ارائه الگویی جهت محاسبه هزینه اجتماعی نهایی کوتاه‌مدت تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی

مطالعه موردی نیروگاه‌های شهید محمد منتظری و اسلام آباد اصفهان

رحمان خوش‌اخلاق[1] علیمراد شریفی[2] حامد پاروند[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۱۱

چکیده

انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه‌های با سوخت فسیلی، هزینه‌های محیط‌زیستی بالایی را به افراد جامعه تحمیل می‌کند. این هزینه‌ها، به صورت سنتی در محاسبه هزینه تولید وارد نمی‌شوند. هدف این تحقیق، محاسبه هزینه خصوصی و هزینه اجتماعی نهایی تولید برق در منطقه اصفهان برای یک روز مشخص از دیماه سال ۱۳۸۸ است. به‌این منظور، از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با محدودیت‌های خطی استفاده شده است. تابع هدف که همان هزینه‌های اجتماعی است، برابر با مجموع هزینه‌های متغیر و هزینه‌های خارجی نیروگاه‌های منطقه در نظر گرفته شده‌است. این تابع، با توجه به دو قید محدودیت عرضه نیروگاه‌ها و مقدار تقاضای منطقه در هر یک از ساعت‌های شبانه‌روز، بهینه شده است. نتایج حاصل از حداقل‌کردن تابع هدف، نشان‌دهنده تفاوت قابل‌توجهی بین هزینه اجتماعی نهایی و هزینه خصوصی نهایی است. این تفاوت که به‌عنوان هزینه خارجی نهایی شناخته می‌شود، در ساعات پرباری، افزایش آشکاری نسبت به ساعات کم‌باری مصرف برق داشته است. بنابراین، با لحاظ هزینه‌های اجتماعی، فناوری‌های تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با نیروگاههای با سوخت فسیلی مانند مازوت، رقابت‌پذیر خواهند شد.

واژگان کلیدی: هزینه اجتماعی نهایی، هزینه خصوصی، محیط‌زیست، آلودگی، اثرات خارجی.

JEL: Q40, Q50, Q53.

۱. استاد گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان، Email:rahmankh44@yahoo.com

۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان، Email:alimorad@ase.ui.ac.ir

۳. کارشناس‌ارشد اقتصاد دانشگاه اصفهان، Email: parvandhamed@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

۱.مقدمه

صنعت برق با توجه به اهمیتی که در عرضه ارائه خدمات به تولیدکنندگان به‌عنوان کالاهای واسطه و به خانوارها به‌عنوان تقاضاکنندگان نهایی دارد، به‌عنوان یک صنعت زیربنایی در فرآیند توسعه اقتصادی کشورها همواره نقش اساسی داشته است. نیروگاه‌های تولیدکننده برق با تولید انرژی‌الکتریکی مورد نیاز، از اهمیت ویژه‌ای جهت ادامه حیات صنعتی و اقتصادی کشور دارند، اما در طی فرآیند تولید، آلاینده‌هایی نیز از نیروگاه‌ها خارج می‌شوند که اثرات نامطلوبی بر کیفیت محیط‌زیست می‌گذارند و باید مورد توجه قرار گیرند.

طی چند دهه گذشته محیط‌زیست وحفاظت از آن از مهمترین مسائلی است که جوامع با آن روبرو هستند. توسعه همراه با اثرات مثبت خود، همواره دارای تاثیرات منفی مستقیم و غیرمستقیم بالقوه‌ای بر محیط‌زیست است و چنانچه برای این اثرات منفی چاره‌اندیشی نشود، نتایج ناگواری درپی خواهد داشت. بدین جهت و با توجه به اهمیت روزافزون بهبود کیفیت محیط‌زیست و حفظ منابع‌طبیعی که منجر به ارتقا سطح سلامت وکیفیت زندگی انسان می‌شود، برنامه‌ریزی‌های توسعه در بسیاری کشورهای جهان براساس اصول توسعه پایدار وحفظ محیط‌زیست استوار گردیده است. در بخش انرژی و به ویژه صنعت برق هزینه‌های خارجی فراوانی از طریق آلاینده‌های زیست‌محیطی بر جامعه تحمیل می‌شود که درمحاسبات تابع هزینه و قیمت برای صنعت برق لحاظ نمی‌شود. سوخت‌های اولیه و موردنیاز بنگاهها در جریان تبدیل به انرژی سبب متصاعدشدن آلاینده‌هایی مانند SO_2، NO_X وCO_2 می‌شوند که سبب زیان‌های قابل توجهی بر روی محیط‌زیست می‌شوند. اقتصادانان محیط‌زیست درصدد تحقیقاتی برای وارد کردن این هزینه‌های خارجی در تابع هزینه نیروگاه‌ها هستند، چرا که هزینه‌های خارجی به وجود آمده توسط هیچ یک از گروه‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده پرداخت نمی‌شود. ارزیابی هزینه‌ها بدون محدودیت زیست‌محیطی، استفاده بیش از اندازه از کالاها وخدمات زیست‌محیطی غیربازاری(بدون قیمت‌گذاری) به‌عمل خواهد آورد. بدین‌ترتیب این معضل ناشی ازعمومی بودن بسیاری از کالاها و خدمات محیط‌زیستی است. از آنجا که قیمت کالاها وخدمات گویای ارزش واقعی کل منابع مورداستفاده برای تولید آنها نیست، بازارهای بدون محدودیت در تخصیص کارآمد و موثر منابع عاجز می‌مانند. بنابراین بین هزینه اجتماعی که از جمع هزینه خصوصی و هزینه خارجی بدست می‌آید و هزینه خصوصی تفاوت وجود دارد.

برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی و لحاظ‌کردن آنها در تابع هزینه تولید برق گامی است بسوی بهینه‌کردن هزینه‌ها والبته شفاف‌سازی در فرآیند قیمت‌گذاری که زمینه علمی لازم را برای توجیه‌پذیری اقتصادی هزینه‌های کنترل بر آلودگی ایجاد می‌کند و زمینه را برای عرضه انرژی‌های پایدار و نو، که از لحاظ

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

محیط‌زیستی آثار مخرب بسیار کمی دارند فراهم می‌کند. در این تحقیق ابتدا به مبانی نظری موضوع مورد مطالعه پرداخته سپس برای تابع هزینه اجتماعی بازار برق باتوجه به فروض خاص یک مدل منطقه‌ای(شهر اصفهان) ارائه می‌شود و طبق روش حل مدل، هزینه اجتماعی نهایی تولید برق بدست می‌آید.

۲. مبانی نظری

یک هزینه خارجی[1] زمانی به‌وجود می‌آید که اقدام و تصمیم یک عامل اقتصادی به تولید یا مصرف، بر مطلوبیت یک یا چندعامل اقتصادی دیگر(تولیدکننده یا مصرف‌کننده) اثر گذارد و کسی که پیامد خارجی را ایجاد کرده است، ضرر و زیان وارده به سایر گروه‌ها را جبران نکند(استری میکین و پا سینیت[2]، ۲۰۰۸). طبق تئوری‌های اقتصادی، مطلوبیت هرشخصی فقط به مقدار کالایی که انتخاب کرده و مصرف می‌کند، بستگی دارد. به همین ترتیب مقدار تولید یک کالا در یک محدوده زمانی خاص، فقط بستگی به مقادیر نهادهای تولیدی که تولیدکننده مورد استفاده قرار داده است، دارد. اما در عمل مطلوبیت کسب‌شده توسط گروهی از مصرف‌کنندگان و محصول تولیدشده توسط گروهی از تولیدکنندگان، بر روی رفتار مصرفی و تولیدی سایر گروه‌ها تاثیر می‌گذارد. بنابراین فعالیت‌های اقتصادی و رفتار عوامل اقتصادی (تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان) دارای پیامدهای خارجی[3] است.

