

استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۱ در ارزیابی کارایی نیروگاههای حرارتی تولید برق کشور

محمد حسین پورکازمی^۱، کیومرث حیدری^{۲*}

۱- استادیار دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی

۲- کارشناس ارشد برنامه ریزی سیستمهای اقتصادی معاونت برنامه ریزی و نظارت وزارت نیرو

چکیده

نیروگاههای تولید برق هر کشور را می توان یکی از مهمترین عوامل و ضرورتها در رشد و توسعه آن کشور قلمداد کرد. از طرف دیگر بودجه ای که برای احداث و راه اندازی هر نیروگاه جدید - به دلیل ارزبری بالا و سرمایه بر بودن صنعت برق - لازم است، در صورت استفاده بهینه از منابع موجود می تواند صرف فرصتهای دیگری گردد که با کمبود نقدینگی مواجهند لذا سؤال اساسی این است که آیا با ظرفیت فعلی نیروگاههای کشور - در صورت استفاده بهینه - می توان برق بیشتری تولید کرد. یکی از راههای پاسخ به این سؤال شناخت وضعیت فعلی نیروگاهها از نقطه نظر کارایی است. به همین منظور در این مقاله وضعیت کارایی نیروگاههای حرارتی کشور که بیش از ۹۰ درصد برق کشور را تولید می کنند، مورد بررسی قرار می گیرد. روش مورد استفاده برای این کار تحلیل پوششی داده ها می باشد که روشی ناپارامتری در حیطه برنامه ریزی ریاضی می باشد و جدیدترین روش ارزیابی کارایی محسوب می گردد. نتایج حاصل نشان می دهند که متوسط کارایی نیروگاههای حرارتی کشور تحت فرض بازده ثابت به مقیاس ۶۴ درصد و تحت فرض بازده متغیر به مقیاس ۷۸ درصد می باشد؛ به عبارتی دیگر با همین وضعیت فعلی و با استفاده بهینه از امکانات در حالت اول می توان ۳۶ درصد و در حالت دوم ۲۲ درصد تولید برق را در کشور بهبود بخشید؛ از طرف دیگر با دسته بندی نیروگاهها، نیروگاههای سیکل ترکیبی (س.ت)، از نظر کارایی معمولاً رتبه های بالا و نیروگاههای گازی رتبه های پایین را کسب کردند. یکی از عمده ترین دلایل این موضوع نیز پایین بودن تولید (خروجی) نیروگاههای گازی در مقایسه با نیروگاههای دیگر است. علت اینکه از نیروگاههای گازی در بار پیک استفاده می شود به بالا بودن قیمت تمام شده برق تولیدی در نیروگاههای گازی و امکان ورود و خروج سریع این نیروگاهها به شبکه مزبور برمی گردد. بنابراین از آنجایی که نهادهای نیروی کار و سرمایه برعکس سوخت، با کاهش فعالیت نیروگاه قابل کاهش نیستند. لذا در نیروگاههای گازی معمولاً با یک سطح مشخص نهاده، تولید در سطحی متناسب با آن



صورت نمی گیرد و این امر به فرض ثبات سایر عوامل باعث کاهش کارایی نیروگاههای گازی در مقایسه با نیروگاههای بار پایه می شود. همچنین جهت استخراج نتایج کاملتر لازم است در کنار کارآیی فنی به مسأله هزینه ها و کارآیی اقتصادی نیز پرداخته شود، اما در این مطالعه بنا به دلایلی از جمله عدم شفافیت در تعیین نرخ دقیق نهادهها و ستادهها و نبود اطلاعات به این موضوع پرداخته نشده است.

کلید واژه‌ها: کارآیی، تحلیل پوششی داده ها، نیروگاههای برق، رتبه بندی.

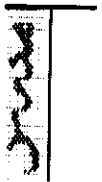
۱- مقدمه

ارزیابی کارآیی واحدهای تولیدی، خدماتی، آموزشی و ... همواره مسأله مهمی نزد مهندسان و اقتصاددانان بوده است. اینکه یک واحد چگونه از مجموعه امکاناتی که در اختیار دارد استفاده نموده و طی یک دوره مورد بررسی چگونه عملکردی داشته، سؤالی است که در حیطه ارزیابی کارآیی می‌گنجد. از نظر کاربردی نیز باید توجه داشت که برنامه‌ریزی برای آینده یک واحد، توسعه ظرفیت، اصلاح معایب، بهبود روشهای اجرایی و ... همه نیازمند شناخت وضعیت موجود آن واحد هستند و ارزیابی کارآیی یکی از مهمترین محورها در این زمینه است. از طرف دیگر به دلیل سابقه طولانی ارزیابی کارآیی، روشهای متفاوتی نیز برای آن ارائه شده است. [۱]. در مقاله حاضر یکی از جدیدترین روشها (DEA) برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته است. البته با توجه به ویژگیهای خاص صنعت برق و نیروگاهها، ارزیابی دقیق این واحدها مطالعات بسیار دقیق و گسترده‌تری را می‌طلبد [۲].

۳۶

۲- کارآیی و مفهوم آن

کارآیی مفهومی بسیار مهم ولی پیچیده (از بعد عملیاتی برای ارزیابی آن با لحاظ همه عوامل مؤثر بر آن) می‌باشد که بیشتر از طرف سه حوزه مهندسان، مدیران و اقتصاد دانان مورد بررسی قرار گرفته است [۳]. این اصطلاح ابتدا در حوزه مهندسی و ترمودینامیک مطرح شد، اما بعدها وارد سایر حوزه‌ها گردید. برای مهندس کارآیی ممکن است نسبت ستاده به نهاده یا نسبت ستاده به ظرفیت اسمی باشد. در حالی که مدیر مالی نسبت هزینه استاندارد به هزینه واقعی را جهت محاسبه کارآیی به کار می‌برد. این در حالی است که وقتی اقتصاددان به کارآیی بنگاه اشاره می‌کند، عموماً منظور خود را با تشکیل دو نسبت بیان می‌کند: در



اولین نسبت، توفیق بنگاه در حصول حداکثر ستاده ممکن با یک مجموعه نهاد معین (حداقل نهاد با ستاده معین) بیان شده که، وی این نسبت را بهره‌وری یا کارایی فنی می‌نامد. برای این منظور معمول است که تنها ستاده‌ها و نهاده‌هایی را در این کسر وارد کنیم که خاصیت فیزیکی داشته باشند. اما برای بحث در مورد نسبت دوم باید به این حقیقت توجه کرد که حل مشکلات فنی تولید برای بنگاه کافی نیست، بلکه بنگاه باید به طرز مناسبی عملکرد خود را با قیمت‌های بازار تطبیق دهد. در این حالت نیز تعریف کارایی مشابه حالت قبل است با این تفاوت که این بار مقدار ارزشی نهاده‌ها و ستاده‌ها با توجه به قیمت بازاری آنها برای محاسبه کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در کتابهای مختلف برای کارایی تعاریف متفاوتی ارائه شده است در اینجا به برخی از این تعاریف اشاره می‌شود:

واژه‌نامه و بستر [۴] کارایی را معادل اثربخشی دانسته و آن را تولید مطلوب با حداقل مصرف انرژی، زمان، پول یا مواد تعریف کرده است.

