فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هفتم / شماره‌ی 26/ پاییز 1389/ صفحات 175- 153

اندازه‌گیری کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور به روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA) و مقایسه‌ی تطبیقی با کشورهای منتخب در حال توسعه

حمید ابریشمی

استاد دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه تهران، abrihami @ut.ac.ir

لیلی نیاکان

کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه تهران، leili.niakan@yahoo.com

تاریخ دریافت: 88/10/27 تاریخ پذیرش: 89/1/31

چکیده

نیروگاه‌های حرارتی به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی انرژی برق در ایران از منابع مختلفی از جمله سوخت، نیروی کار و سرمایه استفاده می‌کنند. این مقاله با استفاده از روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA)، کارایی فنی و عوامل مؤثر بر آن را برای 40 نیروگاه حرارتی برق ایران برای سال‌های 85 - 1382 بررسی کرده و سپس طی یک مقایسه‌ی تطبیقی با کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی 22 کشور در حال توسعه، نتایج حاصل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج حاکی از آنست که میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور برابر با 93% می‌باشد و افزایش ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاهی و تغییر نوع سوخت مصرفی از گازوئیل و نفت کوره به گاز طبیعی، به طور معنی‌داری کارایی فنی نیروگاه‌ها را می‌افزاید و در مجموع بالاترین کارایی فنی متعلق به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با سوخت گاز و میانگین کارایی فنی 22 کشور منتخب در حال توسعه بین سال‌های 6-2003، 91/7% می‌باشد.

طبقه بندی JEL : O30,O57

کلید واژه : کارایی فنی، تحلیل تابع مرزی تصادفی، نیروگاه حرارتی، مقایسه‌ی تطبیقی

پرتال جامع علوم انسانی

1- مقدمه

بررسی تاریخ و روند رشد کشورهای توسعه‌یافته و مقایسه‌ی آن با کشورهای در حال توسعه نشان می‌دهد که وجه تمایز و نقطه‌ی قوت این کشورها، استفاده‌ی بهینه از فرصت‌ها و امکاناتی است که در اختیار داشته‌اند. این مقایسه نشان می‌دهد که بررسی‌های مرتبط با بهره‌وری[1] و کارایی در جهت تحلیل وضعیت کنونی اقتصادی و صنعتی کشورهای مختلف و ارائه‌ی راه کارهای مؤثر در جهت رفع عقب ماندگی، تا چه حد حائز اهمیت است.

بیش‌تر کشورهایی که در سال‌های اخیر رشد اقتصادی چشم‌گیری داشته‌اند، این رشد را عمدتاً از طریق افزایش کارایی و بهره‌وری عوامل تولید به دست آورده‌اند به طوری که سهم سرمایه‌گذاری جدید در این رشد در مقایسه با نقش افزایش کارایی و بهره‌وری در آن اندک بوده است.

صنعت برق امروزه به عنوان موتور رشد و توسعه‌ی سایر بخش‌ها قلمداد می‌شود. این صنعت مهم و سرمایه‌بری می‌باشد. در کشور ما و در کشورهای در حال توسعه، بدون سرمایه‌گذاری مناسب در توسعه‌ی صنعت برق نمی‌توان صحبت از توسعه‌ی اقتصادی کرد. میزان رشدی که برای صنعت برق در برنامه‌های دولت در نظر گرفته می‌شود، حاکی از اهمیت نقشی است که این صنعت در توسعه‌ی اقتصادی آینده‌ی کشور ایفا می‌کند.

تأمین نیروی برق مورد نیاز، مستلزم سرمایه‌گذاری های بزرگ برای احداث، بهره‌برداری، نگهداری، تولید، ذخیره، انتقال، توزیع برق و تأسیسات مربوطه به آن است. لزوم سرمایه‌گذاری‌های عظیم در بخش نیرو جهت تأمین مصرف روز افزون برق، بر ضرورت بررسی کارایی و بهره‌وری در این صنعت می‌افزاید و بر لزوم افزایش کارایی و بهره‌وری تأکید می‌کند.

در حال حاضر با توجه به آمار منتشر شده، صنعت برق کشور از نظر ظرفیت نصب شده در خاورمیانه رتبه‌ی اول را داراست[2] ولی از نظر تولید، بهره‌برداری و استفاده از

1- Productivity.

2- دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، 1385 .

ظرفیت ایجاد شده در مقایسه با دیگر کشورها در رتبه‌ی نوزدهم[1] قرار دارد. و این به مفهوم عدم استفاده‌ی بهینه و کارا از عوامل و نهاده‌های تولیدی و سرمایه‌های موجود در این بخش است.

صنعت برق ایران تاکنون بیش‌تر متکی بر نیروگاه‌های حرارتی[2] بوده و سهم تولید برق توسط نیروگاه‌های حرارتی در ایران به طور متوسط 91% از برق تولیدی کشور است. در مقاله‌ی حاضر، نیروگاه‌های حرارتی به عنوان بخشی از اقتصاد که تولیدکننده‌ی یکی از اساسی‌ترین کالاها (انرژی برق) بوده و منابع کمیابی از قبیل سوخت، سرمایه و نیروی کار را به خود اختصاص داده است، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

در ادامه، بخش 2 سیر تحولات صنعت برق ایران، بخش 3، روش تحلیل مرزی تصادفی، بخش 4، انتخاب توابع و متغیرها، بخش 5 یافته‌های تحقیق و بخش 6 نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

2- سیر تحولات صنعت برق ایران

این مقاله بر آن است تا ضمن برآورد کارایی فنی[3] نیروگاه‌های حرارتی کشور و بررسی عوامل مؤثر بر این کارایی، با یک مقایسه‌ی تطبیقی با کشورهای در حال توسعه، جایگاه صنعت برق حرارتی کشور را در عرصه‌ی جهانی مشخص کند. بر این اساس، روش تحلیل مرزی تصادفی[4] (SFA)، با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی، در محاسبه و تجزیه و تحلیل کارایی فنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نخستین کارخانه‌ی برق شهری در ایران توسط حاج امین‌الضرب با قدرت مولد 400 کیلووات و توانایی روشنایی هزار شعله برق در تهران در سال 1284 شمسی، تأسیس و حدود 65 سال به کار خود ادامه داد. در کنار آن مولدهای کوچک در سایر شهرهای ایران شامل مشهد، همدان، شیراز، یزد، قزوین، اهواز، تبریز، کرمانشاه و زاهدان نصب شد تا برای شهروندان خود روشنایی به ارمغان آورد.

1- مؤسسه‌ی مطالعات بین المللی انرژی، 1385 .

2- Thermal Power Plants.

3- Technical Efficiency.

4- Stochastic Frontier Analysis.

در سال 1284، اداره‌ای به نام اداره‌ی روشنایی معابر در شهرداری تأسیس شد. این اداره تا سال 1315 به کار مشغول بود و از آن پس به مؤسسه‌ی برق تهران تحت نظر شهرداری تبدیل شد.

تا سال 1341 برای مدیریت برق کشور سازمان واحدی وجود نداشت و تصمیمات کلان از طریق وزارت کشور و سازمان برنامه و بودجه به شهرداری‌ها و مؤسسات خصوصی یا دولتی متولی برق ابلاغ می‌شد.

