فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، صفحات ۱۰۳- ۷۹

اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی

دکتر علی امامی میبدی، دکتر مرتضی افقه و محمد حسین رحمانی صفتی*

تاریخ وصول: ۱۳۸۸/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۹/۱۷

چکیده:

صنعت برق به دلیل نقش زیربنایی و ارتباط تنگاتنگ با عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی، صنعتی پویا و تأثیرگذار است و افزایش کارایی و بهره‌وری در آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. بخش تولید برق (نیروگاه‌ها) مهمترین و در عین حال سرمایه‌برترین بخش در صنعت برق می‌باشد. بنابراین، با توجه به اهمیت نیروگاه‌ها، هدف مقاله‌ی تجربی حاضر، اندازه‌گیری کارایی فنی در سال 1386 و نیز بهره‌وری طی سال‌های 86- 1381 برای 26 نیروگاه حرارتی فعال در ایران با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست است. نتایج نشان داد که متوسط کارایی فنی نیروگاه‌ها تحت فرض بازده‌ی ثابت و متغیر در سال 1386، به ترتیب برابر با 76/4 و 92/8 درصد است و ناکارایی مقیاس بیشترین تأثیر را روی ناکارایی فنی دارد. رشد بهره وری تمام نیروگاه‌های مورد نظر طی سال‌های مورد بررسی به طور متوسط معادل 1/5 درصد بوده است و تأثیرگذارترین عامل در تغییرات بهره‌وری، تغییرات تکنولوژیکی معرفی شده است.

طبقه بندی JEL : C61، D24 ، Z19

واژه‌های کلیدی: *تحلیل فراگیر داده‌ها، کارایی فنی، بهره‌وری، شاخص مالم‌کوییست، نیروگاه‌ها*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* به ترتیب استادیار دانشگاه علامه طباطبایی، استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز و کارشناس ارشد علوم اقتصادی (emami@atv.ac.ir)

۱- مقدمه

تولید همواره مستلزم داشتن عوامل تولید است. افزایش تولید از دو روش افزایش عوامل تولید و استفاده‌ی بهتر از عوامل تولید با اتخاذ مدیریت بهتر بر این منابع و به کارگیری روش‌های جدیدتر در ترکیب آن‌ها قابل حصول است. یکی از راه‌های بهینه‌سازی ترکیب عوامل‌تولید، استفاده از مفاهیم کارایی[1] و بهره‌وری[2] می‌باشد.

کارایی و بهره‌وری معیارهایی هستند که به کمک آن‌ها می‌توان به طور مستمر شرایط موجود را بهبود بخشید. قدم ابتدایی در چرخه‌ی بهبود کارایی و بهره‌وری، اندازه‌گیری است. اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری به عنوان یک سیستم بسترساز، شرایطی را فراهم می‌آورد تا تصمیم‌گیران دریابند در چه وضعیتی قرار دارند و بتوانند برای بهبود شرایط فعلی اقدام به برنامه‌ریزی نمایند.

موفقیت در هر صنعتی مستلزم استفاده از بهترین شیوه‌های تولید و بهره‌گیری بهینه از عوامل تولید و امکانات موجود است. بنابراین، افزایش کارایی و بهره‌وری در تمام صنایع کشور راهی مطمئن جهت رسیدن به رشد اقتصادی هر چه بیشتر با همان منابع و امکانات موجود می‌باشد. در میان صنایع مختلف، صنعت برق به دلیل نقش زیربنایی و ارتباط بسیار زیاد با سایر عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی، صنعتی پویا و تأثیر گذار است و افزایش کارایی و بهره‌وری در این صنعت از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

صنعت برق به سه بخش: تولید، انتقال و توزیع قابل تقسیم است. در این میان بخش تولید برق (نیروگاه‌ها) مهمترین و در عین حال سرمایه‌برترین بخش در صنعت برق می‌باشد. نیروگاه‌ها را می‌توان با توجه به منابع انرژی مورد نیاز جهت تولید برق به ۳ دسته‌ی نیروگاه‌های آبی، نیروگاه‌های بادی و نیروگاه‌های حرارتی تقسیم‌بندی نمود. نیروگاه‌های متعارف در ایران، نیروگاه‌های حرارتی (بخاری، گازی و سیکل ترکیبی[3]) و آبی هستند. کشور ما به دلیل دارا بودن منابع غنی نفت و گاز (به منزله‌ی سوخت اصلی نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی) در استفاده از این نیروگاه‌ها دارای مزیت نسبی است (حیدری، ۱۳۷۹).

پرتال جامع علوم انسانی

[1] Efficiency
[2] Productivity
[3] Combined Cycle

جدول ۱: تولید ویژه[۴] و راندمان حرارتی نیروگاه‌های تحت پوشش وزارت نیرو در سال ۱۳۸۶

نوع نیروگاه	تولید ویژه (میلیون کیلووات ساعت)	راندمان حرارتی (درصد)	سهم از تولید ویژه (درصد)
بخاری	۸۷۹۳۴	۳۶/۲	۴۵/۸۴
گازی	۳۶۹۷۵	۲۸/۲	۱۸/۸۵
سیکل‌ترکیبی	۵۲۹۴۱	۴۲/۳	۲۶/۹۹
دیزلی	۲۱۰	۳۱/۸	۰/۱
برق آبی	۱۷۸۷۷	-	۹/۱۱
برق بادی	۱۴۱	-	۰/۰۷
مجموع	۱۹۶۰۷۸	۳۶/۲	-

مأخذ: آمار تفصیلی صنعت برق در سال۱۳۸۶

با توجه به جدول (۱)، مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۸۶ به ترتیب ۴۵/۸۴، ۱۸/۸۵، ۲۶/۹۹، ۰/۱، ۹/۱۱ و ۰/۰۷ درصد از تولید ویژه‌ی برق نیروگاه‌های تحت پوشش وزارت نیرو در نیروگاه‌های بخاری، گازی، سیکل‌ترکیبی، دیزلی، آبی و بادی صورت گرفته است. نیروگاه‌های سیکل‌ترکیبی و گازی به ترتیب با ۴۲/۳ و ۲۸/۲ درصد بالاترین و پایین‌ترین بازده‌ی حرارتی بین نیروگاه‌های حرارتی را به خود اختصاص داده‌اند. حدود ۹۲ درصد از تولید ویژه‌ی برق نیروگاه‌های تحت پوشش وزارت نیرو متعلق به ۳ نوع نیروگاه بخاری، گازی و سیکل ترکیبی است.

با توجه به اهمیت نیروگاه‌های حرارتی (بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی) به عنوان منابع اصلی تولید برق در ایران، هدف از این مطالعه اندازه‌گیری کارایی فنی[۵] و بهره‌وری به عنوان یکی از ارکان اصلی چرخه‌ی بهبود بهره‌وری در ۲۶ نیروگاه حرارتی فعال در سطح کشور طی دوره‌ی ۸۶-۱۳۸۱ است.

سؤالات اساسی که در این مقاله به آن‌ها پاسخ داده می‌شود، عبارت است از:

۱- کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال ۱۳۸۶ به چه میزان است؟

۲- از بین عوامل ناکارایی بیشترین تأثیر را در ناکارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی منتخب در خلال سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ دارد؟

---

[۴] تفاضل کل انرژی تولیدی ناویژه‌ی واحدها و مصرف داخلی نیروگاه‌ها

[5] Technical Efficiency

۳- وضعیت تغییرات بهره‌وری و اجزای آن در نیروگاه‌های حرارتی منتخب در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ چگونه است؟

در این راستا، بخش دوم این مطالعه به پیشینه‌ی تحقیق اختصاص یافته است. در بخش سوم به مبانی نظری مورد استفاده در این مطالعه اشاره شده است. بخش چهارم به معرفی روش و متغیرهای تحقیق پرداخته است. در بخش پنجم و ششم به اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های حرارتی منتخب پرداخته شده است و در بخش هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

شیا و لام[6] (۲۰۰۵) کارایی و بهره‌وری در صنعت برق چین را با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست و در نظر گرفتن متغیر میزان برق تولیدی هر نیروگاه بر حسب مگاوات ساعت به عنوان ستاده و ظرفیت نصب شده[7] بر حسب مگاوات، سوخت بر حسب تراژول و نیروی‌کار برحسب نفر به عنوان نهاده محاسبه کردند. بر اساس نتایج این تحقیق، بهبود ۱/۱ درصدی در کارایی مقیاس،[8] افت ۰/۳ درصدی در کارایی خالص[9] را خنثی نموده و باعث رشد ۰/۸ درصدی در کارایی فنی شده است.

