

## فصلنامه اقتصاد و برنامه ریزی شهری

سایت نشریه: <http://eghtesadeshahr.tehran.ir/>

### مقاله پژوهشی

## محاسبه هزینه‌های محیط زیستی تولید برق (مطالعه موردی نیروگاه‌های حرارتی شهر تهران)

سیده مهسا موسوی رینه<sup>۱</sup>، سید جواد ساداتی نژاد<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته اکوهیدرولوژی، گروه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده:
<b>تاریخ های مقاله:</b> تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۸/۰۹	در دهه‌های اخیر، تشدید مشکلات محیط زیستی ناشی از افزایش جمعیت و مصرف انرژی شرایط نگرانی در مورد گرم شدن کره زمین را فراهم آورده است. از این‌رو، مقاله حاضر با هدف ارزش‌گذاری مشکلات محیط زیستی ناشی از فعالیت نیروگاه‌ها به محاسبه هزینه محیط زیستی پرداخته است. پژوهش پیش رو با هدف محاسبه هزینه‌های محیط زیستی تولید برق از تکنولوژی‌های مختلف صورت گرفت. در این تحقیق ۵ نیروگاه حرارتی استان تهران بررسی شد. با توجه به شاخص انتشار آلاینده‌ها و نیز تولید ناویژه هر نیروگاه در سال ۱۳۹۶ میزان آلاینده منتشرشده از نیروگاه‌های حرارتی تهران محاسبه شد. سپس، با توجه به شاخص انتشار هر گاز آلاینده، میزان حرارتی هر نیروگاه و ارزش محیط زیست آسیب‌دیده هزینه محیط زیستی تولید برق از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران محاسبه شد. نتایج نشان داد طی یک سال فعالیت نیروگاه‌های حرارتی این استان حدود ۱۴ میلیون تن از انواع آلاینده‌ها وارد هوا می‌شود که CO <sub>2</sub> و C از عمده‌ترین آلاینده‌ها به حساب می‌آیند. به طور متوسط، هزینه خارجی کل تولید برق از نیروگاه حرارتی در استان تهران برابر با ۸/۸۲ سنت بر کیلووات ساعت است که باید در هزینه نهایی تولید برق از این نیروگاه‌ها لحاظ شود.
<b>کلمات کلیدی:</b> آلودگی هوا تولید برق هزینه محیط زیستی هزینه خارجی نیروگاه حرارتی	
DOI: 10.22034/UE.2020.09.04.01	

### مقدمه

موضوعات مهم مطالعات اخیر در سطح منطقه، کشور و جهان است. نباید فراموش کرد که ذخایر انرژی‌های فسیلی جهان در حال خالی شدن هستند و تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و آلوده شدن هوا، به یک تهدید برای سلامت بشر و تداوم حیات بر کره زمین تبدیل شده است. بروز تحولات اخیر در مسائل محیط زیستی، بشر را متوجه غفلت‌هایی در زمینه هزینه‌یابی محصولات تولیدی خود کرده است (وصفی و علی‌شیری، ۱۳۹۰). اقتصاددانان مدت‌هاست که فهمیده‌اند سیستم بازار آثار نامطلوبی بر محیط زیست و سلامتی بشر دارد. این آثار نامطلوب شامل دودهای مضر، آب آلوده، گازهای آلاینده انتشار یافته از صنایع و کارگاه‌ها و غیره است (دالیانیس<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۷). در واقع، هرگونه فعالیت تولیدی و خدماتی، علاوه بر هزینه‌های مرسوم نهادهای تولیدی، هزینه‌های خارجی نیز دارد. آثار محیط زیستی فعالیت‌های

رفاه بشر ملزم به استفاده از انرژی است و با توجه به افزایش روزافزون جمعیت، میزان مصرف سوخت فسیلی برای تأمین انرژی به بیشترین حد خود رسیده است. مصرف بیش از حد سوخت فسیلی موجب بروز مسائل و مشکلات محیط زیستی شده و در تعادل اکوسیستم‌های کره زمین اختلال ایجاد کرده است. مسائل مرتبط با انرژی و محیط زیست به عنوان دو حلقه به هم تنیده در عرصه جهانی مطرح هستند. در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی در زمینه حفظ ذخایر سوخت‌های فسیلی و کنترل مسائل و مشکلات زیست‌محیطی آن‌ها صورت گرفته است. ارتباط بین کیفیت محیط زیست، سلامت بشر و تولید، تبدیل و مصرف انرژی از

نویسنده مسئول:

ایمیل: [jsadatinejad@ut.ac.ir](mailto:jsadatinejad@ut.ac.ir)