به دلیل رشد جمعیت و افزایش تقاضای مصرف برق، سازمان برق ایران در سال 1341 تأسیس شد و مؤسسات برق ناحیه‌ای با سرمایه‌ی دولتی و هم‌چنین مؤسسات برق منطقه‌ای، به منظور ایجاد تأسیسات تولید و انتقال و فروش عمده به مؤسسات مذکور و صنایع، شروع به کار کردند.

در سال 1343، وزارت آب و برق با تحت پوشش قرار دادن سازمان‌های مرتبط شامل سازمان برق ایران و چهار شرکت آب و برق منطقه‌ای خوزستان، کرج، منطقه‌ی سفیدرود و آذربایجان و شماری از سازمان‌های برق ناحیه‌ای که در کار تولید و توزیع برق مشارکت داشتند، تأسیس شد.

با وسعت جوامع شهری و صنایع، گستره‌ی عملکرد وزارت آب و برق افزایش یافت و 10 شرکت برق منطقه‌ای جهت تسریع در امور آغاز به کار کردند. (وطنیان، 1349)

با توجه به سرمایه‌گذاری های کلان مورد نیاز صنعت برق و عدم صرفه‌ی اقتصادی برای بخش خصوصی و شهرداری‌ها و نیز بر اساس قانون توسعه‌ی مؤسسات غیردولتی مصوبه‌ی سال 1344، در سال 1346 قانون سازمان برق ایران به تصویب رسید. به منظور تمرکز تولید و انتقال برق در یک شرکت دولتی و استفاده‌ی صحیح از انرژی‌های تولید شده و انتقال صحیح آن به مناطق مختلف مصرف از طریق شبکه‌ی سراسری برق، شرکت توانیر در سال 1347 تأسیس شد.

ظهور مسئولیت‌های جدید به‌ویژه در زمینه‌ی انرژی، موجب شد که در سال 1353، وزارت آب و برق به وزارت نیرو تغییر نام یابد و اجرای همه‌ی عملیات صنعت برق بر عهده‌ی شرکت‌های برق منطقه‌ای قرار گرفت. هم‌اکنون شاخه‌ی برق وزارت نیرو با مجموعه‌ای از شرکت‌ها شامل شرکت توانیر به عنوان شرکت تخصصی مادر، 16 شرکت برق منطقه‌ای که هر کدام دارای تعدادی شرکت اقماری هستند و 42 شرکت توزیع نیروی برق و 28 شرکت مدیریت تولید مشغول به فعالیت می‌باشد.

صنعت برق ایران از نظر ساختاری چهار دوره‌ی زمانی را طی کرده است:
دوره‌ی اول: فعالیت بخش خصوصی (1315-1284)
دوره‌ی دوم: فعالیت موازی بخش خصوصی و عمومی (1340-1315)
دوره‌ی سوم: تمرکزگرایی و فعالیت مطلق بخش عمومی و دولتی (1365-1340)
دوره‌ی چهارم: گرایش به عدم تمرکز، اصلاح ساختار تشکیلاتی و جلب مشارکت بخش خصوصی (بعد از 1365)[1]

نقش نیروی برق در توسعه‌ی اقتصادی و ارتباط مصرف نیروی برق با رشد اقتصادی، توسعه‌ی صنعت برق در قالب برنامه‌های عمرانی و به منظور تأمین هدف‌های مورد نظر برنامه‌های اقتصادی را ایجاب کرده است.

برای تولید برق، در نیروگاه‌ها انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. نیروگاه تأسیساتی است که اشکال گوناگون انرژی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. نیروگاه‌های مدرن بر حسب نوع انرژی مورد مصرف عبارتند از: نیروگاه‌های حرارتی، آبی، هسته‌ای و نیروگاه‌هایی که از انرژی باد و یا حرارت درونی زمین استفاده می‌کنند. از میان این نیروگاه‌ها، نیروگاه‌های حرارتی و آبی[2] از معمول‌ترین انواع آن در صنعت تولید برق هستند. (فرخ‌پور، 1375)

نیروگاه حرارتی به همه‌ی نیروگاه‌هایی اطلاق می‌شود که در واحدهای آن با احتراق سوخت‌های جامد، مایع و یا گاز در بویلر و یا در محرک اولیه، انرژی حرارتی تولید شده و طی فرایندی در نهایت به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. نیروگاه‌های حرارتی در بیش‌تر کشورهای جهان پرقدرت‌ترین نیروگاه‌ها را تشکیل می‌دهند. نیروگاه‌های بخاری، گازی، دیزلی و سیکل ترکیبی، از انواع نیروگاه‌های حرارتی هستند که قسمت عمده‌ی آن از نوع کندانسوردار[3] است. (فرخ‌پور، 1375)

سرزمین پهناور ایران با شرایط گوناگون آب و هوایی در چهار فصل و تنوع اقلیمی آن اجازه نمی‌دهد تا نیروگاه‌ها از تمام ظرفیت نامی خود استفاده کنند. این موضوع به‌ویژه در مورد نیروگاه‌های گازی مصداق دارد. ظرفیت عملی عبارت است از بیش‌ترین توان قابل استحصال از یک مولد، با در نظر گرفتن شرایط محل نصب (شرایط آب و

1- معاونت پژوهشی و فن‌آوری جهاد دانشگاهی، 1384.

2- Hydro Electric Plants .

3- کندانسور، از تجهیزات اصلی نیروگاه حرارتی و منبع سرد با فشار پایین است که بخار برگشتی از توربین وارد آن شده و دوباره به مایع تبدیل می‌شود.

هوایی) و محدودیت‌های عملی و فنی (فرسودگی، سوخت و مسایل مربوط به تعمیرات). ظرفیت اسمی حک شده بر روی مولد با توجه به مبانی تئوریک و در شرایط متعارفی محاسبه شده است و نمی‌تواند به صورت قدرت تولید بالقوه لحاظ شود، لذا ظرفیت عملی نصب شده در حقیقت همان تولید بالقوه است. قدرت عملی تحت تأثیر عواملی نظیر کم شدن راندمان مولدها، مدت زمان استفاده از آن‌ها، ذخیره کردن مولدها جهت شرایط اضطراری، خرابی بعضی از مولدها و غیره، از رقم حداکثر تولید عملی بیش‌تر می‌باشد، بنابراین میزان تولید پیک را معادل حداکثر تولید بالفعل در نظر می‌گیرند.[1]

در مورد سوخت نیروگاه‌ها باید گفت که در نیروگاه‌های حرارتی، انواع سوخت‌های فسیلی نظیر نفت کوره، گازوئیل و گاز طبیعی به مصرف می‌رسد، در این میان برخی نیروگاه‌ها از دو نوع سوخت بهره می‌برند ولی بیش‌تر نیروگاه‌های بخاری و نیروگاه‌های واحد گازی برای مصارف گاز طبیعی طراحی شده‌اند. گازوئیل در واحد دیزل و برخی از واحدهای گازی برای روشن کردن واحدهای بخاری و نفت کوره تنها در نیروگاه‌های بخاری بزرگ مصرف می‌شود. (مهرابی، 1378)

در ایران و بسیاری از کشورهای جهان سوم بنا به دلایل مختلف، میزان بهره‌برداری از حداکثر قدرت عملی نسبت به قدرت اسمی پایین‌تر است. البته تفاوت‌ها در تمام کشورها یکسان نبوده و به تناسب ترکیب علل یا مشکلات موجود متفاوت است. از اهداف این مقاله، تشریح دلایل این تفاوت در صنعت برق ایران می‌باشد.

3- روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA)

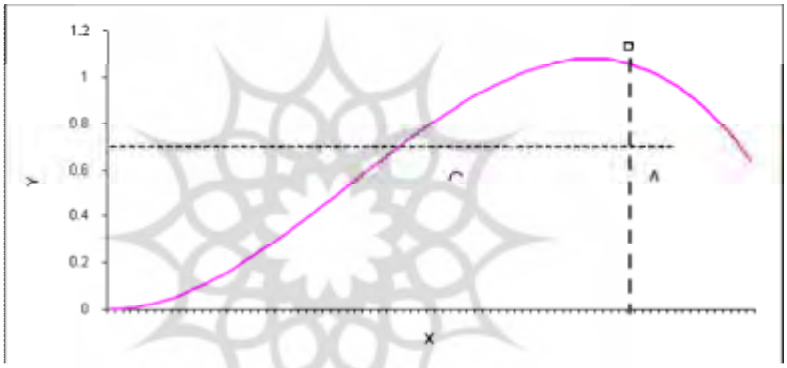
کوشش‌های اقتصادی انسان همواره معطوف به آن بوده است که حداکثر محصول را با کم‌ترین امکانات و عوامل تولید موجود به دست آورد. این تمایل را می‌توان دست یابی به کارایی و بهره‌وری بالاتر نامید. بهره‌وری مفهومی جامع و دربرگیرنده‌ی کارایی است که افزایش آن به منظور ارتقای سطح زندگی، رفاه، آرامش و آسایش انسان‌ها همواره مدنظر دست‌اندرکاران سیاست و اقتصاد بوده است. در اقتصادهای توسعه یافته، روش‌های جدید اندازه‌گیری کارایی، با اتکا به مبانی علمی و روش‌شناختی مناسب و با وجود نرم‌افزارهای رایانه‌ای متعدد، برای محاسبه‌ی کارایی و بهره‌وری بنگاه‌های اقتصادی و رتبه‌بندی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. انجام این امر، راه حل‌های اصولی

1- سازمان برنامه و بودجه، 1365.

به منظور ارتقاء و بهبود میزان کارایی و بهره‌وری را بـه دنبـال خواهـد داشـت. (امـامی میبدی، 1379)

به منظور تعریف کارایی، تابع مرزی[1] را باید معرفی کرد. تابع مـرزی، حـداکثر تولیـد قابل حصول از عامل تولید را در حالات مختلف نشان می‌دهد و به همـین دلیـل بیـانگر وضعیت تکنولوژی موجود در آن صنعت است.

بنگاه‌هایی که بر روی تابع تولید مرزی قرار دارند، کارا هـستند، یعنـی بـا اسـتفاده از نهاده‌های موجود بیش‌ترین محصول را تولید می‌کنند. بنگاه‌هایی که در زیـر تـابع تولیـد مرزی قرار دارند، با عدم کارایی مواجه اند.



نمودار 1- تابع تولید مرزی و کارایی فنی

نقطه‌ی A نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ای غیرکارا ولی B و C معرف نقاط کارا هستند.

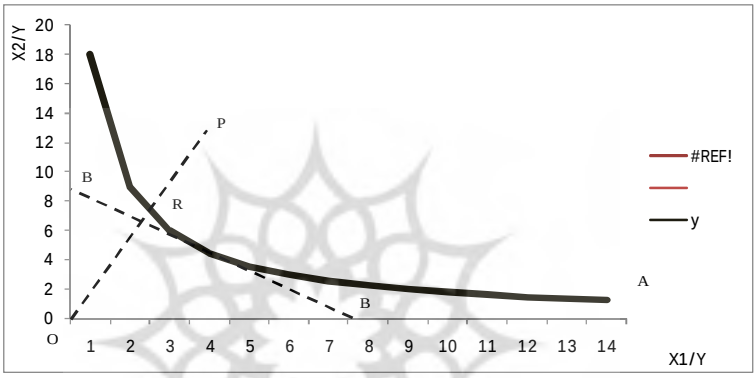
برای تعیین میزان عدم‌کارایی یک بنگاه باید از شاخـصی بـه عنـوان مـلاک مقایـسه استفاده نمود. معرفی روش‌های اندازه‌گیری کارایی بر اساس روش فـارل(1957)[2] انجـام می‌شود. براساس روش فارل، عملکرد یک بنگاه با عملکرد بهترین بنگاه‌هـای موجـود در آن صنعت مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در این روش مفهوم تابع تولیـد مـرزی بـه عنـوان شاخصی برای اندازه‌گیری کارایی به‌کار می‌رود.

1- Frontier Function.
2- Farrell .

نظریات فارل در اندازه‌گیری کارایی بر مبنای کارهای انجام شده توسط دبرو[1] (1951) و کوپمنز[2] (1951) است.

کارایی فنی نشان‌دهنده‌ی میزان توانایی یک بنگاه برای حداکثرسازی تولید با توجه به عوامل تولید مشخص می‌باشد.

منحنی هم‌مقداری تولید بنگاه‌های کاملاً کارا به وسیله‌ی منحنی AA و با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس تولید در نمودار 2 نشان داده شده است.



نمودار 2 - توصیف کارایی فنی به روش فارل

اگر نقطه‌ی P بیانگر یکی از بنگاه‌ها باشد، کارایی فنی آن عبارت است از:

کارایی فنی = OR/OP

در اواخر دهه‌ی 1970 دو روش اندازه‌گیری کارایی DEA[3] و SFA معرفی شدند. در روش تحلیل فراگیر داده‌ها (DEA)، عبارت "اندازه‌گیری کارایی" مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی در روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA) با تجزیه و تحلیل اقتصادسنجی، "تخمین کارایی" مدنظر می‌باشد.

از آن‌جایی که تابع مرزی هیچ‌گاه در عمل قابل دسترسی نیست، فارل (1957)، پیشنهاد کرد که تابع مرزی به وسیله‌ی اطلاعات بنگاه تخمین زده شود.

1- Debreu .
2- Koopmans.
3- Data Envelopment Analysis.

مدل تابع تولید مرزی تصادفی در سال 1977 توسط دو گروه اقتصاددان هم‌زمان در امریکا و اروپا به ادبیات اقتصادی اضافه شد. ساختار اساسی این مدل عبارت است از:

$$Y = \beta' X + V - U$$

به طوری که :

$$V \sim N(0, \sigma_v^2)$$

$$U = |U| \quad , U \sim N(0, \sigma_u^2)$$

عبارت V، جزء اخلال تصادفی، U اثرات عدم‌کارایی، Y بردار محصول، X بردار نهاده‌ها و β بردار پارامترهای مجهول است. عبارت V جمله‌ی اخلال معمولی و توضیح‌دهنده‌ی عوامل خارج از حوزه‌ی تولیدکننده است. متغیرهای غیرمهم حذف شده از مدل در V نهفته هستند. جمله‌ی V دارای توزیع نرمال و مستقل از U است. جمله‌ی U عدم‌کارایی را تعریف کرده و با تعریف فارل سازگار است. عبارت U بزرگ‌تر از یک نمی‌تواند باشد و بایستی مقادیر یک طرفه را شامل شود.

