نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال ششم/ شماره ۲۰/ پاییز ۱۳۹۹/ صفحات ۸۴ - ۴۵

# سنجش کارایی مصرف انرژی در صنایع انرژی‌بر کشور: کاربست تحلیل پوششی داده‌ها و آزمون گاما

**مهدیه عربشاهی دلوئی**
دانشجوی دکتری اقتصاد پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد
mahdieh.arabshahi@gmail.com
**محمدعلی فلاحی**
استاد گروه اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)
falahi@um.ac.ir
**نرگس صالح‌نیا**
استادیار گروه اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد
n.salehnia@um.ac.ir

مصرف بی رویه انرژی در ایران و در نتیجه آلودگی‌های زیست محیطی از مشکلات عمده‌ای هستند که کشور با آن‌ها روبرو است. از این رو، ارتقاء کارایی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف به ویژه بخش صنعت می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. برای تحقق این امر باید عوامل مؤثر بر کارایی انرژی به صورت دقیق بررسی شود تا بر این اساس سیاست‌گذاری‌های لازم انجام شود. با توجه به اهمیت بخش صنعت در اقتصاد به عنوان محرک اصلی رشد و ایجاد ارزش افزوده، در پژوهش حاضر به بررسی بهترین ترکیب عوامل مؤثر بر کارایی مصرف انرژی در ۵ صنعت انرژی‌بر برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر به منظور برآورد کارایی آن‌ها طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۴ پرداخته شده است. نتایج آزمون گاما نشان می‌دهد بهترین ترکیب متغیرهای اثرگذار بر کارایی انرژی صنایع شامل متغیرهای محیطی تکنولوژی، حکمرانی خوب، اندازه دولت، آزادسازی تجاری و قیمت واقعی انرژی و همچنین متغیرهای خرد شامل ساختار فنی تولید، قیمت سرمایه و مصرف انرژی می‌باشد. بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها، میانگین کارایی کل صنایع انرژی‌بر در دوره مورد بررسی حدود ۶۸ درصد و صنعت مواد غذایی و آشامیدنی نسبت به سایر صنایع از کارایی بالاتری برخوردار بوده است.

**واژگان کلیدی:** کارایی انرژی، صنایع انرژی‌بر، آزمون گاما، تحلیل پوششی داده‌ها، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۶ / ۴ / ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۷ / ۸ / ۱۳۹۹

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

## ۱. مقدمه

بخش صنعت به دلیل ارتباطات پیشین و پسین با سایر بخش‌های اقتصادی از اهمیت بسیاری برخوردار است. لذا استفاده صحیح و بهینه از امکانات و منابع در این بخش می‌توان به رشد و توسعه آن کمک نماید. با توجه به اینکه انرژی یکی از نهاده‌های اصلی در فرآیند تولید می‌باشد لذا ارتقاء کارایی انرژی به عنوان یکی از منابع مهم در فرآیند تولید بخش صنعت نقش بسزایی ایفاء می‌کند. سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در بخش صنعت ۱/۴ برابر متوسط جهانی است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۳) و این بخش یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های مصرف کننده انرژی در سال ۱۳۹۴ بوده است. در این سال، مقدار مصرف کل انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر، ۲۵۵ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده که نسبت به سال قبل رشد ۲/۱- درصدی داشته است. کاهش در مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۳ عمدتاً به دلیل کاهش در تعداد کارگاه‌های فعال صنعتی بوده، به طوری‌که سرانه مصرف انرژی، افزایش یافته و با رشد ۷/۸ درصدی نسبت به سال قبل به ۱۹/۵ هزار بشکه معادل نفت خام رسیده است.

بررسی مقدار انرژی مصرفی کارگاه‌ها بر اساس نوع فعالیت، به تفکیک گروه‌های دو رقمی ISIC در سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ نشان می‌دهد، گروه‌های «تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی»، «تولید فلزات اساسی»، «صنایع تولید زغال کک، پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای»، «صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی» و «صنایع مواد غذایی و آشامیدنی» به ترتیب بالاترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند (مرکز آمار ایران، سال‌های مختلف). طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۴ گروه‌های «تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی» و «صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی» بیش‌ترین مقدار انرژی را در میان کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

و بیش‌تر مصرف کرده‌اند و پس از آن گروه‌های «تولید فلزات اساسی» و «صنایع تولید زغال کک، پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای» و «صنایع مواد غذایی و آشامیدنی» قرار دارند. در سال ۱۳۹۴، مصرف انرژی «تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی» ۶۷ میلیون بشکه معادل نفت خام و «صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی» ۶۵ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است، که به ترتیب سهمی معادل ۲۶/۳ درصد و ۲۵/۴ درصد از کل انرژی مصرفی را داشته‌اند (طرح آمارگیری از مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۷).

اولین مسئله در اندازه گیری کارایی انرژی، تعریف اصطلاح کارایی انرژی است. تعاریف متنوعی از کارایی انرژی وجود دارد که در این میان «نسبت خدمات انرژی به نهاده انرژی» متداول‌ترین آن‌هاست. تعریف ارائه شده در دستورالعمل EC/32/2006 مجلس و شورای اروپا[1] در مورد کارایی مصرف انرژی و خدمات انرژی یک مورد کلی است که کارایی انرژی را به صورت «نسبت بین خروجی یک عملکرد، خدمت، کالا یا انرژی و نهاده انرژی» تعریف کرده است. تعاریف مختلف کارایی انرژی منجر به استفاده از شاخص‌های متفاوتی برای کارایی انرژی شده که نتایج و دستاوردهای سیاستی مختلفی به همراه دارد (ژو و آنگ[2]، ۲۰۰۸).

بر اساس آن‌چه از مطالعات گوناگون به دست می‌آید کارایی انرژی به سادگی به لحاظ کمی تعریف نشده و همچنین نمی‌توان تغییرات در مصرف انرژی را به سهولت به تلاش‌ها در کارایی انرژی نسبت داد چرا که موارد دیگری نیز بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارند (لی و تائو[3]، ۲۰۱۷؛ فیلیپسن[4]، ۲۰۱۰)، مانند سطوح فعالیت یا تولید، ساختار اقتصادی یا ترکیب محصول، جنبه‌های

1 European Council and the Parliament
2 Zhou and Ang
3 Li and Tao
4 Phylipsen

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

رفتاری، آب و هوا و غیره. تغییرات در هر یک از این پارامترها می‌تواند عملکرد کارایی انرژی را تحت تأثیر قرار دهند (فیلیپسن، ۲۰۱۰).

از آنجا که عوامل مختلفی بر کارایی انرژی صنایع تأثیر می‌گذارند می‌توان این عوامل را به دو دسته‌ی محیطی و خرد تقسیم بندی کرد. عوامل محیطی عبارتند از: سرمایه گذاری مستقیم خارجی، قیمت انرژی، تکنولوژی، حکمرانی خوب، اندازه دولت، آزادسازی تجاری، تغییر اقلیم و توسعه مالی. این عوامل عمدتاً در کنترل مدیر بنگاه نیستند. از جمله عوامل خرد می‌توان به ساختار فنی تولید، نیروی کار، دستمزد نیروی کار، موجودی سرمایه، قیمت سرمایه و میزان مصرف انرژی اشاره کرد. با توجه به این‌که تاکنون مطالعه‌ای که به بررسی کل عوامل مؤثر بر کارایی بپردازد صورت نگرفته در این پژوهش از تحلیل ناپارامتریک گاما به منظور انتخاب ورودی‌های مناسب از بین کل عوامل استفاده شده و در نهایت کارایی انرژی بر اساس تحلیل پوششی داده‌ها برآورد شده است. پژوهش حاضر برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر مربوط به صنایع انرژی‌بر و طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۴ انجام شده است.

ابتدا با استفاده از تحلیل ناپارامتریک گاما به تعیین بهترین ترکیب عوامل اثرگذار بر کارایی مصرف انرژی از بین کل عوامل مؤثر پرداخته شده است. سپس در مرحله‌ی بعد با استفاده از عوامل خرد به دست آمده از آزمون گاما کارایی انرژی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[1]) برآورد شده است. در ادامه به مبانی نظری، پیشینه، روش انجام پژوهش، برآورد الگو و بحث و نتیجه گیری پرداخته شده است.

1 Data Envelopment Analysis

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

## ۲. مبانی نظری

همان طور که در مقدمه اشاره شد تعریف کارایی انرژی مسأله‌ای پیچیده است. مطالعات مختلف برای سادگی، شاخص کارایی انرژی صنایع را به صورت نسبت ستاده به نهاده انرژی تعریف می‌کنند و به قرار زیر است (لی و تائو[1]، ۲۰۱۷):

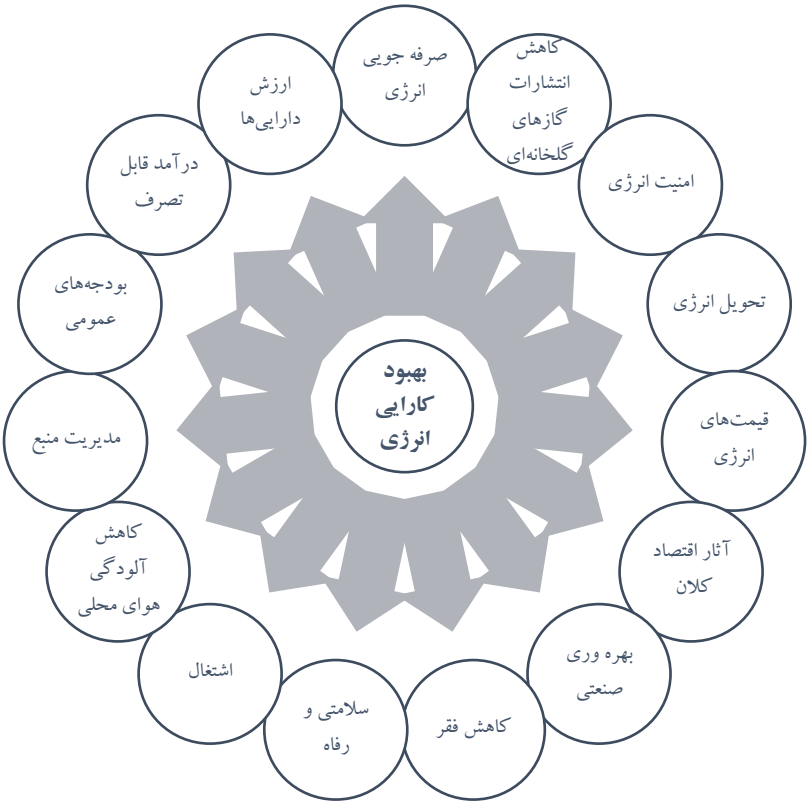
$$\text{کارایی انرژی صنعتی} = \frac{\text{ستاده مفید از یک فرآیند}}{\text{نهاده انرژی ورودی به یک فرآیند}}$$

نکته‌ی مهم در بحث کارایی انرژی این است که کارایی انرژی به اتخاذ یک تکنولوژی خاص اشاره دارد که مصرف کل انرژی را بدون تغییر در رفتار مربوطه کاهش می‌دهد و پارامترهای تأثیرگذار زیادی بر خروجی کل یک سیستم انرژی، از سمت تقاضا و عرضه باید در نظر گرفته شود. از این رو، برآورد کارایی انرژی نیاز به فرآیندهای تحلیلی دارد (اویکونومو و همکاران[2]، ۲۰۰۹).

