استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) [1] در ارزیابی کارآیی نیروگاههای حرارتی تولید برق کشور

محمد حسین پورکاظمی[1]، کیومرث حیدری[2]*

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 کارآیی است. به همین منظور در این مقاله وضعیت کارآیی نیروگاههای حرارتی کشور که بیش از ۹۰ درصد برق کشور را تولید می‌کنند، 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 می‌باشد و جدیدترین روش ارزیابی کارآیی محسوب می گردد. نتایج حاصل نشان می دهند که متوسط کارآیی نیروگاههای حرارتی کشور تحت فرض بازده ثابت به مقیاس ٦٤ درصد و تحت فرض بازده متغیر به مقیاس ۷۸درصد می باشد؛ به عبارتی دیگر با همین وضعیت فعلی و با استفاده بهینه از امکانات در حالت اول می‌توان ۳٦ درصد و در حالت دوم ۲۲ درصد تولید برق را در کشور بهبود بخشید! از طرف دیگر با دسته‌بندی نیروگاهها، نیروگاههای سیکل ترکیبی (س.ت). از نظر کارآیی 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 شبکهٔ مزبور برمی گردد. بنابراین از آنجایی که نهاده‌های نیروی کار و سرمایه برعکس سوخت، با کاهش فعالیت نیروگاه قابل کاهش نیستند، لذا در نیروگاههای گازی معمولا با یک سطح مشخص نهاده، تولید در سطحی متناسب با آن

*نویسنده عهده دار مکاتبات

1- Data Envelopment Analysis

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].

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 ستادهٔ ممکن با یک مجموعه نهاده معین (حداقل نهاده با ستاده معین) بیان شده که، وی این نسبت را بهره‌وری یا کارآیی 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 کارآیی مشابه حالت قبل است با این تفاوت که این بار مقدار ارزشی نهاده‌ها و ستاده‌ها با توجه به قیمت بازاری آنها برای محاسبه کارآیی مورد استفاده قرار می گیرد.

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

واژه‌نامه و بستر[٤] کارآیی را معادل اثربخشی دانسته و آن را تولید مطلوب با حداقل مصرف انرژی، زمان، پول یا مواد تعریف کرده است.

در واژه‌نامه دکتر فرهنگ [٥] نیز کارآیی به صورت نسبت مقدار تولید به مقدار عاملی که به کار افتاده، تعریف شده است.

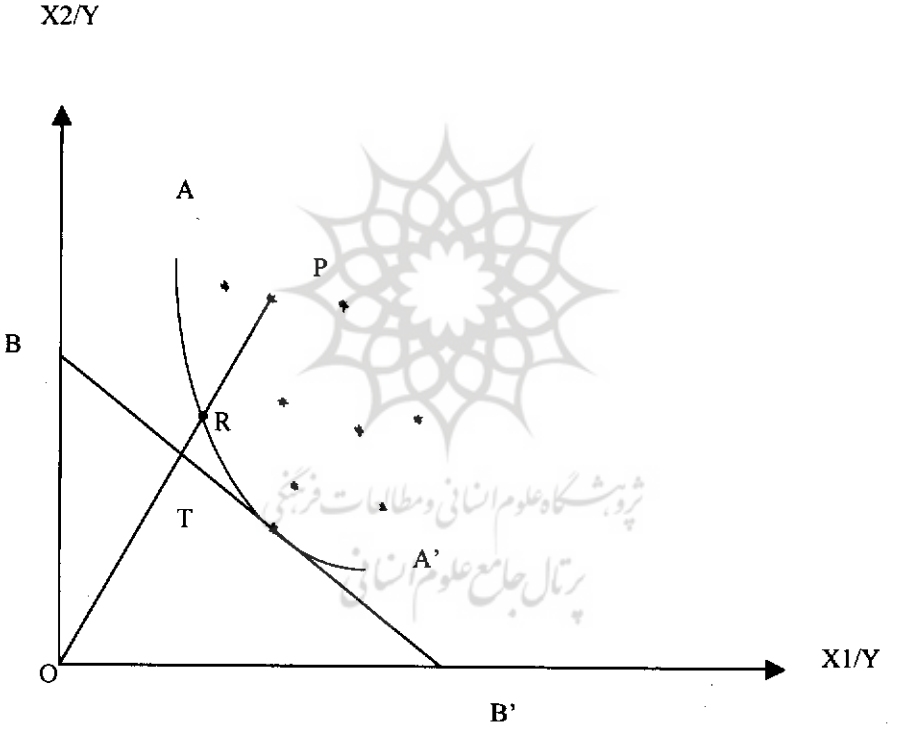
فارل [٦] نیز که از جمله بنیانگذاران تئوری ارزیابی کارآیی است در ١٩٥٧ در مقاله‌ای تحت عنوان اندازه‌گیری کارآیی تولید کننده، کارآیی بنگاه را تولید ستاده به حد کافی بیشتر از یک مقدار معین نهاده تعریف کرده است.