از جمله توزیع‌های یک طرفه، توزیع نیمه‌نرمال است. اگر نوع توزیع U به درستی انتخاب شود، مدل می‌تواند به روش حداکثر درست‌نمایی (ML)[1] تخمین زده شود. روش حداکثر درست‌نمایی تخمین‌های کارآمد، حدی برای ضرائب پارامتر (β) ارائه می‌کند.

روش تحلیل تابع مرزی تصادفی (SFA) را روش پارامتریک گویند، زیرا در تخمین پارامتر β شکل خاصی از تابع مرزی در نظر گرفته می‌شود.

در روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA) عدم‌کارایی با استفاده از داده‌های آماری و با مشخص کردن شکل تابع مرزی، تخمین زده می‌شود. روش SFA تعریف مناسبی از عدم‌کارایی بر پایه‌ی تئوری اقتصاد را عرضه می‌کند و با مباحث تئوریک تولید، سازگار و منطبق است.

4- انتخاب توابع، متغیرها و داده‌ها

در مقاله‌ی حاضر، کارایی صنعت برق ایران و کشورهای منتخب به‌وسیله‌ی روش برآورد حداکثر درست‌نمایی تابع تولید و مدل عدم‌کارایی بررسی می‌شود، که علاوه بر ارائه‌ی کارایی فنی می‌توان فرضیه‌های مختلفی در مورد انتخاب شکل تابع تولید در

1- Maximum Likelihood.

فرایند تولید برق را مورد آزمون قرار داد. این مراحل بر اساس روش برآورد اقتصادسنجی تابع تولید، یعنی روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA) انجام خواهد گرفت. مرز تولید تصادفی و ناکارایی فنی با استفاده از نرم‌افزار Frontier4.1 برآورد و تکنولوژی از طریق حداقل‌سازی میزان استفاده از عوامل تولید[1] مدل‌سازی می‌شود: فراهم کردن نیروی برق با حداقل میزان منابع.

میزان اعتبار تحلیل کارایی، به کیفیت داده‌ها بستگی دارد. اطلاعات صنعت تولید برق 22 کشور در حال توسعه برای سال‌های 2003 تا 2006 میلادی از آمارنامه‌های سالیانه‌ی منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)[2]، سازمان مدیریت انرژی آمریکا (EIA)[3] و سازمان بین‌المللی نیروی کار (ILO)[4] جمع‌آوری شده است. منبع اصلی آمار مربوط به نیروگاه‌های حرارتی کشور از کتابچه‌ی " آمار تفصیلی صنعت برق کشور" در سال‌های مختلف است که توسط وزارت نیرو و سازمان توانیر به‌صورت سالانه منتشر می‌شود.

اطلاعات جمع‌آوری شده شامل سه نهاده‌ی نیروی کار، سرمایه و سوخت مصرفی است که در تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی به‌کار گرفته می‌شود.

نهاده‌ی سوخت شامل گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی می‌باشد که این سوخت‌ها با بیان محتوای حرارتی‌شان بر حسب میلیون بی‌تی‌یو (تراژول) در مرحله‌ی تولید برق به‌کار گرفته می‌شوند. نیروی کار بر حسب تعداد کارکنان شاغل در نیروگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. در این بررسی به دلیل عدم‌امکان دسترسی به اطلاعات نیروی انسانی نیروگاه‌های حرارتی کشورهای منتخب در حال توسعه، از داده‌های طبقه‌بندی شده‌ی ISIC[5]، مربوط به صنعت عرضه‌ی برق، آب و گاز به‌صورت پراکسی استفاده شده است. ظرفیت تولید نصب شده‌ی نیروگاه بر حسب مگاوات (MV)[6]، میزان نهاده‌ی سرمایه را نشان می‌دهد. ستانده‌ی برق تولید شده نیز بر حسب مگاوات ساعت (MVH)[7] بیان می‌گردد.

1- Input-based Orientation.
2- International Energy Agency.
3- Energy Information Administration.
4- International Labor Organization.
5- International Standard Industrial Classification.
6- Mega Watt.
7- Mega Watt Hour.

به کارگیری روش تحلیل مرزی تصادفی نیازمند فرم خاصی از تابع تولید است. در بررسی‌ها و مطالعات تجربی عموماً از تابع تولید کاب-داگلاس و یا تابع تولید ترانسلوگ استفاده می‌شود. در این مقاله پس از بررسی هر دو شکل تابعی مذکور و انجام آزمون‌های مرسوم اقتصادسنجی، فرم تبعی کاب-داگلاس به عنوان مدل نهایی برگزیده شده است. به دلیل استفاده از فرم خطی تابع تولید کاب- داگلاس متغیرها همگی لگاریتم مقادیر واقعی هستند.

5- تخمین کارایی فنی در نیروگاه‌های حرارتی

در این بخش ابتدا نیروگاه‌های حرارتی کشور مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس عوامل مؤثر بر ناکارایی نیروگاه‌های حرارتی بررسی می‌شود. در نهایت مطالعه تطبیقی با کشورهای منتخب تطبیقی با کشورهای منتخب در حال توسعه صورت می‌گیرد.

5-1- *مطالعه‌ی نیروگاه‌های حرارتی کشور*

در این قسمت کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نیروگاه‌های حاضر در نمونه همگی دولتی هستند، زیرا تنها حدود 4% از تولید برق کشور از نیروگاه‌های بخش خصوصی تأمین می‌شود که اطلاعات آن هم به طور کامل در دسترس نیست. از بین نیروگاه‌های حرارتی تحت مالکیت بخش دولتی، نیروگاه کیش که خارج از شبکه‌ی وزارت نیرو عمل می‌کند، در بررسی‌ها وارد نشده است. از بین نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه‌های دیزلی در نمونه وارد نشده‌اند، زیرا این نوع نیروگاه ها به دلیل ملاحظات زیست‌محیطی و راندمان اندک، در حال منسوخ شدن هستند. ضمن این که سهم تولید این نوع نیروگاه‌ها از کل تولید نیروگاه‌های حرارتی کشور نیز بسیار کم است.

برای همگن‌سازی داده‌های مربوط به چهار سال 1382، 1383، 1384 و 1385، نیروگاه‌هایی که در برخی از سال‌ها در خط تولید نبوده‌اند (نیروگاه‌های سهند، دماوند و هرمزگان)، از فهرست نیروگاه‌ها حذف شده‌اند.