وانینسکی[10] (۲۰۰۶) با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها و با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس[11] (دیدگاه نهاده‌محور[12])، کارایی صنعت برق ایالات متحده را بررسی نمود. نتایج نشان داد که طی دوره‌ی زمانی ۹۴-۱۹۹۱ کارایی به سطح ۹۸/۶۱ درصد کاهش پیدا کرده است. طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۴ کارایی در بالاترین سطح، نسبتاً ثابت باقی مانده و سپس در سال ۲۰۰۴ به سطح ۹۴/۶۱ درصد نزول پیدا کرده است.

ابوت[13] (۲۰۰۶) با استفاده از شاخص مالم‌کوییست و با استفاده از یک ستاده، عرضه‌ی برق و چهار نهاده شامل موجودی سرمایه، نیروی‌کار، سوخت و

---

[6] Shia and Lam
[7] Installed Generating Capacity
[8] Scale Efficiency
[9] Pure Efficiency
[10] Vaninsky
[11] Variable Returns to Scale
[12] Input-Orientation
[13] Abbott

سایر مواد و خدمات و با در نظر گرفتن دیدگاه نهاده محور به ارزیابی بهره‌وری کل عوامل تولید[۱۴]صنعت برق استرالیا طی دوره‌ی زمانی ۹۹-۱۹۶۹ پرداخت. نتایج تحقیق نشان دهنده‌ی رشد مثبت تغییرات تکنولوژیکی با میانگین نرخ رشد سالیانه ۱/۸ درصد در تمام ایالات بوده است. کارایی مقیاس نیز در تمام ایالات تقریباً ثابت باقی مانده است. بنابراین، می‌توان گفت افزایش ۲/۵ درصدی بهره‌وری کل عوامل تولید بیشتر متأثر از پیشرفت تکنولوژی بوده است.

امامی میبدی (۱۳۷۶) با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست و لحاظ کردن دیدگاه نهاده محور، کارایی فنی و بهره‌وری کل عوامل تولید در نیروگاه‌های حرارتی ۲۶ کشور در حال توسعه را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که به طور متوسط، کشورهای در حال توسعه‌ی مورد بررسی دارای ناکارایی معادل ۲۳ درصد است. تایلند کاراترین و السالوادور ناکاراترین کشور در این مطالعه بوده است. نیروگاه‌های ایران با متوسط کارایی ۶۰/۳ درصد رتبه‌ی ۲۴ را در بین ۲۶ کشور مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند.

مهرابی (۱۳۷۹) کارایی نیروگاه‌ها و شرکت‌های توزیع برق را با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها (دیدگاه نهاده‌محور) در سال‌های ۷۷-۱۳۷۴ مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان داده است با لحاظ کردن نیروی‌کار به عنوان متغیر ورودی، متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص[۱۵] و کارایی مقیاس به ترتیب ۸۵/۹، ۹۲/۲ و ۹۳/۱ درصد بوده است. بدون لحاظ کردن نیروی کار، متوسط کارایی معادل ۶۸ درصد حاصل شده است.

فلاحی و احمدی (۱۳۸۴) با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست و لحاظ کردن دیدگاه نهاده محور، کارایی فنی (کل و محض)، کارایی مقیاس، بهره‌وری کل عوامل تولید و تحولات تکنولوژیکی ۴۲ شرکت توزیع برق ایران را در سال‌های ۸۱-۱۳۷۷ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این تحقیق، عدم کارایی مقیاس مهمترین عامل عدم کارایی شرکت توزیع برق در ایران است. رشد بهره‌وری عوامل شرکت‌های مزبور طی دوره‌ی زمانی مورد بررسی منفی است و مهمترین دلیل رشد منفی بهره‌وری شرکت‌ها، استفاده از تجهیزات فرسوده و از رده خارج در شرکت‌های توزیع است.

---

[14] Total Factor Productivity
[15] Pure Technical Efficiency

موسایی و عبد الرحیم (۱۳۸۸) با استفاده از تابع تولید مرزی تصادفی کارایی در صنایع ایران را تحلیل کردند.

۳- مبانی نظری کارایی و بهره‌وری

۳-۱- کارایی

کارایی بیان‌گر این مفهوم است که یک سازمان به چه خوبی از منابع خود در راستای تولید، نسبت به بهترین عملکرد در مقطعی از زمان استفاده کرده است. بنابراین، کارایی معیار عملکرد یک سیستم سازمانی است که بر میزان منابع (ورودی‌ها) استوار شده است. به عبارتی دیگر، کارایی میزان مصرف منابع برای تولید مقدار معینی محصول است (مهرگان، ۱۳۸۳).

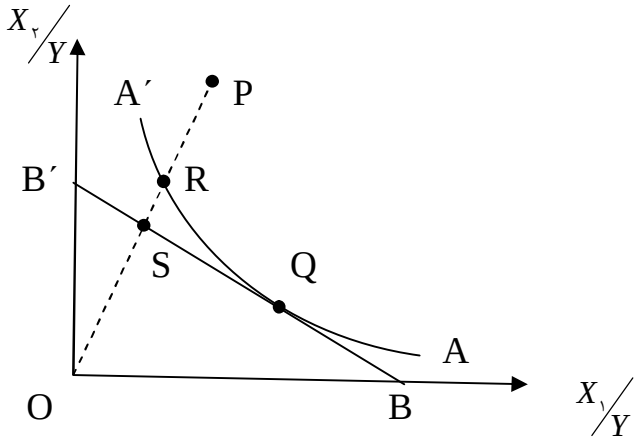
۳-۱-۱- انواع کارایی

اندازه‌گیری کارایی به شیوه‌های نوین، از مطالعه‌ی فارل (۱۹۵۷)[16] آغاز شد. او کارایی هر بنگاه را به دو جزء کارایی فنی و کارایی تخصیصی[17] تجزیه کرد و ایده‌ی خود را با استفاده از نگرش نهاده‌محور و فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس[18] برای اندازه‌گیری کارایی بخش کشاورزی ایالات متحده به کار برد (فلاحی و احمدی، ۱۳۸۴).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[16] Farrel
[17] Allocative Efficiency
[18] Constant Returns to Scale

نمودار ۱: توصیف انواع کارایی به روش فارل (دیدگاه نهاده محور)



برای بنگاه‌هایی که تنها دو نهاده‌ی X_1 و X_2 را برای تولید ستاده‌ی Y مورد استفاده قرار می‌دهند، منحنی تولید یکسان[19] بنگاه‌های کاملاً کارا به وسیله‌ی منحنی $A\acute{A}$ با فرض بازده‌ی ثابت نسبت به مقیاس در نمودار (۱) نشان داده شده است. اگر نقطه‌ی P نمایانگر یکی از بنگاه‌ها باشد، کارایی فنی که منعکس کننده‌ی توانایی آن بنگاه در حداقل‌سازی نهاده با توجه به مقدار ثابت ستاده است، به صورت $\frac{OR}{OP}$ تعریف می‌شود. یک تولیدکننده زمانی به لحاظ فنی کاراست که تولید او بر روی منحنی تولید یکسان $A\acute{A}$ انجام شود.

