International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)

December 2016, Volume 27, Number 4
pp. 591 - 602

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Analyzing Efficiency and Productivity of Main Energy and Environment Projects Using Data Envelopment Analysis Techniques

Hamid Sarkheil*, Nemat Allah Khorasani & Mahyar Habibi Rad

Hamid Sarkheil, *Environmental Engineering Department, University of Environment, Karaj, Iran*
Nemat Allah Khorasani, *Environment Department, University of Tehran, Tehran, Iran*
Mahyar Habibi Rad, *Civil Eng, University of Environment, Karaj, Iran*

Keywords

Malmquist Index, Environmental Efficiency, Data Envelopment Analysis

ABSTRACT

There are many national and international projects aimed to conservation energy and environment resources and decreasing pollutants. It is optimal to maintain the level of gross products and services and prevent of productivity losses through such projects. This study uses input-orientated Data Envelopment Analysis and considers undesirable outputs for proposed efficiency models. Meanwhile it calculates Malmquist productivity components related to two major environmental projects in Iran. The productivity index provided of iranian targeted energy subsidy plan improved about 7.56 percent technically, but it is worse about 11.58 percent technologically. The results indicate that reduction fuels consumption consisting main petroleum products & natural gas and therefore reduction amount of pollutants such as CO2 is not possible without reduction the level of gross products and services, or without applying higher technologies for fuels consumption improvement. The productivity index provided of metropolitan Tehran wastewater treatment plan improved about 1.80 percent technically. In addition, applying new plans and technologies caused to improvement the productivity index about 12.32 percent technologically. The results indicate that it is possible saving 2.2% of water resources without reduction the level of gross products and services of metropolitan Tehran.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۷، زمستان ۱۳۹۵
صفحـــه ۶۰۲ -۵۹۲

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

تحلیل کارایی و بهره‌وری طرح‌های کلان انرژی و محیط زیست با استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)

حمید سرخیل*،نعمت الله خراسانی و مهیار حبیبی راد

کلمات کلیدی

شاخص مالمکوئیست،
کارایی محیط زیستی،
تحلیل پوششی داده‌ها

چکیده:

هر ساله طرح‌های ملّی و بین المللی مرتبط با مباحث انرژی و محیط زیست معمولاً به منظور ارائه راهکارهایی موثر برای صرفه جویی در مصرف منابع و همچنین کاهش میزان آلاینده‌ها اجرا می‌شوند. در این راستا یکی از موارد با اهمیت، حفظ سطح تولید ناخالص داخلی و جلوگیری از اتلاف بهره‌وری می باشد. در این تحقیق، با استفاده از تکنیک‌های ورودی تحلیل پوششی داده‌ها و همچنین با در نظر گرفتن خروجی نامطلوب در مدل‌های کارایی پیشنهادی، در دو طرح بزرگ محیط زیستی اجرا شده در ایران، بهره‌وری و امکان کاهش مصرف از منابع مورد بررسی قرار گرفته و مولفه‌های شاخص بهره‌وری مالمکوئیست، مشتمل بر مقادیر خالص فنّی، مقیاس و فن آوری کارایی محاسبه شده است. به طوریکه در این تحقیق با بررسی های انجام شده بر روی طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران و با توجه به میزان آلاینده CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌های فرآورده‌های عمده نفتی و گاز طبیعی، رشد بهره‌وری محیط زیستی از جنبه فنّی حدود ۷/۵۶ درصد محاسبه شده است. در صورتیکه از جنبه بررسی های فن آوری حدود ۱۱/۵۸ درصد با کاهش روبرو بوده است. نتایج نشان می‌دهد که بدون کاهش در میزان تولیدات و خدمات، امکان کاهش در میزان مصرف انواع سوخت و در نتیجه کاهش در میزان آلاینده‌هایی نظیر CO_2 ناشی از مصرف میسر نمی باشد. نتایج تحقیق بهره‌وری بر روی طرح تصفیه فاضلاب کلانشهر تهران، میزان بهبود از نظر فنّی به حدود ۱/۸۰ درصد را نشان می دهد. همچنین استفاده از طرح‌ها و فن آوری‌های جدید، حدود ۱۲/۳۲ درصد سبب بهبود از نظر فن آوری به همراه داشته است. نتایج نشان می‌دهد که بدون کاهش در تولیدات و خدمات مربوط به کلانشهر تهران، امکان صرفه جویی در برداشت از منابع آب تنها به میزان ۲/۲ درصد امکان پذیر می‌باشد.

۱. مقدمه

امروزه تلاش برای کاهش مصرف از منابع محیط زیست و آلاینده‌های مرتبط با آن از سیاست‌های اصلی کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته می باشد. محققان با استفاده از اطلاعات آماری، عملکرد سیستم‌های صنعتی را در طی مراحل مختلف بررسی می‌کنند و با مدل‌های استخراج شده از این اطلاعات، چارچوب‌هایی را ارائه می‌دهند که برای تحقق اهداف محیط زیستی موثر می باشند. معمولاً عملکرد سیستم‌ها، با معیارهای "اثربخشی"، "کارایی" و "بهره‌وری" تعیین می‌شود. اثربخشی، یک معیار کیفی است و به عنوان سطح خدمات ارائه شده در رابطه با رفع نیازهای مشتری تعریف می‌شود؛ درحالیکه کارایی و بهره‌وری، معیارهای کمّی بوده و برای استفاده بهینه (فنّی یا

تاریخ وصول: ۹۳/۱۱/۲۹
تاریخ تصویب: ۹۴/۰۶/۲۹

دکتر نعمت الله خراسانی، استاد گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران، khorasan@ut.ac.ir
مهیار حبیبی راد، دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه محیط زیست، کرج، ایران، **mahyar_habibirad@uoe.ir**
*نویسنده مسئول مقاله: **دکتر حمید سرخیل**، استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه محیط زیست، کرج، ایران، **h_sakheil@uoe.ir**

اقتصادی یا هردو) از منابع، در جهت فراهم نمودن سطح قابل اعتمادی از رضایتمندی مشتری در نظر گرفته می‌شوند [۹].

تحقیقات در زمینه سنجش کارایی و بهره‌وری در سیستم‌های مربوط به صنایع همگانی (مثل برق، آب، گاز، ....) از دهه ۶۰ با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی شروع شد. در ابتدا کارایی این سیستم‌ها با محاسبه هزینه‌ها و توابع تولید تعیین می‌گردید. نتایج این تحقیقات در سیاست گذاری بعضی از کشورها در تامین نیازهای مشتریان به ویژه برای در نظر گرفتن یارانه‌های آب و انرژی استفاده شده است. در تحقیقات بعدی، ترکیب معیارهای کمّی و کیفی برای سنجش کارایی و ارائه نتایج واقعی‌تر در نظر گرفته شد [۲۱]. روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها[i] (DEA) در برخی از کشورها به عنوان روش تعیین مرز اصلی برای محک زنی در بخش انرژی و همچنین به طور گسترده برای تحلیل عملکرد سیستم‌های تامین آب بکار برده می‌شوند [۲۵]. از این روش تحلیلی نیز به منظور مدیریت ریسک در زنجیره های تامین [۴]، سنجش کارایی تولید و رتبه بندی محصولات در یک واحد صنعتی [۵] و در ارزیابی کارایی واحد های ارزی بانک با ترکیب با سایر روش ها از جمله روش تحلیل تصمیم گیری سلسله مراتبی استفاده شده است[۶]. همچنین از این روش این روش‌ها برای تحلیل کارایی منابع و محیط زیست در سطوح وسیع جغرافیایی به عنوان مثال شهرهای بزرگ و استان های کشورهای مختلف، قابلیت زیادی دارند [۸]. تعاریف کارایی و بهره‌وری بعلاوه عبارت محیط زیستی، نشان دهنده در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب (نظیر آلاینده‌های هوا)، در محاسبات مربوط به این شاخص‌ها می‌باشد. این مبحث نسبتاً جدید و از سال ۲۰۰۰ مرسوم شده است و تا قبل از آن در محاسبات کارایی و بهره‌وری، فقط به مسائل تولید و هزینه توجه می‌شد [۲] و [۴].