بررسی‌های آماری و آزمون‌های رایج اقتصادسنجی از طریق نرم‌افزار Eviews5، از قبیل آزمون معیارهای آکائیک و شوارتز، با توجه به خصوصیات یک مدل برتر (ساده بودن مدل، سازگاری با منطق فیزیکی و اقتصادی، خوبی برازش، قدرت تعمیم‌دهی و

پیش‌نگری و تخمین منحصر به فرد پارامترها) بیانگر آن است که تابع تولید کاب-داگلاس در مقایسه با تابع تولید ترانسلوگ، اثرات عدم‌کارایی در تولید برق حرارتی نیروگاه‌های کشور را بهتر توضیح می‌دهد. نتایج حاصل از برآورد تابع تولید کاب-داگلاس، با وجود 3 نهاده‌ی تولید، یعنی سرمایه، سوخت مصرفی و نیروی کار، به کمک نرم‌افزار فرونتیر از روش حداکثر درست‌نمایی بیانگر آن است که ضریب نهاده‌ی نیروی کار از نظر آماری معنادار نیست، بنابراین مدل نهایی را تنها با متغیرهای سرمایه و سوخت مصرفی برآورد می‌کنیم. برآورد تابع در جدول 1 آمده است.

جدول 1- برآورد نهایی حداکثر درست‌نمایی تابع تولید مرزی تصادفی کاب-داگلاس طی سال‌های (1382-85)

متغیرها	پارامترها	برآوردها (ضرائب)	انحراف معیار	آماره‌ی **t**
مقدار ثابت	β_0	-1/68	0/16	-10/29
سرمایه	β_1	0/087	0/027	3/21
سوخت مصرفی	β_2	1/06	0/028	37/83
پارامترهای واریانس	σ^2	0/107	0/035	3/03
	γ	0/84	0/055	15/12
	μ	-0/6	0/21	-2/88
	η	-0/27	0/087	-3/15
مقدار تابع درست‌نمایی		80/93		

منبع: یافته‌های تحقیق

مدل تخمین زده شده‌ی کاب- داگلاس عبارت است از:

$$\hat{\log}\, y_{it} = -1.68 + 0.087 \log K_{it} + 1.06 \log E_{it}$$

برآورد پارامترهای تابع تولید مرزی تصادفی توسط نرم‌افزار فرونتیر، میزان کارایی فنی هر یک از واحدهای تصمیم‌ساز[1] را نیز در دوره‌ی مورد بررسی ارائه می‌دهد. برای برآورد تابع تولید مرزی از داده‌های 40 نیروگاه حرارتی کشور طی سال‌های 85-1382

1- Decision Making Unit.

استفاده شده است. نتیجه‌ی برآورد کارایی فنی این 40 نیروگاه در جدول 2 آورده شده است.

بررسی نتایج حاصل از نرم‌افزار فرونتیر نشان می‌دهد که نیروگاه‌های خوی، قم، فارس، نیشابور و گیلان بیش‌ترین کارایی فنی و نیروگاه‌های کنگان، شازند و ری کم‌ترین کارایی فنی را دارند. میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی از سال 1382 تا 1385 کاهش یافته است. بررسی کارایی فنی تک‌تک نیروگاه‌ها نیز کاهش کارایی فنی طی دوره‌ی مورد بررسی را تأیید می‌کند. متوسط کارایی فنی 93% بیانگر آن است که نیروگاه‌های حرارتی کشور می‌توانند با 7% کاهش مصرف نهاده‌ها همان میزان برق را تولید کنند.

جدول 2- کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور طی سال‌های (85-1382)

	نیروگاه	کارایی فنی			
		1382	1383	1384	1385
1	شهید فیروزی (طرشت)	0/947	0/931	0/910	0/885
2	بعثت	0/958	0/945	0/928	0/907
3	اسلام‌آباد (اصفهان)	0/977	0/970	0/961	0/949
4	شهید منتظر قائم	0/969	0/960	0/947	0/932
5	شهید بهشتی (لوشان)	0/968	0/958	0/946	0/930
6	زرند	0/978	0/971	0/962	0/950
7	مشهد (شهید رضائی)	0/933	0/913	0/887	0/855
8	شهید سلیمی (نکا)	0/951	0/936	0/917	0/893
9	رامین	0/962	0/950	0/936	0/917
10	بندرعباس	0/979	0/972	0/963	0/952
11	شهید محمد منتظری	0/953	0/938	0/920	0/897
12	طوس	0/960	0/947	0/932	0/911
13	تبریز	0/965	0/954	0/941	0/923
14	شهید رجائی	0/965	0/954	0/940	0/922
15	بیستون	0/970	0/961	0/949	0/934
16	مفتح غرب	0/962	0/950	0/936	0/917

	نیروگاه	کارایی فنی			
		1382	1383	1384	1385
17	ایرانشهر	0/974	0/967	0/957	0/944
18	شازند	0/846	0/802	0/749	0/684
19	شیراز	0/926	0/904	0/877	0/842
20	بوشهر	0/963	0/952	0/938	0/920
21	دورود	0/953	0/939	0/921	0/898
22	شهید زنبق یزد	0/943	0/926	0/904	0/876
23	ری	0/896	0/866	0/828	0/780
24	چابهار (کنارک)	0/955	0/942	0/924	0/902
25	ارومیه	0/954	0/940	0/922	0/899
26	شیروان	0/941	0/923	0/901	0/872
27	شریعتی	0/971	0/962	0/950	0/935
28	صوفیان	0/954	0/940	0/923	0/900
29	زاهدان	0/967	0/958	0/945	0/929
30	قائن	0/976	0/973	0/964	0/954
31	هسا	0/975	0/968	0/958	0/945
32	کازرون	0/954	0/940	0/922	0/899
33	کنگان	0/783	0/725	0/655	0/574
34	کرمان	0/950	0/935	0/916	0/892
35	آبادان	0/975	0/967	0/957	0/944
36	گیلان	0/980	0/974	0/966	0/956
37	قم	0/982	0/977	0/969	0/960
38	نیشابور	0/981	0/976	0/969	0/959
39	فارس	0/981	0/975	0/968	0/958
40	خوی	0/984	0/979	0/673	0/965
	میانگین	0/954	0/940	0/923	0/902

منبع: یافته‌های تحقیق

پارامتر γ که در مدل ناکارایی فنی به صورت $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_v^2}$ و $\sigma_u^2 + \sigma_v^2 = \sigma^2$ تعریف می‌شود، همواره بین صفر و یک قرار دارد. هر چه مقدار γ به صفر نزدیک‌تر باشد، جزء اخلال معمولی سهم بیش‌تری را در کل انحرافات از مرز به عهده خواهد داشت و برعکس، هر چه مقدار برآورد شده‌ی γ به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر آن است که جزء ناکارایی فنی، سهم بزرگ‌تری از کل انحرافات از مرز را به خود اختصاص داده است (کارگر شورکی، 1382). در برآورد جزء ناکارایی فنی تولید برق حرارتی کشور، مقدار γ حدود 0/84 به دست آمده، که نشان می‌دهد تقریباً 84% از انحرافات از مرز ناشی از ناکارایی فنی بوده است.

پارامتر دیگری که از برآورد تابع حداکثر درست‌نمایی در جدول آمده است، η (نشانگر تأثیر متغیر زمان بر اثرات عدم‌کارایی) می‌باشد. با توجه به این که مقدار η منفی است (η=-0/27)، می‌توان نتیجه گرفت که جزء ناکارایی فنی در تولید برق حرارتی، در طول زمان تمایل به افزایش دارد.