سیستم بازار خصوصی بر میزان و نحوه بهره‌برداری از منابع قیمت‌گذاری شده تاثیر قابل‌توجهی می‌گذارد ولی در جهت‌دهی صحیح موسسات و بنگاه‌های تولیدی جهت استفاده موثر و کارآمد از منابع قیمت‌گذاری نشده(محیط‌زیست) ناموفق بوده است. در بازار دو نوع کالا وجود دارد. کالای خصوصی، که تولیدکننده آن را تولید کرده و به بازار عرضه می‌کند و قیمتی هم برای آن در نظر می‌گیرد و در نهایت به مصرف خانوار می‌رسد وتنها مالک آن می‌تواند از خدمات و نتایج این کالا بهره‌مند شود. کالای عمومی، که نه تنها مالک آن بلکه دیگر مصرف‌کنندگان نیزمی‌توانند از آن استفاده کنند مانند بسیاری از کالاها و خدمات زیست‌محیطی مثل هوای‌پاک و یا طبیعت زیبا که کالاهای کاملاً عمومی یا با دسترسی آزاد و مالکیت مشترک هستند. نظام بازار خصوصی در قیمت‌گذاری این کالاها ناتوان است، بنابراین در قیمت‌ها منعکس نمی‌شوند و باعث ناتوانی بازار در تخصیص و استفاده بهینه از منابع قیمت‌گذاری نشده همانند محیط‌زیست می‌شود(کوومی و فلورنتین[4]، ۱۹۹۷).

1. External Cost
2. Streimikiene and Pusinaite
3. Externality
4. Koomey and Florentine

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

هزینه‌اجتماعی[1] هزینه‌ای است که جامعه برای دریافت یک کالا یا خدمت پرداخت می‌کند (بویی[2]،۱۹۹۶) و (اسکات وجانت[3]،۲۰۰۰). این هزینه شامل هزینه‌خصوصی(هزینه تولید انرژی‌الکتریکی) و هزینه‌های خارجی است و می‌توان آن را به‌صورت ذیل بیان کرد:

$$SC = (PC, EC) \quad (۱)$$

که در رابطه (۳) SC، هزینه اجتماعی، PC، هزینه خصوصی تولید[4] و EC، هزینه خارجی تولید را نشان می‌دهد و هزینه خارجی خود نیز تابعی از هزینه کنترل آلودگی(PCC) و مقدار آلودگی باقیمانده(UP) است:

$$EC = (UP, PCC) \quad (۲)$$

UP، مقدار آلودگی باقیمانده (ناشی از ناکارایی کنترل آلودگی) و PCC، هزینه کنترل آلودگی را نشان می‌دهد.

علت وجود رابطه (۲) به‌سبب آن است که تجهیزات کنترل آلودگی، کارایی ۱۰۰ درصد ندارند و میزان بازده آنها کمتر از این مقدار است. طبیعی است برای استفاده و بهره‌جویی از حد کارایی آن‌ها، نیاز به سرمایه‌گذاری است که این سرمایه‌گذاری را می‌توان همان هزینه کنترل آلودگی یا PCC تلقی نمود. اما میزان عدم‌کارایی این تجهیزات موجب انتشار آلودگی می‌شود که آثار آن بر محیط‌زیست می‌تواند به‌صورت هزینه‌های خارجی تلقی شود. تابع هزینه در تولید برق نسبت به قیدهای عرضه و تقاضا بررسی می‌شود و بنابراین لازم است که هزینه اجتماعی بحث شده در بالا نسبت به محدودیت‌های عرضه و تقاضا بررسی شود. بنابراین باید تابع هزینه نسبت به این محدودیت‌ها کمینه شود. شووپ و همکاران[5](۱۹۸۸) نشان می‌دهند که متغیر دوگان در این مسئله بهینه‌یابی تابع هزینه، همان هزینه نهایی(برای رابطه ۱، هزینه اجتماعی نهایی)[6] است که بهترین معیار برای قیمت‌گذاری در صنعت برق به شمار می‌آید. قیمت مهمترین مکانیسم فرآیند بازار است، که به‌وسیله عرضه و تقاضا مشخص می‌شود. مزیت اصلی مکانیسم قیمت، این است که مصرف‌کنندگان را متوجه هزینه‌های تولید کالا و تولیدکنندگان را از ارزش‌گذاری‌های نسبی مصرف‌کنندگان آگاه می‌کند. ولی هنگامی که قیمت نتواند تمامی هزینه‌ها و مزایای مربوط به مبادله یک کالا را در بازار نشان دهد بازار با شکست مواجه می‌شود و این شکست زمانی رخ می‌دهد که شخص سومی در اثر تولید ومصرف کالا تحت تاثیرات خارجی قرار گیرد، که اگر تولید هزینه کند باعنوان اثرات

1. Social Cost
2. Bui
3. Scott and Janet
4. Private Cost
5. Schweppe
6. Marginal Social Cost

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

خارجی منفی معرفی می‌شود. هزینه نهایی بهترین معیار برای قیمت‌گذاری است. بنابراین برای محاسبه قیمت تعادلی، باید هزینه‌های خارجی نهایی به هزینه‌های خصوصی نهایی اضافه شوند، تا هزینه جدیدی به نام هزینه اجتماعی نهایی حاصل شود. این هزینه نشان‌دهنده هزینه خصوصی نهایی تولید و هزینه تخریب محیط‌زیست و به‌عبارتی هزینه خارجی منفی است. روش بررسی عدم‌توانایی بازارهای آزاد در حفظ کیفیت محیط‌زیست، بررسی هزینه‌های خارجی آلاینده‌های ناشی از تولید و مصرف کالاست که بر شخص سوم خارج از بازار اثر می‌گذارد. هزینه‌های متعددی در تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی در نظر گرفته می‌شوند، یکی از آنها هزینه‌های خصوصی است که در محاسبات وارد شده و در برگیرنده تولید تا مرحله توزیع کالا است. از دیگر هزینه‌هایی که در بخش تولید کالا وجود دارند ولی در هزینه‌های خصوصی وارد نشده و به‌عبارتی داخلی نمی‌شوند، هزینه‌های خارجی است. این هزینه‌ها به‌صورت اثرات منفی ظاهر می‌شوند و قیمتی برای آنها وجود ندارد آثار جانبی بر روی شرایط کارایی اقتصادی اثر گذاشته و آنها را تغییر می‌دهند به‌عبارتی دیگر وجود اثرات جانبی شرایط لازم برای کارایی را تغییر می‌دهد.

جهت وارد کردن هزینه‌های خارجی در هزینه‌های تولید نیروگاه‌ها می‌توان از روش‌های مبتنی‌بر بازار استفاده کرد که از روش‌های کنترل مستقیم آلودگی کارآمدتر هستند. از جمله این روش‌ها روش اخذ هزینه دفع آلودگی، است. در این روش دولت قیمت‌هایی برای دفع و پخش آلودگی‌ها به محیط‌زیست را تعیین می‌نماید، یعنی تولیدکنندگان می‌توانند هر مقدار که می‌خواهند آلودگی وارد محیط‌زیست نمایند و بهای آن را نیز با قیمت‌های تعیین‌شده توسط دولت پرداخت نمایند. این روش در ادبیات اقتصاد محیط‌زیست، روش اخذ هزینه دفع[1] یا روش درونی‌کردن هزینه‌های خارجی نامگذاری شده است. در صورت برقراری چنین روشی واحدهای تولیدی دائماً در فکر چاره‌اندیشی برای کاهش آلودگی‌های ایجادی خود خواهند بود تا از آن طریق در هزینه‌های پرداختی به دولت صرفه‌جویی نمایند و در جهت افزایش صرفه‌جویی‌ها هر اقدامی که موجب کاهش آلودگی شود، از قبیل تغییر ماشین‌آلات یا شیوه تولید، مورد توجه قرار دهند.

1. Effluent Charges

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

۳. پیشینه تحقیق

ترستون و اسرینیواسان[1](۲۰۰۳)، در مقاله‌ای باعنوان "بهینه‌یابی مقید برای مهندسی سبز"، یک مدل بهینه‌یابی مقید در حالت کلی که برای صنایعی همچون برق و کامپیوتر کاربرد دارد، با در نظرگرفتن قیود لازم و از جمله قید آلایندگی محیط‌زیستی را مطرح کرده‌اند. نویسندگان در تحقیق خود مقدار بهینه مصرف انرژی که بهترین ترکیب هزینه و اثرات محیط‌زیستی جهت تولید در محل مورد مطالعه را داراست، بدست آورده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که سیاست‌های قانونی می‌تواند مدل ارائه شده را در برابر تضاد و کشمکش بین مینیمم‌کردن هزینه‌ها و مینیمم‌کردن تأثیرات محیط‌زیستی، کمک کند. بهینه‌یابی مقید برای شناسایی بهترین سیاستها که مطلوبیت اجتماعی را ماکزیمم می‌کند و در عین‌حال که قیدهای منطقی همچون قیدهای آلودگی را رعایت می‌کند، مناسب است.

