

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مدیریت و اقتصاد

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد انرژی

**اندازه گیری کارایی انرژی برق در کارگاه های بزرگ صنعتی پنجاه نفر کارکن و
بیشتر کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها**

تحقیق و تدوین:

سهراب گراوند

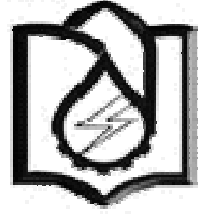
استاد راهنما:

دکتر نادر مهرگان

استاد مشاور:

دکتر محمود حقانی

مهر ماه ۱۳۹۰



دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مدیریت و اقتصاد

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد انرژی

تحت عنوان:

اندازه گیری کارایی انرژی برق در کارگاه های بزرگ صنعتی پنجاه نفر کارکن و بیشتر کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب قرار نهایی قرار گرفت.

(۱) استاد راهنما:

(۲) استاد مشاور:

(۳) استاد داور:

معاونت تحصیلات تکمیلی دانشکده :

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خدای را که بنده را در برآورده ساختن این آرزو کامیاب فرمود تا اندکی از آنچه را که در محضر استادان بزور گوار فرا گرفته‌ام به عنوان رساله تحصیلی‌ام به پیشگاه خوانندگان عزیز تقدیم دارم. با سپاس فراوان از تمامی اساتید و دوستانی که بنده را در تهیه این پایان‌نامه یاری نمودند.

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر:

اینجانب تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می‌باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین‌تر و بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.....

سهراب گراوند

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر صبورم

و به دو دوست همیشگیم

بهنام نامور بهرغانی

مهران کنگانی

چکیده

کارایی انرژی برق در صنعت یعنی اینکه با کمترین استفاده از انرژی برق و کمترین تلفات در مصرف آن، مقدار مشخصی کالا یا خدمت تولید شود. در این مطالعه کارایی انرژی برق کارگاه‌های بزرگ صنعتی پنجاه نفر کارکن و بیشتر کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها تحت دو فرض CCR و BCC طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۷۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که تحت هر دو فرض طی دوره کارگاه‌های صنعتی از میانگین کارایی انرژی برق پایینی برخوردار بوده‌اند. نتایج بیانگر این است صنایعی که کارایی انرژی برق پایینی دارند از کارایی تکنیکی پایینی نیز برخوردارند. دلیل اصلی پایین بودن کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی را می‌توان پایین بودن قیمت انرژی برق طی دوره و عدم صرفه اقتصادی تعویض دستگاه‌های مستهلک مصرف‌کننده برق برای کارگاه‌های صنعتی دانست. تحت فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس صنایع تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلر و ... و تولید محصولات توتون و تنباکو بالاترین میزان کارایی انرژی برق را طی دوره داشته‌اند و در مقابل صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی، تولید منسوجات و تولید پوشاک و عمل آوردن و رنگ کردن از پایین‌ترین کارایی انرژی برق نسبت به دیگر صنایع برخوردار بوده‌اند. تحت فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس صنایع تولید محصولات توتون و تنباکو، تولید ماشین‌آلات اداری و حسابگری و تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلر و ... بالاترین میانگین کارایی انرژی برق را طی دوره داشته‌اند و در مقابل کارگاه‌های صنعتی؛ تولید منسوجات، تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی و تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی پایین‌ترین کارایی انرژی برق را دارا بوده‌اند.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مساله	۳
۳-۱- ضرورت و اهمیت تحقیق	۳
۴-۱- اهداف پژوهش	۴
۵-۱- سؤالات تحقیق	۴
۶-۱- فرضیه‌های تحقیق	۵
۷-۱- روش تحقیق	۵
۸-۱- جنبه جدید بودن و نوآوری تحقیق	۶

فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- شاخص‌های سیستمی اقتصاد	۹
۱-۲-۲- اثربخشی	۹
۲-۲-۲- بهره‌وری	۹
۳-۲-۲- کارایی	۱۰
۳-۲- کارایی انرژی	۱۳
۴-۲- انواع کارایی	۱۳
۵-۲- اندازه‌گیری کارایی	۱۷
۶-۲- پیشینه پژوهش	۱۹
۱-۶-۲- مطالعات خارجی	۱۹
۲-۶-۲- مطالعات داخلی	۲۶
۷-۲- جمع‌بندی	۳۲