اروپا پروژه‌ای به نام «برآورد هزینه‌های خارجی انرژی» به اجرا درآمد. این برنامه کاری مشترک، یک چارچوب حسابداری را برای هزینه‌های محیط زیستی انرژی الکتریکی، بر اساس آسیب‌های محیط زیستی تعریف کرده است. در آن پروژه انتشار آلاینده‌ها قبل از ارزیابی اقتصادی پروژه‌های تولید انرژی الکتریکی به آثار محیط زیستی تبدیل می‌شود و آن گاه مقادیر ارزش‌گذاری شده در ارزیابی اقتصادی این پروژه‌ها استفاده می‌شود (پیرس<sup>۵</sup>، ۱۹۹۲). در مقاله‌ای فواید به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دو کشور چین و هند بررسی شده است. در این تحقیق، بر این نکته تأکید شده است که انتشار گازهای گلخانه‌ای در ده سال آینده در چین و هند اجتناب‌ناپذیر خواهد بود و در این میان، جایگزینی انرژی‌های پاک، گاز طبیعی و انرژی هسته‌ای به جای زغال سنگ در بخش انرژی این کشورها مثبت قلمداد شده است (کروئر<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). فنگ<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۴) نیز به بررسی آثار نیروگاه‌ها در کشور چین پرداختند، آن‌ها نتیجه گرفتند که با جایگزینی فناوری‌های تولید الکتریسیته تجدیدپذیر با انتشار کربن‌دی‌اکسید کم مانند باد، می‌توان بیش از ۷۹ درصد از انتشار کربن‌دی‌اکسید کل چرخه عمر، صرفه‌جویی کرد (فنگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). هولیو و جیانگ (۲۰۱۸) به بررسی سیاست انرژی تجدیدپذیر در پاکستان پرداختند. از دلایل انجام این مطالعه می‌توان به حداقل رساندن هزینه‌های تولید برق و وابستگی این کشور به نفت وارداتی پرهزینه اشاره کرد. محققان در پژوهش یادشده به بررسی و مقایسه هزینه‌های تولید برق از توربین بادی با سایر تکنولوژی‌های تولید برق پرداختند. ارقام نهایی هزینه‌ها بیانگر رقابتی بودن برق از توربین بادی نسبت به سایر تکنولوژی‌هاست (هولیو و جیانگ<sup>۸</sup>، ۲۰۱۸). در ایران برای نخستین بار در سال ۱۳۷۶ اقدام به بررسی هزینه‌های خارجی تولید برق شد. این بررسی‌ها در ترازنامه انرژی ۱۳۷۶ درج شده است. در کتابی تحت عنوان «انرژی و محیط زیست»، نویسندگان به ارتباط معضلات محیط زیستی و بخش انرژی کنونی، که بیشتر سوخت‌های فسیلی را شامل می‌شوند، پرداخته و امکانات اجرایی جلوگیری از صدمات محیط زیستی را در ابعاد مختلف بررسی کرده‌اند که مهم‌ترین پیشنهاد مطرح را می‌توان جایگزینی انرژی‌های پاک قلمداد کرد (کرباسی، ۱۳۷۶). از مطالعاتی که در زمینه هزینه‌های خارجی تولید برق در کشور انجام شده می‌توان به مقاله جباریان و رئیسی (۱۳۸۳) با عنوان «برآورد هزینه‌های محیط زیستی و اجتماعی تولید برق در کشور» اشاره کرد. در تحقیق یادشده ارزش منابع آب، زمین، پوشش گیاهی و... مد نظر قرار گرفت. در نهایت، قیمت تمام‌شده برق تولیدشده با در نظر گرفتن هزینه‌های خارجی محاسبه شد (جباریان و رئیسی، ۱۳۸۳). در مطالعه‌ای دیگر، هزینه‌های خارجی SO<sub>2</sub> و NO<sub>2</sub> انتشاریافته از نیروگاه برق شهید رجایی محاسبه شد. واحد سیکل ترکیبی به دلیل استفاده کم از سوخت گازوییل و کم بودن غلظت دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن از

تولیدی وارد حوزه‌های مختلف زندگی بشری شده است. به گونه‌ای که علاوه بر آثار اجتماعی و اقتصادی، روانی و غیره‌ای که بر جای می‌گذارد، کلیت حیات بشری را نیز با تهدیدی جدی مواجه کرده است. بر این اساس، توجه به پیامدهای محیط زیستی فعالیت‌های تولیدی، صنعتی و عمرانی نه یک انتخاب لوکس بلکه یک ضرورت حیاتی است (وصفی و علی‌شمیری، ۱۳۹۰). هزینه خارجی یک اثر بیرونی است که بر اثر فعالیت اقتصادی و یا اجتماعی یک گروه از افراد یا شخص ایجاد می‌شود و روی گروه دیگر اثر می‌گذارد، در حالی که این تأثیرات به طور کامل محاسبه نمی‌شوند و یا غرامتی به وسیله گروه تولیدکننده پرداخت نمی‌شود. در صنعت برق آلودگی که در نتیجه تولید برق ایجاد می‌شود یک هزینه خارجی است، به این دلیل که صدماتی را برای جامعه و محیط زیست به همراه دارد، بنابراین هزینه‌های محیط زیستی در اصل یک هزینه خارجی منفی و یک هزینه واقعی برای اعضای جامعه‌اند، که دارندگان نیروگاه‌ها آن‌ها را در محاسبات وارد نمی‌کنند (کومی و کراس<sup>۲</sup>، ۱۹۹۷). خروجی‌های فعالیت تولید انرژی در نیروگاه‌های تولید برق نظیر CO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub> و NO<sub>x</sub> نمونه‌ای از تأثیرات خارجی منفی، هزینه‌های خارجی و یا هزینه‌های محیط زیستی اند که بر محیط زیست و جوامع تأثیرات سریع می‌گذارند اما تولیدکنندگان و ارائه‌دهندگان خدمات این هزینه را در هزینه نهایی ملحوظ نمی‌کنند، در نتیجه هزینه آن به صورت کاهش کیفیت هوا و کاهش کیفیت سلامتی تمامی زیست‌مندان کره زمین پرداخته می‌شود.