بازیسویچ[2](۲۰۰۵)، در مقاله خود باعنوان "بررسی هزینه خارجی تولید برق از نیروگاه‌های فسیلی در کشور روسیه"، صدمات ناشی از نیروگاه‌های برق فسیلی را برسلامت انسان تعیین ارزش نمود. بااستفاده از GIS[3]، نیروگاه‌های منطقه مکان‌یابی گردیده و غلظت آلاینده‌ها در نقاط مختلف اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱. برآورد هزینه‌های بهداشتی ناشی از آلودگی در روسیه(۲۰۰۵)

بیماری‌ها	هزینه (دلار امریکا ۱۹۹۵)
مرگ و میر حاد	۵۰۰،۱۴۸
مرگ و میر مزمن	۱،۳۷۵،۰۰۰
مشکل تنفسی	۱۰،۳۰۰
بیماری عروقی	۱۰،۳۰۰
نارسایی قلبی	۱۰،۳۰۰
برونشیت مزمن در بچه‌ها	۳۰۰
برونشیت مزمن در جوانان	۱۳۸،۰۰۰
سرفه مزمن در بچه‌ها	۳۰۰
کاهش فعالیت روزانه	۱۰۰

منبع: بازیسویچ(۲۰۰۵)

سپس نحوه پراکنش این آلاینده‌ها در نقاط مختلف مشخص گردید و با تعیین تراکم جمعیت در نقاط مختلف و از روی هم قرار دادن این لایه‌های اطلاعاتی، نقشه نهایی با اطلاعات مکانی نیروگاه، تراکم

1. Thurston and Srinivasan
2. Bozicevic.

۳. سیستم اطلاع‌رسانی جغرافیایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

جمعیت و میزان غلظت آلاینده‌ها، تعیین شد. ارزش‌گذاری مالی صدمات وارده به سلامت انسان، که تحت‌عنوان هزینه‌های خارجی معرفی شده است کاملاً وابسته به مطالعات انجام‌شده در امریکا و اروپا بود. در این کشورها یک رشته مطالعات در زمینه ارزش‌گذاری اثرات مرگ و میر و علایم و نشانه‌های بیماری صورت گرفته است.

مطالعات مشابهی نیز جهت تعیین هزینه‌های خارجی گزینه‌های مختلف تولید انرژی‌الکتریکی در کشورهایی همچون کشور دانمارک توسط میر و همکارانش[1] در سال ۱۹۹۴، کشور فنلاند توسط اکونو[2] در سال ۱۹۹۴، کشور سوئیس توسط باندسامت[3] در سال۱۹۹۴، کشور آلمان توسط فردریک[4] در سال ۱۹۹۰ و هومیر[5] در سال ۱۹۹۲، کشور تایلند توسط بویی[6] در سال ۱۹۹۶و بویی و لفر[7] در سال ۱۹۹۸ و کشور کانادا توسط هایدرو[8] در سال ۲۰۰۰ صورت پذیرفته است.

کای و همکاران[9](۲۰۱۰)،در مقاله‌ای باعنوان "روش MOCASO [10](بهینه‌سازی تابع هدف چندگانه بااستفاده از روش کلونی‌مورچه‌ها) برای پخش بار اقتصادی و پخش آلودگی" به بهینه‌کردن تابع هزینه چندگانه در چارچوب مسائل EED[11](مسائلی که پخش‌بار اقتصادی و محیط‌زیستی را با هم در نظر می‌گیرند) در سه سیستم عملیاتی تولید برق نمونه، پرداخته‌اند. در این مقاله سعی‌شده که علاوه‌بر مسئله پخش بار اقتصادی به آلودگی‌های ناشی از تولید برق، بخصوص نیروگاه‌های حرارتی، توجه شود.

نتایج عددی این مقاله نشان می‌دهندکه استفاده از روش MOCASO برای حل مسائل EED منطقی و کارا است و با وجود اینکه سیستم تولید برق با قیدهای بیشتر(برای اعتبار بیشتر)، پیچیده‌تر می‌شود، انتظار می‌رود که روش MOCASO پیشنهادشده در این مقاله و ارائه نتایج آن برای حل مسائل EED بااستفاده از روش هوش مصنوعی مفید واقع شود. در پایان نتایج این روش با دیگر روش‌های مانند الگوریتم ژنتیک، مورد مقایسه قرار گرفته و بنابراین مقایسه‌ها اعتبار و اطمینان پذیرش این روش بالا رفته است.

1. Meyer
2. Ekono
3. Bundesamt
4. Friedrick
5. Hohmeyer
6. Bui
7. Bui and Lefvre
8. Hydro
9. Cai et al.
10. Multi-Objective Chaotic Ant Swarm Optimization
11. Environmental Economic Dispatch

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

٤. مدل تحقیق و روش برآورد

در این تحقیق هزینه اجتماعی نهائی عرضه الکتریسیته با فرض وجود ظرفیت مازاد در زمینه تولید و انتقال برای بازار برق منطقه‌ای اصفهان به‌عنوان نمونه مطالعاتی، محاسبه شده است. بر این اساس که هزینه نهائی، شاخص اقتصادی برای انجام مبادلات در یک بازار الکتریسیته است. همچنین تعیین ساختار بازار نیز می‌تواند برمبنای انحراف قیمتهای جاری با هزینه نهائی صورت گیرد. مدل پیشنهادی در این مقاله براساس حداقل‌سازی هزینه‌های متغیر تولید و همچنین هزینه‌های خارجی ناشی از تولید الکتریسیته باتوجه به محدودیت‌های مختلف است. به‌عبارت دیگر، هزینه اجتماعی ناشی از تولید در نیروگاه‌های منطقه اصفهان، جهت تامین انرژی‌الکتریکی مورد نیاز منطقه، حداقل می‌شود.

از آنجا که انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه‌های حرارتی روز به روز سبب نگرانی بیشتر تصمیم‌گیران در جهت حفظ محیط‌زیست شده است، لازم است که مسائل پخش بار اقتصادی(ED)[1] به مدل‌هایی که هم پخش بار اقتصادی و هم پخش آلودگی را در نظر می‌گیرد (EED)، بسط داده شود. هدف مدل EED، تعیین ترکیب بهینه‌ای از تولید برق برای نیروگاه‌ها است که هزینه‌های کلی تولید(هزینه اجتماعی) را با در نظرگرفتن هر دو هزینه سوخت مصرفی(هزینه خصوصی) و هزینه‌های انتشار آلاینده‌ها(هزینه‌های خارجی) نسبت‌به محدودیت تولید و محدودیت بارالکتریکی می‌نیمم می‌کند(پالانیچامیو بابو[2]، ۲۰۰۸).

مدل ارائه‌شده در این مقاله در راستای مدل EED یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با هدف کمینه‌کردن هزینه‌های اجتماعی تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی، نسبت‌به محدودیت‌های مختلف است. در ادامه اجزای مدل ارائه شده است.

٤.١. تابع هدف مدل

دو تابع هدف در مدل استفاده شده (EED)، باهم و در یک زمان می‌نیمم می‌شود.

