzadeh & Madadi, 2009). امروزه روش‌های مختلفی برای تولید برق به کار می‌رود که انتخاب نوع روش تولید به عواملی همچون شرایط جغرافیایی و اقلیمی، مسایل اقتصادی و فنی و پیامدهای محیط‌زیستی بستگی دارد. انرژی الکتریسیته در سطح جهان با استفاده از انرژی‌های تجدیدشونده، انرژی هسته‌ای و سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. تولید برق در کشورهای در حال توسعه، همراه با توجه ویژه به مسایل محیط‌زیستی و استفاده از انرژی‌های نو انجام می‌گیرد، با این وجود در کشورهای غنی از منابع سوخت فسیلی به علت مسایل اقتصادی، از انواع سوخت فسیلی برای تولید انرژی الکتریسیته استفاده می‌شود. تولید برق از طریق سوخت فسیلی به وسیله نیروگاه‌های دیزلی، گازی، حرارتی، بخاری و چرخه ترکیبی و با مصرف سوخت‌هایی مانند نفت گاز، گاز، نفت کوره و یا ذغال‌سنگ انجام می‌گیرد (Saeedi et al., 2005). در کشور ایران نیروگاه‌های حرارتی نزدیک به ۸۵ درصد برق مورد نیاز کشور را تامین می‌کنند (Monenco Consulting Engineers, 2010). شیوه تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی، تبدیل انرژی حرارتی حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی است (Samadi & Sohrab, 2007) و شامل سه نوع کلی، نیروگاه گازی، بخاری و سیکل ترکیبی هستند که از بین این سه، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از نظر اقتصادی و فنی به عنوان گزینه برتری شناخته شده‌اند (Monenco Consulting Engineers, 2010). نیروگاه سیکل ترکیبی، ترکیبی از دو نیروگاه گازی و بخاری اما با راندمانی بالاتر هستند. از طرفی آلودگی تولیدی در این نیروگاه مجموع آلودگی ناشی از هر یک از چرخه‌های بخار و گاز خواهد بود (Saeedi et al., 2005). بین سال‌های ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۳ گرم شدن زمین بر اثر گازهای گلخانه‌ای ۱۳ درصد افزایش یافته است. یکی از عوامل مهم در انتشار این گازها، احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها است به طوری که حدود ۷۳ درصد انتشار کربن در سطح جهان ناشی از فعالیت‌های تولید برق می‌باشد (Gurba, 2006). نیروگاه‌های تولید برق علاوه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، اثرات محیط‌زیستی مختلفی مانند اثر بر منابع‌زیستی و غیرزیستی، یوتریفیکاسیون، رسوب و باران اسیدی، مه دود فتوشیمیایی، تخریب لایه ازون، سمیت در محیط خشکی و آبی، سلامت و بهداشت انسان و تغییر کاربری زمین دارند (Al Muhammad et al., 2013). این اثرات در تمام مراحل چرخه تولید برق شامل استخراج منابع، ساخت تجهیزات، حمل و نقل مواد، استفاده از برق و دفع زایدات وجود خواهد داشت. بنابراین، ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی نیروگاه‌ها به جهت اثرات مضری که بر سلامت محیط و انسان‌ها دارند امری ضروری و غیرقابل اجتناب است. یکی از روش‌های پیشنهادی برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی فرایندهای تولید برق، روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) می‌باشد که در این روش پیامدهای محیط‌زیستی در ارتباط با تولید یک محصول، خدمات و یا یک فرآیند، در تمام طول عمر آن، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Staroska Patky, 2015). ارزیابی چرخه‌حیات در بخش تولید برق، شامل بررسی مراحل استخراج، فرآوری، انتقال سوخت، ساخت نیروگاه، تولید برق، دفع زایدات، نوسازی و تخریب نیروگاه پس از پایان عمر آن است اگرچه، در عمل مراحلی همچون نوسازی و یا تخریب نیروگاه در پایان عمر آن بررسی نمی‌شوند (Weisser, 2007).

برخی پژوهش‌های انجام شده داخلی در زمینه ارزیابی چرخه حیات، مربوط به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرایند تولید برق است. (Al Muhammad et al., 2013) با استفاده از ارزیابی چرخه حیات به مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه‌های برق پرداختند در این مطالعه انتشار گازهای گلخانه‌ای از نیروگاه‌های مختلف تولید برق شامل نیروگاه‌های سوخت فسیلی، نیروگاه‌های هسته‌ای، نیروگاه‌های خورشیدی، نیروگاه‌های بادی و نیروگاه‌های برق آبی در چارچوب ارزیابی چرخه حیات به صورت مروری مقایسه شدند. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی و کمترین میزان مربوط به نیروگاه‌های هسته‌ای است.

(Kargari & Mastouri, 2009) در تحقیقی مشابه به این نتایج دست پیدا کردند که بیشترین میزان انتشار گازهای

گلخانه‌ای در طی چرخه حیات نیروگاه به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی، مربوط به نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی به ویژه نیروگاه‌های نفتی و زغال سنگی و کمترین میزان انتشار مربوط به نیروگاه‌های برق آبی و هسته‌ای است. پس از نیروگاه‌های برق آبی و هسته‌ای نیز کمترین میزان انتشار مربوط به نیروگاه‌های بادی، خورشیدی و زیست توده می‌باشد.