در واژه‌نامه دکتر فرهنگ [۵] نیز کارایی به صورت نسبت مقدار تولید به مقدار عاملی که به کار افتاده، تعریف شده است.

فارل [۶] نیز که از جمله بنیانگذاران تئوری ارزیابی کارایی است در ۱۹۵۷ در مقاله‌ای تحت عنوان اندازه‌گیری کارایی تولید کننده، کارایی بنگاه را تولید ستاده به حد کافی بیشتر از یک مقدار معین نهاد تعریف کرده است.

البته در متون مختلف دیگر، تعاریف دیگری نیز برای کارایی ارائه شده که اشاره به آنها از حوصله این مقاله خارج است. لازم است ذکر کنیم که در این مطالعه کارایی یک واحد (اعم از تولیدی، خدماتی و ...) به صورت نسبت مجموع موزون ستاده‌ها به مجموع موزون نهاده‌ها تعریف می‌گردد.

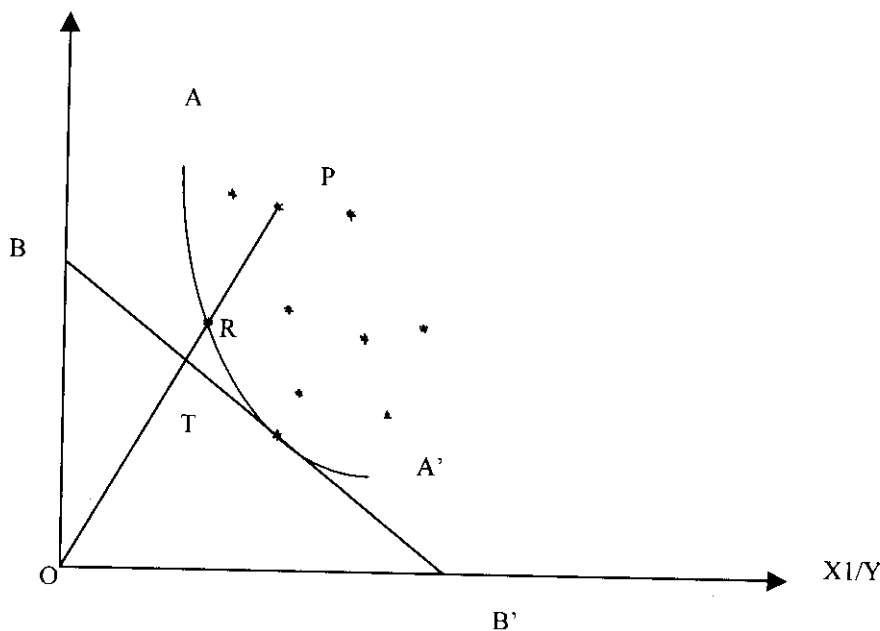
۱-۲ - انواع کارایی

برای تشریح انواع کارایی بهتر است کار را با ارائه یک مثال آغاز کنیم [۷]. فرض کنید واحدهای مورد بررسی جهت ارزیابی کارایی از دو نهاد X_1 ، X_2 جهت تولید ستاده Y استفاده می‌کنند. حال اگر عملکرد واحدهای مورد بررسی را به صورت نسبت هر یک از نهاده‌ها به ستاده در دستگاه مختصات دکارتی نمایش دهیم، بدیهی است بنگاهی که از نهاده کمتری برای تولید یک واحد ستاده استفاده کرده باشد، کارایی بالاتری را خواهد داشت؛ به



عبارت دیگر در دستگاه مختصات فوق عملکرد هر بنگاه که به مبدأ نزدیکتر باشد، آن بنگاه کارآتر خواهد بود. در شکل ۱ عملکرد چند بنگاه مفروض با علامت (*) نشان داده شده است. بنابراین با توجه به توضیحات فوق واضح است که منحنی AA مکان هندسی عملکرد بنگاههایی است که به طور نسبی دارای کارآیی واحد بوده‌اند. در این شکل BB خط هزینه یکسان، R مکان هندسی عملکرد بنگاهی فرضی با کارآیی نسبی ۱۰۰ درصد و P مکان هندسی عملکرد بنگاه مورد بررسی می‌باشد. حال با این توضیح تعریف انواع کارآیی به صورت زیر خواهد بود:

X_2/Y



شکل ۱ مکان هندسی چند بنگاه مفروض

۲-۱-۱- کارآیی فنی

کارآیی فنی^۱ در مورد نهاده‌ها و ستاده‌های فیزیکی واحد مورد بررسی تعریف می‌شود. مطابق تعریف، نسبت ستاده حاصل از عملکرد هر واحد به نهاده استفاده شده (برای تولید آن مقدار ستاده)، کارآیی فنی گفته می‌شود [۷]. با این توضیح و به کمک شکل ۱ کارآیی فنی واحدی که مکان هندسی عملکرد آن (با توجه به نهاده استفاده شده و ستاد حاصل) در نقطه P واقع شده است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{کارآیی فنی} = OR/OP$$

که در آن: OR، شعاع عملکرد واحد فرضی بهینه (از نظر فنی) و OP، شعاع عملکرد واحد مورد بررسی می‌باشد.

یک بنگاه از نظر فنی کارآ گفته می‌شود هرگاه از حداقل نهاده جهت تولید حداکثر ستاده استفاده کند؛ یا به عبارت دیگر عملکرد آن روی منحنی مرزی AA واقع گردد. زیرا این منحنی بیانگر توانایی بنگاه در کسب حداکثر ستاده از یک مجموعه نهاده معین (حداقل نهاده برای تولید یک ستاده معین) می‌باشد.

۲-۱-۲- کارآیی تخصیصی

همان‌طور که در بالا اشاره شد، تمام بنگاههایی که عملکردشان روی منحنی AA می‌باشد، از نظر فنی کارآ هستند، اما این موضوع در غیاب قیمت‌هاست و بحث هزینه تهیه نهاده‌ها نادیده گرفته شد. حال اگر هزینه‌ها نیز مورد توجه باشند، لازم است بحث قیمت‌ها نیز وارد محاسبات کارآیی شود. از شکل ۱ ملاحظه می‌کنیم که در این حالت فقط بنگاههایی که عملکردشان روی خط هزینه یکسان (BB) باشد، کارآ هستند؛ به عبارت دیگر کارآیی تخصیصی^۲ برای بنگاهی که عملکرد آن در نقطه P واقع شده، به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{کارآیی تخصیصی} = OT/OR$$

که در آن: OT، شعاع عملکرد واحد فرضی بهینه (از نظر هزینه) و OR شعاع عملکرد واحد فرضی بهینه (از نظر فنی) می‌باشد.

۳-۱-۲- کارآیی اقتصادی^۱

با توجه به توضیحات فوق، بنگاهی از نظر اقتصادی کارآست (به طور نسبی) که هم از نظر قیمتی و هم از نظر فنی در وضعیت بهینه باشد؛ به عبارتی دیگر:

$$\begin{aligned} \text{کارآیی تخصیصی} \times \text{کارآیی فنی} &= \text{کارآیی اقتصادی} \\ &= (OR/OP) * (OT/OR) \\ &= OT/OP \end{aligned}$$

که در آن OT، شعاع عملکرد واحد فرضی بهینه (از نظر هزینه) و OP، شعاع عملکرد واحد مورد بررسی می‌باشد.

