مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره سوم (پیاپی ۷۸)،پاییز ۰۲، ص ص ۸۶-۶۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

تحلیل آلودگی زیست‌محیطی و اثرات آن بر سلامت، کاربرد مدل‌سازی غیرشعاعی مبتنی بر DFM

فاطمه زمزم[۱]، حبیب زارع احمدآبادی[۲*]، علیرضا ناصرصدرآبادی[۳]، علی مروتی‌شریف‌آبادی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۳- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۴- دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

رسید مقاله: ۴ دی ۱۴۰۱
پذیرش مقاله: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۲

چکیده

تحلیل کارایی کشورها در زمینه توسعه پایدار با توجه ویژه به اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا بر روی سلامت انسان می‌تواند کمک شایانی به سیاست‌گذاری توسعه منطقه‌ای و جهانی کند. پژوهش حاضر با ارایه یک مدل DFM به ارزیابی عملکرد ۳۳ کشور OECD می‌پردازد. مقایسه تغییرات، میزان افزایش در خروجی و کاهش در ورودی‌ها جهت کارا شدن واحدهای تصمیم‌گیری در مدل‌های DFM و CCR از اهداف این پژوهش می‌باشد. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر اجرا جزء پژوهش‌های توصیفی می‌باشد. بر اساس بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش انتشار گازهای CO_2، NOx، SO_2، بودجه سلامت و فلزات سنگین به‌عنوان متغیرهای ورودی، و شاخص‌های کیفیت هوا بر اساس گزارش شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) از قبیل PMW، PME و HAD به‌عنوان متغیرهای خروجی درنظرگرفته شده‌است. در نهایت نتایج نشان داد که کشورهای ناکارا جهت رسیدن به مرز کارا باید بیشترین تغییر را در متغیرهای ورودی از قبیل انتشار گازهای CO_2، NOx و SO_2 ایجاد کنند؛ لذا توجه به مدیریت و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا و پرداختن به این موارد می‌تواند در کارا شدن کشورهای ناکارا و دارای عملکرد ضعیف در پایداری زیست‌محیطی، موثر واقع شود. همچنین تحلیل‌ها نشان داد که در کشورهای ناکارا جهت بهبود وضعیت پایداری، سیاست‌گذاران باید بیشترین توجه خود را معطوف به کاهش و کنترل انتشار گازهای CO_2، NOx و SO_2 و مباحث مربوط به تخصیص بودجه مشخص برای پیشگیری و درمان بیماری‌های مرتبط با آلایندگی‌های هوا نمایند. همچنین بر مبنای روش پژوهش اشاره‌شده، به مقایسه دو شیوه مدل‌سازی ارزیابی کارایی کشورها در زمینه توسعه‌پایدار پرداخته‌شده است و مزیت‌های مدل DFM نسبت به CCR مورد تحلیل قرار گرفته‌است.

کلمات کلیدی: ارزیابی کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها، پایداری زیست‌محیطی، حداقل‌سازی اصطکاک فاصله‌ای، سلامت.

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Zarehabib@yazd.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

۱ مقدمه

امروزه آلاینده‌های زیست‌محیطی یکی از مهم‌ترین مشکلات بشر و یک خطر جدی برای سلامتی انسان و محیط زیست به‌شمار می‌آیند که در بین آن‌ها آلودگی هوا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. گاز منوکسید کربن (CO)، انیدرید سولفورو ($SO_۲$)، اکسیدهای ازت (NO_X) و کل ذرات معلق عمومی‌ترین و عمده‌ترین آلاینده‌های هوا هستند[۲]. آلاینده‌های هوا با ایجاد بیماری‌ها، بر روی سلامتی انسان اثر می‌گذارد [۳] و کیفیت زندگی افراد در مجاورت جوامع صنعتی را با مشکل روبه‌رو می‌کنند [۴]. آلودگی هوا علاوه بر تخریب محیط‌زیست و ضررهای اقتصادی، یکی از ۱۰ عامل برتر و مهم افزایش مرگ و میر در جهان شناخته‌شده است [۵]. بر اساس برآورد سازمان بهداشت جهانی[1] (WHO) در سال ۲۰۱۲، سالانه ۳/۷ میلیون نفر مرگ منتسب به آلودگی هوای آزاد اتفاق می‌افتد که حدود ۸۸ درصد از آن در کشورهای کم درآمد و متوسط رخ می‌دهد. در بین آلاینده‌های هوا، ذرات معلق از دیدگاه مخاطرات بهداشت عمومی و سلامتی از آلاینده‌های اصلی محسوب می‌شود [۶]. از طرف دیگر سلامت انسان نسبت به تغییر الگوهای آب و هوا و سایر تغییرات اقلیمی حساس است. تغییرات اقلیمی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم به روش‌های گوناگونی به سلامت انسان آسیب می‌رسانند و منجر به اثرات نامطلوب فزآینده‌ای در آینده می‌شوند [۷]. در سال ۲۰۰۰، سازمان بهداشت جهانی تخمین زد که تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث مرگ بیش از ۱۵۰۰۰۰ نفر و از دست دادن ۵.۵ میلیون سال عمر تطبیق‌شده برای ناتوانی[2] در سراسر جهان شود [۸]. بنابراین، تغییرات اقلیمی به عنوان یکی دیگر از بزرگ‌ترین عوامل تهدیدکننده سلامت انسان‌ها و محیط زیست در قرن بیست و یکم بیان شده است، انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) ناشی از تولید انرژی مرتبط با فعالیت‌های انسانی از قبیل حمل و نقل، غذا و کشاورزی، فرآیندهای خانگی و صنعتی، به عنوان محرک اصلی تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته می‌شود [۷]. افزایش نگرانی در مورد تغییرات اقلیمی و آلودگی زیست‌محیطی، تحلیل کارایی زیست‌محیطی را به یک چالش بزرگ و موضوع مهم مطالعاتی تبدیل کرده‌است [۹]. بررسی کارایی و عملکرد زیست‌محیطی یکی از الگوهای اصلی سنجش توسعه پایدار منطقه‌ای است [۱۰]. مفهوم توسعه پایدار عبارت است از تامین نیازهای حال حاضر بدون این‌که به توانایی نسل‌های آینده برای برآورده ساختن نیازهای خود آسیب وارد کند [۱۱، ۱۲]. بنابراین، استفاده منطقی و پایدار از منابع طبیعی و انرژی برای ادامه حیات جوامع امری ضروری است[۱۳، ۱۴]. مساله دیگری که مطرح می‌شود نحوه سنجش توسعه پایدار است که در این زمینه، مفهوم پایداری به‌عنوان مقیاس پایداری سیستم‌های طبیعی و جهت سنجش میزان دستیابی به توسعه پایدار به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. به دلیل پیچیدگی و چندبعدی بودن مفهوم پایداری، رویکردهای مبتنی بر روش تحلیل هزینه – سود ممکن است قادر به نمایش و بررسی کامل مسایل پایداری نباشند [۱۵] بنابراین در این‌گونه مسایل ضرورت استفاده از رویکردهای کمی، مبتنی بر تابع تولید و سیستماتیک وجود دارد. تحلیل پوششی داده‌ها[3] یکی از بهترین روش‌های ناپارامتریک ارزیابی عملکرد است [۱۶]