(Khoudi & Mousavi, 2009) در مطالعه خود با ارزیابی چرخه عمر فناوری‌های تولید برق با رویکرد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به این نتیجه رسیدند که نیروگاه‌های برقابی و زمین گرمایی به ترتیب با میزان انتشار ۱۱ و ۱۵ گرم دی‌اکسیدکربن به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی دارای کمترین میزان انتشاردی‌اکسیدکربن و نیروگاه‌های زغال سوز و نفت سوز نیز به ترتیب با ۹۷۵ و۷۴۲ گرم دی‌اکسیدکربن در هر کیلووات ساعت برق تولیدی بیشترین میزان انتشار را دارا هستند.

(Kargari et al., 2014) به پژوهشی تحت عنوان «ارزیابی چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر از دیدگاه اثر برتغییر اقلیم» پرداختند. نتایج نشان داد که انتشار اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسیدکربن بیشترین اثرتغییر اقلیم را در چرخه حیات نیروگاه اتمی بوشهر خواهد داشت.

در مطالعه‌های خارجی ارزیابی چرخه حیات نیروگاه‌ها، به تمامی پیامدهای محیط‌زیستی مربوط به چرخه تولید برق پرداخته شده است.

(Hanafi, 2015 & Riman)، در مطالعه‌ای به ارزیابی چرخه حیات نیروگاه برق آبی کوچکی در اندونزی (مطالعه موردی رودخانه Karai) پرداختند در این پژوهش پس از جمع‌آوری داده‌های موردنظر، اثرات محیط‌زیستی هر یک با کمک نرم‌افزار Simapro مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان دادکه ساخت نیروگاه موردنظر منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه در بخش استخراج و حمل و نقل سنگ‌های مورد استفاده برای ساخت سدها و تونل‌ها، می‌شود. بیشترین پیامدهای محیط‌زیستی طرح نیز ناشی از احداث خط لوله سریع است.

(Mbohwa, 2013)، در پژوهشی دیگر به ارزیابی چرخه حیات یک نیروگاه حرارتی قدیمی در آفریقا که از ذغال سنگ به عنوان سوخت اصلی استفاده می‌کند پرداخت. در این مطالعه نتایج نشان‌دهنده این امر بود که دی‌اکسیدکربن، اکسید نیتروژن و مواد زاید جامد منتشر شده از نیروگاه، اثرات خطرناک زیادی بر گیاهان، جانوران، آب و انسان دارد در طی این پژوهش همچنین شاخص‌های محیط‌زیستی برای نیروگاه حرارتی به دست آمد که می‌تواند به عنوان پایه و اساسی برای مطالعه‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد.

در سال ۱۳۸۷ در پی افزایش صنایع مختلف در نقاط مختلف شهر یزد و افزایش نیاز به انرژی الکتریسیته، احداث و بهره‌برداری نیروگاه سیکل ترکیبی در این شهر انجام شد. با توجه به نتایج مطالعه‌های خارجی و داخلی انجام شده در زمینه پیامدهای محیط‌زیستی تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه سیکل ترکیبی یزد نیز به دلیل استفاده از سوخت‌های گاز و گازوئیل مسئول انتشار بخش اعظمی از دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای به جو، تغییرات اقلیمی منطقه‌ای و محلی و سایر پیامدهای محیط‌زیستی بودند. از آن جایی که تاکنون مطالعه‌ای برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی در طول حیات این نیروگاه انجام نگرفته است بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثرات محیط‌زیستی ناشی از فرایند تولید برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، همچون گرمایش جهانی، اسیدیته، سمیت، تخلیه منابع، مردابی شدن و تخریب لایه اوزون، با روش ارزیابی چرخه حیات و با کمک نرم‌افزار Simapro انجام شده است.

منطقه مورد مطالعه

نیروگاه سیکل ترکیبی یزد ازسال ۱۳۸۷ راه اندازی شده است این نیروگاه در غرب شهر یزد و در حوضه یزد- اردکان در کیلومتر ۳۰ جاده خضرآباد جنب فولاد آلیاژی به طول جغرافیایی ۵۷°۳۱ و عرض جغرافیایی۵۴°۰۳ و ارتفاع از سطح دریا ۱۲۳۱ متر به وسعت ۹ کیلومتر واقع شده است. این نیروگاه با کارفرمایی شرکت توسعه نیروگاه‌های برق کشور با مشاوره شرکت مشانیر و با نظارت شرکت مشاور نیرو و پیمانکاری شرکت مپنا (مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران) احداث شد. بیش از ۱/۷ درصد از کل برق تولیدی کشور توسط نیروگاه چرخه ترکیبی یزد تولید می‌شود (Detailed Statistics of Iran Power Industry, 2014). در جدول (۱)، مشخصات عمومی و در تصویر (۱) عکس هوایی از نیروگاه سیکل ترکیبی یزد نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق پس از بازدید و بررسی وضعیت موجود، مصاحبه با کارشناسان و آشنایی با روند ساخت و فعالیت نیروگاه، برای

جدول (۱): مشخصات عمومی نیروگاه یزد

نوع نیروگاه	تعداد واحدها	ظرفیت واحدها (MW)	سال راه‌اندازی	شرکت سازنده
گازی یزد	۲	۱۲۳	۱۳۷۸	Alstom
	۲	۱۶۰	۱۳۸۸	آنسالدو
چرخه ترکیبی یزد	۱	۱۶۰	۱۳۸۵	DOOSAN
	۱	۱۶۰	۱۳۸۹	–