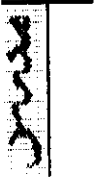
۳- روشهای ارزیابی کارآیی

به طور کلی امروزه برای ارزیابی کارآیی دو روش پارامتری و ناپارامتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. روشهایی که الگوهای اقتصادسنجی را برای ارزیابی کارآیی به کار می‌برند، به روشهای پارامتری موسومند؛ زیرا در این روشها ابتدا یک تابع تولید (هزینه، سود و ...) برای واحدهای مورد بررسی تصریح گردیده، سپس با تخمین پارامترهای آن و پیدا کردن تابع تولید مرزی، میزان تولید بهینه به ازای نهاده‌های هر بنگاه محاسبه می‌گردد. سپس با تقسیم مقدار تولید واقعی (Y) به مقدار بهینه تولید (Y*) آن بنگاه (که از روی تابع تولید مرزی به دست می‌آید)، کارآیی را محاسبه می‌کنند، یعنی:

$$(T_e = Y/Y^*)$$

که در آن T_e ، کارآیی، Y^* ، تولید مرزی با نهاده‌های بنگاه i ام و Y ، تولید واقعی بنگاه i ام می‌باشد.

اما در روشهای ناپارامتری نیازی به تصریح شکل تابع خاصی برای ارزیابی کارآیی نیست، بلکه در این روشها از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی (بهینه‌سازی تابع هدف با رعایت قیود لازم) کارآیی هر بنگاه محاسبه می‌گردد. در ادامه درباره این روش بیشتر صحبت می‌کنیم. لازم است ذکر کنیم که یکی از محدودیتهای روشهای پارامتری این است که واحدهای مورد بررسی فقط باید دارای یک ستاده باشند (اگر بیش از یک ستاده داشته باشند



باید بتوان با تبدیل و یکسان‌سازی واحد اندازه‌گیری آنها، همه ستاده‌ها را بر حسب یک واحد بیان کرد؛ به عبارت دیگر مدل منتخب فقط باید دارای یک متغیر وابسته باشد. این درحالی است که محدودیتی (جز ملاحظات نظری) در تعداد متغیرهای مستقل وجود ندارد. اما تصور کنید که ستاده‌های واحد مورد بررسی قابل تبدیل به یک واحد یکسان نباشند، بنابراین باید از روش دیگری کارآیی چنین واحدهایی را اندازه‌گیری کرد. در این حالت تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند به رفع این مشکل کمک کند. به عنوان یک مثال ساده فرض کنید بخواهیم دو واحد پژوهشی را از نظر کارآیی با هم مقایسه کنیم. اگر عملکرد این دو واحد (با نهاده‌های مشابه) به صورت جدول ۱ باشد، از آنجا که معمولاً توافقی در مورد وزن کارهای پژوهشی (مانند نوشتن مقاله، کتاب و...) وجود ندارد، بنابراین به روشهای پارامتری نمی‌توان در مورد کارآیی این واحدها اظهار نظر کرد.

جدول ۱ عملکرد دو واحد پژوهشی فرضی

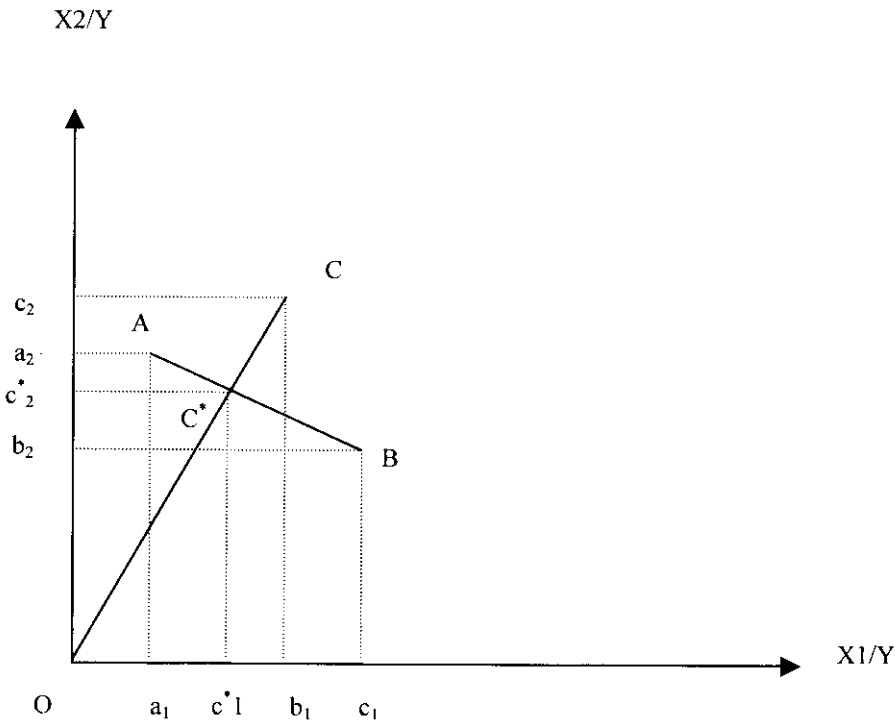
تعداد مقالات	تعداد کتب تألیفی	تعداد کتب ترجمه	فعالیت واحد
۳	۴	۸	اول
۴	۵	۶	دوم

اما در روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارآیی و مقایسه این واحدها به هر واحد اجازه داده می‌شود وزن (ارزش) هر یک از ستاده‌هایشان (نهاده‌ها) را خود تعیین کنند، مشروط بر اینکه وزنه‌های اختصاص داده شده، کارآیی واحد(های) دیگر را بیشتر از یک ننمایند؛ زیرا مطابق تعریف کارآیی هر واحد حداکثر ۱۰۰ درصد یا واحد است. مثال فوق ایده‌کلی تحلیل پوششی داده‌هاست. به عنوان یک مثال دیگر فرض کنید سه واحد تولیدی داریم که هر یک مقدار مشخصی کالا (مثلاً هر کدام یک واحد) را با به کارگیری دو نهاده، تولید می‌کنند. اگر A ، B و C واحدهای تصمیم‌گیری مورد بررسی باشند و واحد A ، a_1 واحد از نهاده اول و a_2 واحد از نهاده دوم و واحد B ، b_1 واحد از نهاده اول و b_2 واحد از نهاده دوم (با این فرض که $a_1 > b_1$ و $a_2 > b_2$) و واحد C ، c_1 واحد از نهاده اول و c_2 واحد از نهاده دوم را برای تولید یک واحد ستاده مورد استفاده قرار داده باشند و علاوه بر این مکان هندسی عملکرد واحد C در سمت راست خط AB (شکل ۲ را ملاحظه کنید) واقع گردد، همان‌طور که از این شکل پیداست می‌توان ترکیبی از نهاده‌ها را بر روی خط AB پیدا کرد (C^*) که با استفاده از نهاده‌های کمتر نسبت به واحد C ، همان میزان ستاده را تولید کند.



