

Investigating the technical and scale efficiency of energy input consumption of manufacturing industries in Iran after the subsidy targeting law

Iman Shaker Ardakani¹, Mehdi Emami Meybodi*²

Received: 28-04-2023

Accepted: 19-09-2023

Extended Abstract

Purpose: Economic growth is influenced by two factors including the accumulation of production factors and the increase in efficiency. Efficiency is one of the important issues of the economy. Although its improvement is necessary for all countries, it is of double importance in developing countries, due to the lack of superior technology and more waste of resources and production inputs. Since the industry sector constitutes a high share of the gross domestic product and is of great importance due to its previous and subsequent connections with other economic sectors, the improvement of efficiency in this sector can lead to an increase in employment, production, and income in the entire economy. The industry sector is one of the significant energy-consuming sectors in every country, and the improvement of energy efficiency as one of the important policy tools plays an essential role in the growth of the industry. Therefore, this study examines the technical efficiency and scale of energy consumption of the industries in the provinces of the country. To this end, the non-parametric method of Data Envelopment Analysis (DEA) is used. Also, the issue of targeting energy subsidies in 2019 has had a significant impact on the cost of energy consumption in the industrial sector of the country. On this basis, the present study analyzes the technical efficiency of energy in the years after the implementation of this law. Considering the difference in the share of energy consumption according to the type of energy carriers at the industry level, we have considered four leading energy carriers for the calculation of efficiency.

Methodology: The research steps include defining an appropriate model for calculating technical efficiency, determining the type of DEA model in terms of input or output-

¹. Assistant Professor, Humanities and Social Sciences Faculty, Ardakan University, Yazd, Iran. Email: i.shaker@Ardakan.ac.ir

². Corresponding Author. Assistant Professor, Humanities Faculty, Meybod University, Yazd, Iran. Email: emami@meybod.ac.ir

oriented and the type of efficiency with regard to scale, collecting, calculating the technical efficiency and the scale of the industrial sector of each province, and finally analyzing the results. Data envelopment analysis (DEA) is a non-parametric linear programming method for evaluating the efficiency of decision-making units (DMU). The main advantage of this method compared to parametric methods such as the stochastic boundary function is that the shape of the distribution function and the production relations do not create a limit for it. In addition to technical efficiency, scale efficiency can be obtained for all units by calculating the ratio of technical efficiency in the state of constant efficiency to technical efficiency in the state of variable efficiency. The researchers used the input-oriented multi-stage DEA model with six inputs and one output to determine the technical efficiency and the energy consumption scale efficiency of the industrial sector in 31 provinces. In this model, the variables of labor force (people), formation of real fixed capital (million rials), consumption of natural gas, diesel, fuel oil and electricity (barrels equivalent of crude oil) in the industry sector of each province are the inputs, and the actual output of the industry sector (million rials) in each province is considered as the output.

Findings and Discussion: The results of technical and scale efficiency scores of industries in the provinces analyzed with the multi-stage DEA model during the years 2011-2019 show that, in 2011 (the beginning of the subsidies targeting), only active manufacturing industries in the provinces of Isfahan, Ilam, Bushehr, Tehran, Khorasan Razavi, North Khorasan, Khuzestan, Sistan and Baluchistan, Kermanshah, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Gilan, Markazi, and Hormozgan were technically efficient. The inefficiency was higher in Lorestan, Golestan, Yazd, and West Azerbaijan provinces. Also, over time, when the effect of the increase in the price of energy carriers became more evident in the subsidy targeting law, the technical efficiency was relatively improved in most of the provinces. The noteworthy point here is that, among the efficient provinces, Tehran, Bushehr, Khuzestan, and Hormozgan have had the highest share of energy consumption. Ilam, Sistan and Baluchistan, Kahgiluyeh and Boyar Ahmad provinces are among the provinces with the lowest energy shares. The industrial province of Yazd, despite having being the fourth place in energy consumption in the industry sector (about 7 percent share) after West Azarbaijan Province, has the lowest average technical efficiency score. This shows that, in this province, planning is required for extensive changes in various sectors of industry in order to increase the efficiency in Energy consumption. The evaluation of the efficiency of the scale of the industries in the country's provinces shows that, in 2014 and the beginning of the law of targeting the subsidies, the industry sector of the provinces of Isfahan, Bushehr, Tehran, Sistan and Baluchistan, Fars, Kermanshah, Gilan, Markazi, Hormozgan worked on an optimal scale, but the other provinces had inefficient scales. Among the inefficient provinces, the intensity of scale inefficiency in Ilam Province was higher than that in the other provinces, which indicates that the size of its production organization is not optimal and

it can move towards an efficient scale by changing the size. This is despite the fact that, after the year 2019, a relative improvement in the scale efficiency score occurred for most of the provinces. In the last year, active manufacturing industries in the provinces of Ardabil, Alborz, Bushehr, Tehran, Khuzestan, Sistan and Baluchistan, Kurdistan, Kermanshah, Markazi, Hormozgan and Yazd benefited from the efficiency of the scale.

Conclusion and Policy Implications: In DEA models, for each inefficient unit, an efficient unit or a combination of two or more efficient units is introduced as a reference unit. In this regard, each inefficient unit should be compared with an efficient unit to reach the efficiency limit. Therefore, the reference unit should be similar in size and structure to the inefficient units that measure it. In this regard, the seven provinces of Ilam, Bushehr, Tehran, Khuzestan, Sistan and Baluchistan, Kohgiluyeh Boyer Ahmad and Hormozgan are considered as reference units for the other provinces of the same level in terms of the size and structure of the industry to improve efficiency. In terms of policy-making, it is suggested that the technical efficiency score of the provinces be supported by the government and its projects for the industry sector through the allocation of low-interest loans, industrial subsidies, tax exemptions, etc.

Keywords: Scale Efficiency, Technical Efficiency, Manufacturing Industries, Multi-Stage DEA, Iran.

JEL Classification: L60, D22, Q4.

بررسی کارایی فنی و مقیاس مصرف نهاده‌های انرژی صنایع کارخانه‌ای استان‌های کشور پس از اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها

ایمان شاکر اردکانی^۱، مهدی امامی میبدی^۲*

دریافت: ۱۴۰۲-۰۲-۰۸

پذیرش: ۱۴۰۲-۰۶-۲۸

چکیده

امروزه بخش صنایع کشورها در حال رقابت شدید با یکدیگر همواره تلاش می‌کنند با بهبود مدیریت، تکنولوژی و تولید در مقیاس مناسب، وضعیت خود را ارتقا دهند. در این میان با توجه به اهمیت انرژی، سنجش کارایی انرژی صنایع کارخانه‌ای ایران به خصوص در سال‌های پس از هدفمندی یارانه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر این اساس، مطالعه حاضر با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) چند مرحله‌ای، کارایی فنی و مقیاس صنایع کارخانه‌ای را به تفکیک استان‌های طی دوره ۹۸-۱۳۹۰ مورد تحلیل قرار داده است. نتایج بیانگر این است که متوسط کارایی فنی برای همه استان‌های طی دوره مذکور ۰/۸۶ و دارای روندی صعودی بعد از اجرای قانون هدفمندی بوده است. همچنین بر حسب کارایی مقیاس، تنها صنایع پنج استان بوشهر، تهران، سیستان و بلوچستان، مرکزی و هرمزگان طی دوره مورد بررسی در مقیاس بهینه عمل کرده‌اند. از حیث سیاست‌گذاری، پیشنهاد می‌شود استان‌های دارای ناکارایی فنی با در نظر گرفتن استان‌های کارا و مشابه به لحاظ ساختار صنعتی و مصرف انرژی، با ارتقاء سطح تکنولوژی و بهبود بهره‌وری عوامل مختلف در مسیر کارایی حرکت کنند.

واژگان کلیدی: کارایی مقیاس، کارایی فنی، صنایع کارخانه‌ای، تحلیل پوششی داده‌ها چند مرحله‌ای، ایران.

طبقه‌بندی JEL: L6، D22، O4.

^۱. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران. i.shaker@Ardakan.ac.ir

^۲. نویسنده مسئول. استادیار گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، یزد، ایران. emami@meybod.ac.ir

۱- مقدمه

رشد اقتصادی تحت تأثیر دو عامل انباشت عوامل تولید و افزایش در کارایی است. کارایی یکی از موضوعات مهم اقتصاد است که، از یک طرف می‌توان نهادی کمتری برای تولید فعلی به کار گرفت و از طرف دیگر کاهش هزینه‌های تولید، افزایش تولید با نهاده‌های فعلی، افزایش فروش و نهایتاً کسب سود بیشتر را به دنبال خواهد داشت. اگرچه بهبود کارایی برای همه کشورها امری ضروری است، اما در کشورهای در حال توسعه به علت نداشتن تکنولوژی برتر و اتلاف بیشتر منابع و نهاده‌های تولید از اهمیت دو چندان برخوردار است (زرءنژاد، ۱۳۹۱).

بخش صنعت سهم بالایی از تولید ناخالص داخلی را تشکیل داده و 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 می‌تواند به رشد و توسعه سایر بخش‌ها نیز کمک نماید (عربشاهی دلوئی، ۱۳۹۹). به عبارتی، ارتقای کارایی در این بخش، می‌تواند منجر به افزایش اشتغال، تولید و درآمد در کل اقتصاد شود.

در حوزه صنعت، بخش صنایع کارخانه‌ای^۱ در اولویت قرار داشته به طوری که، یکی از علل عقب‌ماندگی کشورها را عدم رشد مناسب این بخش در جهت پیشبرد اهداف اقتصادی می‌دانند (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین، صنایع کارخانه‌ای را می‌توان موتور رشد و توسعه اقتصادی و زمینه‌ساز پایداری آن دانست (یونیدو^۲، ۲۰۰۷).