فصل سوم: روش پژوهش

۱-۳- مقدمه	۳۵
۲-۳- روش‌های تخمین توابع تولید مرزی	۳۶
۳-۳- تحلیل پوششی داده‌ها	۳۸

- ۳-۳-۱- مزایای تحلیل پوششی داده‌ها ۳۹
- ۳-۳-۲- معایب تحلیل پوششی داده‌ها ۴۰
- ۳-۴-۴- بازده نسبت به مقیاس الگوی مورد استفاده ۴۰
- ۳-۴-۱- بازده ثابت نسبت به مقیاس ۴۱
- ۳-۴-۲- بازده متغیر نسبت به مقیاس ۴۱
- ۳-۵-۵- مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ۴۱
- ۳-۵-۱- مدل CCR ۴۱
- ۳-۵-۲- مدل BBC ۴۳
- ۳-۶-۶- مجموعه مرجع ۴۴
- ۳-۷-۷- متغیرهای کمکی ۴۵
- ۳-۸-۸- روش DEA به عنوان یک روش مناسب جهت ارزیابی کارایی انرژی برق ۴۷
- ۳-۹-۹- سهم ارزش برق مصرفی در تولید برخی صنایع انرژی بر ایران ۵۱
- ۳-۱۰-۱۰- داده‌ها و متغیرهای مدل ۵۲
- ۳-۱۱-۱۱- نرم‌افزار مورد استفاده ۵۳
- ۳-۱۲-۱۲- جمع‌بندی ۵۴

فصل چهارم: یافته‌های پژوهش

- ۴-۱-۱- مقدمه ۵۶
- ۴-۲-۲- اندازه‌گیری کارایی انرژی برق با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ۵۷
- ۴-۲-۱- کارایی تکنیکی ۵۷
- ۴-۲-۲- کارایی انرژی برق ۶۰
- ۴-۲-۳- تحلیل نموداری کارایی انرژی برق تحت فرض CCR ۶۲
- ۴-۳-۳- کارایی انرژی برق در حالت بازدهی متغیر نسبت به مقیاس ۶۳
- ۴-۳-۱- کارایی مدیریتی ۶۳
- ۴-۳-۲- کارایی ناشی از مقیاس ۶۶
- ۴-۳-۲- کارایی انرژی برق ۶۸
- ۴-۳-۴- تحلیل نموداری کارایی انرژی برق تحت فرض BCC ۷۱
- ۴-۴-۴- کارایی انرژی برق در برخی صنایع انرژی بر ۷۲

- ۴-۵- ارزیابی کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی خصوصی ۷۴
- ۴-۵-۱- کارایی تکنیکی کارگاه‌های صنعتی بخش تعاون ۷۵
- ۴-۵-۲- کارایی انرژی برق کارگاه‌های صنعتی بخش تعاون ۷۷
- ۴-۶- جمع‌بندی ۷۹

فصل پنجم: جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- ۵-۱- مقدمه ۸۲
- ۵-۲- خطوط کلی پژوهش ۸۳
- ۵-۳- بررسی فرضیات پژوهش ۸۴
- ۵-۴- خلاصه و نتیجه‌گیری ۸۵
- ۵-۶- توصیه‌های سیاستی ۹۰
- ۵-۷- پیشنهادها برای تحقیقات آتی ۹۱

فهرست منابع و مآخذ

- الف: منابع فارسی ۹۳
- ب: منابع لاتین ۹۵

پیوست‌ها

- پیوست ۱: جدول گروه‌بندی زیربخش‌های صنعت بر اساس کدهای دو رقمی I.S.I.C ۹۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: کارایی انرژی صنعت سیمان هند ۲۳
- جدول ۲-۲: کارایی انرژی در کشورهای اروپایی ۲۵
- جدول ۳-۲: مقایسه کارایی انرژی کشورهای اروپایی ۲۶
- جدول ۴-۲: نیروگاه‌های کارا تحت فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس ۲۷
- جدول ۵-۲: نیروگاه‌های کارا تحت فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس ۲۷
- جدول ۶-۲: نتایج برآورد کارایی تکنیکی صنایع با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ۲۹
- جدول ۷-۲: نتایج برآورد کارایی تکنیکی صنایع با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ۳۰
- جدول ۸-۲: درصد کارایی فنی پالایشگاه‌های نفت کشور طی دوره ۱۳۸۰-۱۳۸۶ ۳۱
- جدول ۱-۳: سهم مصرف برق نسبت به ارزش کل تولید در صنایع انرژی بر ۵۲
- جدول ۱-۴: کارایی فنی کارگاه‌های صنعتی با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ۵۸
- جدول ۲-۴: کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ۶۱
- جدول ۳-۴: کارایی مدیریتی ۶۴
- جدول ۴-۴: کارایی ناشی مقیاس ۶۷
- جدول ۵-۴: کارایی انرژی برق در حالت بازده متغیر نسبت به مقیاس ۶۹
- جدول ۶-۴: کارایی تکنیکی برخی صنایع انرژی بر ۷۲
- جدول ۵-۴: کارایی انرژی برق برخی صنایع انرژی بر ۷۴
- جدول ۶-۴: کارایی تکنیکی کارگاه‌های صنعتی بخش تعاون ۷۵
- جدول ۷-۴: کارایی انرژی برق صنایع بخش تعاون ۷۷