#### پیشینه تحقیق

پژوهش‌هایی مبنی بر بررسی آلاینده‌های ناشی از تولید برق، هزینه‌های محیط زیستی تولید برق و آثار نامطلوب صنایع در داخل و خارج از کشور انجام شده که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد. سابقه محاسبه و برآورد هزینه‌های خارجی برای نخستین بار به سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)<sup>۳</sup> طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۰ برمی‌گردد. به طوری که شرکت برق کالیفرنیا، دانشگاه پیس، اداره خدمات عمومی ماساچوست، شرکت خدمات عمومی نیویورک و نیز شرکت خدمات عمومی نوادا از پیشگامان این مسئله بوده‌اند (صندوق جهانی انرژی<sup>۴</sup>، ۱۹۹۶)، حتی در برخی از ایالت‌های آمریکا ملحوظ کردن هزینه‌های خارجی در هزینه‌های تولید و انتقال به صورت اجباری درآمد تا از طریق آن بتوان در تعیین نیاز و راه‌اندازی ظرفیت‌های آتی تولید برق استفاده کرد (صندوق جهانی انرژی، ۱۹۹۶). ابتکار عمل ایالات متحده آمریکا در محاسبه و به‌کارگیری هزینه‌های محیط زیستی در فرایند قیمت‌گذاری و خدمات سبب شد تا این مسئله جایگاه خود را در سایر کشورهای دنیا پیدا کند. به طوری که چندین کشور و نهاد بین‌المللی اقدامات زیادی در این زمینه اتخاذ کردند (صندوق جهانی انرژی، ۱۹۹۶).

در سال ۱۹۹۴ با ابتکار عمل کمیسیون اروپا و با مساعدت وزارت انرژی

2. Koomey and Krause

3. Environmental Protection Agency

4. World Energy Council

5. Pearce

6. Kroeze

7. Feng

8. Houliou and Jiang

دشت‌های استان تهران. ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال، ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. متوسط بارندگی سالانه به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در این استان حدود ۲۳۳ میلی‌متر و دمای میانگین کمینه و بیشینه ۱۱/۹ و ۲۲/۷ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. جمعیت این استان طبق سرشماری اخیر (در سال ۱۳۹۵) حدود ۱۳۲۶۷۶۳۷ نفر بوده است. با توجه به اینکه روند جمعیتی پایتخت کشور رو به رشد است، تأمین انرژی و بررسی آثار محیط زیستی این منطقه از موضوعات مهم استان به شمار می‌رود. نقشه منطقه مطالعه‌شده به همراه نیروگاه‌های نمونه مطالعه‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

در تحقیق حاضر مطالعه روی ۵ نیروگاه حرارتی در استان تهران صورت گرفت. جدول ۱ مشخصات مربوط به این نیروگاه‌ها را نشان می‌دهد.

#### روش تحقیق

در تحقیق حاضر میزان نشر گازهای آلاینده هوا از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران و سپس، هزینه‌های محیط زیستی ناشی از گازهای انتشاریافته از این نیروگاه‌ها قابل بررسی است. در ادامه، به اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه میزان آلاینده تولیدی و هزینه‌های ناشی از آن و روش محاسبه آن‌ها پرداخته می‌شود.

میزان انتشار گازهای آلاینده هوا ناشی از نیروگاه‌های حرارتی با توجه به شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی که در ترازنامه انرژی کشور آمده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۵) و همچنین، با استفاده از رابطه ۱ میزان انتشار گازهای آلاینده بر حسب تن در سال قابل محاسبه است (آمار تفصیلی صنعت برق کشور، ۱۳۹۶).

استاندارد بین‌المللی هوای آزاد هزینه خارجی درخور توجه نداشته است، در حالی که در واحد بخاری نیروگاه، غلظت آلاینده‌های  $SO_2$  و  $NO_2$  انتشاریافته در بعضی از فصول سال زیاد است (صادقی و ترکی، ۱۳۸۷). در مطالعه‌های خودی و موسوی، به ارزیابی چرخه عمر فناوری‌های تولید برق با تأکید بر گازهای گلخانه‌ای پرداختند. نتایج تحقیق یادشده نشان داد نیروگاه‌های برق‌آبی و زمین‌گرمایی به‌ترتیب با میزان انتشار ۱۱ و ۱۵ گرم دی‌اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی دارای کمترین میزان انتشار دی‌اکسید کربن و نیروگاه‌های نفت‌سوز نیز ۷۴۲ گرم دی‌اکسید کربن در هر کیلووات ساعت برق تولیدی بیشترین میزان انتشار را دارند (خودی و موسوی، ۱۳۸۸). همچنین، در مقاله موسوی و همکاران (۱۳۹۸) تأکید شد که از میان روش‌های سنتی تولید برق نیروگاه سیکل ترکیبی هزینه محیط زیستی کمتری دارد. (موسوی رینه و همکاران، ۱۳۹۸)

تحقیق حاضر در دو بخش مجزا، به بررسی میزان آلاینده‌های هوا بر حسب گرم بر کیلووات ساعت برق تولیدشده از نیروگاه‌های حرارتی و سپس، به محاسبه هزینه محیط زیستی ناشی از انتشار انواع گازهای آلاینده در صنعت تولید برق از این نیروگاه‌ها، در استان تهران پرداخته است.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مطالعه‌شده

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۲۹۸۱ کیلومترمربع، بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. استان تهران در دامنه جنوبی البرز مرکزی قرار دارد. ناهمواری‌های این استان به سه دسته تقسیم می‌شوند: رشته‌کوه‌های البرز در شمال تهران، بخش‌های مرکزی و کوهپایه‌های جنوبی البرز،



شکل ۱. نقشه محدوده مطالعه‌شده (استان تهران) و نیروگاه‌های حرارتی

جدول ۱. مشخصات نیروگاه‌های مطالعه‌شده واقع در استان تهران

نام نیروگاه	نوع نیروگاه	تاریخ بهره‌برداری	مالکیت	بازده عملکردی	تولید ناویژه* (A) (مگاوات ساعت)
دماوند	سیکل ترکیبی	۱۳۸۲	خصوصی	۴۶/۲۲	۱۴۰۰۰۰۰
پرند	گازی	۱۳۸۵	خصوصی	۳۲/۲۰	۳۰۰۰۰۰۰
ری	گازی	۱۳۵۵	دولتی	۲۲	۱۱۹۲۴۱۷
بعثت	بخاری	۱۳۴۶	دولتی	۳۱	۱۳۰۰۰۰۰
طرشت	بخاری	۱۳۳۸	دولتی	۲۲/۴۸	۲۵۰۰۰۰

\* تولید ناویژه مندرج در جدول ۱ برابر انرژی سالیانه تولیدی به مآخذ سال ۱۳۹۶، از کتاب جامع مدیریت، توسعه و تولید نیروی حرارتی و صنایع وابسته استخراج شده است.