[1]. World Health Organization
[2]. disability-adjusted life years
[3]. Data envelopment analysis

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

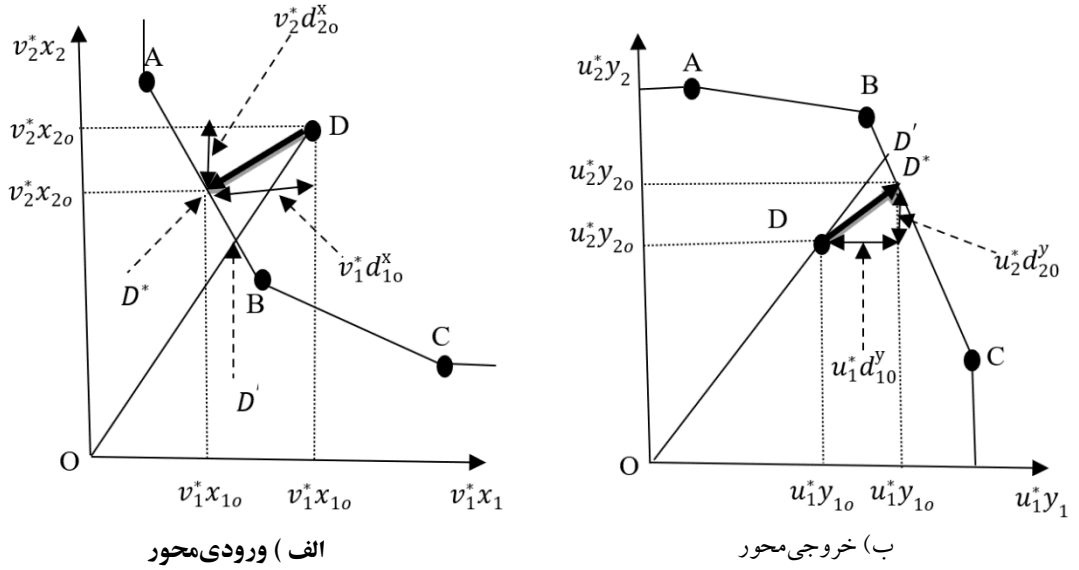
[DOI: 10.22034/20.3.61]

در این روشِ ناپارامتری به‌جای توجه به تابع تولید[1] به مرز تولید[2] توجه می‌شود و نیازی به تخمین تابع تولید وجود ندارد[۱۷]. به‌طورکلی روش‌های ناپارامتری جهت رفع معایب روش‌های پارامتری به وجود آمدند. این روش‌ها از آن جهت ناپارامتری خوانده می‌شوند که پیش فرضی از شکل اساسی تابع تولید ندارند [۱۸]. و یک رویکرد متفاوت جهت سنجش عملکرد پایدار است [۱۵] به‌طورکلی DEA یکی از ابزارهای ناپارامتری اندازه‌گیری کارایی DMUها با ورودی‌ها و خروجی‌های مشابه است. تحلیل پوششی داده‌ها به‌طور گسترده جهت بررسی طیف گسترده‌ای از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد و از برنامه‌ریزی ریاضی جهت محاسبه DMUهای کارا استفاده می‌کند [۱۹-۲۱]. به‌طور کلی وجه تمایز این پژوهش در نحوه مدل‌سازی است. رویکرد مورد استفاده در این پژوهش غیرشعاعی بودن تحلیل‌ها و استفاده از رویکرد مدل‌سازی حداقل‌سازی اصطکاک فاصله‌ای[3] (DFM) با هدف بررسی اثر آلاینده‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان است. رویکرد DFM یک روش مدل‌سازی چندهدفه است که در این روش کمترین فاصله تا مرز ناکارا ملاک انتخاب برترین DMU ناکارا می‌باشد. در مطالعات گذشته مدل‌های مختلفی جهت محاسبه امتیاز کارایی عملکرد زیست‌محیطی کشورها ارایه شده است که عموماً تمرکز بر روی مدل‌های شعاعی است[۲۲-۲۵]. اما پژوهشی که پایداری کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[4] (OECD) را با رویکرد DFM با هدف بررسی اثر آلاینده‌های ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر سلامت انسان در حوزه محیط‌زیست مورد بررسی قرار دهد، ارایه نشده‌است. مدل ارایه‌شده در این پژوهش به‌گونه‌ای است که امکان محاسبه میزان کاهش در ورودی و افزایش در خروجی‌ها را به‌صورت هم‌زمان فراهم می‌کند. به‌طور کلی این پژوهش به دنبال ارایه روش کمی جهت بررسی غیرشعاعی کارایی و ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی (پایداری) کشورهای منتخب بر مبنای رویکرد DFM است. شکل ۱ (الف) منطق رسیدن به مرز کارا در مدل DFM بر مبنای ورودی‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل سه DMU_A, DMU_B و DMU_C کارا و DMU_D ناکارا ارزیابی می‌شوند و راه‌حل بهبود DMU_D در مدل CCR ورودی‌محور، بر اساس شرط کاهش شعاعی ورودی‌ها با نسبت یکسان ($\theta^* = OD' / OD$) می‌باشد. همان‌گونه که در شکل می‌توان مشاهده نمود، نقطه ایده‌آل برای هر DMU_D ناکارا برابر با D' است، اما تفاوت مدل DFM با سایر مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه کمترین فاصله (d) تا مرز کارا است و DMUها در مدل‌های DFM لزوماً روی محور OD که ماهیت شعاعی دارد حرکت نمی‌کنند. شکل ۱(ب) نیز منطق رسیدن به مرز کارا در مدل DFM بر مبنای خروجی‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱ (ب) مشاهده می‌شود در صورتی که مدل خروجی‌محور باشد و درصدد تعیین نقطه بهینه برای DMU_D در ساختار شعاعی باشید نقطه 'D حاصل می‌شود؛ اما در صورتی‌که در مدل DFM، کمترین فاصله تا مرز کارا را مبنا قرار دهید *D نقطه بهینه خواهد بود. در این حالت واضح است که در صورتی که صرفاً بر اساس خروجی اول (y_1) میزان تغییرات تا کارا شدن را مدنظر قرار دهید این مقدار برابر با $u_1^* d_{1o}^y$ خواهد بود. متناظر با آن بر حسب متغیر