در یک مطالعه تحقیقی سرخیل و حبیبی راد در سال ۱۳۹۳، شاخص‌های کارایی و بهره‌وری محیط زیستی از سال ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۱ با در نظر گرفتن کلیّه آلاینده‌های هوای کلانشهر تهران، محاسبه و مقایسه نموده اند. در این مقاله با هدف کاهش آلاینده‌های هوا و کمترین تلفات بهره‌وری، درصد کاهش مورد نیاز برای تولید ناخالص داخلی و همچنین مصرف فرآورده‌های عمده نفتی و گاز طبیعی به عنوان سوخت، در رابطه با هر آلاینده هوای کلانشهر تهران ارائه شده است. در این تحقیق برای محاسبات شاخص‌ها و ارائه مدل‌های کارایی، از تکنیک‌های ورودی-خروجی تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. جیلی و همکاران به سال ۲۰۱۴، در یک مطالعه تحقیقاتی ارتباط بین بهره‌وری محیط زیستی و کاهش آلاینده CO2، با استفاده از روش‌های مختلف اقتصادسنجی و داده‌هایی شامل GDP و آلاینده CO_2 حاصل از فن‌آوری‌های جدید در محیط زیست و فرایندهای صنعتی و تولیدی در مابین سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در کشورهای مختلف اروپایی را بررسی نموده اند[۱۷]. ژانگ و یی نیز در سال ۲۰۱۵، شاخص بهره‌وری محیط زیستی را با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی، به دو مولفه شامل تغییر کارایی و تغییر فن آوری، تفکیک نموده اند. داده‌های این تحقیق، مشتمل بر GDP، آلاینده SO_2، سرمایه، نیروی کار، و انرژی مصرفی مربوط به ۲۹ استان و ناحیه بزرگ کشور چین در سال‌های ۱۹۹۵ الی ۲۰۱۰ می‌باشد [۴]. همچنین چانگ و حشمتی در سال ۲۰۱۴، رشد بهره‌وری محیط زیستی در ۱۴ بخش صنعتی کشوره کره جنوبی را مابین سال های ۱۹۸۱ الی ۲۰۱۰ با استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌ها، بررسی و تحلیل نموده اند. داده‌های این تحقیق، شامل تولید ناخالص داخلی، آلاینده CO_2، سرمایه، نیروی کار و انرژی مصرفی بوده است [۱۱].

هدف از تحقیق حاضر، دستیابی به یک رویه مناسب برای بررسی امکان کاهش مصرف از منابع محیط زیست و در نتیجه کاهش آلاینده‌های مربوطه، بدون کاهش در میزان تولیدات و خدمات عمده و ایجاد ائتلاف بهره‌وری در طرح‌های بزرگ انرژی و محیط زیستی می‌باشد. بدین منظور وضعیت بهره‌وری در دو طرح بزرگ محیط زیستی اجرا شده در ایران با استفاده از تکنیک‌های ورودی تحلیل پوششی داده‌ها و در نظر گرفتن خروجی نامطلوب در مدل‌های کارایی پیشنهادی، بررسی می‌شود. مولفه‌های شاخص بهره‌وری مالمکوئیست شامل مطلق فنّی، مقیاس و فن آوری، با استفاده از مرزهای بدست آورده شده از تحلیل پوششی داده‌ها، محاسبه می‌شوند.

در این تحقیق، داده‌هایی که در مدل‌های کارایی پیشنهادی مربوط به طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران استفاده می‌شود، شامل میزان سوخت‌های مصرفی (فرآورده‌های عمده نفتی و گاز طبیعی)، و میزان آلاینده CO_2 ناشی از مصرف این سوخت‌ها، و تولید ناخالص داخلی (GDP) از سال ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۱ در کشور ایران می‌باشد. همچنین داده‌هایی که در مدل‌های کارایی پیشنهادی مربوط به طرح جمع آوری و تصفیه فاضلاب کلانشهر تهران استفاده می‌شود شامل آمار برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی، مقدار فاضلاب جمع آوری و تصفیه شده، مقدار آب فروخته شده به استان البرز، میزان هدر رفت آب در مصرف داخلی و در سیستم تصفیه آب، میزان مصرف مناطق، ذخیره احتمالی و همچنین تولید ناخالص داخلی، از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۲ در کلانشهر تهران می‌باشد.

کلانشهر تهران، با مساحت ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیت ساکن بیش از ۸ میلیون نفر، بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر ایران است که بسیاری از امکانات دولتی و ملّی را به خود اختصاص داده است. این شهر در استان تهران واقع شده و این استان حدود ۱۶ درصد

از جمعیت کشور (بیش از ۱۲ میلیون نفر) و ۲۴ درصد از فعالیّت‌های صنعتی و اقتصادی کل کشور را در خود جای داده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، این شهر در دامنه جنوبی ارتفاعات البرز واقع شده است. منابع آب‌های سطحی استان تهران، حدود ۱/۸ درصد از کل کشور می‌باشد. ورودی تمام سدهای استان‌های تهران و البرز به ویژه سدهای تامین کننده آب مورد نیاز شهر تهران، به طور متوسط از سال ۱۳۷۲ تاکنون با کاهشی بین ۴۰ الی ۶۰ درصد مواجه بوده است. همچنین منابع آب‌های زیرزمینی استان تهران نیز به طور متوسط سالانه ۰/۳۵ متر کاهش یافته است و هم اکنون این منابع در وضعیت مناسب بهره‌برداری قرار ندارند [۱].

۲. مواد و روش‌ها

غالباً در یک رویکرد سیستمی، روش‌هایی برای شناسایی فاصله بین سطح فعلی و سطوح بالاتر عملکرد یک سیستم، مورد نیاز است. این سطوح به طور بالقوه در سیستم وجود دارند ولی می بایست با ایجاد تغییراتی به بالاترین سطح ممکن که سطح استاندارد عملکرد مربوط به آن سیستم می‌باشد و مرز نامیده می‌شود، رسید. روش‌های DEA، برای مقایسه عملکرد یک سیستم با سیستم‌های مشابه (به ویژه برترین سیستم‌ها) در طی یک دوره زمانی مشخص و شناسایی نقاط کاری جا افتاده از آن سیستم کاربرد دارند. همچنین این روش‌ها برای مقایسه فرایند یا فرایندهای یک سیستم با برترین فرایندهای مشابه و تشخیص سطح عملکرد دست یافته شده و بهبود نقاط کاری در یک سیستم بکار گرفته می شوند [۲۰].

همانطور که پیشتر اشاره شد شاخص‌های کارایی و بهره‌وری، جهت سنجش عملکرد یک سیستم و به منظور استفاده بهینه (فنّی یا اقتصادی یا هردو) از منابع در جریان تولید محصولات یا ارائه خدمات در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌های کارایی معمولاً به منظور امکان‌سنجی افزایش خروجی‌های مطلوب (نظیر تولید محصولات، یا انجام کار، یا تامین تقاضای هدف)، یا کاهش ورودی‌ها (مصرف منابعی نظیر کار، زمان، هزینه، موّاد خام، انرژی، آب و غیره) یا کاهش خروجی‌های نامطلوب (نظیر آلاینده‌های هوا) محاسبه می‌شوند [۱۸] و [۸].

در سطح ملّی و بین المللی، شاخص‌های کارایی و بهره‌وری در رابطه با تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شوند و نشان می‌دهند که برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات (برحسب واحد پول) چه مقدار از منابع (موّاد خام، انرژی، آب و غیره) بکار رفته است. [۲].