جدول ۲. شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور (گرم بر کیلووات ساعت)

نوع نیروگاه	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	PM	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C
با مدیریت بخش دولتی (وزارت نیرو)							
بخاری	۲/۴۱۷	۳/۵۲۶	۲/۲۳۳	۰/۱۱۷	۷۱۴/۴۸۵	۰/۰۱۶	۱۹۴/۸۶۰
گازی	۲/۰۸۳	۰/۳۶۰	۰/۰۸۴	۰/۱۱۰	۸۳۶/۹۲۸	۰/۰۱۶	۲۲۸/۲۵۳
سیکل ترکیبی	۲/۷۲۰	۰/۱۰۴	۰/۰۹۸	۰/۰۶۷	۴۵۰/۷۳۵	۰/۰۱۰	۱۲۲/۹۲۸
با مدیریت بخش خصوصی							
بخاری	۲/۰۰۵	۱/۳۱۹	۰/۵۰۳	۰/۰۸۳	۶۸۴/۲۴۷	۰/۰۱۳	۱۸۶/۶۱۳
گازی	۱/۶۶۱	۰/۴۵۳	۰/۰۵۳	۰/۱۱۰	۷۷۱/۲۶۹	۰/۰۱۶	۲۱۰/۳۴۶
سیکل ترکیبی	۳/۰۱۹	۰/۲۰۴	۰/۰۵۳	۰/۰۷۶	۴۷۱/۱۲۶	۰/۰۱۱	۱۲۹/۳۰۷

(ترازنامه انرژی، ۱۳۹۵)

اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثرپذیر (انسانی و طبیعی) است. طبق اطلاعات سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (EPA) هزینه انتشار هر تن گاز آلاینده مشخص است. بنابراین، هزینه حذف و کنترل گاز آلاینده مد نظر قابل بررسی است.

محاسبه هزینه محیط زیستی نیروگاه‌های حرارتی در این بخش با توجه به شاخص انتشار، نرخ حرارتی نیروگاه‌ها و ارزش محیط زیست آسیب‌دیده می‌توان هزینه خارجی تولید برق را محاسبه کرد. رابطه ۲ چگونگی محاسبه هزینه محیط زیستی ناشی از گازهای آلاینده را نشان می‌دهد.

$$C_{External\ Cost} \left( \frac{\$}{kWh} \right) = Ef \left( \frac{g}{Btu} \right) \times HR \left( \frac{Btu}{kWh} \right) \times VED \left( \frac{\$}{g} \right) \quad (2)$$

که در رابطه یادشده:

$Ef$  = شاخص انتشار ناشی از مصرف سوخت بر حسب گرم بر بی‌تی‌یو

$HR$  = نرخ حرارتی بر حسب بی‌تی‌یو بر کیلووات ساعت

$VED$  = ارزش محیط زیست آسیب‌دیده (خسارت) بر حسب سنت

و یا دلار بر گرم

$$E = A \times Ef \times \left( 1 - \frac{ER}{100} \right) \quad (1)$$

در این رابطه:

$E$  = میزان انتشار آلاینده (مقدار جرم آلاینده) بر حسب گرم در سال

$A$  = میزان فعالیت (تولید ناویژه یا میزان تولید واحد صنعتی، بر

حسب کیلووات ساعت برق تولیدی سالانه)

$EF$  = شاخص انتشار (مقدار جرم آلاینده منتشرشده به ازای میزان

محصول تولیدی یا میزان فعالیت)، بر حسب گرم بر کیلووات ساعت

$ER$  = درصد کلی کاهش انتشار بوده و در صورت عدم استفاده از

سیستم‌های کاهش آلاینده، این مقدار صفر است (درفشان و بیگ‌زاده،

۱۳۹۴)، (نظری و همکاران، ۱۳۸۸).

تعیین دقیق میزان شاخص انتشار کاری بسیار دشوار است و مقدار

آن با توجه به قدمت و نوع نیروگاه، نوع سوخت مصرفی و کیفیت آن،

سیستم‌های کنترل‌کننده و یا کاهنده آلاینده‌ها، موارد عملیاتی نیروگاه

مانند نرخ حرارتی، دمای احتراق و... متغیر است (وصفی و علی‌شیری،

۱۳۹۰). با این‌وجود، تعیین شاخص انتشار به ازای هر واحد برق تولیدی

لازم و ضروری است. جدول ۲ شاخص انتشار هر نوع گاز منتشرشده از

نیروگاه‌های حرارتی را نشان می‌دهد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۵).