به دلیل جهانی شدن اقتصاد، بخش صنایع کشورها در حال رقابت شدید با یکدیگر و برای تصاحب بازارهای جهانی هستند و تلاش می‌کنند، با بهبود مدیریت، تکنولوژی و تولید در مقیاس مناسب، وضعیت خود را در این رقابت تنگاتنگ جهانی ارتقا دهند. یکی از ملزومات رشد صنایع، دسترسی کافی به نهاده‌های تولید یعنی انرژی است و استفاده بیشتر از آن با افزایش آلودگی محیط زیستی و هزینه‌های نهایی فزاینده ناشی از استخراج و واردات همراه است، بنابراین ضرورت دارد در راستای استفاده کارآمد از آن‌ها، همواره روند شاخص‌های کارایی را رصد نمود. به طور کلی کارایی مطلوب‌ترین معیار سنجش عملکرد صنعتی در هر کشوری به حساب

^۱. Manufacturing Industries

^۲. Unido (2007)

می‌آید. کشورهایی که افزایش کارایی بخش‌های تولیدی خود را مورد توجه قرار داده‌اند به رشد سریع‌تر و پایداری دست یافته‌اند (بارلسمن^۱، ۲۰۱۳). در حقیقت یکی از دلایل عقب ماندگی کشورهای در حال توسعه، پایین بودن سطح کارایی و بهره‌وری بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش صنعت آن‌ها است (پورتر^۲، ۱۹۹۸).

بخش صنعت، یکی از بخش‌های عمده مصرف‌کننده انرژی در هر کشور است که ارتقای کارایی انرژی به عنوان یکی از ابزارهای مهم سیاست‌گذاری نقش مهمی در رشد صنعت ایفا می‌کند (ابراهیمی، ۱۳۹۰). با توجه به اهمیت سنجش کارایی در صنایع کارخانه‌ای لازم است تا در این زمینه مطالعات جامعی صورت گیرد. از این رو این مطالعه کارایی فنی و مقیاس مصرف انرژی صنایع کارخانه‌ای را در استان‌های کشور، با استفاده از روش ناپارامتریک تحلیل پوشش داده‌ها^۳ (DEA)، مورد بررسی قرار می‌دهد. همچنین، موضوع هدفمندی یارانه‌های انرژی^۴ در سال ۱۳۸۹، تأثیر قابل توجهی بر هزینه مصرف انرژی در بخش صنعت کشور داشته است، که بر این اساس، در مطالعه حاضر، کارایی فنی انرژی در سال‌های پس از اجرایی شدن این قانون تحلیل شده است. میزان مصرف انرژی به تفکیک نوع حامل‌های انرژی در سطح بخش صنعت کشور در سال ۱۳۹۸ نیز در نمودار ۱ نمایش داده شده است. بالاترین سهم مصرف حامل‌های انرژی به ترتیب به گاز طبیعی، برق، نفت

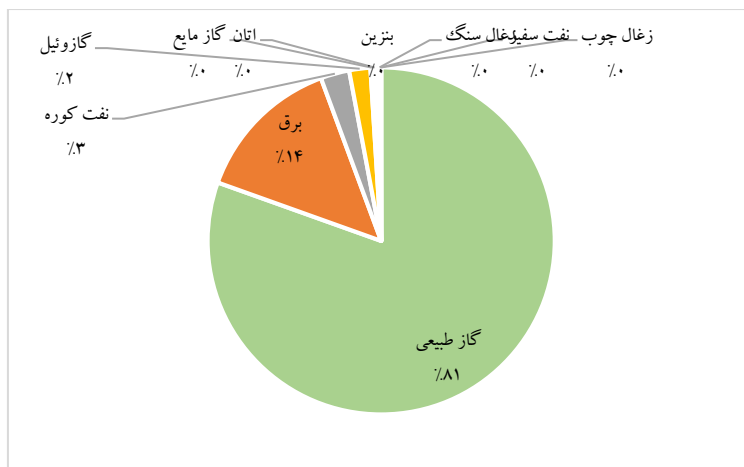
۱. Bartlesman (2013)

۲. Porter (1998)

۳. Data Envelopment Analysis (DEA)

۴. قانون هدفمندی یارانه‌ها که در دی ماه ۱۳۸۸ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسیده است، مشتمل بر شانزده ماده و شانزده تبصره است. این قانون بر حذف یارانه‌ها و افزایش قیمت حامل‌های انرژی و کالاهای اساسی تأکید دارد، به نحوی که بر اساس آن قیمت بنزین، نفت، نفت کوره و نفت سفید، گاز مایع و سایر مشتقات نفتی باید پس از برنامه پنج‌ساله پنجم به بالاتر از ۹۰ درصد قیمت‌های فوب خلیج فارس، قیمت گاز طبیعی به بالاتر از ۷۵ درصد قیمت گاز صادراتی و قیمت سایر موارد تا میزان بهای تمام‌شده افزایش یابد. بر اساس این قانون، دولت مجاز است حداکثر تا ۵۰ درصد خالص وجوه حاصل از اجرای این قانون را، جهت پرداخت یارانه در قالب پرداخت نقدی و غیر نقدی و اجرای نظام جامع تأمین اجتماعی هزینه کند و ۳۰ درصد را در ارتباط با مواردی همچون بهینه‌سازی مصرف انرژی، اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی، جبران بخشی از زیان شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات انرژی، گسترش و بهبود حمل‌ونقل عمومی، حمایت از تولیدکنندگان بخش کشاورزی و صنعتی و ... و ۲۰ درصد باقیمانده را نیز به منظور جبران آثار اجرای قانون بر اعتبارات هزینه‌ای و تملک دارایی‌های سرمایه‌ای هزینه کند.

کوره و گازوئیل اختصاص دارد. سهم حامل‌های گاز مایع، اتان، بنزین نزدیک به صفر بوده است، لذا چهار حامل اصلی انرژی برای محاسبه کارایی در نظر گرفته شده است.



نمودار ۱: سهم حامل‌های انرژی در مصرف انرژی بخش صنعت در سال ۱۳۹۸

منبع: مرکز آمار ایران

در این راستا، مطالب این پژوهش در پنج بخش تنظیم شده است. پس از مقدمه، در بخش دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش، در بخش سوم روش تحقیق، در بخش چهارم یافته‌ها و در بخش پایانی بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در علم اقتصاد کارایی با تقسیم ستاده‌ها به نهاده‌ها که مقداری بین صفر و یک دارد، حاصل می‌شود. بنگاه کارا، بنگاهی است که علاوه بر استفاده از نهاده‌های کمتر، بر روی تابع تولید نیز قرار گیرد (زراءنژاد و همکاران، ۱۳۹۱). اقتصاددانان عموماً کارایی را با فرض بازار رقابت کامل تحلیل می‌کنند. به اعتقاد هایک^۱ (۱۹۴۹)، زمانی که نرخ نهایی جانشینی بین دو کالا یا عوامل تولید در همه استفاده‌های ممکن از آن‌ها یکسان باشد، کارایی وجود دارد. به عبارتی، در مجموعه‌ای از فعالیت‌ها، زمانی یک فعالیت کارا است که مقدار تولید آن قابل افزایش نباشد، مگر تولید سایر فعالیت‌ها کاهش

^۱. Hayek (1949)

یابد (عسکری، ۱۳۹۹).

فارل^۱ (۱۹۵۷) پیشگام عرصه محاسبه کارایی فنی است. وی اولین بار برآورد کارایی به روش غیر پارامتریک را مطرح و به جای حدس تابع تولید، مقادیر داده و ستانده را مشاهده و مرزی برای واحدها به نام مرز کارایی مشخص کرد (آزادی نژاد، ۱۳۹۳). تعاریف متنوعی از کارایی انرژی وجود دارد که در این میان «نسبت خدمات انرژی به نهاده انرژی» متداول‌ترین آن‌ها است. تعریف ارائه شده در دستورالعمل EC ۳۲/۲۰۰۶/مجلس و شورای اروپا در مورد کارایی مصرف انرژی و خدمات انرژی یک مورد کلی است که «کارایی انرژی را نسبت بین خروجی یک عملکرد، خدمت، کالا یا انرژی و نهاده انرژی» تعریف کرده است (ژو و آنگ^۲، ۲۰۰۸).

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 (عربشاهی دلویی، ۱۳۹۹). بهبود در کارایی انرژی منجر به طیف وسیعی از پتانسیل‌های مثبت می‌شود (آژانس بین‌المللی انرژی^۳، ۲۰۱۴)، که بارزترین آن، کاهش تقاضا و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی است.

مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در خصوص کارایی بخش صنعت صورت گرفته است. عربشاهی دلو و همکاران (۱۳۹۹) با روش DEA در ۵ صنعت طی دوره ۱۳۷۴-۱۳۹۴ نشان دادند که متغیرهای تکنولوژی، حکمرانی خوب، اندازه دولت، آزادسازی تجاری و قیمت واقعی انرژی و متغیرهای خرد ساختار فنی تولید، قیمت سرمایه و مصرف انرژی مهمترین عوامل مؤثر بر کارایی انرژی می‌باشند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از روش DEA و آمار صنایع کارخانه‌ای ایران در دوره ۱۳۷۴-۱۳۹۴ نشان دادند که سطح کارایی در صنایع ایران در دوره مورد بررسی پایین بوده است. همچنین، کارایی تخصیصی نسبت به عملکرد کارایی فنی کمتر بوده است. گلی و محنت‌فر (۱۳۹۹) معتقدند در صنایع ایران با سیاست بهبود کارایی انرژی می‌توان اثرات جانبی منفی توسعه اقتصادی را کاهش داد. بدین منظور آنان بر اساس دوره زمانی ۹۴-۱۳۸۵ با روش تابع مرزی تصادفی و رهیافت اقتصادسنجی فضایی به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی

1. Farrell (1957)

2. Zhou and Ang (2008)

3. International Energy Agency (2014)

پرداختند. نتایج این مطالعه نشان از تأیید وجود اثرات سرریز فضایی مثبت کارایی انرژی در بین استان‌ها دارد. همچنین، صنعتی شدن دارای اثر مثبت بر کارایی انرژی و شهرنشینی دارای اثرات مثبت فضایی بر کارایی انرژی بوده‌اند.