۲-۱. مدل‌های کارایی محیط زیستی با استفاده از روش‌های DEA

به منظور ایجاد مدل‌هایی برای محاسبات کارایی (فنّی) با استفاده از روش‌های DEA، دو مشخصه اصلی هر مدل یعنی ماهیّت و بازده نسبت به مقیاس می بایست مشخص باشد:

- ماهیّت ورودی: با ثابت نگه داشتن سطح خروجی‌ها، امکان کاهش سطح ورودی‌ها بررسی شود؛ یا به عبارتی سطح ورودی‌ها چقدر می‌تواند کاهش یابد درحالیکه سطح خروجی‌ها بدون تغییر باقی بماند.
- ماهیّت خروجی: با ثابت نگه داشتن سطح ورودی‌ها، امکان افزایش سطح خروجی‌ها بررسی شود؛ به عبارتی سطح خروجی‌ها چقدر می‌تواند افزایش یابد بدون آنکه سطح ورودی‌ها تغییر نماید [۱۶].
- بازده به مقیاس ثابت: هر مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها را ایجاد کند. مدل CCR[ii] بازده به مقیاس را ثابت فرض می‌کند [۹].
- بازده به مقیاس متغیر: هر مضربی از ورودی‌ها می‌تواند همان مضرب از خروجی‌ها یا کمتر از آن یا بیشتر از آن را ایجاد کند. مدل BCC[iii] بازده به مقیاس را متغیر فرض می‌کند [۷].

با توجه به این نکته که، درج قید مربوط به خروجی نامطلوب در مدل‌های مورد اشاره فوق، وابسته به کاربرد مدل کارایی، متفاوت می باشد [۱۴] و [۱۵]. چنانچه هدف، بررسی امکان کاهش ورودی‌ها با فرض ثابت ماندن خروجی مطلوب و خروجی نامطلوب باشد، فرمول (۱) و چنانچه هدف، بررسی امکان افزایش خروجی مطلوب با فرض ثابت ماندن خروجی نامطلوب و ورودی‌ها باشد، فرمول (۲) بکار برده می‌شود. چنانچه جدول داده‌ها (نقاط کاری) از یک سیستم موجود باشد، مدل کارایی محیط زیستی با استفاده از تکنیک Input VRS/BCC برای این سیستم به شرح فرمول (۱) می‌باشد:

$$TE_{I\,j} = \min_{\lambda} z_{\circ} = \Theta_{j_{\circ}} \qquad (۱)$$

$$\sum_{j} \lambda_j y_{k,j} \geq y_{k,j_0}$$

$$\sum_{j} \lambda_j b_{r,j} \geq b_{r,j_0}$$

$$\sum_{j} \lambda_j x_{i,j} \leq \Theta_{j_{\circ}} x_{i,j_0}$$

$$\sum_{j} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0$$

که $y_{k,j}$ خروجی مطلوب kام و $x_{i,j}$ ورودی iام، و $b_{r,j}$ خروجی نامطلوب rام از j امین نقطه کار این سیستم هستند.

ضریب اثر $\Theta_{j_\circ}$ اگر یک باشد، TE_{Ij} یعنی کارایی محیط زیستی با ماهیّت ورودی مربوط به نقطه کاری j ام از این سیستم، حداکثر می‌شود.

مدل کارایی محیط زیستی برای این سیستم با استفاده از تکنیک Output VRS/BCC به شرح فرمول (۲) است:

$$\frac{1}{TE_{Oj}} = \max_{\lambda} z_\circ = \Phi_{j_\circ}$$
$$\sum_j \lambda_j y_{k,j} \geq \Phi_{j_\circ} y_{k,j_0} \quad (۲)$$
$$\sum_j \lambda_j b_{r,j} \leq b_{r,j_0}$$
$$\sum_j \lambda_j x_{i,j} \leq x_{i,j_0}$$
$$\sum_j \lambda_j = 1$$
$$\lambda_j \geq 0$$

درصورتیکه ضریب اثر $\Phi_{j_\circ}$ برابر یک باشد، TE_{Oj} یعنی کارایی محیط زیستی با ماهیّت خروجی مربوط به نقطه کاری j ام از این سیستم، حداکثر خواهد شد.

عبارت اول و دوم فرمول (۲) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی نمود

$$TE_{Oj} = \min_{\lambda} z_\circ = \Phi_{j_\circ} \quad (۳)$$
$$\sum_j \lambda_j y_{k,j} \geq y_{k,j_0} / \Phi_{j_\circ}$$

با حذف قید $\sum_j \lambda_j = 1$ از فرمول‌های (۱) و (۲)، مدل‌های کارایی محیط زیستی برای این سیستم با استفاده از تکنیک‌های Input CRS/CCR و Output CRS/CCR به ترتیب بدست می‌آید.

نقاط کاری از یک سیستم که با استفاده از یکی از مدل‌های فوق، کارایی محیط زیستی برای آنها حداکثر (یعنی یک) بدست آمده باشد؛ مرز کارایی را برای آن مدل تشکیل می‌دهند.

تکنیک‌های DEA، براساس LP (برنامه ریزی خطی) و از نوع غیرپارامتریک هستند؛ یعنی به تعیین صریح روابط تابعی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها نیازی ندارند، حتّی می‌توان عواملی را با هم در یک مدل در نظر گرفت که هیچ رابطه ای معنادار بین آن ها وجود نداشته باشد. به عنوان مثال عوامل اجتماعی مثل جمعیت، یا نفر ساعت را در کنار میزان مصرف از منابع مثل انرژی، آب و غیره برای ورودی‌ها و میزان تولید کالاهای مختلف را برای خروجی‌ها در یک مدل در نظر گرفت [۱۰].

۲-۲. شاخص‌های بهره‌وری

هدف از این بخش، معرفی مولفه‌هایی است که برای محاسبه شاخص بهره‌وری کل[iv] (TFP) استفاده می‌شوند. بهره‌وری، شاخصی است که برای بررسی سطح عملکرد بدست آمده در یک سیستم و یا مقایسه عملکرد آن با دیگر سیستم‌ها کاربرد زیادی دارد. وقتی جدول داده‌ها (نقاط کاری) برای یک سیستم موجود باشد، محاسبه TFP با دو مولفه آن یعنی مولفه ناشی از تغییر کارایی فنّی (مولفه فنّی) و مولفه ناشی از تغییر فن آوری (تکنولوژی) (مولفه فن آوری) در سیستم قابل انجام است. این شاخص بهره‌وری، مالمکوئیست[v] نامیده می‌شود. مولفه‌های شاخص مالمکوئیست، با استفاده از مرزهای DEA بدست آمده از مدل‌های کارایی، محاسبه می‌شوند [۱۲].

شاخص بهره‌وری مالمکوئیست، تغییر TFP را بین دو گروه نقاط کاری از سیستم محاسبه می‌کند به گونه ای که هر کدام از این گروه ها مربوط به اجرای یک فن آوری است. بنابراین وقتی یک فن آوری جدید بکار گرفته می‌شود، برای بررسی کارایی سیستم، مرز جدیدی تعریف می شود و با محاسبه تغییر در بهره‌وری، با استفاده از نقاط کاری قبل و بعد از اجرای آن، فن آوری در سیستم اعمال می‌شود. درصورتیکه این شاخص برابر یک باشد، فن آوری موجود، برترین فن آوری است، در صورتیکه کمتر از یک باشد، نشان می دهد که فن آوری برتر از آن نیز موجود می باشد و اگر این شاخص بیشتر از یک باشد، این بدان معنی است که با بکارگیری فن آوری جدید، بهره‌وری در سیستم ارتقاء پیدا نموده است [۱۳].