پس از محاسبه مقدار جرم آلاینده ( $E$ ) می‌توان به هزینه محیط

زیستی دست یافت. برای محاسبه هزینه‌های تخریب نیاز به کمی کردن

جدول ۳. شاخص انتشار بر حسب (g/Btu)

C	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	PM	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
۰/۰۵۷	۰/۰۰۰۰	۰/۳۰۹	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷۱	بخاری
۰/۰۶۳	۰/۰۰۰۰	۰/۳۴۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	گازی
۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰	۰/۱۳۸	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۸۸	سیکل ترکیبی

محاسبات نگارنده

جدول ۴. نرخ حرارتی هر یک از نیروگاه‌های مطالعه‌شده

نام نیروگاه	نرخ حرارتی (Btu/kWh)
دماوند	۷۴۱۷/۵۶
پرند	۱۰۶۶۲/۷۵
ری	۲۸۴۳۴
بعثت	۱۱۰۰۶/۷
طرشت	۱۵۵۰۹/۴۵

محاسبات نگارنده (۱۳۹۶)

جدول ۵. خسارت آلاینده‌های نیروگاهی بر حسب سنت بر گرم

C	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	PM	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	هزینه خسارت نیروگاه حرارتی
۰/۰۰۰۶	۰/۰۳۳۵	۰/۰۰۱۶۱	۰/۶۹۲۳	۰/۰۰۴	۰/۲۹۳۶	۰/۰۹۶۵	

The Report was Provided to Iran Ministry of Energy (۲۰۰۹) (گزارش وزارت نیرو، ۲۰۰۹)

جدول ۶. میزان گازهای آلاینده تولیدشده از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران (تن در سال)

نام نیروگاه	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	PM	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C	مجموع
دماوند	۴۲۲۶۶	۲۸۵۶	۷۴۲	۱۰۶۴	۶۵۹۵۷۶۴	۱۵۴	۱۸۱۰۲۹۸	۸۴۵۳۱۴۴
پرند	۴۹۸۳	۱۳۵۹	۱۵۹	۳۳۰	۲۳۱۲۸۰۷	۴۸	۶۳۱۰۳۸	۳۹۵۱۷۲۴
ری	۲۴۸۳	۴۲۹	۹۹	۱۳۱	۹۹۷۹۶۷	۱۹	۳۷۲۱۷۳	۱۲۷۳۳۰۲
بعثت	۳۱۴۲	۴۵۸۴	۲۹۰۲	۱۵۲	۹۲۸۸۳۰	۲۱	۲۵۳۳۱۸	۱۱۹۲۹۵۰
طرشت	۶۰۴	۸۸۱	۵۵۸	۲۹	۱۷۸۶۲۱	۴	۴۸۷۱۵	۲۲۹۴۱۳
مجموع	۵۳۴۷۹	۱۰۱۰۹	۳۴۶۱	۱۷۰۶	۱۱۰۱۴۹۹۰	۳۴۶	۳۰۱۵۵۴۲	۱۴۱۰۰۵۳۴
میانگین	۱۰۶۹۵/۶	۲۰۲/۸	۸۹۲	۳۴۱/۲	۲۲۰۲۹۹۷/۸	۴۹/۲	۶۰۳۱۰۸/۴	۲۸۲۰۱۰۶/۶

محاسبات نگارنده (۱۳۹۶)

بر بی‌تی‌یو (حاصل تبدیل واحد kWh به Btu)، جدول ۴ نرخ حرارتی هر یک از نیروگاه‌ها را بر حسب بی‌تی‌یو بر کیلووات ساعت و جدول ۵ خسارت هر یک از آلاینده‌ها (VED) بر حسب سنت بر گرم را نشان می‌دهد. این اطلاعات با توجه به مشخصات فنی نیروگاه‌ها و گزارش سال ۲۰۰۹ بانک جهانی در بخش ارزیابی هزینه‌های زیست‌محیطی برای بخش تولید برق ایران استخراج شده است (گزارش وزارت نیرو، ۲۰۰۹).

در رابطه یادشده نرخ حرارتی به این صورت قابل محاسبه است، میان بازده و نرخ حرارتی نیروگاه‌ها رابطه معکوس برقرار است و بازده در هر نیروگاه یک مقدار مشخص است، برای محاسبه  $HR$  از رابطه ۳ می‌توان بهره جست (دلگادو و هنزوک، ۲۰۱۲):

$$Efficiency = \frac{3600}{HR} \quad (3)$$

جدول ۳ شاخص انتشار ناشی از مصرف سوخت را بر حسب گرم  
9. Delgado and Henzok

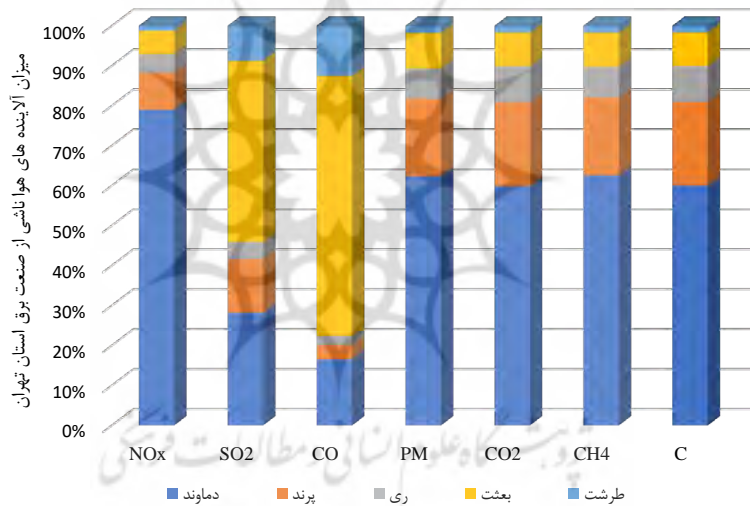
10. The Report was Provided to Iran Ministry of Energy