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

٢-١ - انواع کارآیی

برای تشریح انواع کارآیی بهتر است کار را با ارائه یک مثال آغاز کنیم[٧]. فرض کنید واحدهای مورد بررسی جهت ارزیابی کارآیی از دو نهاد X١ ، X٢ 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، کارآیی 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:



شکل ۱ مکان هندسی چند بنگاه مفروض

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲-۱-۱- کارآیی فنی

کارآیی فنی[1] در مورد نهاده ها و ستاده های 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 می شود[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 می آید:

$$\text{کارآیی فنی} = OR/OP$$

که در آن: OR، شعاع عملکرد واحد فرضی بهینه (از نظر فنی) وOP، 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) می باشد.

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 هزینهٔ تهیه نهاده‌ها نادیده گرفته شد. حال اگر هزینه‌ها نیز مورد توجه باشند، لازم است بحث قیمتها نیز وارد محاسبات کارآیی شود. از شکل۱ ملاحظه می کنیم که در این حالت فقط بنگاههایی که عملکردشان روی خط هزینه یکسان (BB) باشد، کارآ هستند؛ به عبارت دیگر کارآیی تخصیصی[2] 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.

1- Technical Efficiency
2- Allocative Efficiency

۳-۱-۲- کارآیی اقتصادی[1]

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:

کارآیی تخصیصی× کارآیی فنی= کارآیی اقتصادی

$$= (OR/OP) * (OT/OR)$$
$$= OT/OP$$

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 طورکلی 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 واقعیِ (Y) به مقدار بهینه تولیدِ (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

1- Economy Efficiency

باید بتوان با تبدیل و یکسان‌سازی واحد اندازه گیری 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 معمولا 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.