تصویر (۱): تصویر هوایی نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

ارزیابی اثرات محیط‌زیستی فرایند تولید برق، بر اساس روش ارزیابی چرخه حیات انجام گرفته است. ارزیابی چرخه حیات شامل چهار مرحله است: ۱. تعریف هدف و دامنه کاربرد ۲. تجزیه تحلیل سیاهه (LCI)[۲] ۳. ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی (LCIA)[۳] ۴. تفسیر

هدف، منظور و دلیل محقق برای مطالعه را روشن می‌کند در این مرحله روش انجام تحقیق، چگونگی جمع‌آوری داده‌ها، فرضیه‌های موردنظر، مرز سیستم، واحد مرجع، نحوه استفاده از نتایج و گزینه‌هایی که قرار است مقایسه شوند مشخص می‌شوند. مرحله دوم شامل جمع‌آوری و پردازش اطلاعات تمامی ورودی‌های سیستم (مواد خام و منابع) و تمامی خروجی‌های آن که به آب، هوا و خاک (گازهای گلخانه‌ای، زباله‌ها و محصولات) وارد می‌شوند، در طی چرخه حیات فرایند یا محصول موردنظر می‌باشد. در مرحله سوم ارزیابی اثرات بالقوه ناشی از مصرف منابع محیطی و تولید آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت، با هدف جمع‌آوری داده‌های اضافی برای درک بهتر، اهمیت محیط‌زیستی داده‌ها و نتایج سیاهه چرخه حیات (LCA) است. در مرحله تفسیر، نتایج حاصل از مراحل قبل (LCAI و LCI) مورد تفسیر قرار گرفته و نتیجه‌گیری نهایی با توجه به هدف و دامنه موردنظر انجام خواهد شد (Kumar Agrawal & Kumar Jain, 2012).

روش پژوهش

چرخه حیات یک نیروگاه سیکل ترکیبی بسیار وسیع است و علاوه بر هزینه بر بودن و صرف زمان طولانی نیازمند اطلاعات گسترده‌ای در طول این چرخه می‌باشد و البته امکان دسترسی به این حجم از داده عملا غیرممکن است. برای یک نیروگاه، سه واحد فرایندی باید تشکیل شود از جمله، واحد فرایندی ساخت، بهره‌برداری و انهدام یا پایان کار نیروگاه. در بیشتر موارد نیروگاه‌های برق در پایان عمر خود جمع‌آوری نمی‌شوند بلکه

جایگزین شده و یا دوباره در سایت قبلی طراحی می‌شوند از طرفی اثرات محیطزیستی مرحله پایان عمر، مشابه مرحله راه‌اندازی است. بنابراین، از مرحله پایان کار نیروگاه سیکل ترکیبی یزد در فرایند ارزیابی چرخه حیات صرف نظر شده و مطالعه چرخه حیات نیروگاه برای دو واحد فرایندی، ساخت و بهره‌برداری انجام گرفته است.

مرز سیستم در این مطالعه شامل مرحله استخراج مصالح، ساخت نیروگاه، تهیه سوخت تا مرحله تولید برق توسط نیروگاه سیکل ترکیبی یزد است. واحد مرجع در نظر گرفته شده نیز، ۱ مگاوات ساعت برق تولید شده از این نیروگاه می‌باشد که همه ورودی‌ها به این واحد عملکردی نرمال شده‌اند.

داده‌های بخش سیاهه شامل دو نوع هستند:

داده‌های اولیه: این داده‌ها شامل مقادیر مصالح، سوخت، آب، الکتریسیته، پساب، پسماند و ضایعات تولیدی واحدها است. این اطلاعات از طریق گزارش‌های صنعت برق ایران، بازدید از محل و استفاده از اطلاعات ثبت شده در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد جمع‌آوری شدند.

داده‌های ثانویه: این داده‌ها شامل اطلاعاتی است که به صورت مستقیم امکان اندازه‌گیری آن‌ها میسر نیست. میزان انتشارات حاصل از تولید و مصرف نهاده‌ها، جزو این نوع داده محسوب می‌شود که در این پژوهش برای فرایندهای ساخت و تولید برق به صورت جداگانه از طریق روش‌های زیر محاسبه شدند.

تنها انتشارات گازی قابل دسترس برای فرایند ساخت نیروگاه، مربوط به احتراق گازوئیل مصرفی در بخش حمل مصالح (سیمان) است که برای برآورد این انتشارات از پژوهش انجام شده توسط Sahle و Pottin استفاده شد. با توجه به پژوهش ذکر شده به ازای سوخت یک کیلوگرم گازوئیل در وسایل نقلیه میزان انتشار آلاینده‌های CO، CO2 ، CH4، N2O، NOX و NMVOCS به ترتیب برابر با ۳۶، ۳۱۴۰، ۰/۲، ۰,۱، ۴۲ و ۸ گرم می–باشد (Sahle, 2013 & Pottin,).

برای به دست آوردن انتشارات به هوا در مرحله بهره‌برداری نیز، از ضرایب انتشار ارایه شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲ استفاده شد. در جدول (۲)، این ضرایب انتشار برای هر یک از آلاینده‌های گازی بر حسب گرم بر کیلو وات ساعت آورده شده است.