**یافته‌ها**

میزان انتشار گازهای آلاینده از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران با استفاده از رابطه ۱ و اطلاعات موجود در جدول‌های ۱ و ۲ میزان گازهای آلاینده منتشر شده از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران محاسبه شد. نتایج محاسبات در جدول ۶ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد میزان انتشار آلاینده‌ها صرف نظر از نوع آلاینده، ارتباط مستقیم با تولید ناویژه نیروگاه دارد. بنابراین، همان‌طور که نمودار شکل ۲ و مجموع آلاینده‌های هر نیروگاه در جدول ۶ نشان می‌دهد، نیروگاه دماوند و پرند طی یک سال فعالیت تولید برق از موارد تأثیرگذار بر کیفیت هوای استان تهران به شمار می‌روند. همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد، با توجه به مجموع انواع آلاینده‌ها صرف نظر از نام نیروگاه، میزان کربن دی‌اکسید و کربن تولید شده توسط نیروگاه‌های حرارتی بسیار در خور توجه است و پس از آن، به ترتیب  $CH_4$ ،  $PM_{10}$ ،  $CO$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین شکل ۲ نشان می‌دهد از کل گازهای تولید شده (به

تفکیک نوع گاز)، هر نیروگاه چه سهمی را به خود اختصاص می‌دهد.

هزینه محیط زیستی نیروگاه‌های حرارتی استان تهران با استفاده از رابطه ۲ و اطلاعات مربوط به خسارت محیط زیست آسیب‌دیده، نرخ حرارتی نیروگاه‌ها و شاخص انتشار گازها هزینه محیط زیستی تولید برق نیروگاه‌های حرارتی استان تهران محاسبه شد. نتایج مربوط به این محاسبه در جدول ۷ آورده شده است. همان‌طور که نمودار شکل ۳ نشان می‌دهد، نیروگاه ری بیشترین هزینه خارجی را از بین نیروگاه‌های حرارتی استان تهران به خود اختصاص می‌دهد و این امر به دلیل پایین بودن بازده عملکردی این نیروگاه بوده است. همچنین نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد که در هر نیروگاه هزینه‌های خارجی تولید برق مربوط به کدام گازها است و هر گاز چه مقدار از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد.

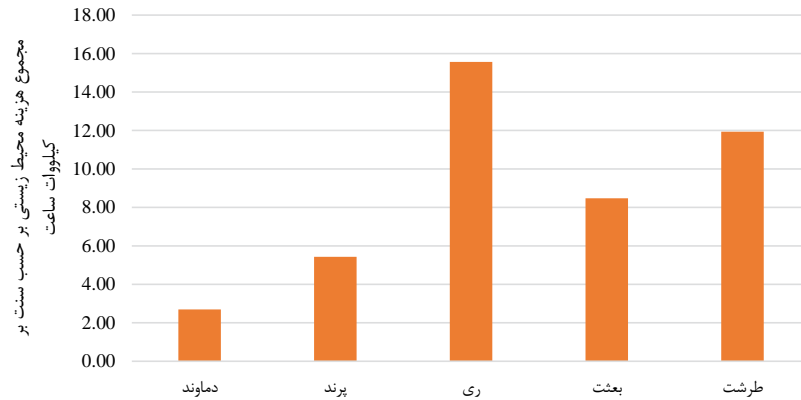


شکل ۲. سهم هر نیروگاه در تولید انواع گازهای آلاینده انتشار یافته از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران در سال ۱۳۹۶

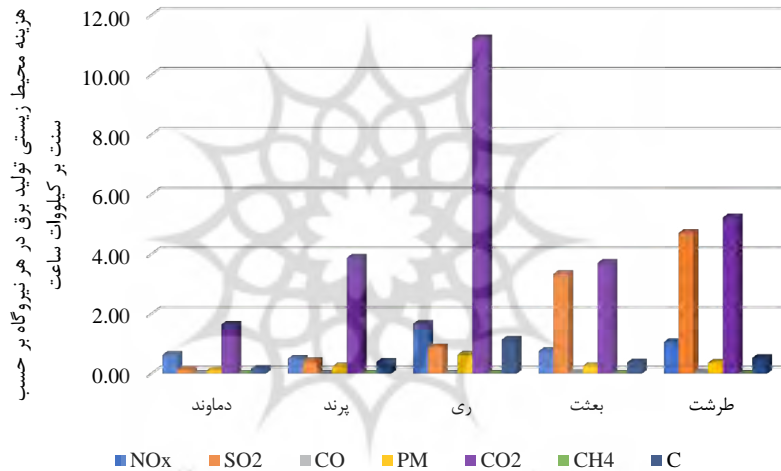
جدول ۷. هزینه محیط زیستی ناشی از گازهای آلاینده در نیروگاه‌های استان تهران (سنت بر کیلووات ساعت)

نام نیروگاه	$NO_x$	$SO_2$	CO	PM	$CO_2$	$CH_4$	C	مجموع
دماوند	۰/۶۳۳	۰/۱۳۰	۰/۰۰۰	۰/۱۱۴	۱/۶۴۹	۰/۰۰۱	۰/۱۶۹	۲/۷۰
پرند	۰/۵۰۱	۰/۴۱۶	۰/۰۰۱	۰/۲۳۸	۳/۸۸۰	۰/۰۰۲	۰/۳۹۴	۵/۴۲
ری	۱/۶۷۵	۰/۸۸۱	۰/۰۰۳	۰/۶۳۵	۱۱/۲۲۹	۰/۰۰۴	۱/۱۴۱	۱۵/۵۷
بعثت	۰/۷۵۲	۳/۳۳۹	۰/۰۲۹	۰/۲۶۱	۳/۷۱۱	۰/۰۰۲	۰/۳۷۷	۸/۴۷
طرشت	۱/۰۶۰	۴/۷۰۶	۰/۰۴۱	۰/۳۶۸	۵/۲۲۹	۰/۰۰۲	۰/۵۳۱	۱۱/۹۴
مجموع	۴/۶۲۲	۹/۴۷۲	۰/۰۷۳	۱/۶۱۶	۲۵/۶۹۷	۰/۰۱۱	۲/۶۱۳	۴۴/۱۰
میانگین	۰/۹۲	۱/۸۹	۰/۰۱	۰/۳۲	۵/۱۴	۰/۰۰	۰/۵۲	۸/۸۲