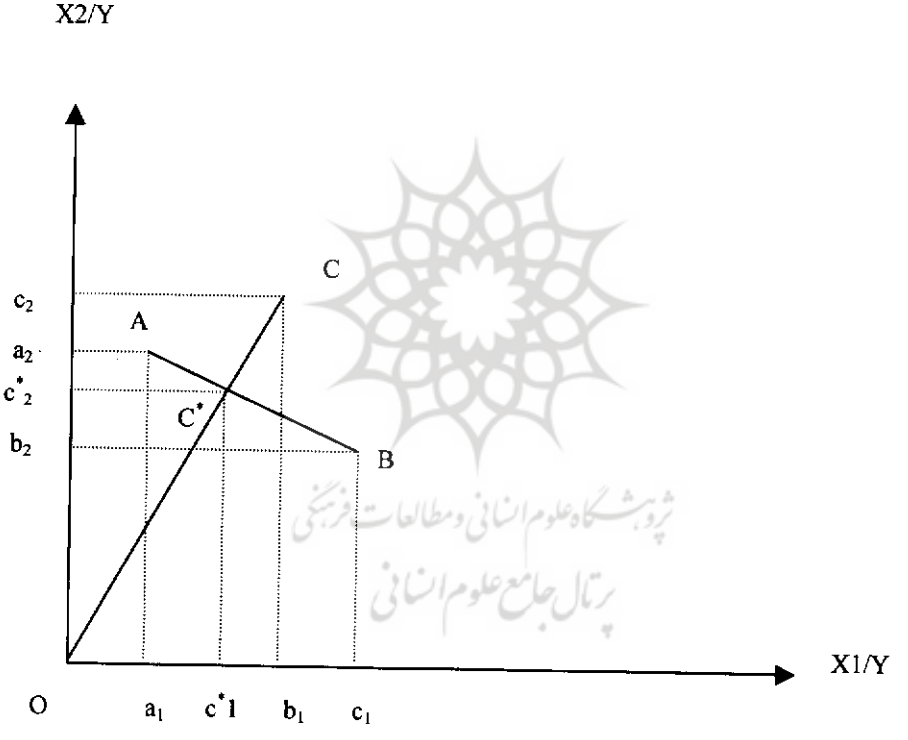
جدول ۱ عملکرد دو واحد پژوهشی فرضی

فعالیت واحد	تعداد کتب ترجمه	تعداد کتب تألیفی	تعداد مقالات
اول	۸	٤	۳
دوم	٦	٥	٤

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 وزنهای 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 (مثلا 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, a۱ واحد از نهاده اول و a۲ واحد از نهاده دوم و واحد B، b۱ واحد از نهاده اول و b۲ واحد از نهاده دوم (با این فرض که a۱ > b۱ و a۲ < b۲) و واحد C، c۱ واحد از نهاده اول و c۲ 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 وB می توان یک واحد ستاده تولید کرد.) بنابراین می‌توان 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 تصمیم گیری مشابه[1] اطلاق می شود.



شکل ۲ نمایش عملکرد سه واحد فرضی در دستگاه مختصات

1- Decision Making Units

۴- مدل نظری تحلیل پوششی داده‌ها

با توجه به رویکردهای متفاوت متخصصان، مدلهای مختلفی برای تحلیل پوششی‌داده‌ها ارائه شده است. از جمله این مدلها می‌توان به مدل CCR،[1] BCC،[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 ۱۹۷۸ 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 تصمیم گیری 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]:

$$\begin{aligned} &Max \quad U'Y/\ V'X \\ &s.t:\ (U'Y_j/V'X_j) \le 1 \qquad j = 1, 2, 3, \ldots N \\ &U \text{ و } V > 0 \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن Y، برداری m×۱ از مقادیر ستاده‌های هر واحد، X، برداری n×۱ از مقادیر نهاده‌های هر واحد، U، برداری m×۱ از وزن ستاده‌های هر واحد و V، برداری n×۱ از وزن نهاده‌های هر واحد می باشد.

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 نهاده های آن واحد به گونه‌ای انتخاب می گردد که مجموع موزون آنها برابر یک

1-Charnes, Cooper & Rhodes

2- Banker, Charnes & Cooper

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

$$\begin{aligned} &Max && \mu' Y \\ &S.t: && \upsilon' X = 1 \\ & && \mu' Y_j - \upsilon' X_j \le 0 \qquad j = 1, 2, 3, \dots, N \\ & && \upsilon, \mu > 0 \end{aligned} \tag{۲}$$

در این حالت بردار (υ) به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که شرط $(\upsilon' X = 1)$ تحقق یابد. همچنین بردار (μ') وزنهای جدید ستاده ها 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 گان این مسأله را تشکیل می‌دهیم و آن را حل می‌نماییم. از آنجا که مسألهٔ اولیه دارای (N+1) قید بوده و مسأله دوگان فقط دارای m+n متغیر(وزنهای ستاده‌ها و نهاده‌ها) می‌باشد و $(m + n + 1 < N)$ ، بنابراین تشکیل دوگان مسأله فوق و حل آن به مراتب ساده‌تر از مدل اولیه است:

$$\begin{aligned} &Min && \theta \\ &s.t: && -y_i + Y \quad \lambda \ge 0 \\ & && \theta x_i - x \quad \lambda \ge 0 \\ & && \lambda_k \ge 0 \qquad k = 1, 2, 3, \dots, t \end{aligned} \tag{۳}$$

که در آن λ برداری $(N\times 1)$ و شامل مقادیر ثابت می‌باشد. این مقادیر ثابت وزنهای مجموعه مرجع می‌باشند. باید ذکر کنیم مجموعه مرجع مجموعه‌ای از واحدهای کار است که به منزلهٔ 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 و 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 کارآیی یکی از واحدها (i ام) به دست می‌آید.

همان طور 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 تحدب به مدل فوق اضافه کرد، در نتیجه مدل (BCC) به شکل زیر حاصل می گردد.

$$\begin{aligned} &Min && \theta \\ &S.t: && -y_i + Y \quad \lambda \ge 0 \\ & && \theta x_i - X \quad \lambda \ge 0 \\ & && \Sigma\lambda_k = 1 \\ & && \lambda_k \ge 0 \qquad k = 1, 2, 3, \dots, t \end{aligned} \tag{٤}$$

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

۵- انواع کارآیی در تحلیل پوششی داده‌ها[1]

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 ۳ باشد، همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، این دو مدل مرز متفاوتی را برای کارآیی واحدها در نظر می گیرند که دلیل این اختلاف به وجود قید تحدب در مدل (BCC) برمی‌گردد. براساس تعریف، در تحلیل پوششی داده‌ها سه جنبه از کارآیی ارائه می گردد. بنابراین انواع کارآیی برای واحد مورد بررسی M در شکل ۳ به صورت زیر تعریف می‌شود.

