[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

بررسی عوامل موثر بر کارایی زیست‌محیطی صنعت برق ایران: رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها و داده‌های ترکیبی

بهنام نجف‌زاده[1]، سیاب ممی‌پور[2]

تاریخ دریافت: ۹٤/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۱

چکیده

در این مطالعه برای ارزیابی کارایی زیست محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور از رویکرد دو مرحله‌ای استفاده شده است به این نحو که در گام اول، کارایی زیست محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۳ با استفاده از مدل مازاد مبنا مورد سنجش قرار گرفته ودر گام دوم عوامل موثر بر کارایی زیست محیطی با استفاده از مدل-های توبیت و حداقل مربعات معمولی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از گام اول نشان می‌دهد کارایی زیست‌محیطی صنعت برق کشور در طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ با افت کارایی مواجه بوده است در حالیکه بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ کارایی زیست-محیطی روند صعودی داشته و در بازه زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۳ (بعد از آزادسازی قیمت حامل-های انرژی) افت محسوسی داشته است و در سال ۱۳۹۳ با توجه به کاهش کارایی بیشتر شرکت‌ها، میانگین کارایی به کمترین مقدار (۰/۶۵) رسیده است. نتایج حاصل از گام دوم نشان می‌دهد که اندازه شرکت برق منطقه‌ای و متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی اثر منفی و متغیرهای نسبت برق تولید شده از نیروگاه های حرارتی، نسبت گاز به

۱. کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه خوارزمی؛ Email: behnamnajafzadeh@ymail.com

۲. استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)؛ Email: mamipours@gmail.com

کار رفته در سوخت مصرفی، میزان بهره برداری از ظرفیت نیروگاه‌ها و ارسال برق به شرکتهای دیگر اثر مثبت بر کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که دریافت انرژی از شرکتهای دیگر در دوره زمانی مورد بررسی اثر معناداری بر بهبود کارایی نداشته است. در پایان، نتایج حاصل از افزودن یک متغیر جدید (متغیر لگاریتم سرانه تولید ناخالص داخلی) نشان داد که بجز متغیر نسبت گاز به کار رفته در سوخت مصرفی، اثرگذاری همه متغیرها از استحکام بالایی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: کارایی زیست محیطی، شرکت برق منطقه ای، مدل SBM، حداقل مربعات معمولی، مدل توبیت.

طبقه‌بندی JEL: Q43، Q58 ، C61 ، C23 ، C24.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]

[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]

[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

۱. مقدمه

صنعت برق یکی از بزرگترین واحدهای آلاینده در بین تمام صنایع است. در سال‌های اخیر علی‌رغم افزایش تولید برقابی، برق بادی و برق هسته‌ای، همچنان بخش عمده‌ای از برق مورد نیاز توسط نیروگاه‌های حرارتی تولید شده است. انتشار کربن از نیروگاه‌های با سوخت فسیلی از میانگین ۵۶۷/۰۴ گرم در هر کیلووات ساعت در سال ۱۳۸۳ به حدود ۸۰۰ گرم در هر کیلووات ساعت در سال ۱۳۹۳ افزایش یافته است. با توجه به این که صنعت برق نسبت به صنایع دیگر واردات و صادرات کمتری دارد و تفاوت تکنولوژی در آن زیاد محسوس نیست توجه اصلی برای کاهش آلودگی هوا باید به آن معطوف شود (ژی و همکاران[1]، ۲۰۱۴). در سال‌های اخیر تحلیل پوششی داده‌ها[2] (DEA) در مطالعات انرژی و محیط‌زیست و به خصوص برای ارزیابی کارایی صنعت برق مورد استفاده قرار گرفته است (لیو و همکاران[3]، ۲۰۱۳). بسیاری از محققان مطالعات خود را بر ارزیابی بهره‌وری نیروگاه‌های حرارتی و تحلیل اثرات کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی زیست محیطی در حالت چند ورودی و چند خروجی قرار داده‌اند (کوک و سیفورد[4]، ۲۰۰۹). مطالعاتی که شامل مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی هستند، عموماً تحت عنوان مطالعات کارایی زیست‌محیطی شناخته می‌شوند.

کارایی نیروگاه‌های برق در شرایط یکسانی قرار ندارد و تحت عوامل گوناگونی مانند عوامل طبیعی، توسعه اقتصادی، دولتی و اجتماعی آن منطقه و یا کشور قرار دارد. در سال‌های اخیر ارتباط عوامل ذکر شده با انتشار آلاینده‌های زیست محیطی، موجب نگرانی اقتصاددانان و طرفداران محیط زیست شده است. برای بهبود کارایی صنعت برق، بسیاری از کشورها با وضع قوانین بین المللی خواستار همسو شدن متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی در راستای حفاظت از محیط زیست شده‌اند. توسعه اقتصادی موجب فشار به منابع طبیعی و محیط‌زیست جهت تأمین برق مورد نیاز شده و همچنین مقدار عرضه و

1. Xie et al.
2. Data Envelopment Analysis
3. Liu et al.
4. Cook and Seiford

تقاضا را تحت تآثیر قرار می‌دهد. توسعه اقتصادی ترکیب نهاده‌ها و ستانده‌های نیروگاه‌ها را با چالش جدی مواجه می‌کند (بی و همکاران[1]، ۲۰۱۴). در طی دهه گذشته با افزایش ۱/۵ برابری محصول ناخالص داخلی(GDP)، میزان مصرف برق ۱/۷ برابر و مقدار انتشار کربن دی اکسید ۱/۳ برابر شده است. این موضوع لزوم ارتباط بین عوامل اقتصادی و زیست محیطی را سبب می‌شود. در اکثر مطالعات اقتصادی و انرژی برای تحلیل کارایی و تجزیه آن به عوامل اثرگذار از روش اقتصاد سنجی توبیت[2] (الگوریتم دو مرحله‌ای) استفاده می‌شود.

در این تحقیق نیز با استفاده از روش DEA و تحلیل‌های آماری به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور و عوامل مؤثر بر آن پرداخته می‌شود. علاوه بر این راهکارهایی برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی و اقتصادی شرکت‌های برق منطقه‌ای ارائه می‌شود. سازماندهی تحقیق بدین شرح است: بعد از مقدمه، در بخش دوم به بیان ادبیات تحقیق و مبانی نظری الگوریتم به کار برده شده در تحقیق پرداخته و در بخش سوم عوامل اثرگذار بر کارایی معرفی می‌شود. در بخش چهارم پیشینه تجربی داخلی و خارجی مطرح می‌شود. در بخش پنجم(روش شناسی) الگوریتم دو مرحله‌ای معرفی می‌شود. در گام اول برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی، الگوی منتخب DEA تشریح می‌شود. در گام دوم نیز برای ارزیابی اثرات متغیرهای اقتصادی بر کارایی، الگوی داده‌های ترکیبی معرفی می‌شود. در بخش ششم یافته‌های تحقیق ارائه شده و سرانجام در بخش پایانی به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری

در این بخش ابتدا ادبیات و مفاهیم کارایی در بعد زیست‌محیطی بیان شده و سپس به بیان مبانی نظری عوامل اثرگذار بر کارایی زیست‌محیطی صنعت برق پرداخته می‌شود.

1. Bi et al.
2. Tobit

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

۲-۱. کارایی زیست‌محیطی

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) اولین بار برای اندازه‌گیری کارایی نسبی واحدهای تصمیم گیرنده معرفی شدند (چارنز و همکاران[1]، ۱۹۷۸). در مفهوم ارزیابی کارایی، DEA برای محاسبه کارایی از نظریه نسبیت و یک برنامه ریاضی با چند نهاده و ستاده استفاده می‌کند. هنگامی یک بنگاه کاملاً کارا شناخته می‌شود که امکان کاهش یک نهاده و یا افزایش یک ستاده بدون افزایش حداقل یک نهاده و یا کاهش حداقل یک ستاده دیگر در آن بنگاه وجود نداشته باشد (کوپمنز[2]، ۱۹۵۱). تعریف فوق مرتبط با کارایی سنتی است که ستاده نامطلوب را شامل نمی‌شود. دو مدل عمده در این زمینه، مدل‌های DEA ناپارامتریک CCR و BCC هستند. دو مدل مذکور الگوهای خطی برای حل مسائل کارایی در حالت چند نهاده و چند ستاده هستند و به ترتیب از نوع تکنولوژی بازدهی به مقیاس ثابت و متغیر هستند. مشکل اساسی دو مدل CCR و BCC در رویکرد سنتی، قابلیت دفع قوی[3] (SD) آن‌ها است. امکان دفع قوی به این معناست که همراه با ستاده مطلوب، ستاده نامطلوب تولید می‌شود و کاهش ستاده نامطلوب هزینه‌بر است. در فرآیند واقعی تولید چنین چیزی ممکن است صحیح نباشد. برای رفع این مشکل نوع جدیدی از کارایی به نام کارایی زیست‌محیطی معرفی شد که ستانده نامطلوب را نیز در بر می‌گرفت. در این نوع از کارایی در مدل‌های DEA ستاده نامطلوب نیز وارد می‌شود. از زمانی که کارایی زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار گرفته است، انتظار می‌رود که انواع ستاده‌های نامطلوب مانند آلاینده‌ها باید به کمترین مقدار ممکن برسد (هاینس و همکاران[4]، ۱۹۹۷).

نحوه برخورد با ستاده‌های نامطلوب و مدل‌سازی آن‌ها همواره یک مسئله چالش برانگیز در مسائل کارایی و کاهش هزینه‌های انتشار آلاینده‌ها بوده است (ساهو و همکاران[5]، ۲۰۱۱؛ ژو و همکاران[6]، ۲۰۱۳).

1. Charnes et al.
2. Koopmans
3. Strong Disposability
4. Haynes et al.
5. Sahoo et al.
6. Zhou et al.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

در ادبیات نظری ستاده نامطلوب به دو صورت کلی در مدل‌های ارزیابی کارایی وارد می‌شود. یک راه به صورت غیرمستقیم (تخصیص وزن‌هایی به آن‌ها) و استفاده از قابلیت امکان دفع قوی است (ژو[1]، ۲۰۰۳) و روش دوم بهره‌گیری از فرم اصلی ستاده‌های نامطلوب (اضافه کردن مستقیم ستاده نامطلوب به مدل و ایجاد یک واحد مستقل به نام آن) و قابلیت امکان دفع ضعیف[2] (WD) است (فاره و گراسکوپف[3]، ۲۰۰۴). در هر یک از دو روش مزبور ستاده نامطلوب رفتار متمایزی داشته و تخمین کارایی متفاوت است.

در نظریه اول (غیرمستقیم) ستاده‌های نامطلوب که بیشتر ماهیت آلاینده دارد به عنوان خروجی فرآیند تولید به حساب می‌آیند و با استفاده از مدل‌های سنتی به محاسبه کارایی زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. همان‌طور که بیان گردید در نظریه غیرمستقیم از توابع تبدیل متفاوتی برای سنجش کارایی استفاده می‌شود. اولین تبدیل، لحاظ ستاده نامطلوب به عنوان نهاده است (هیل و ویمن[4]، ۲۰۰۱). اگر چه در این الگو به هدف مورد نظر یعنی کاهش هر چه بیشتر ستاده نامطلوب دست می‌یابیم اما این الگو مطابق با فرآیند واقعی تولید نیست (ژو و همکاران، ۲۰۱۳). الگوی دیگر در این حیطه ضرب کردن ستاده نامطلوب در (۱-) و استفاده از تابع انتقال داده‌ها[5] برای مثبت شدن تمام مقادیر منفی است (سیفورد و ژو[6]، ۲۰۰۲). الگوی مورد استفاده دیگر معکوس کردن ستاده نامطلوب برای تبدیل به یک ستاده مطلوب است (شیل[7]، ۲۰۰۱).

نظریه دوم (مستقیم) مطابق با قوانین فیزیکی و اصول عمومی نظریه تولید است (فاره و گراسکوپف، ۲۰۰۴). قابلیت دفع ضعیف در شرایط فعالیت بنگاه‌ها در چارچوب قوانین زیست‌محیطی و هزینه‌بر بودن حذف آلاینده‌ها فرضیه مناسبی است. در نظریه مستقیم ابتدا چانگ و همکاران[8] (۱۹۹۷) بر اساس ماهیت آلاینده‌ها و بر مبنای الگوی تابع فاصله یک

1. Zhu
2. Weakly Disposable
3. Fare and Grosskopf
4. Hailu and Veeman
5. Data Conversion Function
6. Seiford and Zhou
7. Scheel
8. Chung et al.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

مدل تحلیلی برای ارزیابی کارایی معرفی نمودند. روش آن‌ها مشابه روش تحلیل کارایی فنی است که با اختصاص یک بردار جهت خاص باعث کاهش ستاده نامطلوب و افزایش ستاده مطلوب به یک اندازه می‌شود. این مدل با توجه به برتری‌هایی که نسبت به مدل‌های سنتی داشت کاربرد بیشتری یافت. فاره و گراسکوپف الگویی معرفی نمودند که در آن با ثابت فرض نمودن نهاده‌ها، ستاده‌های مطلوب افزایش و ستاده‌های نامطلوب کاهش می‌یابد. به طور کلی در این نظریه علاوه بر حالت فوق، تغییرات نهاده‌ها و ستاده‌ها به سه حالت دیگر انجام می‌پذیرد: ۱-با ثابت فرض نمودن نهاده‌ها و ستاده‌های نامطلوب تنها ستاده‌های مطلوب می‌توانند افزایش یابند. ۲-با ثابت بودن نهاده‌ها و ستاده‌های مطلوب تنها ستاده‌های نامطلوب امکان کاهش دارند. ۳-با ثابت بودن ستاده‌های مطلوب نهاده‌ها و ستاده‌های نامطلوب کاهش می‌یابند.