[1] Production Function
[2] Production Frontier
[3]. Distance Friction Minimization Model
[4]. Organisation for Economic Co-operation and Development

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.22034/20.3.61]

خروجی دوم ((y_2) این مقدار برابر با $u_2^* d_{2o}^y$ خواهد بود [۲۶].



الف) ورودی‌محور

ب) خروجی‌محور

شکل ۱. منطق رسیدن به مرز کارا در مدل **DFM**

با توجه به این‌که امروزه محیط‌زیست به یک مساله روز جهانی تبدیل شده است؛ عدم توجه به آن می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. همچنین قرار گرفتن کشورها در مسیر صنعتی شدن موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده‌است که از مهم‌ترین آثار آن می‌توان به اختلال در اکوسیستم، تغییرات شدید آب و هوایی، آلودگی هوا و محیط‌زیست و یا حتی افزایش بلایای طبیعی اشاره کرد که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت انسان و سایر موجودات تاثیر می‌گذارد. کشورها درصدد هستند با برنامه‌ریزی‌های مختلف نقش مهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته‌باشند و همچنین ارزیابی کارایی کشورها به یکی از مطالب پژوهشی محققین و دانشمندان در نقاط مختلف جهان تبدیل شده است. در همین راستا پژوهش حاضر درصدد ارزیابی کارایی کشورهای منتخب با استفاده از رویکرد DFM در زمینه اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان می‌باشد.

بخش‌های بعدی این مقاله عبارتند از: در بخش ۲ بررسی پیشینه پژوهش ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و تحلیل پوششی داده‌ها ارایه‌شده، روش پژوهش و مدل DFM در بخش ۳ مطرح‌شده و در بخش ۴ تعریف متغیرهای ورودی و خروجی و همچنین نتایج پیاده‌سازی بر روی داده‌های واقعی ارزیابی‌شده بیان شده است. نتیجه‌گیری پژوهش حاضر و پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی در بخش ۵ ارایه‌شده است.

۲ ادبیات و پیشینه پژوهش

۲-۱ ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و تحلیل پوششی داده‌ها

امروزه آلودگی هوا و اثرات آن بر سلامتی انسان به یکی از مشکلات شهرهای بزرگ و صنعتی جهان و ساکنان آن‌ها تبدیل شده‌است[۲۷]. مواجهه با آلودگی هوا، میزان ریسک مرگ و میر یا بیماری را در سراسر جهان

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

افزایش می‌دهد[۲۸]. به‌طوری که برآورد شده‌است که آلودگی هوا حدود ۱/۴درصد کل مرگ و میر در جهان را به خود اختصاص داده است[۲۹]. در میان این آلاینده‌ها ذرات معلق (PM) اهمیت ویژه‌ای دارند. ذرات معلق می‌توانند هم منشا طبیعی و هم منشا غیرطبیعی(مصنوعی) داشته باشند[۳۰]. این ذرات ریز ترکیبی ناهمگون از ذرات جامد و مایع می‌باشندکه در هوا معلق هستند و از حیث اندازه و ترکیب شیمیایی با هم تفاوت دارند[۳۱]. آلودگی زیست‌محیطی ناشی از انتشار ریزگردها، مشکلات جدی برای سلامت انسان‌ها به همراه دارد و انسان‌ها را با خطراتی مانند بیماری‌های تنفسی و ناراحتی‌های قلبی و عروقی مواجه می‌سازد. بنابراین توجه به این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است[۲]. به‌طوری که تعداد متعددی از پژوهش‌های گذشته به این موضوع پرداخته و بر اساس کلیه پژوهش‌ها، مشخص شد که قرار گرفتن در معرض PM تاثیر مستقیمی بر بیماری و مرگ و میر ناشی از بیماری‌ها دارد [۳۲-۳۶] توجه به محیط‌زیست و مسایل پایداری بیش از چهار دهه است که مورد توجه محققین و دانشگاهیان قرار گرفته است[۳۷]. و رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یکی از ابزارهای تحلیل کارایی زیست‌محیطی است که همواره از سوی محققین مورد توجه قرار می‌گیرد[۳۸]. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از رویکردهای ارزیابی کارایی است که برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط چارنز و همکاران (۱۹۷۸)[۳۹] بر مبنای مطالعه فارل (۱۹۵۷)[۴۰] جهت ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) معرفی شد از آنجا که این الگو توسط چارنز، کوپر و رودز ارایه شد، به الگوی (CCR) که از حروف اول نام سه فرد یادشده تشکیل‌شده است، معروف شد و در سال ۱۹۷۸، در مقاله‌ای با عنوان اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده، ارایه شد. سپس در سال ۱۹۸۴، چارنز و کوپر به همراه بنکر[۴۱]، مدلی را ارایه کردند که با توجه به حروف اول نام آنان به مدل BCC مشهور شد. مدل BCC از جمله مدل‌های DEA است که بازده نسبت به مقیاس را به‌صورت متغیر در نظر می‌گیرد[۴۲، ۴۳] در مطالعات گذشته انواع مختلف مدل‌های DEA در تحلیل توسعه پایدار مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن‌ها مدل‌های شعاعی CCR , BCC و غیر شعاعی SBM [۱۶، ۴۴-۵۳] و مدل‌سازی‌های شبکه‌ای [۵۴-۶۰] بوده است.