(زیرا با کلیه ترکیبات بین A و B می توان یک واحد ستاده تولید کرد). بنابراین می توان ادعا کرد واحد فرضی C^* از واحد C کارآتر است. در این مثال از جنبه هندسی به روش تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته شد.

لازم است توضیح دهیم که در تحلیل پوششی داده‌ها عملکرد واحدهایی با هم مقایسه می‌شود که کار مشابهی را انجام می‌دهند. به چنین واحدهایی، واحدهای تصمیم‌گیری مشابه^۱ اطلاق می‌شود.



شکل ۲ نمایش عملکرد سه واحد فرضی در دستگاه مختصات

۴- مدل نظری تحلیل پوششی داده‌ها

با توجه به رویکردهای متفاوت متخصصان، مدل‌های مختلفی برای تحلیل پوششی داده‌ها ارائه شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل BCC^1 ، CCR^2 ، مدل جمعی چارنز، مدل کسری و ... اشاره کرد. اما ماهیت این مدل‌ها چندان متفاوت نیست. این روش در ابتدا با تز دکترای ادوارد رودز مطرح شد که در آن پیشرفت تحصیلی دانش آموزان مدارس امریکا در مورد ارزیابی قرار گرفته بود [۸] که در همین راستا این تکنیک برای رتبه‌بندی دانشکده‌های اقتصاد دانشگاه‌های انگلستان نیز مورد استفاده قرار گرفت [۹]. لازم به ذکر است در مدل اولیه ارائه شده بازده به مقیاس ثابت فرض شده بود، یعنی واحدهای کوچک و بزرگ به طور مستقیم با هم مقایسه می‌شدند، اما بعدها چارنز و کوپر به کمک بنکر مدل BCC را ارائه کردند [۱۰] که در آن با افزودن یک قید تحدب به مدل CCR ، فرض بازده ثابت به مقیاس کنار گذاشته شد. در مدل اولیه CCR (با فرض ثبات نهاده‌ها سعی در حداکثر کردن ستاده می‌گردد که به مدل با ماهیت ورودی معروف است) و با این فرض که هر واحد m ستاده و n نهاده داشته باشد، برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیری باید یک بار مسأله را حل کرد (به عبارتی دیگر اگر N واحد تصمیم‌گیری داشته باشیم، باید N بار مسأله زیر را حل کنیم) [۱۰]:

$$\begin{aligned} & \text{Max } U'Y / V'X \\ & \text{s.t: } (U'Y_j / V'X_j) \leq 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \\ & U \text{ و } V > 0 \end{aligned} \quad (1)$$

که در آن Y ، برداری $m \times 1$ از مقادیر ستاده‌های هر واحد، X ، برداری $n \times 1$ از مقادیر نهاده‌های هر واحد، U ، برداری $m \times 1$ از وزن ستاده‌های هر واحد و V ، برداری $n \times 1$ از وزن نهاده‌های هر واحد می‌باشد.

اما ملاحظه می‌گردد که مدل فوق غیر خطی بوده، با روش‌های معمول برنامه‌ریزی ریاضی قابل حل نیست. برای حل این مشکل می‌توان با مقید کردن مخرج کسر به واحد (برای هر واحد وزن نهاده‌های آن واحد به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که مجموع موزون آنها برابر یک



شود) آن را به شکل خطی تبدیل کرد. بنابراین مسأله غیر خطی ۱ به شکل زیر تبدیل می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \mu' Y \\ \text{S. t:} \quad & v' X = 1 \\ & \mu' Y_j - v' X_j \leq 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, N \\ & v, \mu > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

در این حالت بردار (v) به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که شرط $(v' X = 1)$ تحقق یابد. همچنین بردار (μ') وزنه‌های جدید ستاده‌ها می‌باشد. اما برای حل ساده‌تر مسأله فوق (می‌دانیم که برای هر مدل برنامه‌ریزی خطی یک شکل دوگان قابل تعریف است که تعداد قیود و متغیرهای این دو مدل عکس همدیگر می‌باشد) دو گمان این مسأله را تشکیل می‌دهیم و آن را حل می‌نماییم. از آنجا که مسأله اولیه دارای $(N+1)$ قید بوده و مسأله دوگان فقط دارای $m+n$ متغیر (وزنه‌های ستاده‌ها و نهاده‌ها) می‌باشد و $(m+n+1 < N)$ ، بنابراین تشکیل دوگان مسأله فوق و حل آن به مراتب ساده‌تر از مدل اولیه است:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \theta \\ \text{s. t:} \quad & -y_i + Y \quad \lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - x \quad \lambda \geq 0 \\ & \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, 2, 3, \dots, t \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن λ برداری $(N \times 1)$ و شامل مقادیر ثابت می‌باشد. این مقادیر ثابت وزنه‌های مجموعه مرجع می‌باشند. باید ذکر کنیم مجموعه مرجع مجموعه‌ای از واحدهای کار است که به منزله الگوی واحدهای ناکارآ معرفی می‌گردد. همچنین در مدل (۳) X ماتریسی $(n \times N)$ از مقادیر نهاده‌ها و Y ماتریسی $(m \times N)$ از مقادیر ستاده‌ها می‌باشند و x_i, y_i به ترتیب بردار ستاده‌ها و نهاده‌های واحد مورد بررسی هستند. بدیهی است در هر بار حل مدل فوق با محاسبه مقدار بهینه θ اندازه کارایی یکی از واحدها (i ام) به دست می‌آید.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، مدل فوق بازده به مقیاس را ثابت در نظر می‌گیرد. لذا برای لحاظ کردن بازده متغیر به مقیاس باید یک قید تحذب به مدل فوق اضافه کرد، در نتیجه مدل (BCC) به شکل زیر حاصل می‌گردد.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \theta \\ \text{S. t:} \quad & -y_i + Y \quad \lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X \quad \lambda \geq 0 \\ & \sum \lambda_k = 1 \\ & \lambda_k \geq 0 \quad k = 1, 2, 3, \dots, t \end{aligned} \quad (4)$$



که در هر دو مدل فوق تعداد واحدهای مجموعه مرجع واحد λ است.

۵- انواع کارایی در تحلیل پوششی داده‌ها^۱

همانطور که گفتیم برحسب اینکه بازده به مقیاس در تحلیل پوششی داده‌ها ثابت یا متغیر فرض شود، با دو مدل متفاوت رو به رو خواهیم شد. حال اگر عملکرد واحدهای مورد بررسی مطابق شکل ۲ باشد، همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، این دو مدل مرز متفاوتی را برای کارایی واحدها در نظر می‌گیرند که دلیل این اختلاف به وجود قید تحدب در مدل (BCC) برمی‌گردد. براساس تعریف، در تحلیل پوششی داده‌ها سه جنبه از کارایی ارائه می‌گردد. بنابراین انواع کارایی برای واحد مورد بررسی M در شکل ۲ به صورت زیر تعریف می‌شود.