٤.١.١. تابع هزینه خصوصی

با توجه به اینکه مدل در بازه زمانی یک روز(۲۴ ساعت) استفاده می‌شود و با توجه به اینکه در بازه‌های زمانی کوتاه(ساعتی) هزینه‌هایی همچون هزینه سرمایه‌گذاری، هزینه توسعه ظرفیت و ... نامحسوس است جهت محاسبه هزینه‌های خصوصی، هزینه‌های سوخت نیروگاه‌ها، به‌عنوان عامل تعیین‌کننده در هزینه‌های تولید نیروگاه‌ها در کوتاه‌مدت در نظرگرفته برای بدست آوردن رابطه هزینه سوخت از یک رابطه درجه دوم برحسب تولید نیروگاه استفاده می‌شود که این رابطه مشخصه ورودی-خروجی نیروگاه نامیده

1. Economic Dispatch
2. Palanichamy and Babu

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

می‌شود(وود و وولنبرگ[1]، ۱۹۹۶). برای تخمین این رابطه از اطلاعات مربوط به مقدار تولید برحسب مگاوات و مقدار مصرف سوخت برحسب کیلوگرم استفاده می‌شود. بنابراین تابع هدف هزینه‌های خصوصی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_t = \sum_{i=1}^{n} (e_i)H_i(P_{ti}) = \sum_{i=1}^{n} F_i(P_{ti}) = \sum_{i=1}^{n} (a_i P_{ti}^2 + b_i P_{ti} + c_i) \qquad (۳)$$

که F_t هزینه تولید درکل منطقه در زمان t، e_i و H_i و F_i به ترتیب قیمت سوخت مورد استفاده، تابع نرخ حرارت ورودی نسبت به تولید(تابع ورودی-خروجی) و تابع هزینه i امین تولیدکننده a_i و b_i و c_i ضرایب هزینه i امین تولیدکننده، p_i مقدار تولید i امین تولیدکننده و n تعداد تولیدکننده‌های ترکیب‌شده در یک سیستم عملیاتی است.

۲.۱.٤. تابع هزینه خارجی

در نیروگاه‌ها، سه گاز اصلی آلوده‌کننده محیط‌زیست دی‌اکسیدکربن(CO_2)، اکسیدسولفور و ترکیبات آن(SO_x) و اکسیدنیتروژن و ترکیبات آن(NO_x) هستند، که عمده آلودگی در نیروگاه‌ها ناشی از گازهای SO_x و NO_x است. در نتیجه می‌توان گفت که هدف از واردکردن هزینه‌های خارجی در تابع هدف(درونی‌کردن هزینه‌های خارجی)، می‌نیمم‌کردن میزان گازهای آلوده‌کننده و در نتیجه هزینه‌های خارجی ناشی از انتشار آنها است. با بررسی میزان گازهای آلوده‌کننده خروجی از نیروگاه‌ها مشاهده شده است که عوامل زیادی بر روی نرخ و میزان این گازها تاثیرگذار هستند، عامل اصلی مؤثر بر میزان گازهای آلاینده خروجی نیروگاه‌ها نوع سوخت مصرفی و توان اکتیو(توان مصرفی) تولیدی نیروگاه است. از طرف دیگر با ارزیابی رابطه بین میزان آلودگی منتشره و توان اکتیو تولیدی مشاهده می‌شود که این رابطه یک رابطه غیرخطی است چرا که با افزایش تولید در بازه‌های متفاوت مقدار انتشار آلاینده یکسان نخواهد بود به‌عبارت دیگر مقدار انتشار نهایی آلاینده نسبت‌به تولید یکسان نبوده و یک معادله غیرخطی درجه دوم بر حسب توان اکتیو تولیدی نیروگاه، بیشترین تطابق را با تابع میزان آلودگی منتشره برحسب توان تولیدی نیروگاه خواهد داشت. از آنجا که هزینه انتشار آلودگی رابطه مستقیم با میزان انتشار آلاینده دارد لذا تابع هزینه آلایندگی یک نیروگاه، یک تابع درجه دوم بر حسب توان اکتیو تولیدی خواهد بود(کومار و همکاران،[2] ۲۰۰۶؛ تاکور و همکاران،[3] ۲۰۰۳).

بنابراین در راستای می‌نیمم‌کردن هزینه‌های خارجی ناشی از انتشار آلاینده‌ها رابطه(۴) ارائه می‌شود:

1. Wood and Wollenberg
2. Kumar
3. Thakur

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

$$E_t = \sum_{i=1}^{n} E_i(P_{ti}) = \sum_{i=1}^{n} (\alpha_i P_{ti}^2 + \beta_i P_{ti} + \gamma_i) \quad (۴)$$

که α_i، β_i و γ_i ضرایب i امین تولیدکننده آلاینده هستند.

مسئله می‌نیمم کردن هزینه‌های انتشار آلاینده‌ها، باعث کاهش میزان آلودگی می‌شود با رسیدن به این هدف، هزینه سوخت افزایش می‌یابد و برعکس. با در نظرگرفتن این تأثیرات، باید بین دو حالت مذکور مطالعه‌ای انجام داد و هر دو هدف را توأماً بهینه نمود.

در این مقاله بااستفاده از روش درونی‌کردن هزینه‌های خارجی برای تولیدکننده آلودگی، سعی در کاهش هزینه‌های خارجی ناشی از آلودگی شده است. مدل ما دارای دو تابع هدف با نام‌های هزینه خصوصی تولید برحسب (Rial/h) و هزینه‌های خارجی تولید برحسب (Tone/h) است که برای درونی کردن هزینه‌های خارجی و همچنین بررسی توأماً این دو تابع، باید توابع هدف را با هم جمع کرد و تبدیل به یک تابع هدف به‌نام هزینه اجتماعی کرد. اما از آنجا که رابطه(۳) برحسب(Tone/h) است برای اینکه قابل جمع‌کردن با رابطه(۲) باشد نیاز به یک ضریب تبدیل است که به‌ازای آن مقدار(Tone/h) آلودگی تبدیل به معیار هزینه(Rial/h) شود. معمولاً در مطالعات انجام‌شده در حوزه مهندسی برق برای یکسان‌سازی دو تابع بالا از ضریب تبدیل(P_{ri}) زیر استفاده می‌شود:

$$p_{ri} = \frac{a_i + b_i . p_{i,max} + c_i . p_{i,max}^2}{\alpha_i + \beta_i . p_{i,max} + \gamma_i . p_{i,max}^2} \quad (۵)$$

اما با توجه به اینکه ما در این تحقیق به‌دنبال ارزش‌گذاری ریالی هزینه‌های خارجی هستیم بجای استفاده از ضریب بالا از مقدار زیان ریالی محاسبه شده برای انتشار هر واحد آلاینده استفاده می‌کنیم. این ضریب تبدیل را می‌توان از روش‌های ارزش‌گذاری هزینه‌های خارجی که در فصل دوم گفته شد بدست آورد. در حقیقت این ضریب برابر مقدار زیان ریالی است که بر اثر انتشار یک واحد آلاینده، ایجاد می‌شود. در این تحقیق این ضریب بااستفاده از روش تبدیل تعدیل‌یافته و بااستفاده از محاسبات بانک جهانی محاسبه شده است.

بنابراین بطورکلی رابطه هزینه اجتماعی که به‌عنوان تابع هدف مدل معرفی می‌شود، بصورت رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$SC_t = \sum_{i=1}^{n} (F_{ti} + (P_{di} E_{ti})) \quad (۶)$$

که در رابطه (۶)، P_{di} ضریب تبدیلی است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

۲.٤. محدودیت تقاضا

از یک سو هدف ازتولید انرژی‌الکتریکی، تامین تقاضای آن بوده و از سوی دیگر به‌دلیل ادواری بودن فعالیت‌های بشر، تقاضای انرژی‌الکتریکی نیز دارای نوسانات ادواری است. این نوسانات غالباً به‌صورت روزانه، هفتگی، ماهانه، فصلی و سالانه قابل تفکیک است. یکی از ابزارهای مهم برای این منظور منحنی تداوم بار(LDC) است. منحنی تداوم بار از منحنی بار بدست می‌آید. منحنی بار در یک دوره نشان دهنده میزان مصرف بر حسب مگاوات در هر لحظه از دوره است. در حالیکه منحنی تداوم بار مشخص می‌کند که چند درصد از طول دوره قدرت مصرفی از حد مشخصی تجاوز کرده است. از سوی‌دیگر منحنی تداوم بار بیانگرآنست که مقدارمشخصی از قدرت تولیدی در چه مدت از زمان دوره تناوب توسط مصرف‌کننده‌ها جذب می‌شود. همچنین سطح زیر منحنی تداوم بار، میزان مصرف انرژی بر حسب مگاوات ساعت (MVH) را نشان می‌دهد. برای لحاظ محدودیت مقدار تقاضا در مدل، ازمنحنی تداوم بار استفاده می‌شود. برای لحاظ محدودیت بارالکتریکی مورد نیاز در مدل، منحنی تداوم بار را به‌صورت برون‌زا در مدل وارد می‌کنیم. در واقع آنچه در مورد مقدار تقاضای برق اهمیت دارد اینست که در طول دوره برنامه‌ریزی هر سطح از توان‌الکتریکی به مدت چند ساعت مورد تقاضا واقع شده است.