در ادامه به خلاصه‌ای از مطالعات مرتبط اشاره می‌گردد.

سوزوکی و نیجکامپ[1] (۲۰۱۶) کارایی اقتصادی- زیست‌محیطی- انرژی[2] کشورهای اتحادیه اروپا، اپک و آسه آن را در چارچوب یک مدل تارگت‌محور DFM با عوامل ثابت مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند که در این پژوهش متغیرهای جمعیت و کل مصرف انرژی اولیه به‌عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO_2 به‌عنوان خروجی درنظرگرفته شده‌است [۶۱].در پژوهش ژانگ[3] و همکاران (۲۰۱۸) جهت سنجش کارایی زیست‌محیطی و سلامت شهرهای چین، متغیرهای نیروی کار، دارایی ثابت و مصرف انرژی اولیه به‌عنوان ورودی و متغیر تولید ناخالص داخلی (GDP) به‌عنوان خروجی مرحله اول و متغیر بودجه سلامت به عنوان ورودی و متغیر نرخ تولد به عنوان خروجی مطلوب مرحله دوم، متغیرهای انتشار SO_2، NO_2 و $PM_{2.5}$ به عنوان

[1]. Suzuki & Nijkamp
[2]. energy-environment-economic efficiency
[3]. Zhang

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

میانجی بین دو مرحله و نرخ مرگ و میر و بیماری‌های تنفسی به عنوان متغیر منقول[1] لحاظ شده‌است [۶۲]. لی[2] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی جهت سنجش کارایی زیست‌محیطی، اقتصادی و بهداشتی[3]، ۳۱ شهر بزرگ کشور چین در چارچوب دو مرحله تولید و سلامت، از مدل DEA دو مرحله‌ای استفاده کردند. که در این پژوهش متغیرهای نیروی کار، دارایی ثابت و مصرف انرژی به عنوان ورودی و GDP به عنوان خروجی مرحله تولید، متغیر بودجه سلامت به عنوان ورودی و متغیرهای نرخ تولد و میزان مرگ و میر به عنوان خروجی مرحله سلامت و متغیرهای انتشار CO_2 و شاخص کیفیت هوا (AQI) به عنوان میانجی بین دو مرحله لحاظ شده‌است [۶۳]. وو[4] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود از متغیرهای SO_2، NO_X، دوده، مصرف زغال سنگ، سرمایه و نیروی کار به‌عنوان ورودی و از GDP به‌عنوان میانجی و از انتشارات $PM_{2.5}$ به عنوان خروجی استفاده کرده‌اند[۶۴]. هی[5] و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی کارایی اقتصادی- زیست‌محیطی- سلامتی[6]، ۳۰ استان چین را در چارچوب یک مدل DEA دو مرحله‌ای پویا[7] مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند که در این پژوهش متغیرهای نیروی کار، دارایی ثابت و مصرف انرژی به‌عنوان ورودی و متغیر تولید ناخالص داخلی (GDP) به‌عنوان خروجی مرحله اول و متغیر بودجه سلامت به عنوان ورودی و متغیرهای نرخ تولد به عنوان خروجی مطلوب و میزان مرگ و میر و فساد بافت‌ها[8] به عنوان خروجی نامطلوب مرحله دوم و متغیرهای انتشار CO_2 ، SO_2، و NO_X به عنوان میانجی بین دو مرحله درنظرگرفته شده‌است[۶۵]. هالکاس و آرگیروپائولو[9] (۲۰۲۱) در پژوهش خود با رویکرد DEA دو مرحله‌ای، کارایی ۲۳ کشور را در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار دادند در این پژوهش متغیرهای نیروی کار، مصرف انرژی و سرمایه به‌عنوان ورودی، متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) به عنوان میانجی مطلوب، SO_X به عنوان میانجی نامطلوب و مرگ و میر ناشی از بیماری‌های تنفسی به‌عنوان خروجی نامطلوب لحاظ شده‌است[۶۶]. هالکاس و آرگیروپائولو[10] (۲۰۲۱) در پژوهشی دیگر جهت برآورد کارایی ۱۸ کشور اروپایی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ از رویکرد DEA استفاده کردند. در این پژوهش نیروی کار و سرمایه به عنوان ورودی‌های مدل، GDP به عنوان خروجی مطلوب، میزان مرگ و میر ناشی از در معرض قرار گرفتن ریزگردها ($PM_{2.5}$) به عنوان خروجی نامطلوب و در نهایت درآمد مالیاتی مربوط به محیط زیست نیز به عنوان یک ورودی فرعی در نظر گرفته شده است[۲]. ژانگ[11] و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود جهت بررسی امتیاز کارایی کنترل آلودگی $PM_{2.5}$ شهرهای کشور چین در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۳ از مدل سوپر SBM با خروجی نامطلوب و شاخص GLM[12] استفاده کردند. در این پژوهش متغیرهای مصرف انرژی، مصرف

[1]. Carry-over
[2]. Li
[3]. environmental, economic and health efficiency
[4] Wu
[5]. He
[6]. energy-environment-economic efficiency
[7]. dynamic two-stage DEA
[8]. phthisis
[9] Halkos & Argyropoulou
[10] Halkos & Argyropoulou
[11] Zhang
[12] using the Global Malmquist–Luenbe

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.22034/20.3.61]

آب، نیروی کار و دارایی‌های ثابت به عنوان ورودی و متغیرGDP به‌عنوان خروجی مطلوب و آلودگی ناشی از $PM_{2.5}$ به عنوان خروجی نامطلوب درنظر گرفته شد[۶۷].