در نمودار (۱)، خط هزینه‌ی یکسان[20] $B\acute{B}$ نشانگر قیمت نهاده‌هاست. کارایی تخصیصی منعکس کننده‌ی توانایی یک بنگاه در حداقل‌سازی هزینه با توجه به مقدار ثابت تولید است. برای بنگاهی که در نقطه‌ی P تولید می‌کند، کارایی تخصیصی به صورت $\frac{OS}{OR}$ قابل تعریف است. زمانی بنگاه از لحاظ تخصیصی کاراست که بر روی خط هزینه‌ی یکسان قرار گیرد.

از حاصل‌ضرب کارایی فنی در کارایی تخصیصی، کارایی اقتصادی[21] بر اساس تعریف فارل برای بنگاه P به صورت $\frac{OR}{OP}\times\frac{OS}{OR}=\frac{OS}{OP}$ قابل تعریف

[19] Isoquants Curve
[20] Isocosts Line
[21] Economic Efficiency

است. زمانی بنگاه P دارای کارایی اقتصادی است که خود را از وضعیت P به وضعیّت Q برساند. امتیاز عمده‌ی روش اندازه‌گیری کارایی فارل استقلال از واحد اندازه‌گیری است (امامی میبدی، ۱۳۷۹).

۳-۱-۲- اندازه‌گیری کارایی فنی به روش تحلیل فراگیرداده‌ها (*DEA*)

روش پیشنهادی فارل برای اندازه‌گیری کارایی بنگاه‌ها با توجه به فروض محدود کننده‌ای که به همراه داشت، کاربرد عملی چندانی نیافت تا این که چارنز، کوپر و رودز[۲۲] (۱۹۷۸) مدلی را تحت عنوان "تحلیل فراگیر داده‌ها" ارائه کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین نهاده و ستاده را داشت. این روش اندازه‌گیری کارایی به دلیل قابلیت‌های فراوانی مانند استفاده‌ی همزمان از چندین نهاده و ستاده با مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت، ارائه‌ی الگوی مرجع برای بنگاه‌های ناکارا، امکان تفکیک کارایی فنی کل به کارایی فنی خالص (کارایی مدیریتی) و کارایی مقیاس و عدم نیاز به وجود پیش فرض در مورد نوع تابع تولید، به طور گسترده‌ای مورد توجه محققان قرار گرفت.

هدف این مدل اندازه‌گیری و مقایسه‌ی کارایی نسبی بنگاه‌های همگن است. در روش تحلیل فراگیر داده‌ها به بنگاه‌هایی همگن اطلاق می‌شود که دارای چندین نهاده و ستاده‌ی شبیه به هم باشند.

برای ساختن مدل، فرض می‌شود که n بنگاه وجود دارد و هدف، ارزیابی کارایی فنی بنگاه تحت بررسی (بنگاه صفر) است که نهاده‌های $x_{1.}, x_{2.}, \ldots, x_{m.}$ را برای تولید ستاده‌های $y_{1.}, y_{2.}, \ldots, y_{s.}$ مصرف می‌کند. $u_1, u_2, \ldots, u_s$ و $v_1, v_2, \ldots, v_m$ به ترتیب وزن‌های تخصیص داده شده به ستاده‌ها و نهاده‌ها هستند. متغیرهای مسأله، وزن‌ها هستند که مدل ریاضی آن به صورت زیر می‌باشد:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[22] Charnes, Cooper & Rhodes

$$\max\ z_{\cdot} = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r\cdot} \qquad (1)$$

$$\text{st}: \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i\cdot} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \qquad (j = 0,1,2,\ldots, n)$$

$$u_r, v_i \ge 0$$

اگر متغیر متناظر با محدودیت اول و دوم در مسأله‌ی ثانویه به ترتیب با θ و λ_j بیان شود، مدل پوششی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\min\ y_{\cdot} = \theta \qquad (2)$$

$$\text{st}: \quad \sum_{j=0}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{r\cdot} \qquad (r = 1,2,\ldots, s)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{i\cdot} \qquad (i = 1,2,,\ldots, m)$$

$$\lambda_j \ge 0 \qquad (j = 0,1,2,\ldots, n)$$

در سال ۱۹۸۴ با در نظر گرفتن فرض بازده‌ی متغیر نسبت به مقیاس توسط بانکر، چارنز و کوپر[23] اندازه‌گیری کارایی فنی با روش تحلیل فراگیر داده‌ها بسط یافت و به مدل *BCC* شهرت پیدا کرد. برای به دست آوردن مدل *BCC* کافی است که قید تحدب $\sum_{j=0}^{n} \lambda_j = 1$ به مدل (۲) اضافه شود تا مدل با فرض بازده‌ی ثابت به مدلی با فرض بازده‌ی متغیر تبدیل گردد. در این حالت کارایی فنی کل به دو جزء کارایی فنی خالص (کارایی مدیریتی[24]) و کارایی مقیاس قابل تفکیک است.

کارایی مقیاس × کارایی فنی خالص (کارایی مدیریتی) = کارایی فنی کل

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[23] Banker Charnes and Cooper

[24] کارایی مدیریتی (کارایی فنی خالص) یا همان کارایی فنی تحت فرض بازده‌ی متغیر نسبت به مقیاس

منحنی تولید یکسان و تابع تولید مرزی ناپارامتریک که به صورت خط شکسته برای بنگاه‌های کارا به دست می‌آید، ممکن است در اندازه‌گیری کارایی مشکلاتی به صورت نهاده‌ی مازاد[۲۵] یا ستاده‌ی مازاد[۲۶] ایجاد نماید. در روش تحلیل فراگیر داده‌ها این مشکل با استفاده از مدل زیر که مدل دو مرحله‌ای تحلیل فراگیر داده‌هاست برطرف می‌شود.

$$\min y_{.} = \theta - \varepsilon(\sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+) \qquad (۳)$$

$$\text{st}: \quad \sum_{j=0}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r.} \qquad (r = 1,2,\ldots, s)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{i.} \qquad (i = 1,2,\ldots, m)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \qquad (j = 0,1,2,\ldots, n)$$

s_i^- و s_r^+ به ترتیب نشان دهنده‌ی نهاده‌ی مازاد و ستاده‌ی مازاد است. یک بنگاه کاراست اگر و تنها اگر $\theta^* = 1$ و برای تمامی i ها و j ها $s_i^{-*} = 0$ و $s_r^{+*} = 0$ باشد. اگر برای یک بنگاه $\theta^* = 1$ و برای بعضی i ها $s_i^{-*} \neq 0$ باشد، آنگاه بنگاه تحت بررسی بنگاهی با کارایی ضعیف است (مهرگان، ۱۳۸۳).

روش تحلیل فراگیر داده‌ها با وجود محدودیت‌هایی مانند عدم اندازه‌گیری کارایی مطلق، تغییر در مقادیر کارایی با اضافه کردن بنگاه جدید و عدم امکان انجام آزمون‌های آماری به خاطر ماهیت ناپارامتریک آن، به دلیل قابلیت‌هایی که برای آن برشمرده شد، روز به روز در حال گسترش است و به طور وسیعی توسط محققان در تحقیقات تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲- بهره‌وری

بهره‌وری یکی از مفاهیم مهم مطالعه‌ی عملکرد در طی زمان است. شاخص بهره‌وری بر مبنای مقایسه‌ی دوتایی است که عمدتاً اشاره به مقایسه‌ی کارایی یک

[25] Input Slack
[26] Output Slack

بنگاه در دو زمان مختلف دارد. شاخص مالم‌کوییست برای دو دوره‌ی زمانی t و $t+1$ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$M_i^{t+1} = \frac{d_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_i^t(y^t, x^t)} \left[\frac{d_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{d_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \times \frac{d_i^t(y^t, x^t)}{d_i^{t+1}(y^t, x^t)} \right]^{1/2} \qquad (۴)$$

$$= \mathrm{E}^{t+1} \times T^{t+1}$$

که در آن M^{t+1} تغییرات در بهره‌وری کل، E^{t+1} تغییرات در کارایی و T^{t+1} تغییرات تکنولوژیکی را با انتقال در تابع تولید مرزی بین دوره‌های t و $t+1$ اندازه‌گیری می‌نماید. تحلیل فوق بر اساس فرض بازده‌ی ثابت نسبت به مقیاس است. در صورت اعمال فرض بازده‌ثی متغیر نسبت به مقیاس، تغییرات کارایی نیز به اجزای خود یعنی تغییرات کارایی فنی خالص (کارایی مدیریتی) و تغییرات کارایی مقیاس تفکیک می‌گردد (امامی میبدی، ۱۳۷۹).