مولفه فنّی و مولفه فن آوری با استفاده از مرزهای DEA بدست آمده از مدل‌های کارایی با ماهیّت ورودی، به ترتیب در فرمول‌های (۴) و (۵) ارائه می‌شود. اندیس اول، شماره مرز و اندیس دوم، شماره گروه نقاط کاری از یک سیستم را نشان می‌دهد. گروه نقاط کاری با شماره ۱ مربوط به قبل از اجرای فن آوری جدید در سیستم می‌باشد.

$$Effch = \frac{TE_{CRS(22)}}{TE_{CRS(11)}} \quad (۴)$$

$$Techch = \left[\frac{TE_{CRS(11)}}{TE_{CRS(22)}} \times \frac{TE_{CRS(12)}}{TE_{CRS(21)}} \right]^{1/2} \quad (۵)$$

همچنین تعدادی از محققان پیشنهاد نموده اند که مولفه تغییر کارایی فنّی (مولفه فنّی)، خود به دو مولفه دیگر یعنی مولفه کارایی مطلق (خالص) فنّی[vi] (مولفه مطلق فنّی) و مولفه کارایی مقیاس[vii] (مولفه مقیاس) تجزیه می شود به طوریکه این دو رابطه به ترتیب در فرمول‌های (۶) و (۷) نشان داده شده است. کارایی مقیاس مربوط به پراکنش داده‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها در

مدل‌های کارایی است، به طوریکه هر چه این پراکنش به صورت منحنی باشد، بهبودی بیشتری در مولفه فنّی شاخص بهره‌وری ایجاد می‌شود [۱۲].

$$Pech = \frac{TE_{VRS(22)}}{TE_{VRS(11)}} \quad (۶)$$

$$Sech = \frac{SE_{(22)}}{SE_{(11)}} = \frac{TE_{CRS(22)}/TE_{VRS(22)}}{TE_{CRS(11)}/TE_{VRS(11)}} = \frac{TE_{CRS(22)} \times TE_{VRS(11)}}{TE_{CRS(11)} \times TE_{VRS(22)}} = \frac{Effch}{Pech} \quad (۷)$$

$$M - TFP = Effch \times Techch = Pech \times Sech \times Techch \quad (۸)$$

$$\%input = (1 - TE_{CRS(22)}) * 100 \quad (۹)$$

بنابراین شاخص بهره‌وری مالمکوئیست از فرمول (۸) بدست می‌آید؛ بعد از اجرای فن آوری جدید، درصد ممکن برای کاهش ورودی‌ها با ثابت نگه داشتن سطح خروجی‌ها در فرمول (۹) ارائه می‌شود:

۲-۳. داده‌ها و متغیرها

اطلاعات مصرف از منابع (مثل برق، آب، گاز، ....) در صنایع همگانی، معمولاً در دسترس‌تر از سایر اطلاعات می‌باشد، بنابراین تکنیک‌های DEA با ماهیّت ورودی برای مدل‌های کارایی در این صنایع کاربرد بیشتری دارند [۱۶]. طرح‌های ملّی و بین المللی در حوزه انرژی و محیط زیست معمولاً با هدف صرفه جویی در مصرف از منابع و کاهش میزان آلاینده‌ها (به ویژه آلاینده‌های هوا) اجرا می‌شوند. مطلوب است که در اجرای این طرح‌ها، سطح تولید ناخالص داخلی کاهش داده نشود و در اصطلاح "اتلاف بهره‌وری" ایجاد نشود، زیرا مشکلات اقتصادی را به همراه خواهد داشت. بنابراین مدل‌های کارایی محیط زیستی با فرض ثابت ماندن سطح تولید ناخالص داخلی در بررسی عملکرد این طرح‌ها، قابل استفاده می باشند. در این تحقیق، با استفاده از تکنیک‌های DEA با ماهیّت ورودی شامل Input CRS/CCR و Input VRS/BCC، کارایی و بهره‌وری برای دو طرح بزرگ محیط زیستی اجرا شده در ایران بررسی می‌شود.

طرح ۱: هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران از سال ۱۳۸۹

در این تحقیق، کارایی و بهره‌وری اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها از نظر تاثیر آن در میزان مصرف سوخت‌های فرآورده‌های عمده نفتی و گاز طبیعی و همچنین آلاینده CO_2 ناشی از مصرف این سوخت‌ها، بررسی می‌شود. داده‌ها و متغیرهایی شامل (میزان مصرف سوخت‌های بنزین، نفت سفید، نفت گاز (گازوئیل)، نفت کوره، گاز مایع، گاز طبیعی، و سایر فرآورده‌های نفتی نظیر متانول، پروپان، قیر، روغن، حلال، سوخت هواپیما و غیره) به عنوان ورودی‌ها، و (میزان آلاینده CO_2 ناشی از مصرف این سوخت‌ها) به عنوان خروجی نامطلوب و (تولید ناخالص داخلی) به عنوان خروجی مطلوب در این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. مراجع داده‌های مورد نیاز برای استفاده در مدل‌های پیشنهادی، ترازنامه‌های انرژی ایران برای سال‌های ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۱ می‌باشد [۲].

مدل‌های کارایی و شاخص‌های بهره‌وری پیشنهادی، برای محاسبه بهره‌وری بدست آمده در طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران بکار برده می‌شود. همچنین امکان کاهش مصرف سوخت‌های فرآورده‌های عمده نفتی و گاز طبیعی با در نظر گرفتن میزان آلاینده CO_2 ناشی از مصرف این سوخت‌ها در مدل‌های کارایی، محاسبه و بررسی می‌شود. برای این منظور داده‌ها به دو گروه تقسیم می‌شود شامل گروه نقاط کاری اول مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ الی ۱۳۸۹ (قبل از اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها) و گروه نقاط کاری دوم مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۱ و برای هر گروه، مرزهای DEA از مدل‌های کارایی پیشنهادی بدست می‌آید.

طرح ۲: جمع آوری و تصفیه فاضلاب کلانشهر تهران از سال ۱۳۹۰

در این تحقیق، کارایی و بهره‌وری اجرای طرح تصفیه فاضلاب از نظر تاثیر آن در کاهش مصرف از منابع آب در کلانشهر تهران بررسی می‌شود. داده‌ها و متغیرهایی شامل (میزان برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی) به عنوان ورودی‌ها و (میزان تلفات و مصرف داخلی در سیستم تصفیه آب) به عنوان خروجی نامطلوب و (میزان فاضلاب جمع آوری و تصفیه شده، فروش آب به استان‌های همجوار، ذخیره احتمالی، تولید ناخالص داخلی) به عنوان خروجی‌های مطلوب در این مدل‌ها در نظر گرفته می‌شود. منظور از ذخیره احتمالی، تفاوت مجموع برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی با مصرف آب در مناطق کلانشهر تهران می‌باشد. مراجع داده‌های مورد نیاز برای مدل‌های پیشنهادی، آمار بهره برداری شرکت تامین و تصفیه آب و فاضلاب تهران از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۲ می‌باشد [۱].

مدل‌های کارایی و شاخص‌های بهره‌وری پیشنهادی، برای محاسبه بهره‌وری دست یافته شده در سیستم تامین و تصفیه آب و فاضلاب در کلانشهر تهران بکار برده می‌شود. همچنین امکان کاهش برداشت از منابع آب در این سیستم، محاسبه و بررسی می‌شود.

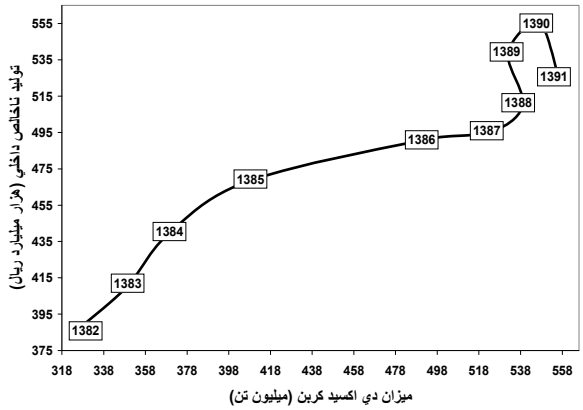
برای این منظور داده‌ها به دو گروه تقسیم می‌شود، مشتمل بر گروه نقاط کاری اول مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۹ و گروه نقاط کاری دوم مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۲ و برای هر گروه، مرزهای DEA از مدل‌های کارایی پیشنهادی بدست می‌آید.

