فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال سوم/ شماره ۸/ پاییز ۱۳۹۶/ صفحات۶۷ -۳۳

مقایسه کارایی فنی و زیست‌کارایی در نیروگاه‌های منتخب حرارتی کشور

علی امامی میبدی
دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی
(نویسنده مسئول)
emami@atu.ac.ir

حمید آماده
استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی
amadeh@gmail.com

فیروزه امینی
دانشجوی کارشناسی ارشد پردیس تحصیلات تکمیلی دانشگاه علامه طباطبایی
firouzeh.amini@gmail.com

در این مطالعه، کارایی فنی و زیست کارایی ۱۶ نیروگاه منتخب حرارتی ایران طی سال‌های۱۳۹۴-۱۳۹۰ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و برمبنای مدل ستانده محور مورد ارزیابی قرار گرفته است. نهاده‌های این مدل، نیروی کار، ظرفیت نصب‌شده و سوخت مصرفی است و ستانده‌های آن تولید برق و انتشار CO_2 و SO_2 می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های تحت بررسی بین ۸۴/۷ و ۸۸/۴ درصد است. بررسی میانگین زیست کارایی این نیروگاه‌ها طی دوره مذکور نشان می‌دهد این کارایی بین ۸۵/۷ و ۹۰/۱ درصد بوده است. بهره‌وری با استفاده از شاخص مالم‌کوییست نشان می‌دهد مقادیر بهره‌وری زیست محیطی نیروگاه‌ها طی این ۵ سال نوسان داشته و در نهایت، افزایش یافته است.

به منظور افزایش کارایی نیروگاه‌ها، پیشنهاد می‌شود ظرفیت منصوبه هر یک از نیروگاه‌ها افزایش یابد و تجهیزات لازم برای آنها مهیا شود. همچنین ضمن توسعه نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی، از گازطبیعی به عنوان سوخت نیروگاه‌ها استفاده شود. نوسازی و بهینه‌سازی مصرف انرژی و تدوین استانداردها در نیروگاه‌ها از دیگر پیشنهادهای سیاستی این مطالعه می‌باشد.

واژه های کلیدی: نیروگاه حرارتی، کارایی فنی، زیست کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

در برنامه توسعه هر کشوری تلاش می‌شود با توجه به امکانات و منابع در دسترس، بیشترین کالاها و خدمات تولید شود. منظور از منابع،کلیه منابع انسانی، سرمایه فیزیکی و منابع طبیعی می‌باشد (لاریجانی، ۱۳۹۰). از آنجا که نیاز انسانها از میزان رفاه نامحدود و منابع و امکانات محدود هستند (ایزدی، ۱۳۸۸)، بشر همواره با مساله محدودیت و کمیابی در تمام زمینه‌ها از جمله عوامل تولید مواجه است و باید به طریقی عمل نماید تا بتواند با تخصیص بهینه منابع، حداکثر تولید را به دست آورد (الیاسی، ۱۳۹۴). یکی از مهمترین عوامل تولید در هر کشوری، منابع مختلف انرژی هستندکه عمده‌ترین آنها منابع فسیلی است. در حال حاضر، جوامع با کاهش میزان ذخایر منابع فسیلی مواجه هستند و از سوی دیگر، استفاده از این منابع تهدیدهای جدی زیست محیطی برای بشر به همراه دارد (ناصرزاده، ۱۳۸۹). موفقیت در هر صنعتی مستلزم استفاده از بهترین شیوه‌های تولید و استفاده بهینه از عوامل تولید و امکانات موجود است. بنابراین، مطمئن‌ترین مسیر جهت دست‌یابی به توسعه اقتصادی، افزایش کارایی و بهره‌وری در تمام صنایع است (رحمانی صفتی، ۱۳۸۸)، چرا که واحدهای کارا نه تنها منابع را هدر نمی‌دهند، بلکه تخصیص منابع را نیز بدرستی انجام می‌دهند (الیاسی، ۱۳۹۴). از آنجا که بهره‌وری نیز چگونگی استفاده از عوامل را در تولید محصول نشان می‌دهد، ارتقای بهره‌وری نیز به عنوان یکی از عوامل مهم در توسعه اقتصادی هر کشوری مورد توجه قرار می‌گیرد. (لاریجانی، ۱۳۹۰)

صنعت برق از جمله صنایع مهم زیربنایی، هزینه‌بر و تاثیرگذار در رشد و توسعه اقتصادی هر کشور و مبین کیفیت زندگی جوامع و ملتهاست. با توجه به فراگیری گسترده صنعت برق و وجود ارتباطات پسین و پیشین بی‌شماری که با سایر صنایع و عوامل موثر بر رشد اقتصادی دارد، هزینه تمام شده برق بر پیکره صنایع پیشین و پسین مرتبط با آن تاثیر خواهد گذاشت (رحمانی صفتی، ۱۳۸۸). این صنعت از سه بخش عمده تولید، انتقال و توزیع تشکیل شده که بخش تولید آن به دلیل سرمایه‌بر و زمان‌بر بودن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رحمانی صفتی، ۱۳۸۸). وجود ارتباط تنگاتنگ بین این صنعت و سایر بخش‌های اقتصادی، افزایش تقاضای روز افزون جامعه، هزینه‌های کلان مربوط به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

سرمایه‌گذاری اولیه برای احداث یک نیروگاه، هزینه‌های بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری و تامین قطعات یدکی و حتی آلودگی‌های ناشی از مصرف سوخت برای تولید برق، تماما سبب می‌شوند که استفاده بهینه از نیروگاه‌های موجود و رسیدن به بالاترین سطح کارایی و بهره‌وری از اهمیت خاصی برخوردار گردد. این صنعت بشدت متکی بر سوخت‌های فسیلی می‌باشد و به همین دلیل، موضوعات زیست محیطی از جمله چالش‌های پیش‌رو این صنعت است. با توجه به مباحث توسعه پایدار و نگرانی‌های ناشی از آلودگی‌های زیست محیطی، موضوع بهره‌وری سبز نیز در دو دهه اخیر بشدت مورد توجه قرار گرفته است، چرا که ممکن است بنگاهی به لحاظ فنی کارا باشد، اما از لحاظ زیست‌محیطی ناکارا عمل نماید.

ضرورت دست‌یابی به بهره‌وری و کارایی بالا در صنعت برق کشور (لاریجانی، ۱۳۹۰) با توجه به محدودیت منابع، افزایش روز افزون تقاضای برق (ایزدی، ۱۳۸۸)، وابستگی شدید سایر صنایع به این صنعت و مسایل زیست محیطی امری حیاتی است. بهترین و ساده‌ترین راه ممکن برای افزایش تولید که می‌تواند به طور مستمر شرایط موجود را بهبود بخشد، استفاده بهینه از منابع و ارتقای کارایی و بهره‌وری در سیستم‌های موجود تولید برق است (ایزدی، ۱۳۸۸). توجه به این موضوع در بخش برق سبب می‌شود نه تنها ارزش افزوده این بخش، بلکه ارزش افزوده سایر واحدهای تولیدی و خدماتی فعال در کشور نیز که به طور مستقیم و غیر مستقیم وابسته به فعالیت‌های این بخش هستند، افزایش یابد (لاریجانی، ۱۳۹۰). برای سنجش میزان موفقیت سازمانها در بکارگیری از منابع و مقایسه عملکرد آنها با یکدیگر باید کارایی فنی و بهره‌وری را اندازه‌گیری و سپس سازمان‌های ناکارا را شناسایی کرد و به بررسی نقاط قوت و ضعف آنها پرداخت. همچنین با توجه به مسایل زیست محیطی، نیروگاه‌های کارا از نظر زیست محیطی و بهره‌وری سبز را بررسی نمود. این روش می‌تواند به مدیران سازمانها در اتخاذ تصمیمات صحیح و اصلاح الگوی مصرف منابع کمک کرده و ضمن افزایش تولید، از افزایش هزینه‌ها جلوگیری نماید (رحمانی صفتی، ۱۳۸۸) و بستری مناسب برای برنامه‌ریزی و دست‌یابی به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اهداف سازمان جهت حضور قدرتمندتر در بازار، توسعه فعالیت‌ها و رشد تولیدات (لاریجانی، ۱۳۹۰)، افزایش ظرفیت صادرات و تامین نیروی انسانی فراهم سازد.

هدف اصلی این تحقیق با توجه به نقش اساسی نیروگاه‌های حرارتی در تامین برق کشور، بررسی کارایی و بهره‌وری زیست محیطی و فنی در این نوع نیروگاه ها می‌باشد. در این مطالعه از روش عملی ناپارامتریک و روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. این روش تحلیل، زمانی کاربرد دارد که بنگاه‌ها برای تولید ستانده خود به بیش از دو عامل تولید نیاز داشته باشند. به عبارتی، یکی از اهداف این تحقیق، بررسی امکان افزایش تولید برق و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی است.

تحقیق حاضر از شش بخش تشکیل شده است: در بخش اول ضمن ارایه مقدمه، ضرورت و هدف بررسی بیان می‌شود؛ در بخش دوم، پیشینه تحقیق و در بخش سوم، مبانی نظری مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بخش چهارم به روش‌شناسی تحقیق و معرفی متغیرها اختصاص دارد؛ در بخش پنجم، با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها، کارایی فنی و زیست کارایی و بهره‌وری در نیروگاه‌های منتخب حرارتی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در بخش ششم، جمع بندی ارایه می‌گردد.

۲.پیشینه تحقیق

امامی میبدی، افقه و رحمانی‌صفتی (۱۳۸۸) در مقاله‌ای تحت عنوان اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی، با استفاده از روش DEA و شاخص مالم کوییست و لحاظ کردن دیدگاه نهاده محور به اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در ۲۶ نیروگاه حرارتی طی دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۱ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهدکه متوسط مقادیرکارایی فنی نیروگاه های تحت فرض بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس در سال ۱۳۸۶ به ترتیب ۷۶/۴ و ۹۲/۸ درصد بوده است. همچنین متوسط رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌ها ۱/۵ درصد طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۱ بوده که نشان از رشد ناچیز بهره‌وری طی این دوره دارد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اوروزکو[1] ، ویسنته[2] ، گنزالس[3] و آلبرتو[4] (۲۰۱۳) مقاله‌ای با عنوان تجزیه وتحلیل بهره‌وری در نیروگاه‌های متصل به شبکه: یک مطالعه جدید از اقتصاد زیستی در نیکاراگوئه، منتشر کردند. در این مطالعه، از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و شاخص مالم‌کوییست استفاده شده و سه حالت در نظر گرفته شده است: در حالت اول، بهره‌وری کل عواملی که از زیست‌توده برای تولید برق استفاده نموده‌اند، مورد بررسی قرار گرفت؛ در حالت دوم، ارزیابی بهره‌وری برای نیروگاه‌هایی که از فرآورده‌های نفتی استفاده نمودند، در نظر گرفته شد و در حالت سوم، بهره‌وری نیروگاه‌هایی که برای تولید برق خود به طور توأمان از انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر استفاده کردند، مورد قیاس قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد در حالت‌های اول و دوم، نیروگاه های حرارتی دارای میزان بالاتری از بهره‌وری کل عوامل بودندکه تغییراتی در کارایی فنی ناشی از آموزش نیروی انسانی متخصص شاغل در این نیروگاه‌ها داشتند. در حالت سوم، این نتیجه به دست آمد که استفاده از منابع انرژی زیست توده برای تامین رشد سالانه تقاضای برق می‌تواند بهره‌وری را بهبود بخشد.