محاسبات نگارنده



شکل ۳. مجموع هزینه‌های محیط زیستی تولید برق به تفکیک نیروگاه بر حسب سنت در کیلووات ساعت



شکل ۴. هزینه محیط زیستی ناشی از تولید برق در استان تهران به تفکیک نیروگاه و نوع آلاینده‌ها

زیادی دارد. رابطه تنگاتنگی میان محیط زیست با تولید یک کالا یا ارائه یک خدمت وجود دارد و تولید، ناگزیر، منجر به تحمیل هزینه‌های متنوع و هنگفتی به محیط زیست و منابع طبیعی می‌شود. از دیرباز تا کنون، این هزینه‌ها به دلایل گوناگون، از جمله سودجویی برخی از ذی‌نفعان و مدیران پروژه‌ها، ناآگاهی تحلیلگران و نقص مدل‌های امکان‌سنجی اقتصادی و فنی از محاسبات بیشتر طرح‌ها حذف شده‌اند. حال آنکه، بشر با پیشرفت ابزارها و روش‌های علمی، باید بیش از پیش با رویکرد سیستمی و توجه عمیق به تصویر جامع متشکل از تمامی اجزای یک سیستم، آثار طولانی‌مدت اقدامات خود را در تمامی لحظات زندگی خویش کنترل کند. در تحقیق حاضر مقادیر آلاینده‌های گازی منتشرشده از نیروگاه‌های حرارتی استان تهران اعم از بخاری، گازی و سیکل ترکیبی بررسی شد.

به طور کلی، متوسط هزینه محیط زیستی ناشی از تولید گازهای  $CH_4$ ،  $CO_2$ ،  $PM$ ،  $CO$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  و C در استان تهران به ترتیب برابر با ۰/۹۲، ۱/۸۹، ۰/۰۱، ۰/۳۲، ۵/۱۴، ۰/۰۰، ۰/۵۲ سنت بر کیلووات ساعت است. به بیان دیگر، به طور متوسط هزینه خارجی کل تولید برق از نیروگاه حرارتی در استان تهران برابر با ۸/۸۲ سنت بر کیلووات ساعت است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در دنیای امروز تقاضای روزافزون انرژی و در پی آن، افزایش تولید انرژی توسط دولت‌ها همواره با صدمات محیط زیستی همراه است. چنین معضلی در مناطق پرجمعیت کره زمین و نیز شهرهای پرجمعیت اهمیت



- نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۹۳ و هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از آن»، اولین کنفرانس ملی علوم و مدیریت محیط زیست. دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو، (۱۳۹۵) «ترازنامه انرژی».
- صادقی، مهدی؛ ترکی، معصومه (۱۳۸۷). «بررسی هزینه‌های خارجی تولید برق در ایران (مطالعه موردی: نیروگاه برق شهید رجایی با تأکید بر آلاینده‌های SO<sub>2</sub> و NO<sub>2</sub>)»، تحقیقات اقتصادی، سال ۴۰، ص ۱۲۱، ش ۸۲.
- کرباسی، عبدالرضا. (۱۳۷۶). «انرژی و محیط زیست تهران». انتشارات وزارت نیرو، صص ۲۹۷-۳۰۴
- موسوی رینه، سبیده مهسا؛ یوسفی، حسین؛ ابوالقاسمی، مهناز (۱۳۹۸). «مروری بر هزینه‌های محیط زیستی تولید برق با تأکید بر انرژی‌های تجدیدپذیر». دو فصلنامه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو، ۱۶(۱)، صص ۱۱۰-۱۱۹.
- نظری، سعید؛ سهرابی کاشانی، امیر؛ داوری، سوسن؛ مقدم، زهرا (۱۳۸۸) «تعیین فاکتور انتشار گازهای حاصل از احتراق خروجی از نیروگاه‌های سوخت فسیلی کشور و مقایسه آن با کشورهای آمریکای شمالی»، انرژی ایران، سال ۱۲، ش ۳۱، ص ۲۵.
- وصفی اسفستانی، شهرام؛ علی‌شیری، هدیه (۱۳۹۰). «ارزیابی هزینه‌های خارجی در نیروگاه‌های تولید برق»، دومین کنفرانس مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی. Dalianis, D. Petassis, M. Santamouris, A. Argiriou, C. Cartalis, and D. N. Asimakopoulou. (1997) "Social cost of electricity generation in Greece," *Renew. energy*, vol. 12, no. 3, pp. 281-289.
- Delgado, A and Herzog, H J. (2012). "Simple model to help understand water use at power plants," *Cambridge, MA Massachusetts Inst. Technol.*
- Feng, K. Hubacek, K. Siu, Y L and Li, X. (2014). "The energy and water nexus in Chinese electricity production: a hybrid life cycle analysis," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 342-355.
- Hulio Z H and Jiang, W. (2018). "Assessment of the apparent performance characterization along with levelized cost of energy of wind power plants considering real data", *Energy Explor. Exploit.*, vol. 36, no. 6, pp. 1708-1728.
- Koomey, J and Krause, F. (1997). "Introduction to environmental externality costs," *CRC Handb. Energy Effic.*, pp. 35-94.
- Kroeze, C. Vlasblom, J. Gupta, J. Boudri, C and Blok, K. (2004). "The power sector in China and India: greenhouse gas emissions reduction potential and scenarios for 1990--2020," *Energy Policy*, vol. 32, no. 1, pp. 55-76.
- Pearce, D.Bann, C and Georgiou,S. (1992) "The social costs of fuel cycles," *Uk Dep. trade Ind. Soc. Econ. Res. /global Environ*, vol.24.
- The Report was Provided to Iran Ministry of Energy , (2009)."Environmental Cost Evaluation for Iran Power Generation Sector".
- World Energy council. (1996) "Energy,Environment and Climate".