جدول (۲): ضرایب انتشار آلاینده‌های گازی نیروگاه سیکل ترکیبی

(Detailed Statistics of Iran Power Industry, 2014)

آلاینده‌های گازی	ضریب انتشار (گرم / کیلووات ساعت)
Nox	۳/۰۳
So2	۰/۴۵۷
So3	۰/۰۱۴
Co	/۰۸۲
Spm	۰/۰۹۶
Co2	۴۹۶/۸۳۱
CH4	۰/۰۱۳
N2o	۰/۰۰۲
C	۱۳۵/۴۹۹

اطلاعات مربوط به انتشارات به خاک برای فرایند ساخت نیروگاه در دسترس نبوده اما این انتشارات برای مرحله بهره‌برداری نیروگاه برآورد شدند. به ازای تولید ۱مگاوات ساعت برق، ۱۰/۶۵ لیتر از پساب تولید شده نیروگاه به مصرف کشاورزی می‌رسد و در نهایت وارد خاک می‌شود. در جدول (۳)، غلظت آلاینده‌های موجود در پساب مورد استفاده برای کشاورزی آورده شده است. با ضرب مقدار ۱۰/۶۸ در غلظت آلاینده‌های موجود در جدول (۳)، مقدار جرمی آلاینده‌های وارده شده به خاک به ازای واحد مرجع ۱ مگاوات ساعت برآورد شدند.

جدول (۳): غلظت آلاینده‌های موجود در پساب نیروگاه سیکل ترکیبی یزد در سال ۱۳۹۳ (Dastkhan, 2011)

آلاینده	غلظت (میلی‌گرم / لیتر)
HCO_3	۱۳/۹۵
CL^-	۸/۴۵
Ca	۹/۵۵
Mg	۸/۳
SO_4	۰/۵
Na	۴/۵
K	۰/۰۱

میزان انتشارات حاصل از تولید نهاده‌ها نیز از پایگاه داده EcoInvent موجود در نرم‌افزار Simapro استخراج شد. لازم

به ذکر است جهت تعیین کلیه پیامدهای محیط‌زیستی نیروگاه در مرحله ساخت، نیازمند اطلاعات کاملی از مواد به کار رفته در بنا و تجهیزات نیروگاه همچون فلزات، مصالح، چوب، شیشه و همچنین ضایعات و انتشارات به وجود آمده در طی این فرایند است. اما متاسفانه به جهت عدم ثبت تمام این اطلاعات در نیروگاه تنها دسترسی به آمار برخی مصالح همچون سیمان، شن، ماسه و مقدار سوخت لازم برای جابه جایی این مواد امکان‌پذیر بود. از طرفی به دلیل این که تا امروز مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی چرخه حیات نیروگاه با استفاده از نرم‌افزار Simapro در ایران انجام نگرفته بنابراین صرفا به جهت آشنایی بیشتر با روند ارزیابی چرخه حیات نیروگاه و برای سهولت انجام مطالعات آتی و همچنین به علت سهم عمده‌ای که سیمان و گازوئیل مصرف شده در ساخت نیروگاه در انتشار دی‌اکسیدکربن به جو دارند، ساخت نیروگاه با در نظر گرفتن ۳۰ سال عمر مفید تنها از جنبه انتشار دی‌اکسیدکربن و پدیده گرمایش جهانی مورد بررسی قرار گرفته است. از زیرساخت‌های جاده نیزصرف‌نظر شده است.

پس از وارد کردن مجموع ورودی‌ها و انتشارات سیستم ساخت و سیستم تولید برق نیروگاه به نرم‌افزار Simapro، ارزیابی اثرات محیط‌زیستی در هر یک از طبقه‌ها اثر موجود در روش CML-IA برای فرایند ساخت و تولید برق انجام گرفت. خروجی نرم‌افزار Simapro شامل جدول‌های توصیفی و نمودارها (ویژه‌سازی و نرمال‌سازی) است.

جدول‌های آورده شده در متن مطابق با فایل اکسل خروجی از نرم‌افزار بوده این جدول‌ها شاخص‌های انتشار مربوط به هر یک از فرایندهای ساخت و تولید برق را بیان می‌کنند، نمودارهای متن نیز به طور مستقیم از نرم‌افزار گرفته شده است. نمودارهای نرمال‌سازی، مهمترین پیامد فرایندها را نشان می‌دهند، سهم هر یک از نهاده‌ها در طبقه‌های اثر نیز توسط نمودار ویژه‌سازی مشخص می‌شود.

یافته‌ها

در این بخش ابتدا نتایج صورت‌برداری از فرایند ساخت نیروگاه و فرایند تولید برق به ازای ۱ مگاوات ساعت برق آورده شده است. پس از تبدیل این داده‌ها به فرمت قابل تعریف برای Simapro و وارد کردن آن‌ها به محیط این نرم‌افزار در نهایت نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها (خروجی نرم‌افزار) که به صورت نمودار و جدول‌های توصیفی است ارایه می‌شود.

- **نتایج صورت برداری**

در جدول‌های (۴ و ۵) مقادیر مربوط به ورودی‌های سیستم‌های ساخت و تولید برق آورده شده است. در جدول‌های (۶، ۷ و ۸) نیز انتشارات هر یک از سیستم‌ها بیان شده است.