۱-۵- کارایی فنی

این نسبت ملاکی برای سنجش عملکرد واحدها در به کارگیری نهاده‌های فیزیکی برای تولید ستاده‌های فیزیکی است (فیزیکی در مقابل ارزشی). مطابق شکل ۲ این نسبت عبارت است از:

$$T_e = RS / RM$$

۲-۵- کارایی فنی خالص (کارایی X)

این نسبت ملاکی برای حسن تدبیر مدیریت است؛ به عبارت دیگر چگونگی استفاده از نهاده‌ها برای تولید ستاده‌ها. طبیعی است هرچه تصمیمهای اتخاذ شده صحیحتر باشد، این نسبت به یک نزدیکتر خواهد شد. مطابق شکل ۲ این نسبت عبارت است از:

$$M_e = RT / RM$$

۳-۵- کارایی مقیاس

این نسبت ملاکی برای سنجش بازده به مقیاس است بدین مفهوم که در واحدهایی که از نظر فنی ناکارآ باشند، با محاسبه این نسبت معین می‌گردد چه بخشی از ناکارایی به دلیل مقیاس غیر بهینه بوده است. بدیهی است اگر در صنعتی بازده به مقیاس ثابت باشد، ناکارایی واحدها به مقیاس غیر بهینه برنمی‌گردد. مطابق شکل ۲ این نسبت عبارت است:

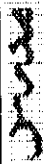
$$S_e = RS / RT$$

لازم است ذکر کنیم بازده به مقیاس ممکن است ثابت^۲ یا متغیر^۳ باشد. به سادگی می‌توان

۱ - کمیت‌های مقداری مد نظر بوده و کارایی فنی براساس مقادیر فیزیکی محاسبه می‌شود.

2-Constant Return to Scale (CRS)

3- Variable Return to Scale (VRS)

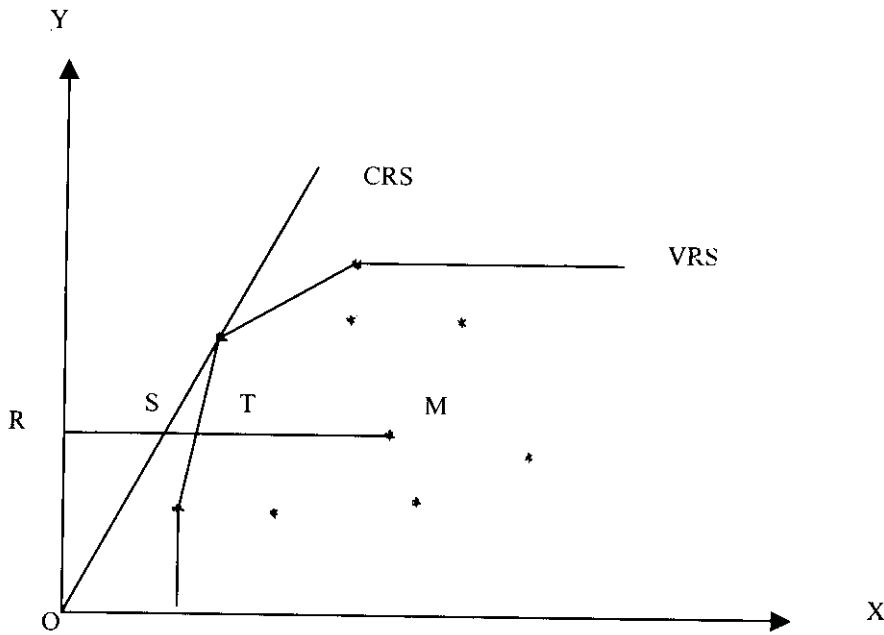




نشان داد که بین سه نوع کارآیی تعریف شده در بالا رابطه زیر برقرار است:

کارآیی مقیاس × کارایی فنی خالص = کارآیی فنی

$$RS/RM = (RT/RM) \times (RS/TR)$$



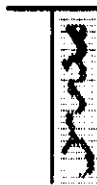
شکل ۳ عملکرد چند واحد فرضی و مرز کارآیی در
حالت‌های بازده ثابت و متغیر به مقیاس

۶- نیروگاههای برق

حال پس از بررسی مفاهیم تحلیل پوششی داده‌ها به بررسی نیروگاههای تولید برق کشور می‌پردازیم. اهمیت نیروگاههای تولید برق کشور بر هیچ کس پوشیده نیست. تأمین برق صنایع و خدمات مختلف (از جزئی‌ترین خدمات برقی گرفته تا تأمین برق بزرگترین کارخانه‌ها) امر مهمی است که هر روز به وسیله صنعت برق کشور صورت می‌گیرد. و همین اهمیت بالای صنعت برق و نیروگاهها (به منزله مولدهای برق) بهانه‌ای برای بررسی وضعیت کارآیی نیروگاهها می‌باشد. کشور ما به دلیل دارا بودن منابع غنی نفت و گاز (به منزله سوخت اصلی نیروگاههای حرارتی) در استفاده از این نیروگاهها دارای مزیت نسبی است.

اما این امر هیچ توجیهی برای استفاده نابینه از این منابع نمی‌باشد؛ چرا که این امر با توجه به فرصتهای بسیاری صورت می‌گیرد که در سایر گزینه‌های جایگزین از دست می‌رود. باید خاطر نشان ساخت که اکثر نیروگاههای برق کشورمان از نوع حرارتی بوده، بیش از ۹۰ درصد برق مورد نیاز کشور از ناحیه این نیروگاهها تأمین می‌گردد. لذا با وجودی که در بسیاری از نقاط دنیا ممکن است نیروگاههای آبی مزیت نسبی داشته باشند (بویژه از نظر زیست محیطی)، به دلیل نیاز نیروگاههای آبی به شرایطی چون رودخانه‌های مناسب و تأمین آب مورد نیاز سدها و در کنار آن نیمه خشک بودن کشورمان و بارش کم، توسعه این نیروگاهها چندان خوش‌بینانه نیست. البته باید ذکر نمود که هنوز تمام پتانسیلهای برق آبی کشور به کار گرفته نشده‌اند. به طور کلی انواع نیروگاههای تولید برق عبارتند از: نیروگاههای اتمی، نیروگاههای آبی، نیروگاههای حرارتی (بخار، گاز، دیزل، سیکل ترکیبی، بخار و گاز توأم)، نیروگاههای خورشیدی و سایر نیروگاهها.

اما همان‌طور که در بالا اشاره شد، نیروگاههای متعارف در ایران فقط نیروگاههای حرارتی و آبی هستند و یک نیروگاه اتمی و یک نیروگاه خورشیدی به ترتیب در بوشهر و یزد در حال احداث است. همچنین نیروگاههای آبی نیز تنها حدود ۵ درصد برق کشور را تولید می‌کنند. بنابراین این مطالعه بر روی نیروگاههای حرارتی متمرکز شده است. از این نیروگاهها نیز، نیروگاههای دیزل به دلیل فناوری قدیمی و سایر مسائل زیست محیطی و فنی تنها در شرایط خاصی (مانند تأمین برق برخی پادگانها، برخی مناطق که امکان تأمین برق از شبکه سراسری مقدور نیست و ...) مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا در اینجا به مطالعه سایر نیروگاههای حرارتی (بخار، گاز، سیکل ترکیبی، بخار و گاز توأم) می‌پردازیم. این





نیروگاهها به دلیل مکانیزم و ساختار مشابهی که دارند، واحدهای مشابه محسوب می‌شوند و در استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی این نیروگاهها هیچ مشکلی وجود ندارد.