۵-۱ - کارآیی فنی

این نسبت ملاکی برای سنجش عملکرد واحدها در به کارگیری نهاده‌های فیزیکی برای تولید ستاده‌های فیزیکی است (فیزیکی در مقابل ارزشی). مطابق شکل ۳ این نسبت عبارت است از:

$$T_e = RS / RM$$

۵-۲- کارآیی فنی خالص (کارآیی 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 ۳ این نسبت عبارت است از:

$$M_e = RT / RM$$

۵-۳- کارآیی 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 می گردد چه بخشی از ناکارآیی به دلیل مقیاس غیر بهینه بوده است. بدیهی است اگر در صنعتی بازده به مقیاس ثابت باشد، ناکارآیی واحدها به مقیاس غیر بهینه برنمی‌گردد. مطابق شکل ۳ این نسبت عبارت است:

$$S_e = RS / RT$$

لازم است ذکر کنیم بازده به مقیاس ممکن است ثابت[2] یا متغیر[3] باشد. به سادگی می‌توان

---

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

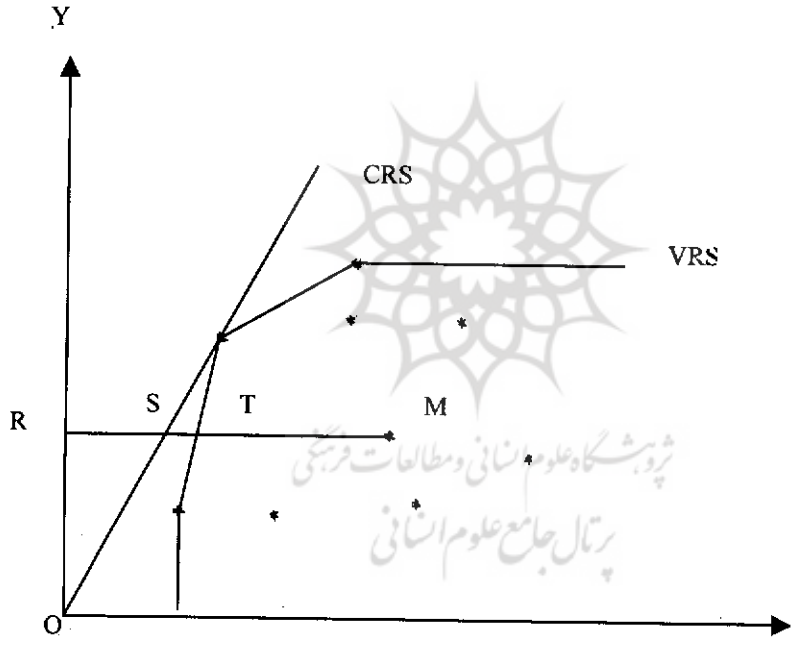
2-Constant Return to Scale (CRS)

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

$$RS/RM = (RT/RM)^{*} (RS/TR)$$



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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۶- نیروگاههای برق

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

اما این امر هیچ توجیهی برای استفاده نابهینه از این منابع نمی‌باشد؛ چرا که این امر با توجه به فرصتهای بسیاری صورت می گیرد که در سایر گزینه‌های جایگزین از دست می‌رود. باید خاطرنشان ساخت که اکثر نیروگاههای برق کشورمان از نوع حرارتی بوده، بیش از ۹۰ درصد برق مورد نیاز کشور از ناحیه این نیروگاهها تأمین می گردد. 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 رودخانه های 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 کارآیی این نیروگاهها هیچ مشکلی وجود ندارد.

۷- متغیرها و داده‌های مدل

در این مطالعه هرنیروگاه حرارتی، یک واحد تصمیم‌گیری قلمداد شده است که سه نهاده سوخت، نیروی انسانی و سرمایه را برای تولید برق(به منزلهٔ 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 منزلهٔ یک نهاده 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 مگا وات ساعت اندازه‌گیری می‌شود. البته میزان آلاینده‌های ناشی از فعالیت هر نیروگاه نیز می‌توانست به منزلهٔ 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 (٤) و داده‌های جدول ضمیمه اقدام به ارزیابی کارآیی نیروگاهها گردید که نتایج حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است.