تغییرات تکنولوژیکی × تغییرات کارایی مقیاس × تغییرات کارایی مدیریت = تغییرات بهره‌وری کل

با توجه به مدل (۴)، برای هر بنگاه باید چهار تابع مسافت عوامل تولید[۲۷] محاسبه شود. در شرایط بازده‌ی ثابت نسبت به مقیاس و برای بنگاه تحت بررسی (بنگاه صفر)، این چهار تابع در صورت نشان دادن توابع مسافت عوامل تولید با d_i،[۲۸] به صورت مدل‌های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) قابل نمایش هستند که برای آنها، θ آزاد در علامت است، $\lambda_j \geq 0$ و $(\mathrm{j} = 0,1,2,\ldots,\mathrm{n})$ تعریف می‌شود.

$$\left[d_i^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})\right]^{-1} = \min\theta \qquad (۵)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j y_{rj,t+1} \geq y_{r0,t+1} \qquad (\mathrm{r} = 1,2,\ldots,\mathrm{s})$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j x_{ij,t+1} \leq \theta x_{i0,t+1} \qquad (\mathrm{i} = 1,2,,\ldots,\mathrm{m})$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[27] Input Distance Functions

[۲۸] همان معکوس مقادیر کارایی مورد نظر فارل

$$\left[d_i^t(y^t, x^t)\right]^{-1} = \min \theta \qquad (۶)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j y_{rj,t} \geq y_{r0,t} \qquad (r = 1,2,\ldots, s)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j x_{ij,t} \leq \theta x_{i0,t} \qquad (i = 1,2,\ldots, m)$$

$$\left[d_i^{t+1}(y^t, x^t)\right]^{-1} = \min \theta \qquad (۷)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j y_{rj,t+1} \geq y_{r0,t} \qquad (r = 1,2,\ldots, s)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j x_{ij,t+1} \leq \theta x_{i0,t} \qquad (i = 1,2,\ldots, m)$$

$$\left[d_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})\right]^{-1} = \min \theta \qquad (۸)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j y_{rj,t} \geq y_{r0,t+1} \qquad (r = 1,2,\ldots, s)$$

$$\sum_{j=0}^{n} \lambda_j x_{ij,t} \leq \theta x_{i0,t+1} \qquad (i = 1,2,\ldots, m)$$

جهت اعمال فرض بازده‌ی متغیر، محدودیت $\sum_{j=0}^{n} \lambda_j = 1$ اضافه می‌شود.

۴- معرفی روش و متغیرهای تحقیق

این پژوهش از نوع تجربی است که به دلیل وجود محدودیت‌هایی نظیر تازه تأسیس بودن، عدم بهره‌برداری از تمام ظرفیت، محدودیت دسترسی به آمار تعداد شاغلین و عدم شفافیت در اطلاعات اکثر نیروگاه‌های حرارتی فعال در سطح کشور، تنها امکان اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در ۲۶ نیروگاه بخاری، گازی و سیکل ترکیبی میسر شد. نیروگاه‌های شهید فیروزی، بعثت، اسلام آباد، زرند، رامین، شهید منتظری، توس، بیستون، شهید مفتح، ایران شهر، شازند، درود، ری، شهید زنبق، ارومیه، صوفیان، قائن، هسا، کنگان، شیراز، بوشهر، گیلان، قم، نیشابور، فارس و خوی که در مجموع بار تولید ۴۲/۸ درصد از تولید ویژه‌ی برق نیروگاه‌های وزارت

نیرو در سال ۱۳۸۶ را بر عهده داشته‌اند (آمار تفصیلی صنعت برق، ۱۳۸۶)، به عنوان یک واحد تصمیم گیرنده[۲۹] قلمداد می‌شوند که ۳ نهاده‌ی سوخت، نیروی‌کار و ظرفیت نصب شده را برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌دهند. بنابراین متغیرهای این تحقیق شامل موارد زیر می‌شود:

۱. سوخت: سوخت مصرفی در هر نیروگاه به ۳ شکل گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی است. در این مطالعه برای سادگی این ۳ نوع سوخت با استفاده از واحد گرمایی بریتانیا (*BTU*) که یک واحد سنجش انرژی است، همسان‌سازی شده و به عنوان یک متغیر در مدل وارد شده است.

۲. نیروی‌کار: منظور از نیروی‌کار در این مطالعه تعداد نیروی‌انسانی شاغل در هر نیروگاه برحسب نفر است.

۳. ظرفیت نصب شده: در مورد سرمایه مشکلاتی از قبیل نبود آمار ارزشی سرمایه در نیروگاه‌ها، مشکلات محاسباتی تورم و استهلاک، مانع از محاسبه‌ی سرمایه برحسب ارزش شد. بنابراین، در این مطالعه از ظرفیت نصب شده در هر نیروگاه برحسب مگاوات به عنوان جانشینی برای سرمایه استفاده شده است.

۴. تولید ویژه‌ی برق: ستاده‌ی حاصل از هر نیروگاه، میزان تولید ویژه‌ی برق است که برحسب مگاوات ساعت قابل اندازه‌گیری است.

آمار و اطلاعات مربوط به هر یک از متغیرهای فوق با استفاده از روش کتابخانه‌ای به صورت سری زمانی (۸۶-۱۳۸۱) از مجله‌ی آمار تفصیلی صنعت برق در ایران که هر ساله توسط شرکت مادر تخصصی توانیر منتشر می‌شود، گردآوری شده است.

همان‌طور که در مبانی نظری اشاره شد، اندازه‌گیری کارایی بنگاه‌های همگن نسبت به یکدیگر از ویژگی‌های بارز روش تحلیل فراگیر داده‌ها است. در این مطالعه بنگاه‌هایی مانند نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی که دارای نهاده‌ها، ستاده‌ها، ساختار و مکانیزم مشابهی هستند، همگن فرض می‌شوند. بنابراین، می‌توان عوامل محیطی و جغرافیایی غیر قابل کنترل بر تولید برق را به دلیل تأثیر یکسانی که بر نیروگاه‌ها دارند، نادیده انگاشت و از روش تحلیل فراگیر داده‌ها جهت اندازه‌گیری کارایی در این گونه نیروگاه‌ها استفاده نمود.

---

[29] Decision Making Unit

پس از گردآوری آمار و اطلاعات لازم، به اندازه‌گیری کارایی فنی در این ۲۶ نیروگاه بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی با استفاده از روش دو مرحله‌ای تحلیل فراگیر داده‌ها (مدل ۳) با دو فرض بازدهی ثابت و متغیر نسبت به مقیاس پرداخته می‌شود. ابتدا کارایی فنی نیروگاه‌های مزبور در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ به صورت مقطعی برای هر سال به طور جداگانه اندازه‌گیری می‌شود. پس از اندازه‌گیری کارایی فنی نیروگاه‌ها در هر سال، نتایج مربوط به سال ۱۳۸۶ به عنوان آخرین سال مورد تفسیر قرار می‌گیرد و از نتایج به دست آمده در سال‌های دیگر تنها برای پیشبرد اهدافی نظیر اندازه‌گیری میزان تأثیرگذاری ناکارایی مدیریتی و ناکارایی مقیاس در ناکارایی فنی در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ استفاده می‌شود. سپس روند تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید نیروگاه‌های مزبور و اجزای آن (تغییرات کارایی فنی خالص، تغییرات کارایی مقیاس و تغییرات تکنولوژیکی) با استفاده از داده‌های تلفیقی دوره‌ی زمانی ۸۶-۱۳۸۱ و شاخص مالم‌کوییست (مدل ۴) برآورد می‌شود.