فهرست نمودار

- نمودار شماره ۱-۲: توصیف انواع کارایی به روش فارل ۱۴
- نمودار شماره ۲-۲: روند تغییرات کارایی انرژی در صنعت سیمان هند ۲۳
- نمودار شماره ۱-۳: مرز کارای تولید برای چند بنگاه مفروض ۳۹
- نمودار شماره ۲-۳: مرز کارای تولید برای چند بنگاه ۴۶
- نمودار شماره ۳-۳: کارایی شعاعی، غیر شعاعی و هزینه ۴۹
- نمودار شماره ۱-۴: روند کارایی فنی طی برنامه‌های توسعه ۵۹
- نمودار شماره ۲-۴: روند کارایی انرژی برق طی برنامه‌های توسعه (تحت فرض CCR) ۶۲
- نمودار شماره ۳-۴: تحلیل کارایی انرژی برق در زیربخش‌های صنعت تحت فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ۶۳
- نمودار شماره ۴-۴: روند کارایی مدیریتی کارگاه‌های صنعتی طی برنامه‌های توسعه ۶۵
- نمودار شماره ۵-۴: روند کارایی مقیاس کارگاه‌های صنعتی طی برنامه‌های توسعه ۶۸
- نمودار شماره ۶-۴: روند کارایی انرژی برق طی برنامه‌های توسعه (تحت فرض BCC) ۷۰
- نمودار شماره ۷-۴: تحلیل کارایی انرژی برق در زیربخش‌های صنعت تحت فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس ۷۱
- نمودار شماره ۸-۴: روند کارایی فنی کارگاه‌های تعاونی در مقابل کل کارگاه‌ها طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ ۷۶
- نمودار شماره ۹-۴: روند کارایی فنی کارگاه‌های تعاونی در مقابل کل کارگاه‌ها طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ ۷۹

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه:

اقتصاددانان، سه بخش صنعت، خدمات و کشاورزی را به عنوان بخش‌های اصلی اقتصاد معرفی می‌کنند. در کشورهای در حال توسعه، در مسیر رشد و پیشرفت کشورها، شاهد بزرگتر شدن سهم بخش صنعت و خدمات و در مقابل کوچکتر شدن سهم بخش کشاورزی هستیم. بنابراین با توجه به این که کشور ما یک کشور در حال توسعه است طبیعتاً بخش صنعت آن در حال بزرگتر شدن است؛ از طرف دیگر انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل تولید در فعالیت‌های اقتصادی به ویژه بخش صنعت می‌باشد و با افزایش حجم صنعت مصرف آن نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین با توجه به این که انرژی یک نهاده پایان‌پذیر و علاوه بر آن دارای اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی است، کشور ما نیاز دارد که جهت دست یافتن به رشد و توسعه پایدار از این نهاده در بخش صنعت به صورت کارا و بهینه استفاده نماید.

۱-۲- بیان مسأله:

طبق آمارها و ارقام ترازنامه‌های انرژی کشور سهم بخش صنعت از کل مصرف انرژی برق، هر ساله روند رو به رشدی را طی کرده است. بر اساس این گزارشات بخش صنعت در سال ۱۳۷۶، حدود ۲۴ درصد از مصرف انرژی برق کشور را به خود اختصاص داده که این رقم در سال ۱۳۸۶ به ۳۲/۵ درصد افزایش یافته است؛ که این حاکی از رشد بالای مصرف انرژی برق در بخش صنعت در این دهه می‌باشد. در سال ۱۳۸۶، بخش صنعت دومین مصرف‌کننده برق تولید شده توسط وزارت نیرو بوده است که با احتساب برق تولید شده توسط برخی صنایع بزرگ (با تأمین درصدی از برق مصرفی خود) می‌توان گفت که بخش صنعت بزرگترین مصرف‌کننده انرژی برق در کشور بوده است. با نگاهی به وضعیت بخش صنعت در این دهه می‌توان گفت که علت عمده این افزایش مصرف در کنار گسترش بخش صنعت، استفاده صنایع از دستگاه‌ها و تکنولوژی‌های قدیمی و مستعمل در زمینه مصرف برق بوده که به علت پایین بودن قیمت انرژی برق، سرمایه‌گذاری در زمینه بهبود این دستگاه‌ها برای آن‌ها دارای توجیه اقتصادی نبوده است.^۱