5-2- *عوامل مؤثر بر ناکارایی نیروگاه‌های حرارتی کشور*

وجود ناکارایی فنی در بنگاه‌ها، ضرورت بررسی منابع و عوامل مؤثر در این ناکارایی، جهت بهبود طراحی سیاست‌های مرتبط با این عوامل را آشکار می‌کند (امامی میبدی[1]، 1998) در این جا، عوامل سایز نیروگاه و نوع سوخت مصرفی نیروگاه، به عنوان عوامل تأثیرگذار بر کارایی معرفی شده‌اند. از آن‌جایی که هر نیروگاه حرارتی از برخی از سوخت‌های گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی برای تولید برق استفاده می‌کند، برای توضیح این متغیرهای مستقل از متغیرهای موهومی[2] استفاده می‌شود (گجراتی، 1371). مدل پیشنهادی برای تخمین عوامل مؤثر بر کارایی عبارت اند از:

$$\hat{E} = \gamma_0 + \alpha_0 SIZE + \alpha_1 DF_1 \times SIZE + \alpha_2 DF_2 \times SIZE + \alpha_3 DF_3 \times SIZE$$

1- Emami Meibodi.
2- Dummy Variables.

اگر سوخت مصرفی نیروگاه گازوئیل باشد، متغیر DF_1 مقدار 1، اگر سوخت مصرفی گاز طبیعی باشد DF_2 مقدار 1 و اگر سوخت مصرفی نیروگاه نفت کوره باشد، DF_3 مقدار 1 را اختیار می‌کند.

متغیر توضیحی SIZE ظرفیت تولیدی نصب شده است که بر حسب واحد مگاوات (MV) اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر متغیر توضیحی SIZE به صورت لگاریتم مقادیر واقعی ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاه‌هاست.

متغیر وابسته‌ی $\hat{E}$ کارایی فنی تخمینی نیروگاه‌ها را نشان می‌دهد ($0 \leq E \leq 1$).

پس از بررسی مدل پیشنهادی توسط نرم‌افزار فرونتیر، شکل تبعی زیر انتخاب گردیده است:

$$\hat{E} = -4.025 + 0.838SIZE - 0.246\, DF_1 \times SIZE + 0.386\, DF_2 \times SIZE - 0.147\, DF_3 \times SIZE$$
$$(1.75)\quad (-2.99)\qquad\qquad (2.34)\qquad\qquad (-2.64)$$
$$R^2 = 70.05\%$$

رابطه‌ی اخیر نشان می‌دهد که ضریب متغیر سایز با احتمال حدود 95% از نظر آماری معنادار بوده و افزایش ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاه‌های حرارتی به افزایش کارایی فنی می‌انجامد. مقادیر ضرایب متغیرهای موهومی نشان از آن دارد که مصرف سوخت گازوئیل و نفت کوره سبب کاهش کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی می‌شود و مصرف سوخت گاز طبیعی کارایی فنی را می‌افزاید. سایر پارامترها و شاخص‌های آماری مدل از قبیل آماره‌ی t و R^2 در سطح قابل قبولی قرار دارند. مقدار R^2 نشان می‌دهد که مدل مذکور می‌تواند 70% از تغییرات کارایی فنی را به‌وسیله‌ی متغیرهای توضیحی تعریف شده، توضیح دهد.

5-3- *مقایسه‌ی تطبیقی با کشورهای منتخب در حال توسعه*

کارایی فنی صنعت برق حرارتی کشورهای منتخب به‌وسیله‌ی روش برآورد حداکثر درست‌نمایی تابع تولید و مدل عدم‌کارایی بررسی می‌شود. این مرحله بر اساس روش برآورد اقتصادسنجی تابع تولید (SFA) و به کمک نرم‌افزار فرونتیر انجام خواهد گرفت.

در فرایند انتخاب تلاش بر این بوده است که کشورهای مورد بررسی تا حد امکان در شرایط مشابهی با کشور ایران باشند. مجموعه کشورهای در حال توسعه جهت انتخاب کشورهای مناسب مد نظر قرار گرفته و در نهایت 22 کشور گزینش شده‌اند.

اگر چه در انتخاب کشورها سعی شده است که این کشورها از جنبه‌ی اقتصادی تشابه کافی با ایران داشته باشند عدم وجود تشابه منطقه‌ای، اقتصادی و غیره چندان مسأله‌ساز نخواهد بود، زیرا تولید برق حرارتی در همه جای جهان تقریباً تکنولوژی واحدی دارد و اختلاف تکنولوژیکی چندانی در میان تولیدکنندگان مختلف برق حرارتی (برق حرارتی استحصال شده از سوخت‌های فسیلی و نه انرژی هسته‌ای یا ژئوترمال) ملاحظه نمی‌شود.

آمار مربوط به میزان تولید برق نیروگاه‌های حرارتی کشورهای مختلف پس از جمع‌آوری به واحد یکسانی تبدیل شده و بر حسب تراوات ساعت و برای سال‌های 2003 تا 2006 در این بررسی مورد استفاده قرار گرفته است. این آمار مربوط به کل تولید برق از نیروگاه‌های حرارتی، یعنی نیروگاه‌های گازی، بخاری، دیزلی و سیکل ترکیبی هر کشور می‌باشد. برای نهاده‌ی نیروی کار، تعداد پرسنل شاغل در صنایع عرضه‌ی برق، آب و گاز کشورهای منتخب به‌صورت پراکسی در دوره‌ی 4 ساله‌ی مذکور در نظر گرفته شده است. ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاه‌های برق حرارتی در 22 کشور مورد مطالعه طی دوره‌ی زمانی 6-2003 بر حسب گیگاوات گردآوری شده است. اطلاعات مربوط به میزان انرژی مصرفی نیروگاه‌ها نیز پس از جمع‌آوری به واحد یکسان تراژول تبدیل شده و جهت سنجش تحولات کارایی فنی کشورهای منتخب به‌کار گرفته شده است.

توابع تولید کاب - داگلاس و ترانسلوگ با استفاده از داده‌های تحقیق برآورد و با استفاده از نتایج حاصل و مقایسه‌ی آن‌ها و استفاده از آزمون‌های اقتصادسنجی تبیین مدل صحیح، تابع مناسب کاب-داگلاس گزینش شده است.

نتایج حاصل از برآورد تابع تولید کاب-داگلاس با وجود 3 نهاده‌ی تولید، یعنی سرمایه، سوخت مصرفی و نیروی کار به کمک نرم‌افزار فرونتیر از روش حداکثر درست‌نمایی، بیانگر آن است که ضریب نهاده‌ی نیروی کار از نظر آماری معنادار نیست، بنابراین مدل نهایی تنها با متغیرهای سرمایه و سوخت مصرفی برآورد می‌شود. برآورد تابع در جدول 3 آورده شده است.