در مـدل لحظه‌ای مورد استفاده در این تحقیق ما با یک بازه زمانی۲۴ ساعته(یک شبانه‌روز) مواجه هستیم. در حقیقت هر سطح از توان‌الکتریکی به مدت یک ساعت مورد تقاضا واقع شده است، با توجه به این موضوع، نیروگاه‌های فعال در سیستم باید به مدت t ساعت(یک ساعت)، توانی برابر با k مگاوات ساعت تولید نمایند. اگر تعداد تقسیم‌بندی روی منحنی تداوم بار برابرM باشد(در این مدل ۲۴ ساعت)، مدل شاملM محدودیت تقاضا است. بدیهی است هرچه M بالاتر باشد، دقت مدل بیشتر می‌شود. از طرف دیگر با افزایش M ابعاد مدل نیز افزایش‌یافته و حل آن مشکل‌تر می‌شود. به هر حال باید تقسیمات انجام شده روی منحنی تداوم بار به نحوی صورت گیرد که مجموع مقادیر انرژی‌الکتریکی تقاضا شده در M ناحیه بار، برابر با کل انرژی‌الکتریکی در طول دوره برنامه‌ریزی(یک شبانه‌روز) باشد.

اما در این جا یک نکته قابل ذکر است و آن اینکه بخشی از انرژی تولیدی نیروگاه در خود نیروگاه به مصرف می‌رسد که به مصرف داخلی موسوم است و می‌توان آنرا به‌صورت ضریب از میزان تولید نیروگاه درنظر گرفت. در اینجا مراکز مصرف همان شرکتهای توزیع است که شرکت برق منطقه‌ای اصفهان به‌عنوان نماینده آنها عمل می‌کند و پیش‌بینی مقدار تقاضا که با در نظرگرفتن تلفات توزیع صورت می‌گیرد توسط شرکت برق منطقه‌ای به بازار ارائه می‌شود. اگر مصرف داخلی نیروگاهiام را با δ_i نشان دهیم، رابطه تقاضا به‌صورت زیر بیان می‌شود:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

$$\sum_{i=1}^{n}(1-\delta_i)y_{i,t}\geq D_t \qquad i = 1,2,3,\ldots,n \;;\; t = 1,2,3,\ldots,T \qquad (۷)$$

رابطه (۷)، بیان می‌کند که مجموع ظرفیت نیروگاه‌های سیستم باید برابر با مقدار کل بارالکتریکی تقاضا شده D_t باشد. این شرط باید برای تمامی نواحی بار برقرار باشد، اگر تعداد تقسیم‌بندی روی منحنی تداوم بار برابر با T باشد مدل شامل T محدودیت تقاضا است.

۳.٤. محدودیت تولید

از آنجا که توان تولیدی نیروگاه در فاصله مشخصی قابل تغییر است بنابراین خروجی نیروگاه در هر یک از نواحی بار(P_{it}) باید در این فاصله قرار گیرد. اگر حداکثر توان تولیدی نیروگاه iام، P_{imax} و حداقل آن P_{imin} باشد، محدودیت تولید برای N نیروگاه و M ناحیه بار به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_{imin}\leq P_{it}\leq P_{imax} \qquad i= 1,2,3,\ldots,n \qquad (۸)$$

با مشخص‌شدن ابعاد مدل پیشنهادی، تابع هدف و محدودیتهای مدل در ذیل ارائه شده است:

$$\text{Min SC}=\sum_{t=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(F_{ti}+(P_{di}E_{ti})\right) \qquad i = 1,2,\ldots,n;\; t = 1,2,\ldots,m \qquad (۹)$$

$$\text{s.t.}\sum_{i=1}^{n}(1-\delta_i)\,P_{it}=D_t$$

$$P_{imin}\leq P_{it}\leq P_{imax}$$

با اجرای مدل فوق توسط نرم‌افزار[1] GAMS، خروجی‌های برنامه مقدار تولید بهینه هر یک از نیروگاه‌ها، مقدار تابع هدف و هزینه اجتماعی نهایی تولید در هر ساعت است. این نرم‌افزار از روش "لاگرانژ مرحله‌ای"[2] برای حل مسائل غیرخطی استفاده می‌کند. هزینه اجتماعی نهایی، همان متغیر دوگان در مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی بالاست. شووپ[3] و همکاران(۱۹۸۸) در مدل قیمت‌گذاری خود اثبات می‌کنند که هزینه نهایی همان متغیر دوگان در مسئله کمینه‌کردن تابع هزینه مقید است که قیمت باید برابر این مقدار باشد.

در واقع در این مدل تولیدکنندگان می‌توانند هر مقدار که می‌خواهند آلودگی وارد محیط‌زیست نمایند لیکن باید مقدار زیانی را که براساس این آلودگی به‌وجود می‌آورند(P_{di})، را نیز پرداخت نمایند. همانطور که اشاره شد این روش در ادبیات اقتصاد محیط‌زیست، روش اخذ هزینه دفع یا همان روش درونی‌کردن هزینه‌های خارجی نامگذاری شده است.

1. General Algebraic Modeling System
2. Projected Lagrangian
3. Schweppe

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

۵. داده‌ها و نتایج تجربی

برای استخراج رابطه‌های هزینه خصوصی و خارجی، از داده‌های ساعتی مربوط به مقدار تولید برحسب مگاوات و مقدار مصرف سوخت بر حسب کیلوگرم و مقدار انتشار آلاینده برحسب کیلوگرم در هر یک از ۲۴ ساعت شبانه‌روز در چند روز انتخابی از سال ۱۳۸۸ استفاده شده است. اطلاعات در شرایطی که هر دو نیروگاه صرفاً از مازوت به‌عنوان سوخت و در دمای حدود ۲۰ الی ۲۵ درجه فعالیت می‌کنند استفاده شده است. برای بدست آوردن نرخ حرارت ورودی (H) از ارزش حرارتی مازوت که معادل ۹۶۰۰ kcal/kg (کیلو کالری بر کیلوگرم) است استفاده می‌کنیم. بدین صورت بااستفاده از روش حداقل مربعات معمولی و بااستفاده از نرم‌افزار EVIEWS6 حداقل انرژی مصرفی نیروگاه را بر روی تولید برازش می‌نماییم و بهترین تخمین برای منحنی تبادل انرژی نیروگاه‌ها (اصفهان و منتظری) بدست می‌آید.

نتایج برآورد منحنی تبادل انرژی(ورودی-خروجی) نیروگاه شهید محمد منتظری و نیروگاه اسلام‌آباد اصفهان به‌ترتیب براساس رابطه(۱۰) و رابطه (۱۱)، درجدول ۲ ارائه شده است.

$$H_1(Mcal/h) = a_1 p_1^2 + b_1 P_1 + c_1 \qquad (۱۰)$$

$$H_2(Mcal/h) = a_2 P_2^2 + b_2 P_2 + c_2 \qquad (۱۱)$$

که در این روابط H نرخ حرارت ورودی به واحد(برحسب مگاکالری) و P تولید (برحسب مگاوات ساعت) را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نتایج برآورد منحنی ورودی-خروجی(نیروگاه منتظری و اسلام‌آباد اصفهان)

ضریب	مقدار برآورد شده	آماره t	احتمال(prob)	ضریب تعیین(R^2)
a_1	۰/۰۱۱۷	۲/۸۰	۰/۰۰۹۳	٪۹۸
b_1	۵.۱۶۱۴	۲۲.۶	۰/۰۰۰	
c_1	۸۶۴۹۲۸۳	۲/۱۶	۰/۰۳۹	
a_2	۰/۹۰۵	۲/۱۰	۰/۰۴۳	٪۹۸/۸
b_2	۱۱۲۸/۹۳۴	۲/۱۵	۰/۰۳۹	
c_2	۴۲۶۸۱۵/۳	۲/۸۰	۰/۰۰۸	