بنابراین با در نظر گرفتن این روند روبه رشد افزایش مصرف برق در صنعت و محدود بودن منابع با توجه به زیرساخت‌های تولیدی برق کشور، باید راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی برق در بخش صنعت به کار گرفته شود.

۱-۳- ضرورت و اهمیت تحقیق:

انرژی برق یکی از گرانترین انرژی‌های قابل دسترس در جهان می‌باشد. اما قیمت این انرژی در ایران به علت پرداخت یارانه انرژی توسط دولت تا قبل از اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها نسبتاً بسیار پایین بوده است. حال با توجه به اجرای طرح هدفمند کردن یارانه‌ها و آزادسازی قیمت‌ها، قیمت این انرژی به مقدار خیلی زیادی، افزایش

^۱ - ارقام برگرفته از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۶ است.

می‌یابد. این افزایش در قیمت و همگام با آن افزایش مصرف انرژی برق، سبب افزایش هزینه‌های تولید در کارگاه-های صنعتی، خصوصاً صنایع انرژی بر مانند: فولاد، خودروسازی، سیمان، پتروشیمی و ... خواهد شد و به نسبت سهمی که انرژی برق در قیمت تمام شده کالاها دارد قیمت کالاهای تولید شده افزایش می‌یابد. لذا با توجه به این که قدرت خرید مردم به نسبت افزایش قیمت‌ها، افزایش نخواهد یافت، یک تورم رکودی در بخش صنعت قابل پیش‌بینی خواهد بود. حال این سوال پیش می‌آید که چه راهکارهایی برای تعدیل شدن این رکود احتمالی در صنعت وجود دارد؟ یکی از مهمترین راهکارها، افزایش کارایی انرژی برق در صنایع و جلوگیری از هدرروی آن می‌باشد.

۱-۴- اهداف تحقیق:

هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی پنجاه نفر کارکن و بیشتر ایران با استفاده از روش تحلیل پوشش داده‌ها می‌باشد. در این مطالعه صنایع کارا و غیر کارا در مصرف انرژی برق و علت ناکارایی برخی صنایع در مصرف انرژی برق مشخص می‌شود. همچنین مشخص خواهد شد که ناکارایی صنایع ناشی از چه چیزی است. با توجه به اینکه در روش تحلیل پوششی داده‌ها مرزی به نام مرز کارایی ساخته می‌شود، تمام صنایع با این مرز مقایسه می‌شوند. صنایعی که بالاتر از مرز قرار می‌گیرند، از لحاظ مصرف انرژی برق صنایع کارا هستند و صنایعی که پایین‌تر از مرز کارایی قرار گیرند، صنایع ناکارا نامیده می‌شوند.

۱-۵- سؤالات تحقیق:

(۱) آیا در زمان پرداخت یارانه انرژی توسط دولت به بخش صنعت، کارگاه‌های صنعتی به صورت کارا از انرژی برق استفاده نموده‌اند؟

(۲) آیا علت پایین بودن کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی، ناکارایی تکنیکی است یا مقیاس و یا مدیریتی؟

(۳) آیا افزایش روند خصوصی‌سازی کارگاه‌های صنعتی، کارایی انرژی برق را در بخش صنعت افزایش می‌دهد؟

۱-۶- فرضیه‌های تحقیق:

۱) در زمان پرداخت یارانه انرژی برق به علت پایین بودن قیمت این انرژی و سهم کم آن در هزینه‌های اولیه کارگاه‌های صنعتی، از این انرژی در کارگاه‌های صنعتی به صورت کارا استفاده نشده است.

۲) بخش عمده‌ای از پایین بودن کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی به ناکارایی تکنیکی، مقیاس و یا مدیریتی باز می‌گردد.