ناظمی و همکاران (۱۳۹۸) با روش DEA و روش اندرسون و پترسون به ارزیابی کارایی انرژی ۳۰ استان در دوره ۱۳۸۸-۱۳۹۲ پرداختند که نتایج حاکی از بالاتر بودن میزان کارایی مدل‌هایی است که مصرف انرژی را به شکلی جامع بر خلاف مدل‌های ساده در نظر گرفته‌اند.

حکیمی‌پور (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با الهام از مدل باتیز و کولی^۱ (۱۹۹۵) به بررسی و تحلیل مقایسه‌ای کارایی بخش صنایع بزرگ با روش تحلیل تابع مرزی تصادفی در استان‌های ایران پرداخته است. نتایج بیانگر پایین بودن سطح کارایی فنی صنایع بزرگ است. همچنین دو عامل شدت مصرف انرژی و دولتی بودن مالکیت، اثر منفی و اندازه بنگاه، اثر مثبت بر کارایی داشته‌اند.

کفایی و نژاد آقائیان و ش (۱۳۹۶) برای شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بخشی در اقتصاد ایران با روش داده‌های تابلویی و طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ نشان دادند 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 داشته‌اند.

یوسفی حاجی آباد (۱۳۹۵) با ارزیابی بهره‌وری کل عوامل تولید در صنایع کارخانه‌ای ایران با استفاده از شاخص بهره‌وری مالم کوئیست و روش تحلیل پوششی داده‌ها طی ۱۳۸۹-۱۳۸۰ نشان داد که به دلیل کاهش کارایی مدیریتی و کارایی مقیاس در رشته فعالیت‌های صنعتی کشور، در کل سطح کارایی نزولی بوده است. همچنین، میانگین کارایی فنی صنایع کارخانه‌ای ایران طی دوره مورد بررسی حدود ۰/۴ و میانگین کارایی مقیاس صنایع ۰/۷۹ بوده است.

ناجی میدانی و همکاران (۱۳۹۴) رابطه میان صنعتی شدن و کارایی انرژی در بخش صنعت کشور را طی دوره ۸۷-۱۳۶۰ بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه آنان بر مبنای الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی (ARDL) و الگوی تصحیح خطا (ECM) تأییدی بر وجود رابطه بلندمدت میان این دو متغیر مورد نظر است. مطابق انتظار، صنعتی شدن دارای اثر منفی بر کارایی انرژی صنایع کشور داشته است. با این حال، نکته مهم این مطالعه، وجود رابطه علیت یک طرفه از صنعتی شدن

^۱. Battese & Coelli (1995)

به کارایی انرژی است. بنابراین، می‌توان بر اساس سیاست‌های بهبود کارایی انرژی، صنعتی شدن کشور را در راستای اهداف استراتژی‌های توسعه صنعتی هدایت نمود.

آزادی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش DEA و روش اندرسون و پترسون به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی فنی بخش صنعت استان‌های کشور طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۶ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد استان‌های مرکزی، بوشهر، کرمان، هرمزگان، تهران و خوزستان نسبت به سایر استان‌ها از کارایی فنی بالاتری برخوردار بوده و سه عامل نیروی کار، سرمایه و حامل‌های انرژی به عنوان عوامل تولید مؤثر بر کارایی شناخته شدند.

گراوند و همکاران (۱۳۹۲) موضوع کارایی فنی و کارایی انرژی را به جای کل بخش صنعت در یک صنعت خاص (صنعت پتروشیمی) را طی دوره ۸۷-۱۳۷۳ با روش تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کرده‌اند. در تحقیق حاضر کارایی فنی و کارایی انرژی (به عنوان یک نهاده خاص) صنعت پتروشیمی کشور طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۳، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان از اتلاف ۳۱ درصدی انرژی در این صنعت طی دوره مورد بررسی دارد. عمده سال‌هایی که این صنعت با کارایی انرژی پایین فعالیت کرده است مربوط به دهه ۸۰ می‌باشد.

زراءنژاد و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با استفاده از مدل اثرات ناکارا باتیز و کولی (۱۹۹۵)، میزان کارایی فنی و عوامل مؤثر بر عملکرد رشته فعالیت‌های صنعتی را طی سال‌های ۸۶-۱۳۷۵ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل بیانگر آن بود که با وجود اینکه شدت انرژی و ناکارایی صنایع افزایش یافته اما افزایش اندازه صنایع کارخانه‌ای ایران، سطح ناکارایی صنایع را کاهش نداده و مالکیت دولتی صنایع کارخانه‌ای اثری بر سطح ناکارایی آن‌ها نداشته است.

سپهردوست و کامران (۱۳۹۱) کارایی انرژی را برای بررسی جایگاه استان مورد نظر (همدان) در میان استان‌های کشور مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنان با روش تحلیل پوششی داده‌ها، به محاسبه کارایی فنی و مقیاس صنایع این استان طی دوره ۸۶-۱۳۸۱ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که به طور متوسط، کارایی صنایع کوچک در استان همدان طی دوره مورد بررسی حدود ۹۲ درصد بوده که از این حیث، رتبه ۱۲ را در میان استان‌های کشور داشته است. همچنین متغیرهایی مانند اشتغال، سرمایه‌گذاری و ارزش تولید از عوامل مهم مؤثر بر کارایی انرژی صنایع کوچک است.

کریشنا و ساهوتا^۱ (۱۹۹۱) کارایی فنی صنایع بنگلادش را با استفاده از تابع تولید ترانسلوگ و روش پارامتریک طی دوره ۱۹۷۶ - ۱۹۷۴ مورد بررسی قرار دادند. نتیجه کلی این مطالعه نشان داد صنایع بنگلادش از سطح پائینی از کارایی فنی برخوردار است.

رفایی و همکاران^۲ (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای، کارایی انرژی بخش صنعت اردن را با استفاده از DEA، طی دوره زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر منفی انتشار CO₂ بر کارایی بوده است.

ایکسونگ و همکاران^۳ (۲۰۱۷) از یک مدل تحلیل پوششی داده‌های با مجموع عایدی صفر (ZSG-DEA) برای تخصیص سهمیه مصرف انرژی بین استان‌های چین استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد تا سال ۲۰۲۰، هدف ملی تعدیل ساختار انرژی محقق شده و این ساختار در اکثر مناطق چین متنوع خواهد بود. همچنین یافته‌ها نشان داد در مدل وزنی ZSG-DEA امکان ایجاد رقابت و همکاری میان واحدها در نظر گرفته می‌شود.

دیا و همکاران^۴ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی و ارزیابی کارایی شرکت‌های تولید برق کانادا با روش DEA در یک افق زمانی ۱۸ ساله پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد سطوح کارایی کلی فنی و مدیریتی پایین و کارایی مقیاس شرکت‌های تولید برق کانادا در کل دوره مطالعه بالا است.

هوانگ و کیم^۵ (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر فناوری‌های نوظهور بر کارایی بنگاه‌های کوچک و متوسط (SMEs) کره جنوبی با استفاده از روش تخمین مرز تولید تصادفی تطبیق پرداختند. نتایج نشان داد پذیرش فناوری‌های نوظهور منجر به افزایش کارایی واحدهای مذکور شده است.

سارپونگ و همکاران^۶ (۲۰۲۲) به تحلیل محرک‌های کارایی انرژی در کشورهای منتخب آفریقایی با روش دو مرحله‌ای DEA پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی انرژی بدون احتساب انتشار CO₂ در غرب آفریقا در دوره زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۰ بهبود یافته و سطح کارایی با

1. Krishna & Sahota (1991)

2. Refaie et al. (2016)

3. Xiong et al. (2017)

4. Dia et al. (2021)

5. Hwang & Kim (2022)

6. Sarpong et al. (2022)

افزایش رشد اقتصادی و کاهش انتشار CO_2 افزایش می‌یابد.

ژو و زو^۱ (۲۰۲۲) نیز در مطالعه‌ای به بررسی کارایی انرژی کشورهای منتخب با روش DEA سه مرحله‌ای پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آنان نشان می‌دهد که کارایی انرژی چین، ژاپن و استرالیا همگی یک هستند که در خط مقدم کارایی قرار دارند، در حالی که بازده انرژی ویتنام کمترین مقدار است.

حوسین و همکاران^۲ (۲۰۲۳) به بررسی کارایی انرژی در منطقه منا با روش ترکیبی DEA و مرز تصادفی پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان داد انرژی تجدیدپذیر، هوش مصنوعی و تولید ناخالص داخلی سرانه از عوامل مؤثر و معنی‌دار بر کارایی انرژی در میان کشورهای عضو است. بنابراین با توجه به مطالعات داخلی و خارجی بررسی شده می‌توان گفت یکی از نوآوری‌های مطالعه حاضر، تاکید بر نهاده‌های انرژی مصرفی همچون گازوئیل، گاز طبیعی و نفت کوره و برق به جای مصرف کل انرژی در بخش صنعت در سنجش کارایی است. همچنین نوآوری‌های دیگر پژوهش حاضر، سنجش کارایی با روش DEA چند مرحله‌ای، توجه به اندازه کارایی صنایع کارخانه‌ای کشور در دوره پس از هدفمندسازی یارانه‌های انرژی و نیز تفکیک کارایی به دو نوع کارایی مقیاس و کارایی فنی است که می‌تواند یافته‌های ارزشمندی را از وضعیت کارایی صنایع کارخانه‌ای در استان‌های کشور ارائه نماید.