منبع: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

برای تعیین رابطه هزینه، قیمت سوخت مازوت معادل ۳۰ Rls/lit، معادل ۲۸ Rls/kg (باتوجه به جرم حجمی مازوت) بااحتساب هزینه حمل‌ونقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. باتوجه به اینکه ارزش حرارتی هر کیلوگرم مازوت معادل ۹۶۰۰ kcal/kg یا ۹/۶ mkal/kg است، برای تبدیل رابطه ورودی - خروجی به رابطه هزینه داریم:

$$PC_1(Rls/h) = 28/9.6(0.0117p_1^2 + 1614.5P_1 + 8649283) \quad (۱۲)$$

$$PC_2(Rls/h) = 28/9.6(0.905P_2^2 + 1128.93P_2 + 426815.3) \quad (۱۳)$$

که PC[1] بیانگر هزینه خصوصی تولید است. از مجموع روابط (۱۲) و (۱۳)، تابع هزینه خصوصی برای منطقه اصفهان برای‌هر ساعت بدست می‌آید بنابراین تابع هزینه خصوصی کل(TPC)[2] برای یک روز مشخص بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TPC = 28/9.6\sum_{T} (0.0117p_{1T}^2 + 1614.5P_{1T} + 8649283 + 0.905P_{2T}^2 + 1128.93P_{2T} + 426815.3)$$

$$T=1,2,3,\ldots,24 \quad (۱۴)$$

باتوجه به اینکه سوخت در دسترس نیروگاه‌های کشور با پرداخت یارانه از طرف وزارت نیرو است، مدل یکبار نیز با توجه به سوخت با قیمت جهانی اجرا می‌شود. بر این اساس هزینه سوخت معادل ۲۷۰۰Rls/lit، معادل ۲۴۳۰ Rls/kg خواهد بود. بنابراین تابع هزینه خصوصی مدل انتخابی هزینه متغیر نیروگاه‌های سطح منطقه را شامل می‌شود. که برای بدست آوردن این رابطه از تقریب منحنی ورودی–خروجی استفاده شده است.

باتوجه به محدودیت در دسترسی به اطلاعات مربوط به انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه‌ها و باتوجه به اینکه سهم عمده آلودگی ناشی از استفاده سوخت مازوت توسط انتشار گاز آلاینده SO_2 به وجود می‌آید، در این مطالعه سعی شده است که تابع انتشار گاز آلاینده SO_2 و به‌دنبال آن تابع هزینه خارجی این آلاینده در حالتی که نیروگاه فقط از سوخت مازوت جهت تولید استفاده کرده است، محاسبه شود(مقدار انتشار SO_2 ناشی از مصرف سوخت گازطبیعی، بسیار کم و ناچیز است). مقدار انتشار آلاینده‌ها از داده‌های موجود در قسمت محیط‌زیست هر دو نیروگاه بصورت روزانه استخراج شده است. براساس مدل ارائه شده، تابع مقدار انتشار آلاینده SO_2، برای نیروگاه منتظری و نیروگاه اصفهان به‌ترتیب طبق رابطه (۱۵) و(۱۶)، برآورد شده است:

1. Private Cost
2. Total Private Cost

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

$$E_1\ (kg/h) = \alpha_1 p_1^2 + \beta_1 P_1 + \gamma_1 \quad (۱۵)$$

$$E_2\ (kg/h) = \alpha_2 P_2^2 + \beta_2 P_2 + \gamma_2 \quad (۱۶)$$

در این رابطه E، مقدار انتشار آلاینده(برحسب کیلوگرم) و P تولید(برحسب مگاوات ساعت) را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج برآورد تابع انتشار آلاینده(نیروگاه منتظری و اسلام‌آباد)

ضریب	مقدار برآورد شده	آماره t	احتمال(prob)	ضریب تعیین(R^2)
α_1	۰/۰۰۰۰۷۵	۲/۸۱	۰/۰۰۸	٪۹۷/۶
β_1	۹/۴۲۵	۵/۶۸	۰/۰۰۰	
γ_1	۵۵۳۸۴	۲/۱۷	۰/۰۳۸۳	
α_2	۰/۰۰۵	۲/۲۱	۰/۰۳۵	٪۹۸
β_2	۶/۸۸۱	۵/۳۱	۰/۰۲۸	
γ_2	۲۵۲۲/۸	۲/۹۵	۰/۰۰۶	

منبع: یافته‌های تحقیق

برای تبدیل این توابع که برحسب کیلوگرم هستند به تابع هزینه(برحسب ریال) از ضریب تبدیل استفاده می‌شود. همانطور که در فصل پیش بحث شد ما از زیان ریالی که انتشار یک واحد SO_2، بر محیط‌زیست ایجاد می‌کند به‌عنوان ضریب تبدیل استفاده کرده‌ایم. مقدار این ضریب از مطالعه بانک جهانی در گزارش بازنگری زیست‌محیطی(EER)[1] در ایران، آورده شده است. تابع هزینه انتشار آلاینده[2] SO_2 برای نیروگاه منتظری و نیروگاه اصفهان به‌ترتیب بصورت رابطه (۱۷) و (۱۸)، محاسبه شده است.

$$EC_1(Rls/h) = 14600(0.000075 p_1^2 + 9.425 P_1 + 55384) \quad (۱۷)$$

$$EC_2(Rls/h) = 14600(0.005 P_2^2 + 6.881 P_2 + 2522.8) \quad (۱۸)$$

بنابراین تابع هزینه انتشار آلاینده(هزینه خارجی) در یک روز مشخص(مجموع ۲۴ ساعت) برای کل منطقه اصفهان بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TEC = 14600 \sum_T (0.000075 p_{1T}^2 + 9.425 P_{1T} + 55384 + 0.005 P_{2T}^2 + 6.881 P_{2T} + 2522.8)$$

1. Environmental Energy Review – Iran ,World Bank Group
2. Emission Cost

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

$$T=1,2,\ldots,24 \qquad (۱۹)$$

که در این رابطه TEC[1] هزینه کل انتشار آلاینده برحسب(Rls/h) است.

با توجه به روابط (۱۴) و (۱۹) تابع هزینه اجتماعی برای کل منطقه اصفهان به‌صورت زیر است:

$$TSC = TPC + TEC \qquad (۲۰)$$

که در این رابطه TSC[2]، هزینه اجتماعی کل است.

نتایج محاسبه هزینه اجتماعی نهایی با استفاده ازبهینه‌سازی تابع هدف پیشنهادی با توجه به دو محدودیت تقاضا و تولید گفته شده در بالا، در جدول ۴ آورده شده است. به‌منظور به‌دست آوردن نتایج واقع‌بینانه‌تر، مدل با قیمتهای داخلی و قیمت‌های خارجی به‌طورجداگانه حل شده‌است. همچنین جهت محاسبه مدل از نرم‌افزار GAMS بهره‌گیری شده است. این نرم‌افزار از روش‌لاگرانژ مرحله‌ای[3] برای حل مسائل غیرخطی استفاده می‌کند..