نگرش مورد استفاده در این مطالعه، نگرش نهاده‌محور است؛ زیرا به نظر می‌رسد در نیروگاه‌ها که موظف به تولید مقدار معینی برق می‌باشند، تولید مقدار معینی برق با استفاده از حداقل نهاده که در چارچوب نگرش نهاده‌محور مطرح است، بتواند اهداف این تحقیق را پوشش دهد. در این پژوهش جهت اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری به روش تحلیل فراگیر داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست از نرم‌افزار *Win4DEAP* استفاده شده است.

۵- اندازه‌گیری کارایی فنی نیروگاه‌های منتخب در سال ۱۳۸۶

با توجّه به جدول ۲، متوسط کارایی فنی نیروگاه‌های مورد نظر تحت فرض *CRS* و *VRS* در سال ۱۳۸۶، به ترتیب برابر با ۷۶/۴ و ۹۲/۸ درصد است؛ یعنی اگر به طور متوسط نیروگاه‌های منتخب بدون تغییر در مقدار برق تولیدی، استفاده از نهاده‌های خود را به میزان ۷/۲ درصد کاهش دهند، به مرز کارایی تحت فرض *VRS* می‌رسند و اگر ۲۳/۶ درصد در نهاده‌هایشان صرفه‌جویی کنند، علاوه بر قرار گرفتن بر روی مرز کارایی به تولید در مقیاس بهینه نیز دست خواهند یافت.

نیروگاه‌هایی مانند: نیروگاه شهید منتظری، ایران شهر، شازند، قم و فارس تحت فرض *CRS* دارای کارایی فنی واحد هستند؛ یعنی دارای کارایی فنی خالص (مدیریتی) و مقیاس صد درصد هستند. این نیروگاه‌ها دارای بازده‌ی ثابت نسبت به مقیاس می‌باشند؛ یعنی در قسمت مسطح هزینه‌ی متوسط بلند مدت (مقیاس بهینه) در حال فعالیت هستند.

با توجه به جدول (۲)، سایر نیروگاه‌ها با توجه به فرض *CRS* ناکارا تلقی می‌شوند، اما ناکارایی آن‌ها دارای دلایل یکسانی نیست. تعدادی از این نیروگاه‌ها

جدول ۲: مقادیر کارایی فنی مقیاس نیروگاه‌های منتخب در سال ۱۳۸۶

نیروگاه	تحت فرض *CRS*	تحت فرض *VRS*		
	کارایی فنی	کارایی فنی خالص (کارایی مدیریتی)	کارایی مقیاس	نوع بازده
نیروگاه‌های بخاری				
۱- شهید فیروزی	۰/۵۸۵	۱	۰/۵۸۵	افزایشی
۲- بعثت	۰/۸۲۳	۰/۸۸۵	۰/۹۲۹	افزایشی
۳- اسلام آباد (اصفهان)	۰/۹۲۶	۰/۹۳۳	۰/۹۹۲	افزایشی
۴- زرند	۰/۷۳۱	۱	۰/۷۳۱	افزایشی
۵- رامین (اهواز)	۰/۹۰۲	۱	۰/۹۰۲	کاهشی
۶- شهید منتظری	۱	۱	۱	ثابت
۷- توس	۰/۸۹۴	۰/۹۱۰	۰/۹۸۲	افزایشی
۸- بیستون	۰/۸۹۴	۰/۹۰۶	۰/۹۸۷	افزایشی
۹- شهید مفتح (همدان)	۰/۸۳۵	۰/۸۳۵	۰/۹۹۹	ثابت
۱۰- ایران‌شهر	۱	۱	۱	ثابت
۱۱- شازند	۱	۱	۱	ثابت
نیروگاه‌های گازی				
۱۲- درود	۰/۴۱۸	۱	۰/۴۱۸	افزایشی
۱۳- ری	۰/۵۲۹	۰/۵۳۹	۰/۹۸۲	افزایشی
۱۴- شهید زنبق (یزد)	۰/۵۶۱	۰/۸۱۲	۰/۶۹۱	افزایشی
۱۵- ارومیّه	۰/۴۴۰	۱	۰/۴۴۰	افزایشی
۱۶- صوفیان	۰/۵۲۲	۰/۸۲۹	۰/۶۳۰	افزایشی
۱۷- قائن	۰/۵۴۳	۰/۹۲۲	۰/۵۸۸	افزایشی
۱۸- هسا	۰/۵۲۸	۱	۰/۵۲۸	افزایشی
۱۹- کنگان	۰/۷۷۶	۱	۰/۷۷۶	افزایشی
۲۰- شیراز	۰/۵۸۳	۰/۷۲۳	۰/۸۰۷	افزایشی
۲۱- بوشهر	۰/۴۷۷	۰/۸۷۵	۰/۵۴۵	افزایشی
نیروگاه‌های سیکل‌ترکیبی				
۲۲- گیلان	۰/۹۶۲	۱	۰/۹۶۲	کاهشی
۲۳- قم	۱	۱	۱	ثابت
۲۴- نیشابور	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۱	ثابت
۲۵- فارس	۱	۱	۱	ثابت
۲۶- خوی	۰/۹۴۳	۰/۹۶۶	۰/۹۷۶	افزایشی
میانگین	۰/۷۶۴	۰/۹۲۸	۰/۸۲۵	

مأخذ: نتایج تحقیق

مانند: نیروگاه شهید فیروزی، زرند، رامین، درود، ارومیه، هسا، کنگان و گیلان تحت فرض *VRS* دارای کارایی فنی واحد هستند و ناکارایی فنی آن‌ها تحت فرض *CRS* از ناکارایی مقیاس نشأت گرفته است. تعدادی دیگر از این نیروگاه‌ها مانند نیروگاه بعثت، اسلام‌آباد، توس، بیستون، شهید مفتح، ری، شهید زنبق، صوفیان، قائن، شیراز، بوشهر، نیشابور و خوی تحت فرض *VRS* دارای کارایی فنی کمتر از واحد می‌باشند. در این نیروگاه‌ها، ناکارایی تحت فرض *CRS* از ناکارایی مدیریت و ناکارایی مقیاس نشأت می‌گیرد. جهت رسیدن به کارایی فنی صد درصد تحت فرض *CRS* در این نیروگاه‌ها باید با لحاظ نمودن شیوه‌های خاص مدیریتی از نهاده‌های موجود حداکثر بهره‌برداری ممکن به عمل آید. همچنین با توجه به نوع بازده‌ی نسبت به مقیاس (افزایشی یا کاهشی) جهت رسیدن به مقیاس بهینه (با کاهش و یا افزایش سطح فعالیت نیروگاه) تلاش شود.

۵-۱- الگوی مرجع و ارائه‌ی راهکارهای سیاستی

با توجه به جدول (۲)، تعدادی از نیروگاه‌ها تحت فرض *VRS* دارای کارایی فنی واحد هستند. این نیروگاه‌ها به عنوان مرجع برای نیروگاه‌های ناکارا محسوب می‌شوند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول۳: میزان کاهش نهاده‌های تولید نیروگاه‌های منتخب برای رسیدن به مرز کارا

نیروگاه‌های ناکارا	میزان کاهش نهاده‌ی ظرفیت اسمی (برحسب مگاوات)	میزان کاهش نهاده‌ی نیروی‌کار (برحسب نفر)	میزان کاهش مصرف سوخت (برحسب میلیون *BTU*)
۱- نیشابور	۴۴/۳	۲۴	۲۱۰/۵۱
۲- خوی	۱۱/۹۲	۱۶	۵۱۰/۹
۳- اسلام آباد	۵۵/۱۸	۲۷۹	۳۵۸۸/۲۶
۴- قائن	۵/۸۴	۱۷	۱۵۵/۱۴
۵- توس	۵۴/۷۴	۱۹۰	۳۵۲۴/۴۲
۶- بیستون	۵۹/۸۸	۲۶	۳۴۲۵/۱۱
۷- بعثت	۲۸/۵۴	۱۳۴	۲۰۷۳/۱۲
۸- بوشهر	۹/۱۴	۲۵	۲۲۲/۵۹
۹- مفتح	۱۶۴/۵۹	۱۵۳	۸۹۱۸/۳۹
۱۰- صوفیان	۱۷/۳۵	۷	۵۵۳/۸۹
۱۱- ش زنبق	۱۷/۹۷	۱۶۸	۴۷۲/۷۷
۱۲- شیراز	۵۱/۰۴	۳۵	۳۰۹۰/۵۳
۱۳- ری	۶۲۱/۲۹	۴۲۳	۱۴۸۰۴/۹۹

مأخذ: نتایج تحقیق

در صورت اعمال وزن‌هایی که توسط واحدهای مرجع توصیه می‌شود، می‌توان به مقدار کاهش در هر یک از نهاده‌ها با فرض ثبات در میزان برق تولیدی هر یک از نیروگاه‌های ناکارا جهت رسیدن به مرز کارایی پی برد.