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

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

ادامهٔ جدول ۲

س.ت. گیلان	۱	۱	۱
س. ت. فارس	۱	۱	۱
تبریز	۱	۱	۱
س. ت. خوی	۱	۱	۱
طوس	۰/۹۹۶	۰/۹۹٤	۰/۹۹۱
بیستون	۰/۹۹٦	۰/۹۹٥	۰/۹۹۰
س.ت. قم	۰/۹۹٤	۰/۹۹٤	۰/۹۸۷
شهید محمد منتظری	۰/۹٥۷	۰/۹۸۹	۰/۹٤۷
س.ت. کازرون	۰/۹٦۷	۰/۹۷٥	۰/۹٤۲
اصفهان (اسلام‌آباد)	۰/۹۹۹	۰/۹۱۰	۰/۹۱۰
شهید مفتح (غرب)	۰/۹۹۹	۰/۹۰۳	۰/۹۰۲
بندرعباس	۰/۹٦٤	۰/۸۹۰	۰/۸٥۸
س.ت. نیشابور	۰/۹٤٦	۰/۸۹۸	۰/۸٤۹
ایرانشهر	۰/۹۳٥	۰/۸۸۹	۰/۸۳۲
س.ت. شهید رجایی	۰/۹٤۹	۰/۸۷۳	۰/۸۲۹
رامین	۰/۹۷۹	۰/۷٥۰	۰/۷۳٥
لوشان (شهید بهشتی)	۰/۹۷۸	۰/۷۳۸	۰/۷۲۲
شهید منتظر قائم	۰/۹۷۲	۰/۷۲٦	۰/۷۰٦
مشهد	۰/۹۷٤	۰/۷۰٤	۰/٦۸٥
بعثت	۰/۹٦۰	۰/۷۰٥	۰/٦۷۷
شیراز	۰/۹۳۳	۰/٦۹٦	۰/٦٤۹
زرگان	۰/۹۷۷	۰/٦۱۹	۰/٦۰٥
زرند	۰/۷۸۹	۰/٦٥۷	۰/٥۱۸
شهروان	۰/۸۳٤	۰/٥٦۳	۰/٤٦۹
کنگان	۰/۷۷٥	۰/٥۷۷	۰/٤٤۷
ارومیه	۰/٦٥۳	۰/٦٤٦	۰/٤۲۲
شهید فیروزی	۰/٦۲۹	۰/٥٦۰	۰/۳۹۱
سمنان	۰/۳۳۳	۱	۰/۳۳۳
ری	۰/۹۳۳	۰/۲٥۸	۰/۲٤۰
شریعتی	۰/۷۰۷	۰/۲۹۷	۰/۲۱۰
قائن	۰/۲٥۸	۰/٦٤۱	۰/۱٦٦
یزد (شهید زنبق)	۰/۲۸۷	۰/٥٦٦	۰/۱٦۲
هسا	۰/۱۸۳	۰/۸٥٥	۰/۱٥۷
صوفیان	۰/۲۳۱	۰/٦٦۱	۰/۱٥٤
بوشهر	۰/۳۳۰	۰/٤۰۲	۰/۱۳۳
درود	۰/۰۹۸	۱	۰/۰۹۸
میانگین	۰/۸۰	۰/۷۸۲	۰/٦٤۱

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

متوسط کارآیی / نوع نیروگاه	CRS	VRS
سیکل ترکیبی	۰/۹۱	۰/۹۳
بخار	۰/۷۹۵	۰/۸٤
بخار و گاز	۰/۸	۰/۸۱
گازی	۰/۲۸	۰/٦۳

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 منزلهٔ 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 کارآیی واحد

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

یک پاسخ به این سؤال این است که مجموع وزنهای 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 ٤ و ٥ 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		
نام نیروگاه	کارآیی	مجموع وزنها
تبریز	۱	۹/۸۹۵
س.ت. فارس	۱	٦/۳۱۷
نکا	۱	۳/۱۹۵
س.ت. گیلان	۱	۱/٦٤۲
س.ت. خوی	۱	۱/۵۰۳