جدول (۴): مقدار سوخت و مواد ورودی به فرایند ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت برق

مواد / سوخت	مقدار(کیلوگرم)
آب	۰/۱۹
سیمان	۰/۳۸
شن و ماسه	۲/۲۷
گازوئیل	۰/۰۰۲

جدول (۵): سوخت، الکتریسیته و مواد ورودی به فرایند تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت برق

مواد / سوخت	واحد	مقدار
آب	کیلوگرم	۶۳/۷۷
گاز	متر مکعب	۲۸۳/۹
گازوئیل	کیلوگرم	۲۴/۷
الکتریسیته	کیلووات ساعت	۱۶/۴

جدول (۶): انتشارات گازی سیستم ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت برق

آلاینده	مقدار (گرم)
CO	۷۲
CO_2	۶۲۸۰
CH_4	۰/۴
N_2O	۰/۲
NO_X	۸۴
NMVOCS	۱۶

پساب نیروگاه سیکل ترکیبی به ازای ۱ مگاوات ساعت، ۲۷/۲ لیتر است (Dastkhan, 2011). انواع پسماند صنعتی تولیدی در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد نیز شامل لوازم الکترونیکی، سیم و

کابل، ضایعات فلزی، فیلترهای سوخت و هوا، ضایعات چوبی، لوله‌های پلاستیکی، کارتن، شیشه، مخازن نگهداری مواد نفتی، ظروف و مواد شیمیایی و کاغذ باطله می‌باشد البته تولید پسماند در نیروگاه به صورت کنترل شده نبوده به طوری که از تمامی پسماندهای تولیدی آمار دقیقی در دسترس نیست تنها مقادیر مربوط به کاغذ باطله قابل ارایه بوده که به ازای تولید ۱ مگا وات ساعت برق ۲/۷۵ گرم، گزارش شده است.

جدول (۷): میزان آلاینده‌های گازی، نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ازای ۱ مگا وات ساعت برق تولیدی

آلاینده	مقدار (کیلوگرم)
Nox	۳/۰۳
So2	۰/۴۵۷
So3	۰/۰۱۴
Co	/۰۸۲
Spm	۰/۰۹۶
Co2	۴۹۶/۸۳۱
CH4	۰/۰۱۳
N2o	۰/۰۰۲
C	۱۳۵/۴۹۹

جدول (۸): مقادیر آلاینده‌های منتشر شده در خاک به ازای ۱ مگاوات ساعت برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

آلاینده	جرم آلاینده (میلی گرم)
HCO_3	۰
CL^-	۱۴۶/۷
Ca	۱۶۵/۸
Mg	۱۴۴/۱
SO_4	۸/۷
Na	۷۸/۱
K	۰/۱۷

- **خروجی نرم‌افزار سیماپرو**

جدول (۹)، مقدار شاخص محیطزیستی گرمایش جهانی برای فرایند ساخت نیروگاه به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد را بیان نموده است.

جدول (۱۰)، شامل نتایج ارزیابی اثرات محیطزیستی فرایند تولید برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد توسط نرم‌افزار Simapro است که شاخص‌های محیطزیستی فرایند تولید ۱ مگاوات ساعت برق را نشان می‌دهد.

جدول (۹): مقدارشاخص محیطزیستی گرمایش جهانی برای فرایند ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ازای ۱ مگاوات ساعت تولید برق

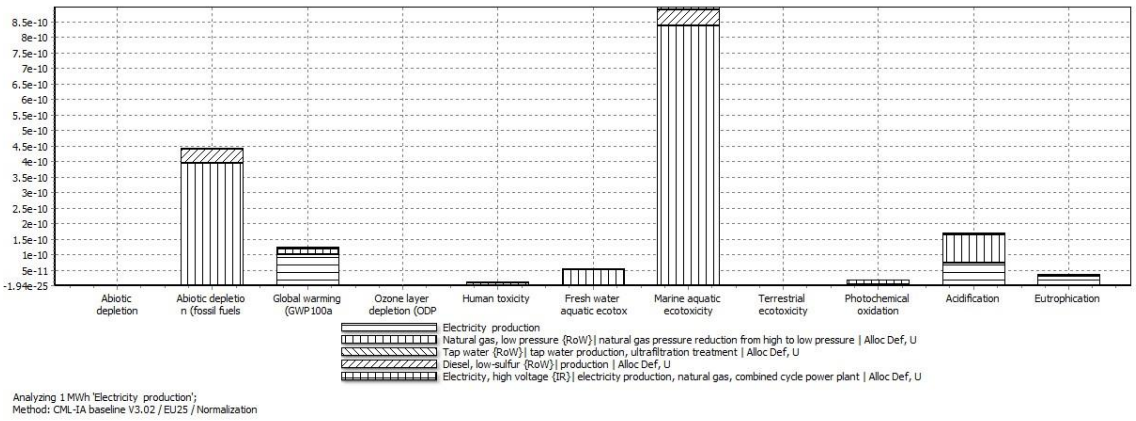
مقدار	واحد	طبقه اثر
۰/۵۴	kg CO_2 eq	گرمایش جهانی

جدول (۱۰): مقادیر شاخص‌های محیطزیستی تولید ۱ مگاوات ساعت برق در فرایند تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