بهلولی و استادزاد (۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت عنوان برآورد کارایی نیروگاه‌های حرارتی: رویکرد دو مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها، به سنجش کارایی نیروگاه‌ها در ۱۷ استان ایران برای سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به ترتیب نیروگاه‌های برق در سمنان و کیش و همچنین در سمنان، کیش و کرمان نسبت به سایر نیروگاه‌ها کارآمدتر بوده‌اند و نیروگاه‌ها در استان‌های سیستان و بلوچستان، زنجان و آذربایجان شرقی کمترین سطح کارایی را در سال‌های مورد بررسی داشته‌اند.

پورکاظمی و حیدری (۱۳۸۱) در مقاله خود با عنوان استفاده از تحلیل فراگیر داده‌ها در ارزیابی نیروگاه های حرارتی تولید برق کشور، ۳۷ نیروگاه حرارتی کشور را مورد ارزیابی قرار داده‌اند.

1.Blanco Orozco
2.Napoleón Vicente
3.Zúniga González
4.Carlos Alberto

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نتایج حاصل از این مطالعه تحت دو سناریوی بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس بررسی شد و متوسط کارایی تحت فرض بازده ثابت به مقیاس ۶۴ درصد و تحت فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس ۷۸ درصد به دست آمد. این بدان معناست که با حفظ ظرفیت فعلی نیروگاه‌ها، برق تولیدی در حالت‌های اول و دوم به ترتیب ۳۶ و ۲۲ درصد قابل افزایش است. از طرف دیگر، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از نظر کارایی معمولا رتبه‌های بالا و نیروگاه‌های گازی رتبه‌های پایین را کسب کردند.

جواهری و خامنه (۱۳۸۸) در مقاله‌ای تحت عنوان ارزیابی عملکرد نیروگاه های حرارتی ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، به ارزیابی ۴۱ نیروگاه کشور در سال ۱۳۸۲ پرداخته‌اند. در این مقاله، متغیرهای ورودی شامل سنوات کارکرد، سوخت مصرفی نیروگاه‌ها، میزان مصرف داخلی برق و ضریب خروج اضطراری اصلاح شده (خروجی نامطلوب) و متغیرهای خروجی مطلوب نیز میزان تولید سالانه برق، ضریب بار تولید و ضریب ظرفیت می‌باشند و کارایی با دو شرط بازدهی ثابت به مقیاس و بازدهی متغیر به مقیاس محاسبه شده است. با تحلیل عملکرد نیروگاه های کشور در سال ۱۳۸۲ با شرط بازده متغیر به مقیاس کارایی کل، متوسط کارایی مدیریت نیروگاه برابر ۹۲/۵ درصد است.

چن[1]، یه[2] و لی[3] (۲۰۱۳) در مقاله‌ای با عنوان مقایسه کارایی نیروگاه های ۷۳ کشور جهان، وضعیت نیروگاه‌های این کشورها را با استفاده از روش DEA طی سال های ۲۰۰۸-۲۰۰۶ بررسی کردند. بررسی‌ها نشان داد در بین کشورهای منطقه اروپا، آسیا و آمریکا، نیروگاه‌های آسیا دارای بالاترین کارایی فنی و نیروگاه های کشورهای اروپایی دارای پایین‌ترین کارایی فنی هستند. علاوه بر این، مقایسه بین مدل‌های با انتشار دی اکسید کربن و بدون انتشار دی اکسید کربن نشان داد تفاوت معناداری بین کارایی فنی و کارایی فنی خالص وجود دارد.

1.Tser-Yieth Chen
2.Tsai- Lien Yeh
3.Yi-Ting Lee

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

سانگ[1]، لی[2]، هه[3] و تائو[4] (۲۰۱۵) در مقاله‌ای تحت عنوان مطالعه کارایی انرژی و زیست کارایی نیروگاه‌های زغال‌سوز: روش ناپارامتریک، با استفاده از روش DEA به بررسی ۱۲۵ واحد نیروگاهی زغال‌سوز که تنها برق (و نه حرارت) تولید می‌کردند، پرداخته‌اند. مهمترین نتایج این بررسی نشان می‌دهد: در ۷۵ درصد از کل واحدهای نیروگاهی، کارایی مقیاس برابر ۱ بوده که این نشان می‌دهد کارایی مقیاس تاثیری بر کارایی انرژی اکثر واحدهای نیروگاهی ندارد؛ به طور متوسط اگر تمام ۱۲۵ واحد نیروگاهی از لحاظ زیست‌کارایی کارا عمل نمایند، می‌توان $۱/۷۱ \times ۱۰^{۷}$ کیلووات‌ساعت در مصرف برق، ۲۳۶/۵۷ تن در انتشار $SO_۲$ و ۳۸۲/۷۴ تن در انتشار NOx صرفه‌جویی نمود؛ انتشار $SO_۲$ تاثیر بیشتری برکارایی زیست محیطی دارد؛ واحد نیروگاهی ۱۰۶ بیشترین اختلاف بین کارایی انرژی و کارایی زیست محیطی دارد و با مقایسه تاثیر عوامل مالکیت در این دو نوع کارایی می‌توان دریافت که شرکت چینی گوادیان [5] بالاترین کارایی انرژی و کارایی زیست محیطی را داشته است.

عسکری و حبیبی‌محلی (۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی عملکرد و مقایسه کارایی نیروگاه های برق با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی و بهره‌وری ۱۰ نیروگاه را با توجه به مدل‌های BCC و CCR و دیدگاه ستانده محور ارزیابی نمودند. ظرفیت نصب شده نیروگاه، مقدار برق مصرفی و مقدار گرمای سوخت مصرف شده، ورودی‌های این مدل و تولید برق خالص، خروجی آن می‌باشد. نتایج بررسی نشان می‌دهدکارایی نیروگاه‌ها در سطح قابل قبول یعنی بین ۰/۷۵۷ تا ۱ قرار داشته و میانگین کارایی نیروگاه های سیکل‌ترکیبی از دیگر نیروگاه ها بیشتر و به عبارتی، کاراتر بوده‌اند. همچنین مشخص شدکاهش مصرف برق مهمترین عامل بهبود عملکرد واحدهای ناکارا می‌باشد.

1.Chenxi Song
2.Mingjia Lia
3.Yaling Ha
4.Wenquan Tao
5.Guodian

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

لیو[1]، یونگ[2] و هه[3](۲۰۱۷) در مقاله ای تحت عنوان کارایی انرژی کل عوامل نیروگاه‌های حرارتی برق با استفاده از روش DEA، مالم‌کوییست و تکنیک‌های رگرسیون چندگانه، به بررسی کارایی نیروگاه‌های حرارتی کشور چین برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۵ پرداخته‌اند. عوامل موثر بر کارایی در این بررسی از دیدگاه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد شاخص کارایی انرژی کل عوامل عمدتا متاثر از دو شاخص کارایی فنی و شاخص کارایی محض است. همچنین نتیجه حاصل از مدل رگرسیون روش پانل دیتا نشان داد با کاهش مصرف زغال‌سنگ می‌توان کارایی انرژی را افزایش داد. در نهایت، با توجه به نتایج، برای بهبود کارایی انرژی نیروگاه‌های حرارتی این کشور پیشنهادهایی از جمله توسعه تحقیقات و فناوری، کاهش انتشار آلاینده‌ها، توزیع عقلایی سرمایه و نیروی کار و افزایش نظارت دولت مطرح گردید.

میراحمدی و ملکی (۱۳۹۵) در مقاله خود با عنوان ارزیابی عملکرد تولید و فروش نیروگاه‌های آبی کشور توسط تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها،کارایی ۱۰ نیروگاه آبی ایران را با دیدگاه نهاده محور و با فرض بازده به مقیاس ثابت برای دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این مدل، ضریب ظرفیت مورد استفاده، حجم آب پشت سد و هزینه‌های عملیاتی به عنوان متغیرهای ورودی و تولید خالص و قیمت فروش به عنوان متغیرهای خروجی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد از ۱۰ نیروگاه مورد بررسی، ۵ نیروگاه مسجد سلیمان، زاینده رود، کارون ۴، امیرکبیر و سیمره کارا بودند و ۵ نیروگاه دز، کارون ۳، گتوند، کرخه و سفیدرود غیرکارا بودند.

تفاوت این مطالعه با بررسی‌های گذشته در آن است که اولا، در این مطالعه، کارایی فنی، زیست کارایی و بهره‌وری، هر سه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و ثانیا، رتبه‌بندی واحدهای کارا نیز صورت گرفته است. همچنین این بررسی بر اساس آخرین داده‌ها و برای دوره زمانی برنامه پنجم توسعه

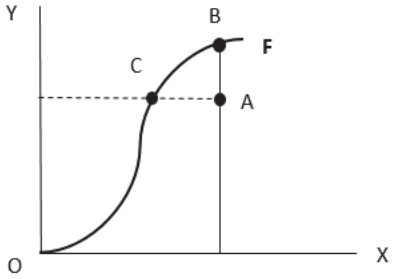
1. Jin-Peng Liu
2. Qian-Ru Yang
3. Lin He

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

(۱۳۹۴-۱۳۹۰) صورت گرفته که در واقع، آخرین ارزیابی از عملکرد نیروگاه‌های حرارتی منتخب در کشور است.

۳. مبانی نظری [۱]

کارایی: براساس تعریف فارل، به میزان دسترسی یک واحد اقتصادی به حداکثر میزان تولید از ترکیب‌های مختلف نهاده‌ها، کارایی گفته می‌شود. به عبارتی، کارایی از نسبت میزان تولید جاری هر واحد به میزان توان بالقوه تولید آن واحد به دست می‌آید و مفهوم آن تلف نکردن منابع است. یک فرآیند ساده با یک عامل تولید (X) و یک محصول تولیدی (Y) در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱. تابع تولید مرزی و کارایی فنی

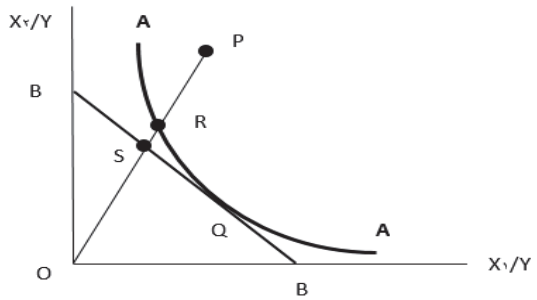
OF تابع تولید (مرزی) ارتباط بین محصول و عامل تولید را نشان می‌دهد و بیانگر حداکثر تولید قابل‌حصول از عامل تولید در حالات مختلف است، بنابراین، نشاندهنده وضعیت فناوری موجود در آن صنعت نیز می‌باشد. بنگاه‌هایی که بر روی این تابع تولید مرزی قرار دارند، کارا هستند و از نهاده‌های موجود بیشترین محصول را تولید کرده‌اند و بنگاه‌هایی که زیر این تابع قرار دارند، با عدم کارایی مواجه هستند.

۱. برای مطالعه بیشتر مراجعه شود به امامی میبدی، علی (۱۳۷۹)، *اصول اندازه گیری کارایی و بهره‌وری(علمی و کاربردی)* و امامی میبدی، علی (۱۳۹۰)، *کارایی و بهره‌وری از دیدگاه اقتصادی*.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

انواع کارایی: فارل پیشنهاد نمود که بهتر است عملکرد یک بنگاه با عملکرد بهترین بنگاه‌های موجود در آن صنعت مورد مقایسه قرار گیرد. در این روش، به مفاهیم تابع تولید مرزی به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری کارایی توجه می‌شود.

کارایی فنی: بنا به تعریف فارل، در واقع، توانایی واحد تصمیم‌گیرنده در به دست آوردن حداکثر ستانده با استفاده از نهاده مشخص را منعکس می‌کند. در این مفهوم، به قیمت نهاده‌ها و بهترین ترکیب نهاده‌ها توجه نمی‌شود، بلکه هدف این است که با نهاده‌های داده شده حداکثر تا چه اندازه می‌توان تولید کرد یا بنگاه با این میزان نهاده تا چه میزان با حداکثر تولید فاصله دارد یا میزان مازاد / کمبود نهاده برای تولید ستانده معین مورد نیاز چه اندازه است. بنگاهی دارای کارایی فنی بالاتر است که بتواند با مجموعه نهاده‌های مفروض، میزان محصول بیشتری را نسبت به سایر بنگاه‌ها تولید نماید. فارل برای مثال بنگاه‌هایی را که تنها از دو عامل تولید X_1 و X_2 برای تولید یک محصول Y استفاده می‌کنند، در نظر می‌گیرد. منحنی هم مقداری تولید بنگاه‌های کاملا کارا به وسیله منحنی AA با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس تولید در شکل زیر نشان داده شده است. این منحنی ترکیبات مختلفی از عوامل تولید که سطح مشخصی از محصول را عرضه می‌نمایند، نشان می‌دهد.



شکل ۲. توصیف انواع کارایی به روش فارل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اگر نقطه P نمایانگر یکی از بنگاه‌ها باشد، کارایی فنی این بنگاه به صورت OR / OP تعریف می‌شود. یک تولید کننده به لحاظ فنی کاملا کاراست اگر تولید او بر روی مجموعه هم مقداری تولید AA انجام شود (یعنی OP = OR). اگر تولید بنگاه در سمت راست منحنی AA انجام پذیرد، این بنگاه ناکارا خواهد بود. هرچه فاصله بین OP و OR افزایش یابد، کارایی فنی به سمت صفر میل می‌نماید.

کارایی تخصیصی (کارایی قیمت): این کارایی نشاندهنده توانایی بنگاه برای استفاده از ترکیب بهینه عوامل تولید با توجه به قیمت آنها می‌باشد تا از این طریق، هزینه تولید حداقل و سود بنگاه حداکثر گردد. به عبارتی، یک بنگاه کارا از نظر فنی می‌تواند ترکیبات مختلفی از عوامل تولید را برای سطح معینی از تولید داشته باشد که همگی دارای کارایی فنی یکسان هستند، اما هزینه تولید آنها به دلیل تفاوت‌ها در عوامل تولیدی متفاوت است. فارل با در نظر گرفتن قیمت عوامل تولید به وسیله خط هزینه یکسان (BB)، کارایی تخصیصی بنگاهی را که در P تولید می‌کند به صورت فرمول (۱) تعریف می‌نماید:

کارایی تخصیصی = OS / OR (۱)

کارایی اقتصادی(کارایی هزینه): با توجه به فرمول (۲) ، به بنگاهی کارا اطلاق می‌شود که هم کارایی فنی و هم کارایی تخصیصی داشته باشد. به بیان دیگر، کارایی اقتصادی عبارت است از تخصیص بهینه منابع توأم با حداکثر کردن میزان ستانده به ازای ترکیبات مختلف نهاده‌ها.

کارایی اقتصادی=کارایی فنی×کارایی تخصیصی = OR/OP × OS/OR = OS/OP = OR/OP (۲)

زیست کارایی (کارایی اکولوژی): به معنای تولید خدمات و کالای بیشتر با استفاده از منابع کمتر و ایجاد ضایعات و آلودگی کمتر است. در واقع، هدف این کارایی، افزایش ارزش تولیدات و خدمات، استفاده بهینه از منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌باشد. در این تعریف، اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی، یک ستاده نامطلوب محسوب می‌شوند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اندازه‌گیری کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA): این روش مبتنی بر اقدامات بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که به آن روش ناپارامتریک نیز گفته می‌شود. روش پیشنهادی فارل برای اندازه‌گیری کارایی بنگاه‌ها به دلیل وجود فروض محدود کننده، کاربرد عملی چندانی نیافت تا اینکه چارنز، کوپر و رودرز (CCR) [1] مدلی را تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها در سال ۱۹۷۸ ارایه نمودند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چند نهاده و چند ستانده را داشت. در این روش می‌توان با توجه به نهاده‌های مشخص، ستانده‌ها را حداکثر نمود یا با استفاده از دوگان آن، می‌توان با توجه به ستانده معین، نهاده‌ها را حداقل کرد. در این مدل، امکان استفاده از نهاده‌ها و ستانده‌های موردنیاز با مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت وجود دارد. همچنین به پیش فرض خاصی در مورد شکل تابع تولید یکسان نیاز نمی‌باشد. با استفاده از این مدل می‌توان ضمن محاسبه کارایی، برای بنگاه‌های ناکارا بنگاه مرجع نیز معرفی نمود. همچنین مشخص نمودکه واحدهای تصمیم‌ساز در کجای مرز کارایی قرار دارند و برای رسیدن به مرز کارا باید چه ترکیبی از نهاده‌ها و ستانده‌ها را انتخاب نمایند. این امر تنها به وسیله مشخص کردن ضرایب نهاده‌ها و ستانده‌ها برای هر واحد میسر می‌گردد. در سال ۱۹۸۴ بانکر، چارنز و کوپر (BCC) [2] با در نظر گرفتن فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس، اندازه‌گیری کارایی به این روش را بسط دادند. بنابراین، مدل تحلیل پوششی داده‌ها با دو فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) و بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS) مورد توجه قرار گرفت.

1. Charnes, Cooper and Rhodes
2. Banker, Charnes and Cooper

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

روش تحلیل پوششی داده‌ها با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس (CRS): این روش، حالت چند محصولی و چند عامل تولیدی را به حالت ساده یک عاملی و یک محصولی تبدیل می‌نماید. اگر اطلاعات در مورد K عامل تولید و M محصول برای هر کدام از N بنگاه وجود داشته باشد، فرآیند محاسبه به صورت فرمول (۳) خواهد بود:

$$\text{Max} \quad \frac{u' y}{v' x_i} = \frac{\text{مجموع وزنی محصولات}}{\text{مجموع وزنی عوامل تولید}} \qquad (۳)$$

$$\text{St:} \quad \frac{u' y_j}{v' x_j} \le ۱ \qquad j = ۱, \ldots, N$$

$$u \ge ۰ \quad , \quad v \ge ۰$$

U یک بردار M×1 شامل وزن‌های محصولات و V یک بردار K×1 شامل وزن‌های عوامل تولید و V′ و U′ ترانسپوزه V و U می‌باشد. ماتریس X یک ماتریس K×N از عوامل تولید و ماتریس Y یک ماتریس M×N از محصولات است. این دو ماتریس نشاندهنده کلیه اطلاعات مربوط به N بنگاه (DMU) خواهد بود. در رابطه فوق، هدف به دست آوردن مقادیر بهینه برای V و U به گونه‌ای است که نسبت کل مجموع وزنی محصولات به مجموع وزنی عوامل تولید (میزان کارایی هر بنگاه) حداکثر گردد مشروط بر اینکه اندازه کارایی هر بنگاه بایستی کوچکتر و یا مساوی واحد باشد. رابطه کسری بالا، تعداد بی‌شماری راه حل بهینه دارد. همچنین این مدل غیرخطی و غیرمحدب است. این مشکل با تبدیل مدل به یک مدل برنامه‌ریزی خطی رفع می‌گردد. از آنجا که مدل تبدیل به مدل خطی شده است، به جای U و V علایم μ و u به کار برده می‌شود. مدل ریاضی این روش پس از آنکه مدل به مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل می‌شود، به صورت مدل ریاضی (۴) محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} &\text{Max} \quad \mu' y_i \\ &\text{St:} \quad u' x_i = ۱ \\ &\qquad \mu' y_i - X_i \le ۰ \qquad j = ۱, ۲, \ldots, N \end{aligned} \qquad (۴)$$

$$\mu \ge ۰ \quad , \quad u \ge ۰$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

μ بردار وزن‌های محصولات و u بردار وزن‌های عوامل تولید پس از تبدیل خطی می‌باشند. μ' و u' ترانسپوزه μ و u است. ماتریس X ماتریس از عوامل تولید و ماتریس Y ماتریس از محصولات است. در استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای حل مساله دوگان، نیاز به قیود کمتری می‌باشد و به همین دلیل، شکل دوگان زیر برای حل مساله ارجح است.

روش تحلیل پوششی داده‌ها با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس (VRS): بانکر، چارنر و کوپر (BCC, 1984) مدل CCR را به گونه‌ای بسط دادند که بازده متغیر نسبت به مقیاس را در برگیرد. اگر تمام بنگاه‌ها در مقیاس بهینه فعالیت ننمایند، استفاده از فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس مقادیر محاسبه‌شده کارایی فنی (با در برداشتن کارایی مقیاس) و تحلیل را دچار اختلال خواهد کرد. استفاده از بازده متغیر نسبت به مقیاس موجب محاسبه و تحلیل دقیق‌تری از کارایی می‌گردد. در صورت استفاده از مساله دوگان در برنامه‌ریزی خطی با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس و افزودن قید تحدب $NI'\lambda=1$، با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس می توان محاسبات زیر را (۵) انجام داد.

$$\begin{aligned} &\text{Min } \theta \\ &\text{St:} \quad -y_i+Y\lambda \geq 0 \\ &\qquad \theta\, x_i-X\lambda \geq 0 \\ &\qquad NI'\lambda=1 \\ &\qquad \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{۵}$$

برای درک اینکه بنگاه در ناحیه بازده صعودی یا نزولی مقیاس فعالیت می‌کند، باید قید بازده غیرصعودی نسبت به مقیاس ($NI'\lambda\leq 1$) را در نظر گرفت. (مدل ریاضی ۶)

$$\begin{aligned} &\text{Min} \quad \theta \\ &\text{St:} \quad -y_i+Y\lambda \geq 0 \\ &\qquad \theta x_i-X\lambda \geq 0 \\ &\qquad NI'\lambda \leq 1 \\ &\qquad \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{۶}$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بهره‌وری: به مفهوم مقایسه کارایی یک بنگاه طی دو زمان متفاوت و یا مقایسه کارایی دو بنگاه نسبت به یکدیگر در یک زمان می باشد. به عبارت دیگر، بهره‌وری مقایسه کارایی است. به طور کلی، بهره‌وری بیان کننده ارتباط میان مقدار کالاها و خدمات تولید شده و مقدار منابع مصرف شده در جریان تولید این کالاها و خدمات می‌باشد که این روابط کمی و قابل اندازه‌گیری است. (امامی)

روش‌های اندازه‌گیری بهره‌وری: برای این مهم شاخصی به نام مالم کوییست (تابع مسافت) وجود داردکه نیازی به آمار قیمت ندارد. این شاخص، بهره‌وری کل را به دو جزو عمده آن یعنی تغییرات فناورانه و تغییرات کارایی تفکیک می‌نماید که هر یک از نظر تحلیلی و سیاستگذاری اقدامات متفاوتی را می‌طلبند. کارایی مدیریتی به معنای سخت‌کوشی، تلاش و حسن تدبیر مدیریت و تلاش کارکنان و ترکیب صحیح عوامل تولید است. صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس نیز به این معناست که اگر در یک صنعت هزینه متوسط تولید برای تولیدکنندگان با مقیاس بزرگ کمتر از هزینه متوسط تولید برای تولیدکنندگان با مقیاس کوچک باشد، در آن صنعت صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس تولید وجود دارد. کارایی فنی نیز به این معناست که تکنیک برتر و تحولات فناورانه، مقدار سرمایه، انرژی و یا نیروی کاری لازم را برای تولید همان واحد محصول کاهش داده و در نتیجه، باعث افزایش بهره‌وری می گردد. شاخص مالم کوییست طبق فرمول (۷) برای دو دوره زمانی t و t+1، بردار عامل تولید x^t و x^{t+1} و محصولات q^t و $qt+1$ و ۴ تابع مسافت : $D^t{}_i(q^t, X^t)$، $D^{t+1}{}_i(q^{t+1}, X^{t+1})$ $D^t{}_i(q^{t+1}, X^{t+1})$ و $D^{t+1}{}_i$ (qt , Xt) بیان می گردد. در این معادله، کسر خارج از براکت، تغییرات کارایی و قسمت داخل براکت نیز تغییرات فناورانه را اندازه‌گیری می‌نماید.

$$M_i^{t+1}(q^{t+1}, X^{t+1}, q^t, X^t) = \frac{D^t{}_i(q^{t+1}, X^{t+1})}{D^t{}_i(q^t, X^t)} \left[\frac{D^t{}_i(q^{t+1}, X^{t+1})}{D^{t+1}{}_i(q^{t+1}, X^{t+1})} \times \frac{D^t{}_i(q^t, X^t)}{D^{t+1}{}_i(q^t, X^t)} \right]^{1/2} \quad (۷)$$

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اگر اندازه شاخص بهره‌وری و اجزای آن بر مبنای حداقل سازی عوامل تولید، کوچکتر از یک باشد، دلالت بر بهبود بهره‌وری و اگر بزرگتر از یک باشد، به کاهش بهره‌وری طی دو دوره زمانی اشاره دارد و برعکس، اگر بر مبنای حداکثرسازی محصول باشد، مقدار شاخص بزرگتر از واحد نشان از بهبود عملکرد بنگاه دارد.

۴. معرفی روش و متغیرهای تحقیق

از آنجا که هدف این تحقیق، مقایسه کارایی و بهره‌وری زیست محیطی و فنی در نیروگاه‌های منتخب حرارتی کشور است، جامعه آماری نیروگاه‌های حرارتی کشور می‌باشد. البته در این راستا، محدویت‌هایی مطرح است از جمله آنکه گاه برخی از فعالیت های چند نیروگاه در یک شرکت مدیریت تولید انجام می‌شود، یعنی یک شرکت مدیریت تولید عملیاتی نظیر تعمیر و نگهداری و ... چند نیروگاه را به عهده دارد، لذا تفکیک آمار شرکت های مدیریت تولید به تفکیک نیروگاه‌ها امکان‌پذیر نبود. بنابراین، محدودیت‌هایی در دسترسی به آمار نیروی کار کلیه نیروگاه های حرارتی کشور، باعث محدود شدن جامعه آماری گردید. همچنین تعدادی از نیروگاه‌ها به صورت ترکیبی به تولید برق می‌پردازند، یعنی دارای واحد گازی و بخاری و یا واحدهای بخاری و سیکل ترکیبی تؤامان بوده‌اند که در مورد این نیروگاه‌ها از آنجا که نیروی کار به طور همزمان در هر دو واحد فعالیت می کنند و امکان تفکیک شاغلین هر واحد مقدور نبود، از بررسی این‌گونه نیروگاه‌ها نیز چشم‌پوشی گردید. با توجه به محدودیت‌های آماری و نبود برخی از داده‌های مورد نیاز این بررسی، تنها امکان بررسی ۱۶ نیروگاه حرارتی به صورت قطعی وجود داشت. بنابراین، جامعه آماری قابل‌بررسی در این مطالعه شامل نیروگاه‌های شهید محمد منتظری، شهید محمد مفتح، شازند، ری، بعثت، دماوند، شهید فیروزی (طرشت)، پرند، قم، توس، نیشابور (خیام)، بیستون، زرند، چرخه ترکیبی کرمان، چرخه ترکیبی گیلان و خلیج فارس (هرمزگان) می‌باشد. این مطالعه برای دوره زمانی برنامه پنجم توسعه (۱۳۹۰-۱۳۹۴) صورت می گیرد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

برای اندازه‌گیری کارایی، دو روش پارامتریک و ناپارامتریک وجود دارد: روش‌های پارامتریک (SFA) [1] به دنبال تخمین یک تابع بر اساس نهاده‌ها و ستانده‌های مشخص و تعیین شده است (امامی میبدی، ۱۳۷۹). روش‌های ناپارامتریک عموما عملکرد یک بنگاه را با بهترین عملکرد بالفعل بنگاه‌های داخل آن صنعت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی ارزیابی می‌نماید. در این روش، دو رویکرد نهاده محور و ستانده محور وجود دارد، یکی بر اساس حداقل‌سازی نهاده‌ها و عوامل تولید و دیگری بر مبنای حداکثر سازی محصول (ستانده) است. روش تحلیل پوششی داده‌ها زمانی کاربرد دارد که بنگاه‌ها برای تولید ستانده خود به بیش از دو عامل تولید نیاز داشته باشند. در این مطالعه، بعد از انجام اقدامات بهینه‌سازی و با استفاده از نرم افزار win4deap2، واحدهای کارا و غیرکارا مشخص می‌شوند. سپس یک گروه معنادار به نام الگو یا مجموعه مرجع برای هر یک از مشاهدات غیرکارا را به منظور الگوبرداری در افزایش کارایی، مشخص و ارایه می‌نماید. از آنجا که واحدهای کارا دارای امتیاز "یک" هستند و با استفاده از مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها قابل رتبه‌بندی نیستند، برای رتبه‌بندی واحدهای کارا با استفاده از نرم افزار PIM-DEA و از روش اندرسون – پترسون استفاده می‌شود. علاوه بر اندازه‌گیری کارایی، در این روش با استفاده از شاخص مالم‌کوییست می‌توان بهره‌وری را محاسبه کرد. در این بررسی، تابع تولید نیروگاه ها مشخص نیست، اطلاعات قیمتی در دسترس نمی‌باشد و نیروگاه‌ها برای تولید برق به بیش از یک نهاده نیاز دارند. بنابراین، در این مطالعه با بهره‌گیری از مدل ستانده‌محور روش ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، به بررسی وضعیت هر یک از نیروگاه‌های منتخب حرارتی پرداخته می‌شود.

متغیر نهاده‌های این بررسی شامل متغیرهای نیروی کار، ظرفیت نصب شده و سوخت مصرفی هستند. نهاده سوخت شامل نفت گاز، نفت کوره و گازطبیعی می‌باشد که در این بررسی، همگی بر حسب یک واحد یکسان (میلیون بشکه معادل نفت خام) ارایه شده است. نیروی کار بر حسب تعداد کارکنان شاغل در

1. Statistic Frontier Analysis

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نیروگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. ظرفیت نصب شده نیروگاه (نهاده سرمایه) برحسب مگاوات نشان داده شده است. ستانده برق تولید شده بر حسب مگاوات ساعت به عنوان کالای مطلوب حاصل از نیروگاه وارد مدل می شود. در خصوص ستانده‌های نامطلوب برای اندازه‌گیری زیست کارایی، دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد به عنوان ستانده نامطلوب بر حسب تن وارد مدل گردیدند. ورودی‌ها و خروجی‌های مدل مورد بررسی در جداول (۱) تا (۳) نشان داده شده است.

جدول ۱. میزان نیروی کار و ظرفیت اسمی نیروگاه‌های حرارتی منتخب کشور

نام نیروگاه	**نیروی کار** (نفر) – **ورودی**					**ظرفیت اسمی** (مگاوات) – **ورودی**				
	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
شهیدفیروزی(طرشت)	۱۲۱	۱۲۱	۱۱۷	۱۱۵	۱۱۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
بعثت	۲۱۸	۱۹۹	۱۷۷	۱۶۴	۱۵۲	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸	۲۴۸
زرند	۱۰۰	۸۰	۶۸	۶۵	۵۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
شهید محمدمنتظری	۶۰۷	۵۵۱	۶۲۸	۶۰۲	۵۹۷	۱۶۰۸	۱۶۱۶	۱۶۱۶	۱۶۱۶	۱۶۱۶
توس	۴۳۱	۳۲۸	۲۸۹	۲۸۷	۲۶۲	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
بیستون	۳۰۳	۳۰۲	۲۹۸	۳۰۰	۱۹۰	۶۴۰	۶۴۰	۶۴۰	۶۴۰	۶۴۰
شهیدمفتح همدان	۳۷۱	۳۶۶	۳۲۲	۲۲۷	۱۷۳	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
شازند	۲۶۰	۲۷۷	۳۱۱	۳۲۱	۳۳۲	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰	۱۳۰۰
ری	۲۰۳	۱۶۹	۱۷۷	۱۷۶	۱۴۵	۹۷۹	۹۷۹	۹۳۲	۹۳۲	۹۳۲
خلیج فارس(هرمزگان)	۴۶	۵۱	۵۱	۸۶	۸۷	۹۹۰	۹۹۰	۹۹۰	۹۹۰	۹۹۰
پرند	۶۷	۶۶	۸۴	۸۳	۱۵۳	۹۵۴	۹۵۴	۹۵۴	۹۵۴	۹۵۴
چرخه ترکیبی گیلان	۲۵۱	۲۵۳	۲۵۲	۲۴۸	۲۴۱	۱۳۰۶	۱۳۰۶	۱۳۰۶	۱۳۰۶	۱۳۰۶
چرخه ترکیبی قم	۱۶۶	۱۶۰	۱۷۰	۱۶۳	۱۴۶	۷۱۴	۷۱۴	۷۱۴	۷۱۴	۷۱۴
چرخه ترکیبی‌نیشابور	۱۸۳	۱۶۵	۱۶۳	۱۶۷	۱۶۳	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰
چرخه ترکیبی کرمان	۲۲۳	۲۳۴	۲۳۷	۲۴۸	۲۶۸	۱۹۱۲	۱۹۱۲	۱۹۱۲	۱۹۱۲	۱۹۱۲
چرخه ترکیبی دماوند	۲۹۲	۲۸۵	۲۹۰	۲۸۴	۲۸۳	۲۵۴۸	۲۸۶۸	۲۸۶۸	۲۸۶۸	۲۸۶۸

مأخذ: "آمار تفصیلی صنعت برق ایران (تولید)، (۱۳۸۴ الی ۱۳۹۴)"، شرکت مادر تخصصی توانیر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۲. میزان سوخت مصرفی و تولید ناویژه نیروگاه‌های حرارتی منتخب کشور

نام نیروگاه	**سوخت** (میلیون بشکه معادل نفت خام) –ورودی				**تولید ناویژه** (گیگاوات‌ساعت) –خروجی مطلوب			
	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
شهیدفیروزی	۰/۷	۰/۸	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۲۲۴	۲۴۵	۲۲۰	۲۴۶	۲۲۸
بعثت	۳/۳	۳/۵	۲/۵	۲/۵	۳/۰	۱۵۱۴	۱۵۹۶	۱۱۸۶	۱۲۱۱	۱۴۲۶
زرند	۰/۸	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۳۵۲	۲۶۷	۲۰۹	۲۹۶	۳۲۳
شهید منتظری	۱۹/۱	۲۰/۴	۲۱/۹	۱۸/۰	۲۰/۱	۱۱۲۵۱	۱۱۵۸۲	۱۱۸۸۳	۹۸۳۶	۱۱۰۳۹
توس	۷/۲	۷/۲	۷/۴	۷/۱	۶/۸	۳۹۶۳	۳۹۹۳	۴۱۶۷	۳۹۵۹	۳۷۶۵
بیستون	۷/۶	۶/۹	۵/۹	۶/۲	۶/۴	۴۶۷۳	۴۱۵۷	۳۴۹۷	۳۷۴۶	۳۸۰۶
شهیدمفتح	۷/۳	۵/۸	۵/۱	۴/۳	۶/۳	۴۳۴۸	۳۴۳۶	۲۹۵۰	۲۵۰۶	۳۷۷۵
شازند	۱۳/۶	۱۲/۷	۱۲/۹	۱۲/۲	۱۱/۸	۸۵۷۹	۷۹۸۱	۷۸۲۱	۷۲۵۴	۶۹۷۳
ری	۳/۱	۳/۱	۳/۲	۴/۸	۲/۵	۱۱۵۸	۱۱۳۶	۱۱۶۸	۱۷۵۸	۹۲۹
خلیج فارس	۱۰/۴	۹/۹	۹/۰	۹/۴	۱۰/۰	۵۴۱۳	۵۱۰۴	۴۶۳۱	۴۷۵۸	۵۰۷۲
پرند	۴/۵	۶/۱	۶/۶	۶/۵	۶/۵	۲۱۷۹	۲۸۶۵	۳۱۵۰	۳۰۶۵	۳۱۳۱
گیلان	۱۰/۰	۱۰/۷	۱۱/۸	۱۲/۵	۱۱/۵	۷۲۱۷	۷۵۵۴	۸۳۶۸	۸۶۸۱	۸۰۶۹
قم	۶/۱	۶/۲	۶/۶	۷/۱	۶/۷	۴۴۷۴	۴۲۶۹	۴۵۹۰	۴۷۸۴	۴۴۶۵
نیشابور	۷/۷	۸/۱	۷/۸	۸/۸	۹/۱	۵۳۲۷	۵۹۹۶	۶۰۲۸	۶۰۶۶	۶۲۵۳
کرمان	۱۳/۷	۱۱/۶	۱۲/۶	۱۴/۰	۱۴/۱	۹۸۸۶	۹۰۲۳	۹۰۹۷	۹۹۶۹	۱۰۰۲۰
دماوند	۱۳/۵	۱۷/۳	۱۷/۸	۱۹/۷	۲۱/۴	۹۰۶۱	۱۲۱۴۱	۱۲۶۹۸	۱۴۰۶۶	۱۵۱۳۸

مأخذ: "آمار تفصیلی صنعت برق ایران (تولید)، (۱۳۸۴ الی ۱۳۹۴)"، شرکت مادر تخصصی توانیر

جدول ۳. میزان انتشار CO_2 و SO_2 نیروگاه‌های حرارتی منتخب کشور (خروجی‌نامطلوب)

نام نیروگاه	**دی اکسید کربن** (میلیون تن)					**دی اکسید گوگرد** (هزار تن)				
	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
شهیدفیروزی	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	-	-	-	-	-
بعثت	۱/۳	۱/۵	۱/۱	۱/۰	۱/۲	۲/۰	۰۳/۰	۰۳/۰	۰۴/۰	۰۳/۰
زرند	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۲/۹	۰/۷	۵/۵	۷/۷	۴/۸
شهید منتظری	۱۰/۰	۲/۱۱	۷/۱۱	۳/۶	۱/۷	۴/۱۲۰	۴/۱۶۳	۲/۱۷۷	۶/۰	۲/۰
توس	۳/۱	۷/۳	۱/۴	۸/۳	۲/۳	۲/۲۴	۸/۵۰	۹/۶۴	۳/۵۷	۲/۳۴
بیستون	۴/۲	۸/۳	۳/۳	۵/۳	۶/۳	۱/۲۵	۶/۲۴	۷/۲۳	۵/۲۶	۷/۲۶
شهیدمفتح	۳/۵	۸/۲	۵/۲	۱/۲	۱/۳	۵/۴۳	۳/۳۵	۸/۳۶	۷/۲۸	۷/۳۷
شازند	۵/۷	۴/۵	۴/۴	۸/۳	۷/۳	۳/۶۶	۰/۶۷	۴/۱۹	۲/۳	۰/۵
ری	۱/۰	۰/۱	۰/۱	۴/۱	۸/۰	۶/۰	۴/۰	۹/۰	۰۲/۰	۵/۰
خلیج فارس	۲/۴	۹/۳	۵/۳	۶/۳	۸/۳	۰/۱	۵/۰	۷/۰	۲/۰	۳/۰
پرند	۱/۲	۶/۲	۰/۳	۸/۲	۸/۲	۰/۳	۱/۲	۲/۴	۶/۲	۲/۲
گیلان	۵/۳	۶/۳	۱/۴	۱/۴	۸/۳	۰۰۰۱/۰	۰۰۰۱/۰	۰۰۰۱/۰	۰۰۰۱/۰	۰۰۰۱/۰
قم	۴/۲	۱/۲	۵/۲	۳/۲	۲/۲	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۳/۰	۰۰۰۳/۰
نیشابور	۶/۲	۰/۳	۱/۳	۰/۳	۱/۳	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۲/۰	۰۰۰۲/۰
کرمان	۱/۵	۵/۴	۵/۴	۸/۴	۶/۴	۸/۹	۹/۶	۳/۶	۳/۵	۶/۱
دماوند	۶/۴	۰/۶	۶/۶	۰/۷	۲/۷	۷/۳	۱/۸	۱۳/۴	۶/۹	۸/۵

مأخذ: وزارت نیرو، دفتربرنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۵. اندازه‌گیری کارایی فنی و زیست‌کارایی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارایی به روش DEA بر مبنای حداکثرسازی محصول (ستانده محور) و با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس در جدول(۴) (بر پایه مدل ریاضی شماره ۶) نشان می‌دهد میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های تحت بررسی بین ۸۴/۷ و ۸۸/۴ درصد بوده است، یعنی بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان ۱۵/۳-۱۱/۶ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، امکان تولید در مقیاس بهینه نیز فراهم گردد.

براساس جدول (۷)، طی دوره مورد بررسی نیروگاه ری دارای کمترین کارایی فنی و نیروگاه خلیج فارس (هرمزگان) همواره دارای بالاترین کارایی فنی بوده است. بررسی میانگین زیست‌کارایی این نیروگاه‌ها طی این دوره در جدول (۴) نشان می‌دهد این کارایی بین ۸۵/۷ و۹۰/۱ درصد بوده است، یعنی بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۴/۳ - ۹/۹ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، امکان تولید در مقیاس بهینه نیز فراهم گردد.

بر اساس جدول (۸)، طی دوره مورد بررسی، نیروگاه ری دارای کمترین زیست‌کارایی و نیروگاه خلیج فارس (هرمزگان) و چرخه ترکیبی گیلان، قم و نیشابور همواره دارای بالاترین زیست کارایی بوده‌اند. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند کارایی فنی و زیست کارایی در سال ۱۳۹۲ به دلایل متعدد از جمله ناکارایی مدیریتی یا ناکارایی مقیاس یا هر دو ناکارایی به صورت توأمان کاهش یافته است. عمده‌ترین علت این کاهش متاثر از کاهش سوخت نیروگاه‌ها (بویژه گازطبیعی و نفت کوره)، کاهش ظرفیت نیروگاه‌ها و افزایش نیروی کار در این سال بوده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۴. میانگین کارایی فنی و زیست کارایی نیروگاه‌های منتخب (۱۳۹۴-۱۳۹۰)

سال	کارایی فنی / زیست کارایی	کارایی فنی	کارایی مدیریتی	کارایی ناشی از مقیاس
۱۳۹۰	کارایی فنی	۰/۸۷۵	۰/۹۳۷	۰/۹۳۶
	زیست کارایی	۰/۸۸۸	۰/۹۸۱	۰/۸۸۸
۱۳۹۱	کارایی فنی	۰/۸۸۴	۱/۰۰۰	۰/۹۳۶
	زیست کارایی	۰/۹۰۱	۱/۰۰۰	۰/۹۰۱
۱۳۹۲	کارایی فنی	۰/۸۴۷	۰/۹۱۱	۰/۹۳۳
	زیست کارایی	۰/۸۵۷	۰/۹۹۵	۰/۸۶۲
۱۳۹۳	کارایی فنی	۰/۸۶۷	۰/۹۲۷	۰/۹۳۶
	زیست کارایی	۰/۸۷۵	۰/۹۶۵	۰/۹۰۶
۱۳۹۴	کارایی فنی	۰/۸۸۰	۰/۹۲۴	۰/۸۸۰
	زیست کارایی	۰/۸۹۰	۰/۹۹۱	۰/۸۹۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بررسی کارایی فنی و زیست کارایی این نیروگاه‌ها در هر یک از سال‌های مورد مطالعه به شرح ذیل است:

کارایی فنی: میانگین کارایی فنی و مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۰ براساس داده‌های جدول(۴) به ترتیب ۸۷/۵ و ۹۳/۷ درصد بوده است، یعنی با ۶/۳ درصد اعمال مدیریت (سختکوشی، تلاش، حسن تدبیر مدیریت و تلاش کارکنان و ترکیب صحیح عوامل تولید)، امکان دست یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۲/۵ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. بر اساس جدول(۵)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ فنی کارا عمل می‌نمودند، امکان دست‌یابی به ۳۶۶۴ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می گردید. در این سال، ۵۹۲ نیروی کار مازاد و ۳۹۰ مگاوات ظرفیت بلا استفاده وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و استاندارد، امکان کاهش ۴۱۹ هزار بشکه معادل نفت خام سوخت وجود داشت.

زیست کارایی: میانگین زیست کارایی و کارایی مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۰ براساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۸/۸ و ۹۸/۱ درصد بوده است، یعنی تنها با ۱/۹ درصد اعمال مدیریت، امکان دست یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

به طور متوسط ۱۱/۲ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ زیست کارایی به صورت کارا عمل می‌نمودند، امکان دست‌یابی به ۱۰۸۸ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می‌گردید. در این سال، ۱۴۴ نیروی کار مازاد و ۱۱۶۹ مگاوات ظرفیت بلا استفاده وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی، امکان کاهش انتشار آلاینده‌ها به میزان ۵۴ میلیون تن CO_2 و ۳۱۳ هزار تن گاز SO_2 وجود داشت.

جدول ۵. بررسی ورودی و خروجی‌های نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال ۱۳۹۰

	وضع موجود	اختلاف با وضع موجود	
		در حالت کارایی فنی	در حالت زیست کارایی
تولید (گیگاوات ساعت)	۷۹۶۱۹	۳۶۶۴	۱۰۸۸
نیروی کار (نفر)	۳۸۴۲	-۵۹۲	-۱۴۴
ظرفیت (مگاوات)	۱۹۲۹۷	-۳۹۰	-۱۱۶۹
سوخت (هزار بشکه معادل نفت خام)	۱۲۲۲۶۰	-۴۱۹	۰
انتشار گاز CO_2 (میلیون تن)	۵۴	-	۵۴
انتشار گاز SO_2 (هزار تن)	۳۱۳	-	۳۱۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

کارایی فنی: میانگین کارایی فنی و مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۱ براساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۸/۴ و ۹۰/۱ درصد بوده است، یعنی با ۹/۹ درصد اعمال مدیریت (سخت‌کوشی، تلاش، حسن تدبیر مدیریت و تلاش کارکنان و ترکیب صحیح عوامل تولید)، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می‌گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۱/۶ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۶)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ فنی کارا عمل می‌نمودند، امکان دست‌یابی به ۲۶۱۱ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می‌گردید. در این سال، ۴۸۳ نیروی کار مازاد وجود داشت. از سویی، در صورت انتخاب سوخت مناسب

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و استاندارد، امکان کاهش ۳۳۲ هزار بشکه معادل نفت خام سوخت نیز فراهم می گردید. از سوی دیگر، در این سال، امکان افزایش ۱۲۸ مگاوات ظرفیت نیروگاهی در کشور نیز وجود داشت.

زیست کارایی: میانگین زیست کارایی و کارایی مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۱ براساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۹۰/۱ و ۱۰۰/۰ درصد بوده است، یعنی بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۹/۹ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ زیست کارایی به صورت کارا عمل می‌نمودند، در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی، امکان کاهش انتشار آلاینده‌ها به میزان ۵۶ میلیون تن CO_2 و ۳۶۶ هزار تن گاز SO_2 وجود داشت.

جدول ۶. بررسی ورودی و خروجی‌های نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال ۱۳۹۱

	وضع موجود	اختلاف با وضع موجود	
		در حالت کارایی فنی	در حالت زیست کارایی
تولید (گیگاوات ساعت)	۸۱۳۴۵	۲۶۱۱	۰
نیروی کار (نفر)	۳۶۰۷	-۴۸۳	۰
ظرفیت (مگاوات)	۱۸۷۱۳	۱۲۸	۰
سوخت (هزار بشکه معادل نفت خام)	۱۲۵۹۹۰	-۳۳۲	۰
انتشار گاز CO_2 (میلیون تن)	۵۶	-	۵۶
انتشار گاز SO_2 (هزار تن)	۳۶۶	-	۳۶۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

کارایی فنی: میانگین کارایی فنی و مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۲ بر اساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۴/۷ و ۹۱/۱ درصد بوده است، یعنی با ۹/۹ درصد اعمال مدیریت (سختکوشی، تلاش، حسن تدبیر مدیریت و تلاش کارکنان و ترکیب صحیح عوامل تولید)، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می‌گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۵/۳ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۷)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

فنی کارا عمل می‌نمودند، امکان دست‌یابی به ۴۸۰۴ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می گردید. در این سال، ۴۹۸ نیروی کار مازاد وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و استاندارد، امکان کاهش ۳۱۴ هزار بشکه معادل نفت خام سوخت نیز فراهم می گردید. در این سال، امکان افزایش ۲۹۴ مگاوات ظرفیت نیروگاهی در کشور نیز وجود داشت.

زیست کارایی: میانگین زیست کارایی و کارایی مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۲ بر اساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۵/۷ و ۹۹/۵ درصد بوده است، یعنی تنها با ۰/۵ درصد اعمال مدیریت، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۴/۳ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرزکارایی به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۷)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ زیست کارایی به صورت کارا عمل می‌نمودند، امکان دست یابی به ۷۴۲ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می گردید. در این سال، ۵ نیروی کار مازاد وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی، امکان کاهش انتشار آلاینده‌ها به میزان ۵۶ میلیون تن CO_2 و ۳۵۳ هزار تن گاز SO_2 وجود داشت.

جدول ۷. بررسی ورودی و خروجی‌های نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال ۱۳۹۲

	وضع موجود	اختلاف با وضع موجود	
		در حالت کارایی فنی	در حالت زیست کارایی
تولید (گیگاوات ساعت)	۸۱۶۶۳	۴۸۰۴	۷۴۲
نیروی کار (نفر)	۳۶۳۴	-۴۹۸	-۵
ظرفیت (مگاوات)	۱۸۱۸۰	۲۹۴	۰
سوخت (هزار بشکه معادل نفت خام)	۱۲۸۰۰۴	-۳۱۴	۰
انتشار گاز CO_2 (میلیون تن)	۵۶	-	۵۶
انتشار گاز SO_2 (هزار تن)	۳۵۳	-	۳۵۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

کارایی فنی: میانگین کارایی فنی و مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۳ براساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۶/۷ و ۹۲/۷ درصد بوده است، یعنی با ۷/۳ درصد اعمال مدیریت (سخت‌کوشی، تلاش، حسن تدبیر مدیریت و تلاش کارکنان و ترکیب صحیح عوامل تولید)، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می‌گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۳۵/۳ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۸)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ فنی کارا عمل می‌نمودند، امکان دست یابی به ۴۲۰۳ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می‌گردید. در این سال، ۶۱۹ نیروی کار مازاد و ۱۵۷ مگاوات ظرفیت بلااستفاده وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و استاندارد، امکان کاهش ۱۵۶۸ هزار بشکه معادل نفت خام سوخت وجود داشت.

زیست کارایی: میانگین زیست کارایی و کارایی مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۳ براساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۷/۵ و ۹۶/۵ درصد بوده است، یعنی تنها با ۳/۵ درصد اعمال مدیریت، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می‌گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۲/۵ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرزکارایی به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۸)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ زیست کارایی به صورت کارا عمل می‌نمودند، امکان دست یابی به ۲۴۶۲ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می‌گردید. در این سال، ۸۱ نیروی کار مازاد و ۲۹۱ مگاوات ظرفیت بلااستفاده وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

استاندارد، امکان کاهش یک هزار بشکه معادل نفت خام سوخت و در نتیجه، امکان کاهش انتشار آلاینده‌ها به میزان ۵۰ میلیون تن CO_2 و ۱۴۲ هزار تن گاز SO_2 وجود داشت.

جدول ۸. بررسی ورودی و خروجی‌های نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال ۱۳۹۳

	وضع موجود	اختلاف با وضع موجود	
		در حالت کارایی فنی	در حالت زیست کارایی
تولید (گیگاوات ساعت)	۸۲۲۰۱	۴۲۰۳	۲۴۶۲
نیروی کار (نفر)	۳۵۳۶	-۶۱۹	-۸۱
ظرفیت (مگاوات)	۱۷۷۳۶	-۱۷۵	-۲۹۱
سوخت (هزار بشکه معادل نفت خام)	۱۳۱۲۳۲	-۱۵۶۸	-۱
انتشار گاز CO_2 (میلیون تن)	۵۰	-	۵۰
انتشار گاز SO_2 (هزار تن)	۱۴۲	-	۱۴۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

کارایی فنی: میانگین کارایی فنی و مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۴ بر اساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۸/۰ و ۹۲/۴ درصد بوده است، یعنی با ۷/۶ درصد اعمال مدیریت (سخت‌کوشی، تلاش، حسن تدبیر مدیریت و تلاش کارکنان و ترکیب صحیح عوامل تولید)، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می‌گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۲/۰ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۹)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ فنی کارا عمل می‌نمودند، امکان دست‌یابی به ۴۳۴۲ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می‌گردید. در این سال، ۳۰۳ نیروی کار مازاد و ۱۴۲ مگاوات ظرفیت بلااستفاده وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و استاندارد، امکان کاهش ۱۷۰ هزار بشکه معادل نفت خام سوخت وجود داشت.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

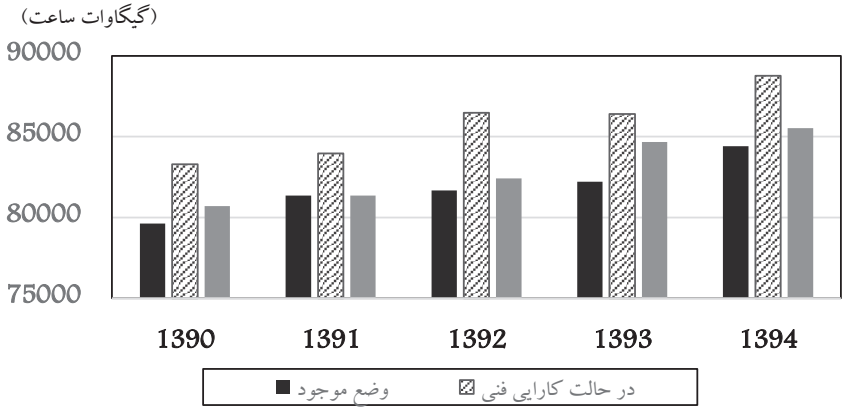
زیست کارایی: میانگین زیست کارایی و کارایی مدیریتی نیروگاه‌های تحت بررسی در سال ۱۳۹۴ براساس داده‌های جدول (۴) به ترتیب ۸۹/۰ و ۹۹/۱ درصد بوده است، یعنی تنها با ۰/۹ درصد اعمال مدیریت، امکان دست‌یابی به سطح کارایی مدیریتی فراهم می‌گردید. همچنین بدون نیاز به عوامل تولید بیشتر می‌توان به طور متوسط ۱۱/۰ درصد تولید را افزایش داد، به طوری که علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی، به تولید در مقیاس بهینه نیز دست یافت. براساس جدول (۹)، درحالی که تمام نیروگاه‌های مورد بررسی از لحاظ زیست کارایی به صورت کارا عمل می‌نمودند، امکان دست یابی به ۱۱۰۹ گیگاوات ساعت تولید برق بیشتر امکان پذیر می‌گردید. در این سال، ۷۸ نیروی کار مازاد وجود داشت. همچنین در صورت انتخاب سوخت مناسب بویژه گازطبیعی و انجام اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی و استفاده از تجهیزات با مصرف انرژی کمتر و استاندارد، امکان کاهش ۱۰۷ هزار بشکه معادل نفت خام سوخت و در نتیجه، امکان کاهش انتشار آلاینده‌ها به میزان ۵۱ میلیون تن CO_2 و ۱۲۳ هزار تن گاز SO_2 وجود داشت.

جدول ۹. بررسی ورودی و خروجی‌های نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال ۱۳۹۴

	وضع موجود	اختلاف با وضع موجود	
		در حالت کارایی فنی	در حالت زیست کارایی
تولید (گیگاوات ساعت)	۸۴۴۱۲	۴۳۴۲	۱۱۰۹
نیروی کار (نفر)	۳۳۵۷	-۳۰۳	-۷۸
ظرفیت (مگاوات)	۱۹۰۰۵	-۱۴۲	۰
سوخت (هزار بشکه معادل نفت خام)	۱۳۲۳۱۹	-۱۷۰	-۱۰۷
انتشار گاز CO_2 (میلیون تن)	۵۱	-	۵۱
انتشار گاز SO_2 (هزار تن)	۱۲۳	-	۱۲۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



نمودار ۱. مقایسه روند تولید نیروگاه‌های حرارتی منتخب (۱۳۹۴-۱۳۹۰)

رتبه بندی واحدهای کارا

برای تمایز بین واحدهای کارا از روش اندرسون – پترسون و از نرم افزار PIM-DEA استفاده شد تا این امکان وجود داشته باشد که کارایی عددی بیش از یک برآورد گردد. در صورتی که این برآورد برای بنگاه‌های ناکارا صورت پذیرد، میزان کارایی آن تغییر نمی‌کند. بر اساس نتایج جدول(۱۰)، نیروگاه خلیج فارس (هرمزگان) طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۰ بالاترین میزان کارایی فنی را در بین سایر نیروگاه‌ها دارا بوده است، اما از سال ۱۳۹۳ با افزایش نیروی کار و افزایش سوخت گازطبیعی و در شرایطی که ظرفیت نیروگاه تغییر نکرده، با افت شدید کارایی مواجه گردیده است، به طوری که کارایی این نیروگاه در سال ۱۳۹۴کاهش یافته و در رتبه دوم کشور پس از چرخه ترکیبی دماوند قرار گرفت. بررسی‌ها نشان می‌دهد به استثنای دو نیروگاه چرخه ترکیبی گیلان و قم، سایر نیروگاه‌ها در سال دوم خصوصی‌سازی دچار افت کارایی فنی شده‌اند. در مجموع، نیروگاه‌های گازی و چرخه ترکیبی از کارایی بالاتری برخوردارند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۱۰. بررسی کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی منتخب پس ازرتبه‌بندی واحدهای کارا

نام نیروگاه	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
شهیدفیروزی(طرشت)	۰/۶۱۳	۰/۶۸۳	۰/۵۹۸	۰/۷۳۴	۰/۶۶۷
بعثت	۰/۸۳۶	۰/۸۹۸	۰/۷۲۳	۰/۷۲۹	۰/۸۵۰
زرند	۰/۸۰۵	۰/۶۸۵	۰/۵۸۱	۰/۷۳۷	۰/۷۸۷
شهید محمدمنتظری	۰/۹۹۲	۱/۱۳۱	۱/۰۸۶	۰/۹۰۹	۰/۰۹۰
توس	۰/۹۰۵	۰/۹۵۳	۰/۹۷۷	۰/۹۸۵	۰/۹۴۶
بیستون	۱/۰۴۴	۰/۹۸۱	۰/۸۴۹	۰/۸۸۰	۰/۹۳۲
شهیدمفتح همدان	۰/۸۱۴	۰/۷۶۰	۰/۷۴۰	۰/۸۲۰	۰/۸۴۳
شازند	۱/۰۷۱	۰/۹۸۹	۰/۹۱۳	۰/۸۶۵	۰/۸۶۱
ری	۰/۵۰۵	۰/۴۷۵	۰/۴۷۴	۰/۵۱۱	۰/۵۲۰
خلیج فارس(هرمزگان)	۲/۶۵۴	۲/۳۰۶	۲/۰۷۴	۱/۳۵۱	۱/۰۹۰
پرند	۰/۶۹۱	۰/۷۶۱	۰/۷۳۶	۰/۷۲۶	۰/۸۷۸
چرخه ترکیبی گیلان	۰/۹۸۱	۰/۹۸۲	۱/۰۵۴	۱/۰۷۱	۱/۰۲۵
چرخه ترکیبی قم	۱/۰۶۷	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷	۱/۰۰۸	۱/۰۰۱
چرخه ترکیبی‌نیشابور	۰/۹۴۵	۱/۰۶۴	۱/۰۸۶	۰/۹۸۸	۰/۰۲۱
چرخه ترکیبی کرمان	۱/۱۴۰	۱/۰۵۶	۰/۹۶۵	۱/۰۶۶	۱/۰۰۵
چرخه ترکیبی دماوند	۰/۹۱۸	۰/۹۸۰	۱/۰۲۳	۰/۹۷۶	۱/۱۸۶

* اعداد زیرخط دار معرف مالکیت بخش خصوصی می‌باشند.

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بررسی زیست کارایی از روش اندرسون - پترسون در جدول (۸) نشان می‌دهد نیروگاه خلیج فارس (هرمزگان) در سال ۱۳۹۰، نیروگاه شهید محمد منتظری در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ و چرخه ترکیبی دماوند در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ دارای بالاترین میزان زیست کارایی در بین سایر نیروگاه‌ها بوده‌اند. ظرفیت نیروگاه شهید محمد منتظری در سال ۱۳۹۱ اندکی افزایش یافته که نیروی کار و سوخت نیروگاه به شیوه مناسبی عمل نموده است. در این سال، نیروی کار این نیروگاه کم شده و سوخت به طور متناسب افزایش یافته و این تغییرات در نهایت منجر به افزایش زیست‌کارایی نیروگاه شده است. در سال ۱۳۹۴ نیروگاه چرخه‌ترکیبی دماوند با نیروی کار و ظرفیت ثابت نسبت به سال گذشته خود و همچنین کاهش مصرف نفت گاز در این نیروگاه توانست بالاترین زیست‌کارایی را در بین نیروگاه‌های تحت بررسی به دست آورد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۱۱. بررسی زیست کارایی نیروگاه‌های حرارتی منتخب پس ازرتبه‌بندی واحدهای کارا

نام نیروگاه	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴
شهیدفیروزی(طرشت)	۰/۷۱۴	۰/۸۱۹	۰/۶۸۳	۰/۷۳۴	۰/۷۲۹
بعثت	۰/۸۳۶	۰/۸۹۸	۰/۷۲۳	۰/۷۲۹	۰/۸۵۰
زرند	۰/۸۰۵	۰/۶۸۵	۰/۵۸۱	۰/۷۳۷	۰/۸۰۴
شهید محمدمنتظری	۲/۳۴۴	۳/۲۰۱	۳/۴۳۹	۱/۲۳۴	۱/۲۴۱
توس	۰/۹۰۵	۰/۹۵۳	۰/۹۷۷	۰/۹۸۸	۱/۰۰۵
بیستون	۱/۰۴۴	۰/۹۸۱	۰/۸۴۹	۰/۸۸۰	۰/۹۵۲
شهیدمفتح همدان	۰/۸۲۲	۰/۷۸۴	۰/۷۴۰	۰/۸۲۰	۰/۸۴۹
شازند	۱/۲۷۲	۱/۰۴۸	۰/۹۱۳	۰/۸۵۶	۰/۸۶۳
ری	۰/۵۰۵	۰/۴۷۵	۰/۴۷۴	۰/۵۱۱	۰/۵۲۰
خلیج فارس(هرمزگان)	۲/۶۵۴	۲/۳۱۲	۲/۰۷۴	۱/۳۵۰	۱/۰۹۰
پرند	۰/۶۹۱	۰/۸۲۲	۰/۷۷۷	۰/۷۳۹	۰/۶۷۸
چرخه ترکیبی گیلان	۱/۷۶۷	۱/۵۱۷	۱/۸۲۶	۱/۹۵۵	۱/۶۰۴
چرخه ترکیبی قم	۱/۱۳۴	۱/۰۳۴	۱/۰۰۳	۱/۰۰۸	۱/۰۱۲
چرخه ترکیبی‌نیشابور	۱/۰۱۲	۱/۲۱۷	۱/۱۱۴	۱/۰۳۶	۱/۱۴۶
چرخه ترکیبی کرمان	۱/۲۸۶	۱/۰۹۶	۰/۸۹۸	۱/۲۷۵	۱/۰۵۰
چرخه ترکیبی دماوند	۰/۹۲۵	۱/۳۹۷	۱/۵۸۴	۲/۱۵۱	۱/۹۰۷

*اعداد زیر خط دار قرمز معرف مالکیت بخش خصوصی می‌باشند.

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۶. بررسی روند بهره‌وری در نیروگاه‌های منتخب حرارتی ایران

در محاسبه بهره‌وری از شاخص مالم‌کوییست و روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده شده است. استفاده از این شاخص در محاسبه بهره‌وری، امکان تفکیک بهره‌وری به دو جزو اصلی آن یعنی تغییرات کارایی و فناوری را ایجاد می‌کند:

$M_i^{t+1}(q^{t+1}, X^{t+1}, q^t, X^t)$ = تغییرات کارایی فنی × تغییرات فناورانه

در این بررسی، با استفاده از رویکرد حداکثرسازی محصول یا ستانده، اقدام به محاسبه تغییرات بهره وری و هر یک از اجزای آنها در سال‌های مورد بررسی شده است. همانطور که ذکر شد، اگر مقدار شاخص مذکور بزرگتر از یک باشد، نشاندهنده بهبود عملکرد آن بنگاه خواهد بود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۱۲. تغییرات بهره‌وری نیروگاه‌های حرارتی منتخب (۱۳۹۴-۱۳۹۰)

سال	تغییرات کارایی فنی	تغییرات کارایی فناورانه	تغییرات کارایی مدیریتی	تغییرات کارایی مقیاس	تغییرات بهره‌وری زیست محیطی کل عوامل تولید
۱۳۹۰-۹۱	۱/۱۷۲	۰/۹۷۹	۱/۱۳۹	۱/۰۲۹	۱/۱۴۸
۱۳۹۱-۹۲	۰/۹۶۷	۱/۰۳۸	۰/۹۶۲	۱/۰۰۵	۱/۰۰۳
۱۳۹۲-۹۳	۱/۰۰۷	۰/۹۳۹	۱/۰۲۲	۰/۹۸۵	۰/۹۴۶
۱۳۹۳-۹۴	۱/۰۱۴	۱/۰۰۶	۰/۹۹۷	۱/۰۱۷	۱/۰۲۰
میانگین	۱/۰۳۷	۰/۹۹۰	۱/۰۲۸	۱/۰۰۹	۱/۰۲۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج نشان می‌دهد تغییرات بهره‌وری دارای روند نامشخصی بوده و رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های منتخب به طور متوسط معادل ۲/۶ درصد بوده است. همانطور که ذکر شد، بهره‌وری از حاصلضرب تغییرات کارایی فنی در تغییرات فناورانه به دست می آید. بنا براین، افزایش ۲/۶ درصدی از حاصلضرب افزایش تغییرات کارایی فنی (۱/۰۳۷) و کاهش تغییرات فناورانه (۰/۹۹۰) به دست می‌آید و نشان می‌دهد این افزایش بهره‌وری متاثر از افزایش کارایی فنی بوده است. تغییرات کارایی فنی نیز از حاصلضرب تغییرات کارایی مدیریتی (۱/۰۲۸) و تغییرات کارایی مقیاس (۱/۰۰۹) به دست می‌آید که نشان می‌دهد تغییرات کارایی فنی نیز عمدتا متاثر از کارایی مدیریتی بوده است. به عبارت دیگر، نیروگاه‌های مذکور طی این ۵ سال نتوانستند تغییرات مثبتی در کارایی فناورانه ایجاد نمایند، اما توانسته‌اند با ایجاد تغییرات مثبت در کارایی فنی که متشکل از کارایی مدیریتی و مقیاس بوده است، تغییرات مثبتی در بهره‌وری کل عوامل تولید ایجاد نمایند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۷.نتیجه‌گیری

بررسی روند میانگین کارایی فنی و زیست کارایی نیروگاه‌های منتخب نشان می‌دهد این روند همواره افزایشی نبوده و دارای افت و خیزهایی بوده است. نتایج حاصل از کاربرد روش DEA در تعیین کارایی فنی و زیست‌کارایی نمایانگر آن است که میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های تحت بررسی بین ۸۴/۷ و ۸۸/۴ درصد و میانگین زیست‌کارایی آنان بین ۸۵/۷ و ۹۰/۱ درصد بوده است.

همچنین مطالعات نشان می‌دهدکارایی فنی و زیست‌کارایی در سال ۱۳۹۲ به دلایل متعدد از جمله ناکارایی مدیریتی یا ناکارایی مقیاس یا هر دو ناکارایی به صورت توأمان کاهش یافته است. عمده‌ترین علت این کاهش متاثر از کاهش سوخت نیروگاه‌ها (بویژه گازطبیعی و نفت‌کوره)، کاهش ظرفیت نیروگاه‌ها و افزایش نیروی کار در این سال بوده است.

میزان انتشار دی اکسید کربن در سال ۱۳۹۲ از سایر سال‌های مورد بررسی بیشتر بوده که این امر ناشی از کاهش مصرف گازطبیعی بوده است. همچنین میزان انتشار دی اکسید گوگرد طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۹۲ به دلیل مصرف بالای نفت کوره و نفت‌گاز بیش از سایر سال‌ها بوده که این شیوه مصرف سوخت موجب کاهش زیست‌کارایی نیروگاه‌ها در این سال گردیده است.

مقادیر بهره‌وری زیست محیطی نیروگاه‌ها طی این ۵ سال نوسان داشته و در نهایت افزایش یافته است. متوسط رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های منتخب طی این دوره معادل۲/۶ درصد بوده که این تغییر متاثر از تغییرات کارایی فنی بوده و تغییرات کارایی فنی نیز عمدتا متاثر از کارایی مدیریتی بوده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نیروگاه‌های منتخب طی ۵ سال مورد بررسی نتوانستند تغییرات مثبتی در کارایی فناورانه ایجاد نمایند، اما توانسته‌اند با ایجاد تغییرات مثبت در کارایی فنی که متشکل از کارایی مدیریتی و مقیاس بوده است، تغییرات مثبتی را در بهره‌وری کل عوامل تولید ایجاد نمایند.

مقایسه نتایج این بررسی با سایر تحقیقات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد کارایی فنی و زیست کارایی نیروگاه‌های حرارتی نوسان داشته و همچنان متاثر از نوع سوخت می‌باشد و همچنان بالاترین کارایی متعلق به نیروگاه‌های گازی و چرخه ترکیبی بوده است.

بنابراین، پیشنهاد می‌شود ضمن ایجاد زمینه لازم برای توسعه نیروگاه‌هایی که بازده نسبت به مقیاس آنها صعودی است، امکانات لازم برای نیروگاه‌هایی که بازده نسبت به مقیاس آنها نزولی است نیز فراهم گردد. همچنین در نیروگاه های حرارتی بیشتر از گازطبیعی استفاده شود و نیروگاه‌های گازی و چرخه ترکیبی توسعه یابند. علاوه بر این، لازم است اقداماتی در خصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی، تدوین استانداردهای مربوط و نیروی انسانی مازاد صورت گیرد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

منابع

الیاسی، بهرام (۱۳۹۴)، *تحلیل عوامل موثر و مقایسه کارایی فنی و کارایی زیست محیطی کارخانه‌های منتخب سیمان ایران*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی.

امامی میبدی، علی (۱۳۷۹) ، *اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری (علمی و کاربردی)* ، تهران: موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی، چاپ دوم.

امامی میبدی، علی (۱۳۹۰)، *کارایی و بهره‌وری از دیدگاه اقتصادی*، تهران: انتشارات دانشگاه علامه طباطبایی، چاپ اول.

امامی میبدی، علی؛ افقه، مرتضی و محمد حسین رحمانی صفتی (۱۳۸۸)، "اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی"، *فصلنامه اقتصاد مقداری*، دوره ۶، شماره ۳، صص ۱۰۳-۷۹.

ایزدی، زهرا (۱۳۸۸)، *اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری پالایشگاه های نفت ایران*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی.

بهلولی، پریسا و علی حسین استادزاد (۱۳۹۲)، *"برآورد کارایی نیروگاه‌های حرارتی: رویکرد دو مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها"*، مجموعه مقالات سومین همایش ملی سوخت، انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده انرژی.

پورکاظمی، محمد حسن و کیومرث حیدری (۱۳۸۱)، "استفاده از تحلیل فراگیر داده‌ها در ارزیابی نیروگاه های حرارتی تولید برق کشور"، *نشریه مدرس*، دوره ۶، شماره ۱، صص ۵۴-۳۵.

جواهری، زهرا و امیرحسن خامنه (۱۳۸۸)، *"ارزیابی عملکرد نیروگاه های حرارتی ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها"*، مجموعه مقالات اولین کنفرانس صنعت نیروگاه های حرارتی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.

رحمانی صفتی، محمد حسین (۱۳۸۸)، *اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

عسکری، غلامحسین و محمدرضا حبیبی محلی (۱۳۹۵)، *" ارزیابی عملکرد و مقایسه کارایی نیروگاه های برق با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها"* ،کنفرانس بین‌المللی صنایع و مدیریت، دانشگاه تهران.

لاریجانی، ریحانه (۱۳۹۰)، *بررسی کارایی شرکت ملی نفت ایران و مقایسه تطبیقی آن با شرکت های منتخب*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران.

میراحمدی، محمدرضا و احسان ملکی (۱۳۹۵)، *"ارزیابی عملکرد تولید و فروش نیروگاه های آبی کشور توسط تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها"* ، کنفرانس جامع علوم مدیریت و حسابداری، دانشگاه تهران.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

ناصرزاده، سمیه (۱۳۸۹)، *ارزیابی زیست کارایی نیروگاه های حرارتی کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی.

وزارت نیرو (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴)، *ترازنامه انرژی سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳*، معاونت برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، چاپ اول.

وزارت نیرو (۱۳۸۴ الی ۱۳۹۴)، *آمار تفصیلی صنعت برق ایران (تولید)*، شرکت مادر تخصصی توانیر، معاونت منابع انسانی و تحقیقات، دفتر فناوری اطلاعات و آمار، چاپ اول.

Blanco, Orozco and Napoleón Vicente (2013),"Productivity Analysis in Power Generation Plants Connected to The National Grid: A New Case of Bio Economy in Nicaragua", *Journal of Agricultural*, Vol. 1, No. 1, pp. 81-102.

Chenxi, Song; Mingjia, Lia; Yaling, Ha and Tao Wenquan (2015), "Study on Energy and Environmental Efficiency for Coal-Fired Power Units: A Non-Parameter Approach", *Energy Procedia*, Vol. 75, pp. 2772 – 2778.

Jin-Peng, Liu; Qian-Ru, Yang and He Lin (2017), "Total-Factor Energy Efficiency (TFEE) Evaluation on Thermal Power Industry with DEA, Malmquist and Multiple Regression Techniques", *Energies*, 10, 1039, pp. 1-14.

Tser-Yieth, Chen; Tsai-LienYeh and Yi-TingLee(2013),"Comparison of Power Plants Efficiency Among 73 Countries", Hindawi Publishing Corporation, *Journal of Energy*, Vol. 2013, pp.1-8.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]