رویکرد منافع چندگانه کارایی انرژی طیف وسیعی از پتانسیل‌های مثبت در نتیجه‌ی بهبود در کارایی انرژی را نشان می‌دهد که در نمودار ۱ ارائه شده‌اند. از بارزترین این آثار که بسیاری از مطالعات به آن‌ها دست یافته‌اند، کاهش تقاضا و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی است. بسیاری از منافع بهبود کارایی انرژی که در نمودار ۱ نشان داده شده، در کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی و کشورهای غیر عضو یکسان است اگرچه ممکن است ترتیب اولویت آن‌ها در هر کشور، متفاوت باشد (IEA، ۲۰۱۴).

1 Li and Tao
2 Oikonomou et al.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]




نمودار ۱. منافع چندگانه حاصل از بهبود کارایی انرژی

مأخذ: آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، ۲۰۱۴

همان طور که در مقدمه بیان شد عوامل مختلفی بر کارایی انرژی صنایع اثر می‌گذارند. سرمایه گذاری مستقیم خارجی و آزادسازی تجاری می‌توانند از طریق انتقال تکنولوژی‌های انرژی کارا باعث بهبود کارایی انرژی شوند (گروسمن و کروگر[1]، ۱۹۹۱). هرریاس و همکاران[2] (۲۰۱۳) نیز

1 Grossman and Krueger
2 Herrias et al.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

سرمایه گذاری مستقیم خارجی را مکانیزمی برای ورود تکنولوژی بیان کرده‌اند. تأثیر سرمایه‌گذاری خارجی بر کارایی انرژی را در مطالعات فراوانی از جمله الیوت و همکاران[1] (۲۰۱۳) نیز می‌توان یافت. به طور کلی سرمایه گذاری مستقیم خارجی می‌تواند مصرف انرژی را از کانال‌های زیر تحت تأثیر قرار دهد: ۱- تغییرات در رشد اقتصادی (اثر مقیاس[2])، ۲- تغییرات در ساختار اقتصاد (اثر ترکیب[3]) و ۳- تغییرات در تکنولوژی مورد استفاده در تولید (اثر فنی[4]) (آنت ویلر و همکاران[5]، ۲۰۰۱).

به عقیده بسیاری از محققان بهبود تکنولوژی می‌تواند منجر به ارتقاء کارایی انرژی و در نتیجه کاهش مصرف آن شود. البته وجود پدیده اثر بازگشتی باعث می‌شود بخشی از این کاهش مصرف جبران شده و مجدداً تقاضا برای انرژی افزایش یابد. لذا نتیجه‌ی نهایی بستگی به میزان اثر بازگشتی دارد.

آژانس بین المللی انرژی (۲۰۱۰)، موضوع حکمرانی در بخش انرژی (EEG[6]) را در سه بخش مورد مطالعه قرار داده است: توانمندسازی ساختارها، ترتیب فرآیندها و فرآیند هماهنگی. هر کدام ازآن‌ها نیز شامل زیربخش‌هایی است که سیاست‌ها، اهداف و برنامه‌های کارایی انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بدون شک کاهش مصرف انرژی در گرو راهکارهایی مانند بهبود عملکرد دولت در حوزه سیاست‌های مؤثر بر حوزه انرژی، تدارک ابزارهای مناسب جهت کاهش مصرف آن، ثبات سیاسی و شفافیت قوانین و مقررات است (مداح و عبدالهی، ۱۳۹۱). مخارج دولت نیز می‌تواند از طریق تحریک تولید منجر به افزایش مصرف انرژی شده و هم از سوی دیگر با کاهش هزینه تولید ناشی از سرمایه گذاری دولت در بخش عمومی و زیرساخت‌های اقتصادی، سرمایه گذاری را تحریک نماید. در این خصوص، برخی مخارج بالای دولت را در بخش‌های حمل و

1 Elliott et al.
2 Scale Effect
3 Composition Effect
4 Technique Effect
5 Antweiler et al.
6 Energy Efficiency Governance

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

نقل، ارتباطات و انرژی، مطلوب ارزیابی می‌نمایند (گیتاهی و همکاران[1]، ۲۰۱۴) و برخی دیگر همچون گوسه[2] (۱۹۹۷)، آفونسو و همکاران[3] (۲۰۰۵) و آفونسو و جالس[4] (۲۰۱۱)، تنها اندازه محدود دولت را مطلوب ارزیابی نموده و در مطالعات خود نشان می‌دهند که افزایش اندازه دولت موجب تشدید ناکارایی شده و به سرمایه گذاری‌های عمومی با هزینه‌های سنگین در بخش انرژی منتهی می‌شود.

تغییر اقلیم نیز یکی دیگر از عوامل محیطی مؤثر بر کارایی انرژی است. صنعت نفت و گاز به علت وقایع شدید آب و هوایی با افزایش اختلالات و توقف تولید مواجه می‌شود. نیروگاه‌ها، به ویژه در مناطق ساحلی، تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و افزایش سطوح دریا قرار خواهند گرفت. افزایش دمای جهانی ممکن است بر تولید برق از جمله ایستگاه‌های حرارتی و برق آبی در بعضی از نقاط تأثیر بگذارد و تغییرات آب و هوایی نیز ممکن است محصولات زیست محیطی را تحت تأثیر قرار دهد[5]. بر این اساس می‌توان اثر تغییر اقلیم را به دو اثر مستقیم (شامل: خوردگی و از بین رفتن تجهیزات به خصوص در پالایشگاه‌ها، افزایش نیاز به سیستم‌های سرد کننده، کاهش راندمان سیکل‌های تبریدی و ...) و اثر غیر مستقیم (شامل: کاهش تولید و درآمد در بخش صنعت به دلیل پیوندهای پسین و پیشین زیاد در زنجیره عرضه انرژی، افزایش هزینه تولید و پرداخت یارانه‌های بیشتر، کاهش ارزش افزوده صنایع و ...) تقسیم کرد.

گروهی از محققان معتقدند که توسعه مالی منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. فرانکل و رومر[6] (۱۹۹۹)، سادورسکی[7] (۲۰۱۰) و اسلام و همکاران[8] (۲۰۱۱) سه دلیل عمده را برای نظرات خود بیان

1 Gitahi et al.
2 Guseh
3 Afonso et al.
4 Afonso and Jalles
5 Climate Everyone's Business, 2014
6 Frankel and Romer
7 Sadorsky
8 Islam et al.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

داشته‌اند؛ اول، توسعه بازارهای مالی به بنگاه‌های اقتصادی کمک می کند تا با هزینه کمتر و کانال های بیشتر برای تأمین مالی مواجه باشند و همچنین با توزیع مدیریت ریسک به بنگاه ها کمک می‌کند تا با سهولت و اطمینان خاطر بیشتری به نصب تجهیزات و ماشین آلات در پروژه‌های جدید به سرمایه گذاری مبادرت ورزند که این امر نیز به افزایش مصرف انرژی منجر خواهد شد. دوم، توسعه مالی ممکن است به جذب سرمایه گذاری خارجی به منظور افزایش رشد اقتصادی منجر شود که این امر نیز توأم با افزایش مصرف انرژی خواهد بود. سوم، واسطه گری‌های مالی موفق و کارآمد با دادن وام به مصرف کنندگان، آن‌ها را قادر به خرید اقلام گران قیمت مانند تجهیزات منزل و اتومبیل می‌سازد که این امر به طور مستقیم بر افزایش مصرف انرژی تأثیرگذار است. در طرف مقابل، تامازیان و همکاران[1] (۲۰۰۹) و کلایسنس و فیجن[2] (۲۰۰۷) بیان می‌کنند که توسعه مالی ممکن است به افزایش کارایی مصرف انرژی و بهبود عملکرد بنگاه‌ها منجر شود. در واقع سیستم مالی کارآمد می‌تواند به ابداع و نوآوری در بهبود تکنولوژی‌های تولید کمک کند.

افزایش قیمت انرژی می‌تواند موجب افزایش هزینه‌های تولید شود. در این شرایط انتظار می‌رود تولیدکنندگان با شرایط ایجاد شده از طریق بهبود کارایی مصرف انرژی مقابله کنند (وو[3]، ۲۰۱۲). اثر تغییرات قیمت انرژی بر کارایی از دو کانال قابل توضیح است: ۱- کانال اثر جانشینی: بر این اساس، با افزایش قیمت انرژی، نهاده انرژی نسبت به سرمایه گران‌تر شده و بنابراین نسبت بکارگیری انرژی به سرمایه در فرآیند تولید کاهش می‌یابد؛ ۲- کانال اثر مقیاس: بنگاه پس از افزایش قیمت انرژی، با هزینه‌های بیش‌تری مواجه می‌شود؛ بنابراین تمایل به استفاده از همه عوامل

1 Tamazian et al.
2 Claessens and Feijen
3 Wu

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

تولید از جمله عامل انرژی در بنگاه کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، افزایش هزینه‌های بنگاه منجر به کاهش سطح تولید و در نتیجه کاهش بکارگیری نهاده‌ها خواهد شد (لندزبرگ[1]، ۲۰۱۳).

تولید تابعی از کار، سرمایه و انرژی است. بین میزان استفاده از این نهاده‌ها و تولید رابطه مستقیم وجود دارد، به طوری که افزایش هر یک از آن‌ها باعث افزایش سطح تولید می‌شود و در نتیجه می‌تواند تأثیر مثبت بر کارایی انرژی داشته باشد. البته این موضوع به نوع رابطه‌ی بین نهاده‌های مذکور نیز، بستگی دارد.

بنگاه‌هایی که کارایی نیروی کار بالاتری دارند شدت انرژی را تحت تأثیر قرار داده و عملکرد بهتری در کارایی انرژی دارند (لی و تائو[2]، ۲۰۱۷). مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی کارایی انرژی با در نظر گرفتن نیروی کار وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مطالعات هرینگ[3] (۱۹۹۹)، تروسن[4] (۱۹۹۹)، بروکس[5] (۲۰۰۰)، و بوید و پانگ[6] (۲۰۰۰)، بورنر و جنسن[7] (۲۰۰۲)، نیتل[8] (۲۰۰۲)، یوهانسن[9] (۲۰۰۲) و وورل و همکاران[10] (۲۰۰۳) اشاره کرد.

ساختار فنی تولید معمولاً با شاخص نسبت دو نهاده اصلی سرمایه و کار نشان داده می‌شود. با توجه به اینکه این نسبت در بخش‌های مختلف اقتصادی، متفاوت است در نتیجه کارایی انرژی نیز متفاوت خواهد بود. این نسبت بزرگ‌تر و مصرف انرژی نیز بیشتر است اگر سرمایه و انرژی به صورت مکمل هم عمل کنند و با نیروی کار رابطه جانشینی داشته باشند. در این حالت به احتمال زیاد کارایی

1 Landsburg
2 Li and Tao
3 Herring
4 Thoresen
5 Brookes
6 Boyd and Pang
7 Bjørner and Jensen
8 Knittel
9 Johannsen
10 Worrell et al.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

انرژی کاهش می‌یابد (صادقی و سجودی، ۱۳۹۰؛ کفایی و نژاد آقاییان وش، ۱۳۹۶). بنابراین بسته به اینکه رابطه دو نهاده سرمایه و کار با انرژی، مکملی یا جانشینی باشد، نتایج متفاوت است.

دستمزد نیروی کار و قیمت سرمایه نیز از متغیرهای مؤثر بر کارایی هستند که رابطه مستقیم با آن دارند. معمولاً با افزایش دستمزدهای واقعی، انگیزه نیروی کار برای انجام کار بهتر افزایش می‌یابد و میزان تلاش، جدیت و دقت نیروی کار نیز بیشتر می‌شود. با افزایش هزینه واقعی استفاده از سرمایه، سرمایه‌گذاری در طرح‌هایی صورت می‌گیرد که از بازدهی بالاتری برخوردار هستند. علاوه بر این، با افزایش هزینه واقعی استفاده از سرمایه، هزینه فرصت عاطل ماندن تجهیزات و ماشین آلات بیشتر می‌شود و کارفرما سعی می‌کند از امکانات سرمایه‌ای حداکثر استفاده را داشته باشد (امینی و یزدی‌پور، ۱۳۸۷).

## ۳. پیشینه‌های پژوهش

کفایی و نژاد آقائیان‌وش (۱۳۹۶) در مطالعه‌ی خود به «شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بخشی در اقتصاد ایران» پرداختند. بدین منظور، بر اساس مبانی نظری و شواهد تجربی و نیز با استفاده از داده‌های بخشی سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۹۱، عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بخشی به روش داده‌های تابلویی مورد شناسایی قرار گرفته است. یافته‌ها حاکی از آن است که موجودی سرمایه مستقیم خارجی و قیمت نسبی انرژی تأثیر مثبت و ارزش افزوده و نسبت موجودی سرمایه به نیروی کار بخشی، تأثیر منفی بر کارایی انرژی بخشی داشته‌اند.

نجف‌زاده و ممی‌پور (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به «بررسی عوامل مؤثر بر کارایی زیست محیطی صنعت برق ایران؛ رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها و داده‌های ترکیبی» در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۳ پرداختند. مدل مورد استفاده در مرحله اول، مدل مازاد مبنا و در مرحله دوم مدل‌های توبیت و حداقل مربعات معمولی بوده است. نتایج مرحله اول نشان داد کارایی زیست محیطی صنعت برق کشور طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ با افت کارایی مواجه بوده است در

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

حالی که بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ روند صعودی داشته و در بازه زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ (بعد از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی) افت محسوسی داشته است. در سال ۱۳۹۳ با توجه به کارایی بیش‌تر شرکت‌ها میانگین کارایی به کمترین مقدار (۰/۶۵) رسیده است. نتایج مرحله دوم نشان می‌دهد اندازه شرکت برق منطقه‌ای و متغیر مجازی آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی اثر منفی و متغیرهای نسبت برق تولید شده از نیروگاه‌های حرارتی، نسبت گاز به کار رفته در سوخت مصرفی، میزان بهره‌برداری از ظرفیت نیروگاه‌ها و ارسال برق به شرکت‌های دیگر اثر مثبت بر کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای دارد.

شهابی‌نژاد (۱۳۹۴)، در پژوهش خود با عنوان «تحلیل مقایسه‌ای کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های ایران با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها در دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۰»، کارایی انرژی صنایع بزرگ (ده نفر کارکن و بیش‌تر ) را با استفاده از شاخص کارایی کل عامل انرژی (TFEE) بر پایه روش DEA محاسبه کرده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین کارایی انرژی کل صنایع بزرگ استان‌های ایران در دوره مورد نظر تقریبا ۰/۴ می‌باشد. همچنین، متوسط کارایی انرژی استان‌ها تا سال ۱۳۸۹ در حال کاهش و پس از آن یعنی در سال ۱۳۹۰ با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی افزایش یافته است.

عسکری (۱۳۹۴) در مطالعه‌ی خود با عنوان «تجزیه و تحلیل کارایی انرژی و عوامل مؤثر بر آن در صنایع منتخب انرژی‌بر ایران» به بررسی متغیرهای اثرگذار بر کارایی انرژی و ایجاد راه‌کارهایی مناسب جهت بالا بردن کارایی و بهبود آن پرداخته است. بدین منظور سه صنعت شیمیایی، کانی غیرفلزی و فلزات اساسی مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های این پژوهش مربوط به سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۹۰ و مدل مورد بررسی مدل تعدیل جزئی بوده است. نتایج حاصل از مدل حاکی از تأثیرات مثبت دو متغیر ارزش افزوده و قیمت بر روی کارایی در هر چهار مدل بر حسب حامل‌های انرژی بوده ولی متغیر گازبری و سرمایه‌بری در مدل‌ها، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد، ولی در میانگین مجموع سه حامل به عنوان کامل‌ترین مدل سهم گازبری در کارایی

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

معنی‌دار بوده و به صورت رابطه معکوس نمایان می‌گردد و سرمایه‌بری عاملی با ضریب مثبت بوده ولی معنی‌دار نیست.

گراوند و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به «ارزیابی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی کشور» طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۳ پرداختند. نتایج حاصل حاکی است که طی دوره مذکور، کارایی فنی صنعت پتروشیمی ۰/۷۱۷ و کارایی انرژی آن ۰/۶۸۸ بوده است. در نتیجه در این صنعت به طور نسبی ۳۱ درصد در زمینه مصرف انرژی طی سال‌های مورد مطالعه اتلاف انرژی صورت گرفته است. همچنین طی سنوات مورد مطالعه، صنعت پتروشیمی در سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ با داشتن کارایی نسبی واحد، در مقایسه با دیگر سال‌ها از بالاترین کارایی فنی و کارایی انرژی برخوردار بوده است و در مقابل در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۷ پایین‌ترین کارایی فنی و کارایی انرژی را طی دوره داشته است.

راحلی و همکاران[1] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ی «یک مدل دو مرحله‌ای برای ارزیابی پایداری و کارایی انرژی تولید گوجه فرنگی» به ارزیابی کارایی انرژی و عوامل مؤثر بر آن بر آن در استان آذربایجان شرقی ایران پرداختند. در مرحله اول به روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) کارایی محاسبه شده و در مرحله دوم از مدل رگرسیون کسری (FRM[2]) جهت تعیین عوامل مؤثر بر کارایی استفاده شده است.

لی و تائو (۲۰۱۷) در پژوهش خود با عنوان «بررسی روش شناسی و سیاست‌های ارزیابی کارایی انرژی در صنایع با مصرف بالای انرژی» ابتدا به تعریف و طبقه بندی شاخص‌های کارایی انرژی صنعتی پرداخته، سپس شش عامل مؤثر بر کارایی انرژی در بخش صنعت را مورد بحث قرار داده‌اند. همچنین چهار روش شناسی اصلی ارزیابی کارایی انرژی شامل تحلیل مرزی تصادفی[3]

1 Raheli
2 Fractional Regression Model
3 Stochastic Frontier Analysis

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

(SFA)، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، تحلیل اکسرژی[1] و مقایسه سنجه‌ای[2] به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، سیاست‌ها و پیشنهادهای مرتبط بر اساس ارزیابی‌های کارایی انرژی ارائه شده است.

کهو[3] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با عنوان «آیا سرمایه گذاری مستقیم خارجی و تجارت منجر به کاهش شدت انرژی می‌شود؟ شواهدی از کشورهای منتخب آفریقایی» به بررسی رابطه مذکور در شش کشور آفریقایی بر اساس هم‌جمعی و تحلیل علیت گرنجری برای داده‌های سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۷۰ می‌پردازد. نتایج حاکی از اثر سرمایه گذاری مستقیم خارجی در کاهش کارایی انرژی در بنین و نیجریه است، در حالی که در ساحل عاج و توگو، کارایی انرژی به دلیل سرمایه گذاری مستقیم خارجی افزایش می‌یابد. همچنین شدت انرژی از واردات در کامرون، ساحل عاج و توگو به صورت منفی تحت تأثیر قرار می گیرد، و این نشان می‌دهد که تجارت باعث بهبود کارایی انرژی می‌شود. بر اساس نتایج علیت گرنجری در کوتاه مدت، شدت انرژی ناشی از FDI در ساحل عاج و نیجریه و واردات در کامرون و نیجریه است.

آدتوتو[4] (۲۰۱۴) در پژوهش «کارایی انرژی و جانشینی سرمایه و انرژی: شواهدی از کشورهای اوپک» به بررسی این موضوع در دوره ۱۹۷۲-۲۰۱۰ در کشورهای صادرکننده نفت اوپک (شامل ایران، عربستان، ونزوئلا و الجزایر) با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ پرداخت. مطالعه وی ضمن نشان دادن نزولی بودن کارایی انرژی، مکمل بودن دو نهاده انرژی و سرمایه را تأیید کرده است که نزولی بودن کارایی را ناشی از پرداخت یارانه و قیمت‌های نسبی پایین انرژی می‌داند که انگیزه کارگزاران را برای بهره مندی از فناوری‌های انرژی‌اندوز از بین می‌برد.

1 Exergy
2 Benchmarking Comparison
3 Keho
4 Adetutu

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

هونما و هو (۲۰۱۴) در مطالعه‌ی «کارایی کل عامل انرژی بخش صنعت در کشورهای در حال توسعه» سطح کارایی کل عامل انرژی صنعت ۷۲ کشور توسعه یافته را در دوره ۱۹۹۵-۲۰۰۵ با استفاده از روش DEA اندازه‌گیری کرده‌اند. آن‌ها از نیروی کار، ذخیره سرمایه، انرژی و سایر نهاده‌های غیر انرژی واسطه‌ای به عنوان نهاده و از ارزش افزوده به عنوان تنها ستاده استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که ژاپن می‌تواند در استفاده بهینه و نگهداشت انرژی مؤفق‌تر عمل کند، چرا که کارایی کل عامل انرژی در این کشور از ۰/۹۸۶ در سال ۱۹۹۵ به ۰/۹۲۷ در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است.

اشترن[1] (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با عنوان «مدلسازی روندهای بین‌الملل در کارایی انرژی» با برآورد کارایی انرژی در ۸۵ کشور بین سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۷ به روش داده‌های تابلویی و برآوردکننده‌های میان گروهی و درون گروهی، رابطه مثبت بین درجه باز بودن تجاری و شدت انرژی را نشان می‌دهد که ناشی از فعالیت بیش‌تر در صنایع انرژی‌بر است.

استفانو و همکاران[2] (۲۰۱۱) در پژوهش خود با عنوان «انرژی و حکمرانی خوب در بلغارستان؛ روندها و اقدامات سیاستی» تأثیرگذاری حکمرانی خوب را به وضوح بر تمامی بخش‌های اقتصادی یک کشور و از جمله بخش انرژی استنباط می‌کنند. ایشان در تحلیل مدیریت برخی از پروژه‌های کلیدی در بخش انرژی بلغارستان نشان می‌دهند که هزینه‌های سرسام‌آور پروژه‌ها، ناشی از بی‌توجهی کامل به قوانین حکمرانی خوب می‌باشد. همچنین، در فقدان ضوابط حکمرانی خوب، یک پاسخگویی ضعیف و عدم مسئولیت پذیری به وجود می‌آید که ثبات مالی این پروژه‌ها را تهدید کرده و حتی منجر به خطر انداختن تأمین امنیت انرژی آن‌ها می‌شود.

1 Stern
2 Stefanov et al.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

## ٤. روش پژوهش

مطالعه حاضر به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی و برآورد آن در ۵ صنعت انرژی‌بر از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر در ایران شامل صنایع مواد غذایی و آشامیدنی، صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای، صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی و تولید فلزات اساسی می‌پردازد.

با توجه به این که عوامل مختلفی بر کارایی انرژی صنایع اثر می‌گذارند، لذا نقش عوامل مذکور را در سیاست گذاری‌های مربوط به کارایی انرژی نمی‌توان نادیده گرفت. از این رو، در مطالعه حاضر ابتدا به تعیین بهترین ترکیب عوامل اثرگذار بر اساس آزمون گاما و سپس برآورد کارایی انرژی با استفاده از روش DEA پرداخته شده است. روش‌های مورد استفاده در این مطالعه از نوع ناپارامتریک هستند. در خصوص مزیت تحلیل ناپارامتریک در مقایسه با تحلیل پارامتریک می‌توان گفت در این نوع تحلیل نیازی به در نظر گرفتن پیش فرض‌های رفتاری در داده‌ها و همچنین تعیین فرم تابعی خاص وجود ندارد (کوئلی و همکاران[1]، ۲۰۰۵).

### آزمون ناپارامتریک گاما

آزمون گاما، الگوریتمی برای برآورد واریانس خطای مرتبط با یک خروجی معین است. این واریانس را نباید با واریانس خروجی اشتباه گرفت. از این آزمون به منظور نمایش چگونگی تغییر آماره گاما (**GS**[2]) و سایر نتایج حاصل از آن در حین استفاده از داده‌های بیشتر استفاده می‌شود. اگر از داده‌های کافی برای محاسبه آماره گاما استفاده شود، این آماره به سمت واریانس خطای واقعی برای خروجی‌ای که آماره گاما برای آن محاسبه شده، مجانب می‌شود (استفانسن[3] و

1 Coelli et al.
2 Gamma Stattistic
3 Stefánsson

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

همکاران، ۱۹۹۷؛ کمپ[1]، ۲۰۰۶). بنابراین، آزمون گاما ابزار تحلیلی غیر خطی است که به کمک روش‌های ناپارامتریک، حداقل میانگین مربعات خطا (**MSE**) را برآورد می‌کند و نسبت به تحلیل پارامتریک به داده‌های بیشتری نیاز دارد. ایده اصلی این روش به طور کامل با دیگر روش‌های آنالیز غیر خطی متفاوت است.

فرض کنید یک سری داده وجود دارد، $\{(x_i, y_i), 1 \le i \le M\}$ که مقدار x بر مقدار خروجی y تأثیر دارد. تنها فرض، این موضوع می‌باشد که یک رابطه در این سیستم به صورت:

$$y = f(x_1 ... x_m) + r \qquad (۲)$$

می‌باشد که f یک تابع و r مقدار خطا است. آزمون گاما بر مبنای $N[i,k]$ می‌باشد که $k(1 \le k \le p)$ نزدیک‌ترین همسایگی $x_{N_{[i,k]}}$ برای هر مقدار ورودی $x_i (1 \le i \le M)$ است. آزمون گاما از تابع دلتای مقادیر ورودی (رابطه (۳)) به دست می‌آید:

$$\delta_M(k) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} \left| x_{N_{[i,k]}} - x_i \right|^2 \qquad (1 \le k \le p) \qquad (۳)$$

که $|...|$ فاصله اقلیدسی و تابع گامای مربوط به مقادیر خروجی به صورت $\left( \delta_M(k) = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^{M} \left| y_{N[i,k]} - y_i \right|^2, (1 \le k \le p) \right)$ می‌باشد که در آن $y_{N[i,k]}$ مقدار متناظر **y** برای **k**امین نزدیک‌ترین همسایه‌ی x در رابطه (۳) می‌باشد. با ایجاد رابطه‌ی رگرسیون خطی بین **p** مجموعه‌ی $(y_M(k), \delta_M(k))$، مقدار آماره گاما ($\Gamma$) برابر عرض از مبدأ خط رگرسیون برازش داده شده است که معادله این خط در رابطه (۴) آورده شده است. آماره گاما نشان دهنده بهترین تخمین از واریانس r است.

$$y = A\delta + \Gamma \qquad (۴)$$

1 Kemp

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

با توجه به خط برازش شده اطلاعات مفیدی در خصوص پیچیدگی سیستم در حال بررسی به دست می‌آید. عرض از مبدأ این خط بیانگر مقدار عددی آماره گاما ($\Gamma$) است و همچنین شیب خط (A)، پیچیدگی مدل را نشان می‌دهد.

خطای استاندارد (**SE**[1]) توان اطمینان آماره گاما را بیان می‌کند. اگر این مقدار به صفر نزدیک شود، قابلیت اطمینان بیشتری از مقدار آماره گاما را نشان می‌دهد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SE(\Gamma)=\sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{i=1}^{P_{max}}(\Gamma(i)-\overline{\Gamma})^2} \quad (۵)$$

نتایج حاصل از آزمون گاما توسط پارامتر دیگری ($V_{ratio}$) نیز قابل بررسی است. مقدار این پارامتر توسط رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$V_{ratio}=\frac{\Gamma}{\sigma^2(y)} \quad (۶)$$

که $\sigma^2(y)$، واریانس مقادیر خروجی (y) می‌باشد و $V_{ratio}$، عددی بین ۰ و ۱ است که مقدار خطای ثابت را نشان می‌دهد. هرچه مقدار $V_{ratio}$ به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر توانایی بالای شبیه سازی مقدار خروجی (y) است (دورانت[2]، ۲۰۰۱).

$\mathbf{R^2}$ می‌تواند به عنوان نرمال سازی **MSE** مورد انتظار در نظر گرفته شود و شبیه معیار متداول کیفیت مدل مورد استفاده باشد (مارکوئز و کامبرا[3]، ۲۰۱۱).

$$R^2 \approx 1- V_{ratio} \quad (۷)$$

در این آزمون مبنای انتخاب بهترین ترکیب، کم‌ترین مقدار **GS**، $V_{ratio}$ و **SE** است.

در اینجا به برخی از مفاهیم مربوط به آزمون گاما اشاره شده است:

1 Standard Error
2 Durrant
3 Marquez and Coimbra

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

یکی از اقدامات مهم در آزمون گاما تعیین نزدیک‌ترین همسایگی[1] برای هر نقطه در فضای مجموعه داده ورودی است. به عبارت دیگر، اگر مجموعه نقاط داده‌ای مفروض به صورت **M** وجود داشته باشد، به طوری که هر یک از این نقاط دارای **m** مشخصه باشد، دستیابی به نزدیک‌ترین مجموعه به یک نقطه مورد نظر نشان دهنده نزدیک‌ترین همسایگی است. در خصوص تعداد همسایگی‌های نزدیک به طور کلی این تعداد را کمتر از ۳۰ در نظر می‌گیرند و معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ انتخاب مناسبی است.

آزمون **M** برای نشان دادن این مهم است که چگونه آماره گاما زمانی که داده‌های بیشتری برای محاسبه آن استفاده می‌شود، متفاوت برآورد می‌شود. در نتیجه از آن به منظور تعیین تعداد داده‌های ورودی مناسب استفاده می‌شود. همچنین، بر اساس این آزمون جایی که نمودار انحراف معیار به سمت هموار شدن پیش برود نشانگر تعداد همسایگی بهینه می‌باشد (ایوانز و جونز[2]، ۲۰۰۲).

تعبیه سازی[3]، انتخاب ورودی‌ها از بین تمام ورودی‌های ممکن انتخاب شده است. در نرم‌افزار وینگاما[4]، تعبیه سازی توسط رشته‌ای از ۰ و ۱ تعیین می‌شود که آن را ماسک[5] می‌نامند. برای مثال اگر ۵ ورودی وجود داشته باشد ماسک ۱۰۱۱۱ نشان می‌دهد که همه‌ی ورودی‌ها به جز ورودی دوم از عوامل مؤثر در ترکیب بوده‌اند. در این نرم افزار، مدل‌های مختلفی وجود دارد که به منظور انتخاب بهترین ورودی‌ها برای پیش بینی خروجی استفاده می‌شوند چرا که برخی از ورودی‌ها

1 Near Neighbour
2 Evans and Jones
3 Embedding
4 Wingamma
5 Mask

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

نویزی[1] یا بی اهمیت هستند. مدل‌های مذکور عبارتند از: تپه نوردی[2]، تعبیه سازی متوالی[3] و الگوریتم ژنتیک[4].

در الگوریتم تپه نوردی یک ماسک در نظر گرفته می‌شود و هر بیت به نوبه خود به محاسبه گاما ادامه می‌دهد تا زمانی که ماسک، به پایان می‌رسد. این مدل نسبتاً سریع است اما نسبت به مدل تعبیه سازی متوالی مدت زمان بیشتری به طول می‌انجامد. تعبیه سازی متوالی نیز پیش فرض یک ماسک را در نظر می گیرد به طوری که معادل طول بردار ورودی فعلی باشد و روشی بسیار سریع است.

الگوریتم ژنتیک (**GA**[5]) فضای همه ماسک‌ها را برای یافتن تعبیه مناسب جستجو می کند. **GA** یک الگوریتم جستجوی تصادفی است که از یک مجموعه تصادفی اولیه از راه حل‌ها به نام کروموزوم‌ها[6] تشکیل شده و شامل عناصری به نام ژن[7] است. همچنین، با ویژگی‌هایی مانند داده‌های ورودی، عملگرهای ژنتیکی و اندازه جمعیت مشخص می‌شوند. مهم‌ترین عملگرهای ژنتیک انتخاب[8]، متقاطع[9] و جهش[10] هستند (صالح‌نیا و همکاران، ۲۰۱۹).

## تحلیل پوششی داده‌ها

عملکرد یک بنگاه طی زمان ممکن است مربوط به تغییر کارایی و تغییر فنی باشد. تغییر کارایی زمانی است که یک بنگاه مشاهده شده به نزدیک مرز تولید حرکت کند، در حالی که تغییر فنی مربوط به انتقال در مرز طی زمان است. کارایی فنی می‌تواند به عنوان توانایی یک واحد یا بنگاه

1 Noisy
2 Hill Climbing
3 Sequential Embedding
4 Genetic Algorithm
5 Genetic Algorithm
6 Chromosomes
7 Genes
8 Selection
9 Crossover
10 Mutation

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

تولیدی به حداقل سازی استفاده از یک مجموعه از نهاده‌ها در تولید یک سطح مشخص از محصول و یا توانایی استخراج حداکثر محصول ممکن از یک مجموعه نهاده داده شده[۱] تعریف شود (آدتوتو، ۲۰۱۵).

تحلیل مرزی کارایی تولید از کار اصلی فارل (۱۹۵۷) نتیجه می‌شود که کارایی فنی را به عنوان انحرافات از یک مرز (هم‌مقدار[۲]) در یک فضای نهاده با داشتن تابع هدف بنگاه حداکثر کننده تولید یا حداقل کننده هزینه تحلیل کرده است (کوئلی و همکاران، ۲۰۰۵). این چارچوب محدود مرزی برای طیف وسیعی از مشاهدات ممکن محصول/ نهاده فراهم می‌کند، به طوری که نقاط زیر مرز تولید و فاصله یا اندازه‌ای که چنین نقاطی زیر مرز تولید قرار می‌گیرند (یا بالای یک هم‌مقدار) می‌تواند به عنوان یک معیار ناکارایی تلقی شود (فورساند[۳] و همکاران، ۱۹۸۰).

یک خصوصیت بارز مدل‌های ناپارامتریک مدل‌سازی مرزی، خاص نبودن شکل تابعی برای مرز است. علاوه بر این، هیچ پیش فرضی در مورد توزیع جزء خطا ندارد. ضمن این‌که مرز تولید بر اساس رویدادهای تصادفی، خطاهای نمونه برداری و اندازه گیری و غیره تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. رایج‌ترین مدل مرزی ناپارامتریک، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) است، که اولین بار توسط چارنز و همکاران[۴] (۱۹۷۸) معرفی شد (گرین[۵]، ۲۰۰۸). روش DEA به عنوان یک فرآیند ریاضی که از روش برنامه ریزی خطی جهت دستیابی به سطح کارایی واحدهای تصمیم‌ساز[۶] (DMU) استفاده می‌کند شناخته شده است (کوئلی، ۱۹۹۶). مرز ناپارامتری از واحدهای

۱ این دو تعریف نشان می‌دهد که کارایی فنی می‌تواند محصول محور یا نهاده محور باشد. هر دوی این مفاهیم پیامدهای اساسی یکسان دارند.

2 Isoquant
3 Forsund
4 Charnes et al.
5 Greene
6 Decision-making Units

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

تصمیم‌گیری ساخته می‌شود که در مقایسه با سایر واحدها دارای کارایی بهتری هستند. این واحدهای تصمیم‌گیر که روی مرز کارایی قرار دارند دارای بیشترین سطح تولید با حداقل نهاده می‌باشند. در روش DEA نیازی به تعیین فرم خاصی از تابع تولید نیست. مرور جامعی از توسعه‌ی روش DEA را می‌توان در مطالعه‌ی لاول و اشمیت[1] (۱۹۹۳) دید. فرض می‌شود K نهاده و M ستاده برای هر یک از N واحد تصمیم‌گیر وجود دارند که برای واحد تصمیم‌گیر iام با بردارهای $x_i$ و $y_i$ نشان داده می‌شود. سطح کارایی واحد مذکور با توجه به مسأله برنامه ریزی خطی زیر قابل دستیابی است:

$$\begin{aligned} &Min_{\theta,\lambda}\theta \\ &such\ that\ \ -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ &\qquad\qquad \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ &\qquad\qquad \lambda \geq 0 \end{aligned} \qquad (۸)$$

که در آن $\theta$ کمیتی عددی[2]، $\lambda$ برداری $N\times 1$ از مقادیر ثابت و مقادیر به دست آمده $\theta$ سطح کارایی به دست آمده برای هر یک از واحدهای تصمیم‌ساز هستند. $\theta \leq 1$ بوده و میزان ۱ به معنای نقطه‌ی روی مرز و واحدی کارا می‌باشد (کوئلی و همکاران، ۱۹۹۸). برآورد کارایی در مسأله بالا با رویکرد نهاده‌گرا می‌باشد و وزن $\lambda$ سبب می‌شود که ترکیب محدبی از نهاده‌ها و ستاده‌های مشاهده شده وجود داشته باشد. میزان کارایی $\theta$ حداکثر توسعه‌ی شعاعی ستاده‌ها را با سطح مشخصی از نهاده‌ها نشان می‌دهد. مدل شماره ۸ به مدل DEA با بازدهی ثابت نسبت به مقیاس[3] (CRS) مشهور است (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸). این مدل، کارایی کلی[4] (OTE) هر DMU را اندازه می‌گیرد. مدل DEA با بازدهی متغیر به مقیاس[5] (VRS) (بنکر و همکاران[6]، ۱۹۸۴) کارایی

1 Lovell and Schmidt
2 scalar
3 Constant Returns to Scale
4 Overall Technical Efficiency
5 Variable Returns to Scale
6 Banker et al.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

کلی را به کارایی تکنیکی خالص[1] (PTE) و کارایی مقیاس[2] (SE)، (OTE=PTE×SE) تجزیه می‌کنند. هر دو مدل یاد شده میزان کارایی، حداقل نهاده و ستاده‌ی یکسانی را به دست می‌دهند. هرچند نتایج مدل DEA با بازدهی متغیر به مقیاس با تغییر از رویکرد ستاده‌گرا به نهاده‌گرا به شدت قابل تغییرند (هو و وانگ، ۲۰۰۶).

## ۵. برآورد الگو

در این بخش ابتدا با استفاده از تحلیل ناپارامتریک گاما به بررسی بهترین ترکیب عوامل مؤثر بر کارایی انرژی صنایع پرداخته شده است. بدین منظور از بسته نرم‌افزاری وینگاما[3] استفاده شده است. بر این اساس می‌توان بهترین ترکیب عوامل که دارای کم‌ترین مقدار آماره گاما باشد را انتخاب نمود.

متغیرهای مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های مورد نیاز از پایگاه‌های داده بانک جهانی[4]، بانک مرکزی ایران[5]، نشریات آماری مرکز آمار ایران[6]، ترازنامه‌های انرژی و سایر منابع مرتبط جمع آوری شده است.

1 Pure Technical Efficiency
2 Scale Efficiency
3 WinGamma
4 https://data.worldbank.org/
5 https://www.cbi.ir/
6 https://www.amar.org.ir/

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

جدول ۱. متغیرهای مورد استفاده در مدل

| نام متغیر | | داده مورد استفاده |
|---|---|---|
| **FDI** | سرمایه گذاری مستقیم خارجی | میزان سرمایه گذاری مستقیم خارجی |
| **R&D** | تکنولوژی | مخارج تحقیق و توسعه به عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی |
| **WGI** | حکمرانی خوب | میانگین حسابی شاخص‌های حکمرانی[1] |
| **G** | اندازه دولت | سهم مخارج مصرفی دولت از تولید ناخالص داخلی |
| **O** | آزادسازی تجاری | مجموع صادرات و واردات به تولید ناخالص داخلی |
| **C** | تغییر اقلیم | مابه التفاوت میانگین درجه حرارت حداقل و حداکثر در هر سال |
| **F** | توسعه مالی | میزان تسهیلات پرداختی بانک صنعت و معدن |
| **P** | قیمت واقعی انرژی | ارزش سوخت/ مقدار سوخت (این نسبت بر اساس شاخص قیمت تولید کننده به قیمت واقعی تبدیل شده است). |
| **S** | ساختار فنی تولید | نسبت موجودی سرمایه خالص به نیروی کار در هر صنعت |
| **L** | نیروی کار | نسبت نیروی کار به انرژی مصرفی در هر صنعت |
| **W** | دستمزد نیروی کار | نسبت میزان پرداختی به تعداد شاغلان در هر صنعت |
| **CS** | موجودی سرمایه[2] | نسبت موجودی سرمایه خالص به انرژی مصرفی در هر صنعت |

۱ حکمرانی خوب شامل شش شاخص کنترل فساد، اثر بخشی دولت، ثبات سیاسی، کیفیت قوانین و مقررات، حاکمیت قانون و حق اظهار نظر و پاسخگویی است. در این مقاله بر اساس مطالعه Gani & Duncan (2007) از میانگین حسابی این شش شاخص به عنوان شاخص کیفیت حکمرانی استفاده شده است.

۲ در این پژوهش برای محاسبه موجودی سرمایه از روش نمایی (عرب مازار و کلانتری، ۱۳۷۱) استفاده شده است. در این روش فرض می‌شود سرمایه گذاری با میزان ثابتی در طول زمان افزایش می‌یابد. در نتیجه $It= I0e^{\lambda t}$. که در آن It میزان تشکیل سرمایه در سال t، I0 میزان تشکیل سرمایه در سال پایه و λ میزان رشد سرمایه گذاری است. بر این اساس می‌توان تغییرات سرمایه گذاری را به صورت $\frac{dk}{dt}$ تعریف نمود. با توجه به موجودی سرمایه در سال پایه از معادله $\int_{-\infty}^{0} I_t dt = \int_{-\infty}^{0} I_0 e^{\lambda t} dt = \frac{I_0}{\lambda}$ =k0. برای محاسبه k0 لازم است λ برآورد شود که از طریق برآورد تابع سرمایه گذاری صورت می‌گیرد. تبدیل لگاریتمی این رابطه عبارت است از: LnIt= LnI0+ λt. پس از برآورد معادله فوق به روش OLS برای هر یک از صنایع مورد بررسی و برآورد λ، با قرار دادن آن در معادله (۳) موجودی سرمایه برای سال پایه به دست می‌آید. با داشتن مقادیر سال پایه، حجم سرمایه گذاری ناخالص (تشکیل سرمایه) در سال tام و با لحاظ نرخ استهلاک، موجودی سرمایه برای

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

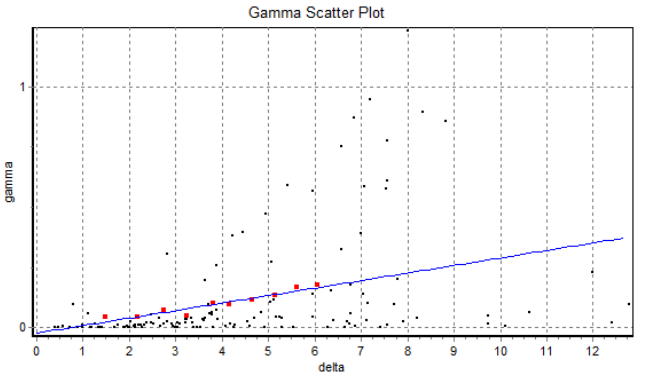
| نام متغیر | | داده مورد استفاده |
|---|---|---|
| **RC** | قیمت نهاده سرمایه | ارزش افزوده - (حقوق و دستمزد پرداختی)/ موجودی سرمایه خالص به قیمت ثابت |
| **E** | مصرف انرژی | نسبت میزان مصرف انرژی در هر صنعت به کل صنایع |
| **VA** | ارزش افزوده صنایع | نسبت ارزش افزوده هر بخش به کل ارزش افزوده واقعی در بخش صنعت |

در ابتدا کلیه پارامترهای ورودی (همان متغیرهای ارائه شده در جدول ۱) و پارامتر خروجی (نسبت ارزش افزوده صنایع به مصرف انرژی آن‌ها) به صورت نرمال استاندارد درآمده‌اند. نرمال سازی ورودی‌ها به دلیل تفاوت جدی مقادیر عددی پارامترهای مذکور انجام شده، تفاوتی که در اثر متفاوت بودن مقیاس و واحد اندازه گیری هر ورودی ایجاد شده است. لذا برای اینکه شانس برابری به هر یک از پارامترهای مؤثر در ارزیابی‌های اولیه داده شود از روش نرمال سازی استفاده شده است.

در این جا، به منظور مقایسه مقادیر مختلف، تعداد نزدیک‌ترین همسایگی بین ۱۰ و ۲۰ مورد آزمون قرار گرفت که نتایج در نمودارهای ۲ تا ۷ نشان داده شده است.

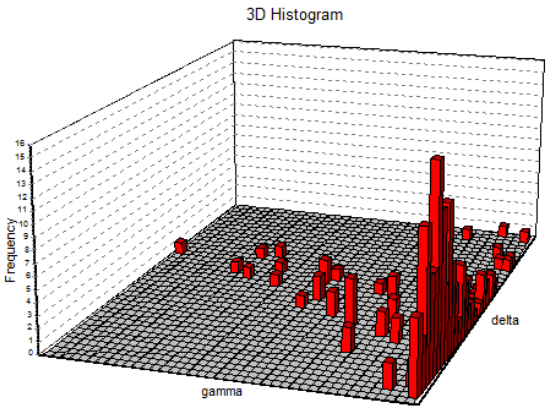
سال‌های مورد بررسی محاسبه می‌شود. نرخ استهلاک برای صنایع بزرگ کشور در اینجا به صورت میانگین و برابر با ۰/۰۵۱۴ درصد در نظر گرفته شده است.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]




نمودار ۲. نمودار پراکندگی با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک

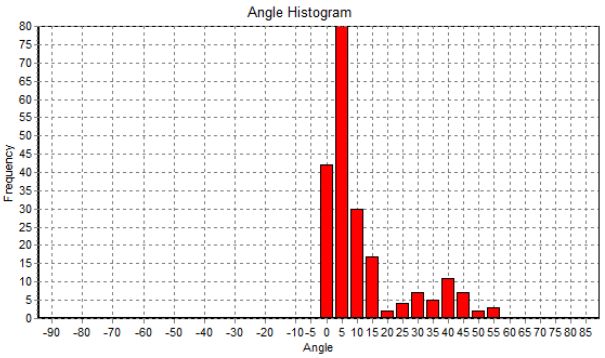
مأخذ: یافته‌های محقق




نمودار ۳. هیستوگرام ۳ بعدی با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک

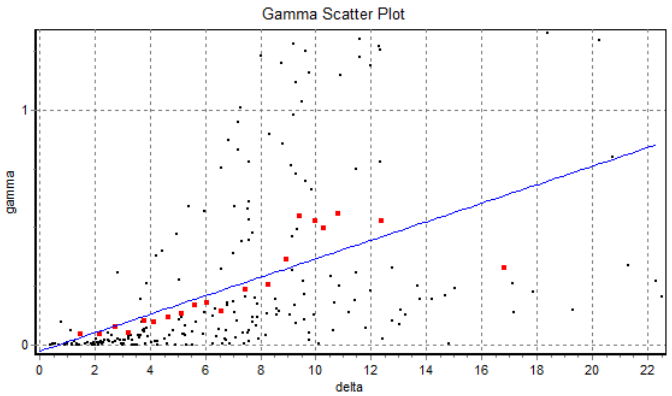
مأخذ: یافته‌های محقق

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]




نمودار ۴. هیستوگرام زاویه‌ای با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک

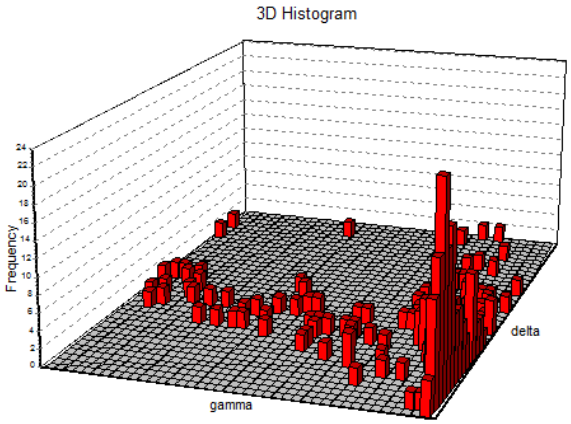
مأخذ: یافته‌های محقق




نمودار ۵. نمودار پراکندگی با در نظر گرفتن ۲۰ همسایگی نزدیک

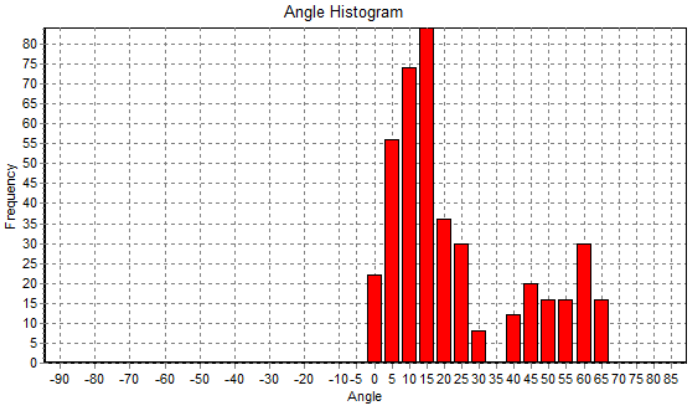
مأخذ: یافته‌های محقق

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]




نمودار ۶. هیستوگرام ۳ بعدی با در نظر گرفتن ۲۰ همسایگی نزدیک

مأخذ: یافته‌های محقق




نمودار ۷. هیستوگرام زاویه‌ای با در نظر گرفتن ۲۰ همسایگی نزدیک

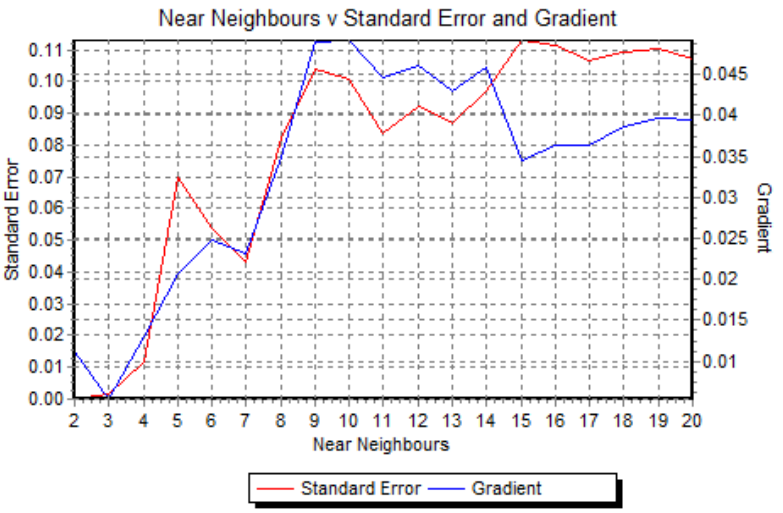
مأخذ: یافته‌های محقق

بر اساس نمودارهای پراکندگی مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک، داده‌ها با نویز کم و برازش خط رگرسیونی مناسب است. به عبارت دیگر، وجود مثلث خالی در بالای گوشه سمت چپ نمودار پراکندگی نشان می‌دهد داده‌ها دارای نویز پایین بوده و مدل تقریباً هموار می‌باشد. همچنین، شیب ملایم خط رگرسیونی نشان از ساده بودن مدلسازی تابع **f** دارد. با

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

لحاظ سایر همسایگی‌های نزدیک برازش خط رگرسیونی نسبتاً ضعیف است. هیستوگرام ۳ بعدی و زاویه‌ای نیز تأیید کننده‌ی ۱۰ همسایگی نزدیک می‌باشند. بر اساس هیستوگرام زاویه‌ای، با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک همان طور که به سمت $\Pi/2$ نزدیک می‌شویم افت تدریجی نوسانات مشاهده می‌شود.

تعداد همسایگی بهینه را می‌توان بر اساس آزمون **M** نیز تعیین نمود که در نمودار ۸ نشان داده شده است. بر اساس آزمون **M**، تعداد همسایگی بهینه ۱۵ می‌باشد. چون در این نقطه، نمودار انحراف معیار به سمت هموار شدن پیش می‌رود. بنابراین، این نقطه نزدیک‌ترین نقطه به مجموعه ورودی‌ها است.




نمودار ۸. آزمون M به منظور تعیین تعداد همسایگی بهینه

مأخذ: یافته‌های محقق

آزمون گاما امکان شناسایی متغیرهای ورودی مؤثرتر بر خروجی را به دست می‌دهد. با توجه به تعداد زیاد پارامترهای ورودی (۱۴ ورودی) امکان انجام آزمون گاما برای کلیه ترکیب‌های ممکن (تعداد ترکیب‌های ممکن $2^n - 1$ می‌باشد که در مورد این تحقیق برابرست با $2^{14} - 1$

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

یعنی معادل ۸۱۹۲) عملاً میسر نبوده و لذا برای تعیین بهترین ترکیب‌ها در زمان کوتاه و ممکن از سه روش میانبر شناسایی مناسب‌ترین پارامترهای ورودی مدل یعنی الگوریتم تپه نوردی، تعبیه سازی متوالی و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در جدول ۲ نتایج مربوط به مدل‌های متفاوت ارائه و مقایسه شده است.

جدول ۲. نتایج آزمون‌های مختلف با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک

| شرح | الگوریتم تپه نوردی | الگوریتم تعبیه سازی متوالی | الگوریتم ژنتیک |
|---|---|---|---|
| ماسک | ۱۱۱۰۱۱۱۱۱۰۱۱۱۱ | ۰۱۰۰۰۰۱۰۰۰۱۰۰۱ | ۰۱۱۱۱۰۰۱۱۰۰۰۱۱ |
| آماره گاما | -۰/۰۰۰۵۶۶۹ | ۰/۰۴۸۹۵۷ | ۳/۹۷۲۹E-06 |
| خطای استاندارد | ۰/۰۲۱۳۴۵ | ۰/۰۲۰۶۳۰ | ۰/۰۲۹۷۶۱ |
| $R^2$ | ۱/۰۰۰۰۰ | ۰/۸۰۴۱۷ | ۰/۹۹۹۹۸ |
| $V_{Ratio}$ | -۰/۰۰۲۲۶۶۷ | ۰/۱۹۵۸۳ | ۰/۰۰۰۰۱۵۸۹۲ |

مأخذ: محاسبات محقق

بررسی‌های فوق نشان می‌دهد ترکیب‌های متفاوتی از داده‌های ورودی وجود دارد که بر کارایی مصرف انرژی صنایع اثر می‌گذارند و هر یک از این ترکیب‌ها مقدار آماره گامای متفاوتی را دارند که از بین آن‌ها مناسب‌ترین ترکیب با کم‌ترین مقدار آماره گاما انتخاب شده است. متغیرهای مؤثر و غیر مؤثر شناسایی شده در الگوهای فوق در جدول زیر ارائه شده است:

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

جدول ۳. متغیرهای مؤثر و غیر مؤثر به دست آمده از آزمون گاما

| شرح | الگوریتم تپه نوردی | تعبیه سازی متوالی | الگوریتم ژنتیک |
|---|---|---|---|
| متغیرهای مؤثر | حکمرانی خوب<br>سرمایه گذاری مستقیم خارجی<br>تکنولوژی<br>آزادسازی تجاری<br>تغییر اقلیم<br>توسعه مالی<br>ساختار فنی تولید<br>قیمت واقعی انرژی<br>دستمزد نیروی کار<br>موجودی سرمایه<br>قیمت سرمایه<br>مصرف انرژی | تکنولوژی<br>توسعه مالی<br>دستمزد نیروی کار<br>مصرف انرژی | تکنولوژی<br>حکمرانی خوب<br>اندازه دولت<br>آزادسازی تجاری<br>ساختار فنی تولید<br>قیمت واقعی انرژی<br>قیمت سرمایه<br>مصرف انرژی |
| متغیرهای غیر مؤثر | اندازه دولت<br>نیروی کار | سرمایه گذاری<br>مستقیم خارجی<br>حکمرانی خوب<br>اندازه دولت<br>آزادسازی تجاری<br>تغییر اقلیم<br>توسعه مالی<br>ساختار فنی تولید<br>قیمت واقعی انرژی<br>نیروی کار<br>موجودی سرمایه<br>قیمت سرمایه | سرمایه گذاری مستقیم<br>خارجی<br>تغییر اقلیم<br>توسعه مالی<br>نیروی کار<br>دستمزد نیروی کار<br>موجودی سرمایه |

مأخذ: یافته‌های محقق

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

بر این اساس، الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک دارای کمترین مقدار آماره گاما است و بنابراین بهترین ترکیب جهت شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف انرژی را نشان می‌دهد. در نتیجه متغیرهای محیطی تکنولوژی، حکمرانی خوب، اندازه دولت، آزادسازی تجاری و قیمت واقعی انرژی و همچنین متغیرهای ساختار فنی تولید، قیمت سرمایه و مصرف انرژی بر کارایی انرژی صنایع اثرگذار هستند.

در ادامه به برآورد کارایی انرژی با استفاده تحلیل پوششی داده‌ها تحت فرض بازدهی متغیر به مقیاس (**VRS**) و با رویکرد نهاده گرا پرداخته شده است. از آنجا که فرض بازده ثابت به مقیاس (**CRS**)، فقط زمانی مناسب است که همه بنگاه‌ها در مقیاس بهینه عمل کنند، اما عواملی مانند رقابت ناقص و محدودیت منابع مالی باعث می‌شود که بنگاه‌ها همواره نتواند در مقیاس بهینه عمل کند و در مقاطع زمانی مختلف بازدهی متفاوت داشته باشند. در این شرایط در نظر گرفتن بازدهی ثابت به مقیاس منجر به خلط شدن کارایی فنی و کارایی مقیاس نیز می‌شود (کوئلی، ۱۹۹۶)، لذا در این مطالعه برآورد کارایی بر اساس بازدهی متغیر به مقیاس صورت گرفته است.

با توجه به این‌که برای عمده‌ی صنایع میزان تقاضای مشخصی برای تولید وجود دارد لذا اغلب مطالعات از رویکرد نهاده گرا در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرده‌اند که در این حالت مقادیر ورودی، متغیرهای اصلی در تصمیم گیری می‌باشند. در پژوهش حاضر نیز، با توجه به اینکه محاسبه کارایی نهاده انرژی یکی از اهداف اصلی می‌باشد لذا از رویکرد نهاده گرا استفاده شده است. نتایج محاسبه کارایی کلی در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است از آنجا که عمدتاً در روش **DEA**، ورودی‌ها شامل نهاده‌ها و یا قیمت آن‌ها می‌باشد لذا پس از تعیین بهترین ترکیب متغیرهای مؤثر بر کارایی از متغیرهای ساختار فنی تولید، قیمت سرمایه و مصرف انرژی به عنوان ورودی و ارزش افزوده به عنوان خروجی مدل **DEA** استفاده شده است.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

جدول ۴. میانگین مقادیر مربوط به کارایی انرژی به تفکیک صنایع مورد بررسی طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۴

| نام صنعت | مقدار کارایی انرژی |
|---|---|
| صنایع مواد غذایی و آشامیدنی | ۰/۹۰ |
| صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی | ۰/۸۸ |
| تولید فلزات اساسی | ۰/۵۶ |
| تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی | ۰/۵۵ |
| صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای | ۰/۵۳ |

مأخذ: محاسبات محقق

با توجه به نتایج به دست آمده، صنعت تولید مواد غذایی و آشامیدنی کاراتر از سایر صنایع برآورد شده است. در این صنعت حدود ۱۰ درصد ناکارایی وجود دارد یعنی اگر مصرف انرژی به میزان ۱۰ درصد کاهش یابد می‌توان همان سطح ستانده مشاهده شده را بدون نیاز به افزایش در دیگر نهاده‌ها تولید نمود. از آنجا که روش **DEA** به برآورد کارایی نسبی واحدها می‌پردازد لذا انرژی‌بری کمتر صنایع مواد غذایی و آشامیدنی نسبت به سایر صنایع مورد بررسی یکی از دلایل بالاتر بودن کارایی آن است. پس از این صنعت، تولید مواد و محصولات شیمیایی جایگاه بعدی را به خود اختصاص داده است. در این صنعت نیز تقریباً ۱۲ درصد ناکارایی وجود دارد. صنایع تولید فلزات اساسی، سایر محصولات کانی غیر فلزی، و تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای با کارایی مصرف انرژی ۵۶، ۵۵ و ۵۳ درصد نیز دارای کم‌ترین مقدار کارایی بوده‌اند. به عبارت دیگر، در دوره زمانی ۱۳۷۴-۱۳۹۴ نهاده انرژی در سه صنعت اخیر به طور کاملاً کارا مورد استفاده قرار نگرفته و به ترتیب ۴۴، ۴۵ و ۴۷ درصد اتلاف انرژی صورت گرفته است.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

## ٦. بحث و نتیجه گیری

کارایی را می‌توان به صورت استفاده بهینه و کارآمد از نهاده‌های تولید اعم از سرمایه، نیروی کار و انرژی تعریف نمود. امروزه همه‌ی کشورها به بهبود کارایی به عنوان ابزاری در جهت رشد اقتصادی، افزایش رفاه، افزایش توان رقابت با سایر کشورها، تأمین امنیت انرژی و ... توجه ویژه‌ای دارند. اما برای سیاست گذاری و پیشبرد اهداف در حوزه کارایی انرژی نمی‌توان نسخه‌ی کلی و یکسانی در کشور صادر کرد؛ بلکه باید با توجه به هر بخش و ویژگی‌ها و بافت و ساختار آن، سیاست‌ها و اهداف تدوین شود.

بر این اساس در مطالعه‌ی حاضر به تعیین بهترین ترکیب عوامل مؤثر بر کارایی انرژی پرداخته شده است. کل عوامل مورد بررسی در این پژوهش به دو دسته عوامل محیطی و خرد تقسیم شده است. بخش مورد مطالعه، کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر مربوط به صنایع انرژی‌بر ایران (شامل تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی، صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید فلزات اساسی، صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی) بوده و دوره زمانی مطالعه نیز سال‌های ۱۳۷۴- ۱۳۹۴ در نظر گرفته شده است.

نتایج آزمون گاما نشان داد الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن ۱۰ همسایگی نزدیک، بهترین ترکیب جهت شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف انرژی را به دست می‌دهد. این ترکیب شامل متغیرهای تکنولوژی، حکمرانی خوب، اندازه دولت، آزادسازی تجاری و قیمت واقعی انرژی از دسته‌ی عوامل محیطی و نیز متغیرهای ساختار فنی تولید، قیمت سرمایه و مصرف انرژی از دسته عوامل خرد می‌باشند. متغیرهای مذکور در یافته‌های یوخیانگ و چن[1] (۲۰۱۰)، استرن (۲۰۱۲)، تقوی و همکاران (۱۳۹۴)، هرریاس و همکاران (۲۰۱۳)، گیتاهی و همکاران (۲۰۱۴) و آفونسو و همکاران (۲۰۰۵) نیز جزء عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بوده‌اند.

1 Yuxiang and Chen

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

همچنین متغیرهای سرمایه گذاری مستقیم خارجی، تغییر اقلیم، توسعه مالی، نیروی کار، دستمزد نیروی کار و موجودی سرمایه نتوانسته‌اند بر کارایی صنایع مور مطالعه اثرگذار باشند. عدم اثر گذاری **FDI** به معنای این است که این متغیر نتوانسته منجر به انتقال تکنولوژی‌های انرژی کارا شود. هرچند با توجه به اعمال تحریم‌ها در مقاطعی از دوره مورد بررسی می‌توان گفت ورود سرمایه خارجی به معنای واقعی صورت نگرفته است. از آنجا که در بین صنایع مورد مطالعه عمدتاً دو صنعت پالایشگاه‌های نفت و فلزات اساسی بیش‌تر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می گیرند با وجود این، متغیر تغییر اقلیم نتوانسته اثری بر کارایی کل صنایع منتخب داشته باشد. چنانچه اثر این متغیر بر تک تک صنایع مورد بررسی قرار گیرد احتمالاً نتیجه متفاوت خواهد بود. عدم اثرگذاری متغیر توسعه مالی که میزان تسهیلات پرداختی بانک صنعت و معدن را نشان می‌دهد به معنای آن است که تسهیلات مذکور عمدتاً در جهت ارتقاء تکنولوژی و تجهیزات انرژی کارا صرف نشده است.

میانگین کارایی کل صنایع انرژی‌بر در دوره مورد بررسی به مقدار ۶۸ درصد دلالت بر این دارد که انرژی به طور کاملاً کارا مورد استفاده قرار نگرفته و حدود ۳۲ درصد اتلاف انرژی صورت گرفته است. صنعت تولید مواد غذایی و آشامیدنی با کارایی ۹۰ درصد نسبت به سایر صنایع از کارایی بالاتری برخوردار بوده است. پس از این صنعت، تولید مواد و محصولات شیمیایی با کارایی ۸۸ درصد قرار گرفته است. در این صنعت حدود ۱۲ درصد ناکارایی وجود دارد. صنایع فلزات اساسی، سایر محصولات کانی غیر فلزی، و تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای با کارایی مصرف انرژی ۵۶، ۵۵ و ۵۳ درصد نیز دارای کم‌ترین مقدار کارایی بوده‌اند. یکی از دلایل پایین‌تر بودن کارایی انرژی در این صنایع را می‌توان میزان بسیار بالای انرژی‌بری آن‌ها عنوان کرد. با توجه به به تأثیر متغیرهای تکنولوژی، آزادسازی تجاری و حکمرانی خوب بر کارایی انرژی صنایع می‌توان با بهبود روش‌های تولید و فن‌آوری در صنایع مورد بررسی، افزایش مشارکت بخش خصوصی و کاهش حضور دولت در حوزه سیاست گذاری و تنظیم

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

مقررات از جمله تعیین قیمت گام‌های مهمی در جهت بهبود کارایی انرژی برداشت. آزادسازی تجاری نیز باید در جهت انتقال تکنولوژی‌های انرژی کارا صورت گیرد.

## ۷. منابع

**امینی، علیرضا؛ یزدی‌پور، فرزانه.** (۱۳۸۷). تحلیل عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاه‌های بزرگ صنعتی ایران. پژوهشنامه اقتصادی، ۳، ۷۱-۱۰۴.

**ترازنامه انرژی.** (۱۳۹۳). معاونت امور برق و انرژی. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.

**تقوی، مهدی؛ شاکری، عباس؛ محمدی، تیمور؛ و صادقی، علی اکبر.** (۱۳۹۴). رابطه غیر خطی بین درآمد و شدت انرژی در کشورهای منتخب منا () با در نظر گرفتن نقش توسعه مالی و درجه باز بودن اقتصاد. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۲۰ (۶۴)، ۱-۲۶.

**شهابی‌نژاد، وحید.** (۱۳۹۴). تحلیل مقایسه‌ای کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های ایران با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها در دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۷. فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۴ (۱۶)، ۱۵۷-۱۷۸.

**صادقی، سید کمال، و سجودی، سکینه.** (۱۳۹۰). مطالعه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران. مطالعات اقتصاد انرژی، ۸ (۲۹)، ۱۶۳-۱۸۰.

**عسکری، حیدر؛ حیدری، ابراهیم؛ و حاجیانی، پرویز.** (۱۳۹۴). تجزیه و تحلیل کارائی انرژی و عوامل موثر بر آن در صنایع منتخب انرژی‌بر ایران. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه خلیج فارس، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.

**عرب مازار، عباس، و کلانتری، باقر.** (۱۳۷۱). برآورد موجودی سرمایه کشور (۱۳۳۸-۱۳۶۷). مجله اقتصاد، ۱.

**کفایی، سید محمدعلی، و نژاد آقائیان وش، پریا.** (۱۳۹۶). شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بخشی در اقتصاد ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۱۳ (۵۲)، ۱-۳۴.

**گراوند، سهراب؛ مهرگان، نادر؛ صادقی، حسین؛ و ملکشاهی، مجتبی.** (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی کشور. مجله علمی- پژوهشی سیاستگذاری اقتصادی، ۵ (۱۰)، ۵۷-۷۴.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

**مداح، مجید، و عبدالهی، مریم.** (۱۳۹۱). اثر کیفیت نهادها بر آلودگی محیط زیست در چارچوب منحنی کوزنتس با استفاده از الگوهای پانل دیتا ایستا و پویا. پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۲ (۵)، ۱۷۱-۱۸۶.

**مرکز آمار ایران.** طرح آمارگیری از مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۴.

**نجف‌زاده، بهنام، و ممی‌پور، سیاب.** (۱۳۹۵). بررسی عوامل مؤثر بر کارایی زیست محیطی صنعت برق ایران: رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها و داده‌های ترکیبی. فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی، ، ۲، ۸۳-۴۱.

**Adetutu, M.** (2015). Three Essays on Rebound Effects. A Doctoral Thesis. Loughborough University.

**Adetutu, M.** (2014). energy substitutability: Evidence from four OPEC countries. Applied Energy, 119. 363-370.

**Afonso, A. and Jalles, T. J.** (2011). Economic Performance and Government Size. EXB Working Paper Series, No 1399.

**Afonso, A., Schuknecht, L., and Tanzi, V.** (2005). Public Sector Efficiency: An International Comparison. Public Choice, 123(3-4), 321-347.

**Antweiler, W., Copeland, B.R., Taylor, M.S.** (2001), Is Free Trade Good for the Environment? American Economic Review, 91(4), 877-908.

**Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W.** (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30, 1078-1092.

**Bjørner, TB., Jensen, HH.** (2002). Energy Taxes, Voluntary Agreements and Investment Subsidies-a Micro-Panel Analysis of the Effect on Danish Industrial Companies, Energy Demand. Resource Energy Econ, 24(3), 49-229.

**Boyd, GA., and Pang, JX.** (2000). Estimating the Linkage between Energy Efficiency and Productivity. Energy Policy, 28(5), 289–96.

**Brookes, L.** (2000). Energy Efficiency Fallacies Revisited. Energy Policy, 28 (6), 66-355.

**Charnes A., Cooper W.W. and Rodes E.** (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research. 2 (6), 429-444.

**Claessens, S., Feijen, E.** (2007). Financial Sector Development and the Millennium Development Goals. World Bank Working Paper, No.89.

**Climate Change and Your Business Briefing Note Series.** (2014). Climate Change and the Energy and Manufacturing Sector. Kenya Private Sector Alliance.

**Climate Everyone's Business.** (2014). Climate Change: Implications for the Energy Sector. University of Cambridge.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

**Coelli, T. J.** (1996). A Guide to Deap Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Department of Econometrics, University of New England, Armidale, Australia.

**Coelli, T., Rao, D. S. P., and Battese, G. E.** (1998). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. London, Kluwer Academic Publishers.

**Coelli, T., Rao, D. S. P., O'Donnell, C.J., and Battese, G. E.** (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis, Second Edition, Springer.

**Elliot, R., Sun, P. and Chen, S.** (2013). Energy Intensity snd Foreign Direct Investment: A Chinese City-Level Study. Energy Economics, 40, 484-494.

**Durrant, P. J.** (2001). Wingamma: A Non-linear Data Analysis and Modeling Tool with Applications to Flood Prediction. PhD Thesis, Department of Computer Science, Cardiff University, Wales, UK.

**Evans, D., and Jones, A.J.** (2002). A proof of the Gamma test. Proc. Roy. Soc. Lond. Series A, 458, 2759-2799.

**Farrell, M. J.** (1957). The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), 120 (3), 253-290.

**Forsund, F.R., Lovell, C., and Schmidt, P.** (1980). A Survey of Frontier Production Functions and of their Relationship to Efficiency Measurement. Journal of Econometrics, 13 (1), 5-25.

**Frankel, J., and Romer, D.** (1999). Does Trade Cause Growth?. American Economic Review, 89, 379–399.

**Gani, A., and Duncan, R.** (2007). Measuring Good Governance Using Time Series Data: Fiji Islands. Journal of the Asia Pacific Economy, 12 (3), 367–385.

**Gitahi, N., Ombuki, C., S., and Wawire, N.** (2014). Impact of Government Expenditure on Private Investment in Kenya. Research Journal of Economics, 2 (8), 1-19.

**Greene, W.H.** (2008). The Econometric Approach to Efficiency Analysis. The measurement of productive efficiency and productivity growth, Oxford University Press, 92-250

**Grossman, G., Krueger, A.** (1991), Environmental impacts of a North American free trade agreement. National Bureau of Economics Research Working Paper, No. 3194, NBER, Cambridge. World Bank.

**Guseh, J. S.** (1997). Government Size and Economic Growth in Developing Countries: A Political-Economy Framework. Journal of Macroeconomics, 19 (1), 175-192.

**Herrerias, M. J., Cuadros, A., and Orts, V.** (2013). Energy Intensity and Investment Ownership Across Chinese Provinces. Energy Economics, 36, 286-298.

**Herring, H.** (1999). Does Energy Efficiency Save Energy? The Debate and its Consequences. Appl Energy, 63(3):209–26.

**Honma, S., and Hu, J. L.** (2014). Industry-Level Total-Factor Energy Efficiency in Developed Countries: A Japan-Centered Analysis. Applied Energy, 119, 67-78.

**Hu, J. L., and Wang, S. C.** (2006). Total-factor Energy Efficiency of Regions in China. Energy Policy, 34, 3206–3217.

**International Energy Agency.** (2014). Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

**International Energy Agency.** (2010). Energy Efficiency Governance.
**Islam, F., Shahbaz, M., and Alam, M.** (2011). Financial Development and Energy Consumption Nexus in Malaysia: A Multivariate Time Series Analysis. Working Paper, MPRA Paper 28403.
**Johannsen, KS.** (2002). Combining Voluntary Agreements and Taxes – an Evaluation of the Danish Agreement Scheme on Energy Efficiency in Industry. J Clean Prod, 10(2), 41-129.
**Keho, Y.** (2016). Do Foreign Direct Investment and Trade lead to Lower Energy Intensity? Evidence from Selected African Countries. International Journal of Energy Economics and Policy, 6 (1), 1-5.
**Kemp, S.E.** (2006). Gamma Test Analysis Tools for Non-linear Time Series. Ph.D. Thesis University of Glamorgan Wales UK.
**Knittel, CR.** (2002). Alternative Regulatory Methods and Firm Efficiency: Stochastic Frontier Evidence from the US Electricity Industry. Rev Econ Stat, 84(3), 40-530.
**Landsburg, S.** (2013). Price Theory and Applications, Cengage Learning.
**Li, MJ., and Tao, WQ.** (2017). Review of Methodologies and Polices for Evaluation of Energy Efficiency in High Energy-consuming Industry. Applied Energy, 187, 203–215.
**Lovell, A. K. and Schmidt, S. S.** (1993). Production Frontiers and Productive Efficiency, the Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications. Oxford University Press, New York.
**Marquez, R., and Coimbra, C.F.M.** (2011). Forecasting of Global and Direct Solar Irradiance using Stochastic Learning Methods, Ground Experiments and the NWS Database. Solar Energy, 85, 746–756.
**Oikonomou, V., Becchis, F., Steg, L., and Russolillo, D.** (2009). Energy Saving and Energy Efficiency Concepts for Policymaking. Energy Policy, 37, 4787–4796.
**Phylipsen, G.J.M.** (2010). Energy Efficiency Indicators (Best Practice and Potential Use in Developing Country Policy Making). Phylipsen Climate Change Consulting. Commissioned by the World Bank.
**Raheli, H., Mohammad Rezaei, R., Raei Jadidi, M., and Ghasemi Mobtaker, H.** (2017). A Two-Stage DEA Model to Evaluate Sustainability and Energy Efficiency of Tomato Production. Information Processing in Agriculturi, 4, 342–350.
**Sadorsky, P.** (2010). The Impact of Financial Development on Energy Consumption in Emerging Economies. Energy Policy, 38, 2528-2535.
**Salehnia, N., Salehnia, N., Ansari, H., Kolsoumi, S., and Bannayan, M.** (2019). Climate Data Clustering Effects on Arid and Semi-arid Rainfed Wheat Yield: A Comparison of Artificial Intelligence and K-means Approaches. International Journal of Biometeorology, 63(7), 861-872.
**Stefanov, R., Nikolova, V., and Dyulgerov, A.** (2011). Energy and Good Governance in Bulgaria. Trends and Policy Option. Center for the Study of Democracy, 6-167.
**Stefánsson, A., Koncar, N., and Jones, A. J.** (1997). A Note on the Gamma Test. Neural Computing and Applications, 5 (3), 131-133.
**Stern, D.** (2012). Modeling international trends in energy efficiency. Energy Economics, 34, 2200-2208.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]

**Tamazian, A., Chousa, J.P., and Vadlamannati, C.** (2009). Does Higher Economic and Financial Development Lead to Environmental Degradation: Evidence from the BRIC Countries. Energy Policy, 37, 246–253

**Thoresen, J.** (1999). Environmental Performance Evaluation– a Tool for Industrial Improvement. J Clean Prod, 7(5), 365-370.

**Worrell, E., Laitner, JA., and Ruth M, Finman, H.** (2003). Productivity Benefits of Industrial Energy Efficiency Measures. Energy, 28(11), 1081-1098

**Wu, Y.** (2012). Energy Intensity and its Determinants in China's Regional Economies. Energy Policy, 41, 703-711

**Yuxiang, K., and Chen, Z.** (2010), Government expenditure and energy intensity in China. Energy Policy, 38(2), 691-694.

**Zhou, P., and Ang, B.W.** (2008). Linear Programming Models for Measuring Economy-Wide Energy Efficiency Performance. Energy Policy, 36, 2911– 2916.

[ Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01 ]