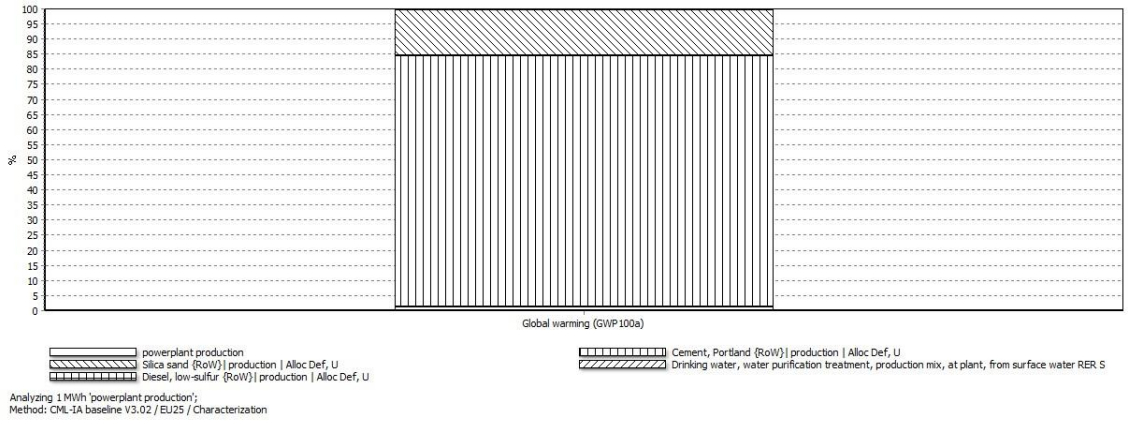
مقدار	واحد	طبقه اثر
۰/۰۰۰۰۳	kg Sb eq	کاهش منابع غیر زنده
۱۳۸۹۰/۴	MJ	کاهش منابع فسیلی
۶۲۳	kg CO_2 eq	گرمایش جهانی
۰/۰۰۰۰۶	kg CFC-11 eq	تخریب لایه ازن
۸۴/۴	kg 1,4-DB eq	سمیت انسانی
۲۸/۸	kg 1,4-DB eq	سمیت آب‌های سطحی
۱۰۵۰۰۰	kg 1,4-DB eq	سمیت آب‌های آزاد
۰/۱	kg 1,4-DB eq	سمیت خاکزیان
۰/۱۶	kg C2H4 eq	اکسیداسیون فتوشیمیایی
۴/۸۱	kg SO_2 eq	اسیدی شدن
۰/۴۸	kg PO_4--- eq	یوتریفیکاسیون

نمودار نرمال‌سازی ارزیابی اثرات محیطزیستی فرایند تولید برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، در شکل (۲)، نشان داده شده است. به دلیل این که فرایند ساخت نیروگاه تنها از جهت پدیده گرمایش جهانی مورد ارزیابی قرار گرفته است بنابراین، نمودار نرمال‌سازی برای این مرحله تهیه نشد. با توجه به نمودار (۲)، بالاترین رده پیامدها به ازای تولید ۱ مگا وات ساعت برق در فرایند تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی یزد مربوط به سمیت آب‌های آزاد و کاهش منابع فسیلی است. اسیدی شدن و گرمایش جهانی از رده‌های بعدی پیامدها هستند.

شکل (۳)، نمودار ویژه‌سازی فرایند ساخت نیروگاه است که سهم گازوئیل، شن و ماسه، سیمان، آب و انتشارات مستقیم از مرحله فرایند ساخت نیروگاه در طبقه اثر گرمایش جهانی را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مهمترین عامل (بیش از ۸۰ درصد) در این طبقه، مربوط به فرایند تولید سیمان مصرف شده در بنای ساختمان و تجهیزات بتنی نیروگاه می‌باشد.



تصویر (۲): نمودار نرمال سازی فرایند تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی یزد



تصویر (۳): نمودار ویژه‌سازی فرایند ساخت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

نمودار ویژه‌سازی فرایند تولید برق نیروگاه یزد در شکل (۴)، نشان داده شده است. بر طبق این نمودار فرایند تولید سوخت مهمترین عامل در رده اثرات کاهش منابع غیرزنده (۹۸ درصد)، کاهش ذخایر فسیلی (۹۹ درصد)، تخریب لایه ازن (۱۰۰ درصد)، سمیت انسانی (۹۴ درصد)، سمیت آب‌های آزاد (۹۹ درصد)، سمیت آب‌های سطحی (۹۹ درصد) و سمیت خاکزیان (۹۹ درصد) است.

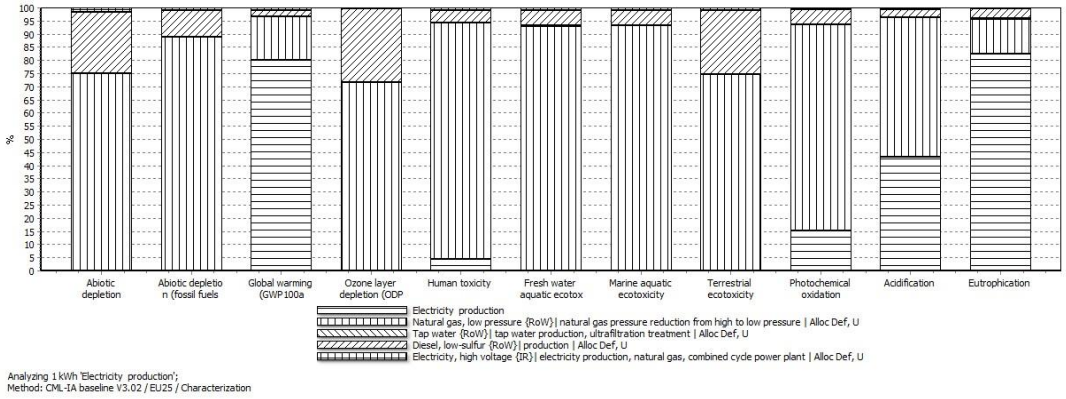
انتشارات مستقیم از نیروگاه (مصرف نهاده‌ها) به علت احتراق سوخت فسیلی مصرفی در نیروگاه (گازطبیعی و گازوئیل) که منجر به انتشار گاز دی‌اسیدکربن شده، مهمترین عامل در رده پیامد گرمایش جهانی (۹۹درصد) است. فسفات منتشر شده از پساب خروجی نیروگاه نیز عامل اصلی در طبقه اثر یوتریفیکاسیون (۸۲ درصد) است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی اثرات محیطزیستی تولید برق در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد بیانگر این حقیقت است که مرحله تولید برق مهمترین مرحله از لحاظ آسیب‌های محیطزیستی در طول چرخه حیات این نیروگاه بوده و این نتایج مشابه با نتایج به دست آمده توسط (Kargari & Mastouri, 2009) می‌باشد. درصورتی که در پژوهش (Hanafi & Riman, 2015) مرحله تولید برق نیروگاه برق‌آبی، اثرات محیطزیستی ناچیزی دارد، در حقیقت عدم استفاده از سوخت فسیلی و به کارگیری انرژی تجدیدپذیر آب برای تولید برق در این نیروگاه مهمترین عامل در کاهش اثرات مخرب محیطی است.