۳- روش تحقیق

۳-۱- روش DEA

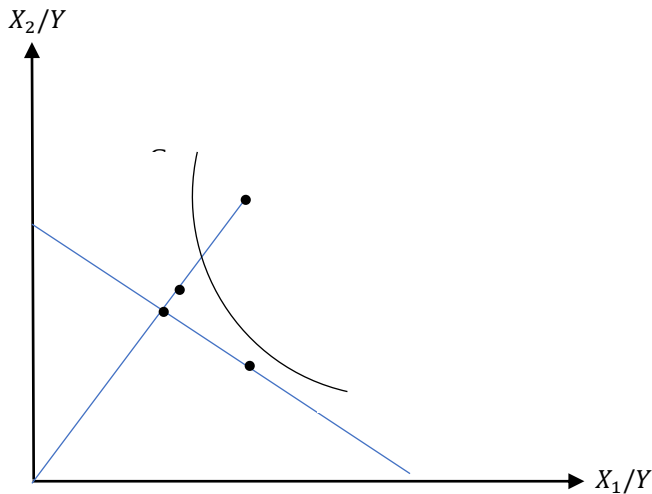
با توجه به مسئله اصلی پژوهش و اهداف آن مراحل انجام این پژوهش شامل تعریف انواع کارایی، شناسایی مدل مناسب برای محاسبه کارایی فنی، تعیین نوع مدل DEA به لحاظ ورودی یا خروجی محور بودن و نوع بازدهی نسبت به مقیاس، تعریف متغیرهای ورودی و خروجی مدل، جمع‌آوری آمار و اطلاعات، محاسبه مقادیر کارایی فنی و مقیاس بخش صنعت هر استان و در نهایت تحلیل نتایج است.

فارل (۱۹۵۷) با بررسی جامع در مورد انواع کارایی بنگاه و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها به معرفی

1. Zhou & Xu (2022)

2. Hossin et al. (2023)

سه نوع کارایی شامل کارایی فنی^۱، کارایی تخصیصی^۲ و کارایی اقتصادی^۳ یا کل پرداخت. تفاوت این سه نوع کارایی به کمک نمودار (۱) توضیح داده شده است (مهرگان، ۱۳۹۵).



نمودار ۲: کارایی از دیدگاه فارل

منبع: مهرگان (۱۳۹۵)

در این جا فرض می‌شود چند بنگاه تولیدی با فرض بازدهی نسبت به مقیاس ثابت و تکنولوژی یکسان، با دو عامل تولید X_1 و X_2 به تولید یک نوع محصول Y اقدام می‌کنند. در شکل ۱، SS' بیانگر منحنی تولید یکسان برای بنگاه‌های کاملاً کارا است. به عبارتی دیگر بنگاه‌هایی که روی منحنی تولید یکسان قرار دارند دارای کارایی فنی یک یا صد درصد هستند. در این جا بنگاهی که با P مشخص شده است، از نظر فنی ناکارا است، چرا که برای تولید یک مقدار مشخصی از محصول، عوامل تولیدی بیشتری به کار می‌گیرد. اما بنگاهی که در نقطه Q قرار دارد، به لحاظ فنی کاملاً کارا است، چرا که روی منحنی مرز کارایی قرار گرفته است. میزان ناکارایی فنی بنگاه P برابر با فاصله QP می‌باشد. فاصله QP مقداری است که می‌توان عوامل تولید را بدون کاهش در محصول، کاهش داد. بنابراین نسبت OQ/OP به عنوان معیاری برای

۱. Technical Efficiency

۲. Allocative Efficiency

۳. Economic Efficiency

کارایی فنی بنگاه P تعریف می‌شود. برای یک بنگاه کاملاً کارا این نسبت برابر یک خواهد بود. حال با استفاده از نسبت قیمت نهاده‌ها که به وسیله شیب خط هزینه یکسان AA' نشان داده می‌شود، می‌توان کارایی تخصیصی را نیز محاسبه نمود. کارایی تخصیصی برای بنگاه P به صورت OR/OQ تعریف می‌شود.

اگر به جای تولید در نقطه Q که دارای کارایی فنی است، در نقطه Q' که هم دارای کارایی فنی و هم دارای کارایی تخصیصی است تولید صورت گیرد، RQ میزان کاهش در هزینه‌های تولید را نشان می‌دهد. به عبارتی دیگر Q' ترکیب بهینه استفاده از نهاده‌ها برای یک بنگاه کارا، جهت تولید محصول بر روی SS' را معین می‌کند. بنگاهی که در نقطه Q قرار دارد، اگر چه از لحاظ فنی کارا است، ولی از لحاظ تخصیصی ناکارایی دارد زیرا می‌تواند برای تولید یک واحد، به جای قرارگرفتن روی خط هزینه یکسان بالاتر، روی خط هزینه یکسان پایین‌تر از AA' قرار گیرد. بنابراین Q' در مقایسه با سایر نقاط روی منحنی SS' دارای کمترین هزینه تولید است و تغییر در ترکیب استفاده از عوامل تولید از Q به Q' علیرغم ثابت بودن کارایی فنی، حرکت به سمت کاهش هزینه‌های تولید و افزایش نسبت OR/OQ می‌باشد.

اما ترکیب کارایی فنی و کارایی تخصیصی بیانگر کارایی اقتصادی است. کارایی اقتصادی به معنای کارایی در نحوه تولید و تخصیص عوامل تولید است. این نوع کارایی، از حاصل ضرب کارایی فنی در کارایی تخصیصی بدست می‌آید. در واقع کارایی اقتصادی را می‌توان توانایی بنگاه در بدست آوردن حداکثر سود ممکن، با توجه به قیمت‌ها و سطوح نهاده‌ها دانست. از دیدگاه فارل، کارایی اقتصادی، تلفیقی از کارایی فنی و کارایی تخصیصی می‌باشد و نسبت OR/OP به عنوان معیاری برای کارایی اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این می‌توان کارایی مقیاس را که بیانگر وضعیت عملکردی یک واحد در مقیاس بهینه و برخورداری از صرفه‌های ناشی از مقیاس است از طریق محاسبه نسبت کارایی فنی در وضعیت بازدهی ثابت به کارایی فنی در وضعیت بازدهی متغیر برای همه واحدها به دست آورد.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش برنامه‌ریزی خطی ناپارامتریک برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده^۱ (DMU) است. مزیت اصلی این روش نسبت به روش‌های

^۱. Decision-Making Units

پارامتریک همچون تابع مرز تصادفی این است که شکل تابع توزیع و روابط تولید محدودیتی برای آن ایجاد نمی‌کند. مدل DEA که برای اولین بار توسط چارنز و همکاران^۱ معرفی شد تا به امروز رشد زیادی کرده است به گونه‌ای که از آن زمان مدل‌های کاربردی جدید با متغیرهای بیشتر و ماهیت پیچیده‌تر معرفی شده است. در این روش چندین ورودی و خروجی به طور هم‌زمان و بدون هیچ فرضی در مورد توزیع داده در نظر گرفته شده و در هر مورد، کارایی بر حسب تغییر متناسب در ورودی‌ها یا خروجی‌ها اندازه‌گیری می‌شود. یک مدل DEA را می‌توان به مدل ورودی و خروجی محور تقسیم نمود. علاوه بر این مدل‌های DEA به لحاظ بازدهی نسبت به مقیاس (ارتباط بین تغییرات ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم) شامل سه نوع بازدهی نسبت به مقیاس ثابت، بازدهی نسبت به مقیاس فزاینده و بازدهی نسبت به مقیاس کاهنده هستند (شاگر، ۱۴۰۱).

در ادبیات مدل‌های DEA، اگر مازادها^۲ نادیده گرفته شده و به صورت باقیمانده محاسبه شوند، مدل یک مرحله‌ای^۳ است. یک روش برای کاهش مازادها و یافتن مجموعه مرجع بهینه پارتو مدل‌های DEA دو مرحله‌ای^۴ و چند مرحله‌ای^۵ است (جی و لی، ۲۰۱۰).

در بیشتر مطالعات DEA از یک فرآیند برنامه‌ریزی خطی دو مرحله‌ای برای حل این مدل‌ها استفاده می‌شود. دو مشکل اساسی در مرحله دوم این فرآیند وجود دارد. اولین مشکل این است که مجموع متغیرهای مازاد به جای حداقل سازی، ماکزیمم می‌شوند و بنابراین به جای نزدیک‌ترین نقطه کارا دورترین نقطه از مرز کارایی را مشخص می‌کنند. اما مشکل دوم روش فوق این است که کارایی نسبت به واحدهای اندازه‌گیری ورودی‌ها و خروجی‌ها ثابت نیست. برای مثال تبدیل واحد از کیلومتر به متر، نقاط مرزی کارا و به دنبال آن مازادها و واحدهای مرجع تغییر خواهند کرد. برای رفع این دو مشکل، مدل DEA چند مرحله‌ای شامل چند مدل برنامه‌ریزی خطی شعاعی که در آن نقاط کاراتری شناسایی شده و همچنین نسبت به واحدهای اندازه‌گیری تغییرناپذیر است، به کار گرفته می‌شود (کوئلی^۶، ۱۹۹۷). در مدل تحلیل پوششی داده‌های چند مرحله‌ای فرض می‌شود برای N واحد، K

1. Charnes, et al.

2. Slack

3. Single - Stage

4. Two - Stage

5. Multi-Stage

6. Ji and Lee (2010)

7. Coelli (1997)

ورودی و M خروجی وجود دارد. برای i امین بنگاه مقادیر x_i و y_i به ترتیب بیانگر بردارهای ورودی و خروجی هستند. همچنین X بیانگر ماتریس ورودی $K \times N$ و Y بیانگر ماتریس خروجی $M \times N$ برای همه N واحد هستند. یک مدل DEA ورودی محور با فرض بازدهی متغیر به صورت فرم ماتریسی در رابطه (۱) ارائه شده است:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \\ & \text{s.t.} \\ & \theta x_i - X \lambda \geq 0, \\ & y_i + Y \lambda \geq 0, \\ & N1' \lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، θ یک اسکالر و λ یک بردار $N \times 1$ از مقادیر ثابت است. $N1$ نیز یک بردار $N \times 1$ از عدد یک است. با توجه به رابطه (۱) برای همه واحدها مقدار امتیاز θ محاسبه می‌شود. در مرحله دوم DEA چند مرحله‌ای از مدل برنامه‌ریزی خطی (۲) برای حداکثر کردن مجموع متغیرهای کمکی استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{\lambda, OS, IS} (M1'OS + K1'IS) \\ & \text{s.t.} \\ & cx_i - X \lambda - IS = 0, \\ & -y_i + Y \lambda - OS = 0, \\ & N1' \lambda = 1, \\ & \lambda \geq 0, OS \geq 0, IS \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

در این جا cx_i بیانگر بردار ورودی i امین بنگاه است که در θ به دست آمده در مرحله اول ضرب شده است. همچنین OS بیانگر یک بردار $M \times 1$ از مازادهای خروجی^۱، IS بیانگر یک بردار $K \times 1$ از مازادهای ورودی^۲ و $M1$ و $K1$ نیز به ترتیب بیانگر بردارهای یکه $M \times 1$ و $K \times 1$ هستند. در مرحله دوم نیز مدل برنامه‌ریزی خطی (۲) باید برای همه N واحد حل شود.