نتایج نشان داد طی یک سال فعالیت نیروگاه‌های حرارتی استان تهران حدود ۱۴ میلیون تن از انواع آلاینده‌ها وارد هوا می‌شود که CO<sub>2</sub> و C از عمده‌ترین آلاینده‌ها به حساب می‌آیند. مقدار این آلاینده‌های گازی وابسته به تولید ناویژه و سیستم کاهش آلاینده هر نیروگاه است، در تحقیق حاضر مقدار کاهش آلاینده توسط نیروگاه صفر در نظر گرفته شده و فرض بر انتشار تمامی گازهای آلاینده به هوا بوده است. همچنین، هزینه محیط زیستی یا خارجی صنعت برق در استان تهران نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد به طور متوسط هزینه خارجی کل تولید برق از یک نیروگاه حرارتی در استان تهران برابر با ۸/۸۲ سنت بر کیلووات ساعت است که باید در هزینه نهایی تولید برق از این نیروگاه‌ها لحاظ شود. سازمان‌ها نیز باید با توجه بیشتر به مدیریت بقا و ثبات<sup>۱۱</sup>، در تمامی پروژه‌ها و اقدامات خود، هم‌زمان به هر سه عامل کره زمین<sup>۱۲</sup>، مردم جامعه<sup>۱۳</sup> و سود مالی<sup>۱۴</sup> توجه کنند. به این منظور، پیشنهاد می‌شود قانون‌گذاران با اصلاح قوانین حاکم بر کسب‌وکارها، قبل از اجرای هر عملیاتی موجب استفاده بهینه از منابع طبیعی و سنجش و درونی کردن هزینه‌های محیط زیستی تولید کالا یا ارائه خدمات شوند. بررسی هزینه‌های تحمیلی بر محیط زیست و تأثیر آن بر سلامت افراد جامعه و تمامی زیست‌مندان آن نیازمند مطالعه و پژوهش همه‌جانبه است. ارزیابی توان اکولوژیک، توجه به ظرفیت‌های محیط زیستی و برآورد هزینه‌های وارد بر منابع طبیعی و سلامت بشر باید صورت پذیرد. همچنین، با وجود چالش‌ها و فرصت‌های موجود در مسیر گسترش و توسعه انرژی‌های نو، افزایش سهم این انرژی‌ها در صنعت کشور نیازمند مطالعات امکان‌سنجی بیشتری است.

## منابع

- توانیر، (۱۳۹۶) «آمار تفصیلی صنعت برق کشور». جباریان، بهمن؛ رنیزی، محمد ابراهیم (۱۳۸۳). «برآورد هزینه‌های محیط زیستی و اجتماعی تولید برق در کشور». *مجله محیط‌شناسی*، دوره ۳۰، شماره ۳۴، صص ۲۸-۲۱.
- خودی، مریم؛ موسوی، سید محمد جواد (۱۳۸۸). «ارزیابی چرخه عمر (LCA) فناوری‌های تولید برق با رویکرد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای»، هفتمین همایش ملی انرژی.
- درفشان، محسن؛ بیگ زاده، میلاد (۱۳۹۴). «بررسی میزان انتشار آلاینده‌های

11. Sustainability Management
12. Planet
13. People
14. Profit



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Calculation of environmental costs of electricity generation  
(Case study of thermal power plants in Tehran)

Seyedeh Mahsa Mousavi Reineh <sup>1</sup>, Seyed Javad Sadatinejad <sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Msc. Student of Ecohydrology, Faculty of New of Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2020-09-03

Accepted 2020-10-30

Keywords:

Environmental Costs

Electricity Generation

External Costs

Thermal Power Plant

Air Pollution

ABSTRACT

In recent decades, environmental problems caused by population growth and energy consumption have raised concerns about global warming. Therefore, this article has calculated the environmental cost with the aim of evaluating the environmental problems caused by the operation of power plants. This study aimed to calculate the environmental costs of generating electricity from different technologies. In this research, 5 thermal power plants in Tehran province were investigated. According to the emission factor of pollutants and also the specific production of each power plant in 1396, the amount of pollutants emitted from Tehran thermal power plants was calculated. Then, according to the emission factor of each polluting gas, heat rate of each power plant and the value of the damaged environment, the environmental cost of electricity generation from thermal power plants in Tehran province was calculated. The results showed that during one year of operation of thermal power plants in Tehran province, about 14 million tons of various pollutants go into the air and CO<sub>2</sub> and C are the main pollutants. On average, the total external cost of electricity production from thermal power plants in Tehran province is equal to 8.82 cents per kilowatt hour, which should be included in the final cost of electricity production from these power plants.

DOI: [10.22034/UE.2020.09.04.01](https://doi.org/10.22034/UE.2020.09.04.01)

©2021 Urban Economy. All rights reserved.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Mousavi Reineh SM., Sadatinejad SJ. (2021). Calculation of environmental costs of electricity generation (Case study of thermal power plants in Tehran). *Urban Economics and Planning*, 9(4): 198-205.

DOI: [10.22034/UE.2020.09.04.01](https://doi.org/10.22034/UE.2020.09.04.01)

url: [http://eghtesadeshahr.tehran.ir/article\\_119262.html](http://eghtesadeshahr.tehran.ir/article_119262.html)



\*Corresponding Author: Email: [jsadatinejad@ut.ac.ir](mailto:jsadatinejad@ut.ac.ir)