جدول ٤.هزینه‌اجتماعی‌نهایی کوتاه‌مدت‌تولیدبرای‌روزبیست‌وششم‌آذرماه‌هشتادوهشت(Rls/MWh)

ساعت	قیمت داخلی	قیمت جهانی	ساعت	قیمت داخلی	قیمت جهانی
۱	۱۵۶۱۵۰	۵۹۸۶۳۰	۱۳	۱۷۸۵۲۰	۶۸۲۸۵۰
۲	۱۵۵۹۴۰	۵۹۷۸۷۰	۱۴	۱۵۶۷۲۰	۶۰۰۶۰۰
۳	۱۵۵۸۳۰	۵۹۷۳۹۰	۱۵	۱۵۶۶۷۰	۶۰۰۴۹۰
۴	۱۵۵۷۹۰	۵۹۷۲۰۰	۱۶	۱۵۶۵۹۰	۶۰۰۲۰۰
۵	۱۵۵۸۲۰	۵۹۷۳۵۰	۱۷	۱۷۷۳۰۰	۶۷۷۹۵۰
۶	۱۵۵۸۵۰	۵۹۷۵۲۰	۱۸	۲۲۱۵۵۰	۸۵۴۷۹۰
۷	۱۵۶۰۷۰	۵۹۸۳۳۰	۱۹	۲۱۹۲۸۰	۸۴۵۷۰۰
۸	۱۵۶۲۹۰	۵۹۹۱۲۰	۲۰	۲۰۲۸۴۰	۷۸۰۰۰۰
۹	۱۷۷۴۷۰	۶۷۸۶۵۰	۲۱	۱۵۶۵۷۰	۶۰۰۱۳۰
۱۰	۱۹۳۲۱۰	۷۴۱۵۶۰	۲۲	۱۵۶۵۲۰	۵۹۹۹۴۰
۱۱	۲۰۵۶۳۰	۷۹۱۱۸۰	۲۳	۱۵۶۳۵۰	۵۹۹۳۲۰
۱۲	۲۰۶۸۶۰	۷۹۶۰۷۰	۲۴	۱۵۶۰۲۰	۵۹۸۱۶۰

منبع: یافته‌های تحقیق

1. Total Emission Cost
2. Total Social Cost
3. Projected Lagrangian

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

همچنین مدل یک بار بدون لحاظ‌کردن هزینه‌های خارجی نیز حل شده و هزینه نهایی خصوصی تولید محاسبه شده است. درجدول۶ تفاوت بین هزینه خصوصی و اجتماعی نهایی تولید برق در منطقه مورد مطالعه را که هزینه خارجی نهایی نامیده می‌شود نشان می‌دهد. با درونی‌کردن هزینه‌های خارجی در هزینه‌های تولید و محاسبه هزینه اجتماعی نهایی تولید(جدول ۴) افزایش هزینه‌های تولید کاملاً آشکار است. با اینکه در این تحقیق تنها هزینه خارجی آلاینده SO_2 در نظرگرفته شده است اما باز هم تفاوت هزینه خصوصی با هزینه اجتماعی در منطقه مورد مطالعه شایان توجه است.

جدول۵. هزینه اجتماعی نهایی تولید برای سه حالت پرباری، کم‌باری و میان‌باری در بازار برق منطقه‌ای اصفهان(Rls/MWh)

هزینه / زمان	هزینه اجتماعی نهایی با قیمت سوخت یارانه‌ای	هزینه اجتماعی نهایی با قیمت خارجی
پرباری	۲۱۱۲۳۲	۸۱۳۵۴۸
بارمیانی	۱۶۵۶۵۵/۴۵	۶۳۴۶۲۴/۵۴
کم‌باری	۱۵۵۹۳۴/۲۵	۵۹۷۸۰۷/۱۲

منبع: یافته‌های تحقیق

لازم به ذکر است که از آنجا که محاسبه هزینه‌ها با قیمت‌های یارانه‌ای سوخت، نتایج قابل‌اطمینانی در مورد هزینه‌های تولید به وجود نمی‌آورد، در جدول۶ مقدار هزینه خارجی نهایی در حالتی ارائه شده است که قیمت سوخت بدون یارانه (قیمت خارجی) وارد مدل شده است.

با توجه به جدول۶، می‌توان هزینه خارجی نهایی تولید در منطقه مورد مطالعه را برای ۳ حالت کم‌باری، بارمیانی و پرباری به‌ترتیب ۱۵۰۷۸۵، ۱۶۰۱۹۱ و ۲۰۴۲۱۲(Rls/MWh) دانست که این مقدار در محاسبات هزینه نیروگاه‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرد که این خود سبب شده که هزینه‌های تولید کمتر از حد واقعی برآورد شود و بنابراین قیمت ارائه شده در بازار، با قیمت واقعی برق تولیدی که در آن هزینه اجتماعی نهایی مدنظر قرار می‌گیرد تفاوت زیادی داشته باشد. این در حالی است که در بازارهای برق اروپا و امریکا هزینه خارجی مربوط به آلاینده‌ها به‌صورت مالیات‌های محیط‌زیستی در محاسبات هزینه‌ها در نظرگرفته می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

جدول٦.هزینه اجتماعی نهایی،هزینه خصوصی نهایی و هزینه خارجی نهایی تولید برای روز بیست و ششم آذر ماه هشتاد و هشت(Rls/MW)

ساعت	هزینه‌اجتماعی‌نهایی	هزینه خصوصی‌نهایی	هزینه خارجی‌نهایی
۱	۵۹۸۶۳۰	۴۴۷۶۳۰	۱۵۱۰۰۰
۲	۵۹۷۸۷۰	۴۴۷۰۸۰	۱۵۰۷۹۰
۳	۵۹۷۳۹۰	۴۴۶۷۱۰	۱۵۰۶۸۰
۴	۵۹۷۲۰۰	۴۴۶۵۴۰	۱۵۰۶۶۰
۵	۵۹۷۳۵۰	۴۴۶۶۸۰	۱۵۰۶۷۰
۶	۵۹۷۵۲۰	۴۴۶۸۳۰	۱۵۰۶۹۰
۷	۵۹۸۳۳۰	۴۴۷۴۲۰	۱۵۰۹۱۰
۸	۵۹۹۱۲۰	۴۴۷۹۹۰	۱۵۱۱۳۰
۹	۶۷۸۶۵۰	۵۰۷۰۲۰	۱۷۱۶۳۰
۱۰	۷۴۱۵۶۰	۵۵۴۷۳۰	۱۸۶۸۳۰
۱۱	۷۹۱۱۸۰	۵۹۲۳۷۰	۱۹۸۸۱۰
۱۲	۷۹۶۰۷۰	۵۹۶۰۸۰	۱۹۹۹۹۰
۱۳	۶۸۲۸۵۰	۵۱۰۲۰۰	۱۷۲۶۵۰
۱۴	۶۰۰۶۰۰	۴۴۹۱۱۰	۱۵۱۵۵۰
۱۵	۶۰۰۴۹۰	۴۴۸۹۹۰	۱۵۱۵۰۰
۱۶	۶۰۰۲۰۰	۴۴۸۷۸۰	۱۵۱۴۲۰
۱۷	۶۷۷۹۵۰	۵۰۶۴۰۹	۱۷۱۴۶۰
۱۸	۸۵۴۷۹۰	۶۴۰۶۲۰	۲۱۴۱۷۰
۱۹	۸۴۵۷۰۰	۶۳۳۷۲۰	۲۱۱۹۸۰
۲۰	۷۸۰۰۰۰	۵۸۳۸۹۰	۱۹۶۱۱۰
۲۱	۶۰۰۱۳۰	۴۴۸۷۳۰	۱۵۱۴۰۰
۲۲	۵۹۹۹۴۰	۴۴۸۵۹۰	۱۵۱۳۵۰
۲۳	۵۹۹۳۲۰	۴۴۸۱۴۰	۱۵۱۱۸۰
۲۴	۵۹۸۱۶۰	۴۴۷۲۹۰	۱۵۰۸۷۰

منبع: یافته‌های تحقیق

همانطور که اشاره شد روش اخذ هزینه دفع آلاینده‌ها و مالیات‌های زیست‌محیطی از ابزارهای مبتنی‌بر بازار در اختیار دولت برای رسیدن به تخصیص بهینه منابع است. این مالیات‌ها منجر به داخلی کردن هزینه‌های خارجی می‌شود و زمینه تحقق وضعیت بهینه پارتو را مهیا می‌سازد. باتوجه به این موضوع که نرخ بهینه مالیات‌های محیط‌زیستی برابر با هزینه خارجی نهایی در سطح کارآمد اجتماعی انتشار آلودگی است(بامول و اتس، ۱۹۸۸)[1]، بنابراین محاسبات انجام شده در جدول ۶ می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب در

1. Baumol and Oates

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

جهت تعیین نرخ مالیات بر انتشار آلاینده‌ها باشد. سطح کارآمد اجتماعی انتشار آلودگی زمانی اتفاق می‌افتد که منافع نهایی ناشی از رفع آلودگی برای واحدهای اقتصادی برابر با هزینه نهایی انتشار آلاینده باشد. از آنجایی که استفاده از وسایل کنترل آلودگی، هزینه دارد، نیروگاه‌ها بایستی هزینه وسایل کنترلی و مالیات پرداختی را با هم مقایسه کنند. با کنترل وکاهش میزان آلودگی، میزان مالیات پرداختی کاهش خواهد یافت. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان گفت که عدم توجه به هزینه‌های زیست‌محیطی تولید برق باعث ایجاد آثار مخرب بر منابع مورد استفاده می‌شود و به‌عنوان نیرویی محرک، سیستم تولید برق را به سوی ناپایداری سوق می‌دهد.