در جدول زیر خلاصه‌ای از تحقیقات مرتبط مشاهده می‌شود.

جدول ۱. تحقیقات انجام‌شده در حوزه کاربرد **DEA** در ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی

نویسندگان و سال انتشار	مدل DEA	DMUs	ورودی‌ها	میانجی‌ها	خروجی‌ها
سوزوکی و همکاران (۲۰۱۶) [۶۱]	مدل Target-Oriented DFM با عوامل ثابت در DEA	کشورهای اتحادیه اروپا، اپک و آسه آن	مصرف انرژی، جمعیت	–	انتشار CO_2 و GDP
سوزوکی و نیجکامپ (۲۰۱۷) [۶۸]	Time-Series Target-Oriented DFM	کشورهای آسه آن	مصرف انرژی، جمعیت	–	انتشار CO_2 و GDP
سوزوکی و نیجکامپ (۲۰۱۷) [۶۹]	TO-DFM-FF	کشورهای اتحادیه اروپا، اپک و آسه آن	مصرف انرژی، جمعیت	–	انتشار CO_2 و GDP
لنز و همکاران (۲۰۱۸) [۵۲]	SBM-DEA	۲۸ کشور اروپایی	سرمایه، اشتغال، انرژی	–	انتشار SOx، انتشار CO_2 و GDP
ژانگ و همکاران (۲۰۱۸) [۶۲]	DEA دو مرحله‌ای	شهرهای چین	مرحله اول: نیروی کار، دارایی ثابت و مصرف انرژی اولیه مرحله دوم: بودجه سلامت	انتشار SO_2، NO_2 و $PM_{2.5}$	مرحله اول: متغیر تولید ناخالص داخلی (GDP) مرحله دوم: نرخ تولد
آموین و همکاران (۲۰۱۹) [۴۸]	dynamic SBM-DEA و شاخص مالم‌کوئیست	۲۸ کشور منتخب آفریقایی	موجودی سرمایه، کل نیروی کار، کل مصرف انرژی اولیه	–	انتشار CO_2 و GDP
لی و همکاران (۲۰۱۹) [۶۳]	DEA دو مرحله‌ای	۳۱ شهر بزرگ کشور چین	مرحله تولید: نیروی کار، دارایی ثابت و مصرف انرژی مرحله سلامت: بودجه سلامت	انتشار CO_2 و شاخص کیفیت هوا (AQI)	مرحله تولید: GDP مرحله سلامت: نرخ تولد و میزان مرگ و میر
وو و همکاران (۲۰۱۹) [۶۴]	DEA دو مرحله‌ای	۳۰ نیروگاه حراراتی در چین	SO_2، NO_X، دوده، مصرف زغال سنگ، سرمایه و نیروی کار	GDP	ا نتشار $PM_{2.5}$
هی و همکاران (۲۰۲۰) [۶۵]	DEA دو مرحله‌ای پویا	۳۰ استان چین	مرحله اول: نیروی کار، دارایی ثابت و مصرف انرژی مرحله دوم: بودجه	انتشار CO_2، SO_2 و NO_X	مرحله اول: تولید ناخالص داخلی (GDP) مرحله دوم: نرخ تولد به عنوان خروجی مطلوب و میزان مرگ

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

نویسندگان و سال انتشار	مدل DEA	DMUs	ورودی‌ها	میانجی‌ها	خروجی‌ها
			سلامت		و میر و فساد بافت‌ها[1] به عنوان خروجی نامطلوب
هالکاس و آرگیروپائولو (۲۰۲۱) [۶۶]	DEA دو مرحله‌ای	۲۳ کشور	نیروی کار، مصرف انرژی و سرمایه	تولید ناخالص داخلی (GDP) و SO_X	مرگ و میر ناشی از بیماری‌های تنفسی
هالکاس و آرگیروپائولو (۲۰۲۱) [۲]	DEA	۱۸ کشور اروپایی	نیروی کار، سرمایه و درآمد مالیاتی	-	GDP و میزان مرگ و میر ناشی از در معرض ریزگردها ($PM_{۲.۵}$)
ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) [۶۷]	SBM با خروجی نامطلوب و شاخص GLM[2]	شهرهای کشور چین	مصرف انرژی، مصرف آب، نیروی کار و دارایی‌های ثابت	-	GDP و آلودگی ناشی از $PM_{۲.۵}$

ویژگی‌هایی که مدل‌سازی DFM را برای ارزیابی عملکرد نسبی پیشنهاد می‌کنند شامل مواردی چون غیرشعاعی بودن تحلیل‌ها به معنای هم‌زمانی کاهش در ورودی‌ها و افزایش در خروجی‌ها و عدم نیاز به شهود تصمیم‌گیرنده در ارزیابی است [۷۰]. با وجود مزیت‌های فراوان روش DEA، یکی از مشکلات بارز مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها، شعاعی بودن تحلیل‌ها است. ازآنجایی‌که مدل‌های DFM مبتنی بر تحلیل‌های غیر شعاعی می‌باشند؛ بنابراین اخیراً تعدادی محدودی از پژوهشگران از رویکردهای DFM جهت بررسی عملکرد زیست‌محیطی کشورهای مختلف استفاده کردند[۶۱، ۶۸-۷۰] به‌طور کلی وجه تمایز پژوهش حاضر در استفاده از روش DFM جهت بررسی اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان در ۳۳ کشور عضو OECD می‌باشد.