مدل‌های پیشنهادی در این تحقیق از نوع DEA با ماهیّت ورودی می‌باشند که در آنها ورودی‌ها، متغیرهایی هستند که می بایست سطح آنها کاهش داده شود، و خروجی‌های مطلوب و نامطلوب، متغیرهایی هستند که فرض می‌شود سطح آنها ثابت نگه داشته شود. این مدل‌ها با درج داده‌های مربوطه در نرم افزار (GAMS) General Algebraic Modeling System نوشته شده و انواع شاخص‌های بهره‌وری معرفی شده در بخش قبل، با استفاده از مرزهای DEA بدست آمده از مدل‌های کارایی، محاسبه می‌شوند.

۳. یافته‌های تحقیق و بحث

طرح ۱: با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران در سال ۱۳۸۹، قیمت حامل‌های انرژی افزایش چشمگیری یافت. با وجود افزایش قیمت، نمی‌توان روند ثابتی را در ارتباط با کاهش یا افزایش مصرف حامل‌های انرژی ارائه داد. مصرف نفت سفید، نفت گاز، گاز مایع و گاز طبیعی به ترتیب ۲/۴، ۳/۷، ۲ و ۱ درصد کاهش و مصرف بنزین و نفت کوره به ترتیب ۵/۹، و ۱۳/۸ درصد افزایش در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال قبل از آن داشته است. با وجود طرح هدفمندی یارانه‌ها، نسبت مصرف سوخت‌ها بر تولید ناخالص داخلی، تغییر چندانی نداشته است [۱].

آلاینده CO_2 در بین آلاینده‌های هوای ایران، بیشترین میزان را دارد. نمودار پراکنش میزان آلاینده CO_2 و تولید ناخالص داخلی از سال ۱۳۸۲ الی ۱۳۹۱ در شکل شماره (۱) ارائه شده است. این نمودار، افزایش آلاینده CO_2 و افزایش تولید ناخالص داخلی را تا سال ۱۳۸۶ نشان می‌دهد. سپس تا سال ۱۳۸۸، تولید ناخالص داخلی، رشد چندانی نداشته اما میزان آلاینده CO_2 افزایش یافته است. سال ۱۳۸۹ با وجود افزایش تولید ناخالص داخلی، میزان آلاینده CO_2 کاهش یافته است که علت این پدیده، اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها و افزایش قیمت حامل‌های انرژی می‌باشد. در ادامه اجرای این طرح، در سال‌های ۹۰ و ۹۱، کاهش تولید ناخالص داخلی مشاهده می‌شود که نشاندهنده تاثیر هزینه‌های حامل‌های انرژی در کاهش تولید و خدمات عمده می‌باشد، علی رغم اینکه میزان آلاینده CO_2 در این سال‌ها کاهش نیافته است.



شکل ۱. نمودار پراکنش میزان دی اکسید کربن و تولید ناخالص داخلی در کشور ایران

جدول ۱. شاخص‌های کارایی طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران

شاخص‌های کارایی	TECRS(11)	TECRS(22)	TECRS(21)	TECRS(12)	TEVRS(11)	TEVRS(22)	SE(11)	SE(22)
با CO2	۰/۹۲۹۶	۱/۰۰۰۰	۰/۹۸۰۳	۰/۸۲۴۴	۰/۹۷۹۴	۱/۰۰۰۰	۰/۹۴۹۲	۱/۰۰۰۰
بدون CO2	۰/۹۹۵۹	۱/۰۰۰۰	۰/۹۸۹۳	۰/۹۴۶۰	۰/۹۹۶۳	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۹۷	۱/۰۰۰۰

جدول ۲. شاخص‌های بهره‌وری طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران

شاخص‌های بهره‌وری	Effch	%Effch	Techch	%Techch	Pech	%Pech	Sech	%Sech	M-TFPch	%M-TFPch
با CO2	۱/۰۷۵۷	۷/۵۶	۰/۸۸۴۲	-۱۱/۵۸	۱/۰۲۱۰	۲/۱۰	۱/۰۵۳۶	۵/۳۶	۰/۹۵۱۱	-۴/۸۹
بدون CO2	۱/۰۰۴۱	/۴۱	۰/۹۷۵۹	-۲/۴۱	۱/۰۰۳	۰/۳۸	۱/۰۰۰۳	۰/۰۳	۰/۹۷۹۹	-۲/۰۱

شاخص‌های کارایی و بهره‌وری بدست آمده از مدل‌های پیشنهادی و محاسبات داده‌های این تحقیق، در دو وضعیت یعنی با و بدون در نظر گرفتن میزان آلاینده CO2 (خروجی نامطلوب) در مدل‌ها، در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است.

کارایی‌های محاسبه شده از تکنیک CRS کمتر از VRS بدست می‌آید، در واقع با تکنیک VRS مقادیر محاسبه شده به یک نزدیکتر (کاراتر) می باشند. علت این است که در تکنیک CRS، هر

مضربی از ورودی‌ها همان مضرب از خروجی‌ها را ایجاد می‌کند، ضمن اینکه با ماهیّت ورودی و درنظر گرفتن هدف حداقل سازی ورودی‌ها با ثابت ماندن خروجی‌ها، کارایی محاسبه شده کاهش می‌یابد.

کارایی‌های محاسبه شده بدون در نظر گرفتن میزان آلاینده ۲CO، عددی به یک نزدیکتر بدست می‌آید و به ظاهر کاراتر می باشد. اما در واقع نشاندهنده کمبود متغیرهای تاثیرگذار در محاسبه کارایی می‌باشد. بنابراین در نظر گرفتن خروجی نامطلوب در محاسبات کارایی به همراه خروجی‌های مطلوب و ورودی‌ها، شاخص‌های کارایی واقعی‌تری را ارائه می‌دهد.

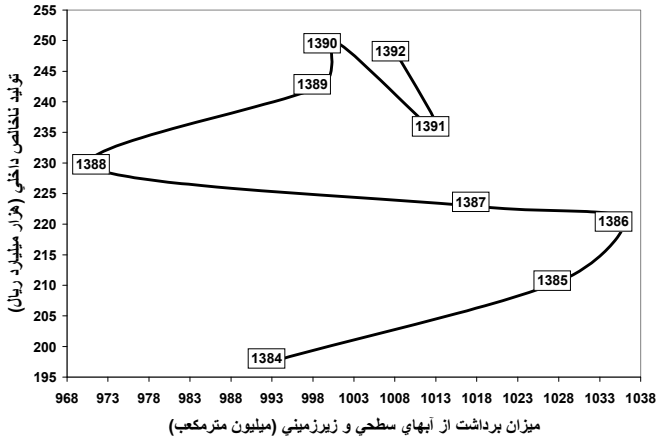
کارایی‌های محاسبه شده برای بعد از سال ۱۳۸۹ (سال اجرای طرح هدفمندی) به عدد یک نزدیکتر (کاراتر) بدست آمده است. اما می‌تواند نشاندهنده کمبود تعداد نقاط کاری در نظر گرفته شده (گروه دوم) در محاسبات کارایی مربوط به آنها نیز باشد. با این وجود امکان مقایسه با کارایی‌های محاسبه شده برای زمان قبل از اجرای طرح هدفمندی وجود دارد. در سال‌های بعد از ۱۳۹۱ و با ارائه ترازنامه‌های انرژی جدید، این محاسبات قابل بازنگری خواهد بود.