۷- متغیرها و داده‌های مدل

در این مطالعه هر نیروگاه حرارتی، یک واحد تصمیم‌گیری قلمداد شده است که سه نهاد سوخت، نیروی انسانی و سرمایه را برای تولید برق (به منزله ستاده) مورد استفاده قرار می‌دهد. باید گفت هر نیروگاه برحسب موقعیت و صرفه اقتصادی می‌تواند از هر یک از سه نوع سوخت یعنی گازوئیل، نفت کوره یا گاز استفاده کند. اما در اینجا برای سادگی بیشتر، این سه نوع سوخت به یک واحد یکسان (BTU) که یک واحد سنجش انرژی است، تبدیل شده‌اند. در مورد نیروی انسانی نیز هدف محققان تفکیک نیروهای متخصص از غیر متخصص بود که متأسفانه در طول مطالعه دسترسی به آمار تفکیک شده نیروی انسانی میسر نشد، بنابراین کل نیروهای فعال در هر نیروگاه (بر حسب نفر) به منزله یک نهاد در مدل لحاظ شده است. در خصوص سرمایه نیز از متغیر جایگزین ظرفیت اسمی (برحسب مگاوات) استفاده شده است. در مطالعات جهانی نیز تمام محققان از این متغیر به جای سرمایه استفاده کرده‌اند. (علاقه‌مندان می‌توانند در سایتهای DEA در اینترنت مقالات متعددی را در این باره ملاحظه کنند). ستاده حاصل از هر واحد نیز میزان برق تولیدی آن واحد می‌باشد که برحسب مگاوات ساعت اندازه‌گیری می‌شود. البته میزان آلاینده‌های ناشی از فعالیت هر نیروگاه نیز می‌توانست به منزله یک ستاده منفی وارد مدل شود که به دلیل عدم دسترسی به آمار قابل اعتماد، از این متغیر نیز صرفه‌نظر شد [۱۲]. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از دفتر بررسیهای اقتصادی وزارت نیرو، آمار تفصیلی سالانه صنعت برق و دفتر برنامه‌ریزی تولید توانیر گردآوری شده‌اند.

در نهایت با استفاده از متغیرهای فوق و مدل (۴) و داده‌های جدول ضمیمه اقدام به ارزیابی کارایی نیروگاهها گردید که نتایج حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ نتایج حاصل از ارزیابی کارایی نیروگاههای حرارتی به روش (DEA)

نام نیروگاه	کارایی مقیاس	کارایی فنی خالص (مدیریتی) VRS	کارایی فنی کل CRS
نکا(شهید سلیمی)	۱	۱	۱



ادامه جدول ۲

۱	۱	۱	س.ت. گیلان
۱	۱	۱	س.ت. فارس
۱	۱	۱	تبریز
۱	۱	۱	س.ت. خوی
-/۹۹۱	-/۹۹۴	-/۹۹۶	طوس
-/۹۹۰	-/۹۹۵	-/۹۹۶	بیتون
-/۹۸۷	-/۹۹۴	-/۹۹۴	س.ت. قم
-/۹۴۷	-/۹۸۹	-/۹۵۷	شهید محمد منتظری
-/۹۴۲	-/۹۷۵	-/۹۶۷	س.ت. کازرون
-/۹۱۰	-/۹۱۰	-/۹۹۹	اصفهان (اسلام آباد)
-/۹۰۲	-/۹۰۳	-/۹۹۹	شهید مفتاح (غرب)
-/۸۵۸	-/۸۹۰	-/۹۶۴	بندرعباس
-/۸۴۹	-/۸۹۸	-/۹۴۶	س.ت. نیشابور
-/۸۳۲	-/۸۸۹	-/۹۳۵	ایرانشهر
-/۸۲۹	-/۸۷۲	-/۹۴۹	س.ت. شهید رجایی
-/۷۳۵	-/۷۵۰	-/۹۷۹	رامین
-/۷۲۲	-/۷۲۸	-/۹۷۸	لوشان (شهید بهشتی)
-/۷۰۶	-/۷۲۶	-/۹۷۲	شهید منتظر قائم
-/۶۸۵	-/۷۰۴	-/۹۷۴	مشهد
-/۶۷۷	-/۷۰۵	-/۹۶۰	بغت
-/۶۴۹	-/۶۹۶	-/۹۳۲	شیراز
-/۶۰۵	-/۶۱۹	-/۹۷۷	زرگان
-/۵۹۸	-/۶۵۷	-/۷۸۹	زرنند
-/۴۶۹	-/۵۲۲	-/۸۲۴	شیروان
-/۴۴۷	-/۵۷۷	-/۷۷۵	کنگان
-/۴۲۲	-/۶۴۶	-/۶۵۲	ارومیه
-/۳۹۱	-/۵۶۰	-/۶۲۹	شهید فیروزی
-/۳۲۲	۱	-/۳۲۲	سمنان
-/۲۴۰	-/۲۵۸	-/۹۳۲	ری
-/۲۱۰	-/۲۹۷	-/۷۰۷	شریعتی
-/۱۶۶	-/۶۴۱	-/۲۵۸	قائن
-/۱۶۲	-/۵۶۶	-/۲۸۷	یزد (شهید زینق)
-/۱۵۷	-/۸۵۵	-/۱۸۳	هسا
-/۱۵۴	-/۶۶۱	-/۲۲۱	سوفیان
-/۱۲۲	-/۴۰۲	-/۲۲۰	بوشهر
-/۰۹۸	۱	-/۰۹۸	درود
-/۶۴۱	-/۷۸۲	-/۸۰	میاندکین



در ادامه برای بررسی شفافتر، کل نیروگاهها به چهار دسته تقسیم گردیده و میانگین کارآیی هر دسته محاسبه شده است. این موضوع در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ دسته‌بندی نیروگاههای حرارتی از نظر کارآیی

VRS	CRS	متوسط کارآیی نوع نیروگاه
۰/۹۳	۰/۹۱	سیکل ترکیبی
۰/۸۴	۰/۷۹۵	بخار
۰/۸۱	۰/۸	بخار و گاز
۰/۶۳	۰/۲۸	گازی

همان طور که انتظار می‌رفت متوسط کارآیی نیروگاههای سیکل ترکیبی در بالاترین سطح ممکن قرار دارد و به دنبال آن نیروگاههای بخار، بخار و گاز توأم (نیروگاههایی که واحدهای بخار و گاز در کنار هم دارند اما از مکانیزم سیکل ترکیبی استفاده نمی‌کنند) و نیروگاههای گازی قرار دارند. دلیل اصلی پایین بودن کارآیی نیروگاههای گازی به ستاده پایین آنها در مقایسه با نهاده استفاده شده برمی‌گردد؛ زیرا این نیروگاهها معمولا تنها در ساعتهای پرباری به شبکه می‌پیوندند و سایر اوقات معمولا اکثر واحدهای آنها خاموش است. بنابراین هر چند نهاده سوخت این نیروگاهها متناسب با تولید آنهاست، اما سرمایه (ظرفیت نصب شده) و نیروی انسانی این نیروگاهها بدون توجه به سطح تولید نیروگاه به منزله نهاده لحاظ می‌گردد. بنابراین نهاده‌ها (نسبت به سطح مطلوب) برای تولید ستاده در سطح بالاتری قرار می‌گیرند. البته یک ایده این است که خروجی این نیروگاهها را با توجه به تعداد ساعات کارشان تعدیل کنیم. اما مشخص نیست که در این نیروگاهها چند واحد و چه تعداد ساعتی طی سال فعال بوده‌اند. یک راه دیگر برخورد با این مشکل تفکیک نیروگاهها برحسب ضریب بار نیروگاههاست. این تفکیک در این مطالعه انجام نشده بلکه فقط به ارائه دلیل کارآیی پایین این واحدها بسنده شده است. بدیهی است مطالعات آتی می‌تواند این موضوع را در تحلیل خود لحاظ کند.