برآورد پارامترهای تابع تولید مرزی تصادفی کاب-داگلاس توسط نرم‌افزار فرونتیر، میزان کارایی فنی هر یک از واحدهای تصمیم‌ساز را نیز در دوره‌ی مورد بررسی ارائه می‌دهد. با توجه به اطلاعات موجود در جدول 4، کشورهای مصر، مالزی، آفریقای جنوبی،

بنگلادش و سوریه، طی دوره‌ی مورد بررسی از کارایی فنی بیش‌تری در مقایسه با سایر کشورها برخوردار بوده‌اند. در مقابل، کشورهای ارمنستان و قطر در تولید برق حرارتی کم‌ترین کارایی فنی را در مقام مقایسه داشته‌اند. کارایی نیروگاه‌های حرارتی در ایران طی سال‌های مورد بررسی (6-2003) به ترتیب 0/927، 0/930، 0/933 و 0/936 محاسبه شده است، که به طور متوسط سالانه رشدی در حدود 0/32 درصد داشته است. میانگین کارایی فنی تولید برق حرارتی در کشورهای مورد بررسی طی این دوره‌ی 4 ساله، 91/7 درصد بوده، که از متوسط کارایی کشور ایران در همین مدت کم‌تر است، بنابراین در نیروگاه‌های حرارتی کشور فرایند بهبود کارایی فنی با روندی نامحسوس دنبال شده است.

متوسط ناکارایی فنی 0/083، نشانگر 8/3% ناکارایی فنی در تولید برق کشورهای منتخب در حال توسعه است. به عبارتی، بنگاه‌های حاضر در نمونه دارای 91/7% کارایی فنی هستند. نیروگاه‌های حرارتی ایران با متوسط کارایی 93/15%، رتبه‌ی دوازدهم را در بین کشورهای حاضر در نمونه کسب کرده‌اند.

در برآورد جزء ناکارایی فنی تولید برق حرارتی کشورهای منتخب در حال توسعه مقدار γ حدود 0/85 به دست آمده است، که نشان می‌دهد تقریباً 85% از انحرافات از مرز، ناشی از ناکارایی فنی بوده است.

پارامتر دیگری که از برآورد تابع و تخمین حداکثر درست‌نمایی در جدول آمده است، η می‌باشد. با توجه به این که η در تولید برق حرارتی مقداری کوچک ولی مثبت است (η=0/045)، می‌توان نتیجه گرفت که جزء ناکارایی فنی در تولید برق حرارتی در طول زمان تمایل به کاهش دارد، هرچند روند کاهش ناکارایی به کندی انجام گرفته است.

جدول 3- برآورد نهایی حداکثر درست‌نمایی تابع تولید مرزی تصادفی کاب-داگلاس طی سال‌های (6-2003)

متغیرها	پارامترها	برآوردها(ضرائب)	انحراف معیار	آماره‌ی **t**
مقدار ثابت	β_0	-2/085	0/51	-4/05
سرمایه	β_1	0/52	0/12	4/56
سوخت مصرفی	β_2	0/57	0/11	5/23

پارامترهای واریانس	σ^2	0/064	0/031	2/09
	γ	0/85	0/097	8/72
	μ	-0/47	0/36	-1/72
	η	0/045	0/076	0/59
مقدار تابع درست‌نمایی		64/03		

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول 4- کارایی فنی کشورهای منتخب در حال توسعه در تولید برق حرارتی طی سال‌های (2003-6)

	کشور	کارایی فنی			
		2003	2004	2005	2006
1	آرژانتین	0/915	0/919	0/922	0/925
2	بنگلادش	0/957	0/959	0/960	0/962
3	چین	0/900	0/904	0/908	0/912
4	هند	0/899	0/903	0/907	0/911
5	اندونزی	0/955	0/957	0/959	0/961
6	ایران	0/927	0/930	0/933	0/936
7	مالزی	0/976	0/977	0/978	0/979
8	مکزیک	0/923	0/926	0/929	0/932
9	پاکستان	0/926	0/929	0/932	0/935
10	تایلند	0/952	0/954	0/956	0/958
11	ونزوئلا	0/918	0/921	0/925	0/928
12	پرو	0/809	0/816	0/824	0/831
13	ارمنستان	0/661	0/673	0/685	0/696
14	شیلی	0/936	0/939	0/941	0/944
15	قطر	0/776	0/785	0/793	0/801
16	ترکیه	0/955	0/957	0/959	0/961
17	مصر	0/982	0/983	0/984	0/984
18	نیجریه	0/940	0/942	0/945	0/947
19	لهستان	0/891	0/895	0/899	0/904
20	روسیه	0/942	0/944	0/946	0/949

21	سوریه	0/957	0/959	0/960	0/962
22	آفریقای جنوبی	0/966	0/967	0/968	0/970
	میانگین	0/912	0/915	0/919	0/922

منبع: یافته‌های تحقیق

6- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یافته‌های این بررسی بر مبنای اندازه‌گیری و محاسبه‌ی مقادیر کارایی فنی در 40 نیروگاه حرارتی کشور و نیروگاه‌های حرارتی22 کشور در حال توسعه‌ی مشابه ایران می‌باشد. بدین منظور، آمار مربوط به فرایند تولید انرژی برق حرارتی و عوامل و نهاده‌های مورد نیاز آن برای بنگاه‌های مذکور در یک دوره‌ی 4 ساله، یعنی از سال 1382 تا 1385 (2003 تا 2006 میلادی) به‌کار گرفته شده است. به‌منظور برآورد و محاسبه‌ی مقادیر کارایی فنی از روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA) استفاده و ضمن محاسبه‌ی مقادیر کارایی فنی، رتبه‌بندی بنگاه‌ها بر اساس معیار کارایی فنی انجام گرفت. با توجه به این که در محاسبه‌ی مقادیر و اثرات عدم‌کارایی تولید برق حرارتی، شکل تبعی مدل نیز اهمیت می‌یابد، توابع تولید مرزی کاب-داگلاس و ترانسلوگ به صورت مجزا برآورد شدند، که بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار فرونتیر و آزمون فرضیه‌های مربوط به متغیرهای مورد استفاده در هر تابع، در نهایت تابع کاب-داگلاس برای این منظور مناسب تشخیص داده شد.

به منظور بررسی امکان تأثیر سایز و نوع سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر کارایی فنی تولید برق حرارتی کشور، اطلاعات و آمار مربوطه، به همراه مقادیر کارایی حاصل از خروجی نرم‌افزار فرونتیر، برای دوره‌ی مذکور مورد استفاده قرار گرفت.

در مجموع یافته‌ها و نتایج این بررسی به شرح زیر بیان می‌شود:

متوسط کارایی فنی تولید برق نیروگاه‌های حرارتی کشور در فاصله‌ی سال‌های 1382 تا 1385 معادل 93 درصد به دست آمده است. متوسط کارایی فنی تولید برق نیروگاه‌های حرارتی کشورهای منتخب در حال توسعه در فاصله‌ی سال‌های 2003 تا 2006 میلادی معادل 91/7 درصد به دست آمده است. به عبارتی، متوسط کارایی فنی تولید برق حرارتی در ایران طی این مدت بیش‌تر از متوسط مجموع این کشورها است و نیروگاه‌های حرارتی ایران در مقایسه با کشورهای منتخب در حال توسعه در تولید برق

حرارتی به طور نسبی کارا عمل کرده‌اند. با این حال برآورد کارایی فنی 40 نیروگاه حرارتی کشور در فاصله‌ی سال‌های 1382 تا 1385 بیانگر کاهش آن در یکایک نیروگاه‌هاست، طی این دوره، متوسط کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور از 95/4 درصد، به 90/2 درصد کاهش یافته است. از بین نیروگاه‌های حرارتی کشور، نیروگاه‌های خوی، قم، فارس، نیشابور و گیلان بیش‌ترین کارایی فنی و نیروگاه‌های کنگان، شازند و ری کم‌ترین کارایی فنی را دارا هستند.