همان‌طور که نتایج پژوهش (Mbohwa, 2013) نشان داده نیروگاه حرارتی دارای اثرات مخربی بر سلامت محیط و انسان‌ها است، ارزیابی نیروگاه سیکل ترکیبی یزد نیز به عنوان نیروگاه

حرارتی دارای پیامدهای وسیع محیط‌زیستی است و بالاترین رده اثرات محیط‌زیستی تولید برق در این نیروگاه مربوط به سمیت آب‌های زیرزمینی و تخلیه منابع فسیلی می‌باشد، اسیدی شدن و گرمایش جهانی نیز در رده بعدی اهمیت قرار دارند.



تصویر (۴): نمودار ویژه‌سازی فرایند تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی یزد

عملیات تولید و فراوری سوخت مورد نیاز نیروگاه سیکل ترکیبی یزد که شامل گاز و گازوئیل است با کاهش ۱۳۷۲۰ مگاژول از منابع سوخت فسیلی عامل اصلی در طبقه اثر تخلیه منابع فسیلی و همچنین سمیت آب‌های زیرزمینی می‌باشد، از آنجایی که سوخت اصلی نیروگاه گاز طبیعی است و در بیشتر طول سال از این سوخت استفاده می‌شود بنابراین، عملیات تولید و فراوری گاز طبیعی بیشترین نقش را در هر یک از این طبقات اثر داشته است.

اسیدی شدن نیز از دیگر پیامدهای محیط‌زیستی است که هم در مرحله تولید سوخت و هم در مرحله مصرف نهاده‌ها در طی چرخه حیات نیروگاه سیکل ترکیبی یزد پدید آمده است.

انتشارات گازهای آلاینده همچون دی‌اکسیدکربن در زمان فعالیت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد و یا به عبارت دیگر انتشارات حاصل از مصرف نهاده‌ها عامل اصلی در طبقه اثر گرمایش جهانی بوده است. طبق جدول (۳ و ۴)، پتانسیل گرمایش جهانی در طول چرخه حیات نیروگاه سیکل ترکیبی یزد، در مرحله ساخت، به ازای ۱ مگاوات ساعت برق تولیدی معادل ۰/۵۴کیلوگرم و دارای کمترین اثر بوده و مرحله بهره‌برداری از نیروگاه با انتشار ۶۲۳ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن بیشترین اثر را در این طبقه اثر داشته است. در حقیقت احتراق سوخت‌های فسیلی، برای تولید انرژی مورد نیاز چرخش توربین، اصلی‌ترین عامل و دودکش نیروگاه سیکل ترکیبی یزد مهمترین محل انتشار دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای به جو و در نهایت افزایش گرمایش جهانی می‌باشد.

با توجه به پژوهش (Kargari & Mastouri, 2009) که مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن به ازای یک کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه‌های ذغال سنگی (۱۰۰۰–۸۰۰)، نفتی (۱۲۰۰–۵۰۰)، گازطبیعی (۷۸۰–۴۴۰)، هسته‌ای (۲۴–۲٫۸)، فتوولتائیک (۷۳–۴۳)، بادی (ساحلی۳۰–۸ و فراساحلی ۱۹–۹)، برق آبی (۳۴–۱) و زیست توده (۹۹–۳۵) بیان کرده است، می‌توان نتیجه گرفت که میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده از نیروگاه سیکل ترکیبی یزد به ازای تولید ۱ مگاوات ساعت برق، کمتر از متوسط انتشار محاسبه شده برای نیروگاه‌های ذغال سنگی، نفتی و گاز طبیعی کشور بوده و در مقایسه با نیروگاه‌های انرژی نو (هسته‌ای، خورشیدی، بادی، برق آبی و زیست توده) میزان انتشار دی‌اکسیدکربن بالاتری دارد.

نتایج به دست آمده این حقیقت را روشن می‌کند که تولید انرژی پاکی چون الکتریسیته نیز همواره پیامدهای منفی بلند مدت برای بشر و محیط‌زیست پیرامون در پی خواهد داشت به ویژه زمانی که از سوخت‌های فسیلی در سیستم تولید برق استفاده شود آسیب‌های جدی بر پیکره محیط وارد خواهد آمد و از آنجایی که این پیامدها در ابعاد محلی قابل کنترل نبوده و آثار آن در سطح بین‌المللی مطرح است پس احداث نیروگاه‌ها به خصوص نیروگاه‌های حرارتی باید با حساسیت‌های دلسوزانه و البته ارزیابی‌های پیش از ساخت انجام گیرد، در زمینه نیروگاه‌های احداث شده همچون نیروگاه سیکل ترکیبی یزد نیز راه‌کارهای زیر پیشنهاد می‌شود که امید است برای کاهش پیامدهای ایجاد شده مفید باشد.