۳) کارگاه‌های صنعتی بخش خصوصی کارایی انرژی برق بالاتری نسبت به سایر کارگاه‌های صنعتی دارند.

۱-۷- روش تحقیق:

تحقیق حاضر یک تحقیق تحلیلی و توصیفی است که بر اساس اطلاعات کتابخانه‌ای انجام می‌گیرد. در این تحقیق سعی می‌شود که با بررسی مستندات آماری موجود در مرکز آمار ایران، بانک مرکزی و وزارت صنایع و معادن به ارزیابی کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی پرداخته شود. اندازه‌گیری کارایی به دو روش پارامتریک و غیرپارامتریک صورت می‌پذیرد. روش پارامتریک مبتنی بر مدل‌های اقتصادسنجی می‌باشد، در این حالت تابع تولید به کمک چند متغیر مستقل تعریف می‌شود و سپس با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای، ضرایب تابع تولید و خود تابع تولید تخمین زده می‌شود و در نتیجه با به کارگیری این تابع تولید نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌گردد. از جمله مشکلات این روش، حدس تابع تولید و ضرایب آن و همچنین مبهم بودن صحت این حدس می‌باشد. در مقابل این روش، روش ناپارامتریک وجود دارد که بر پایه بهینه‌سازی ریاضی استوار است. در روش ناپارامتریک از ابتدا شکل خاصی برای تابع تولید در نظر گرفته نمی‌شود و مستقیماً با داده‌های مشاهده شده سر و کار دارد. در این روش، هدف شناخت تابع تولید نیست و محدودیتی در تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها نمی‌باشد. در این تکنیک مرز کارایی توسط داده‌های مشاهده‌ای تعیین می‌شود و کارایی واحدها با آن مقایسه می‌شود. در این مطالعه محقق به

دنبال اندازه‌گیری کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی پنجاه نفر کارکن و بیشتر ایران با استفاده از یک روش ناپارامتریک (با عنوان روش تحلیل پوششی داده‌ها¹ (DEA)) می‌باشد.

جامعه پژوهش و داده‌های آماری در این مطالعه کلیه کارگاه‌های صنعتی ۵۰ نفر کارکن و بیشتر کشور برای دوره زمانی ۱۳۷۵-۱۳۸۶ و همچنین کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر بخش تعاون کشور برای دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۷ (تنها منبع آماری کامل موجود برای کارگاه‌های صنعتی بخش تعاون) می‌باشد.

۱-۸- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق:

با مرور تحقیقات و پایان‌نامه‌های انجام گرفته در دانشگاه‌های داخل کشور، مرکز اسناد و مدارک علمی کشور، جستجوی تخصصی در اینترنت و ... مشخص شد که هیچگونه تحقیقی مطابق با موضوع، اندازه‌گیری کارایی انرژی برق در کارگاه‌های صنعتی پنجاه نفر کارکن و بیشتر کشور با استفاده از روش DEA صورت نگرفته است.

¹ Data Envelopment Analysis

فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه‌ی تحقیق

۲-۱- مقدمه:

حجم وسیعی از مطالعات در زمینه کارایی و بهره‌وری ابتدا توسط دبریو^۱ (۱۹۵۱)، فارل^۲ (۱۹۵۷) و کوپمنس^۳ (۱۹۵۱) ارائه شده است، این دو معیار به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهره‌وری یک معیار توصیفی از عملکرد است و به صورت نسبی از خروجی قابل مشاهده به ورودی قابل مشاهده تعریف شده است. زمانی که چند نهاد و یا چند ستانده مورد بحث است باید برای بدست آوردن یک معیار چند عامله برای بهره‌وری، شاخص‌های مقداری نهاد را به شاخص‌های مقداری ستانده تقسیم نمود. معیار تک عامله بهره‌وری مثل نسبت ستانده به نیروی کار، برای ارزیابی عملکرد یک نهاد خاص به کار می‌رود. در سمت دیگر کارایی یک معیار اساسی است و به صورت نسبی از سبد نهاد بهینه به سبد ستانده واقعی تعریف شده است. البته مفهوم بهینه به واحد اتخاذ کننده تصمیم (DMU) بستگی دارد. برای مثال هدف DMU می‌تواند مینیمم‌سازی استفاده از نهاد باشد یا ماکزیمم کردن ستانده باشد و یا حداقل کردن هزینه باشد. در اینجا این نکته ارزنده است که معیار سنتی کارایی انرژی که

^۱-Debreau

^۲-Farrell

^۳-Koopmans