جدول ۵ نیروگاههای کارآ با فرض بازده متغیر به مقیاس

با فرض VRS		
نام نیروگاه	کارآیی	مجموع وزنها
سمنان	۱	١٤/٧٧
تبریز	۱	٦/۰۳
درود	۱	٤/۷
س.ت. فارس	۱	۳/٦۱
نکا	۱	۳/۳۷
س.ت. گیلان	۱	۲/۱۲
س.ت. خوی	۱	۱/۹۱

۹- نتیجه گیری

نتایج حاصل نشان می‌دهد که تحت هر دو سناریوی بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس، کارآیی 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 ٤ و ٥ ملاحظه می‌کنید، نیروگاههای س.ت. فارس، نکا، درود، س.ت. گیلان و س.ت. خوی نیز به طور نسبی دارای کارآیی واحد هستند و وارد شدن در مقوله وزن واحدها و معرفی یک نیروگاه (به عنوان نیروگاه دارای رتبه اول) صرفا به منظور رتبه‌بندی نیروگاههای(به طور نسبی) کارآ می‌باشد.

علاوه بر این متوسط کارآیی تحت فرض بازده ثابت به مقیاس ٦٤ 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 توسعه ای در ظرفیت نیروگاهی کشور به طور بهینه از امکانات موجود استفاده کنیم، برق تولیدی در حالت اول تا ٣٦ درصد و در حالت دوم تا ٢٢ 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 ٦).

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

نام نیروگاه	نیروی کار (نفر)	نفت کوره (هزارلیتر)	گازوئیل (هزار لیتر)	گاز طبیعی (هزار مترمکعب)	تولید (MWH)	ظرفیت		
						گاز	بخار	کل (MW)
تبریز	٥٢٢	١٢١٨٥٠٣	١٩٦١	٥٨٧٥٠	٤٩٢٥٣٨٥	٦٤	٧٣٦	٨٠٠
شهید محمد منتظری	٧٥٠	١٤٦٦٢١٩	٤٨٠٤	٧٩٧٤٥٢	٨٨٣٩٠٧٦	-	١٦٠٠	١٦٠٠