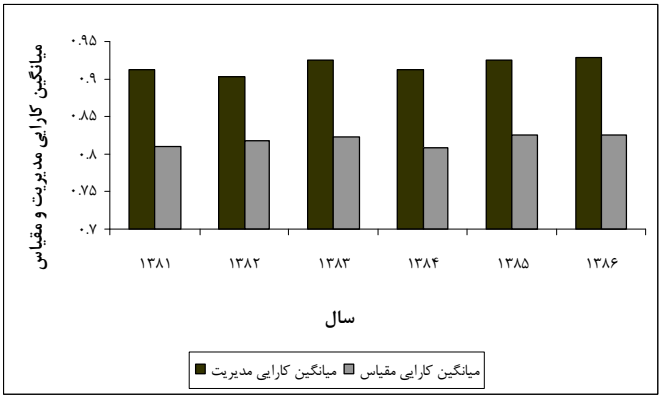
جدول (۳)، به عنوان راهکاری سیاستی، به مدیران نیروگاه‌های ناکارا تحت فرض *VRS* پیشنهاد می‌نماید که چه میزان نهاده‌های خود را می‌توانند به شرط ثبات در تولید ویژه‌ی برق کاهش دهند تا با قرار گرفتن بر روی مرز کارا دارای کارایی فنی صد درصد گردند.

۵-۲- میانگین کارایی مدیریت و مقیاس در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱

نمودار (۲)، میانگین کارایی مدیریت و مقیاس نیروگاه‌های مورد نظر را برای هر یک از سال‌های دوره‌ی ۸۶-۱۳۸۱ به طور جداگانه نمایش می‌دهد.

پرتال جامع علوم انسانی

نمودار۲: میانگین کارایی مدیریت و مقیاس در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱



مأخذ: نتایج تحقیق

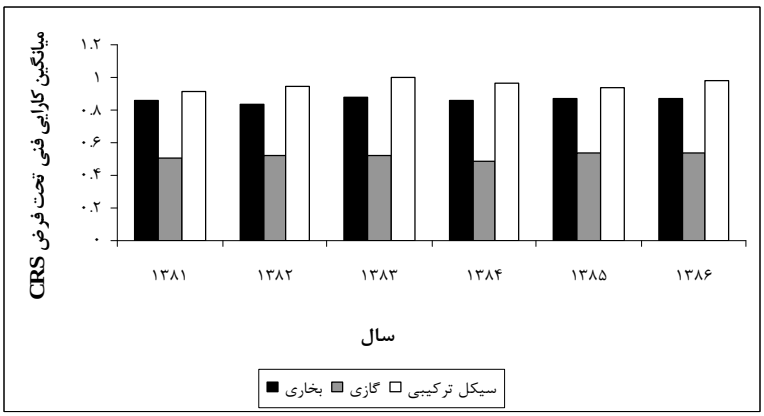
در تمام سال‌های مورد بررسی، مقادیر کارایی مقیاس کمتر از کارایی مدیریتی است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ناکارایی مقیاس بیشترین تأثیر را بر روی ناکارایی فنی تحت فرض *CRS* داراست. این بدان معنی است که اغلب نیروگاه‌ها اهمیت تولید در مقیاس بهینه را مدنظر قرار نمی‌دهند.

۵-۳- مقایسه‌ی کارایی فنی نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی

نمودارهای (۳) و (۴) میانگین کارایی فنی هر یک از نیروگاه‌ها در سال‌های ۸۶-۸۱ تحت هر دو فرض بازده‌ی ثابت و متغیر نسبت به مقیاس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودارها بر می‌آید، در تمام سال‌های مورد بررسی، تحت هر دو فرض، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از میانگین کارایی فنی بالاتری نسبت به سایر نیروگاه‌ها بر خوردار می‌باشند و پس از آن نیروگاه‌های بخاری و گازی قرار دارند.

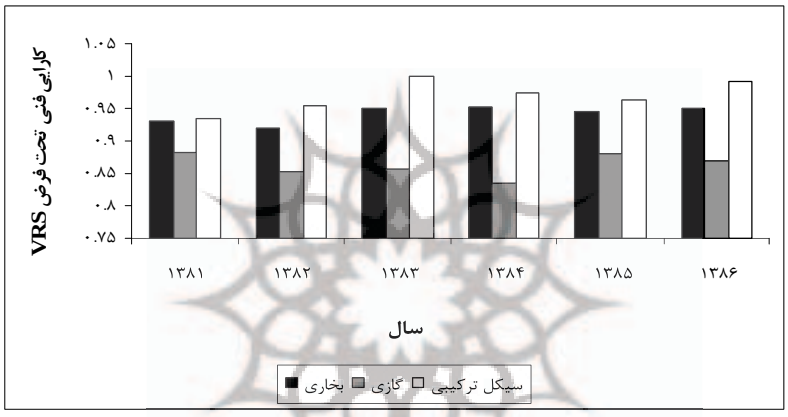
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نمودار۳: میانگین کارایی نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی تحت فرض *CRS*



مأخذ: نتایج تحقیق

نمودار۴: میانگین کارایی نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل‌ترکیبی تحت فرض *VRS*

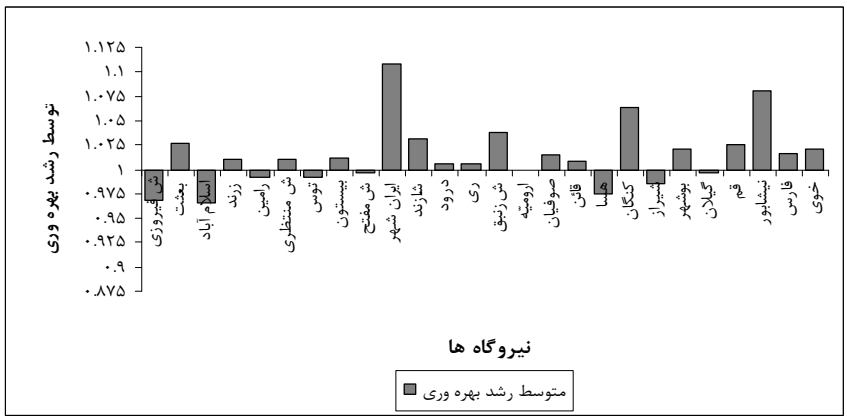


مأخذ: نتایج تحقیق

۶- اندازه‌گیری بهره‌وری با استفاده از شاخص مالم‌کوییست

با توجه به نمودار (۵)، که میانگین هندسی تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ را نمایش می‌دهد، مشاهده می‌شود که از میان ۲۶ نیروگاه حرارتی مورد بحث در این پژوهش، ۱۷ نیروگاه به طور متوسط رشد مثبت بهره‌وری و ۹ نیروگاه رشد منفی بهره‌وری را در طی این سال‌ها دارا بوده‌اند.