۸- بررسی نیروگاههای با کارایی واحد

سؤالی که بعد از ارزیابی کارایی نیروگاهها مطرح می‌شود این است که از بین نیروگاههایی که به طور نسبی دارای کارایی واحد گردیده‌اند، کدام نیروگاه نسبت به سایر نیروگاهها از رتبه بالاتری برخوردار بوده است؟

یک پاسخ به این سؤال این است که مجموع وزنه‌های این نیروگاههای در مجموعه مرجع را حساب کنیم، هر نیروگاهی وزن بیشتری داشت رتبه آن بالاتر است. این کار در اینجا انجام شده و نتیجه حاصل در جداول ۴ و ۵ آمده است. البته روشهای دیگری (از جمله روش تاکسونومی) نیز برای این کار پیشنهاد شده است که به دلیل اختصار از ذکر آنها خودداری می‌گردد.

جدول ۴ نیروگاههای کارآ با فرض بازده ثابت به مقیاس

با فرض CRS		
مجموع وزنها	کارایی	نام نیروگاه
۹/۸۹۵	۱	تبریز
۶/۳۱۷	۱	س.ت. فارس
۲/۱۹۵	۱	نکا
۱/۶۴۲	۱	س.ت. گیلان
۱/۵۰۳	۱	س.ت. خوی

جدول ۵ نیروگاههای کارآ با فرض بازده متغیر به مقیاس

با فرض VRS		
مجموع وزنها	کارایی	نام نیروگاه
۱۴/۷۷	۱	سمنان
۶/۰۳	۱	تبریز
۴/۷	۱	درود
۳/۶۱	۱	س.ت. فارس
۲/۳۷	۱	نکا
۲/۱۲	۱	س.ت. گیلان
۱/۹۱	۱	س.ت. خوی



۹- نتیجه گیری

نتایج حاصل نشان می‌دهد که تحت هر دو سناریوی بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس، کارایی نیروگاههای سیکل ترکیبی از سایر نیروگاههای حرارتی بالاتر است. تحت فرض اول نیروگاه تبریز و تحت فرض دوم نیروگاه سمنان، کارآترین نیروگاهها شناخته شده‌اند. البته همانطور که در جداول ۴ و ۵ ملاحظه می‌کنید، نیروگاههای س.ت. فارس، نکا، درود، س.ت. گیلان و س.ت. خوی نیز به طور نسبی دارای کارایی واحد هستند و وارد شدن در مقوله وزن واحدها و معرفی یک نیروگاه (به عنوان نیروگاه دارای رتبه اول) صرفاً به منظور رتبه‌بندی نیروگاههای (به طور نسبی) کارآ می‌باشد.

علاوه بر این متوسط کارایی تحت فرض بازده ثابت به مقیاس ۶۴ درصد و تحت فرض بازده متغیر به مقیاس ۷۸ درصد بوده است. مفهوم این جمله این است که حتی اگر قرار باشد با ظرفیت فعلی و بدون هیچ توسعه‌ای در ظرفیت نیروگاهی کشور به طور بهینه از امکانات موجود استفاده کنیم، برق تولیدی در حالت اول تا ۳۶ درصد و در حالت دوم تا ۲۲ درصد قابل افزایش است.

البته آگاهان صنعت برق بخوبی می‌دانند همواره حتی در بهترین حالت ممکن بخشی از ظرفیت نیروگاهی به صورت غیرفعال نگه داشته می‌شود؛ زیرا در صنعت برق تقاضای کل مشترکان در تمام اوقات سال یکسان نیست و تحت تأثیر عوامل مهمی از جمله شرایط محیطی (گرمی یا سردی هوا) و ... قرار دارد. بنابراین گاهی اوقات تقاضای برق خیلی بالا بوده و گاهی اوقات برعکس (منحنی تقاضای بار روزانه یا سالانه این موضوع را بخوبی نشان می‌دهد)، بنابراین ظرفیت نصب شده باید به گونه‌ای باشد که صنعت برق در اوقات پرباری قادر به تأمین برق تقاضا شده باشد. اما همین موضوع عاملی برای خروج اجباری برخی از واحدها (در اوقات کم‌باری) از شبکه می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶ (داده‌های استفاده شده) دفتر بررسیهای اقتصادی وزارت نیرو
آمارهای تفصیلی سالانه صنعت برق و دفتر برنامه‌ریزی تولید توانیر

نام نیروگاه	نیروی کار (مغز)	نفت کوره (هزارلیتر)	گازوئیل (هزار لیتر)	گاز طبیعی (هزار مترمکعب)	تولید (MW H)	ظرفیت		
						گاز	بخار	کل (MW)
تبریز	۵۲۲	۱۳۱۸۰۰۳	۱۹۶۱	۵۸۷۰۰	۴۹۲۰۳۸۵	۶۴	۷۳۶	۸۰۰
شهید محمد منتظری	۷۵۰	۱۴۶۶۲۱۹	۴۸۰۴	۷۹۷۴۵۳	۸۸۳۹۰۷۶	-	۱۶۰۰	۱۶۰۰