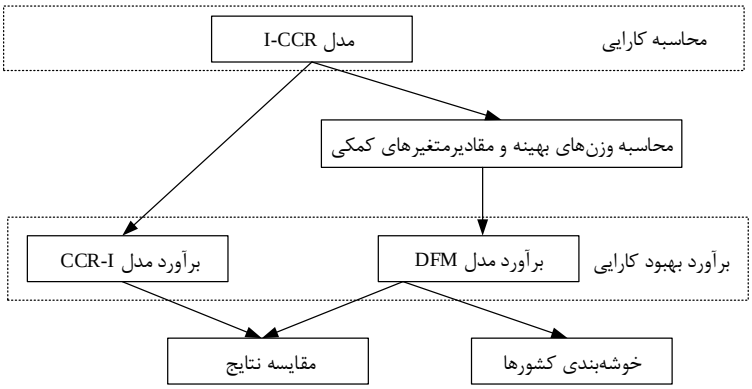
۳ روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، جزء پژوهش‌های کاربردی و از نظر روش اجرا یک پژوهش توصیفی محسوب می‌شود. در این پژوهش، با کاربرد رویکرد DFM به ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی ۳۳ کشورهای OECD پرداخته می‌شود. پس از تحلیل نتایج به‌دست‌آمده و ارزیابی رفتار متغیرها، نتایج دو مدل DFM و CCR با یکدیگر مقایسه می‌گردد. روند انجام پژوهش در شکل۲ مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که در این پژوهش متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش تعیین‌شده است و داده‌های مربوط به این متغیرها از پایگاه‌های جهانی از قبیل بانک جهانی ، از وب‌سایت UNSD و EPI استخراج شد. در ادامه دو رویکرد DFM و تحلیل خوشه‌بندی به‌ترتیب تشریح می‌شوند.

[1]. phthisis
[2] using the Global Malmquist–Luenbe

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]



شکل ۲. مراحل انجام پژوهش

۳-۱ مدل حداقل‌سازی اصطکاک فاصله‌ای (DFM)

مدل DFM مدلی چندهدفه است که برای اولین بار توسط سوزوکی بر اساس مدل CCR ارایه‌شدهِ توسط چارنز و همکاران (۱۹۷۸) در سال ۲۰۱۰ مطرح شد. مدل‌های استاندارد DEA از قبیل مدل‌های CCR و BCC بر کاهش ورودی یا افزایش خروجی در جهت‌های شعاعی تمرکز دارند. مدل DFM چشم‌انداز جدیدی را در مورد بهبود کارایی و اهداف بهینه‌کاوی[1] با استفاده از یک تابع پیش‌بینی (برآورد) موزون[2] ارایه می‌دهد. تابع برآورد موزون مساله بهبود کارایی را از منظر هم‌زمانی کاهش در ورودی و افزایش در خروجی بررسی می‌کند. به‌طور کلی رویکرد DFM یک روش مدل‌سازی چند هدفه است که شامل گام‌های زیر است[۲۶]. در ادامه ابتدا اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها مطابق جدول زیر تعریف و سپس گام‌های رویکرد DFM تشریح می‌شود.

جدول ۲. مجموعه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل‌ها

اندیس				پارامترها			متغیرهای تصمیم		
نماد	مفهوم	نماد	مفهوم	پارامتر	مفهوم	متغیر	مفهوم	متغیر	مفهوم
i	ورودی	N	تعداد کل DMUها (کشورها)	x_{ij}	میزان ورودی i ام کشور j ام	θ_o^*	میزان کارایی بهینه DMU_0	s_r^-	میزان کمبود خروجی r ام
r	خروجی	M	تعداد کل ورودی‌ها	y_{rj}	میزان خروجی r ام کشور j ام	v_i	مقدار وزن ورودی i ام	d_i^x	کاهش فاصله ورودی i ام
j	کشور (DMU)	S	تعداد کل خروجی‌ها			u_r	مقدار وزن خروجی r ام	d_r^y	افزایش فاصله خروجی r ام
						s_i^-	میزان مازاد ورودی i ام	λ_j	سهم نسبی DMUها برای رسیدن به مرز کارا

[1] benchmarking targets
[2]. Weighted Projection Function

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]
[DOI: 10.22034/20.3.61]

گام اول: مقادیر بهینه کارایی و وزن ورودی و خروجی‌ها (θ^*, v^*, u^*) با حل مدل CCR ورودی محور طبق مدل زیر محاسبه می‌شوند. در این رابطه θ^* میزان کارایی بهینه مدل CCR و v^* و u^* به‌ترتیب مقادیر بهینه وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند.

$$
\begin{aligned}
&Max\theta = \sum_r u_r y_{ro} \\
&s.t. \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1, \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \quad \forall_j, \quad j = 1,...,n, \\
&v_i \ge 0, \\
&u_r \ge 0, \\
&i = 1,...,m, \\
&r = 1,...,s.
\end{aligned}
\tag{1}
$$

گام دوم: با توجه به مقدار θ^* ، مقادیر بهینه متغیرهای کمکی یا به عبارتی متغیرهای مازاد ورودی و کمبود خروجی (s_i^{-*}, s_r^{+*}) از طریق حل مدل جمعی زیر محاسبه می‌شوند.

$$
\begin{aligned}
&Max \sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+ \\
&s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta_o^* x_{io} \quad (\forall_i, i = 1,..,m) \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad (\forall_r, r = 1,...,s) \\
&s_i^- \ge 0, \quad s_r^+ \ge 0, \quad \lambda_j \ge 0
\end{aligned}
\tag{2}
$$

سپس DMUها بر اساس مقادیر s^{-*}, s^{+*} و θ^* به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

زمانی که $\theta^* = 1$، $s_i^{-*} = s_r^{+*} = 0$ باشد؛ DMU ارزیابی‌شده یک DMU کاملا کارا است و فاصله‌ای با مرز کارا ندارد.