ادامهٔ جدول ٦

اسلام‌آباد (اصفهان)	٦٦٣	٥٣٢٥٦٧	٤٨٦	٦٩٣٣٩٠	٤٦٧٣٨٨٧	-	٨٣٥	٨٣٥
ری	٥٢٠	٠	٨٣٦٢٨	٥٤٨٣٠٦	١٥٦١٩٩٦	١٢٤٣	-	١٢٤٣
منتظر قائم	٦٥٧	٦٧٠٧٤٤	٢٤٣٠٥٤٥	٩٩٦٦٥٣	٥٩٥٣٢٢٧	٨٠٣	٦٢٥	١٤٢٨
قم	١٦٠	٠	٢٦١٩٦	٦٥٦٢٥٩	٣٠٩٣٢٠٠	٧١٦	-	٧١٦
طوس	٥٠٠	٢١٨١٢	٣٠٥	١٠٣٠٧٦٦	٣٦٦٠٠٨٣	-	٦٠٠	٦٠٠
مشهد	٤٠٠	٠	٢٢٣	٥٤٨٨٣٨	١٤٨٣٢٢٢	١٩٥	١٣٣	٣٢٨
ورامین	٩٦١	٠	٠	١٩٠٦١٩١	٨٠٥٤٦١٧	-	١٨٩٠	١٨٩٠
زرگان	٣٢٧	٠	٠	٤٠٢٣٢٧	١٥٩٧٨٧٦	١٦٠	٢٩٠	٤٥٠
شیراز	١٢٧	٠	٠	٣٥٨٩٨٩	٧٨٢٢٢٨	١٩٦	-	١٩٦
بندرعباس	٧٦٥	١٣٣١٠	١٥٥٠	١٧٩٦٦٨٠	٦٦٧٧٥٠٠	-	١٢٨٠	١٢٨٠
بعثت	٣٨٠	١٧٣٠٤٢	٢١٩٧	١٢٦٦٦٠	١٠٠٦٢٧٨	-	٢٢٧/٥	٢٤٧/٥
شهید فیروزی	١٤٤	٠	٠	٤٤٩٦٧	١١٤٨٦١	-	٥٠	٥٠
شهید سلیمی (نکا)	١٠٠٥	٢٥٥٦١٨	٣١١٤	٢٦٧٤٩٩٩	١١٢٩٢٨٢٠	٢٧٥	١٧٦٠	٢٠٣٥
شهید بهشتی (لوشان)	٤٥١	٠	٦٢٤٥	٤٢٨٠٣٥	١٥٧٢١٨٩	١٢٠	٢٤٠	٣٦٠
شهید رجایی	٦٢٠	٤٨٤٠٤٩	٣٧١٥٩	١٥٩٥٣٢٦	٨١٠٦٣٦٦	٧٤٠/٤	١٠٠٠	١٧٤٠/٤
گیلان	٣٥٠	٠	٣٩٥٠٩	١٤٢٥٠١٧	٦٨٠٩٥٣٨	٨٦٢/٨	٤٥٠	١٣١٢/٨
بیستون	٢٨٠	٢٦١٩١١	٧٥٥	٦٩٠٢١٩	٢٦٩٥٧٢٠	-	٦٤٠	٦٤٠
ایرانشهر	٢١٥	٢٠٩٠٤٢	٧٧	٠	٦٥٥٣٨١	-	١٢٨	١٢٨
یزد(شهیدزنبق)	١٧١	٠	١٩٤٦٧	٠	٤٥٤١٥	٩٤/٨	-	٩٤/٨
زرند	٢١٦	٦٤٠٢٠	٠	٠	١٨٣٠٠٥	-	٦٠	٦٠
مفتح (غرب)	٤١٥	٤١٤٧٦٨	٠	٧٩٦٤٣٢	٥١٤٢٢٦٥	-	١٠٠٠	١٠٠٠
صوفیان	٤٠	٠	١٣٧٧٣	٠	٣٠٢٢٤	٩٦	-	٩٦
بوشهر	٧٢	٠	٢٢١٨٩	٠	٦٤٩٤٤	١٢٥	-	١٢٥
کنگان	٥٤	٠	٠	١٤٢١٩٧	٢٩٨٥٠٠	١١٤/٥	-	١١٤/٥
هسا	٢١	٠	١٣٥	٧٠٥٤	١٩١٢٣	٩٦	-	٩٦
شیروان	٦٧	٠	٠	١٦٨٥٩١	٣٨٧٢٨٠	١٤٢/٢	-	١٤٢/٢
قائن	٦٥	٠	٢٠١١٢	٠	٤٧٧٠٢	٧١/١	-	٧١/١
شریعتی	١١٠	٠	١٦٧	٧٥٧١٤	١٦٩٠٩٩	١٤٢	-	١٤٢
سمنان	٢٠	٠	٠	١٤٣٤٦	٢٥٠٨٨	١٢/٥	-	١٢/٥
کازرون	٧٥	٠	٢١٢	٤٢٩٣٣٧	١٣٧١٤٧٧	٢٥٦	-	٢٥٦
خوی	٥٠	٠	٣٩٠٥٥	٢٦٣٣٠٢	٧٦٩٨٩٠	٢٤٦/٨	-	٢٤٦/٨
سیکل ترکیبی فارس	١٥٥	٠	٦٠	١٣١١٧٣٩	٤١٣٥٩٢٠	٧٤٠/٤	-	٧٤٠/٤
سیکل ترکیبی نیشابور	١٠٠	٠	٣٣٠٨٦	٧٢٥٠٥١	٢١٥٠٤٠٨	٧٤٠/٤	-	٧٤٠/٤
ارومیه	٣٩	٠	٤٤٠٢	٦٥٨٦٧	١٥٢٤٥٥	٦٠	-	٦٠
درود	٢٦	٠	٥١٢٦	٠	٨٣٣٢	٦٠	-	٦٠

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] ابطحی، حسن و بابک کاظمی؛ *بهره‌وری*، چاپ اول، تهران: مؤسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی، ۱۳۷۵.

[٤] میریام، وبستر؛ *فرهنگ دانشگاهی جدید وبستر*، چاپ اول، تهران: ارغوان، ۱۳٦۲.

[٥] 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 طباطبایی، پاییز ۱۳۷۸.

[۱۲] کورهونن، پکا و میکولاس، لوپتا کیک؛ "استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی اکو – کارآیی نیروگاههای برق"، ترجمه کیومرث حیدری، صنعت برق؛ اسفند ۱۳۸۰، ص ۱٦-۲۳.