شاخص‌های بهره‌وری محاسبه شده بدون در نظر گرفتن میزان آلاینده ۲CO، بسیار ناچیز هستند درحالیکه با در نظر گرفتن ۲CO این شاخص‌ها قابلیت بیشتری برای بحث و بررسی دارند. شاخص بهره‌وری مالمکوئیست با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها از سال ۱۳۸۹و تغییر کارایی از گروه نقاط کاری اول به دوم، بهبود نیافته بلکه حدود ۴/۸۹ درصد بدتر شده است. گروه نقاط کاری اول، مربوط به سال‌های ۱۳۸۲ الی ۱۳۸۹ و گروه نقاط کاری دوم مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۱ می‌باشد. شاخص بهره‌وری مالمکوئیست از چند عامل تشکیل شده که تغییرات در مورد هر یک به طور جداگانه در جدول (۲) ارائه شده است. بهبود بهره‌وری از اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها فقط از نظر فنّی ایجاد شده است. این بهبودی حدود ۷/۵۶ درصد بدست آمده است که حدود ۲/۱۰ درصد آن، مربوط به بهبودی مولفه مطلق فنّی و ۵/۳۶ درصد آن، مربوط به بهبودی مولفه مقیاس می باشد و نشان می‌دهد پراکنش داده‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها، به شکل منحنی نزدیکتر شده است. مولفه تغییر فن آوری (تکنولوژی) شاخص بهره‌وری مالمکوئیست با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها بهبود نیافته، بلکه حدود ۱۱/۵۸ درصد بدتر شده است.

اگر تولید ناخالص داخلی و میزان آلاینده ۲CO در سطح سال ۱۳۹۱ باقی بماند، درصد ممکن برای کاهش و صرفه جویی در مصرف سوخت‌های فرآورده‌های عمده نفتی و گاز طبیعی با توجه به فرمول (۹) و جدول (۲)، صفر بدست می‌آید. یعنی بدون کاهش در میزان تولیدات و خدمات عمده، امکان کاهش در میزان مصرف سوخت‌ها و در نتیجه کاهش در میزان آلاینده‌هایی نظیر ۲CO ناشی از مصرف سوخت‌ها میسر نمی‌شود. این مسئله نشان می‌دهد که برای بهبود بهره‌وری اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها، باید از فن آوری‌های برتری استفاده شود و اقدامات انجام شده که فقط شامل تغییر قیمت حامل‌های انرژی بوده است، کافی نمی‌باشد.

طرح ۲: مصرف منابع مختلف به ویژه آب در کلانشهر تهران رو به گسترش است درحالیکه این منابع با رشد جمعیت و تغییر آب و هوا نسبت به سال‌های قبل در حال کاهش می‌باشد. طرح شرکت تامین و تصفیه آب و فاضلاب تهران برای جمع آوری و تصفیه فاضلاب از سال ۱۳۹۰ و برای مدیریت مصرف آب جهت افزایش ذخیره سالانه و فروش مازاد مصرف به استان همجوار (البرز) از سال ۱۳۹۱ شروع شده است (آبفا، ۱۳۹۳). نمودار پراکنش میزان برداشت از منابع آب (سطحی و زیرزمینی) و تولید ناخالص داخلی از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۹۲ در کلانشهر تهران در شکل شماره (۲) ارائه شده است.

همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می شود، برداشت از منابع آب در کلانشهر تهران از سال ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۶ افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. سپس از سال ۱۳۸۶ الی ۱۳۸۸ با کاهش روبرو بوده است، در حالیکه تولید ناخالص داخلی در طی این سال‌ها تاحدی افزایش یافته است. از سال ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۲، هم برداشت از منابع آب و هم تولید ناخالص داخلی، تقریباً نزدیک به سطح سال ۱۳۸۹ باقی مانده است. سایر خروجی‌های مطلوب در مدل‌های کارایی پیشنهادی، شامل میزان فاضلاب جمع آوری و تصفیه شده، ذخیره احتمالی و فروش مازاد مصرف به استان همجوار از سال ۱۳۹۰ در حال افزایش می باشد. ثبات نسبی در میزان برداشت از منابع آب و نیز تولید ناخالص داخلی از سال ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۲، نشانه مشخص و تثبیت شدن سطح نیاز به آب در فرایندهای مختلف به ویژه تولیدی و خدماتی عمده در کلانشهر تهران است، زیرا فراهم نمودن آب برای این فرایندهای تولیدی و خدماتی از منابع غیرمحلی، مقرون به صرفه نمی باشد و برای رفع نیاز اینگونه فرایندها معمولاً از نزدیک ترین منابع آب به صورت محلی از قبیل چاه های آب، آب بند ها و سد های کوچک احداثی در مسیر رودخانه ها و از این قبیل استفاده می‌شود.



شکل ۲. نمودار پراکنش میزان برداشت از منابع آب و تولید ناخالص داخلی در کلانشهر تهران

جدول ۳. شاخص‌های کارایی مصرف آب در کلانشهر تهران

شاخص‌های کارایی	$TE_{CRS(11)}$	$TE_{CRS(22)}$	$TE_{CRS(21)}$	$TE_{CRS(12)}$	$TE_{VRS(11)}$	$TE_{VRS(22)}$	$SE_{(11)}$	$SE_{(22)}$
با GDP	۰/۹۶۱۰	۰/۹۷۸۰	۰/۷۷۸۶	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۶۰	۰/۹۹۷۰	۰/۹۶۴۹	۰/۹۸۱۰
بدون GDP	۰/۴۵۴۳	۰/۹۶۲۰	۰/۱۶۴۸	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۱۷	۰/۹۹۷۰	۰/۴۵۸۱	۰/۹۶۵۰

جدول ۴. شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در کلانشهر تهران

شاخص‌های بهره‌وری	Effch	%Effch	Techch	%Techch	Pech	%Pech	Sech	%Sech	M-TFPch	%M-TFPch
با GDP	۱/۰۱۸۰	۱/۸۰	۱/۱۲۳۲	۱۲/۳۲	۱/۰۰۱۲	۰/۱۲	۱/۰۱۶۸	۱/۶۸	۱/۱۴۳۴	۱۴/۳۴
بدون GDP	۲/۱۱۷۳	۱۱۱/۷۳	۱/۶۹۲۸	۶۹/۲۸	۱/۰۰۵۵	۰/۵۵	۲/۱۰۵۷	۱۱۰/۵۷	۳/۵۸۴۱	۴۱/۲۵۸

شاخص‌های کارایی و بهره‌وری بدست آمده از مدل‌های پیشنهادی و محاسبات داده‌های این تحقیق، در دو وضعیت یعنی با و بدون در نظر گرفتن تولید ناخالص داخلی GDP در مدل‌ها به عنوان یک عامل تاثیرگذار خارج از متغیرهای داخلی سیستم آب و فاضلاب کلانشهر تهران، به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

کارایی‌ها بدون در نظر گرفتن GDP، و به ویژه با تکنیک CRS بسیار کمتر از یک بدست می‌آید و به نظر نمی‌رسد که واقعی باشد. این نشان می‌دهد محاسبات کارایی فقط با استفاده از اطلاعات بدست آمده از داخل فرایندها کافی نیست و باید اثرات عوامل خارجی نظیر GDP که نشان دهنده فرایندهای اقتصادی در حوزه تحت پوشش است یا عوامل دیگر نظیر اجتماعی و غیره نیز بررسی شوند.