پس از اجرای این دو مرحله یک واحد کارا است اگر امتیاز کارایی آن یعنی θ برابر با یک و مازاد ورودی و خروجی نداشته باشد. به مجموعه واحدهای دارای این ویژگی بر اساس تعریف

۱. Output Slacks

۲. Input Slacks

کوپمانز^۱ مجموعه کارا^۲ گفته می‌شود. علاوه بر این همه واحدهایی که دارای حداقل یک متغیر مازاد غیر صفر هستند، یک مجموعه به نام مجموعه دارای مازاد^۳ در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است دو مدل (۱) و (۲) بیانگر روش DEA دو مرحله‌ای هستند و در روش سه مرحله‌ای نقاط تصویر شده به دست آمده در مدل (۲) مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و این مدل تنها برای تعریف مجموعه کارا و مجموعه دارای مازاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سایر مراحل، هدف به کارگیری مجموعه دارای مازاد برای هر واحد و هدایت یک مجموعه از حرکت‌های شعاعی برای به دست آوردن نقاط بر روی مرز کارایی است. قابل توجه است در مراحل باقی مانده مجموعه کارا به عنوان مجموعه مرجع^۴ در همه مدل‌های برنامه‌ریزی خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ادامه و در مرحله سوم باید برای هر واحد در مجموعه دارای مازاد، تمام ورودی‌هایی را که ممکن است بالقوه مقداری مازاد در آن‌ها وجود داشته باشد شناسایی نمود. بنابراین در اینجا نیاز به مجموعه‌ای از K مدل برنامه‌ریزی خطی است که در فرمول‌بندی هر یک از آن‌ها، تنها یکی از نهاده‌ها تحت کنترل قرار می‌گیرد. اگر این کنترل حاصل شود، وجود مازاد در آن ورودی امکان‌پذیر خواهد بود. مدل برنامه‌ریزی خطی که در این جا برای زامین نهاده از زامین بنگاه تعریف می‌شود به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta \\ & s.t. \\ & -y_i + Y_e \lambda \geq 0 \\ & \theta c x_i^j - X_e^j \lambda \geq 0, \\ & c x_i^{*j} - X_e^{*j} \lambda \geq 0, \\ & N1' \lambda = 1, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

در مدل (۳)، کمیت $c x_i^j$ اشاره به زامین ورودی از زامین واحد که در مقدار θ به دست آمده در مرحله اول ضرب می‌شود، X_e^j بردار $N_e \times 1$ ، از زامین ورودی از همه بنگاه‌های کارا، $c x_i^{*j}$ بیانگر $(K-1) \times 1$ بردار ورودی‌های زامین بنگاه (به جز ورودی زام)، که در مقدار θ به دست آمده در

1. Koopmans

2. Efficient Set

3. Have-Slacks Set

4. Reference Set

مرحله اول ضرب می‌شود.

X_e^{nj} نیز بیانگر ماتریس $(K-1) \times N_e$ ورودی‌های همه واحدهای کارا (به جزء لامین ورودی) است. در این جا N_e بیانگر تعداد واحدهای کارا، Y_e ماتریس خروجی‌های این واحدهای کارا است و λ دارای $N_e \times 1$ بعد است.

باید توجه نمود که این مرحله فقط برای شناسایی تعداد ورودی‌هایی استفاده می‌شود که ممکن است مازاد در آن‌ها وجود داشته باشد. هیچ تغییر واقعی در نقطه تصویر شده در مرحله سوم رخ نمی‌دهد. در ابتدا تصور می‌شد می‌توان مرحله سوم را کنار گذاشت اما شواهد نشان می‌دهد که با مازادهای شناسایی شده در مرحله دوم امکان شناسایی همه ورودی‌هایی که بالقوه دارای مازاد هستند وجود ندارد، از این رو به مرحله سوم نیاز است. لازم به ذکر است در صورت وجود ورودی با مقادیر صفر حل مدل در مرحله سوم ممکن نیست. اما در مرحله چهارم برای لامین واحد در مجموعه دارای مازاد، یک مدل برنامه‌ریزی خطی که به دنبال کاهش شعاعی در همه ورودی‌های تعریف شده دارای مازاد بالقوه (در مرحله ۳) است، اجرا می‌شود، که به صورت زیر قابل ارائه است:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \theta_{\theta, \lambda} \\
 & s.t \\
 & -y_i + Y_e \lambda \geq 0, \\
 & \theta c x_i^s - X_e^s \lambda \geq 0, \\
 & c x_i^{ns} - X_e^{ns} \lambda \geq 0, \\
 & N1' \lambda = 1, \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{۴}$$

در مدل (۴)، S بیانگر زیر مجموعه‌ای از ورودی‌های دارای مازاد بالقوه و ns بیانگر سایر ورودی‌ها است. در این جا نقطه کاهش شعاعی همان نقطه تصویر شده در مرحله یک است که مختصات آن $(y_i, c x_i)$ است. بعد از آن در مرحله پنجم ممکن است بعد از کاهش شعاعی در مرحله چهارم، هنوز مقداری مازاد ورودی در برخی ابعاد ورودی باقی مانده باشد، از این رو نقطه تصویر شده در مرحله چهارم را در نظر گرفته و مراحل سوم و چهارم تا زمانی که دیگر مازادی باقی نماند ادامه می‌یابد. همچنین، اگر مازاد تنها برای یک ورودی (در مرحله سوم) وجود داشته باشد می‌توان مراحل چهارم و پنجم را نادیده گرفت.

در ادامه و در مرحله ششم از نقطه تصویر شده حاصل از مرحله پنجم برای تأمین واحد و تکرار مرحله سوم تا پنجم برای یک افزایش شعاعی در مازاد همه خروجی تا زمانی که مازاد خروجی باقی نماند، استفاده می‌شود. در این صورت نقطه تصویر شده نهایی کارا خواهد شد. سپس واحدهای مرجع را می‌توان از بردار λ نقطه تصویر شده نهایی شناسایی نمود و مازادها را با تفریق نقطه تصویر شده نهایی از نقطه تصویر شده به دست آمده در مرحله یک، محاسبه کرد. در این جا نقطه نهایی تصویر شده نسبت به واحدهای اندازه‌گیری شده تغییرناپذیر است. بنابراین و در مجموع، مقادیر نهایی هر ورودی یا خروجی برای کارا شدن هر واحد با توجه به مجموع مقادیر حرکت شعاعی^۱ و حرکت مازاد^۲ مربوط به هر خروجی و ورودی مشخص می‌شود. بر اساس تعریف، حرکت شعاعی تعدیل متناسب در متغیرهای ورودی و خروجی است و حرکت مازاد، مقداری است که اختلاف در تغییر ثابت یا متناسب متغیرهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد (کوئلی^۳، ۲۰۰۸).

اگر چه مدل‌های برنامه‌ریزی فوق برای DEA چند مرحله‌ای ورودی محور و با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس ارائه شده‌اند اما سایر انواع مدل‌های DEA چند مرحله‌ای (خروجی محور و با بازدهی ثابت نسبت به مقیاس) نیز ساختاری شبیه مدل ارائه شده داشته و تنها تغییرات اندکی در قیدها دارند که از ارائه آن‌ها در اینجا صرف نظر شده است. این در حالی است که علاوه بر کارایی فنی می‌توان کارایی مقیاس را از طریق محاسبه نسبت کارایی فنی در وضعیت بازدهی ثابت به کارایی فنی در وضعیت بازدهی متغیر برای همه واحدها به دست آورد.

۳-۲- آمار و اطلاعات

برای تعیین کارایی فنی و کارایی مقیاس مصرف انرژی بخش صنعت در ۱۳۱ استان از مدل DEA چند مرحله‌ای ورودی محور با فرض بازدهی نسبت به مقیاس متغیر با فرض شش ورودی و یک خروجی استفاده شده است. در این مدل متغیرهای نیروی کار (نفر)، تشکیل سرمایه ثابت واقعی (میلیون ریال)، مصرف گاز طبیعی، گازوئیل، نفت کوره و برق (بشکه معادل نفت خام) در بخش صنعت هر استان به عنوان ورودی‌های مدل و ستاده واقعی بخش صنعت (میلیون ریال) در هر

1. Radial Movement

2. Slack Movement

3. Coelli (2008)

استان به عنوان خروجی مدل انتخاب شده است.

مقادیر واقعی متغیرهای تشکیل سرمایه ثابت و ستاده بخش صنعت از نسبت مقادیر اسمی این متغیرها به شاخص قیمت تولیدکننده در بخش صنعت بر حسب قیمت‌های ثابت سال ۱۳۹۰ به دست آمده است. به منظور یکسان‌سازی واحدهای انرژی گاز طبیعی (متر مکعب)، گازوئیل (لیتر)، نفت کوره (لیتر) و برق (کیلو وات ساعت) همه این نهاده‌های انرژی مصرفی در بخش صنعت بر حسب بشکه معادل نفت بیان شده است.

با توجه به هدف بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای صنعتی هر استان مدل ورودی محور و همچنین به دلیل تفاوت در نوع، تعداد و ماهیت و ساختار صنایع در هر استان به لحاظ سطح مصرف و شدت انرژی، مدل بازدهی متغیر نسبت به مقیاس انتخاب شده است. این در حالی است که برای محاسبه کارایی مقیاس به امتیاز کارایی بر اساس مدل با بازدهی ثابت نیز نیاز هست. آمار و اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی مدل از نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸، شاخص قیمت تولیدکننده در ایران در سال ۱۳۹۸ و نتایج آمارگیری از مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر استخراج شده است. علاوه بر این با توجه به پیچیدگی مدل DEA چند مرحله‌ای از نرم‌افزار DEAP 2.1 برای محاسبه کارایی فنی و کارایی مقیاس صنایع تولیدی استان‌های کشور استفاده شده است.