ادامه جدول ۶

۸۳۰	۸۳۰	-	۴۶۷۳۸۷	۶۹۲۳۰	۴۸۶	۵۲۴۵۶۷	۶۶۲	اسلام‌آباد (اصفهان)
۱۷۴۳	-	۱۷۴۳	۱۰۶۱۹۹۶	۵۴۸۳۰۶	۸۳۶۲۸	-	۵۲۰	ری
۱۴۲۸	۶۲۵	۸۰۳	۵۹۵۳۲۲۷	۹۹۶۶۵۳	۲۴۲۰۵۴۵	۶۷۰۷۴۴	۶۵۷	منتظر قائم
۷۱۶	-	۷۱۶	۳۰۹۳۲۰۰	۶۵۶۲۵۹	۳۶۱۹۶	-	۱۶۰	قم
۶۰۰	۶۰۰	-	۳۶۶۰۰۸۳	۱۰۳۰۷۶۶	۳۰۵	۲۱۸۱۲	۵۰۰	طوس
۳۲۸	۱۳۳	۱۹۵	۱۴۸۳۲۲۲	۵۴۸۸۳۸	۲۲۳	-	۴۰۰	مشهد
۱۸۹۰	۱۸۹۰	-	۸۰۵۴۶۶۷	۱۹۰۶۱۹۹	-	-	۹۶۱	ورامین
۴۵۰	۲۹۰	۱۶۰	۱۰۵۷۸۷۶	۴۰۲۳۳۷	-	-	۳۲۷	زرگان
۱۹۶	-	۱۹۶	۷۸۲۳۳۸	۳۵۸۹۸۹	-	-	۱۲۷	شیراز
۱۲۸۰	۱۲۸۰	-	۶۶۷۵۰۰	۱۷۹۶۶۸۰	۱۵۰۰	۱۳۳۱۰	۷۶۵	بندرعباس
۲۴۷/۵	۲۲۷/۵	-	۱۰۰۰۳۲۷۸	۱۲۶۶۶۰	۲۱۹۷	۱۷۲۰۴۲	۳۸۰	بعثت
۵۰	۵۰	-	۱۱۴۸۶۶	۴۴۹۶۷	-	-	۱۴۴	شهید نیروزی
۳۰۳۵	۱۷۶۰	۲۷۵	۱۱۲۹۳۸۲۰	۲۶۷۴۹۹۹	۳۱۱۴	۲۵۵۶۱۸	۱۰۰۵	شهید سلیمی (نکا)
۳۶۰	۲۴۰	۱۲۰	۱۵۷۲۱۸۹	۴۲۸۰۳۵	۶۲۴۵	-	۴۵۱	شهید بهشتی (لوشان)
۱۷۶۰/۴	۱۰۰۰	۷۴۰/۴	۸۱۰۶۲۶۶	۱۵۹۵۳۲۶	۳۷۱۵۹	۴۸۴۰۴۹	۶۲۰	شهید رجایی
۱۳۱۲/۸	۴۵۰	۸۶۳/۸	۶۸۰۹۵۳۸	۱۴۳۵۰۱۷	۳۹۵۰۹	-	۳۵۰	گیلان
۶۴۰	۶۴۰	-	۲۶۹۵۷۲۰	۶۹۰۲۱۹	۷۵۵	۳۶۱۹۱۱	۲۸۰	بیتون
۱۲۸	۱۲۸	-	۶۵۵۳۸۱	-	۷۷	۲۰۹۰۴۲	۲۱۵	ایرانشهر
۹۴/۸	-	۹۴/۸	۴۵۴۱۵	-	۱۹۴۶۷	-	۱۷۱	یزد (شهید زینق)
۶۰	۶۰	-	۱۸۳۰۰۵	-	-	۶۴۰۲۰	۲۱۶	زرنج
۱۰۰۰	۱۰۰۰	-	۵۱۴۲۲۶۵	۷۹۶۴۳۲	-	۴۱۴۷۶۸	۴۱۵	مفتح (غرب)
۹۶	-	۹۶	۳۰۳۲۴	-	۱۳۷۷۲	-	۴۰	صوفیان
۱۲۵	-	۱۲۵	۶۴۹۴۴	-	۳۲۱۸۹	-	۷۲	بوشهر
۱۱۴/۵	-	۱۱۴/۵	۳۹۸۵۰۰	۱۴۳۱۹۷	-	-	۵۴	کنگان
۹۶	-	۹۶	۱۹۱۲۳	۷۰۵۴	۱۲۵	-	۳۱	هسا
۱۴۲/۲	-	۱۴۲/۲	۳۸۷۳۸۰	۱۶۸۵۹۱	-	-	۶۷	شیراز
۷۱/۱	-	۷۱/۱	۴۷۷۰۲	-	۲۰۱۱۲	-	۶۵	قائم
۱۴۲	-	۱۴۲	۱۶۹۰۹۹	۷۵۷۱۴	۱۶۷	-	۱۱۰	شریعتی
۱۲/۵	-	۱۲/۵	۲۵۰۸۸	۱۴۳۴۶	-	-	۲۰	سمنان
۲۵۶	-	۲۵۶	۱۳۷۱۴۷۷	۴۲۹۳۳۷	۲۱۳	-	۷۵	کازرون
۲۴۶/۸	-	۲۴۶/۸	۶۶۹۸۱۰	۲۶۳۲۰۲	۳۹۰۵۵	-	۵۰	خری
۷۴۰/۴	-	۷۴۰/۴	۴۱۳۵۹۲۰	۱۳۱۱۳۹۹	۶۰	-	۱۵۵	سیکل ترکیبی فارس
۷۴۰/۴	-	۷۴۰/۴	۲۱۵۰۴۰۸	۷۲۵۰۵۱	۳۳۰۸۶	-	۱۰۰	سیکل ترکیبی نیشابور
۶۰	-	۶۰	۱۵۲۴۵۵	۶۵۸۶۷	۴۴۰۲	-	۳۹	ارومیه
۶۰	-	۶۰	۸۳۲۲	-	۵۱۲۶	-	۲۶	درود



۱۰- منابع

- [۱] حیدری، کیومرث؛ چکیده مطالعات جهانی انجام شده در ارتباط با کارآیی نیروگاهها و شرکتهای تولید و توزیع برق؛ وزارت نیرو دفتر بررسیهای اقتصادی، اردیبهشت ۱۳۸۰
- [2] Emami Meibodi, Ali; "Efficiency Considerations in the Electricity Supply Industry: the Case of Iran"; A Thesis Submitted to University of Surry for the Degree of Philosophy, May 1998.
- [۳] ابطی، حسن و بابک کاظمی؛ بهره‌وری، چاپ اول، تهران: مؤسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی، ۱۳۷۵.
- [۴] میریام، وبستر؛ فرهنگ دانشگاهی جدید وبستر، چاپ اول، تهران: ارغوان، ۱۳۶۲.
- [۵] فرهنگ، منوچهر؛ فرهنگ یک جلدی علوم اقتصادی؛ ویرایش هفتم، تهران: البرز، ۱۳۷۳.
- [6] Farrel, M.J.; "The Measurements Productive Efficiency", *J. Roy. Statistist. Soc.*; 1957.
- [۷] حیدری، کیومرث؛ ارزیابی کارآیی نیروگاههای حرارتی تولید برق کشور به روش تحلیل پوششی داده‌ها؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد دانشگاه شهید بهشتی، مهر ۱۳۷۹.
- [8] Charnes, A., W.W.Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*; No.2. pp. 429 – 444.
- [9] Johnes, Geraint & Jill Johnes; "Measuring the Research Performance of U.K. Economic Departments: An Application of Data Envelopment Analysis," *Oxford Economic Paper*; No. 45, 1993, pp.332-347.
- [10] Banker, R.D., A. Charnes, & W. W.Cooper; "Evaluation Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Follow Through", *Management Science*. Vol. 27, No.6, June 1981, pp.668 - 697.
- [۱۱] امامی میبدی، علی؛ "اصول جدید ارزیابی کارآیی و بهره‌وری"، چاپ اول، تهران (علمی، کاربردی) جزوه درسی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، پاییز ۱۳۷۸.
- [۱۲] کورهون، پکا و میکولاس، لوپتا کیک؛ "استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی اکو - کارآیی نیروگاههای برق"، ترجمه کیومرث حیدری، صنعت برق؛ اسفند ۱۳۸۰، ص ۲۳-۱۶.