شاخص بهره‌وری مالمکوئیست با اجرای طرح تصفیه فاضلاب کلانشهر تهران از سال ۱۳۹۰ و تغییر کارایی از گروه نقاط کاری اول به دوم، حدود ۱۴/۳۴ درصد بهبود یافته است. گروه نقاط کاری اول، مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۹ و گروه نقاط کاری دوم مربوط به سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۲ می‌باشد. شاخص بهره‌وری مالمکوئیست از چند عامل تشکیل شده که تغییرات در مورد هر یک به طور جداگانه در جدول (۴) ارائه شده است. بهبود بهره‌وری از نظر فنّی، حدود ۱/۸۰ درصد بدست آمده است که ۰/۱۲ درصد آن مربوط به بهبودی مولفه مطلق فنّی می‌باشد. حدود ۱/۶۸ درصد از بهبودی بهره‌وری فنّی مربوط به بهبودی مولفه مقیاس است و نشان می‌دهد پراکنش داده‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها، به شکل منحنی نزدیکتر شده است. استفاده از طرح‌ها و فن آوری‌های جدید شامل تصفیه فاضلاب و غیره از سال ۱۳۹۰ به بعد، حدود ۱۲/۳۲ درصد سبب بهبودی مولفه فن آوری (تکنولوژی) شاخص بهره‌وری مالمکوئیست، شده است.

محاسبات بهره‌وری بدون درنظر گرفتن GDP، افزایش قابل توجهی را در بهره‌وری نشان می‌دهد که چندان قابل قبول نیست و باز هم تاکید می‌شود که در محاسبات شاخص‌های کارایی و بهره‌وری به ویژه در سطح ملّی و بین المللی، به اطلاعات بدست آمده از داخل فرایندها اکتفا نشود و عوامل خارجی نظیر GDP که نشان دهنده

تاثیر عوامل اقتصادی در حوزه تحت پوشش است، نیز درنظر گرفته شود.

همانگونه که مشاهده می شود درصد ممکن برای کاهش برداشت از منابع آب در کلانشهر تهران در جدول (۵) ارائه شده است. درصورتیکه تولید ناخالص داخلی، در سطح سال ۱۳۹۲ باقی بماند، امکان کاهش برداشت از منابع آب تا حدود ۲/۲ درصد وجود دارد.

در آمار شرکت تامین و تصفیه آب و فاضلاب تهران، میزان برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی در سال ۱۳۹۲ به ترتیب ۷۱۸ و ۲۹۰ میلیون مترمکعب اعلام شده است. امکان کاهش برداشت از این منابع آب، بدون کاهش در تولیدات و خدمات عمده مربوط به کلانشهر تهران، طبق جدول (۵) در مجموع ۲۲/۱۷۶ میلیون مترمکعب بدست آمده است.

جدول ۵. درصد ممکن برای کاهش برداشت از منابع آب در کلانشهر تهران

	$TE_{CRS(22)}$	درصد کاهش	آب‌های سطحی (میلیون مترمکعب)	آب‌های زیرزمینی (میلیون مترمکعب)	مجموع صرفه جویی (میلیون مترمکعب)
با در نظر گرفتن GDP	۰/۹۷۸۰	۲/۲	۱۵/۷۹۶	۶/۳۸۰	۲۲/۱۷۶
بدون در نظر گرفتن GDP	۰/۹۶۲۰	۳/۸	۲۷/۲۸۴	۱۱/۰۲۰	۳۸/۳۰۴

۴. یافته‌های تحقیق و بحث

۴-۱. نتایج

۱- تکنیک‌های DEA با ماهیّت ورودی و در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب، برای ایجاد مدل‌های کارایی و محاسبات شاخص‌های کارایی و بهره‌وری در صنایع با استفاده از اطلاعات مصرف از منابع (مثل برق، آب، گاز، ....) مناسب می‌باشند. مدل‌های کارایی پیشنهادی این تحقیق، به سادگی و با دقت توانستند به کلیه سوالات مربوط به محاسبات شاخص‌های کارایی و بهره‌وری و میزان کاهش یا افزایش انواع داده‌ها، شامل ورودی‌ها (میزان مصرف از منابع)، خروجی‌های مطلوب (سطح تولیدات و خدمات عمده) و خروجی‌های نامطلوب (نظیر میزان آلاینده‌های هوا) پاسخ دهند. این مدل‌ها، امکان افزودن فرضیات یا قیود جدید برای کاهش ورودی‌ها، تقویت خروجی‌های مطلوب و تضعیف خروجی‌های نامطلوب را به منظور بررسی بهبودی در شاخص‌های کارایی و بهره‌وری، میسر می‌سازند.

۲- همانگونه که پیشتر اشاره شده، مدل‌های DEA پیشنهادی در این تحقیق، در نرم افزار GAMS نوشته شده است. سرعت عمل اجرای این مدل‌ها در این نرم افزار بسیار زیاد است و با محدودیت‌های نرم افزاری از نظر ابعاد جدول داده‌ها، نیز کمتر مواجه می‌شوند.

۳- در این تحقیق، با در نظر گرفتن خروجی نامطلوب (نظیر میزان آلاینده CO_2) در مدل‌های کارایی به همراه خروجی‌های مطلوب و ورودی‌ها، نتایج واقعی‌تری بدست آمده است. به طوری که کارایی‌های محاسبه شده بدون در نظر گرفتن خروجی نامطلوب، به عدد یک نزدیکتر و به ظاهر کاراتر بدست آمده اما در واقع نشاندهنده کمبود متغیرهای تاثیرگذار در محاسبه کارایی می‌باشند. همچنین شاخص‌های بهره‌وری محاسبه شده بدون در نظر گرفتن میزان آلاینده CO_2، بسیار ناچیز می باشند، درحالیکه با در نظر گرفتن CO_2 این شاخص‌ها قابلیت بیشتری برای بحث و بررسی دارند.

۴- کارایی‌های محاسبه شده برای بعد از سال ۱۳۸۹ (سال اجرای طرح هدفمندی) به عدد یک نزدیکتر (کاراتر) بدست آمد است، به طویکه می‌تواند نشاندهنده کمبود تعداد نقاط کاری در نظر گرفته شده در محاسبات کارایی مربوط به آنها باشد. بهتر است در سال‌های بعد از ۱۳۹۱ و با ارائه ترازنامه‌های انرژی جدید، این محاسبات بازنگری شود.

۵- شاخص بهره‌وری مالمکوئیست با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌های انرژی ایران تاکنون، حدود ۴/۸۹ درصد کاهش یافته است. بهبود بهره‌وری از نظر فنّی، حدود ۷/۵۶ درصد بدست آمده است، اما مولفه تغییر فن آوری (تکنولوژی) حدود ۱۱/۵۸ درصد کاهش داشته است. نتایج محاسبات کارایی و بهره‌وری در این تحقیق نشان می‌دهد که بدون استفاده از فن آوری‌های برتر در بهینه سازی مصرف سوخت‌ها یا کاهش در میزان تولیدات و خدمات عمده (مربوط به تولید ناخالص داخلی)، امکان کاهش در میزان مصرف سوخت‌ها و در نتیجه کاهش در میزان آلاینده‌هایی نظیر CO_2 ناشی از مصرف سوخت میسر نمی‌شود و اقدامات انجام شده تاکنون، که فقط شامل تغییر قیمت حامل‌های انرژی بوده است، کافی نمی‌باشد.

۶- شاخص بهره‌وری مالمکوئیست با اجرای طرح تصفیه فاضلاب کلانشهر تهران تاکنون، حدود ۱۴/۳۴ درصد بهتر شده است. بهبود بهره‌وری از نظر فنّی، حدود ۱/۸۰ درصد بدست آمده است. همچنین استفاده از طرح‌ها و فن آوری‌های جدید شامل تصفیه فاضلاب و غیره از سال ۱۳۹۰ به بعد، حدود ۱۲/۳۲ درصد سبب بهبود این شاخص بهره‌وری از نظر فن آوری شده است. نتایج محاسبات کارایی و بهره‌وری در این تحقیق نشان می‌دهد که بدون کاهش در تولیدات و خدمات عمده مربوط به کلانشهر تهران،

امکان کاهش و صرفه جویی در برداشت از منابع آب تا ۲/۲ درصد میسر می‌باشد.

۷- محاسبات کارایی و بهره‌وری بدون در نظر گرفتن GDP افزایش غیرقابل قبولی در شاخص‌های بهره‌وری ایجاد می‌کند و نشان می‌دهد که نباید به اطلاعات بدست آمده از داخل فرایندها به تنهایی اکتفاء نمود.