بر اساس مبانی نظری، هدف هر صنعت دستیابی به حداکثر کارایی از طریق کسب مقدار معینی ستاده با کمترین مصرف نهاده‌های تولیدی (نیروی کار، سرمایه و انرژی) است. لذا بر اساس تعاریف ارائه شده از کارایی از دیدگاه فارل و همچنین اطلاعات در دسترس، در این پژوهش کارایی فنی و کارایی مقیاس برای صنایع تولیدی در استان‌های کشور طی دوره ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفته است.

۴- نتایج و یافته‌های تحقیق

نتایج محاسبه امتیاز کارایی فنی و مقیاس صنایع استان‌های کشور در مصرف نهاده‌های انرژی با استفاده از مدل DEA چند مرحله‌ای طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ در جدول (۱) ارائه شده است. ارقام مربوط به امتیاز کارایی فنی با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس محاسبه شده

است. به کارایی در این شرایط، کارایی فنی خالص و کارایی مدیریتی نیز گفته می‌شود.

مطابق جدول (۱)، در سال ۱۳۹۰ (شروع هدمندی یارانه‌ها) صرفاً صنایع تولیدی فعال در استان‌های اصفهان، ایلام، بو شهر، تهران، خراسان رضوی، خراسان شمالی، خوزستان، سیستان و بلوچستان، کرمانشاه، کهگیلویه و بویراحمد، گیلان، مرکزی و هرمزگان از کارایی فنی برخوردار بوده‌اند. شدت ناکارایی در این سال به ترتیب در استان‌های لرستان، گلستان، یزد و آذربایجان غربی بیشتر است. همچنین، پس از گذشت زمان که تأثیر افزایش قیمت حامل‌های انرژی در قانون هدمندی یارانه‌ها مشهودتر شده، کارایی فنی در اکثر استان‌ها بهبود نسبی داشته است.

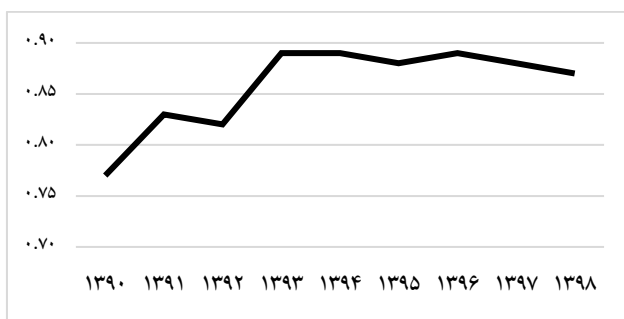
جدول ۱: میزان کارایی فنی بخش صنعت استان‌های کشور طی دوره ۹۸-۱۳۹۰

[illegible]

ردیف	استان	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	میانگین
۲۶	لرستان	۰/۴۰	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۸۰	۰/۸۳	۱	۱	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۷۹
۲۷	مازندران	۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۷۲	۰/۶۴	۰/۶۴
۲۸	مرکزی	۱	۰/۷۰	۱	۱	۱	۰/۹۶	۱	۱	۱	۰/۹۶
۲۹	هرمزگان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۰	همدان	۰/۵۵	۰/۴۰	۰/۵۲	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۷۰	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۶۲
۳۱	یزد	۰/۴۴	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۵۳
میانگین		۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷	

منبع: یافته‌های تحقیق

در سال ۱۳۹۸ صنایع تولیدی فعال در استان‌های اردبیل، اصفهان، البرز، ایلام، بوشهر، تهران، چهارمحال و بختیاری، خراسان شمالی، خوزستان، سیستان و بلوچستان، کردستان، کرمانشاه، کهگیلویه و بویر احمد، مرکزی و هرمزگان از کارایی فنی برخوردار بوده‌اند. در این سال بخش صنعت استان‌های آذربایجان غربی، خراسان رضوی و یزد کمترین امتیاز کارایی فنی را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که از شدت عدم کارایی در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۰ کاسته شده است. ارزیابی میانگین امتیاز کارایی فنی بخش صنعت در هر استان بیانگر حفظ کارایی فنی در استان‌های ایلام، بوشهر، تهران، خوزستان، سیستان و بلوچستان، کهگیلویه و بویر احمد و هرمزگان پس از اجرای قانون هدفمندی تا سال ۱۳۹۸ است. استان‌های آذربایجان غربی و یزد به ترتیب با میانگین امتیاز کارایی ۰/۵۲ و ۰/۵۳ همچنان بیشترین ناکارایی را در مصرف نهاده‌های انرژی و غیر انرژی در بخش صنعت داشته‌اند.



نمودار ۲: متوسط کارایی فنی بخش صنعت استان‌ها طی دوره ۱۳۹۰-۹۸

منبع: محاسبات تحقیق

نکته قابل توجه در این جا این است که در بین استان‌های کارا تهران، بوشهر، خوزستان و

هرمزگان دارای بیشترین سهم مصرف انرژی و استان ایلام، سیستان و بلوچستان، کهگیلویه و بویر احمد جزء استان‌های دارای پایین‌ترین سهم‌های انرژی هستند و استان صنعتی یزد علیرغم دارا بودن رتبه چهارم مصرف انرژی در بخش صنعت (سهمی حدود ۷ درصد) بعد از استان آذربایجان غربی دارای پایین‌ترین میانگین امتیاز کارایی فنی است و این موضوع بیانگر این است که در این استان به برنامه‌ریزی برای تغییرات گسترده در بخش‌های مختلف صنعت در جهت افزایش کارایی در مصرف انرژی نیاز است^۱. میانگین کارایی فنی استان‌ها از سال ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ در نمودار (۲) نشان می‌دهد، علیرغم فراز و نشیب اندک آن روند کلی ابتداء صعودی و بعد از سال ۱۳۹۳ تقریباً ثابت مانده است. این موضوع بیانگر بهبود نسبی کارایی فنی در بخش صنعت پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها است، به گونه‌ای که میانگین امتیاز کارایی از ۰/۷۷ در سال ۱۳۹۰ در نهایت به ۰/۸۷ در سال ۱۳۹۸ رسیده است.

ارزیابی کارایی مقیاس صنایع استان‌های کشور در جدول (۲) که بر مبنای نسبت کارایی فنی با فرض بازدهی ثابت به کارایی فنی با فرض بازدهی نسبت به متغیر محاسبه می‌شود، بیانگر این است که در سال ۱۳۹۰ و شروع قانون هدفمندی یارانه‌ها، بخش صنعت استان‌های اصفهان، بوشهر، تهران، سیستان و بلوچستان، فارس، کرمانشاه، گیلان، مرکزی، هرمزگان در مقیاس بهینه عمل کرده و سایر استان‌ها دارای ناکارایی مقیاس هستند.

جدول ۲: میزان کارایی مقیاس بخش صنعت استان‌های کشور طی دوره ۹۸-۱۳۹۰

ردیف	استان	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	میانگین
۱	آذربایجان شرقی	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۹
۲	آذربایجان غربی	۰/۹۴	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۸۹
۳	اردبیل	۰/۷۷	۰/۵۸	۰/۷۷	۱	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۷۱	۱	۰/۷۵
۴	اصفهان	۱	۰/۶۰	۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۰	۱	۰/۹۶	۰/۸۹
۵	البرز	۰/۹۵	۱	۱	۱	۱	۰/۹۴	۱	۱	۱	۰/۹۹
۶	ایلام	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۴۸	۰/۴۶	۱	۰/۶۲	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۵۳
۷	بوشهر	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۸	تهران	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۹	چهارمحال و بختیاری	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۹۴	۰/۸۰

۱. لازم به ذکر است حتی با تغییر مدل به بازدهی ثابت نسبت به مقیاس، امتیاز کارایی استان یزد تغییر نخواهد کرد و همچنان پایین است.

ردیف	استان	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	میانگین
۱۰	خراسان جنوبی	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۶۸	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۶۰
۱۱	خراسان رضوی	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸
۱۲	خراسان شمالی	۰/۹۱	۰/۲۶	۰/۷۲	۰/۹۰	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۹۷	۰/۶۸
۱۳	خوزستان	۰/۸۵	۰/۵۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۳
۱۴	زنجان	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲
۱۵	سمنان	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۸۸	۱	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۹۳
۱۶	سیستان و بلوچستان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۷	فارس	۱	۰/۹۸	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹
۱۸	قزوین	۰/۹۷	۰/۹۸	۱	۱	۰/۹۸	۱	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸
۱۹	قم	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۸۹
۲۰	کردستان	۰/۶۴	۱	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۵۵	۰/۶۹	۱	۰/۷۹
۲۱	کرمان	۰/۹۵	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹
۲۲	کرمانشاه	۱	۰/۹۵	۱	۱	۱	۰/۹۷	۰/۹۰	۰/۹۳	۱	۰/۹۷
۲۳	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۵۵	۰/۵۳	۱	۱	۰/۶۲	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۵۷
۲۴	گلستان	۰/۹۰	۰/۷۴	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۹	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۳
۲۵	گیلان	۱	۰/۸۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۷	۰/۹۸
۲۶	لرستان	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۷۶
۲۷	مازندران	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۵
۲۸	مرکزی	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱
۲۹	هرمزگان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۳۰	همدان	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۸۶
۳۱	یزد	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۸	۱	۰/۹۷
میانگین کارایی مقیاس		۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۹۲	

منبع: یافته‌های تحقیق

در بین استان‌های ناکارا، شدت ناکارایی مقیاس در استان ایلام نسبت به سایر استان‌ها بیشتر است و بیانگر این است که اندازه تشکیلات تولیدی آن بهینه نبوده و با تغییر در اندازه می‌تواند به سمت مقیاس کارا حرکت کند. این در حالی است که پس از سال ۱۳۹۰ به مرور زمان برای اکثر استان‌ها بهبود نسبی در امتیاز کارایی مقیاس اتفاق افتاده و در سال پایانی، صنایع تولیدی فعال در استان‌های اردبیل، البرز، بوشهر، تهران، خوزستان، سیستان و بلوچستان، کردستان، کرمانشاه، مرکزی، هرمزگان و یزد از کارایی مقیاس برخوردار شده‌اند. میانگین امتیاز کارایی مقیاس بخش صنعت در هر استان نیز بیانگر این است که استان‌های بوشهر، تهران، سیستان و بلوچستان، مرکزی

و هرمزگان پس از اجرای قانون هدفمندی تا سال ۱۳۹۸ کارایی مقیاس خود را حفظ کرده‌اند. میانگین کارایی مقیاس استان‌ها از سال ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ در نمودار (۳) بیانگر این است که علیرغم نوسان امتیاز کارایی مقیاس طی دوره مذکور، میانگین کارایی مقیاس از ۰/۸۹ در سال ۱۳۹۰ در نهایت به ۰/۹۲ در سال ۱۳۹۸ رسیده است. این در حالی است که سال ۱۳۹۳ بخش صنعت استان‌ها بالاترین و در سال ۱۳۹۱ پایین‌ترین متوسط کارایی مقیاس را داشته است.