نمودار ۵: میانگین هندسی تغییرات بهره‌وری نیروگاه‌های منتخب در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱



مأخذ: نتایج تحقیق

با توجه به جدول (۴)، به طور متوسط رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های منتخب معادل ۱/۵ درصد است. نیروگاه‌های ایران‌شهر، نیشابور و کنگان به ترتیب با ۱۰/۸، ۸/۱ و ۶/۳ درصد رشد، از بیشترین رشد بهره‌وری برخوردار بوده‌اند. نیروگاه‌های شهید فیروزی، هسا و شیراز به ترتیب با ۳/۱- ، ۲/۵- و ۱/۵- درصد رشد منفی، عملکرد نامطلوبی را در بین نیروگاه‌های منتخب دارا هستند.

تغییرات کارایی فنی خالص طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ برای تمامی نیروگاه‌های منتخب به طور متوسط دارای رشد مثبت اندک ۰/۴ درصد است. نیروگاه ایران‌شهر و نیشابور به ترتیب با متوسط رشد سالیانه‌ی ۶/۶ و ۵/۲ درصد بیشترین رشد مثبت و نیروگاه‌های صوفیان و شهید زنبق به ترتیب با ۲/۳- و ۲/۲- درصد بیشترین رشد منفی را در بین نیروگاه‌های منتخب دارا هستند. این وضعیت بر آن دلالت می‌کند که نیروگاه‌های مذکور انگیزه‌ای جهت کاهش به کارگیری عوامل تولید یا ارتقای کارایی و بهره‌وری ندارند. ممکن است این امر ناشی از این واقعیت باشد که این نیروگاه‌ها عموماً دولتی هستند و در بازاری فعالیت می‌کنند که حالت انحصاری دارد و با رقابت مواجه نیستند. علاوه بر آن، از با یارانه‌های پرداختی دولت و سهولت دسترسی به عوامل تولیدی همچون سوخت نیز برخوردار هستند.

جدول ۴: تغییرات بهره‌وری و اجزای آن به طور متوسط در سال‌های ۸۶-۸۱

نیروگاه	متوسط تغییرات		متوسط تغییرات در تکنولوژی	متوسط تغییرات بهره‌وری
	کارایی فنّی خالص	کارایی مقیاس		
۱- شهید فیروزی	۱	۰/۹۵۸	۱/۰۱۲	۰/۹۶۹
۲- بعثت	۱/۰۱۷	۰/۹۹۹	۱/۰۱۱	۱/۰۲۷
۳- اسلام آباد	۰/۹۸۷	۱	۱/۰۰۸	۰/۹۹۶
۴- زرند	۱/۰۰۸	۰/۹۹۷	۱/۰۰۵	۱/۰۱۰
۵- رامین	۱	۰/۹۸۰	۱/۰۱۲	۰/۹۹۲
۶- شهید منتظری	۱	۱	۱/۰۱۰	۱/۰۱۰
۷- توس	۰/۹۸۴	۱	۱/۰۰۹	۰/۹۹۲
۸- بیستون	۱	۱/۰۰۴	۱/۰۰۸	۱/۰۱۲
۹-شهید مفتح	۰/۹۸۴	۱/۰۰۳	۱/۰۱۰	۰/۹۹۶
۱۰- ایران‌شهر	۱/۰۶۶	۱/۰۲۹	۱/۰۱۰	۱/۱۰۸
۱۱- شازند	۱	۱/۰۱۳	۱/۰۱۹	۱/۰۳۲
۱۲- درود	۱	۱/۰۱۲	۰/۹۹۴	۱/۰۰۶
۱۳- ری	۱/۰۱۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۶	۱/۰۰۵
۱۴- شهید زنبق	۰/۹۷۸	۱/۰۶۵	۰/۹۹۶	۱/۰۳۷
۱۵- ارومیّه	۱	۰/۹۹۶	۱/۰۰۳	۰/۹۹۹
۱۶- صوفیان	۰/۹۷۷	۱/۰۳۵	۱/۰۰۲	۱/۰۱۴
۱۷- قائن	۱/۰۰۹	۱/۰۰۴	۰/۹۹۴	۱/۰۰۸
۱۸- هسا	۱	۰/۹۸۰	۰/۹۹۴	۰/۹۷۵
۱۹- کنگان	۱/۰۲۳	۱/۰۲۵	۱/۰۱۴	۱/۰۶۳
۲۰- شیراز	۰/۹۸۳	۰/۹۹۳	۱/۰۰۹	۰/۹۸۵
۲۱- بوشهر	۱/۰۱۲	۱/۰۱۳	۰/۹۹۴	۱/۰۲۰
۲۲- گیلان	۱	۰/۹۹۲	۱/۰۰۴	۰/۹۹۶
۲۳- قم	۱/۰۰۴	۱/۰۰۴	۱/۰۱۷	۱/۰۲۵
۲۴- نیشابور	۱/۰۵۲	۱/۰۰۳	۱/۰۲۵	۱/۰۸۱
۲۵- فارس	۱	۱	۱/۰۱۶	۱/۰۱۶
۲۶- خوی	۱/۰۰۹	۱/۰۰۹	۱/۰۰۳	۱/۰۲۱
میانگین	۱/۰۰۴	۱/۰۰۴	۱/۰۰۷	۱/۰۱۵

مأخذ: نتایج تحقیق

جدول (۴)، حاکی از آن است که تغییرات کارایی مقیاس در نیروگاه‌های منتخب در دوره‌ی مورد مطالعه از رشد متوسط سالانه‌ی بسیار اندک ۰/۴ درصد برخوردار هستند. در بین نیروگاه‌های منتخب، نیروگاه شهید زنبق با ۶/۵ درصد رشد مثبت در کارایی مقیاس بهترین عملکرد و نیروگاه شهید فیروزی با ۴/۳- درصد رشد منفی در کارایی مقیاس بدترین عملکرد را دارا هستند. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول (۲)، اکثر نیروگاه‌ها در منطقه‌ی بازده به مقیاس افزایشی در حال فعالیت هستند و این جمله بدان معنا است که در صورت افزایش

مقیاس تولید نیروگاه‌های منتخب، می‌توان باعث افزایش کارایی مقیاس و در نهایت افزایش بهره‌وری شد.

بهترین جزء تغییرات بهره‌وری نیروگاه‌های منتخب، تغییرات تکنولوژیکی (پیشرفت فنی) است که به طور متوسط سالانه رشد سیار اندکی معادل ۰/۷ درصد را دارا می‌باشد؛ یعنی به موازات ورود تجهیزات و امکانات پیشرفته برای تولید برق، به دلیل هزینه‌ی بالای تعویض دستگاه‌ها با تجهیزات پیشرفته‌ی وارداتی و عدم وجود انگیزه‌ی کافی جهت استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته جهت حداقل‌سازی استفاده از نهاده‌های تولید، به خصوص سوخت، اکثر نیروگاه‌ها از این تجهیزات به اندازه‌ی کافی برای بهبود مقادیر کارایی و بهره‌وری استفاده نکرده‌اند.

۶-۱- تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید در سال‌های ۸۶-۸۱

نمودار (۶)، متوسط تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید را در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ برای ۲۶ نیروگاه منتخب نمایش می‌دهد. طی این دوره‌ی زمانی، بهره‌وری در برخی از سال‌ها رشد منفی و در پاره‌ای دیگر از سال‌ها رشد مثبت را تجربه کرده است. بنابراین، نمی‌توان برای آن روند مشخصی را تصور نمود.

نمودار ۶: تغییرات بهره‌وری کل طی دوره‌ی زمانی ۸۶-۸۱

مأخذ: نتایج تحقیق

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

با توجه به جدول (۵)، در مورد نیروگاه‌های موردنظر تغییرات کارایی فنی (که از حاصل‌ضرب کارایی فنی خالص در کارایی مقیاس حاصل گردیده است) و تغییرات تکنولوژیکی به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۷۲ درصد است. بنابراین، می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که تغییرات بهره‌وری کل بیشتر منتسب به تغییرات کارایی فنی می‌باشد. به طور متوسط، ۵۳/۲ درصد از تغییرات بهره‌وری کل از ناحیه‌ی تغییرات کارایی فنی و ۴۶/۷ درصد مابقی ناشی از تغییرات تکنولوژیکی می‌باشد. در صورت تفکیک تغییرات کارایی فنی، سهم هر یک از تغییرات کارایی فنی خالص، تغییرات کارایی مقیاس و تغییرات تکنولوژیکی در تغییرات بهره‌وری کل به ترتیب برابر با ۲۵/۹، ۲۷/۳ و ۴۶/۷ می‌باشد. بنابراین، تأثیرگذارترین عامل تغییرات بهره‌وری در نیروگاه‌های مورد نظر، تغییرات تکنولوژیکی است که آن هم از رشد متوسط سالیانه‌ی اندکی برخوردار است.