نتایج حاصل از محاسبات کارایی فنی تولید برق در کشورهای منتخب در حال توسعه‌ی بیانگر پراکندگی نسبی کارایی فنی در کشورهای مورد بررسی است. به عنوان مثال، حداکثر کارایی فنی برای کشور مصر (98 درصد) و حداقل کارایی فنی برای کشور ارمنستان (67 درصد) به دست آمده است، که این دو مقدار، اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند. علاوه بر این، در حدود یک سوم کشورهای مورد بررسی از کارایی فنی کم‌تر از 91 درصد (متوسط کارایی فنی) برخوردار بوده‌اند (چین، هند، پرو، ارمنستان، قطر و لهستان). این نتیجه نشانگر انحراف معیار بالای برآورد است. به بیان دیگر تعداد معدود کشورهای با کارایی فنی پایین‌تر از حد متوسط، از این جهت اختلاف فاحشی با کشورهای مشابه خود در نمونه دارند، که دلایل آن در جای خود قابل مطالعه می‌باشد.

در برآورد و بررسی نقش سایز نیروگاه‌ها در میزان کارایی فنی که با ظرفیت نصب شده نشان داده می‌شود، در مجموع افزایش ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاه‌های حرارتی کشور بر بهبود کارایی فنی اثر مثبت و معناداری داشته، که این موضوع با منطق اقتصادی نیز سازگار است. نوع سوخت مصرفی نیروگاه‌های حرارتی کشور، متغیر دیگری است که بررسی اثرات آن بر کارایی فنی بیانگر آن است که سوخت مصرفی گازوئیل و نفت کوره کارایی فنی را کاهش داده و سوخت مصرفی گاز طبیعی سبب افزایش کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی می‌شود.

نتایج برآوردهای نرم‌افزار فرونتیر، بر تأثیر افزایش ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاهی در جهت بهبود کارایی فنی واحدهای حرارتی تأکید دارد. این امر مستلزم سرمایه‌گذاری‌های ریالی و ارزی هنگفت در صنعت تولید برق حرارتی است. مشکل اصلی صنعت برق حتی در کشورهای توسعه‌یافته و پیشرفته‌ی جهان، کمبود منابع مالی و حجم قابل توجه سرمایه‌های مورد نیاز آن است. این معضل در شرایطی که همگان در مورد کاهش ابعاد و حجم دولت و کاستن از وظایف تصدی گرایانه‌ی آن اتفاق نظر دارند،

بیش‌تر جلوه می‌کند. واگذاری بخشی از سهام نیروگاه‌ها به بخش خصوصی، فروش اوراق مشارکت توسط وزارت نیرو، همکاری و استفاده از مشارکت و توان مالی سایر کشورها و استفاده از روش‌های نوین تأمین مالی نظیر عقد قراردادهای BOT[1] جهت احداث نیروگاه‌های جدید برق، می‌تواند از جمله اقدامات مؤثر در این زمینه باشد.

تعیین نوع سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر اساس سیاست‌های خاصی انجام می‌گیرد و نوع سوخت مصرفی واحدهای حرارتی با توجه به ناخالصی‌های موجود در این سوخت‌ها دارای اهمیت است. اطلاعات و آمار مربوط به وضعیت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها و مقایسه‌ی آن با سایر مصارف عمده‌ی کشور، میزان و نوع سوخت مصرفی و کارایی فنی واحدهای حرارتی، برگرفته از آخرین اطلاعات و آمارنامه‌های تفصیلی صنعت برق و ترازنامه‌ی انرژی کشور، دید روشنی از ضرورت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در نیروگاه‌های کشور به دست می‌دهد. به وسیله‌ی اصلاح و بهینه‌سازی مصرف انرژی و اقدام در جهت افزایش توان واحدهای نیروگاهی، می‌توان به اهداف کارایی بالاتر، کاهش مصرف سوخت و حفظ محیط زیست، افزایش توان صادرات سوخت‌های فسیلی و افزایش ظرفیت تولید برق از طریق کاهش مصرف داخلی دست یافت.

توسعه‌ی نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی با توجه به بازدهی مناسب آن‌ها و تبدیل نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی و استفاده از گاز خروجی نیروگاه‌های گازی برای تولید بخار آب و حرکت توربین بخاری، به افزایش کارایی نیروگاه‌ها می‌انجامد. با تبدیل نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی، با همان مقدار سوخت مصرفی، می‌توان حدود 6 هزار مگاوات برق بیش‌تر تولید کرد.

فهرست منابع

آمار تفصیلی صنعت برق کشور در سال‌های 1382، 1383، 1384 و 1385، وزارت نیرو، سازمان توانیر.

امامی میبدی، علی؛ (1379)، اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری، تهران، مؤسسه‌ی مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.

1- Build-Operate-Transfer.

ترازنامه‌ی هیدروکربوری کشور برای سال‌های 1382، 1383، 1384، 1385 و 1386، مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی.

چشم انداز تولید و مصرف برق طی دوره‌ی 1400 - 1380 ، (1384)، مجری طرح: معاونت پژوهش و فن‌آوری جهاد دانشگاهی،

فرخ‌پور، رضا؛ (1375)، راه‌اندازی و بهره‌برداری از تجهیزات نیروگاهی و پست‌های برق، تهران، انتشارات مانی.

کارگر شورکی، محمدرضا، (1382)، بررسی تطبیقی کارایی صنعت برق ایران با کشورهای منتخب جهان، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی.

گجراتی، دامودار؛ ترجمه‌ی دکتر حمید ابریشمی؛(1371)، مبانی اقتصاد سنجی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

گزارش در مورد صنعت برق و لزوم ساخت تجهیزات آن، (1365)، سازمان برنامه و بودجه.

مهرابی، عباس، (1378)، بررسی کارایی نیروگاه‌های حرارتی (بخاری و گازی) آبی و شرکت‌های توزیع برق به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی.

نیاکان، لیلی، (1388)، اندازه‌گیری کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور به روش تحلیل مرزی تصادفی(SFA) و مقایسه‌ی تطبیقی با کشورهای منتخب درحال توسعه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگده اقتصاد دانشگاه تهران.

وطنیان، (1349)، اقتصاد نیروی برق در ایران.

Emami Meibodi, Ali; (1998), Efficiency Considerations in the Electricity Supply Industry: The Case of Iran, PhD Thesis, University of Surrey, U. K.

Farrel.M.J; The Measurement of Productive Efficiency, Journal of Royal Statistical Society, Series A, 120,Part3, pp81-253

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی