فصلنامه مدلسازی اقتصادی (سال سیزدهم، شماره ٤ «پیاپی ٤٨» زمستان ١٣٩٨، صفحه‌های ٦٨-٤٥)

بهره‌وری کل انرژی و عوامل موثر بر آن (صنایع تولیدی ایران)[1]

ابراهیم نیک‌نقش[*]، نقی شجاع[**]، امیر غلام‌ابری[+]، محمد مهدی موحدی[×]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۲

چکیده

هدف این مقاله ارزیابی بهره‌وری کل انرژی و عوامل موثر بر آن در ١٣٤ صنعت تولیدی ایران در سطح کدهای چهار رقمی طبقه‌بندی (ISIC) طی دوره ١٣٩٤-١٣٨٥ است. بدین منظور، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست، کارایی فنّی، تکنولوژیکی و بهره‌وری کل انرژی صنایع تولیدی ایران محاسبه شده و با روش اثرات ثابت و گشتاورهای تعمیم‌یافته، عوامل موثر بر بهره‌وری کل انرژی برآورد شد. نتایج مدل نشان داد تمامی صنایع تولیدی، رشد مثبت پیشرفت تکنولوژیکی را تجربه نموده‌اند؛ اما هیچ کدام از کارایی فنّی برخوردار نبوده‌اند. به طور کلی، یافته‌ها حاکی از رشد بهره‌وری کل انرژی در صنایع تولیدی است. بر اساس نتایج، بازبینی شیوه کار، بهبود مهارت‌های مدیریتی، حمایت یارانه‌ای دولت از تولید و سرمایه‌گذاری، کاهش تعرفه واردات تجهیزات و ماشین‌آلات سرمایه‌ای از صنایع با مصرف انرژی کم‌تر پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: D24, L60, O14.

واژگان کلیدی: بهره‌وری کل انرژی، صنایع تولیدی ایران، تحلیل پوششی داده‌ها، روش مالم‌کوییست.

---

[1] این مقاله مستخرج از رساله دکتری ابراهیم نیک‌نقش به راهنمایی دکتر نقی شجاع و مشاوره دکتر امیر غلام‌ابری و دکتر محمد مهدی موحدی در دانشکده اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران می‌باشد.

[*]دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: eniknaghsh@yahoo.com

[**]دانشیار گروه ریاضی (تحقیق در عملیات)، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: nashoja@yahoo.com

[+]دانشیار گروه ریاضی (تحقیق در عملیات)، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، پست الکترونیکی: amirgholamabri@gmail.com

[×]استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، پست الکترونیکی: mmmovahedi@gmail.com

١. مقدمه

امروزه، بحران انرژی هم‌گام با حفاظت از محیط زیست، یکی از چالش‌های اساسی جوامع به شمار می‌آید. مصرف بهینه انرژی پس از شوک بزرگ نفتی در اوایل دهه ٧٠ مورد توجه برنامه‌ریزان اقتصادی و نیز مصرف‌کنندگان عمده انرژی قرار گرفته است. گستره این بحران نه تنها شامل مصرف‌کنندگان بوده است؛ بلکه تولیدکنندگان، به ویژه، کشورهای جهان سوم نظیر ایران را نیز دربر می‌گیرد. اما، واقعیت این است که شاخص‌های بهره‌وری مصرف انرژی در این کشورها فاصله قابل توجهی با کشورهای توسعه‌یافته دارد.

شواهد تجربی نشان می‌دهد مصرف فرآورده‌های نفتی، در ایران، در کم‌تر از دو دهه اخیر افزایش چشمگیری داشته است. این ارقام بدین معناست که مصرف سرانه و اتلاف انرژی در ایران بسیار بالاست.

مقایسه وضعیت انرژی ایران در سال ١٣٩٠ (سال اول برنامه پنجم توسعه اقتصادی-اجتماعی) با ارقام مشابه در سال ١٣٨٤ (سال اول برنامه چهارم توسعه) نشان می‌دهد که جمع عرضه انرژی اولیه با رشد سالیانه ٤/٤ درصد از ١٢٣٨/٥ میلیون بشکه معادل نفت خام در سال ١٣٨٤ به ١٦٠١/٢ میلیون بشکه معادل نفت خام رسیده است و کل مصرف نهایی انرژی از ٨٤٠/١ به ١٠٦٨/٤ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش داشته است. این افزایش چشم‌گیر در مصرف نهایی انرژی، ضرورت تداوم و شتاب در اقدامات بهینه‌سازی در عرضه و تقاضای انرژی را بیش از پیش ضروری می‌سازد (شهابی‌نژاد، ١٣٩٣).

نکته مهم این است که در بخش صنایع تولیدی که بخش مهمی از مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است؛ بهره‌وری انرژی بسیار پایین است و این امر را می‌توان ناشی از مواردی مانند اتکا به روش‌های سنتی، استفاده از فناوری‌های قدیمی در صنایع، عدم اصلاح و نوسازی ساختار قدیمی، فراوانی و ارزان بودن قیمت سوخت و منابع فسیلی و نبودن فرهنگ بهره‌وری و بهینه‌سازی مصرف انرژی دانست.

در ایران به جهت وجود منابع غنی زیرزمینی و ظرفیت‌های بالای طبیعی، عرضه انرژی با قیمت‌های پایین‌تر از نرخ جهانی غالبا منجر به استفاده نادرست و غیربهینه از منابع انرژی و در نتیجه، موجب وارد کردن خسارات جبران‌ناپذیری به اقتصاد کشور شده است؛ بنابراین، می‌توان با بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری در بخش صنایع و نیز با مدیریت مصرف

انرژی گام بزرگی در جهت رشد و توسعه کشور برداشت. برای این منظور باید در زمینه استفاده بهینه از منابع انرژی در کشور ضمن شناخت راهکارهای مناسب برای کاهش مصرف انرژی اقدامات لازم صورت گیرد.

عنصر اصلی مصرف بهینه انرژی در حوزه صنعت، افزایش بهره‌وری صنایع انرژی‌بر است. «بهره‌وری»[1] مفهومی جامع و عامل اصلی و تعیین‌کننده سوددهی، قدرت رقابت و ستون فقرات برنامه‌های اقتصادی در سطوح ملی و منطقه‌ای است. در کشورهایی که از میزان بهره‌وری بالایی برخوردارند؛ استاندارد زندگی نیز بالاست. بهره‌وری عموماً به صورت نسبت مجموع ستاده‌ها به مجموع نهاده‌ها تعریف، و از دو جزء کارایی[2] و اثربخشی[3] تشکیل می‌شود (حیدری، ١٣٩١: ٦٢).

در ایران بهره‌وری انرژی در وضعیت نامناسبی قرار دارد؛ شاخص کل بهره‌وری انرژی از تقسیم ارزش تولید ناخالص داخلی به مصرف نهایی انرژی به دست می‌آید (عکس شدت انرژی) و یکی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش کیفیت مصرف انرژی در هر کشور است. با توجه به رشد مصرف انرژی در کشور، توجه به بهینه‌سازی مصرف انرژی به منظور حفاظت از محیط زیست، تأمین امنیت عرضه و صیانت از منابع به یکی از اولویت‌های مهم کشور تبدیل شده؛ اما، با وجود تلاش‌های فراوان از ابتدای برنامه دوم توسعه و ثبات نسبی شاخص شدت انرژی و سایر شاخص‌های مرتبط بر عدم توفیق کامل این اقدامات در دو سطح خرد و کلان دلالت می‌کند (ابریشمی، نوری و دودابی‌نژاد، ١٣٨٩: ٦).

بر همین اساس، سؤال اصلی پژوهش این است که بهره‌وری انرژی در صنایع تولیدی ایران از چه وضعیتی برخوردار بوده و چه عواملی بر آن تأثیرگذار هستند؟

برای پاسخ از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[4] و مالم‌کوییست[5] طی دوره زمانی ١٣٩٤-١٣٨٥ استفاده می‌شود. بدین ترتیب که در مرحله اول، کارایی انرژی صنایع تولیدی از طریق ورودی و خروجی مبتنی بر الگوی نظری و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها

[1] Productivity
[2] Efficiency
[3] Effectiveness
[4] Data Envelopment Analysis (DEA)
[5] Malmquist Index

مورد محاسبه قرار گرفته و سپس، بهره‌وری انرژی صنایع به روش مالم‌کوییست محاسبه خواهد شد. در مرحله دوم، عوامل موثر با روش اثرات ثابت و گشتاورهای تعمیم‌یافته ارزیابی خواهند شد. برای دست‌یابی به این هدف، پس از مقدمه، ادبیات پژوهش مرور می‌شود؛ در بخش سوم، روش بیان شده و در بخش چهارم، یافته‌ها عرضه می‌شود و بخش پایانی به نتیجه‌گیری و پیشنهادها اختصاص یافته است.

۲. مروری بر ادبیات

ایران دارای منابع بزرگ انرژی است. در حال حاضر، بیش از ۸۵ میدان نفتی کشف شده در کشور وجود دارد و از لحاظ ذخایر گازی، دومین مقام را در میان کشورهای جهان دارد. ذخایر گازی ایران در حدود ٢٦١٦ تریلیون مترمکعب تخمین زده شده است. منابع دیگر انرژی مانند زغال‌سنگ نیز در کشور به میزان قابل توجهی وجود دارد.

روند موجود رشد بی‌رویه مصرف انرژی در کشور، ایران را از یک کشور صادرکننده انرژی به یک کشور واردکننده تا قبل از افق ١٤٠٤ تبدیل خواهد کرد. برای مقابله با این تهدید، اجرای راهکارهای بهینه‌سازی انرژی و اصلاح الگوی مصرف انرژی ضروری است؛ با اجرای برنامه‌های مناسب و علمی، حضور ایران در بازارهای بین‌المللی انرژی برای بلندمدت تضمین خواهد شد (تولایی و علیرضایی، ۱۳۸۷). ایجاد امنیت انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست و اثر متقابل انرژی – اقتصاد از دیگر مزایای اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی است.

پس از انقلاب صنعتی، استفاده وسیع از سوخت‌های فسیلی جواب‌گوی گسترش بازارهای تجاری در سراسر جهان را نداشت؛ بنابراین، تلاش برای کشف و بهره‌برداری از دیگر منابع انرژی آغاز شد. تصویر کلی مصرف انرژی در آینده نیز حاکی از استفاده روزافزون تقریباً همه شکل‌های انرژی است که در آن، سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ همچنان جایگاه برجسته‌ای خواهند داشت.

با توجه به نقش حیاتی انرژی برای جوامع بشری و نقش تأثیرگذار انرژی در پیشرفت و توسعه پایدار کشورها، امروزه استفاده بهینه از منابع انرژی برای رفع نیازهای جامعه انسانی

نیازمند روی‌آوری به مدیریت انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن است. بدین منظور، باید صنایع انرژی‌بر و میزان مصرف بهینه انرژی با مجموعه اقدامات برای بهره‌وری انرژی شناسایی شود.

کارایی مصرف نهایی انرژی، میزان محصولی است که به ازای هر واحد انرژی مصرفی در یک سیستم تولیدی یا خدماتی حاصل می‌شود (حیدری و صادقی، ۱۳۸۳) و با نسبت ستاده مفید به داده انرژی نشان داده می‌شود. می‌توان گفت، منظور از کارایی انرژی کارایی تحقق‌یافته انرژی یا همان بهره‌وری جزئی انرژی است. در ادبیات بهره‌وری، شاخص‌های بهره‌وری جزئی از تقسیم ارزش افزوده بر مقدار یک نهاده معین به دست می‌آید؛ بنابراین، کارایی انرژی از نسبت ارزش افزوده به مقدار انرژی مصرفی حاصل می‌شود که در مطالعات تجربی گاه از آن به عنوان «شاخص شدت انرژی»[1] نیز یاد می‌شود. شدت انرژی نشان می‌دهد برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات چه میزان انرژی به کار رفته است و عکس کارایی انرژی است.

به طور کلی، مصرف انرژی در بخش صنعت به سطح فعالیت‌های اقتصادی و کارایی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی بستگی دارد. هر چه سطح فعالیت‌های اقتصادی بالاتر رود، مصرف انرژی افزایش می‌یابد؛ اما می‌توان با استفاده از فنّاوری‌های پیشرفته و افزایش کارایی تجهیزات و وسایل مصرف‌کننده انرژی، مصرف انرژی در این بخش را کاهش داد. البته ممکن است وجود اثر بازگشت مانع از تأثیر مثبت پیشرفت فنّاوری بر کارایی گردد. «اثر بازگشت» به رفتارها و واکنش‌هایی گفته می‌شود که نسبت به پیشرفت فنّاوری و افزایش کارایی انرژی به وجود می‌آید و سبب می‌شود تا نتوان به طور کامل به هدف موردنظر دسترسی پیدا کرد. به بیان دیگر، وجود اثر بازگشت موجب می‌شود آن مقدار از مصرف انرژی که با افزایش کارایی انرژی کاهش می‌یابد؛ کم‌تر از آن مقداری باشد که انتظار می‌رود، کاهش یابد.

با پیشرفت تکنولوژی و افزایش کارایی انرژی، هزینه خدمات حاصل از انرژی کاهش می‌یابد؛ زیرا وسایل و تجهیزاتی که با استفاده از انرژی (به عنوان نهاده تولیدی) خدماتی را به مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهند؛ هر واحد از خدمات انرژی را با مصرف انرژی

[1] Energy Intensity Indicator

کم‌تـری آمـاده مـی‌کننـد و در نتیجـه، هزینـه پرداختـی مصرف‌کنندگان به ازای هر واحد از خـدمات حاصـل از انـرژی (قیمـت خـدمات انـرژی) کـاهش می‌یابد. با کاهش قیمت خدمات انرژی، تقاضا برای انرژی زیاد می‌شود و در نتیجه، مصرف انـرژی افزایش می‌یابد.

از سوی دیگر، با کاهش قیمت خـدمات انـرژی، درآمـد واقعـی مصـرف‌کننـدگان افزایش می‌یابد و تقاضا بـرای سـایر کالاهـا و خـدمات بـالا مـی‌رود. از آنجـا کـه ممکـن اسـت مصرف سایر کالاها با مصرف انرژی همراه باشد، مقداری از انرژی بالقوه، بدین ترتیب بـه چرخه مصرف بازمی‌گردد. لـذا، اثـر بازگشـت بـه دلیـل اثـرات قیمتـی و درآمـدی کـاهش قیمـت خدمات انرژی بر مصرف کالاها و خدمات به وجود می‌آید (شرزه‌ای و ابراهیم‌زادگان، ١٣٩٠).

از سوی دیگر، در کشورهای غنی از منابع طبیعی، فراوانی این منابع، احساس کـاذبی از اطمینـان را به وجود می‌آورد. یـک بخـش اولیـه در حال توسعه، نیازی به نیروی کار با مهارت بالا نـدارد و هـیچ احساسـی از ضـرورت افـزایش وقـت صرف کردن بر آموزش وجود ندارد. این امر، توسعه آینده بخـش‌هـای دیگـر را کـه بـه کیفیـت آموزشی نیـاز دارنـد، محـدود مـی‌کنـد و همچنـین، سـبب کـاهش گسـترش تکنولـوژی در اقتصـاد می‌شود. از این‌رو، با کاهش بهره‌وری عوامل تولید، میزان استفاده از انرژی در یک سطح مشخص از فعالیت افزایش یافته و بنابراین، کارایی انرژی کاهش می‌یابد (ابراهیمی و همکاران، ١٣٨٧).

مطالعات اولیه بر انباشت سرمایه فیزیکی به عنوان عامل اصلی رشد بهره‌وری متمرکز بوده، اما مطالعات اخیر به محدوده اندوخته دانش، سرمایه انسانی، تحقیق و توسعه و سرمایه اجتماعی بسط یافته‌اند. فرانک[1] (١٩٩٣) دریافت که استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات (فاوا) به افزایش بهره‌وری سرمایه و نیروی کار و در نتیجه، رشد اقتصادی منجر می‌شود. در مقابل، موریسن و برندت[2] (١٩٩٠) دریافتند که فاوا تاثیر منفی بر بهره‌وری نیروی کار داشته و منافع نهایی سرمایه‌گذاری کم‌تر از هزینه نهایی آن است و حاصل این مطالعات تضاد بهره‌وری را نشان می‌دهد که توسط سولو[3] (١٩٥٧) برمبنای اثرات سرمایه‌گذاری رایانه بر بهره‌وری صنایع بنا نهاده شده است. منافع فاوا برای صنایع شامل صرفه‌جویی نهاده‌ها، صرفه‌جویی

[1] Frank
[2] Morrison & Bernadette
[3] Solo

هزینه‌ها، انعطاف‌پذیری و بهبود کیفیت تولید است و فناوری‌های جدید ممکن است موجب کاهش نیروی کار شده و بهبود بهره‌وری نیروی کار ماهر را در پی داشته باشد.

همچنین، می‌تواند انعطاف‌پذیری را در فرایند تولید افزایش داده و بهره‌برداری از اقتصاد به مقیاس را فراهم نماید و نیز منجر به کاهش هزینه‌های ارتباطات شود؛ به گونه‌ای که ارتباطات میان نیروی کار تسهیل شده و هزینه‌های هماهنگی به دلیل کاهش تعداد سرپرستان، کاهش یابد (محمودزاده، ۱۳۹٤).

فاوا به عنوان نهاده در کنار سایر عوامل موجب بهبود فرایند تولید، تعمیق سرمایه، پیشرفت فناوری و کیفیت نیروی کار می‌شود که پیامد ان افزایش ارزش افزوده و بهره‌وری می‌باشد. مطالعات دیگر حاکی از این است که هر چقدر ذخیره تحصیلات تخصصی نیروی کار افزایش یابد، تاثیر مستقیم در بهره‌وری تولید این بخش خواهد داشت.

توکلی و عمادزاده (۱۳۷۵) نشان داده‌اند بین تحصیلات دانشگاهی و بهره‌وری نیروی کار در صنعت، رابطه تنگاتنگی وجود دارد و این رابطه دارای شدت همبستگی ۹۳/۳ درصد می‌باشد. بر اساس گزارش سازمان بهره‌وری آسیایی[1]، شاخص‌های تحقیق و توسعه، جذب سرمایه‌گذاری خارجی، توسعه صادرات، به خصوص صادرات کالاهایی با فناوری بالا از جمله معیارهای مهم به شمار می‌آیند. مقایسه وضعیت شاخص صادرات کالاهایی با فناوری بالا در اقتصاد ایران نشان می‌دهد این شاخص با وجود صعودی بودن در مقایسه با سایر کشورها بسیار پایین می‌باشد. کشورهای موفق در امر صادرات، معمولا از تکنولوژی سطح بالا، مدیریت کارآمد و مقیاس‌های بهینه تولید بهره می‌برند و در مقایسه با سایر کشورها بهره‌وری بالاتری دارند. از طرف دیگر، صادرات از طریق صرفه‌جویی ناشی از مقیاس، بهبود کارایی صادرکنندگان از طریق آموزش به واسطه صادرات، تخصیص مجدد منابع از طرح‌هایی با کارایی کم‌تر به سمت طرح‌هایی با کارایی بیش‌تر در صنعت و پیشرفت فنّی منجر به بهبود شدت انرژی می‌شود. از این‌رو، توجه به صادرات به عنوان عامل موثر بر شدت انرژی در حوزه تجارت جهت دست‌یابی به توسعه اقتصادی و اتخاذ سیاست‌های تجاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

[1] Asian Productivity Organization

از طرف دیگر، با توجه به اهمیت روزافزون انرژی در جهان و ایران و با توجه به وابستگی اقتصاد به درآمدهای نفتی، لزوم مصرف بهینه و همچنین سیاست‌گذاری مناسب جهت توسعه هر چه بیش‌تر کشور و افزایش درآمدهای صادراتی از طریق کاراتر کردن مصرف و تولید امری ضروری است. بنابراین، بهره‌وری انرژی می‌تواند به عنوان یکی از عواملی باشد که با کاهش در منابع مصرفی انرژی حداکثر استفاده از آن صورت گیرد و نیز می‌تواند افزایش عرضه انرژی را در پی داشته باشد.

از سوی دیگر، پاپادوگونز و مایلو ناکیس[1] بیان می‌کنند که بنگاه‌ها با مخارج تحقیق و توسعه بالاتر به احتمال زیاد دارای تکنولوژی تولید پیشرفته‌تری خواهند بود و با توجه به این که استفاده از تکنولوژی پیشرفته، از طریق ایجاد کارایی در تولید موجب به کارگیری کم‌تر نهاده‌ها از جمله انرژی برای تولید هر واحد محصول شده و شدت انرژی را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، انتظار می‌رود که با افزایش مخارج تحقیق و توسعه، شدت انرژی در بنگاه کاهش یابد. در این تحقیق، متغیرهای مورد نظر برای برآورد کارایی انرژی در صنایع تولیدی شامل منابع مصرف انرژی مانند نفت سفید، نفت سیاه، گازوئیل، برق و غیره و ستاده‌ها شامل ارزش محصولات تولیدی سالم و ارزش بازیافتی محصولات ناسالم می‌باشد که در مرحله اول با استفاده از شاخص مالم‌کوییست که یک شاخص مهم برای محاسبه بهره‌وری انرژی است؛ با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها صنایع تولیدی کارا و ناکارا در بخش انرژی مشخص می‌شوند. سپس، خروجی مرحله اول؛ یعنی، بهره‌وری انرژی، در مرحله دوم یک متغیر وابسته می‌باشد که عوامل تاثیرگذار بر آن طی دوره زمانی ده ساله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله نیز با استفاده از رگرسیون خطی پانل دیتا، روند تاثیر این عوامل مورد توجه قرار گرفته تا عوامل مهم و تاثیرگذار شناسایی و نهایتا، تغییرات لازم به منظور افزایش کارایی صنایع ناکارا صورت پذیرد.

نجف‌زاده (۱۳۹۵) در پژوهش خود از رویکرد دو مرحله‌ای استفاده کرده است. نتایج مرحله اول نشان می‌دهد کارایی زیست محیطی صنعت برق کشور طی سال‌های ۱۳۸۳ – ۱۳۸۵ با افت کارایی مواجه بوده است؛ در حالی که بین سال‌های ۱۳۸٦ – ۱۳۸۸ کارایی

[1] Papadogonas & Mylonakis

زیست محیطی روند صعودی داشته و در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۹ (بعد از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی) افت محسوسی داشته است و در سال ۱۳۹۳ با توجه به کاهش کارایی بیش‌تر شرکت‌ها، میانگین کارایی به کم‌ترین مقدار یعنی ٦٥ درصد 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.

سجادی‌فر (١٣٩٤) در پژوهش خود نشان داده است روند تغییرات کارایی هم در ایران و هم سایر کشورهای مورد بررسی نزولی است. محمودزاده، موسوی و پاک‌نهاد (١٣٩٤) در پژوهشی سهم سرمایه فیزیکی، سرمایه فاوا، نیروی کار و سهم بهره‌وری کل از رشد ارزش افزوده صنایع کارخانه‌ای ایران را بر اساس کدهای دو رقمی (ISIC) با دوره زمانی ٨٦-١٣٧٩ به روش حسابداری رشد برآورد کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که سهم سرمایه فیزیکی ٣٦ درصد، سهم نیروی کار ٣٤ درصد، فناوری ٣ درصد و سهم بهره‌وری کل، ٢٧ درصد از رشد است.

دباغ، کوهی، جواهریان و لطیفی (١٣٩٤) در تحقیقی کارایی و بهره‌وری صنایع استان آذربایجان غربی (شامل کدهای دورقمی دربرگیرنده ١٠ گروه تولیدی) در دوره زمانی ١٣٨٩-١٣٨١، براساس آخرین اطلاعات موجود را اندازه‌گیری کردند. آنها محاسبات کارایی و بهره‌وری را با دو روش پارامتریک (اقتصادسنجی)[1] و روش ناپارامتریک (تحلیل پوششی داده‌ها) (DEA)[2] با استفاده از داده‌های تابلویی انجام دادند. نتایج بررسی و تجزیه و تحلیل نشانگر آن بود که علاوه بر پایین بودن میزان کارایی در اکثر زیرگروه‌های بخش صنعت، رشد آن نیز بسیار کم بوده است. همچنین، تغییرات کارایی در طول سال‌های مورد بررسی دارای نوسانات بسیار شدیدی بوده - است. از دیگر نتایج این تحقیق تایید این نکته است که رتبه‌بندی با استفاده از دو رویکرد مورد مطالعه، تابع تولید کاب - داگلاس در تحلیل مرزی تصادفی (SFA)[3] و رویکرد چارلز- کوپر - رودز (CCR)[4] در (DEA) نتایج تقریبا یکسانی را به دست می‌دهد.

[1] Econometrics
[2] Data Envelopment Analysis
[3] Stochastic Frontier Analysis
[4] Charles-Cooper-Rodes

حکیمی‌پور، عوضعلی‌پور و قائمی (۱۳۹۱) در یک مطالعه تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولیدی صنایع بزرگ در استان‌های ایران را با استفاده از شاخص مالم‌کوییست اندازه‌گیری کرده‌اند. آنها تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولیدی را نسبت به تغییرات کارایی و تکنولوژیکی در صنایع بزرگ استان‌های کشور تفکیک و محاسبه نمودند. یافته‌ها نشان می‌دهد متوسط تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولیدی ۵ درصد بوده و این در حالی است که متوسط تغییرات کارایی فنی ۰/۸ درصد کاهش و متوسط تغییرات تکنولوژیکی ۵/۸ درصد افزایش یافته است. اوه و لی[1] (۲۰۱٦) رشد TFP صنایع تولیدی کره را در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۱ تجزیه و دریافتند نرخ رشد متوسط (TFP) حدود ۰/۳۳ درصد بوده که اثرات مقیاس عامل اصلی و بیش‌ترین عامل موثر در رشد بهره‌وری عوامل تولید بوده است.

چن، کوئن و جیان[2](۲۰۱۸) با استفاده از تحلیل اقتصادسنجی فضایی برای ۲٤۸ شهر کشور چین در دوره ۲۰۱٤-۲۰۱۰ دریافته‌اند روند بهره‌وری انرژی نزولی بوده است که دلیل آن را تغییرات کارایی فنی و کارایی تکنولوژیکی دانسته‌اند.

هریس و موفات[3](۲۰۱۵) به تبیین بهره‌وری کل عوامل تولید در صنایع انگلستان پرداختند. آنها نشان دادند عمر بنگاه با رشد بهره‌وری رابطه عکس دارد. همچنین، خلق دانش مهم‌ترین عامل رشد بهره‌وری کل عوامل صنایع تولیدی انگلستان است.

بالتاجی، اگر و کسینا[4](۲۰۱۵) منابع سرریز بهره‌وری در صنعت برق چین را با استفاده از روش داده‌های پانل دیتا برای ۲۵۳٦۰ بنگاه مشاهده شده برای دوره ۲۰۰۸-۲۰۰٤ انجام داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد سرریزهای شرکت‌های صادراتی از شرکت‌های غیرصادراتی قوی‌تر هستند.

مارتینز[5] (۲۰۰۹) پیشرفت کارایی انرژی برای بخش‌های دارای شدت انرژی پایین دو کشور آلمان و کلمبیا (برای دوره زمانی ۲۰۰۵- ۱۹۹۸) را با استفاده از روش تحلیل پوششی، مورد بررسی قرار داده است. نتایج این بررسی نشان داد تغییر قابل توجهی در عملکرد کارایی

[1] Oh & Lee
[2] Chen, Kuen & Jian
[3] Harris & Moffat
[4] Baltagi, Egger & Kesina
[5] Martinez

انرژی در این بخش‌ها برای هر دو کشور صورت گرفته است. مقایسه نتایج کلی مدل نشان داد که معیار کارایی انرژی در این بخش‌ها، برای هر دو کشور شبیه به هم است.

سابوج[1]، مندل[2] و مدیسوران[3] (۲۰۰۹) در تحقیق خود، کارایی مصرف انرژی با در نظر گرفتن تولید نامطلوب در صنعت سیمان هند (دوره مورد مطالعه ۱- ۲۰۰۰ تا ۵-۲۰۰٤) را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد کارایی انرژی در صنعت سیمان در سال ۲۰۰۱-۲۰۰۲ نسبت به بقیه دوره‌ها پایین‌ترین کارایی را داشته است. همچنین، کارایی انرژی در پایان دوره نسبت به ابتدای دوره با کاهش همراه بوده است.

موخرجی[4] (۲۰۰۸) روش تحلیل پوششی داده‌ها را برای محاسبه کارایی انرژی در بخش تولید کشور آمریکا به کار گرفت. وی دریافت بخش محصولات همگن نسبت به سایر بخش‌های تولید دارای کارایی انرژی بالاتری است. گروک[5] (۲۰۰۸) روش تحلیل پوششی را برای سنجش بهبود کارایی انرژی در مناطق مسکونی ایالت متحده (دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۹۷) به کار گرفت. نتایج یک بهبود اندک اما معنادار را در فاصله زمانی مطالعه شده نشان داد که اساس این بهبود در زمینه مصرف گازهای طبیعی و سوخت‌های نفتی صورت گرفته بود.

دیوزکین، ارکات و دیوزکین[6] (۲۰۰۷) در مقاله‌ای با در نظرگرفتن ٤۸۰ واحد صنعتی در ۱۲ گروه مختلف در اقتصاد ترکیه در سال ۲۰۰۳ نمرات کارایی نسبی واحدهای یاد شده را از طریق روش تحلیل پوششی برآورد کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد در این مجموعه ۷۵ واحد روی مرز کارایی واقع شده‌اند و در حدود ٦۰ درصد واحدها نیز کارایی نسبی کم‌تر از ۱۰ درصد داشته‌اند.

نوآوری مقاله نسبت به مطالعات دیگر این است که در پژوهش‌های اقتصادی، شاخصی از قبیل میزان تولید به مصرف انرژی به عنوان شاخص بهره‌وری انرژی در نظر گرفته می‌شود و سپس، اثر یک سری از عوامل بر آن ارزیابی می‌شود. اشکال عمده این روش این است که بخش کارایی و ناکارایی ادغام می‌شود و دچار خطای تجمیع است؛ در صورتی که در این مقاله

[1] Sabuj
[2] Mandel
[3] Madheswaran
[4] Mukherjee
[5] Grosche
[6] Duzakin & Duzakin

ابتدا به روش تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی محاسبه و سپس، میزان ناکارایی برآورد می‌شود. این روش برای تمامی سال‌ها انجام می‌شود و سپس، اثر عوامل شناسایی شده به روش نظری و تجربی بر میزان ناکارایی ارزیابی و مورد آزمون قرار می‌گیرد؛ بنابراین، نتایج به دور از خطای تجمیع خواهد بود. همچنین، در برخی از مطالعات، کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه شده؛ اما، علل مؤثر بر کاهش ناکارایی ارزیابی نشده است؛ بر همین اساس، خروجی سایر مطالعات، صرفاً، بخش نخست و ورودی مرحله دوم این مقاله را دربر می‌گیرد؛ افزون بر این، غیر از محاسبه کارایی و تحلیل روند آن، عوامل اقتصادی و مدیریتی مؤثر بر ناکارایی نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳. روش تحقیق

این تحقیق از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، تحلیلی - توصیفی است. جامعه آماری شامل ١٣٤ صنعت تولیدی است. گردآوری اطلاعات با مراجعه به اسناد و مدارک و عمدتا از سایت مرکز آمار ایران صورت پذیرفته است. نحوه اندازه‌گیری متغیرهای وابسته و مستقل به شرح زیر است.

متغیر وابسته: شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست (MPI)[1]

شاخص مالم‌کوئیست از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای تشکیل تابع تولید مرزی خطی شکسته استفاده می‌کند. این شاخص با استفاده از توابع مسافت معرفی می‌گردد؛ به طوری که تابع مسافت عامل تولید، تکنولوژی تولید را به وسیله حداقل‌سازی بردار عامل تولید و با در نظر گرفتن بردار محصول داده شده، مشخص نموده و تابع مسافت محصول به مسئله بهینه‌یابی با حداکثرسازی بردار محصول بر اساس بردار عامل تولید داده شده، توجه می‌کند. تکنولوژی تولید با استفاده از مجموعه محصولات P(X) به عنوان نماینده کلیه بردارهای محصول Y که به وسیله بردار عوامل تولید X قابل تولید می‌باشند؛ تعریف می‌شود؛ یعنی:

$P(X) = \{Y : X \text{ می‌تواند } Y \text{ را تولید کند}\}$

تابع مسافت محصول با استفاده از مجموعه محصولات P(X) به صورت زیر تعریف می‌شود:

[1] Malmquist Productivity Index

$$d_o(X,Y) = \min\{\partial : \frac{y}{\partial} \in P(X)\}$$

اگر بردار محصول Y جزیی از مجموعه تولید P(X) باشد؛ تابع مسافت صفر، کوچک‌تر یا مساوی یک خواهد بود. تابع مسافت در صورتی که Y بر مرز مجموعه تولید (منحنی امکانات تولید) باشد؛ معادل یک خواهد بود.

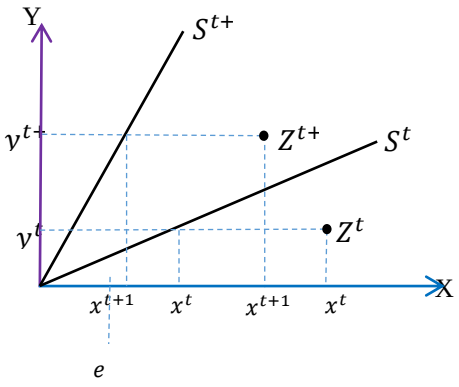
در نمودار (۱) رابطه بین ستاده (y) و نهاده (x) نمایش داده شده است تا مفهوم شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست (MPI) تبیین شود. مرزهای فناوری برای دو دوره t و t+۱ به وسیله خطوط s^t و s^{t+1} نشان داده شده‌اند که (MPI) فاصله نسبت داده به ستاده بنگاه را بین مرزهای فناوری اندازه‌گیری می‌کند.

برای مثال، کارایی نسبی تولید یک بنگاه با مقدار نهاده b و تولید y^t به وسیله تابع فاصله $D^t(y^t, x^t) = oa/ob$ نشان داده می‌شود. به طور مشابه، در دوره t+1، بنگاه در نقطه z^{t+1} نیز ناکاراست؛ برای اینکه کارا باشد باید مقدار نهاده c را به کار بگیرد. در واقع، شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست میانگین هندسی دو شاخص فناوری در دوره‌های t و t+1 می‌باشد. بنابرین، با توجه به رویکرد فار و همکاران[1] (۱۹۹٤) شاخص (MPI) برای صنایع تولیدی ایران بر اساس بازدهی مقیاس ثابت به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$MPI = \frac{D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^t(y^t, x^t)} \times \left[\frac{D^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^{t+1}(y^{t+1}, x^{t+1})} \times \frac{D^t(y^t, x^t)}{D^{t+1}(y^t, x^t)}\right]^{1/2} \quad \text{مدل (۱)}$$

جمله نخست سمت راست معادله (۱) تولید ناشی از پیشرفت کارایی فنّی و جمله دوم سمت راست نیز تولید ناشی از بهبود تکنولوژیکی می‌باشد. مقدار (MPI) بزرگ‌تر از یک به معنای رشد مثبت بهره‌وری انرژی و مقدار کم‌تر از یک بیانگر رشد منفی بهره‌وری انرژی می‌باشد. برای محاسبه شاخص (MPI) و براساس هزینه‌های منابع مصرف انرژی مانند نفت سفید، نفت سیاه، گازوئیل، برق و غیره به عنوان نهاده در نظر گرفته می‌شوند. در مقابل، ستاده‌ها شامل ارزش فروش محصولات و ارزش فروش محصولات ناسالم می‌باشد.

[1] Fare et al



نمودار ۱. شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست

منبع: فار و همکاران (۲۰۰٤)

با استفاده از نمودار و معادله (۱)، تفسیر تغییرات کارایی فنی و تغییرات تکنولوژیکی به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{تغییرات کارایی} = \frac{\frac{d}{c}}{\frac{b}{a}} \qquad \text{تغییرات تکنولوژیکی} = \left[\frac{\frac{d}{e}}{\frac{d}{c}} \times \frac{\frac{b}{a}}{\frac{b}{e}}\right]^{\frac{1}{2}}$$

بنابراین، در عمل لازم است برای هر بنگاه و در هر زمان چهار تابع مسافت محاسبه شود که از طریق برنامه‌ریزی خطی انجام می‌شود.

بر اساس الگوی نظری و مطالعات تجربی، مراحل زیر برای ارزیابی عوامل موثر بر بهره‌وری کل انرژی در صنایع تولیدی انجام شده است.

الف) محاسبه کارایی انرژی صنایع تولیدی: بدین منظور ابتدا ورودی‌ها و خروجی‌ها بر اساس الگوی نظری شناسایی و به روش تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی انرژی صنایع تولیدی محاسبه شده است و سپس، بهره‌وری انرژی صنایع به روش مالم‌کوییست محاسبه شده است.

ب) الگوی اقتصادسنجی برای ارزیابی عوامل موثر بر بهره‌وری انرژی به شرح زیر می‌باشد.

مدل (۲)

$$MPI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1\, Edu_{it} + \alpha_2\, Skill_{it} + \alpha_3\, ICT_{it} + \alpha_4\, RD_{it} + \alpha_5\ K_{it} + \ \alpha_6\ ME_{it} + \alpha_7\ EX_{it} + \ \alpha_8\ T + \ U_{it}$$

که Edu نشان‌دهنده تحصیلات با شاخص نسبت شاغلان دارای تحصیلات عالی به کل شاغلان؛ Skill بیانگر مهارت با شاخص نسبت شاغلان ماهر به کل شاغلان؛ ICT شدت فناوری اطلاعات و ارتباطات با شاخص نسبت مخارج فناوری اطلاعات و ارتباطات به کل ارزش افزوده؛ RD شدت تحقیق و توسعه با شاخص نسبت مخارج تحقیق و توسعه به کل ارزش افزوده؛ K شدت سرمایه با شاخص نسبت مخارج سرمایه فیزیکی ثابت به کل ارزش افزوده؛ ME شدت ماشین‌آلات و تجهیزات با شاخص نسبت مخارج ماشین‌آلات و تجهیزات به کل ارزش افزوده؛ EX شدت صادرات با شاخص نسبت ارزش صادرات به کل ارزش افزوده؛ t نیز بیانگر زمان بوده و نشانگر پیشرفت تکنولوژیکی بوده و u نیز جمله خطا می‌باشد.

البته با توجه به مطالعات نظری و تجربی متغیرهای تاثیرگذار زیادی بر بهره‌وری انرژی وجود دارد که از بین آنها تعدادی از متغیرهای مهم بر اساس نظرات صاحب‌نظران و اساتید راهنما و مشاور انتخاب شده است.

٤. یافته‌های پژوهش

در جدول (۱) توصیف آماری متغیرهای مستقل و کنترل ارایه گردیده است. در میان متغیرهای مستقل، تنها دو متغیر تحصیلات و شدت ماشین‌آلات و تجهیزات در دوره مورد بررسی از رشد مثبت برخوردار بوده‌اند؛ در حالی که پنج متغیر دیگر رشد منفی را تجربه نموده‌اند. با توجه به شاخص تحصیلات که از نسبت شاغلان دارای تحصیلات عالی به کل شاغلان استفاده شده، به نظر می‌رسد صنایع تولیدی توجه ویژه‌ای به سرمایه‌گذاری در نیروی کار دارای تحصیلات دانشگاهی در فرایند تولید داشته‌اند؛ اما، بنگاه‌های صنعتی در خصوص به کارگیری نیروی کار ماهر، فناوری اطلاعات و ارتباطات و تحقیق و توسعه عملکرد چندان مطلوبی نداشته‌اند.

جدول ١. توصیف آماری متغیرهای مستقل (٩٣-١٣٨٥)

متغیر	تحصیلات Edu	مهارت Skill	شدت فاوا ICT	شدت تحقیق و توسعه R&D	شدت سرمایه k	شدت صادرات Ex	شدت ماشین‌آلات و تجهیزات M&E
میانگین	٠/٠٥	-٠/٠١	-٠/٠٣	-٠/٠٢	-٠/٢١	-٠/٣٤	٠/٠٢
انحراف معیار	٠/٢٥	٠/٢٢	٠/٧١	١/١	٠/٤٩	١/٣٧	١/٣
حداکثر	٢/١٤	١/٨٧	٣/٤٧	٨/٢٢	٣/٤٧	٤/٤٧	٦/٢٩
حداقل	-٢/٧٤	-٢/٢٣	-٤/٥٩	-٨/٥	-٣/٥٤	-٩/١٢	-٦/٢١
تعداد مشاهدات	١٠٧٠	١٠٧٠	١٠٧٠	١٠٧٠	١٠٧٠	١٠٧٠	١٠٧٠

منبع: مرکز آمار ایران و محاسبات مقاله؛ تمامی متغیرها به صورت نرخ رشد هستند.

٤-١. برآورد بهره‌وری کل انرژی

در جدول (٢) تغییرات بهره‌وری کل (MPI) و اجزای آن برای ١٣٤ صنعت تولیدی برای سال‌های ١٣٨٥ - ١٣٩٤ ارایه شده است. پیش‌تر بیان شد اگر مقدار شاخص (MPI) بیش‌تر از یک باشد؛ نشان از رشد مثبت بهره‌وری کل است. میانگین شاخص در دوره مورد بررسی برای صنایع تولیدی بیش‌تر از یک بوده که بیانگر افزایش بهره‌وری کل صنایع تولیدی در دوره یاد شده است. در این میان، تنها در سال ١٣٨٩ بهره‌وری کل صنایع با کاهش مواجه بوده؛ اما در سایر سال‌ها افزایش بهره‌وری رخ داده است. از میان دو عامل پیشران رشد بهره‌وری کل، پیشرفت تکنولوژیکی نقش اصلی را در این افزایش در مقایسه با تغییر کارایی فنّی ایفا می‌کند.

با نگاهی به نتایج این دو شاخص برای صنایع تولیدی ملاحظه می‌شود که در دوره ١٣٩٤-١٣٨٥ تمامی صنایع تولیدی رشد مثبت پیشرفت تکنولوژیکی را تجربه نموده‌اند؛ اما، همگی از کارایی فنّی برخوردار نبوده‌اند؛ به عبارت دیگر، اگرچه پیشرفت تکنولوژیکی به رشد بهره‌وری کل صنایع تولیدی کمک کرده است؛ اما، کارایی فنّی، این اثر را خنثی کرده است.

هدف اصلی این مقاله ارزیابی عوامل موثر بر رشد بهره‌وری کل صنایع تولیدی ایران در دوره ٩٤-١٣٨٥ است. بدین منظور ابتدا شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست (MPI) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برآورد شد. برای برآورد مدل (٢) از روش داده‌های

تابلویی استفاده می‌شود. در این روش برای انتخاب بین روش حداقل مربعات تلفیقی[1](PLS) و اثرات ثابت[2](FE) از آزمون «F مقید»[3] و برای انتخاب بین روش اثرات ثابت و اثرات تصادفی[4](RE)، از آزمون «هاسمن»[5] استفاده شده است. نتایج آزمون‌ها حاکی از آن است که روش مناسب اثرات ثابت (FE) می‌باشد. افزون بر این، برای کنترل مساله درون‌زایی و هم‌زمانی از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) بهره گرفته می‌شود. برآوردگر (GMM) تلفیقی پویا دو ویژگی مهم دارد؛ نخست، این تخمین می‌تواند خطای اندازه‌گیری را در مقایسه با رگرسیون‌های مقطعی کنترل نماید؛ دوم، (GMM) تلفیقی پویا حتی اگر متغیرهای توضیحی درون‌زا باشند، باز هم یک برآوردگر سازگار خواهد بود.

جدول ۲. تجزیه شاخص تغییر بهره‌وری کل (MPI) برای ۱۳٤ صنعت تولیدی (متوسط تغییر سالانه)

سال	تغییر بهره‌وری کل (MPI)	تغییر کارایی فنی (TE)	پیشرفت تکنولوژیکی (TP)
۱۳۸۵	۱/۳۵	۰/۲۸	٤/۸۳
۱۳۸٦	۱/٤۱	۰/۳۰	٤/٦۷
۱۳۸۷	۱/۲۱	۰/۲۹	٤/۱٤
۱۳۸۸	۱/۲٤	۰/۲۸	٤/٤۹
۱۳۸۹	۰/۹٦	۰/۳۳	۲/۸٤
۱۳۹۰	۱/۱۸	۰/۲۱	۵/۷۱
۱۳۹۱	۱/٤۲	۰/۲۰	۷/۲۸
۱۳۹۲	۱/۳۵	۰/۱۷	۸/۰۲
۱۳۹۳	۱/٦۰	۰/۲۱	۷/٦٤
۱۳۹٤	۰/۸٦	۰/۲۲	۳/۸۹
میانگین	۱/۳۰	۰/۲۵	۵/۰۵

منبع: یافته‌های پژوهش

[1] Pooled Least Squares
[2] Fixed Effects
[3] Restricted F Test
[4] Random Effects
[5] Hausman Test

سازگاری تخمین‌زننده‌های (GMM) به معتبر بودن ابزارها و عدم وجود همبستگی سریالی جملات اخلال بستگی دارد. بدین منظور، آرلانو و باور (١٩٩٥) آزمون «سارگان»[1] را برای معتبر بودن ابزارها و بلوندل[2] و باند (١٩٩٨) آزمون خودهم‌بستگی مرتبه نخست AR(1) و آزمون خودهم‌بستگی مرتبه دوم AR(2) را برای همبستگی سریالی جملات خطا ارایه کردند.

عدم فرضیه صفر آزمون‌ها دال بر معتبر بودن ابزارها و عدم وجود همبستگی سریالی خواهد بود. در واقع، آماره سارگان را می‌توان برای مدل‌های سری زمانی و مقطعی که از متغیر ابزاری استفاده می‌کند، به کار برد؛ اما، هنگامی که از داده‌های پانل استفاده می‌شود، می‌توان از این آماره برای آزمون «درون‌زایی» متغیرهای توضیحی استفاده کرد. آزمون فرضیات «بیش از حد مشخص بودن»[3] در داده‌های پانل از اهمیت کم‌تری برخوردار است؛ زیرا وجود متغیرهای توضیحی متغیر در زمان در دوره‌های مختلف زمانی خود به طور بالقوه ابزار می‌باشند. به عبارت دیگر، محدودیت بیش از حد مشخص بودن به طور خودکار در مدل‌های داده‌های پانل ایجاد می‌شود (سارگان، ١٩٧٥ و بارگاوا[4]، ١٩٩١). نتایج برآورد گشتاورهای تعمیم‌یافته و اثرات ثابت مدل (١) در جدول (٣) ارائه شده است.

جدول ٣. نتایج برآورد عوامل موثر بر تغییرات بهره‌وری کل

متغیر	مدل ١ روش برآورد: گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM)	مدل ٢ روش برآورد اثرات ثابت (EE)
عرض از مبداء	---	٠/٩٩*
بهره وری انرژی با یک وقفه	-٠/٢*	---
تحصیلات	٠/٠٤	٠/٠٢
مهارت	٠/٥٧*	٠/٤٣*
شدت فاوا	٠/١*	٠/١*

[1] Sargan
[2] Blundell
[3] Over-Identifying
[4] Bharagava

متغیر	مدل ۱ روش برآورد: گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM)	مدل ۲ روش برآورد اثرات ثابت (EE)
شدت تحقیق و توسعه	۰/۰۷*	۰/۰٤***
شدت سرمایه فیزیکی	-۰/۲۷*	-۰/۲٦*
شدت ماشین آلات و تجهیزات	-۰/۰۳**	-۰/۰٤***
شدت صادرات	۰/۰۲*	۰/۰٤**
زمان	۰/۰٤*	۰/۰۳**
ضریب تعیین تعدیل شده	---	۰/۲۲
آماره F	---	۱/۷*
آماره F لیمر	---	۱/٤٤*
آماره هاسمن	---	۱۹/٦۷*
آماره سارگان	۷۸/۰٦*	---
AR(1)	-۳/٦٤*	---
AR(2)	-۲/٤٤*	---
تعداد مشاهدات	۸۲۲	۹۵۰

منبع: یافته‌های پژوهش (تمامی متغیرها نرخ رشد هستند؛ *، ** و *** به ترتیب معنادار در سطح ۱و۵ و ۱۰ درصد)

جدول (۳) نشان می‌دهد تحصیلات تاثیر مثبت و معنادار بر بهره‌وری انرژی ندارد، بدان معنا که به کارگیری نیروی کار دارای تحصیلات لزوما موجب افزایش بهره‌وری انرژی نمی‌شود که این موضوع از طریق «نظریه سرند»[1] بحث‌های سرمایه انسانی قابل توجیه است.

سطح مهارت تاثیر مثبت و معنادار بر بهره‌وری انرژی دارد. یک درصد تغییر در مهارت بین ۰/۵۷-۰/٤۳ درصد بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشد. این ضریب در سطح ۹۵ درصد اطمینان معنادار می‌باشد. استفاده از تجهیزات فاوا دارای دو اثر می‌باشد. با افزایش به کارگیری تجهیزات فاوا، مصرف انرژی به ویژه برق افزایش می‌یابد؛ زیرا به کارگیری تجهیزات سخت افزاری، نرم‌افزاری و ارتباطات نیازمند برق می‌باشد (اثر درآمدی). از طرف دیگر، استفاده از

[1] Screen Theory: اساس این نظریه، کارفرما نیروهای انسانی را بر اساس مدارک عالی جذب و به کار می‌گیرد که لزوما دارای دانش لازم نمی‌باشند.

فاوا و شبکه‌های الکترونیکی، نیاز به انرژی را کاهش می‌دهد (اثر جانشینی). در مراحل اولیه استفاده از فاوا معمولا اثر درآمدی بر اثر جانشینی غلبه دارد و این اثر منفی است. بدیهی است با گسترش کاربردهای فاوا اثر جانشینی تقویت و صرفه‌جویی نیز بیش‌تر می‌شود. این اتفاق در مراحل رشد و بلوغ رخ می‌دهد.

اثر مثبت شدت فاوا نشان می‌دهد صنایع تولیدی به اندازه کافی از فاوا استفاده می‌کنند. با گذشت زمان صنایع تولیدی به استفاده از مزایای فاوا روی می‌آورند. به عبارت دیگر، با گسترش اندازه شبکه کاربردی فاوا انتظار می‌رود تاثیر آن بر بهره‌وری انرژی مثبت شود. اثرگذاری تحقیق و توسعه همانند الگوهای تکنولوژی است. در ابتدا هزینه‌های تحقیق و توسعه بالاست و هزینه‌های صنایع تولیدی را افزایش می‌دهد. با گذشت زمان و معرفی نوآوری‌ها و محصولات جدید ارزش افزوده صنایع افزایش یافته و درآمدهای ناشی از تحقیق و توسعه بر هزینه‌ها غلبه می‌کند. در این حالت، شدت تحقیق و توسعه بر بهره‌وری اثر مثبت دارد. نتایج نشان می‌دهد اثر تحقیق و توسعه بر بهره‌وری صنایع مثبت و معنادار است. بدین معنا که هزینه‌های تحقیق و توسعه به بهبود تکنولوژی و سایر نوآوری‌ها در این صنایع کمک نموده و در فرایند خلق ارزش افزوده صنایع نقش مهمی ایفا می‌کند.

به کارگیری سرمایه در صنایع تولیدی از الگوی سه مرحله تولید پیروی می‌کند. ابتدا استفاده از سرمایه، بهره‌وری صنایع را افزایش می‌دهد؛ سپس با تراکم سرمایه، بر اساس اصل بازده نزولی موجب کاهش بهره‌وری می‌شود. ضریب منفی شدت سرمایه فیزیکی بدین معنا است که اول، هزینه‌های تامین سرمایه به شدت بالا بوده و دوم، تراکم سرمایه دچار بازده نزولی است. شدت ماشین الات و تجهیزات عبارت است از نسبت هزینه‌های تجهیزات و ماشین‌آلات به ارزش افزوده. این ضریب حدود ٠/٠٤- بوده و در سطح ٩٩ درصد معنادار است؛ بدین معنا که با افزایش هزینه‌های ماشین‌آلات و تجهیزات نسبت به ارزش افزوده، بهره‌وری انرژی کاهش یافته است. برای نمونه، اگر صنایع تولیدی برای ایجاد یک ریال ارزش افزوده، دو ریال برای ماشین‌آلات و تجهیزات هزینه می‌کردند؛ در حال حاضر، برای ایجاد همان ارزش افزوده مجبور به پرداخت هزینه‌های بیش‌تر برای ماشین‌آلات و تجهیزات هستند.

این اتفاق، بهره‌وری صنایع تولیدی را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، ضریب به دست آمده با الگوی نظری مطابقت دارد. شدت صادرات تاثیر مثبت و معنادار برتغییر بهره‌وری کل انرژی

دارد. صنایع صادرات‌محور برای حفظ جایگاه جهانی و حفظ بازارهای هدف مجبورند از فناوری‌های جدید بهره‌برداری کنند تا بتوانند با کنترل هزینه‌های تولید، مزیت نسبی خود را حفظ کنند. به طور کلی، صادرات زمانی شکل می‌گیرد که صنایع از مزیت نسبی برخوردارند و برای حفظ سهم بازار خود تلاش می‌کنند، خود را به‌روز نگه دارند.

روند زمانی، تقریبی برای تکنولوژی محسوب می‌شود و برای اندازه‌گیری اثر تکنولوژی بر بهبود بهره‌وری، روند زمانی (۱۳۸۵-۱۳۹٤) وارد مدل شده است. نتایج نشان می‌دهد طی دوره مورد مطالعه، به طور متوسط، بهره‌وری انرژی ۰/۰٤ واحد بهبود یافته است. این اثر از نظر آماری معنادار است. زمان همراه با تغییرات فناوری است و این تغییرات در فرایند تولید به بهبود بهره‌وری کمک می‌کند.

به طور کلی، فناوری‌ها به سه صورت کارافزا، سرمایه‌افزا و خنثی متجلی می‌شوند. تکنولوژی کارافزا موجب بهبود بهره‌وری نیروی کار می‌شود و توان‌مندی نیروی کار را بهبود می‌بخشد. تکنولوژی سرمایه‌افزا باعث افزایش خدمت سرمایه می‌شود و میزان خدمت‌دهی سرمایه را افزایش می‌دهد. تکنولوژی خنثی با سطح سرمایه و نیروی کار قبلی، سطح تولید را افزایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد متغیر زمان توانسته بر بهره‌وری کل انرژی اثرگذار باشد و سطح کیفی صنایع را بهبود بخشد. با توجه به مقدار ضریب تعیین تعدیل شده می‌توان گفت تاثیر واقعی یک واحد تغییر در همه متغیرهای مستقل بر بهره‌وری کل انرژی ۰/۲۲ است.

نتایج تمامی آزمون‌های خودهمبستگی مرتبه اول و دوم یعنی AR(1) و AR(2) نشان‌دهنده عدم وجود خودهمبستگی سریالی اجزاء اخلال است. همچنین، نتایج آزمون سارگان حاکی از آن است که ابزارهای در نظر گرفته شده، معتبر بوده و از این نظر، تخمین‌ها دارای تورش نیست. در واقع، با استفاده از این آزمون می‌توان گفت حتی اگر متغیرهای توضیحی درون‌زا باشند، نتایج برآوردها سازگار خواهند بود.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این مقاله نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی در طی دوره زمانی ۹٤-۱۳۸۵ در سطح کل صنایع تولیدی، به طور متوسط ۱/۳درصد رشد داشته است. البته تمامی صنایع به لحاظ پیشرفت تکنولوژیکی وضعیت مناسبی داشته‌اند؛ اما، از لحاظ کارایی فنّی از وضعیت مناسبی

برخوردار نبوده‌اند. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که از متغیرهای مستقل، دو متغیر تحصیلات و شدت تجهیزات و ماشین‌آلات رشد مثبت داشته و سایر متغیرها رشد منفی را تجربه کرده‌اند.

با توجه به این نتایج می‌توان گفت که همه صنایع نیاز به بازبینی در شیوه کار خود دارند. اگرچه، تمامی صنایع به لحاظ پیشرفت تکنولوژیکی وضعیت مناسبی دارند که این می‌تواند بیان‌گر سرمایه‌گذاری شرکت‌ها در نوآوری باشد؛ اما، به احتمال زیاد در برنامه‌ریزی، تجارب فنّی و سبک مدیریت دچار مشکل هستند و به همین دلیل، کارایی فنّی با رشد منفی همراه بوده است. بنابراین، برای دست‌یابی به رشد بهره‌وری مثبت، آنها باید مهارت‌های مدیریتی خود را بهبود دهند.

همچنین، حمایت دولت از صنایعی که به ازای هر واحد سرمایه، انرژی کم‌تری مصرف می‌نمایند، در قالب یارانه تولید و سرمایه‌گذاری، کاهش تعرفه واردات تجهیزات و ماشین‌آلات سرمایه‌ای با مصرف انرژی کم‌تر (که نهایتا منجر به افزایش بهره‌وری انرژی می‌شود) توصیه می‌گردد. حمایت از استخدام نیروی کار با تحصیلات عالی و ماهر در جهت استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات و نیز حمایت از صنایعی که به ازای هر واحد نیروی کار، انرژی کم‌تری مصرف می‌کنند؛ از دیگر توصیه‌های پژوهش حاضر است.

یافته‌های تحقیق با برخی از تحقیقات انجام شده، تا حدود زیادی هم‌سو است. به طور نمونه در ارتباط با میزان تغییر در بهره‌وری، در مطالعات حکیمی‌پور و همکاران، متوسط تغییرات کارایی فنّی ۰/۸ درصد منفی و متوسط تغییرات کارایی تکنولوژیکی، ۵/۸ درصد مثبت می‌باشد. در این پژوهش نیز متوسط تغییرات کارایی فنّی ۰/۲۵ درصد منفی و متوسط تغییرات کارایی تکنولوژیکی ۵/۰۵ درصد مثبت می‌باشد. همچنین، یافته‌های تحقیق حاضر در ارتباط با بهبود بهره‌وری در طول دوره با تحقیق گروک (۲۰۰۸) هم‌سو می‌باشد.

منابع

- ابریشمی، حمید، نوری، مهدی، دودابی‌نژاد، امیر (۱۳۸۹). رابطه قیمت و بهره‌وری انرژی در ایران: بررسی تجربی هم‌انباشتگی نامتقارن. *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۱۸ (۵۵): ۵-۲۲.
- تولایی، روح‌الله، علیرضایی، ابوتراب (۱۳۸۷). مدیریت بهره‌وری از طریق اصلاح الگوی مصرف در بخش تقاضای انرژی کشور. *فصلنامه مدیریت منابع انسانی*، (٤):۳۱-۵۹.
- حیدری، ابراهیم، صادقی، حسین (۱۳۸۳). شناخت و بررسی رفتار صرفه‌جویی انرژی در صنایع بزرگ ایران، *پژوهش‌های اقتصادی*، ٤(۱۱-۱۲): ۷۱-۹٦.
- حیدری، ابراهیم (۱۳۹۱). تجزیه و تحلیل بهره‌وری در صنایع منتخب انرژی بر ایران بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA). *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۷ (١٤): ٦١-٨٤.
- دباغ، رحیم، کوهی لیلان، بابک، جواهریان، لیلا، لطیفی، مهشید (۱۳۹٤). بررسی کارایی فنّی و بهره‌وری صنایع استان آذربایجان غربی با استفاده از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک. مجلس و راهبرد، ۲۲ (۸۳):۳۰۵-۳۳۳.
- سجادی‌فر، سیدحسین، عسلی، مهدی، فتحی، بهرام، محمدباقری، اعظم (۱۳۹٤). اندازه‌گیری کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با خروجی‌های نامطلوب، *مجله برنامه‌ریزی و بودجه*، (۱۳۱): ۵۵-۷۰.
- شرزه‌ای غلامعلی، ابراهیم‌زادگان، هه‌ژار (۱۳۹۰). برآورد اثر بازگشت افزایش کارایی انرژی در ارتباط با مصرف خانوارها و انتشار دی اکسید کربن، *نشریه مطالعات اقتصاد انرژی*، (۳۰): ۳۳-٦۱.
- حکیمی پور، نادر، عوضعلی‌پور، محمد صادق، قایمی، ذبیح‌الله (۱۳۹۱). ارزیابی تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولیدی صنایع بزرگ در استان‌های ایران، *پژوهش‌های مدیریت عمومی*، (۱۵): ۱۵٤-۱۵۵.
- شهابی‌نژاد، وحید (۱۳۹۳). معرفی شاخص بهره‌وری کل عامل انرژی به عنوان شاخصی جایگزین شاخص رایج بهره‌وری انرژی. چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.
- عمادزاده، مصطفی، توکلی، اکبر (۱۳۷۵). ارتباط سطح تحصیلات و بهره‌وری نیروی کار، *مجله دانش و توسعه*، (۵): ۱۳-۱۷.

- مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های بزرگ صنعتی طی سال‌های ١٣٨٤-١٣٩٣؛ قابل بازیابی در سایت: www.amar.org.ir

- محمودزاده، محمود، موسوی، میرحسین، پاک‌نهاد، فرزاد (١٣٩٤). حسابداری رشد ارزش افزوده در صنایع ایران با تاکید بر فناوری اطلاعات. *مدل‌سازی اقتصادی*، ٩ (٣٢): ٤١-٦٤.

- نجف‌زاده، بهنام، ممی‌پور، سیاب (١٣٩٥). بررسی عوامل موثر بر کارایی زیست محیطی صنعت برق ایران: رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها و داده‌های ترکیبی. *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ٧ (٢٧): ٦٦-٧٥.

- Baltagi, B.H., Egger, P.H. & Kesina, M. (2015). Sources of productivity spillovers: Panel data evidence from China. *Journal of Productivity Analysis*, 43: 389-402.

- Chen, Ken.Y. Kuen, Lin lin. Jian, Zhou. (2005). Audit quality and earnings managements for Taiwan IPO Firms. *Managerial Auditing Journal*, 25(2). 86 – 104.

- Harris, R. & Moffat, J. (2015). Plant-level determinants of total factor productivity in Great Britain, *Journal of Productivity Analysis*, (44): 1-20.

- Mandal, K., Sabuj & Madheswaran, S.(2010). Environmental efficiency of the Indian cement industry: An interstate analysis, *Energy Policy*, 38 (2): 1108-11 18.

- Mukherjee, K. (2008). Energy use efficiency in the Indian manufacturing sector: An interstate analysis, *Energy Policy*, (36): 66 -72.

- Martinez, P. (2011). Energy efficiency development in German and Colombia non-energy-intensivesectors: A non-parametric analysis, *Energy Efficiency*, 4(1): 115-131.

- Düzakin, E., & Düzakin, H. (2007). Measuring the performance of manufacturing firms with super slacks based model of data envelopment analysis: An application of 500 major industrial enterprises in Turkey. *European Journal of Operational Research*, (182): 1412-1432.

- Papadogonas, T., Mylonakis, J. & Demosthenes Georgopoulos (2007). Energy consumption and firm characteristics in the Hellenic manufacturing sector, *International Journal of Energy Technology and Policy*, 5 (١):89-96.