جدول ۵: تغییرات بهره‌وری و اجزای آن در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱

نوع تغییرات	دوره‌ی زمانی					
	۸۱-۸۲	۸۲-۸۳	۸۳-۸۴	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	میانگین
تغییرات کارایی فنّی خالص	۰/۹۸۸	۱/۰۲۶	۰/۹۸۵	۱/۰۱۵	۱/۰۰۶	۱/۰۰۴
تغییرات کارایی مقیاس	۱/۰۱۲	۱/۰۰۷	۰/۹۸۰	۱/۰۲۲	۱	۱/۰۰۴۲
تغییرات تکنولوژی	۱/۰۳۹	۱/۰۰۲	۱/۰۰۵	۱/۰۲۰	۰/۹۷۰	۱/۰۰۷۲
تغییرات بهره‌وری کل	۱/۰۳۹	۱/۰۳۴	۰/۹۷۰	۱/۰۵۸	۰/۹۷۶	۱/۰۱۵۴

مأخذ: نتایج تحقیق

۷- نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج به دست آمده از بررسی کارایی فنی ۲۶ نیروگاه حاکی از آن است که متوسط کارایی فنی در نیروگاه‌های مورد بررسی در سال ۱۳۸۶ تحت فرض *CRS* و *VRS* به ترتیب معادل ۷۶/۴ و ۹۲/۸ درصد بوده است.

نیروگاه‌های شهید فیروزی، زرند، رامین، شهید منتظری، ایران شهر، شازند، درود، ارومیه، هسا، کنگان، گیلان، قم و فارس به عنوان نیروگاه‌های مرجع معرفی شده‌اند. توصیه می‌شود نیروگاه‌های ناکارا جهت بهبود کارایی فنی به کاهش در استفاده از نهاده‌های تولیدی خود به شرط ثبات در تولید ویژه‌ی برق با ضرایبی که نیروگاه‌های مرجع پیشنهاد می‌کنند، مبادرت ورزند تا علاوه بر اصلاح الگوی مصرف نهاده‌های تولید، روی مرز کارا نیز قرار گیرند.

ناکارایی مقیاس بیشترین تأثیر را روی ناکارایی فنی تحت فرض *CRS* داشته است. این بدان معنی است که اکثر نیروگاه‌ها برای تولید در مقیاس بهینه چندان اهمیت قائل نبوده‌اند. توصیه می‌شود. نیروگاه‌هایی که در شرایط بازده‌ی صعودی و نزولی نسبت به مقیاس فعالیت می‌کنند، سطح فعالیت خود را به ترتیب افزایش و کاهش دهند تا بدین ترتیب به سمت قسمت مسطح هزینه‌ی متوسط بلندمدت (مقیاس بهینه) حرکت کنند.

در این سال‌ها تحت هر دو فرض *CRS* و *VRS* نیروگاه‌های سیکل‌ترکیبی از میانگین کارایی فنی بالاتری نسبت به سایر نیروگاه‌ها برخوردار بوده‌اند. توصیه می‌شود نیروگاه‌هایی که فقط از توربین گازی برای تولید برق استفاده می‌کنند، برای بهبود کارایی به سیکل ترکیبی حرکت کنند. به این معنی که در کنار توربین گازی از توربین بخاری نیز استفاده شود.

به طور متوسط رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های منتخب در سال‌های ۸۶-۱۳۸۱ معادل ۱/۵ درصد بوده است که نشان از رشد ناچیز بهره‌وری داشته است. تغییرات کارایی فنی خالص، تغییرات کارایی مقیاس و تغییرات تکنولوژیکی طی دوره‌ی مورد مطالعه، برای تمامی نیروگاه‌های مورد نظر به طور متوسط به ترتیب دارای رشد مثبت اندک ۰/۴، ۰/۴۲ و ۰/۷۲ بوده است. تأثیرگذارترین عامل تغییرات بهره‌وری در نیروگاه‌های منتخب، تغییرات تکنولوژیکی بوده که آن هم از رشد سالانه‌ی اندکی برخوردار بوده است. بنابراین، جهت افزایش کارایی فنی و پیشرفت تکنولوژیکی و در نهایت افزایش بهره‌وری پیشنهاد می‌شود که نیروگاه‌ها به امر آموزش و مشاوره و ترویج فن‌آوری‌های جدید مبادرت ورزند.

طی دوره‌ی زمانی مورد مطالعه، تغییرات بهره‌وری روند مشخصی را طی نکرده است، به گونه‌ای که در بعضی از سال‌ها رشد منفی و در پاره‌ای دیگر از سال‌ها رشد مثبت را تجربه کرده است.

روش پیشنهادی در این مقاله به خوبی لایه‌ی محاسباتی از چرخه‌ی بهبود بهره‌وری را پوشش می‌دهد. بنابراین، توصیه می‌شود نه تنها نیروگاه‌ها بلکه دیگر بخش‌های صنعت برق (انتقال و توزیع) نیز از این روش اندازه‌گیری بهره‌وری استفاده نمایند و امید است نتایج این محاسبات بتواند پایه‌ای جهت برنامه‌ریزی صحیح و عملی در افزایش بهره‌وری در صنعت برق باشد.

فهرست منابع:

امامی‌میبدی، علی. (۱۳۷۹). اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری. تهران: مؤسسه‌ی مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.

حیدری، کیومرث. (۱۳۷۹). استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه شهیدبهشتی، تهران.

شرکت برآورد قدرت و انرژی. (۸۶-۱۳۸۱). آمار تفصیلی صنعت برق ایران. تهران: شرکت مادر تخصصی توانیر.

فلاحی، محمد علی و وحیده احمدی. (۱۳۸۴). ارزیابی شرکت‌های توزیع برق ایران. مجله‌ی تحقیقات اقتصادی، ۷۱: ۳۲۰-۲۹۷.

مهرابی، عباس. (۱۳۷۹). بررسی کارایی نیروگاه‌های حرارتی و شرکت‌های توزیع برق به کمک روش تحلیل فراگیر داده‌ها. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشکده اقتصاد. دانشگاه علامه طباطبایی، تهران.

مهرگان، محمد رضا. (۱۳۸۳). مدل‌های کمی برای ارزیابی عملکرد سازمان‌ها. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران، تهران.

موسایی، معصومه و خالد عبد الرحیم. (۱۳۸۸). تحلیل کارایی در صنایع ایران. اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، ۶(۲): ۲۰- ۱.

Abbot, M. (2006). The Productivity and Efficiency of the Australian Electricity Supply Industry. Journal of Energy Economic. 28(5): 444-454.

Banker, R. D., A. Charnes & A. Cooper. (1984). Some Models for Estimation Technical and Scale in Efficiency in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(3): 1078-1092.

Charnes, A., W. Cooper, & E. Rhodes. (1978). Measuring The Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research. 2(6): 429-444.

Farrel, M.J. (1957). The Measurment of Productive Efficiency. Journal of Royal Statistical Society, 120(3): 253-282.

Shia, A. & P.L. Lam. (2005). Efficiency and Productivity of China's Thermal Power Generation. Hong Kong Technical University. Review of Industrial Organization, 24(2): 73-93.

Vaninsky, A. (2006). Efficiency of Electric Power Generation in The United States: Analysis and Forecast Based on Data Envelopment Analysis. Hostes Community College of The City University of New York. Journal of Energy Economic, 28(4): 326-338.