با توجه به نقص الگوهای قبلی مبنی بر در نظر نگرفتن اسلک‌های نهاده‌ها و ستاده‌ها نتایج مدل‌های فوق معتبر و قابل استناد نبودند. برای رفع این مشکل تن[1] (۲۰۰۱) مدل مازاد مبنا[2] (SBM) را بر پایه اندازه‌گیری مقادیر اسلک‌ها[3] برای کارایی فنی معرفی نمود. در این روش مقادیر زائد نهاده‌ها و ستاده‌ها (که توسط گزینش‌های شعاعی و گوشه‌ای انتخاب شده‌اند) در مدل لحاظ می‌شوند. تن (۲۰۰۴) سپس مدل خود را اصلاح کرده و با وارد کردن ستاده نامطلوب الگوهای غیرشعاعی را معرفی نمود. ژو و آنگ[4] (۲۰۰۶) با تکمیل الگوی تن، دو الگوی SBM را برای اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی معرفی نمودند. مدل‌های SBM روابط اقتصادی بین نهاده‌ها و ستاده‌های نامطلوب را به خوبی منعکس می‌کنند(ساهو و همکاران، ۲۰۱۱). الگوی غیرشعاعی SBM و اسلک‌های آن مبنای بسیاری از مطالعات نظری و تجربی بعدی قرار گرفته و سایر مدل‌ها نیز با گسترش آن و ترکیب با مدل‌های قبلی بیان شده‌اند. در مطالعه حاضر نیز به دلیل محبوبیت الگوی مستقیم

1. Tone
2. Slack-Based Measure
3. Slackness
4. Zhou and Ang

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

SBM و همچنین ویژگی‌هایی مانند غیرشعاعی و بی‌ماهیت بودن آن از این الگو استفاده شده است.

۲-۲. عوامل مؤثر بر کارایی

۲-۲-۱. عوامل درون‌زا

پس از دهه ۹۰ میلادی و وارد شدن ستاده نامطلوب به ارزیابی کارایی بنگاه‌ها، همواره نقش متغیرهای مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی و انتشار آلاینده‌ها-به عنوان فرآیند جانبی تولید- مورد بحث بوده است. نخست متغیرهای مرتبط با ویژگی نیروگاه‌ها یعنی متغیرهای درونزا به عنوان عوامل اثرگذار بر کارایی شرکت‌های برق معرفی شدند. در مطالعات تجربی داخلی و خارجی همانند ساریکا و اور[1](۲۰۰۷)، وی و همکاران[2] (۲۰۱۳)، دو و مائو[3](۲۰۱۵) و متفکرآزاد و همکاران(۱۳۹۳) اثر انواع متغیرهای درونزا بر کارایی بررسی شده است. از جمله متغیرهای درونزا مهم می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- **نرخ برق تولیدی توسط نیروگاه‌های حرارتی:** شرکت‌هایی که نیروگاه‌های حرارتی بیشتری دارند و برق آن‌ها غالباً از نیروگاه‌های حرارتی تأمین می‌شود شانس بیشتری برای افزایش کارایی خود دارند. کاهش انتشار کربن دی اکسید در این شرکت‌ها در وسعت بیشتری امکان‌پذیر بوده و نیازمند تکنولوژی پیشرفته‌تری هستند. از سوی دیگر نامتوازن بودن ترکیب نیروگاه‌ها سبب افت بهره‌وری کل عوامل تولید و آسیب به محیط زندگی انسان می‌شود(ژی وهمکاران، ۲۰۱۴).
- **اندازه شرکت:** بر اساس ادبیات نظری، اندازه شرکت می‌تواند اثر مثبتی بر کارایی داشته باشد و افزایش تجهیزات نیروگاه‌ها سبب صرفه‌جویی در هزینه سوخت نیروگاه‌ها می‌شود (باروس و آنتونس[4]، ۲۰۱۱). از طرفی دیگر بعضی از صاحب‌نظران همانند ساریکا و اور (۲۰۰۷)، دو و مائو (۲۰۱۵)، وی وهمکاران

1. Sarica and Or
2. Wei et al.
3. Du and Mao
4. Barros and Antunes

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

(۲۰۱۳) باور دارند که مشکلاتی از قبیل ناهماهنگی، سوء مدیریت و نگهداری از نیروگاه مرتبط با افزایش اندازه نیروگاه است.

- **نرخ بهره‌وری:** نرخ پایین بهره‌برداری از ظرفیت به مفهوم بلااستفاده ماندن برخی از ژنراتورها و تجهیزات نیروگاه است که این خود نیز هزینه‌های اضافی تعمیر و نگهداری و کارایی پایین را به دنبال خواهد داشت (متفکر آزاد و همکاران،۱۳۹۳). همچنین راه‌اندازی و خاموش کردن مکرر تجهیزات تولید برق، مصرف انرژی نیروگاه و انتشار آلاینده ها را بالا می‌برد و کارایی را کاهش می‌دهد (هیبرت[1]، ۲۰۰۲). بنابراین انتظار می‌رود که کارایی و نرخ بهره‌وری رابطه مثبت با یکدیگر داشته باشند.
- **نوع سوخت مصرفی:** یکی از متغیرهای درونزایی که در ادبیات موضوع کاربرد فراوانی دارد نوع سوخت مصرفی نیروگاه‌ها است. این متغیر در واقع ساختار سوخت مصرفی نیروگاه‌ها را نشان می‌دهد. از آنجا که یک شرکت برق دارای نیروگاه‌های حرارتی مختلفی است از چندین سوخت در نیروگاه‌های خود استفاده می‌کند. این سوخت‌ها با توجه به ماهیت خود مقدار آلایندگی متفاوتی دارند و تغییر سهم هر کدام از آن‌ها در کل سوخت مصرفی می‌تواند بر کارایی زیست‌محیطی شرکت‌ها تاثیرگذار باشد[2]. در بیشتر مطالعات انجام شده، همانند کوک فونگ سی و کوئلی[3] (۲۰۱۲) و وی و همکاران (۲۰۱۳)، به تاثیر منفی سوخت‌های سنگین و با آلایندگی بیشتر بر کارایی اشاره شده است و کارایی آن‌ها را کمتر از سوخت‌های سبک دانسته‌اند.
- **دریافت برق:** ترانزیت برق وارداتی و دریافت برق از شرکت‌های همجوار، محدودیت انتقال برق و افزایش تلفات شبکه انتقال را برای برق منطقه‌ای دریافت

1. Hiebert

۲. به طور مثال ژانگ (۲۰۰۰) بیان می‌کند که در شرایط مشابه مقدار انتشار کربن دی اکسید از نیروگاه‌های با سوخت زغال‌سنگ ۱/۶ برابر مقدار منتشر شده از نیروگاه‌های گازسوز و ۱/۲ برابر مقدار انتشار نیروگاه‌های با سوخت نفت است.

3. Kok Fong See and Coelli

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

کننده ایجاد می‌نماید. همچنین افزایش واردات در ساعات پیک به دلیل افزایش تقاضا و به طبع آن افزایش واردات در ساعات غیرپیک سبب بروز محدودیت انتقال در شرکت‌های دریافت کننده برق برون مرزی می‌شود. در این وضعیت، تولید نیروگاه‌ها و به طبع آن درآمد فروش شرکت‌های برق منطقه‌ای همجوار کاهش می‌یابد و در نهایت از رقابت‌پذیری بازار کاسته می‌شود (رجبی و همکاران، ۱۳۸۴).

- **ارسال برق:** با افزایش ارسال برق به شرکت‌های مجاور و یا صادرات برق به کشورهای همسایه سطح دسترسی شرکت‌های برق به بازارهای داخلی و خارجی گسترش یافته و در نتیجه تولید به سطح بالاتری می‌رسد. این امر باعث کاهش بهای تمام شده تولید برق و دستیابی به نرخ‌های سود بالاتر می‌شود. با افزایش تولید و کاهش توأم هزینه‌ها، درآمد شرکت صادرکننده افزایش یافته و انگیزه لازم برای افزایش رقابت در بازارهای داخلی و خارجی ایجاد می‌شود.

محققانی مانند جلیل و محمود[1](۲۰۰۹)، انگ[2] (۲۰۰۹) و دو و همکاران[3] (۲۰۱۲) اثر متغیرهای ارسال و دریافت برق را بر کارایی ارزیابی نموده‌اند اما نتایج متفاوتی به دست آورده‌اند.

- **اعطای یارانه‌های دولتی:** اعطای یارانه‌های دولتی به شرکت‌های برق سبب تشویق آن‌ها برای افزایش تولید برق و کاهش خاموشی‌ها در ساعت‌های پیک می‌شود. با افزایش یارانه‌های دریافتی شرکت‌های برق سعی در تولید برق به اندازه‌ای بیشتر از ظرفیت خود می‌کنند (دو و مائو، ۲۰۱۵). محققانی مانند لین و جیانگ[4] (۲۰۱۱)، ژو[5] (۲۰۱۱) و دو و مائو (۲۰۱۵) اثر اعطای یارانه‌های دولتی را

1. Jalil and Mahmud
2. Ang
3. Du et al.
4. Lin and Jiang
5. Xu

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

بر کارایی شرکت‌های برق ارزیابی نموده‌اند. با توجه به نتایج مطالعات قبلی انتظار می‌رود که با آزادسازی قیمت‌ها کارایی کاهش یابد.

۲-۲-۲. عوامل برون‌زا

پس از بررسی متغیرهای مختص نیروگاه‌ها محققان بر آن شدند که همانند کارایی فنی اثر متغیرهای برون‌زا را نیز بر کارایی زیست‌محیطی برآورد کنند. بنابراین دسته دوم از ادبیات نظری متغیرهای اثرگذار بر کارایی زیست‌محیطی کاربرد متغیرهای برونزا در کنار متغیرهای درون‌زا است. از جمله محققانی که به بیان مبانی اثر متغیرهای برون‌زا پرداختند می‌توان به دو و همکاران (۲۰۱۳)، ژانگ و همکاران[1] (۲۰۱۴) و ژی و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد. اهم متغیرهای برون‌زا و کلان اثرگذار بر کارایی زیست‌محیطی عبارتند از: تولید ناخالص داخلی، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه، جمعیت، نرخ شهرنشینی، موقعیت جغرافیایی، میزان مصرف انرژی، تنظیم مقررات، اصلاحات صورت گرفته در بازار برق[2] و.....

در این تحقیق به دلیل کاربرد فراوان متغیرهای درون‌زا در مطالعات خارجی و کمبود مطالعه داخلی صورت گرفته در این زمینه (بنا به دانش محققان)، اثر مهم‌ترین عوامل درون‌زا بر کارایی زیست‌محیطی ارزیابی می‌شود.

۳. پیشینه تجربی

۳-۱. مطالعات داخلی

سخنور و همکاران (۱۳۹۰) شرکت‌های توزیع برق ایران را برحسب چگالی مدار به دو گروه دارای چگالی مدار پایین (گروه۱) و بالا(گروه۲) تقسیم بندی کردند و سپس با استفاده ازتحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای به ارزیابی کارایی آنها پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین کارایی پنجره‌ای گروه‌های ۱ و ۲ با توجه به فرامرز تحت هر دو فرض

1. Zhang et al.

۲. برای کسب جزئیات بیشتر در خصوص اثر متغیرهای برونزا و نیز سایر متغیرها بر کارایی به باروس و پیپک(۲۰۰۷)، ژی و همکاران(۲۰۱۴) و ژائو و همکاران(۲۰۱۵) رجوع کنید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

بازدهی ثابت و متغیر نسبت به مقیاس به ترتیب روند صعودی و نزولی دارد و میانگین کارایی پنجره‌ای شرکت‌های گروه ۲ در همه پنجره‌ها بالاتر از گروه ۱ است. شرکت‌های توزیع برق شهرستان شیراز، گلستان ومازندران درگروه ۲ عملکرد نامناسبی با توجه به فرامرز و مرز گروهی دارند. همچنین عملکرد شرکت‌های دارای چگالی مدار بالاتر شکاف کمتری با عملکرد بالقوه برتر فرامرز دارد. تحلیل عوامل مؤثر بر کارایی نشان می دهد که افزایش ضریب بار شبکه باعث کاهش کارایی و افزایش ضریب بار ترانسفورماتور باعث افزایش کارایی در بلندمدت می‌شود. خصوصی‌سازی در کوتاه‌مدت دارای اثر معنی‌داری بر کارایی نبوده است اما در بلندمدت اثر مثبت معنی‌داری دارد.

فلاحی و همکاران (۱۳۹۰) ابتدا با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها کارایی فنی شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران را در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ محاسبه کردند. سپس با استفاده از الگوی اثرات تصادفی میزان اثرگذاری عوامل مؤثر بر کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای را با تأکید بر فناوری اطلاعات برآورد کردند. نتایج نشان می‌دهد که طول خطوط فشار قوی و متوسط و ظرفیت انتقال رابطه مثبت با کارایی و میزان تحصیلات کارکنان و انرژی الکتریکی تحویلی از بخش انتقال تأثیر معنی داری بر مقادیر کارایی شرکت‌ها ندارند. در مورد فناوری اطلاعات، هزینه‌های مربوط به بخش خرید، تعمیر و نگهداری سخت افزارها و نیز مخارج مربوط به بخش راه‌اندازی GIS، مشاوره و پشتیبانی بخش فناوری اطلاعات اثر مثبتی بر کارایی شرکت ها دارند. همچنین مخارج مربوط به بخش نرم افزارهای فنی، سیستم اتوماسیون اداری و بخش اینترنت و شبکه رایانه‌ای تأثیری بر کارایی ندارد.

رضایی(۱۳۹۲) کارایی و بهره‌وری ۳۸ شرکت توزیع برق کشور را با استفاده از مدل مازادمبنا (SBM) و مدل‌های ابرکارایی[1] در دوره زمانی۱۳۸۷-۱۳۹۰محاسبه کرده است. براساس نتایج، بهترین عملکرد را شرکت‌های توزیع برق تبریز، اهواز و خراسان جنوبی

1. Super Efficiency

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

داشته‌اند. برای آزمون اهمیت تلفات توزیع بر مقادیر کارایی از آزمون‌های آماری استفاده شده و نتایج آن حاکی از وجود تفاوت معناداری بین مقادیر اَبرکارایی قبل و بعد از لحاظ کردن تلفات است. طبق نتایج به دست آمده متوسط بهره‌وری مجموعه شرکت‌های توزیع در دوره مورد بررسی چهار درصد کاهش یافته است. برای بررسی عوامل موثر بر کارایی، با استفاده از تحلیل‌های اقتصادسنجی، نشان می‌دهند که میزان تلفات، چگالی شبکه و ضریب بار ترانسفورماتور از عوامل مهم و اثرگذار روی اَبرکارایی هستند.

متفکر آزاد و همکاران (۱۳۹۳) به محاسبه سطح کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی ایران طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ و بررسی عوامل مؤثر بر کارایی این نیروگاه‌ها پرداختند. مدل مورد استفاده آن‌ها، رهیافت تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها (StoNED) است. نتایج نشان دادند که اندازه و نرخ بهره‌برداری از ظرفیت، اثر مثبت و عمر نیروگاه تأثیر منفی در کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی دارد و نیروگاه‌های با سوخت گاز از کارایی بالاتری برخوردار بودند. همچنین تجدید ساختار بازار برق در سال ۱۳۸۲ اثر مثبت بر کارایی داشته است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشتر مطالعات داخلی به ارزیابی کارایی فنی نیروگاه‌ها و عوامل مؤثر بر آن پرداخته‌اند. تحلیل عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی-کارایی در حضور ستاده نامطلوب- موضوعی است که تاکنون کمتر به آن توجه شده است. همچنین نقش متغیرهای کلان صنعت برق همانند صادرات و واردات برق در اکثر مطالعات مورد ارزیابی قرار نگرفته است. با توجه به دوره‌های زمانی مطالعات صورت گرفته، از یک مدل پویا برای سنجش کارایی استفاده نشده است و نمرات کارایی در هر سال مستقل از سال‌های دیگر محاسبه شده است. در گام دوم نیز تنها از مدل توبیت استفاده شده و نتایج سایر مدل‌ها کمتر مورد بحث قرار گرفته است. در نتیجه نیاز به تحقیقات گسترده‌تر در خصوص تحلیل نتایج کارایی زیست‌محیطی و عوامل اثرگذار در ایران بیش از پیش احساس می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

۳-۲. مطالعات خارجی

تاسکین و زایم[1](۲۰۰۱) مبادرت به بررسی نقش تجارت بین‌الملل بر کارایی زیست‌محیطی کردند. آنها در مرحله اول با استفاده از الگوی ناپارامتریک هایپربولیک[2] کارایی زیست‌محیطی سه گروه از کشورها(پردرآمد، درآمد متوسط و کم درآمد) را در سال‌های ۱۹۷۷، ۱۹۸۰، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰ محاسبه کرده و در مرحله دوم نقش تجارت را در تغییرات کارایی زیست محیطی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که علاوه بر درآمد سرانه (نشان‌دهنده وجود منحنی کوزتس[3] زیست محیطی) متغیرهای مرتبط با تجارت مانند ترکیب تجارت، سهم صنایع آلاینده در صادرات و درجه آزادی کشور نقش مهمی در کارایی زیست‌محیطی دارد.

سویوشی و همکاران(۲۰۱۰) ابتدا کارایی فنی صنایع تولیدی ژاپن را با استفاده از مدل بُرد تنظیم شده[4] (RAM) و در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ محاسبه نمودند. سپس آن‌ها در گام دوم با استفاده از مدل توبیت اثرات متغیرهای مهم را بر کارایی فنی صنایع مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بیانگر نقش مهم متغیرهای ثبات سهام صنایع در بورس توکیو و سرمایه گذاری خارجی در تشریح کارایی فنی بود. بنابراین راهکار ارائه شده برای بهبود کارایی، افزایش سرمایه‌گذاری خارجی از طریق جذب سرمایه‌گذار و برقراری تعادل بین سهم‌های قبلی و سهم‌های ایجاد شده توسط سرمایه‌گذاران جدید است.

هانگ وو و همکاران[5](۲۰۱۱) به بررسی اثر چند متغیر اقتصادی بر کارایی انرژی شهر تیانجین در بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸

پرداختند. کارایی انرژی با استفاده از مدل CCR محاسبه شده و از رگرسیون توبیت برای تخمین اثر متغیرها استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که متغیرهایی مانند ساختار اقتصادی، پیشرفت تکنولوژی، عوامل سازمانی، قدرت دولت و درجه باز بودن تجاری بر کارایی تأثیرگذار هستند.

1. Taskin and Zaim
2. Hyperbolic
3. Kuznets
4. Range Adjusted Measure
5. Hongwu et al.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

سانگ و همکاران[1](۲۰۱۳) اقدام به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی زیست‌محیطی ۳۰ منطقه از کشور چین کردند. بازه زمانی انتخاب شده آن‌ها ۲۰۰۲-۲۰۱۰ است. آن‌ها برای محاسبه کارایی زیست محیطی از مدل SBM استفاده نمودند و سپس برای بررسی اثر متغیرهای مورد نظر از پانل اثرات ثابت[2] بهره جستند. نتایج نشان داد که در کل، کارایی زیست محیطی۳۰ منطقه پایین هست و متغیرهای نرخ رشد صادرات، نرخ رشد صنعتی شدن و عدم تمرکز مالی[3] اثر معناداری بر کارایی دارند. همچنین در این تحقیق برای بیان تفاوت بین مناطق؛ اثر متغیرهای صادرات، واردات، سرانه GDP، سطح صنعتی شدن و عدم تمرکز مالی بر هر منطقه به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

ژو و همکاران[4](۲۰۱۳) به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی صنعت برق چین در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۰ و با استفاده از مدل SBM وزنی پرداختند. کارایی در بین استان‌ها متفاوت و روند کلی صنعت برق در راستای افزایش کارایی بود. آن‌ها سپس اثر نسبت برق تولید شده از نیروگاه‌های زغال سنگ و سرمایه گذاری در صنایع آلاینده و تخلیه ضایعات را بر کارایی زیست‌محیطی با استفاده از پانل توبیت بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که نسبت برق تولیدی اثر مثبت و سرمایه‌گذاری در صنایع آلاینده اثر منفی بر کارایی داشته است.

ژی و همکاران (۲۰۱۴) در گام اول بهره‌وری زیست‌محیطی کل(TFP) را با استفاده از شاخص مالم کوئیست[5] و مدل SBM برای ۲۶ کشور عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی(OECD) و گروه بریک[6](BRIC) در بازه زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ محاسبه کردند. سپس در گام دوم به تجزیه عوامل مؤثر بر بهره‌وری کل پرداختند. نتایج نشان داد که متغیرهایی مانند تغییر نوع سوخت مورد استفاده، پیشرفت فناوری، وضعیت اقتصادی و تغییرات قیمت انرژی اثر معناداری بر بهره‌وری داشتند. متغیرهای برونزایی مانند سهم

1. Song et al.
2. Fixed Effect
3. Fiscal Decentralization
4. Zhou et al.
5. Malmquist

۶. گروه BRIC شامل کشورهای برزیل، روسیه، هند و چین است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

نیروگاه‌های حرارتی، سهم صنایع ثانویه و GDP سرانه اثر منفی و سرمایه‌گذاری در حوزه R&Dاثر مثبت بر بهره‌وری کل داشته است.

ژائو و همکاران[1](۲۰۱۵) به بررسی اثر مقررات زیست‌محیطی بر افزایش کارایی زیست‌محیطی و کاهش انتشار CO_2 در ۱۳۷ نیروگاه چین پرداختند. دوره زمانی مورد مطالعه آن‌ها سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ است. آن‌ها اثر سه دسته از قوانین را بر کارایی بررسی نمودند که عبارتند از : ۱- قوانین کنترل و فرمان دهی[2] ۲- قوانین مختص بازار[3] ۳- یارانه های دولتی[4]. نتایج حاکی از آن است که قوانین بازار و یارانه‌های دولت اثر مثبت بر افزایش کارایی و کاهش انتشار CO_2 دارد اما قوانین کنترل و فرماندهی اثر معناداری ندارد. بنابراین نیاز به تقویت قوانین بازار احساس می‌شود.

همچنین در مطالعات دیگری مانند لی و همکاران[5](۲۰۱۳)، جو لی و همکاران[6] (۲۰۱۳) و سانگ و همکاران(۲۰۱۳)، با استفاده از مدل‌های SBM و رگرسیون توبیت، اثر متغیرهای کلان اقتصادی بر کارایی زیست‌محیطی ارزیابی شده است.

٤. روش تحقیق

در این بخش ابتدا به معرفی داده‌ها و روش‌های گردآوری آن‌ها و سپس به بیان مدل مورد استفاده در تحقیق پرداخته می‌شود.

٤-١. پایگاه داده‌ها

در این تحقیق با توجه به مبانی نظری بیان شده، در گام اول به اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ پرداخته می‌شود[7]. علت انتخاب این بازه زمانی تغییر ساختار بازار برق در سال ۱۳۸۳ و رقابتی‌تر شدن صنعت برق در این دوران است. هر واحد تصمیم گیرنده[8] (DMU) یک شرکت برق منطقه‌ای از

1. Zhao et al.
2. Command and Control
3. Market-based
4. Government Subsidies
5. Li et al.
6. Guo-Li et al.

۷. برای اندازه گیری مقدار کارایی از نرم افزار GAMS 24.5استفاده شده است.

8. Decision Making Units

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

مجموع ۱۴ شرکت برق منطقه‌ای در نظر گرفته شده است[۱]. از سه نهاده و یک ستاده مطلوب و یک ستاده نامطلوب استفاده شده است. نهاده‌ها به دو گروه انرژی و غیر انرژی تقسیم شده‌اند. نهاده انرژی، سوخت مصرفی (شامل گازوئیل، گاز و نفت کوره) با واحد میلیارد کیلوکالری است. نهاده‌های غیر انرژی به دو دسته ظرفیت نامی (به عنوان جایگزین متغیر سرمایه) با واحد مگاوات و نیروی انسانی با واحد نفر تقسیم می‌شوند. ستاده مطلوب، تولید ناویژه برق[۲] در نیروگاه‌های حرارتی شرکت‌های برق منطقه‌ای با واحد میلیون کیلووات ساعت است. ستاده نامطلوب نیز انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت در نیروگاه‌های حرارتی است که با واحد هزار تن معرفی شده است.

نیروگاه‌های حرارتی از سوخت‌های فسیلی که اشاره شد برای تولید برق استفاده می‌کنند. در واقع نیروگاه‌های حرارتی که اکثریت نیروگاه‌های کشور را شامل می‌شوند به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی و تجدیدناپذیر باعث انتشار آلاینده‌های مضر مانند CO_2 می‌شوند. بنابراین تمرکز اصلی بر نیروگاه‌های حرارتی و ارزیابی کارایی آن ها قرار داده شده است. تمام داده‌های مورد استفاده برای محاسبه کارایی از آمار تفصیلی صنعت برق و سایت آماری سازمان توانیر[۳] استخراج شده است. میزان انتشار گاز دی اکسید کربن با استفاده از شاخص انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش نیروگاهی کشور[۴] و بر مبنای مقدار برق تولیدی شرکت‌ها محاسبه شده است. در پایان جدول۱-۱ در پیوست (الف) خلاصه آماره‌های نهاده‌ها و ستاده‌های مورد استفاده در تحقیق را در بازه زمانی مورد نظر نشان می‌دهد.

در گام دوم از ۷ متغیر درونزا تأثیرگذار بر کارایی استفاده شده است[۵] که عبارتند از: نسبت برق تولید شده از نیروگاه‌های حرارتی به کل تولید برق، نوع سوخت مصرفی، نرخ بهره‌وری، اندازه شرکت برق منطقه‌ای، دریافت برق، ارسال برق و متغیر مجازی آزادسازی

---

۱ . به دلیل عدم دسترسی کامل به داده های شرکت های برق منطقه ای سمنان و زنجان این شرکت ها از لیست ارزیابی خارج شده اند.

۲. تولید ناویژه برق شامل برق تولیدی برای انواع مصارف کشاورزی، خانگی، صنعتی و ... همراه با مصرف داخلی نیروگاه‌ها است.

3. http://amar.tavanir.org.ir

۴. این شاخص در ترازنامه انرژی گزارش شده است

۵. برای تخمین رگرسیون های گام دوم از نرم افزار STATA ver.10 STATA Corp LP استفاده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

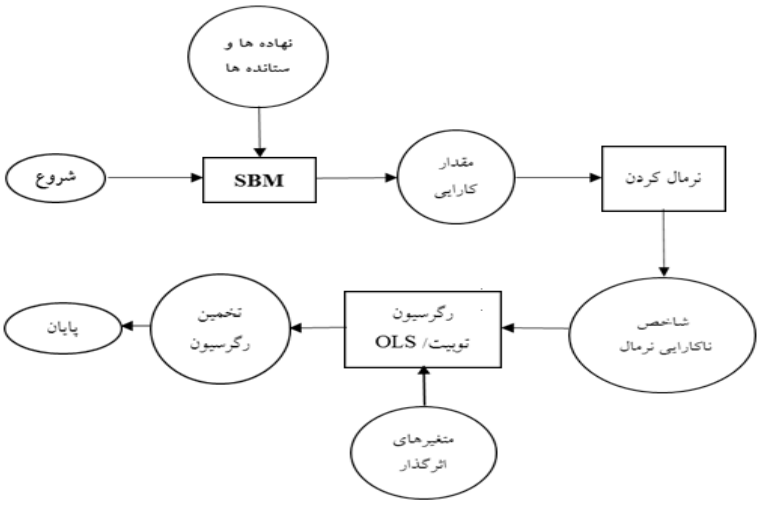
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]

[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

قیمت حامل‌های انرژی. مقادیر آماره‌های توصیفی متغیرهای مذکور در جدول۱-۲ از پیوست (الف) گزارش شده است. متغیر نوع سوخت مصرفی، سهم برق حرارتی و نرخ بهره‌وری نشان دهنده ساختار نیروگاه مورد استفاده و وضعیت تکنولوژیکی، اندازه شرکت برق با توجه به وسعت منطقه و تعداد مشترکین تحت پوشش نشان دهنده ویژگی منطقه‌ای و دو متغیر ارسال و دریافت انرژی بیانگر خصوصیت تجارت انرژی شرکت‌های برق منطقه‌ای است. متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی نیز مبین ویژگی‌های زمانی و ساختاری بازه تحقیق است. داده‌های تمام متغیرهای استفاده شده، از سایت آماری سازمان توانیر گردآوری شده است.

٤-۲. مدل تحقیق

ساختار الگوی دو مرحله‌ای تحلیل عوامل مؤثر بر کارایی شرکت‌های برق در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ابتدا با استفاده از نهاده‌ها و ستاده‌های مورد نظر، مدل SBM ارزیابی و نمرات کارایی زیست محیطی بدست می‌آید. سپس در گام دوم تحلیل اقتصادسنجی عوامل اثرگذار بر کارایی توسط دو رگرسیون توبیت و OLS انجام می‌شود.



شکل۱. روند محاسباتی الگوریتم دو مرحله‌ای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

٤-۲-۱. اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی

مدل مازاد مبنا (SBM) یک روش پرکاربرد در حل مسائل است که اولین بار توسط تن(۲۰۰۱) معرفی گردید. این الگو متفاوت از مدل های سنتی مانند CCR و BCC است که فرض می‌کنند تغییرات در بردارهای نهاده‌ها و ستاده‌ها متناسب است. بنابراین مدل SBM یک مدل غیرشعاعی است که مستقیماً با مازاد[1] نهاده‌ها و کمبود[2] ستاده‌ها سر و کار دارد. این مدل دارای ویژگی پایداری نسبت به واحدهای انتخاب شده[3] است و مازادها و کمبودهای هر نهاده یا ستاده به طور یکنواخت افزایش می‌یابد. در این مدل امکان در نظر گرفتن هر دو ستاده مطلوب و نامطلوب و همچنین رتبه‌بندی بنگاه‌هایی که در مدل‌های سنتی کارایی آن برابر با یک است نیز وجود دارد. بنابراین با توجه به ویژگی‌های مدل SBM و کاربرد آن در مسائل زیست‌محیطی، در این تحقیق نیز از این مدل استفاده شده است.

با فرض وجود n واحد تصمیم گیرنده (j=1, . . .,n) هر واحد تصمیم گیرنده دارای چهار شاخص نهاده غیر انرژی، نهاده انرژی، ستاده مطلوب و ستاده نامطلوب است. در جدول ۱ چهار شاخص فوق به همراه نحوه نمایش آن‌ها نشان داده شده است.

جدول۱. متغیرهای استفاده شده در گام اول

شاخص	نماد	متغیر
نهاده غیرانرژی	x_{ij}	ظرفیت نصب شده
		نیروی کار
نهاده انرژی	e_{qj}	سوخت مصرفی
ستاده مطلوب	g_{rj}	تولید برق
ستاده نامطلوب	b_{fj}	انتشار کربن دی اکسید

فرض می‌شود که مقادیر کارایی بین صفر تا یک است و تکنولوژی تحت بازده ثابت به مقیاس[4] (CRS) است[1]. یک شرکت برق منطقه‌ای زمانی کاراست که در حضور ستاده

1. Excess
2. Shortfall
3. Unit Invariant
4. Constant Return to Scale

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

نامطلوب هیچ بردار $(x , e , g , b) \epsilon \hat{S}$ وجود نداشته باشد به طوری که $x_{ik} \geq x$ ، $e_{qk} \geq e$ ، $g_{rk} \leq g$ و $b_{fk} \geq b$ و حداقل یکی از نامساوی ها به‌طور اکید باشد. بنابراین مدل SBM مورد نظر به صورت ذیل بیان می‌شود:

$$\tau^* = \text{Min}\left\{t - \frac{1}{p}\sum_{q=1}^{p}\frac{S_q}{e_{qk}}\right\}$$

$$\text{s.t.} \quad 1 = t + \frac{1}{s+h}\left(\sum_{r=1}^{s}\frac{S_r}{g_{rk}} + \sum_{f=1}^{h}\frac{S_f}{b_{fk}}\right)$$

$$x_{ik}t = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\Lambda_j + S_i \qquad (i=1, \ldots ,m),$$

$$e_{qk}t = \sum_{j=1}^{n} e_{qj}\Lambda_j + S_q \qquad (q=1, \ldots ,p),$$

$$g_{rk}t = \sum_{j=1}^{n} g_{rj}\Lambda_j - S_r \qquad (r=1, \ldots ,s),$$

$$b_{fk}t = \sum_{j=1}^{n} b_{fj}\Lambda_j + S_f \qquad (f=1, \ldots ,h),$$

$$\Lambda_j \geq 0 \ (j=1, \ldots ,n) \quad , \quad S_i \geq 0 , S_q \geq 0 , S_r \geq 0 , \quad S_f \geq 0 , t > 0 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) اندیس j نشان دهنده شماره شرکت، i، q، r و f به ترتیب نشان دهنده نوع متغیر نهاده غیرانرژی، نهاده انرژی، ستاده مطلوب و ستاده نامطلوب هستند[۲].

٤-۲-۲. ساخت مرز تولید

در ادبیات DEA سه نوع مرز برای ارزیابی کارایی داده‌های ترکیبی[۳] بیان شده است. اولین و مشهورترین آن ها مرز مقارن (یا همزمان)[۴] است. در این حالت مرز هر سال تنها توسط داده‌های همان سال ایجاد می‌شود. نوع دوم مرز ترتیبی (یا متوالی)[۵] است که مرز هر

---

۱. علت انتخاب فرض بازدهی ثابت، کاربرد آن در مطالعات تجربی کارایی در بخش تولید برق کشور است (همانند مطالعات آماده و رضایی، ۱۳۹۰؛ متفکر آزاد و همکاران، ۱۳۹۳). علاوه بر این با توجه به این که متغیرهای مازاد قید ستاده مطلوب (تولید برق) در کلیه سال‌ها برای تمام شرکت‌ها صفر است صنعت برق در مقیاس بهینه تولید قرار دارد و امکان مقایسه تمام شرکت ها با هم فراهم است. همچنین برای حصول اطمینان بیشتر در این مطالعه، از آزمون پیشنهادی سیمر و ویلسون (۲۰۰۲) برای انتخاب بازدهی ثابت یا متغیر به مقیاس استفاده شد. فرضیه صفر این آزمون بیانگر بازدهی ثابت به مقیاس بوده و هر چه آماره آزمون برآوردی به یک نزدیک‌تر باشد نشانگر مناسب بودن بازدهی ثابت به مقیاس است. نتایج این آزمون در هر سال به تفکیک و کل بازه زمانی تحقیق مقدار آماره مورد بررسی بالاتر از ۰/۹۰ و نزدیک به یک برآورد شد بنابراین فرضیه بازدهی ثابت به مقیاس در بخش تولید برق را نمی‌توان رد کرد.

۲. مدل (۱) بدون ماهیت در نظر گرفته شده است. در واقع همزمان به دنبال کاهش نهاده‌ها و ستاده نامطلوب و افزایش ستاده مطلوب است. این فرض مطابق با واقعیت‌ها و سیاست‌های صنعت برق و صنایع انرژی‌بر کشور است (آماده و رضایی، ۱۳۹۰ و شهیکی‌تاش و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین در سیاست پایش زیست‌محیطی نیروگاه‌های کشور تأکید همزمان بر کمینه کردن استفاده از سوخت‌های فسیلی و انتشار آلاینده‌ها و بیشینه نمودن تولید برق شده است.

3. Panel data
4. Contemporaneous
5. Sequential

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

سال توسط داده‌های آن سال و سال‌های قبل از آن ساخته می‌شود. نوع سوم مرز بین زمانی[1] است که مرز بر اساس تمام مشاهدات کل بازه زمانی ساخته می‌شود. بنابر هدف این تحقیق و پیشرفت گسترده صنایع برق جهان و بهبود تکنولوژی در سال‌های اخیر مرز ترتیبی شرایط مناسبی برای تحلیل صنعت برق ارائه می‌دهد. نوع ترتیبی بیان می‌کند که مجموعه امکان تولید در هر سال تنها می‌تواند توسعه یابد و هرگونه پسرفت فنی در قالب ناکارایی جریمه می‌شود[2].

٤-۲-۳. مدل‌سازی عوامل موثر بر کارایی

- **رگرسیون توبیت**

رایج‌ترین رگرسیون برای بررسی اثرات متغیرها بر مقادیر کارایی، رگرسیون توبیت است. رگرسیون توبیت به هنگامی که متغیر وابسته با احتمال مثبت از سمت چپ یا راست و یا هر دو سمت محدود شده و در نقاط انتهایی سانسور[3] شده باشد و یا دارای جواب گوشه‌ای[4] باشد به کار برده می‌شود (ولدریج[5]، ۲۰۰۲). مقادیر کارایی نیز چون محدود به بازه [۰,۱] هستند بنابراین با احتمال مثبت تنها می‌توانند یکی از جواب‌های گوشه‌ای را داشته باشند.

در این تحقیق از رویکرد سویوشی و همکاران (۲۰۱۰) استفاده می‌شود که بین گام اول و گام دوم (مدل توبیت) مقادیر کارایی توسط یک تبدیل نرمال می‌شوند. تبدیل مورد نظر برابر با IE= (۱/DEA)-۱ است. DEA نمره کارایی و IE شاخص ناکارایی نرمال[6] را نشان می‌دهند. به سبب این که در رگرسیون توبیت متغیر وابسته باید دارای توزیع نرمال باشد؛ گرین[7] (۲۰۱۱) پیشنهاد کرد که متغیر وابسته در نقطه صفر سانسور شود. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود در سمت چپ، مقادیر کارایی DEA- که بین صفر تا یک توزیع شده‌اند- نشان داده شده است. در شرایط عادی امکان استفاده از رگرسیون توبیت برای

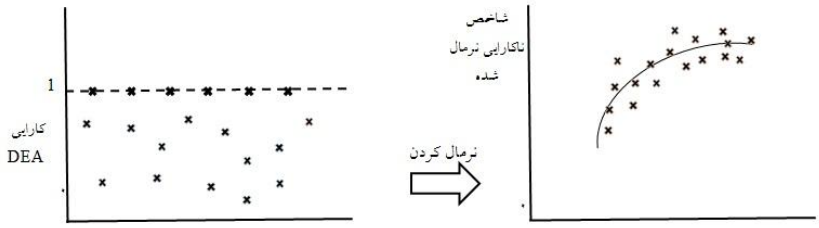
1. Intertemporal

۲. برای مطالعه جزئیات بیشتر درباره انواع مختلف مرزهای DEA به تالکنز و وندن اسکات، ۱۹۹۵ رجوع کنید.

3. Censored
4. Corner Solution
5. Wooldridge
6. Normalized Inefficiency Index
7. Greene

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

ارزیابی اثرات عوامل مختلف بر کارایی نیست زیرا کارایی در مقدار یک سانسور شده است و بالاتر از آن نمی‌تواند توزیع شود (سویوشی و همکاران، ۲۰۱۰). پس از نرمال سازی، مقادیر کارایی تبدیل به شاخص ناکارایی (IE) شده و در فاصله $[0,\infty]$ توزیع می‌شود. در حالت جدید شاخص ناکارایی (IE) در نقطه صفر سانسور شده و مقدار صفر بیانگر وضعیت کارا در مدل DEA است. در نتیجه با استفاده از شاخص ناکارایی نرمال شده امکان استفاده از رگرسیون توبیت در گام دوم فراهم می‌شود.



شکل۲. نرمال سازی نمرات کارایی. سمت چپ نشان دهنده وضعیت کارایی در حالت عادی در بازه [۰,۱]است و سمت راست شاخص ناکارایی نرمال است که با استفاده از تبدیلی که سویوشی و گوتو(۲۰۱۰) پیشنهاد نمودند بدست می‌آید.

مدل مورد نظر برای بررسی اثر متغیرهای توضیحی بر کارایی زیست‌محیطی شرکت های برق منطقه‌ای به شکل پانل توبیت اثرات تصادفی[1] ذیل است که بر گرفته از مبانی نظری و تجربی موجود در زمینه کارایی است:

$$IE_{it} = \alpha_0 + \alpha_i + \beta_1(H_{it}) + \beta_2(G_{it}) + \beta_3(P_{it}) + \beta_4\ln(S_{it}) + \beta_5\ln(EX_{it}) + \beta_6\ln(IM_{it}) + \beta_7 Dum + \varepsilon_{it}; \quad t=1,\dots,T \qquad (۲)$$

جمله خطا(ε_{it}) تصادفی و دارای توزیع مستقل و یکسان $N(0,\sigma_e^2)$ است. α_0 و α_i به ترتیب جملات ثابت غیرتصادفی و اثرات ناهمگنی گروهی و ضرایب β_k بیانگر رابطه پویای بین کارایی زیست‌محیطی و متغیرهای توضیحی مدل است[2].

1. Random Effect

۲. برای مطالعه جزئیات بیشتر در خصوص پانل اثرات تصادفی رگرسیون توبیت به کامرون و تریودی(Cameron and Trivedi)، ۲۰۰۵ رجوع کنید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

به منظور پیش‌بینی رگرسیون توبیت($E(y|x)$)، مادالا[1] (۱۹۸۴) رابطه (۳) را برای محاسبه مقدار انتظاری رگرسیون توبیت پیشنهاد کرد:

$$E(y|x)=\sum \beta_k x_k \left[\Phi\left(\frac{1-\sum \beta_k x_k}{\sigma}\right)-\Phi\left(\frac{-\sum \beta_k x_k}{\sigma}\right)\right]+\sigma\left[\phi\left(\frac{-\sum \beta_k x_k}{\sigma}\right)-\phi\left(\frac{1-\sum \beta_k x_k}{\sigma}\right)\right]+\left[1-\Phi\left(\frac{1-\sum \beta_k x_k}{\sigma}\right)\right] \quad (۳)$$

که در آن ϕ تابع چگالی توزیع نرمال استاندارد و Φ تابع توزیع تجمعی است. رابطه (۳) به مانند یک تابع S شکل (لاجیت[2]) با حدهای ۰ و ۱ است(هوف[3]، ۲۰۰۷). اثبات رابطه (۳) در پیوست (ب) ارائه شده است.

متغیرهای توضیحی استفاده شده در رابطه(۲) در جدول۲ معرفی شده‌اند. جدول۲ شامل نام، واحدهای اندازه‌گیری و نحوه محاسبه متغیرهای استفاده شده در رابطه(۲) است.

جدول ۲. تشریح متغیرهای مؤثر بر کارایی

نماد مورد استفاده	نام متغیر	واحد اندازه‌گیری	نحوه محاسبه
H	نرخ برق حرارتی	درصد	نسبت برق تولید شده از نیروگاه های حرارتی به کل برق تولیدی
G	نوع سوخت مصرفی	درصد	نسبت گاز مصرف شده در کل سوخت مصرفی
P	نرخ بهره وری	درصد	نسبت ظرفیت عملی به ظرفیت نامی نیروگاه ها
S	اندازه شرکت	نفر	تعداد کارمندان
IM	دریافت برق	میلیون کیلووات ساعت	دریافت برق از شرکت های همجوار + دریافت برق برون مرزی
EX	ارسال برق	میلیون کیلووات ساعت	ارسال برق به شرکت های همجوار + ارسال برق برون مرزی
Dum	متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی	–	سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۳ برابر با یک و سال‌های قبل از ۱۳۸۹ برابر صفر در نظر گرفته شده است.

1. Maddala
2. Logit
3. Hoff

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

نرخ برق حرارتی (H): هر شرکت برق منطقه‌ای از چند نوع نیروگاه تشکیل شده است. علاوه بر نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه های تجدیدپذیر و هسته‌ای نیز تأمین‌کننده برق مورد نیاز کشور هستند. به جز دو شرکت هرمزگان و یزد که تنها نیروگاه‌های حرارتی وظیفه تأمین برق آن‌ها را برعهده دارند، بقیه شرکت‌ها از نیروگاه‌های تجدیدپذیر نیز استفاده نموده‌اند. مقدار این نسبت از ۰/۴ تا ۱ متغیر بوده است.

نوع سوخت مصرفی (G): با توجه به این که کلیه نیروگاه‌های شرکت‌های برق منطقه‌ای از سه سوخت گازوئیل، گاز و نفت کوره استفاده می‌کنند، نسبت گاز در کل سوخت مصرفی عددی بین صفر و یک و کمتر از یک است. با توجه به این که واحد انواع سوخت‌ها بر حسب انرژی حرارتی، به کیلوکالری تبدیل شده است؛ این نسبت بی‌واحد بوده و بر حسب درصد بیان می‌شود.

نرخ بهره‌وری (P): این متغیر مرتبط با نسبت ظرفیت نیروگاه‌ها در عمل بر ظرفیت اسمی آن‌ها است. با توجه به این که در کلیه تجهیزات ظرفیت عملی پایین تر از ظرفیت اسمی است این نسبت همواره کوچکتر از یک است.

اندازه شرکت (S): تعداد کارمندان شرکت‌های برق منطقه‌ای جایگزین متغیر اندازه شرکت شده است. به دلیل تحلیل کارایی بخش تولید شرکت‌های برق، تنها از تعداد کارمندان این بخش استفاده شده و واحد آن تعداد نفر است.

دریافت (IM) و ارسال برق (EX): هر شرکت برق منطقه‌ای بنا به نیاز و شرایط عرضه و تقاضا می‌تواند مقداری برق را از شرکت‌های مجاور خریداری و یا به آن‌ها بفروشد. شرکت‌های مرزی[1] می‌توانند به‌طور همزمان هم با شرکت‌های همجوار و هم با شرکت‌های کشورهای همسایه تبادل انرژی داشته باشند. بنابراین ارسال و دریافت برق در شرکت‌های برق به دو دسته داخلی و برون‌مرزی تقسیم می‌شود. واحد این دو متغیر نیز همانند ستاده مطلوب تولید برق، میلیون کیلووات ساعت است.

۱. شرکت‌هایی که نواحی تحت پوشش آنها استان‌های مرزی هستند. مانند شرکت برق منطقه‌ای خراسان که با کشورهای ترکمنستان و افغانستان تبادل انرژی دارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی (Dum): برای مجزا نمودن سال‌های پس از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی، از یک متغیر مجازی استفاده شده است. مقدار این متغیر از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۸۸ برابر با صفر و از سال ۱۳۸۹ به بعد، برابر با یک است.

توجه شود که برای سازگاری متغیرهای توضیحی فوق در رابطه (۲)، کلیه واحدها بر حسب درصد بیان می‌شوند. بنابراین از فرم لگاریتمی متغیرهای اندازه شرکت، ارسال و دریافت برق در کنار نسبت‌های برق حرارتی، میزان گاز مصرفی و بهره‌وری استفاده می‌شود.

- **رگرسیون OLS**

بر خلاف اکثر مطالعات دو مرحله‌ای که از رگرسیون توبیت برای تحلیل کارایی استفاده شده، در مقالاتی مانند هوف (۲۰۰۶)، مک دونالد[1] (۲۰۰۹)، بنکر و ناتاراجن[2] (۲۰۰۹) و نارا و همکاران[3] (۲۰۰۹) از روش جایگزین رگرسیون توبیت یعنی رگرسیون OLS نیز استفاده شده است. جدول ۳ بیانگر تفاوت‌های مدل‌های OLS و توبیت است.

برای تکمیل تحلیل اقتصادسنجی باید رابطه (۲) را مجدداً با استفاده از مدل OLS (رابطه(۴)) تخمین زده و نتایج این دو مدل با هم مقایسه شوند. تفاوت رابطه(۴) با مدل(۲) در متغیر وابسته آن‌ها است. در رابطه(۲) به دلیل استفاده از رگرسیون

جدول ۳. تفاوت مدل‌های OLS و توبیت

معیار	مدل OLS	مدل توبیت
مدل‌سازی	قابلیت مدلسازی اثرات و پیشبینی مقادیر خارج از بازه[۰,۱)	پیش بینی در بازه [۰,۱)
اندازه نمونه	قابل استفاده در نمونه‌های بزرگ و کوچک	کاربرد در نمونه های بزرگ- نمونه های کوچک با توزیع نرمال
اریبی	نااریب و سازگار هستند	وجود اریبی به دلیل سانسور نبودن فرآیند تولید داده های کارایی
واریانس ناهمسانی	معتبر بودن آزمون فرضیه‌ها در نمونه‌های بزرگ	عدم اعتبار آزمون فرضیه‌ها

منبع : هوف (۲۰۰۶)، مک‌دونالد (۲۰۰۹)، نارا و همکاران (۲۰۰۹)

1. McDonald
2. Banker and Natarajan
3. Nahra et al.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

توبیت از شاخص ناکارایی نرمال و در رابطه (۴) از نمرات کارایی مدل SBM به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌شود.

$$SBM_{it} = \alpha_0 + \alpha_i + \beta_1(h_{it}) + \beta_2(G_{it}) + \beta_3(P_{it}) + \beta_4\ln(S_{it}) + \beta_5\ln(EX_{it}) + \beta_6\ln(IM_{it}) + \beta_7 Dum + \varepsilon_{it} \quad (۴)$$

متغیرهای بیان شده در رابطه (۴) دقیقاً مشابه با رابطه (۲) است. برای پیش بینی رگرسیون (۴) به سادگی از رابطه (۵) استفاده می‌شود.

$$\mathrm{E}(y|x) = \sum \beta_k x_k \quad (۵)$$

۵. یافته‌های تحقیق

در بخش اول نتایج به محاسبه نمرات کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای در قالب مدل SBM پرداخته می‌شود. سپس اثرات عوامل مؤثر بر کارایی در قالب دو رگرسیون توبیت و حداقل مربعات معمولی تخمین زده شده و مقایسه‌ای نیز بین این دورگرسیون صورت می‌گیرد.

۵-۱. محاسبه نمرات کارایی

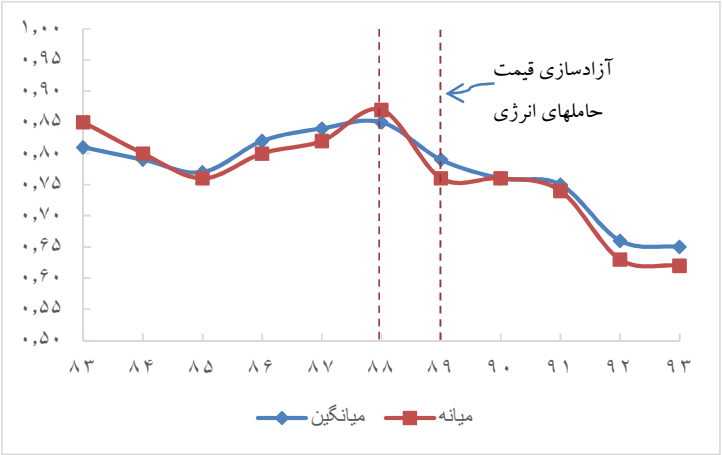
نمرات کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای در بازه زمانی۱۳۸۳-۱۳۹۳ با استفاده از مدل SBM در پیوست (پ) نشان داده شده است. بر طبق نمودار ۱ روند کارایی به سه بخش تقسیم می‌شود: ۱- بخش اول از سال ۱۳۸۳ تا سال۱۳۸۵ است که صنعت برق کشور با افت کارایی مواجه بوده است.۲-بخش دوم بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ است که کارایی روند صعودی داشته است. ۳- بخش سوم مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۹-۱۳۹۳ است. در این پنج سال کارایی صنعت برق کشور افت محسوسی داشته است و در سال ۱۳۹۳ با توجه به کاهش کارایی بیشتر شرکت‌ها، میانگین کارایی کمترین مقدار (۰/۶۵) را در بازه زمانی مورد بررسی دارد. در واقع پنج‌سال پایانی بازه زمانی تحقیق مصادف با آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی است. بنابراین پس از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی عملکرد صنعت برق نامطلوب بوده است. نمودار ۲ روند کارایی زیست‌محیطی هر شرکت برق منطقه‌ای را به تفکیک نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به طور میانگین شرکت‌های

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

اصفهان، گیلان و مازندران بالاترین کارایی را در این مدت زمان داشته‌اند و مسائل زیست‌محیطی را بیشتر رعایت نموده‌اند. نمودار سه شرکت مذکور در سطح بالاتری نسبت به سایر شرکت‌ها قرار گرفته است. شرکت‌های سیستان و بلوچستان و هرمزگان کمترین مقدار کارایی را داشته و در بیشتر سال‌ها کمترین مقدار کارایی مربوط به آن‌ها بوده است. این دو شرکت با توجه به نمره کارایی پایین، بیشترین فرصت را برای بهبود کارایی خود دارند. در بازه زمانی تحقیق، دو شرکت یزد و کرمان از روند نسبی صعودی در نمرات کارایی خود برخوردار بوده‌اند. سایر شرکت‌ها روند غالب خاصی نداشته‌اند و یا تغییرات در آن‌ها محسوس نبوده است. بیشترین ارتقای کارایی در شرکت کرمان بوده است به نحوی که این شرکت در سال ۱۳۸۵ نمره کارایی ۰/۵۷ داشته اما پس از سال ۱۳۸۷ در شرایط کارا و یا نزدیک به آن قرار داشته است. بیشتربن کاهش در نمرات کارایی نیز مربوط به شرکت فارس بوده است به نحوی که این شرکت از نمره کارایی ۱ در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به نمره کارایی ۰/۳۶۱ در سال ۱۳۹۳ دست‌یافته است. همچنین در کل بازه زمانی تحقیق نمره کارایی شرکت برق فارس در سال ۱۳۹۳ پایین‌ترین نمره کارایی است. بنابراین علت سقوط بسیار شدید نمره کارایی شرکت فارس و افت کارایی بسیاری از شرکت‌های برق در سال‌های انتهایی بازه زمانی تحقیق نیازمند مطالعه دیگری است.

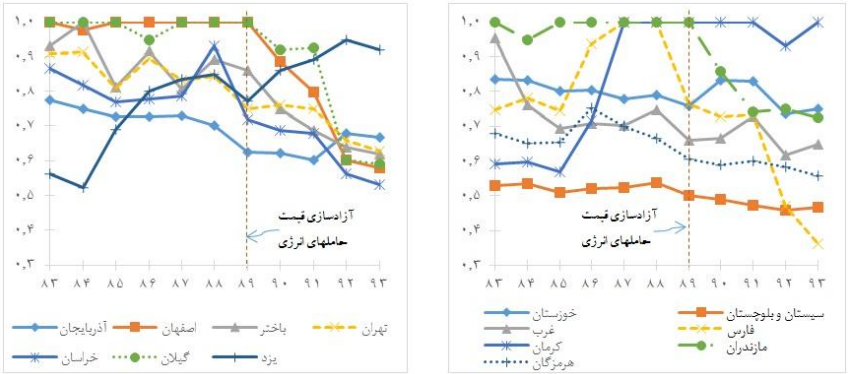
همان‌طور که در توضیحات نمودار ۱ اشاره شد پس از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژِی، کارایی کاهش چشمگیری داشته است. این مطلب در نمودار ۲ نیز به وضوح مشخص است. در نمودار ۲، پس از آزادسازی، تنها شرکت کرمان در مجاورت مرز کارایی قرار دارد و سایر شرکت‌ها عملکرد نامطلوبی داشته‌اند. پس از آزادسازی، با کاهش نمرات کارایی غالب شرکت‌ها، صنعت برق در مجموع عملکرد نامناسبی داشته است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]



نمودار ۱. روند کارایی زیست محیطی صنعت برق کشور در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۳

منبع: یافته های تحقیق



نمودار ۲. روند کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۳

منبع: یافته های تحقیق

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

۵-۲. تخمین رگرسیون توبیت و OLS

جدول ۴ بیانگر نتایج تخمین پانل مورد استفاده در گام دوم است[۱]. ستون اول بیانگر نماد متغیرهای توضیحی، ستون دوم ضرایب تخمینی رابطه (۲) یعنی پانل توبیت و ستون پنجم بیانگر تخمین پانل OLS (رابطه(۴)) است. در رابطه (۲) متغیر وابسته شاخص ناکارایی نرمال شده است که با تبدیل نمرات کارایی حاصل از مدل SBM در گام اول بدست می آید. همان‌گونه که قبلاً بیان شد در شاخص ناکارایی نرمال نمرات بزرگتر از صفر هستند و مقدار صفر بیانگر حالتی است که واحد تصمیم گیرنده کاملاً کارا باشد. هر چه این شاخص عدد بزرگتری باشد عملکرد آن واحد ضعیف تر و مقدار کارایی کمتر است. بنابراین علامت‌های ضرایب رابطه (۲) باید معکوس خوانده شود[۲] (سویوشی و گوتو، ۲۰۱۰). به‌طور مثال ضریب منفی متغیر H در رابطه (۲) باعث افزایش مقدار کارایی و ضریب مثبت متغیر S باعث کاهش مقدار کارایی می‌شود. در هر دو مدل توبیت و OLS برای انتخاب بین روش تلفیقی و اثرات تصادفی از آزمون نسبت درستنمایی(توزیع خی دو با یک درجه آزادی) استفاده می‌شود[۳]. مقدار آماره و احتمال این آزمون برای هر دو مدل در جدول ٤ گزارش شده است. در ابتدا برای دستیابی به مدل نهایی آزمون‌های نسبت درستنمایی انجام شده است. فرض صفر این آزمون $var(u)=0$ است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در تمام مدل‌ها مقدار آماره توزیع خی دو در ناحیه بحراتی قرار دارد. بنابراین فرض صفر رد شده و اثرات تصادفی تأیید می‌شود. لذا در هر دو مدل توبیت و OLS از اثرات تصادفی استفاده شده است.

---

۱. تعداد مشاهدات در تخمین پانل مورد نظر ۱۵۴مشاهده است. با توجه به نارا و همکاران (۲۰۰۹) و مک‌دونالد (۲۰۰۹) در مسائلی که با حجم نمونه کم سر و کار داریم، در صورتی که داده‌های مورداستفاده از توزیع نرمال تبعیت کنند نتایج مدل توبیت هم‌چنان معتبر و سازگار است. در این مسئله از الگوریتم پیشنهادی گرین (۲۰۱۱) برای نرمال کردن شاخص کارایی استفاده شده است. گرین (۲۰۱۱) بیان می‌کند در صورتی که داده‌ها از سمت چپ و در مقدار صفر $[0,\infty)$ سانسور شده باشند آنگاه از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند.

۲. علت متفاوت بودن علائم در روابط (۲) و (۴)، ماهیت متغیرهای وابسته است. در رابطه (۲) متغیر وابسته بیانگر مقدار ناکارایی و در رابطه (۴) متغیر وابسته بیانگر مقدار کارایی است. بنابراین ضریب متغیرهای مستقل در رابطه (۲) بیانگر میزان اثرگذاری بر ناکارایی زیست محیطی است.

۳. فرض صفر این آزمون $var(u)=0$ است. به عبارتی دیگر در صورت رد نشدن فرض صفر مدل تلفیقی تأیید می‌شود و واریانس اثرات فردی صفر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

پس از تخمین نتایج با دو مدل توبیت و OLS برای سنجش استحکام و اعتبار مدل، متغیر لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه[۱] ((ln(GDPP)) به مدل‌ها افزوده شده و نتایج مجددا ارزیابی شده‌اند[۲]. نتایج مدل‌های توبیت و OLS با در نظر گرفتن متغیر سرانه GDP به ترتیب در قالب رابطه‌های (۱-۲) و (۱-۴) در جدول ۴ گزارش شده است. در مدل‌های جدید به جز متغیر نرخ گاز در سوخت مصرفی(G) کلیه متغیرها معناداری و علامت خود را حفظ نموده‌اند و در سطح ۱۰٪ معنادار هستند. مقدار بالای تابع لگاریتم درستنمایی در مدل توبیت به طور کلی بیانگر معنادار بودن رگرسیون‌ها است. همچنین احتمال صفر آماره خی دو نشان دهنده عدم وجود واریانس ناهمسانی در مدل است. در ستون چهارم از جدول ۴ نیز اثرات نهایی متغیرهای توضیحی مدل توبیت گزارش شده است.

جدول ٤. نتایج تخمین رگرسیون توبیت و OLS

متغیر	رگرسیون توبیت			رگرسیون OLS	
	رابطه(۲)	رابطه (۱-۲)	اثرات نهایی	رابطه (٤)	رابطه (۱-٤)
α_0	۲/۹۲۴ (۰/۸۹۸***)	۴/۰۶۷ (۰/۷۸۱***)	--	-۰/۱۹۶ (۰/۳۶۳)	-۰/۵۴۳ (۰/۳۸۰)
H	-۱/۵۶۴ (۰/۲۳۴***)	-۱/۵۵۹ (۰/۲۱۳***)	-۰/۹۴۶	۰/۴۸۶ (۰/۱۰۱***)	۰/۵۴۳ (۰/۰۹۹***)
G	-۰/۳۰۱ (۰/۱۵۴*)	-۰/۱۸۲ (۰/۱۴۳)	-۰/۶۵۸	۰/۱۴۸ (۰/۰۶۹**)	۰/۰۹۷ (۰/۰۷۰)
P	-۱/۵۶۲ (۰/۶۴۵**)	-۱/۵۸۵ (۰/۵۶۵***)	-۰/۸۸۹	۰/۵۹۰ (۰/۲۷۷**)	۰/۶۲۳ (۰/۲۷۶**)
Ln(S)	۰/۱۴۵ (۰/۰۷۴*)	۰/۱۴۲ (۰/۰۶۶**)	۶/۷۰۵	-۰/۰۷۲ (۰/۰۳۳**)	-۰/۰۷۷ (۰/۰۳۲**)
Ln(EX)	-۰/۱۳۲ (۰/۰۴۵***)	-۰/۰۸۳ (۰/۰۴۲**)	-۸/۲۱۵	۰/۰۶۵ (۰/۰۲۰***)	۰/۰۴۵ (۰/۰۲۰**)
Ln(IM)	۰/۰۶۸	۰/۰۷۹	۷/۹۸۶	-۰/۰۱۸	-۰/۰۳۴

۱. این متغیر به صورت نسبت مجموع تولید ناخالص داخلی استان‌های تحت پوشش هر شرکت بر جمعیت آنها است و با واحد میلیون ریال اندازه‌گیری شده است. به طور مثال در مورد شرکت برق آذربایجان صورت نسبت برابر با مجموع تولید ناخالص داخلی استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و اردبیل است و مخرج نسبت برابر با مجموع جمعیت این سه استان است. اطلاعات تولید ناخالص داخلی و جمعیت استان‌های کشور از سایت مرکز آمار ایران به نشانی اینترنتی www.amar.org.ir گردآوری شده و به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ محاسبه شده است.

۲. هدف از افزودن متغیر سرانه تولید ناخالص داخلی علاوه بر سنجش استحکام مدل، ارزیابی سطح اقتصادی منطقه تحت پوشش شرکت‌ها است. این متغیر برونزا در بیشتر مطالعات خارجی به عنوان یک متغیر اثرگذار و معنادار معرفی شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

متغیر	رگرسیون توبیت			رگرسیون OLS	
	رابطه(۲)	رابطه (۱-۲)	اثرات نهایی	رابطه (٤)	رابطه (۱-٤)
	(۰/۰۴۸)	(۰/۰۴۰**)		(۰/۰۱۹)	(۰/۰۱۹*)
Ln(GDPP)	--	-۰/۴۱۵ (۰/۱۰۱***)	-۴/۰۸۸	--	۰/۱۵۴ (۰/۰۵۰***)
Dum	۰/۱۰۰ (۰/۰۵۰**)	۰/۱۳۴ (۰/۰۴۵***)	۰/۴۵۵	-۰/۰۵۲ (۰/۰۲۲**)	-۰/۰۵۹ (۰/۰۲۱***)
σ_u	۰/۲۳۳ (۰/۰۶۰***)	۰/۱۷۴ (۰/۰۴۰***)	--	۰/۰۷۷	۰/۰۸۳
σ_e	۰/۱۹۴ (۰/۰۱۳***)	۰/۱۸۶ (۰/۰۱۳***)	--	۰/۰۹۵	۰/۰۹۴
ρ	۰/۵۹۲	۰/۴۶۶	--	۰/۴۰۰	۰/۴۴۰
Log Likelihood	-۸/۳۸۸	-۱/۰۱۲	--	--	--
آماره خی دو	۱۲۹/۰۸ [۰/۰۰۰]	۱۵۸/۲۹ [۰/۰۰۰]	--	۱۰۴/۸۹ [۰/۰۰۰]	۱۲۱/۲۷ [۰/۰۰۰]
آزمون نسبت درستنمایی	۳۶/۶۳ [۰/۰۰۰]	۴۱/۰۴ [۰/۰۰۰]	--	۴۰/۶۷ [۰/۰۰۰]	۵۶/۴۴ [۰/۰۰۰]
تعداد مشاهدات	۱۵۴(سانسور شده از چپ: ۲۷)			۱۵۴	
تعداد شرکت ها	۱۴				

- اعداد بالایی در سلول ها ضرایب پانل و مقدار آماره آزمون ها است.
- مقادیر داخل پرانتز نشان دهنده مقدار انحراف از معیار و اعداد داخل کروشه نشان دهنده سطح معناداری آزمون خی دو هستند.
- ***، ** و * به ترتیب نشان‌دهنده سطوح معناداری ۱درصد، ۵درصد و ۱۰درصد هستند.
- $\rho = \frac{\sigma_u^2}{(\sigma_u^2+\sigma_e^2)}$ نشان دهنده نسبت تأثیر واریانس هر مقطع از واریانس اثرات ناهمگن مقاطع است

منبع : یافته‌های تحقیق

۵-۳. مقایسه نتایج الگوهای تخمین در گام دوم

با توجه به مقادیر کارایی بدست آمده در پیوست (پ)، از ۱۵۴ تعداد کل نمرات کارایی ۲۷ مورد کارا و برابر با یک است. به این ۲۷ نمره در شاخص ناکارایی نرمال مقدار صفر اختصاص می‌یابد و در تخمین رگرسیون توبیت در مقدار صفر سانسور می شوند که تقریباً برابر با ۱۸٪ کل نمرات کارایی است. برای مقایسه عملکرد دو مدل معرفی شده در این تحقیق(توبیت و حداقل مربعات معمولی) با توجه به راهکار پیشنهادی هوف(۲۰۰۷) از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

آزمون ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن[1] استفاده می‌شود. در واقع این آزمون، ضریب همبستگی بین مقدار متغیر وابسته (کارایی یا ناکارایی) و نمرات پیش‌بینی آن‌ها را محاسبه می‌کند. علت انتخاب آزمون اسپیرمن برای این منظور، ناپارامتریک بودن آن است به این معنا که مستقل از داده‌های مورد بررسی است(هوف، ۲۰۰۷). استفاده از نتایج این ضریب می‌تواند برای ارزیابی عملکرد دو مدل به کار برده شده در این تحقیق مناسب باشد. نمرات پیش بینی برای رگرسیون توبیت توسط رابطه (۳) و برای رگرسیون OLS توسط رابطه (۵) بدست می‌آیند. نتایج ضرایب همبستگی رتبه ای اسپیرمن برای هر دو رگرسیون مزبور در جدول۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقدار ضریب همبستگی برای هر دو مدل در حدود ۰/۵ است. مطابق با جدول۵ رابطه (۴) یعنی پانل OLS ضریب همبستگی بیشتر نسبت به مدل پانل توبیت دارد و در این مورد عملکرد نسبی بهتری دارد. بنابراین پانل OLS رتبه اول و پانل توبیت، رتبه دوم را دارد.

جدول۵. ضریب همبستگی رتبه ای اسپیرمن بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده دو مدل توبیت و حداقل مربعات معمولی در گام دوم ارزیابی کارایی شرکت های برق

مدل	ضریب ρ	احتمال
پانل توبیت(۲)	۰/۵۳۲۷	۰/۰۰۰۰
پانل حداقل مربعات معمولی(۴)	۰/۵۵۱۰	۰/۰۰۰۰

منبع : یافته‌های تحقیق

مجدداً با رجوع به جدول ۴ مشاهده می‌شود که در هر دو مدل توبیت و OLS تمامی متغیرهای توضیحی به جز دریافت انرژی برق معنادار هستند. در هر دو مدل علامت متغیر اندازه شرکت برق منطقه‌ای و متغیر مجازی آزادسازی قیمت‌ها منفی و علامت نرخ برق حرارتی، نرخ گاز مصرفی، نرخ بهره‌وری و صادرات برق نیز مثبت است. با اضافه نمودن متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه به دو مدل ملاحظه می‌شود که این متغیر نیز کاملاً معنادار است و اثر مثبتی بر کارایی زیست‌محیطی داشته است. این تشابه در علامت و معناداری متغیرهای توضیحی دلالت بر مناسب بودن هر دو مدل در گام دوم ارزیابی کارایی است. این نتیجه مطابق با مطالعه هوف(۲۰۰۷) و مک دونالد(۲۰۰۹) است. هوف(۲۰۰۷) با توجه

1. Spearmans Rank Correlation Coefficients

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

به عدم وجود تفاوت قابل ملاحظه در دو رگرسیون توبیت و OLS به دلیل سادگی و برتری نسبی رگرسیون OLS، به کارگیری آن را در مرحله دوم بررسی کارایی کافی و مناسب برای جانشینی رگرسیون توبیت می‌داند. حال تحلیل‌های جزئی‌تری در خصوص ضرایب متغیرهای توضیحی مدل OLS ارائه می‌شود.

٥-٤. تحلیل ضرایب

علامت مثبت نرخ برق تولید شده توسط نیروگاه‌های حرارتی مطابق با نتیجه مورد انتظار است. این نتیجه احتمالاً به دلیل سهم بالاتر نیروگاه‌های حرارتی نسبت به سایر نیروگاه‌ها است. نیروگاه‌های حرارتی نسبت به سایر نیروگاه‌ها امکان بیشتری برای بهبود کارایی و عملکرد خود دارند. هر ٪۱ افزایش در نسبت برق تولیدی توسط نیروگاه‌های حرارتی سبب افزایش ۰/۴۸۶ واحد در نمره کارایی می‌شود.

علامت منفی متغیر اندازه شرکت در تأیید مطالعات ساریکا و اور (۲۰۰۷)، دو و مائو (۲۰۱۵)، وی وهمکاران (۲۰۱۳) است. دلیل منفی شدن این ضریب ممکن است به دلیل کیفیت بالاتر مدیریت در شرکت‌های کوچک نسبت به شرکت‌های بزرگتر و کاراتر بودن نیروی کار در شرکت‌های کوچکتر باشد. با افزایش یک درصدی تعداد کارمندان نمره کارایی ۰/۰۰۰۷۲ واحد کاهش می‌یابد.

ضریب مثبت نرخ بهره‌وری مطابق با نتیجه مطالعه ولاتوبی و دیسکومز[1] (۲۰۰۰)، هیبرت (۲۰۰۲) و متفکر آزاد و همکاران(۱۳۹۳) است. هر ۱٪ افزایش در نرخ بهره‌وری سبب افزایش ۰/۵۹۰ واحد در کارایی می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد این متغیر بالاترین ضریب را در میان متغیرهای توضیحی دارد و با اهمیت‌ترین متغیر است.

ضریب نرخ گاز مصرفی در مدل(۵) مثبت و برابر با ۰/۱۴۸ است و بیانگر ارتباط مثبت سهم گاز در سوخت مصرفی با کارایی است. این نتیجه مطابق با مطالعه های جارایت و دی ماریا[2] (۲۰۱۲) و ساریکا و اور(۲۰۰۷) است. آن‌ها به علت آلایندگی کمتر، گاز را به عنوان سوخت پاک‌تر معرفی می‌کنند(جارایت و دی ماریا، ۲۰۱۲). البته اثر این متغیر بر کارایی از

1. Olatubi & Dismukes
2. Jaraite and Di Maria

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

استحکام کمتری برخوردار است زیرا با افزودن متغیر سرانه تولید ناخالص داخلی، سطح معنی‌داری آن کاهش می‌یابد.

متغیر ارسال برق کاملاً معنادار بوده و مطابق انتظار با علامت مثبت است. هر یک درصد افزایش در ارسال برق سبب افزایش ۰/۰۶۵ درصدی کارایی می‌شود. اثر مثبت این متغیر احتمالاً به دلیل روند رو به رشد صادرات برق به شرکت‌های همسایه باشد زیرا نسبت صادرات به واردات در سال‌های اخیر افزایش یافته است.

متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی در سطح ۵٪ معنادار بوده است. این نتیجه مطابق تحلیل صورت گرفته در نمودارهای ۱ و ۲ مبنی بر کاهش کارایی صنعت برق کشور در سال‌های بعد از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی است. مطابق جدول ۴ با آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی به طور متوسط ۵ درصد از کارایی صنعت برق کاهش یافته است.

متغیر لگاریتم سرانه تولید ناخالص داخلی-که برای سنجش استحکام ضرایب مدل افزوده شد- نیز در مدل (۱-۵) در سطح ۱٪ معنادار و مثبت است. این نتیجه منطبق با نتایج مطالعات ژی و همکاران(۲۰۱۴)، تاسکین و زایم(۲۰۰۱) و لی و همکاران(۲۰۱۳) است. با افزایش تولید ناخالص داخلی سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد و سبب ارتقای سطح تکنولوژی و سطح رفاه مردم می‌گردد و مردم توجه بیشتری به حفاظت از محیط زیست منطقه خود نشان می‌دهند (لی و همکاران،۲۰۱۳ و ژی و همکاران،۲۰۱۴).

با توجه به این که متغیر نرخ بهره‌وری بیشترین اثر را بر کارایی زیست‌محیطی داشته است بنابراین اهمیت استفاده از حداکثر ظرفیت نیروگاه‌ها برای افزایش بهره‌وری دوچندان می‌شود. سرمایه‌گذاری بیشتر برای افزایش بهره‌وری نیروگاه‌های موجود به جای احداث نیروگاه‌های جدید می‌تواند بسیار تأثیرگذار باشد. افزایش بهره‌وری نیروگاه‌های موجود در مقایسه با ساخت یک نیروگاه جدید علاوه بر این که به سرمایه بسیار کمتری نیاز دارد، سبب جلوگیری از بزرگ شدن بی‌رویه شرکت‌های برق و افزایش نامطلوب تعداد شاغلین می‌شود. همچنین با افزایش بهره‌وری، شرکت‌ها به سطح بالاتری از تولید دست می‌یابند و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

در نتیجه درآمد آن‌ها افزایش می‌یابد. این امر علاوه بر ایجاد انگیزه برای حضور گسترده‌تر آن‌ها در بازار رقابتی داخل و خارج کشور، سبب افزایش آسان نسبت برق تولید شده توسط نیروگاه‌های حرارتی می‌شود. بنابراین افزایش بهره‌وری به طور مستقیم و غیرمستقیم بر کارایی اثر مطلوب می‌گذارد. نیروگاه‌های حرارتی به دلیل این که مستقیماً با سوخت‌های فسیلی مرتبط هستند قابلیت و فرصت بیشتری برای بهبود کارایی و ارتقای عملکرد خود دارند. افت محسوس کارایی در پنج سال پایانی بازه تحقیق می‌تواند به دو دلیل آزادسازی قیمت‌ها و بزرگتر شدن شرکت‌های برق باشد. تا پایان سال ۱۳۸۸ صنعت برق دارای ثبات نسبی بوده است اما پس از آن و با آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی با افت پیاپی کارایی مواجه شده است. در سال‌های اخیر با بزرگتر شدن شرکت‌های برق، رشد تعداد کارمندان و احداث نیروگاه‌های جدید به سبب اقتصاد مقیاسی که صنعت برق با آن مواجه بوده، کارایی کاهش یافته است. بنابراین مدیران تصمیم‌گیرنده باید توجه بیشتری نسبت به سیاست‌های اتخاذ شده داشته باشند تا صنعت برق کشور از این رکود خارج شود. با توجه به نتایج تحقیق، سیاستگذاران صنعت برق نیز می‌توانند با اتخاذ برنامه‌های حمایتی تشویق صادرات [1] سبب ایجاد انگیزه و رقابت بیشتر برای صادرات هر چه بیشتر برق به کشورهای همسایه باشند[2].

٦. جمع بندی و ارائه پیشنهادها

اهداف این مطالعه در دو جنبه قابل تبیین است: در گام اول اقدام به بررسی و محاسبه کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران در بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ شده است. در این راستا از یک ستاده مطلوب تولید برق و یک ستاده نامطلوب انتشار کربن دی اکسید استفاده شده است. در گام دوم اثر عوامل تأثیرگذار بر نمرات کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای با استفاده از دو رگرسیون توبیت و حداقل مربعات معمولی ارزیابی شده است. برای محاسبه کارایی در گام اول از رهیافت DEA و مدل خطی و

1. Export Promotion Programs

۲. از مهم‌ترین برنامه‌های تشویقی صادرات در صنعت برق میتوان به فراهم کردن اطلاعات تجاری و صادراتی برای شرکت‌ها، ایجاد یا افزایش انگیزه شرکت‌ها برای صادرات و حمایت‌های مالی و عملیاتی اشاره کرد (جون و همکاران، ۲۰۰۴).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

بی‌ماهیت SBM استفاده شده است. مدل SBM با توجه به غیرشعاعی بودن و اعمال هر دو ستاده مطلوب و نامطلوب یکی از پرکاربردتربن مدل‌های مورد استفاده در مطالعات کارایی است. ارزیابی کارایی در گام اول بدین شرح است:

روند کارایی صنعت برق کشور بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۸ تقریباً با ثبات بوده و تغییرات ملموس نبوده است. اما در سال‌های بعد از ۱۳۸۹ به دلیل رکود اقتصادی سطح کارایی کاهش یافته است و در سال ۱۳۹۳ مقدار کارایی به کمترین مقدار خود رسیده است. عملکرد شرکت‌های برق منطقه‌ای تفاوت‌های قابل توجهی با هم دارند به نحوی که به جز شرکت های برق کرمان و یزد بقیه شرکت‌ها با افت کارایی مواجه بوده‌اند و این کاهش کارایی در شرکت‌هایی مانند فارس، اصفهان و گیلان محسوس‌تر بوده است. شرکت‌های مازندران و سیستان و بلوچستان به ترتیب بالاترین و پایین ترین میانگین کارایی را در کل بازه زمانی(۱۳۸۳-۱۳۹۳) داشته‌اند.

با توجه به محدود بودن نمرات کارایی، در گام دوم علاوه بر به کارگیری رگرسیون حداقل مربعات معمولی از مدل پرکاربرد پانل توبیت نیز برای تعیین اثرات عوامل مختلف بر کارایی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تخمین‌های حاصل از هر دو رگرسیون تفاوت قابل ملاحظه‌ای با هم ندارند و مدل حداقل مربعات معمولی به علت سادگی و قدرت مناسب می‌تواند جایگزین مناسبی برای رگرسیون توبیت باشد. همچنین ضریب همبستگی اسپیرمن نیز نشان می‌دهد که در گام دوم عملکرد رگرسیون حداقل مربعات معمولی حداقل به خوبی رگرسیون توبیت است. در بین عوامل مؤثر بر کارایی اندازه شرکت برق منطقه‌ای و متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی اثر منفی و نسبت برق تولید شده از نیروگاه‌های حرارتی، نوع سوخت مصرفی، میزان بهره‌برداری از ظرفیت نیروگاه‌ها و ارسال برق نیز اثر مثبت دارند. دریافت انرژی از شرکت های همجوار و برون مرزی نیز تنها متغیر بی معنای ارزیابی شده است.

مدیران صنعت برق برای افزایش کارایی و دستیابی یه سطح عملکرد مناسب باید به نرخ بهره‌وری نیروگاه ها و سیاست های اقتصادی اتخاذ شده توجه ویژه کنند. نرخ بهره‌وری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

مهمترین عامل در تشریح کارایی معرفی شده است. سیاست‌های اقتصادی مانند آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی و توسعه غیرمنطقی شرکت‌ها می‌تواند اثر نامطلوبی بر عملکرد کارایی صنعت برق داشته باشد.

در مطالعات پیش رو می‌توان با بهره‌گیری از شاخص مالم کوییست عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست محیطی شرکت‌های برق منطقه ای را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین در گام دوم، امکان مقایسه الگوهای اقتصادسنجی برای تخمین اثرات متغیرهای توضیحی فراهم است. در این تحقیق تنها از دو الگوی اقتصادسنجی برای تحلیل و مقایسه بهره برده شد؛ در صورت نیاز می‌توان از سایر الگوهای مورد استفاده در گام دوم کارایی استفاده کرد[1]. با توجه به این که الگوهای سنتی در محاسبه نمرات کارایی(جعبه سیاه[2])، به دلیل در نظر نگرفتن فعالیت‌های واسطه[3]، اریب هستند می‌توان نمرات کارایی در گام اول را با استفاده از مدل‌های پویا[4] و یا شبکه‌ای[5] محاسبه و اثرات متغیرهای مورد نظر را بر آن ارزیابی کرد.

۱. برای کسب جزئیات بیشتر در خصوص سایر الگوهای مورد استفاده در گام دوم به هوف(۲۰۰۷) و مک دونالد(۲۰۰۹) رجوع کنید.

2. Black Box
3. Intermediate
4. Dynamic DEA
5. Network DEA

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

منابع و مآخذ

- Amadeh, H., & Rezaei, A. (2011). Measuring environmental efficiency with non seperable-overall model of desirable and undesirable outputs in electrical energy production sector of Iranian electric companies. *Energy Economics Review*, 30, 125-154.
- Ang, B. J. (2009). CO2 emissions, research and technology transfer in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2658–2665.
- Banker, R. D., & Natarajan, R. (2008). Evaluating contextual variables affecting productivity using data envelopment analysis. *Operations Research,* 56, 48–58.
- Barros, C. P., & Antunes, O. S. (2011). Performance assessment of portuguese wind farms. *Energy Policy*, 39(6), 3055-3063.
- Barros, C. P., & Peypoch, N. (2007). The determinants of cost effciency of hydroelectric generating plants: a random frontier approach. *Energy Policy,* 35, 4463–4470.
- Bi, G. B., Song, W., Zhou, P., & Liang, L. (2014). Does environmental regulation affect energy efficiency in China's thermal power generation? Empirical evidence from a slacks-based DEA model. *Energy Policy,* 66, 537-546.
- Calvet, R., Conesa, D., Calvet, A., & Ausina, E. (2014). Energy efficiency in the European Union: What can be learned from the joint application of directional distance functions and slacks-based measures?. *Applied Energy,* 132, 137–154.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (2005). Micro econometrics: Methods and Applications. New York: Cambridge University Press.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research,* 2(6), 429–444.
- Chung, Y., & Fare, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Environmental Management*, 51, 229–240.
- Cook, W. D., & Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA)-thirty years on. *European Journal Operation Research*, 192(1), 1-17.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

- Du, L., He, Y., & Yan, J. (2013). The effects of electricity reforms on productivity and efficiency of China's fossil-fired power plants: An empirical analysis. *Energy Economics*, 40, 804-812.
- Du, L., & Mao, J. (2015). Estimating the environmental efficiency and marginal CO2 abatement cost of coal-fired power plants in China. *Energy Policy*, 85, 347-356.
- Du, L., Wei, C., & Cai, S. (2012). Economic development and carbon dioxide emissions in China: Provincial panel data analysis. *China economic review*, 23, 371-384.
- Fallahi, M. A., Kazemi, M., & Seyedzadeh, M. (2012). Investigating the effective factors on Iranian electric companies with emphasis on information technology. *Economics Science*, 6(12), 85-106.
- Fare, R., & Grosskopf, S. (2004). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: Comment. *European Journal of Operational Research*, 157(1), 242–245.
- Greene, W. H. (2011). Econometric Analysis, Seventh ed. New York: Pearson
- Hailu, A., & Veeman, T. S. (2001). Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: An application to the Canadian pulp and paper industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3), 805–816.
- Haynes, K. E., Ratick, S., & Cummings, S. J. (1997). Pollution prevention frontiers: a data envelopment simulation. In: Knaup GL, Kim TJ, editors. environmental program evaluation: a primer. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Hiebert, D. L. (2002). The determinants of the cost efficiency of electric generating plants: a stochastic frontier approach. *Southern Economic Journal*, 68(4), 935-946.
- Hoff, A. (2007). Interfaces with Other Disciplines Second stage DEA: Comparison of approaches for modelling the DEA score. *European Journal of Operational Research*, 181, 425-435.
- Hongwu, W., Xiaoli, H., & Junhai, M. (2011). The analysis of the energy efficiency and its influence factors in TianJin. *Energy Procedia*, 5, 1671-1675.
- Jalil, A., & Mahmud, S. F. (2009). Environment Kuznets curve for CO2 emissions: A cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 37(12), 5167–5172.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]

[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

- Jaraitė, J., & Di Maria, C. (2012). Efficiency, productivity and environmental policy: A case study of power generation in the EU. *Energy Economics*. 34(5), 1557-1568.
- June, F., & Collins-Dodd, C. (2004). Impact of export promotion programs on firm competencies, strategies and performance: The case of Canadian high-technology SMEs, *International Marketing Review*, 21(4/5), 474-495.
- Kok, F. S., & Coelli, T. J. (2012). An analysis of factors that influence the technical efficiency of malaysian thermal power plants. *Energy Economics*, 34(3), 677-685.
- Koopmans, T. C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. In Koopmans, T. C. (Ed.), *Activity Analysis of production and allocation*. New York: Wiley.
- Li, H., Fang, K., Yang, W., Wang, D., & Hong, X. (2013). Regional environmental efficiency evaluation in China: Analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 1018-1031.
- Li, X. G., Yang, J., Liu, X. J. (2013). Analysis of Beijing's environmental efficiency and related factors using a DEA model that considers undesirable outputs. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 956-960.
- Lin, B., & Jiang, Z. (2011). Estimates of energy subsidies in China and impact of energy subsidy reform. *Energy Economics*, 33, 273–283.
- Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., Lu, W. M., & Lin, B. J. Y. (2013). Data envelopment analysis 1978-2010: a citation-based literature survey. *Omega*, 41(1), 3-15.
- Maddala, G. S. (1984). Limited–dependent and qualitative variables in econometrics. England: Cambridge University Press.
- McDonald, J. (2009). Using Least Squares and Tobit in Second Stage DEA Efficiency Analyses, *European Journal of Operational Research,* 197, 792–798.
- Motafakker Azad, M. A., Pourebadollahan Covich, M., Fallahi, F., Ranj Pour, R., & Sojoodi , S. (2014). Measuring the Technical Efficiency of Iranian Thermal Power Plants and Analysis of its Determinants:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

Application of Stochastic Nonparametric Data Envelopment Method.*Economic research,* 49(1), 93-113.

- Nahra, T. A., Mendez, D., & Alexander, J. A. (2009). Employing super-efficiency analysis as an alternative to DEA: An application in outpatient substance abuse treatment. *European Journal of Operational Research,* 196, 1097–1106.
- Olatubi, W. O., & Dismukes, D. E. (2000). Data envelopment analysis of the levels and determinants of coal-fired electric power generation performance. *Utilities Policy*, 9, 47-59.
- Rajabi, M., Oloomi baigi, M., Javidi, M. H., Mousavi, H., & Gholami, G. (2005). The Strategy for Development of electricity imports based on Iranian electricity market rules: Case Study electricity imports from Turkmenistan. 20TH international power system conference.
- Rezaei, A. (2013). Efficiency and Productivity Analysis in Iranian Electricity Distribution Companies: Slack Based Model (SBM) Approach. *Economic Modeling Research*, 4(13), 119-146.
- Sahoo, B. K., Luptacik, M., & Mahlberg, B. (2011). Alternative measures of environmental technology structure in DEA: An application. *European Journal of Operational Research*, 215, 750-762.
- Sarica, K., & Or, I. (2007). Efficiency assessment of turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy Policy*, 32, 1484-1499.
- Scheel, H. (2001). Undesirable outputs in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 132, 400–410.
- Seiford, L., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 16–20.
- Simar, L., & Wilson, P. (2002). Non-parametric tests of returns to scale. *European Journal of Operation Research*, 139(1), 115-132.
- Sokhanvar, M., Sadeghi, H., Asari, A., Yavari, K., & Mehregan, N. (2012). Structural Analysis and Efficiency Trend of Electricity Distribution Companies in Iran by Using Window Data Envelopment Analysis. *Journal of Economic Growth and Development Research*, 1(4), 145-182.
- Song, M., Song, Y., An, Q., & Yu, H. (2013). Review of environmental efficiency and its influencing factors in China: 1998–2009. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 8-14.
- Song, M., Zhang, L., An, Q., Wang, Z., & Li, Z. H. (2013). Statistical analysis and combination forecasting of environmental efficiency and its

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

influential factors since China entered the WTO: 2002-2010-2012. *Journal of Cleaner Production*, 42, 42-51.

- Sueyoshi, T., Goto, M., & Omi, Y. (2010). Corporate governance and firm performance: Evidence from Japanese manufacturing industries after the lost decade. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 724-736.
- Taskin, F., & Zaim, O. (2001). The role of international trade on environmental efficiency: a DEA approach. *Economic Modelling,* 18(1), 1-17.
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130, 498–509.
- Tone, K. (2004). Dealing with undesirable outputs in DEA: a slacks-based measure (SBM) approach. Toronto: Presentation at NAPW III.
- Tulkens, H., & Vanden, E. P. (1995). Non-parametric efficiency, progress and regress measures for panel data: methodological aspects. *European Journal of Operation Research*, 80(3), 474–499.
- Wei, C., Loschel, A., & Liu, B. (2013). An empirical analysis of the CO2 shadow price in Chinese thermal power enterprises. *Energy Economics*, 40, 22-31.
- Wooldridge, J. M. (2002). Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Xie, B. C., Shang, L. F., Yang, S. B., & Yi, B. W. (2014). Dynamic environmental efficiency evaluation of electric power industries: Evidence from OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) and BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries. *Energy*, 74, 147-157.
- Xu, Y. (2011). Improvements in the operation of SO2 scrubbers in China's coal power plants. *Environmental Science & Technology*, 45, 380–385.
- Zhang, Z. (2000). Decoupling China's carbon emissions increase from economic growth: An economic analysis and policy implications. *World Development*, 28(4), 739–752.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]
[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]

- Zhang, N., Kong, F., Choi, Y., & Zhou, P. (2014). The effect of size-control policy on unified energy and carbon efficiency for Chinese fossil fuel power plants. *Energy Policy*, 70, 193-200.
- Zhao, X., Yin, H., & Zhao, Y. (2015). Impact of environmental regulations on the efficiency and CO2 emissions of power plants in China. *Applied Energy*, 149, 238-247.
- Zhou, P., Ang, B. W. (2006). Slacks-based efficiency measure for modeling environmental performance. *Ecological Economics*, 60, 111–118.
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics*, 30, 1–14.
- Zhou, Y., Xing, X., Fang, K., Liang, D., & Xu, CH. (2013). Environmental efficiency analysis of power industry in China based on an entropy SBM model. *Energy Policy*, 57, 68-75.
- Zhu, J. (2003). Quantitative models for performance evaluation and benchmarking. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1396.7.27.5.7]

[DOI: 10.29252/jemr.7.27.41]