به نظر می‌رسد برآورد هزینه‌های زیست‌محیطی و لحاظ کردن آن در هزینه نهایی تولید برق گامی است به سوی شفاف‌سازی فرآیند قیمت‌گذاری کالا و خدمات در بخش انرژی که زمینه علمی لازم برای حرکت به سوی قیمت‌گذاری مبتنی‌بر بازار در مورد مصرف برق کشور فراهم می‌شود.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی تابع هدف هزینه خصوصی و همچنین بهینه‌سازی تابع هدف هزینه اجتماعی در ۲۴ ساعت روز مورد مطالعه و همچنین براساس تفاوت بین هزینه اجتماعی نهایی و هزینه خصوصی نهایی محاسبه شده، که بصورت هزینه خارجی نهایی برای روز مورد مطالعه درجدول۶ ارائه شده است، به این نتیجه می‌رسیم که هزینه خارجی نهایی که در محاسبات هزینه‌ها در صنعت برق کشور وارد نمی‌شوند، حتی در ساعت‌های کم‌باری تولید که کمترین انتشار آلاینده در نیروگاه‌ها رخ می‌دهد به‌طور میانگین برابر ۱۵۰۷۸۵(Rls/MWh) است که همانطور که نشان داده شد در ساعت‌های پرباری این مقدار به بالاتر از ۲۰۴۰۰۰(Rls/MWh) می‌رسد. این تفاوت بالا بین هزینه خصوصی نهایی و هزینه اجتماعی نهایی ضرورت مبنا قرار دادن هزینه‌های اجتماعی در محاسبه هزینه‌ها، و همچنین در راستای حرکت صنعت برق به سمت شرایط بهینه اجتماعی، قیمت‌گذاری براساس هزینه اجتماعی نهایی را بیان می‌کند.

محاسبات هزینه تولید با سوخت مصرفی مازوت(انرژی‌های فسیلی) با در نظرگرفتن هزینه‌های خارجی تولید و همچنین قیمت سوخت آزاد، نشان دهنده هزینه‌های اجتماعی تولید بسیار بالاست. این هزینه‌ها، بسیاری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر را در شرایط رقابتی با سوخت‌های فسیلی از جمله مازوت، جهت تولید برق قرار می‌دهد و انتظار می‌رود برخی از این منابع تجدیدپذیر را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نماید.

در این تحقیق مقدار هزینه خارجی نهایی در منطقه مورد مطالعه را برای ۳ حالت کم‌باری، بارمیانی و پرباری به‌ترتیب ۱۵۰۷۸۵، ۱۶۰۱۹۱ و ۲۰۴۲۱۲(Rls/MWh) محاسبه شده است و از آنجا که نرخ بهینه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

مالیات برای آلاینده‌ها برابر با هزینه خارجی نهایی آن‌ها است بنابراین می‌توان از این مقدار جهت برقراری مالیات محیط‌زیستی برای نیروگاه‌های منطقه استفاده نمود.

تفاوت بین هزینه متوسط متغیر تولید که مبنای قیمت‌گذاری در صنعت برق ایران است و هزینه نهایی کوتاه‌مدت تولید(به‌عنوان معیاری مناسب در جهت قیمت‌گذاری) بیانگر شرایط انحصار طبیعی و عدم کارایی سیستم قیمت‌گذاری و تولید در صنعت برق کشور است و تفاوت زیاد بین قیمت سوخت جهانی و سوخت داخل که از یارانه بالای دولت در این صنعت ناشی می‌شود سبب می‌شود ناکارایی و مشکلات موجود در سیستم بروزنیافته و قیمت پایین سوخت سرپوش مشکلات موجود در سیستم باشد و بنگاه‌ها فشاری در جهت افزایش کارایی احساس نکنند.

باتوجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود.

درونی‌کردن هزینه‌های خارجی تولید در هزینه‌های نیروگاه‌ها به‌وسیله مالیات‌های زیست‌محیطی و تعیین نرخ مالیات براساس هزینه خارجی نهایی آلاینده‌ها.

فراهم‌کردن زمینه تجدید ساختار در صنعت برق و حرکت از ساختار انحصار طبیعی و دولتی به بخش خصوصی و تلاش در جهت اصلاح روند کنونی قیمت‌گذاری در صنعت برق و توجه به هزینه‌های اجتماعی در فرآیند قیمت‌گذاری انرژی‌الکتریکی.

باتوجه به محدودیت منابع انرژی فسیلی و آلایندگی ناشی از بکارگیری آن‌ها در کنار ضرورت تنوع بخشی به منابع انرژی، برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از منابع انرژی جایگزین و تشویق نیروگاه‌ها به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

منابع و مآخذ

پرمن، راجر؛ یوما، جیمز ومک‌گیل‌ری(۱۳۸۲)، **اقتصاد محیط‌زیست و منابع‌طبیعی**، ترجمه حمیدرضا ارباب، تهران: *نشرنی*. چاپ اول.

شرکت مادر تخصصی توانیر(۱۳۸۷)، آمار تفصیلی صنعت برق ایران.

وود، ا.،جی وب. اف وولنبرگ(۱۳۷۱)،**تولید، بهره‌برداری وکنترل در سیستم‌های قدرت**، ترجمه حسین سیفی، تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول.

Baumol, W.J., and Oates, W.E. (1988).“The Theory of Environmental Policy”.*Cambridge Univercity Press*.

Bozicevic, M., Zeljko, T. and Nenad, D. (2005). “External Cost of Electricity Generation: Case Study Croatia”. *Energy Policy*, Vol. 33, pp. 1385-1395.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]

Bui, d. (1996).“Using Damage Method to Value Environmental Externalities of PowerGenarationDifficultiesFacingDCS”.Thailand, Bangkok, Kasetsart Univercity.

Cai, J.ma, X.Li, Q.Li, L. and Peng, H. (2010). “A Multi-Objective Chaotic Ant Swarm Optimization for Environmental/Economic Dispatch”.*Electrical Power andEnergy Systems*, Vol. 32, pp. 337-344.

Koomey, J. and Florentine, K. (1997).“Introduction to Environmental Externality Costs”, *Energy Analysis Program*.

Kumar, A.I.S., Dhanushkodil, K., Kumar, J. and Paul, C.K.C. (2003).“Particle Swarm Optimization Solution to Emission and Economic Dispatch Problem”.In Proc. Conf. *on Convergent Technologies forAsia-Pacific Region*, Vol. 1, PP. 435-439.

Palanichamy,C.andBabu,N.(2008).“Analytical Solution for Combined Economic and Emissions Dispatch”. *Electr Power Syst Res*, Vol. 78, No.7, PP. 1129-1139.

Schweppe, F., Caramanis, M. and Bohn, R. (1988).“*Spot Pricing of Electricity”*.KluwerAcademic Publisher, Boston.

Scott, J.C. and Janet, M.T. (2000).“Environmental Economics and Management”.*UK, Harcourt College* Publishers.

Streimikiene, D. andPusinaite, R. (2008).External Cost of Electricity Generation in Lithuania".*Environmental Research, Engineering and Management*, Vol. 44 No. 2, PP. 34-40.

Thakury, T., Sem, K., Saini, S. and Sharma, S. (2006). “A Particle Swarm Optimization Solution to NO_2 and SO_2 Emissions for Environmentally Constrained Economic Dispatch Problem”. In Proc. *IEEE/PESTransmission & Distribution Conf. and Exposition*, PP. 1-5, 15-18.

Thurston,D.,andSrinivasan,S.(2003)."Constrained Optimization for Greenen Gineering Decision-Making". *Environmental science & technology*, vol. 37, PP 5389-5397.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1391.3.10.6.2]