مدیریت و صرفه جویی در مصرف برق یکی از ساده‌ترین و در عین حال ضروری‌ترین روش غیرمستقیم برای کاهش آلاینده‌های ناشی از تولید برق می‌باشد. آگاهی بخشی و ایجاد فرهنگ بهینه مصرف کردن در بین شهروندان یزدی سبب کاهش تقاضا، کاهش تولید و در نتیجه کاهش آلاینده‌ها می‌شود (Nazari et al., 2009)

یکی از بهترین راه‌حل‌های پیشنهادی برای کاهش آلودگی استفاده از انرژی‌های پاک است که در مقایسه با سوخت‌های فسیلی، مقدار ناچیزی آلودگی ایجاد می‌نمایند (Karbassi et al., 2008).

استفاده از فناوری‌های جذب آلاینده‌ها در نیروگاه نیز یکی دیگر از روش‌های کاربردی در این زمینه است. از طرفی گسترش فضای سبز شهر یزد به عنوان یکی از جاذب‌های مهم آلاینده‌های هوا، راه حل خوبی به نظر می‌رسد (Sodmand asli, 2004).

یادداشت‌ها

1. Life Cycle Assessment
2. Life Cycle Inventory
3. Life Cycle Impact Assessment

فهرست منابع

Al Muhamma, S.; Ramezan Talabari, K. & Piriaie, M. 2013. Using Life Cycle Assessment to Compare Greenhouse Gas Emissions from Power Plants. Third International Conference on Environmental Planning and Management. (in persian)

Ashrafzadeh, M. & Madadi, H. 2009. Environmental Impact Assessment of Gol Gohar Combined Cycle Power Plant. Second Power Plants Conference. (in persian)

Ashrafzadeh, M. & Samii, A. 2009 .Environmental effects of the Harris Combined Cycle Power Plant. Seventh National Energy Conference.(in persian)

Dastkhan, R. 2011. Feasibility of recycling parts of industrial wastewater of Yazd Combined Cycle Power Plant. Twenty-sixth International Conference on Electricity. (in persian)

Detailed Statistics of Iran Power Industry. 2014. Power Generation. Specialized parent company. (in persian)

Gurba, L. 2006. Sustainable Energy Future Contribution of Australian Coal. Melbourne.

Hanafi, J. & Riman, A. 2015. life Cycle Assessment of a Mini Hydro Power Plant in Indonesia: A Case Study in Karai River. The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering. Pages, pp. 444-449.

Karbassi, A.; Sohrab, T. & Samadi, R. 2008. Estimation of emissions of fossil fuels from different industries in Iran. Second National Energy Conference. National Energy Committee of the Islamic Republic of Iran. Deputy Minister of Electricity and Energy Ministry of Energy. (in persian)

Kargari, N. & Mastouri, R. 2009. Comparison of greenhouse gas emissions in different types of power plants using LCA approach. Iranian Journal of Energy. (in persian)

Kargari, N.; Mastouri, R. & Eghdami, A. 2014. Life Cycle Assessment of Bushehr Nuclear Power Plant from the Climate Change Impact Perspective. Special Environmental Project Letter. (in persian)

Khoudi, M. & Mousavi, M. 2009. Life Cycle Assessment (lCA) of power generation technologies with a greenhouse gas emission reduction approach. Seventh National Conference on Energy. (in persian)

Kumar Agrawal, K. & Kumar Jain, A. 2012. Evaluation of Environmental Impacts Of Thermal Power Plant By Using Life Cycle Assessment Approach Asian Journal of Business and Economics.

Mbohwa, Ch. 2013. Life Cycle Assessment of a Coal-fired Old Thermal Power Plant. Proceedings of the World Congress on Engineering.

Monenco Consulting Engineers. 2010. Introduction to the principles of thermal power plant design. Tehran. Shiveh Publications. (in persian)

Nazari, S.; Sohrabi Kashani, A.; Davari, S. & Delaware Moghaddam, Z. 2009. Determination of the emission factor of combustion gases from fossil fuel power plants of the country and its comparison with North American countries. Iranian Energy Journal. (in persian)

Saeedi, M.; Karbassi, A.; Sohrab, T. & Samadi, R. 2005. Environmental management of power plants. Ministry of Energy - Iran Energy Efficiency Organization (SABA). (in persian)

Sahle, A. & Pottin, J. 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. Science of the Total Environment..

Samadi, R. & Sohrab, T. 2007. Preparation of Environmental Model for the Deployment of Thermal Power Plants. Journal of Environmental Studies. (in persian)

Sodmand Asli, A. 2004. Investigation of Different Methods of Carbon Dioxide Absorption from Power Plant Exhaust Gases Selecting Optimal Method of Absorption and Unified Design for CO2 Production Required by the Beverage Industry. Ninth National Congress of Chemical Engineering of Iran. (in persian)

Staroska Patky, M. 2015. New Products desigen decision making support by Simapro software on the base of defective products management. International Conference on Communication Management and Information Technology (ICCMIT 2015).

Weisser, D. September 2007. A Guide to life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies PESS/IAEA. Energy.