نمودار ۳: متوسط کارایی مقیاس بخش صنعت استان‌ها طی دوره ۱۳۹۰-۹۸

منبع: محاسبات تحقیق

مقایسه میانگین هر دو نوع کارایی، بیانگر این واقعیت است که تنها بخش صنعت استان‌های بو شهر، تهران، سیستان و بلوچستان و هرمزگان هم از کارایی فنی خالص برخوردار بوده و هم در مقیاس بهینه عمل کرده‌اند. پس از مشخص شدن وضعیت امتیاز کارایی فنی می‌توان با توجه به متغیرهای مازاد ورودی (IS) هر استان میزان کاهش در هر یک ورودی برای قرار گرفتن در مرز کارایی را مشخص نمود. در این راستا، به منظور پرهیز از تکرار و برای نمونه تغییرات لازم در ورودی و خروجی برای کارا شدن استان آذربایجان غربی که بیشترین شدت عدم کارایی را در بین ۳۱ استان در سال ۱۳۹۸ داشته، با جزئیات در جدول (۳) تحلیل شده است.

جدول ۳: تغییر در ورودی و خروجی مدل برای کارایی بخش صنعت استان آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۸

متغیر	نوع	مقادیر اصلی	تغییر شعاعی	تغییر مازاد	مقادیر نهایی
ستاده بخش صنعت (میلیون ریال)	خروجی	۲۳۴۷۹۲۰۰	۰	۰	۲۳۴۷۹۲۰۰
تعداد شاغلان (نفر)	ورودی	۲۷۳۱۹	-۱۴۷۲۴	۰	۱۲۵۹۵

متغیر	نوع	مقادیر اصلی	تغییر شعاعی	تغییر مازاد	مقادیر نهایی
سرمایه ثابت به قیمت ثابت (میلیون ریال)	ورودی	۱۰۶۶۴۹۸	-۵۷۴۸۱۷	۰	۴۹۱۶۸۱
مصرف گازوئیل (بشکه نفت خام)	ورودی	۱۷۰۴۲۸	-۹۱۸۵۷	-۲۵۵۱۲	۵۳۰۵۹
مصرف گاز طبیعی (بشکه نفت خام)	ورودی	۳۰۵۶۴۰۰	-۱۶۴۷۳۲۶	۰	۱۴۰۹۰۷۴
مصرف نفت کوره (بشکه نفت خام)	ورودی	۴۱۳۴۱۳	-۲۲۲۸۲۰	-۱۱۳۶۷۷	۷۶۹۱۶
مصرف برق (بشکه نفت خام)	ورودی	۴۹۱۳۱۵	-۲۶۴۸۰۷	۰	۲۲۶۵۰۸

منبع: یافته‌های تحقیق

کارایی فنی بخش صنعت استان آذربایجان غربی ۰/۴۶ و کارایی مقیاس این استان ۰/۹۴ و نوع بازدهی نسبت به مقیاس این استان افزایشی است. این بدین معنی است که افزایش نهاده‌ها به یک نسبت معین منجر به افزایش ستاده بیش از آن نسبت می‌شود و بخش صنعت در این استان با افزایش سطح تولید به مقیاس بهینه نزدیک می‌شود. اما براساس نتایج ارائه شده در جدول (۳) با توجه به ورودی محور بودن مدل انتخابی ستاده بخش تغییر نمی‌یابد، لذا مقادیر اصلی و مقادیر نهایی خروجی مدل یکسان هستند. همچنین برای کارا شدن صنایع استان آذربایجان غربی باید حدود ۱۴۷۲۴ نفر از تعداد شاغلان و ۵۷۴۸۱۷ میلیون ریال از میزان سرمایه ثابت به عنوان نهاده‌های غیر انرژی بخش صنعت کاهش یافته و با این تغییرات شعاعی، مقادیر نهایی آن‌ها ۱۲۵۹۵ نفر و ۴۹۱۶۸۱ میلیون ریال باشد. علاوه بر این در مورد نهاده‌های انرژی در بخش صنعت این استان، برای قرار گرفتن در مرز کارایی به عنوان مثال، لازم است مصرف گازوئیل به میزان ۱۱۷۳۶۹ بشکه نفت خام (معادل ۱۸۶۶۰ هزار لیتر) کاهش یابد. در این راستا، برای سایر استان‌های دارای عدم کارایی فنی نیز می‌توان میزان تعدیل و کاهش لازم در ورودی‌ها جهت دستیابی به کارایی را مشخص کند.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی فنی بخش صنعت استان‌های کشور پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها طی دوره ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۸ از یک مدل DEA چند مرحله‌ای ورودی‌محور و با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد متوسط کارایی فنی برای همه استان‌ها طی دوره ۰/۸۶ و دارای روندی صعودی بعد از اجرای قانون هدفمندی بوده است. همچنین، فقط هفت استان ایلام، بوشهر، تهران، خوزستان، سیستان و بلوچستان، کهگیلویه و بویراحمد و هرمزگان کارایی فنی خود را طی دوره حفظ کرده‌اند.

در مدل‌های DEA برای هر یک از واحدهای غیر کارا، یک واحد کارا یا ترکیبی از دو یا چند واحد کارا به عنوان مرجع و الگو معرفی می‌شود. در این مجموعه مشخص می‌شود که هر واحد ناکارا برای رسیدن به مرز کارایی، باید با کدام یک از واحدهای کارا مقایسه شود. به عبارت دیگر در مجموعه مرجع برای هر یک از واحدهای ناکارا، از میان واحدهای کارا الگوهای قابل مقایسه‌ای (شامل یک یا تعدادی از واحدهای کارا) فراهم می‌شود که از طریق آن واحد ناکارا می‌تواند خود را به مرز کارایی نسبی برساند. بنابراین واحد مرجع باید با واحدهای ناکارایی که آن را ملاک قرار می‌دهند به لحاظ اندازه و ساختار مشابه باشد.

با این توضیحات، هفت استان مذکور، می‌توانند به عنوان الگو و مرجع سایر استان‌های هم سطح به لحاظ اندازه و ساختار صنعت جهت ارتقاء کارایی مد نظر قرار گیرند.^۱ بر اساس ارزیابی میانگین امتیاز کارایی مقیاس، تنها پنج استان بوشهر، تهران، سیستان و بلوچستان، مرکزی و هرمزگان در مقیاس بهینه عمل کرده‌اند.

علاوه بر این با توجه به این که در مدل DEA کارایی نسبی اندازه‌گیری می‌شود نه کارایی مطلق، لذا اگر چه استانی مثل سیستان و بلوچستان سطح تولید صنعتی پایین نسبت به سایر استان‌ها دارد، اما به طور نسبی از نهاده‌های (انرژی و غیر انرژی) کمتری برای تولید همین میزان تولید صنعتی پایین استفاده کرده است. در مقابل برخی استان‌های صنعتی علی‌رغم مصرف مقادیر زیادی از نهاده‌های انرژی و غیر انرژی، به طور نسبی ستاده کمتری را نسبت به استان‌های دیگر ایجاد کرده‌اند. تحلیل وضعیت کارایی استان آذربایجان غربی (دارای بالاترین عدم کارایی فنی)، به عنوان نمونه در سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد جهت کارا شدن صنایع این استان لازم است علاوه بر کاهش تعداد شاغلان و میزان سرمایه ثابت، در مصرف انرژی نیز صرفه‌جویی شود. اگر چه تعدیل نیروی کار و سرمایه به عنوان نهاده‌های غیر انرژی با مشکلاتی روبرو است اما در مورد نهاده‌های انرژی می‌توان با بهبود و یا تغییر تکنولوژی، ارتقاء بهره‌وری و وضع قوانین و مقررات در جهت

^۱ لازم به توضیح است که استان‌های سیستان و بلوچستان و کهگیلویه و بویر احمد به عنوان مرجع استان‌های ناکارایی که به لحاظ اندازه و ساختار صنعتی و میزان مصرف انرژی مشابه آن‌ها هستند تلقی می‌شوند نه همه استان‌های دیگر. در این راستا استان‌های تهران و خوزستان هم مرجع استان‌های ناکارایی هستند که به لحاظ اندازه و ساختار صنعتی و میزان مصرف انرژی مشابه آن‌ها هستند.

صرفه‌جویی در مصرف انرژی کارایی را ارتقا داد. برای مثال صنایع تولیدی با جایگزینی دستگاه‌های با تکنولوژی بالا با دستگاه‌ها و ماشین‌آلات قدیمی همان میزان محصول با انرژی کمتری تولید شده و کارایی ارتقا خواهد یافت. همچنین با آموزش نیروی کار و ارتقاء بهره‌وری، تولید متوسط هر کارگر افزایش یافته و با همان تعداد نیروی انسانی ستاده بیشتری در صنعت ایجاد خواهد شد.