زمانی که $\theta^* = 1$، $s_i^{-*} \neq s_r^{+*} \neq 0$ باشد؛ DMU ارزیابی‌شده یک DMU کارا ضعیف (تا حدی کارا) است و جواب‌های بهینه با کمک روابط ذیل محاسبه می‌شوند.

$$x_o = \theta_o^* x_o - s_i^{-*} \quad (\forall i,\ i = 1,...,m) \tag{3}$$

$$y_o = y_o + s_r^{+*} \quad (\forall r,\ r = 1,...,s) \tag{4}$$

زمانی که $\theta^* \neq 1$, $s_i^{-*} \neq s_r^{+*} \neq 0$ باشد؛ DMU ارزیابی‌شده یک DMU غیرکارا است و جواب‌های بهینه با کمک گام‌های ۳، ۴ و ۵ مدل DFM محاسبه می‌شوند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

گام سوم: فواصل کاهش ورودی و افزایش خروجی با استفاده از حل مساله MOQP[1] زیر و با جایگذاری مقادیر بهینه مدل CCR (θ^*, v^*, u^*) و توابع اصطکاک فاصله‌ای Fr^x و Fr^y که با فاصله اقلیدسی در فضای موزون تعریف شده‌اند، محاسبه می‌شوند.

$$Min\ Fr^x = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(v_i^* x_{io} - v_i^* d_{io}^x\right)^2}$$

$$Min\ \ Fr^y = \sqrt{\sum_{r=1}^{s}\left(u_r^* y_{ro} - u_r^* d_{ro}^y\right)^2}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{m} v_i^*\left(x_{io} - d_{io}^x\right) = \frac{2\theta_o^*}{1+\theta_o^*}$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r^*\left(y_{io} + d_{io}^y\right) = \frac{2\theta_o^*}{1+\theta_o^*}$$

$$x_{io} - d_{io}^x \geq 0 \quad \left(\forall_i\ i = 1,\ldots,m\right)$$

$$d_{io}^x \geq 0 \quad \left(\forall_i\ i = 1,\ldots,m\right)$$

$$d_{io}^y \geq 0 \quad \left(\forall_r\ r = 1,\ldots,s\right)$$

(۵)

در مدل فوق x_{io} و y_{ro} به‌ترتیب بیانگر ورودی iام و خروجی‌های rام هر DMU_0 ناکارا می‌باشند. همچنین در این مدل، d_{io}^x و d_{ro}^y متغیرهای تصمیم مدل هستند که d_{io}^x کاهش فاصله ورودی x_{io} و d_{ro}^y افزایش فاصله خروجی y_{ro} را نشان می‌دهند. v_i^* و u_r^* پارامترهای مدل DFM هستند که v_i^* بیانگر وزن بهینه ورودی iام و u_r^*us به‌عنوان وزن بهینه خروجی rام در نظر گرفته می‌شود. مقدار پارامترهای v_i^* و u_r^* و θ^* در مرحله اول از حل مدل CCR به‌دست می‌آیند. به‌طورکلی در این مدل، هدف از تابع Fr^x و Fr^y به‌ترتیب یافتن راه‌حلی جهت حداقل کردن مجموع فواصل کاهش ورودی و مجموع فواصل افزایش خروجی می‌باشد. همچنین محدودیت‌های اول و دوم مدل فوق به ترتیب به مقادیر هدف کاهش ورودی و افزایش خروجی اشاره دارند.

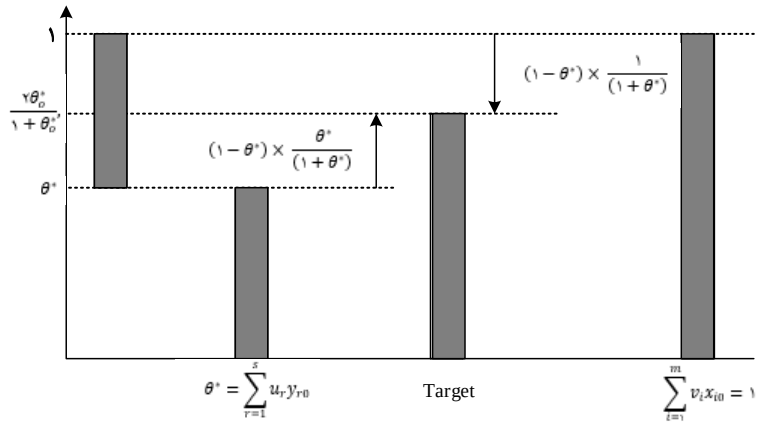
شکل ۳ سطح آرمان متغیرهای ورودی و خروجی (کل فضای ممکن بهبود[2] (TIR)) جهت دستیابی به کارایی که همان نقطه بهینه می‌باشد را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل کل فضای ممکن بهبود[3] برای متغیرهای ورودی و خروجی برابر با $\left(1-\theta^*\right)$ در نظر گرفته‌شده است. بدین‌صورت با فرض ورودی‌محور بودن مدل در شروع مدل‌سازی، با توجه با این‌که مجموع موزون ورودی‌ها برابر با ۱ $(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} = 1)$ و مقدار تابع هدف یا همان مجموع موزون خروجی‌ها برابر با θ^* $(\theta^* = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0})$ می‌باشد، پس از حل مدل ورودی‌محور، اختلاف بین مقادیر هدف ورودی و خروجی برابر با کل ظرفیت بهبودی است که می‌تواند برای ورودی و خروجی‌ها در نظر گرفته شود $\left(1-\theta^*\right)$. همان‌طور که ذکر شد سهم ورودی‌ها برای رسیدن به TIR برابر ۱ و سهم خروجی‌ها برابر با θ^* است، بنابراین کل سهم مشارکت ورودی و خروجی برای رسیدن به TIR برابر با $\left(1+\theta^*\right)$ می‌باشد. بدین

[1]. multi-objective quadratic programming
[2]. Total Improvement Room
[3]. دامنه تغییراتی است که کارایی می‌تواند افزایش یابد یا به عبارتی شکاف کارایی که توسط ورودی و خروجی‌ها باید پوشش داده‌شود.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

ترتیب سهم ورودی و خروجی‌ها از کل تغییرات به‌ترتیب برابر با $\frac{۱}{(1+\theta^*)}$ و $\frac{\theta^*}{(1+\theta^*)}$ خواهد بود. در نهایت این سهم به‌صورت یک وزن در مقدار فضای ممکن بهبود ضرب می‌شود و ما را به نقطه تعادلی می‌رساند که نقطه بهینه است. سهم کاهش ورودی و افزایش خروجی برای رسیدن به نقطه آرمان به ترتیب برابر با $\frac{۱}{(۱+\theta^*)}$ $\left(۱-\theta^*\right)$ و $\frac{\theta^*}{(۱+\theta^*)}$ $\left(۱-\theta^*\right)$ می‌باشد.