۸- محاسبات شاخص‌های کارایی و بهره‌وری مربوط به بررسی عملکرد طرح‌های ملّی و بین المللی، با داده‌ها و متغیرهای متنوعی مواجه می‌شود. به طوریکه لازم است این شاخص‌ها به مولفه‌های مختلفی تجزیه شوند و هر مولفه مورد تحلیل دقیق قرار داده شود. در این تحقیق، با محاسبه شاخص بهره‌وری مالمکوئیست، شامل مولفه مطلق فنّی، مولفه مقیاس و مولفه فن آوری برای طرح‌های ملّی معرفی شده، مشخص گردید، چنانچه فقط به نتیجه محاسبه مولفه فنّی اکتفاء شود، ممکن است این تصور ایجاد شود که بهره‌وری، بهبود یافته است ولی با محاسبه مولفه فن آوری می تواند نتایج متفاوتی به همراه داشته باشد.

۹- طرح‌های کلان انرژی و محیط زیست که در آن ها از فن آوری‌های برتر برای کاهش مصرف منابع و آلاینده‌های مربوطه استفاده می شود، نیازی به کاهش تولیدات و خدمات عمده و ایجاد تلفات بهره‌وری ندارند.

۴-۲ پیشنهادها

۱- بهتر است در محاسبات کارایی، تعداد نقاط کاری کافی باشد تا نتایج واقعی‌تری حاصل شود.

۲- تاثیر عوامل اقتصادی در حوزه تحت پوشش و همچنین عوامل اجتماعی نظیر جمعیت و غیره در محاسبات شاخص‌های کارایی و بهره‌وری به ویژه در سطح ملّی و بین المللی، با اهمیت می باشد.

۳- به منظور بررسی گسترده‌تر در مورد شاخص بهره‌وری طرح‌های کلان انرژی و محیط زیست، بهتر است از مدل‌های کارایی به تفکیک بخش‌های مختلف مصرف کننده، نظیر نیروگاه‌ها (وزارت نیرو، خصوصی، صنایع بزرگ) و پالایشگاها، بخش های حمل و نقل، صنعتی، کشاورزی، تجاری، عمومی (ارتش و ادارات) و خانگی مورد استفاده قرار گیرد.

پی نوشت

1. Data envelopment analysis (DEA)
2. Charnes, Cooper and Rhodes (CCR)
3. Banker, Charnes and Cooper (BCC)
4. Multi or Total Factor Productivity (MFP or TFP)
5. Malmquist TFP Index
6. Pure technical efficiency change
7. Scale efficiency change

مراجع

[۱] آبفا، گزارشات بهره برداری، شرکت تامین و تصفیه آب و فاضلاب استان تهران ، (۱۳۹۳).

[۲] ترازنامه انرژی ایران، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، وزارت نیرو، تهران، (۱۳۹۱).

[۳] سرخیل، حمید، و حبیبی راد، مهیار، "مدل‌های کارایی محیط زیستی برای تحلیل اثر طرح هدفمندی یارانه‌ها بر آلودگی هوای کلانشهر تهران"، هفتمین همایش ملّی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، (۱۳۹۳)، صفحه ۲۹۵.

[۴] شفیعا، محمدعلی، مهدوی مزده، محمد، باقرپور، مرتضی، و پورنادر، مهردخت، " ارائه مدل تحلیل پوششی داده های دو سطحی در مدیریت ریسک زنجیره تأمین به منظور انتخاب تأمین کننده" نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، پاییز (۱۳۹۲)، جلد ۴۲، شماره ۳ ، صفحه ۳۱۶-۳۲۶.

[۵] کتابی، سعیده، و یزدانی، بیتا، "سنجش کارایی تولیدو رتبه‌بندی محصولات یک واحد صنعتی با روش تحلیل پوششی داده‌ها در حالت قطعی و بازه‌ای" نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، اسفند (۱۳۹۳)، جلد ۲۵، شماره ۴، صفحه ۴۸۰-۴۶۶.

[۶] محقر، علی، حکاک، محمد، و یعقوبی، حسین، "ارزیابی کارایی واحد های ارزی بانک کشاورزی با استفاده از روش های ترکیبی BSC، DEA و AHP"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شهریور (۱۳۹۳)، جلد ۲۵، شماره ۲، صفحه ۲۴۷-۲۳۷.

[7] Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., “Some Models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, Management Science Journal, (1984), Vol. 30, No. 9 , pp. 1078-1092.

[8] Bian, Y., Yang, F., “Resource and environment efficiency analysis of provinces in China: a DEA approach based on Sannon’s entropy”, Energy Policy Journal, (2010), Vol. 38, pp. 1909–17.

[9] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., “Measuring the efficiency of decision making units”, European Journal of

Operational Research, (1978), Vol. 2 , pp. 429-444.

[10] Cherchye, L., Kuosmanen, T., Post, T., "New tools for dealing with errors-in-variables in DEA", Technical. report, Catholic University of Leuven, (2000).

[11] Chung, Y., Heshmati, A., "Measurement of environmentally sensitive productivity growth in Korean industries", Journal of Cleaner Production, (2014), pp. 1-12.

[12] Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z., "Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries". American Economic Review Journal. (1994), Vol. 84, pp. 66–83.

[13] Färe, R., Grosskopf, S., Roos, P,. "Malmquist productivity indexes: a survey of theory and practice", in Färe, R., Grosskopf, S., Russell, R. (editors) Index numbers: essays in honour of Sten Malmquist, Boston: Kluwer Academic Publishers, (1998).

[14] Färe, R., Grosskopf, S., "Nonparametric productivity analysis with undesirable outputs: comment". American Journal of Agricultural Economics, (2003), Vol. 85, No. 4, pp. 1070–1074.

[15] Färe, R., Grosskopf, S., Pasurka, C., "Pollution abatement activities and traditional productivity". Ecological Economics, (2007), Vol. 62, pp. 673–682.

[16] Farrell, M.J., "The Measurement of Productive Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, series A, Part III, (1957), Vol. 120, pp. 253-290.

[17] Gilli, M., Mancinelli, S., Mazzanti, M., "Analysis Innovation complementarity and environmental productivity effects: Reality or delusion? Evidence from the EU", Ecological Economics, (2014), Vol. 103, pp. 56–67.

[18] Hu, J., Wang, S., Yeh, F., "Total-factor water efficiency of regions in China", Resources Policy Journal, (2006), Vol. 31, pp. 217–30.

[19] Neely, A., Gregory, M., Platts, K., "Performance measurement system design: a literature review and research agenda". International Journal of Operations & Production Management, (2005), Vol. 25, pp. 1228–63.

[20] Stapenhurst, T., The benchmarking book: a how-to-guide to best practice for managers and practitioners, Oxford: Elsevier, (2009).

[21] Van der Stede, W., Chow, C.W., Lin, T.W., "Strategy, choice of performance measures, and performance", Behavioral Research in Accounting Journal, (2006), Vol. 18, pp. 185–205.

[22] Verfaillie, H.A., Bidwell, R.. "Measuring Eco-Efficiency—A Guide to Reporting Company Performance". World Business Council for Sustainable Development, (2000).

[23] Zhang, H., Lai Lei, S., "An Assessment Framework for the Renovation of Existing Residential Buildings Regarding Environmental Efficiency", Procedia - Social and Behavioral Sciences (2012), Vol. 68, pp. 549–563.

[24] Zhang, Z., Ye, J. "Decomposition of environmental total factor productivity growth using hyperbolic distance functions: A panel data analysis for China", Energy Economics, (2015), Vol. 47 , pp. 87–97.

[25] Zhou. P., Ang, B.W., Poh, K.L., "A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies". European Journal of Operational Research, (2008), Vol. 189, pp.1–18.