مقایسه نتایج با سایر مطالعات نزدیک به آن (علی‌رغم تفاوت در طول دوره و مدل مورد استفاده) بیانگر این موضوع است که امتیاز کارایی محاسبه شده برای هر استان در روش تابع مرزی تصادفی نسبت به روش DEA پایین‌تر است. علاوه بر این نتایج پژوهش حاضر با بخشی از نتایج مطالعات اسکندری و همکاران (۱۳۹۹) و حکیمی پور (۱۳۹۷) در مورد استان‌های با بالاترین کارایی فنی هم‌سواست. اما بر اساس نتایج مطالعه اسکندری و همکاران (۱۳۹۹) استان خراسان شمالی و بر اساس نتایج مطالعه حکیمی پور (۱۳۹۷) استان سیستان و بلوچستان پایین‌ترین کارایی فنی را داشته است که با نتایج مطالعه حاضر، مغایرت دارد. علاوه بر این بر اساس نتایج مطالعه حکیمی پور (۱۳۹۷)، متوسط کارایی فنی بخش صنعت استان‌ها در سال‌های برنامه پنجم توسعه نسبت به سایر برنامه‌های توسعه بعد از انقلاب پایین‌تر بوده و طی زمان کاهش یافته است، در حالی که بر اساس نتایج این پژوهش به دلیل اجرای قانون هدفمندی متوسط امتیاز کارایی فنی استان‌ها طی سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۴ (سال‌های برنامه پنجم توسعه) به طور متوسط رشد داشته است.

در مجموع بر اساس یافته‌های این پژوهش پیشنهاد می‌شود استان‌های دارای ناکارایی فنی، استان‌های مشابه خود به لحاظ اندازه و ساختار صنایع با امتیاز بالا در کارایی را به عنوان الگو در صرفه‌جویی در مصرف انرژی قرار داده و با ارتقاء سطح تکنولوژی و بهبود بهره‌وری عوامل مختلف تولید بخش صنعت در جهت کارا شدن حرکت کنند. همچنین پیشنهاد می‌شود در برنامه‌ها و طرح‌های حمایتی دولت از بخش صنعت از طریق تخصیص اعتبارات وام‌های کم بهره، یارانه‌های صنعتی، معافیت‌های مالیاتی و ... امتیاز کارایی فنی استان‌ها نیز لحاظ شود.

References

- Al-Refaie, A. Hammad, M. & Li, M.H. (2016). "DEA Window Analysis and Malmquist Index to Assess Energy Efficiency and Productivity in Jordanian Industrial Sector". *Energy Efficiency* 9: 1299–1313.
- Arabshahi Delo, M. Fallahi, M.A. & Saleh Nia, N. (2020). "Measuring the Efficiency

- of Energy Consumption in the Country's Energy Industries: The Application of Data Envelopment Analysis and Gamma Test". Energy Planning and Policy Studies **6**(20): 45-84. (In Persian)
- Askari, M. (2020). "Technical Efficiency of Iran's Industrial Sector: A Stochastic Frontier Analysis Approach". Journal of Planning and Budgeting **24**(3): 51-66. (In Persian)
- Azadi Nejad, A. Amadeh, H. & Emami Meybodi, A. (2014). "Investigating the Effective Factors in the Technical Efficiency of the Industrial Sector in the Provinces of the Country with the Data Envelopment Analysis Approach". Economic Research **49**(1): 188-173. (In Persian).
- Coelli, T. (1998). "A Multi-Stage Methodology for the Solution of Orientated DEA Models". Operations Research Letters **23**(3-5): 143-149.
- Coelli, T. (2008). "A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program". CEPA Working Papers 1-50.
- Coelli, T. Rao, P.D.S. & Battese, G.E. (1998). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, London, Kluwer Academic Publishers.
- Dia, M. Shahi, S.K. & Zéphyr, L. (2021). "An Assessment of the Efficiency of Canadian Power Generation Companies with Bootstrap DEA". Risk Financial Management **14**(10): 498.
- Ebrahimi, A. (2011). *The Data Envelopment Analysis Approach in Evaluating the Energy Consumption Efficiency of Iran's Cement Industry During the Period 2010-2017*, Master's Thesis, Faculty of Humanities, Shahid Ashrafi Institute. (In Persian)
- Eskandari, B. Almasi, M. & Azami, S. (2020). "Investigating the Effect of Industrial Concentration on the Energy Efficiency of the Industrial Sector in the Provinces of Iran". Journal of Economic Policy **12**(24): 330-309. (In Persian)
- Farrell, M. J. (1995). "The Measurement of Productive Efficiency". Journal of the Royal Statistical Society **120**(3): 253-290.
- Goli, Y. & Mehnat Far, Y. (2020). "Investigating the Effect of Industrialization and Urbanization on Energy Efficiency in the Provinces of Iran (Spatial Econometric Approach)". Journal of Economic Policy **12**(23): 167-188. (In Persian)
- Gravand, S. Mehrgan, N. Sadeghi, H. & Malekshahi, M. (2013). "Evaluation of Energy Efficiency in the Country's Petrochemical Industry". Journal of Economic Policy **5**(10): 57-74. (In Persian)
- Hakimipour, N. (2018). "Comparative Analysis of the Efficiency of Large Industries in Iran's Provinces in Post-Revolutionary Development Programs using the Stochastic Frontier Function Method". Journal of Economic Policy **10**(20): 191-213. (In Persian)
- Hossin, M.A. Alemzero, D. Wang, R. Kamruzzaman, M. & Mhlana, N.M. (2023). "Examining Artificial Intelligence and Energy Efficiency in the MENA Region: The Dual Approach of DEA and SFA". Energy Reports **9**: 4984-4994.
- Hwang, W.S. & Kim, H.S. (2022). "Does the Adoption of Emerging Technologies Improve Technical Efficiency? Evidence from Korean Manufacturing SMEs".

- Small Business Economics **59**: 627–643.
- Iran Statistics Center (2020). Producer Price Index in Iran based on the Base Year of 2010. (In Persian)
- Iran Statistics Center (2020). Statistical Results of Industrial Firms with 10 or more Workers in 2011-2019. (In Persian)
- Iran Statistics Center (2020). Statistical Results of the Amount of Energy Consumption in Industrial Firms of 10 Workers and more 2011-2019. (In Persian)
- Islamic Iranian Parliament, A Collection of Rules and Regulations. <https://rc.majlis.ir/> (In Persian)
- Ji, Y. Bae & Lee, C. (2010). "Data Envelopment Analysis". Stata Journal **10**(2): 267-280.
- Kefaei, S.M.A. & Nejad Aghaian, P. (2017). "Identifying Factors Affecting Energy Efficiency in Iran's Economy". Quarterly Journal of Energy Economics Studies **13**(52): 1-34. (In Persian)
- Krishna, K.L. & Sahota, G.S. (1991). "Technical Efficiency in Bangladesh Manufacturing Industries". The Bangladesh Development Studie **19**(1/2): 89-105.
- Li, M.J. & Tao, W.Q. (2017). "Review of Methodologies and Polices for Evaluation of Energy Efficiency in High Energy-Consuming Industry". Applied Energy **187**: 203-215.
- Mehrgan, M.R. (2016). *Data Envelopment Analysis, Quantitative Models in Evaluating the Organizations Performance*, Third Edition, Tehran: Academic Book Publishing. (In Persian)
- Naji Maidani, A. Mahdavi Adeli, M.H. & Arabshahi Deloui, M. (2015). "Investigating the Relationship between Industrialization and the Energy Efficiency of Industry in Iran". Journal of Economic Policy **7**(13): 27-56.
- Nazimi, A. Karimi, F. Memipour, S. & Feshari, M. (2019). "Energy Efficiency in the Provinces of Iran: Analysis of Data Envelopment". Quarterly Journal of Energy Planning and Policy Research **5**(1): 103-142. (In Persian)
- Sarpong, F. Wang, J. Cobbinah, B. Makwetta, J. & Chen, J. (2022). "The Drivers of Energy Efficiency Improvement among Nine Selected West African Countries: A Two-Stage DEA Methodology". Energy Strategy Reviews **43**: 100910.
- Sepherdoost, H. & Kamran, N. (2012). "Measuring the Technical Efficiency of Small Industries in Hamadan Province". Journal of Economic Policy **4**(7): 147-174.
- Shaker Ardakani, I. (2022). "Determining Efficiency and Examining its Changes in the Economic Sectors of Yazd Province". The Third International Conference on Innovation in Business and Economic Management, Tehran. (In Persian)
- Xiong Siqin, T.Yushen, J. & Ma, X. (2017). "Allocation of Energy Consumption among Provinces in China: A Weighted ZSG-DEA Model". Sustainability **9**: 2115.
- Yousefi Hajiabad, R. (2016). "Evaluation of the Total Productivity of Production Factors in Iran's Factory Industries". Journal of Economic Policy **8**(15): 153-175. (In Persian)

- Yousefi, M.Q. Amadeh, H. & Sangsari, Sh. (2020). "Comparison of the Existing Efficiency and Productivity with the Desired Situation in Iran's Industrial Industries". Iranian Economic Research Quarterly 85: 167-213. (In Persian)
- Zaranjad, M. Khodadadkashi, F. & Yousfi Hajiabad, R. (2012). "Evaluating the Technical Efficiency of Iran's Factory Industries". Quarterly of Quantitative Economics (Former Economic Surveys) 9(2): 31-48. (In Persian)
- Zarei, H. Yousefi, S. & Mahmoudi, M. (2017). "Measuring the Technical Efficiency of Industrial Workshops with more than Ten Workers in Iran using the Data Envelopment Analysis Method". Journal of Research in Operations and its Applications, Applied Mathematics 14(2): 1-18. (In Persian)
- Zhou, S. & Xu, Z. (2022). "Energy Efficiency Assessment of RCEP Member States: A Three-Stage Slack based Measurement DEA with Undesirable Outputs". Energy 253: 124170.
- Zhou, P. & Ang, B.W. (2008). "Linear Programming Models for Measuring Economy-Wide Energy Efficiency Performance". Energy Policy 36: 2911-2916.