شکل ۳. نحوه تعیین سطح آرمانی کارایی متغیرهای ورودی و خروجی در مدل **DFM**

محدودیت سوم، محدودیتی برای کاهش ورودی است درحالی‌که دو محدودیت آخر اثر هم‌زمان کاهش ورودی و افزایش خروجی را نشان می‌دهند.

گام چهارم: پس از حل مدل MOQP، جواب بهینه DMU_o ناکارا با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$x_{io}^{*}=x_{io}-d_{io}^{x*}\quad\left(\forall i,\ i=۱,...,m\right) \tag{۶}$$

$$y_{ro}^{*}=y_{ro}+d_{ro}^{y*}\quad\left(\forall_r\ r=۱,...,s\right) \tag{۷}$$

گام پنجم: در این مرحله در مدل ریاضی مرحله ۲ (مدل (۲)) مقدار $\theta=۱$ و به جای مقادیر x_{io}، y_{ro} به ترتیب مقادیر x_{io}^{*}، y_{ro}^{*} را جایگزین کرده، سپس مقادیر مطلوب s_i^{-**} و s_r^{+**} محاسبه می‌گردد.

در نهایت جهت محاسبه جواب‌های بهینه DMU_o غیرکارا از روابط زیر استفاده می‌شود

$$x_{io}^{**}=x_{io}^{*}-s_i^{-**}\quad\left(\forall_i\ i=۱,...,m\right) \tag{۸}$$

$$y_{ro}^{**}=y_{ro}^{*}+s_r^{+**}\quad\left(\forall_r\ r=۱,...,s\right) \tag{۹}$$

۳-۲ تحلیل خوشه‌بندی

خوشه‌بندی یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت است و فرآیند خودکاری است که در طی آن، اشیا به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند که اعضای آن از نظر شاخص‌های مورد نظر مشابه یکدیگرند[۷۱]. در پژوهش حاضر از خوشه‌بندی برای بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌های بین کشورهای مورد بررسی در الگوی عملکردی‌شان در زمینه

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

توسعه پایدار بهره گرفته‌شده است. بدین منظور ابتدا با کمک شیوه سلسله‌مراتبی و محاسبه شاخص فاصله بین خوشه‌ها و نمودار دندروگرام بهترین تعداد خوشه‌ها تعیین شد. سپس با استفاده از روش K-Means ترکیب خوشه‌های نهایی مشخص شد. الگوریتم K-means از کاربردی‌ترین روش خوشه‌بندی داده‌هاست [۷۱] که برای اولین بار در سال ۱۹۶۷توسط مک‌کوئین ارایه شده‌است[۷۲]. در این الگوریتم هر الگو در یک زمان می‌تواند فقط دارای یک مرکز باشد به‌طوری‌که که اگر $X = \{X_1, X_2, ..., X_n\}$ شامل مجموعه‌ای از داده‌ها باشد. در این مجموعه n بیان‌کننده تعداد نقاط آن مجموعه است، همچنین اگر $V = \{V_1, V_2, ..., V_C\}$ مجموعه‌ای از مراکز خوشه‌ها باشد، در این مجموعه C تعداد خوشه‌ها را نشان می‌دهد. هدف از الگوریتم خوشه‌بندی K-means کمینه کردن تابع هدف j(v)است که با توجه به رابطه ذیل محاسبه می‌شود.

$$j(v) = \sum_{i=1}^{c} \sum_{j=1}^{c} \left\| x_{ij} - v_j \right\|^2 \qquad (10)$$

در رابطه فوق، $\left\| X_{ij} - V_j \right\|$ فاصله اقلیدسی بین x_{ij} و v_j است، C_i نقاط داده‌های خوشه iام است، مرکز iامین v_i با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$v_i = \frac{1}{c_j} \sum_{j=1}^{c_i} x_{ij}, \ i = 1, ..., c \qquad (11)$$

الگوریتم خوشه‌بندی K-Means یک الگوریتم نظارت نشده‌است و دارای فرآیند تکرار است که در آن مجموعه‌ای از داده‌ها به k خوشه تقسیم‌بندی می‌شوند و نقاط داده به‌صورت تصادفی به هریک از خوشه‌ها تعلق می‌گیرد، سپس برای هر نقطه مورد نظر به مرکز خوشه تعلق می‌گیرد. این مراحل تا جایی تکرار می‌شوند که دیگر هیچ نقطه‌ای تغییر مکان ندهد.

٤ چارچوب تحلیل و مجموعه داده‌ها

در پژوهش حاضر ابتدا با بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش، گازهای CO_2 (معکوس)، NOx (معکوس)، SO_2 (معکوس)، بودجه سلامت و فلزات سنگین[1] به‌عنوان ورودی و شاخص‌های کیفیت هوا بر اساس گزارش شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI[2]) از قبیل مرگ و میر ناشی از ذرات معلق نوع۱ (PME[3])، مرگ و میر ناشی از ذرات معلق نوع۲ (PMW[4]) و HAD[5] به‌عنوان خروجی انتخاب شدند. داده‌های مربوط به متغیرهای ورودی CO_2، SO_2،NOx از وب‌سایت UNSD، ورودی بودجه سلامت از بانک جهانی، متغیر ورودی فلزات سنگین و متغیرهای خروجی PMW، HAD و PME از وب‌سایت EPI استخراج شد. لازم به ذکر است که امتیازات سه شاخص مرگ و میر ناشی از ذرات معلق نوع ۱، مرگ و میر ناشی از ذرات معلق نوع۲ و HAD در وب‌سایت

[1]. نتایج واقعی ناشی از قرار گرفتن در معرض سرب را اندازه‌گیری می‌کند.

[2]. Environmental Performance Index

[3]. میانگین غلظت سالانه $PM_{2.5}$ را که شهروندان معمولی هر کشور در معرض آن هستند اندازه‌گیری می‌کند.

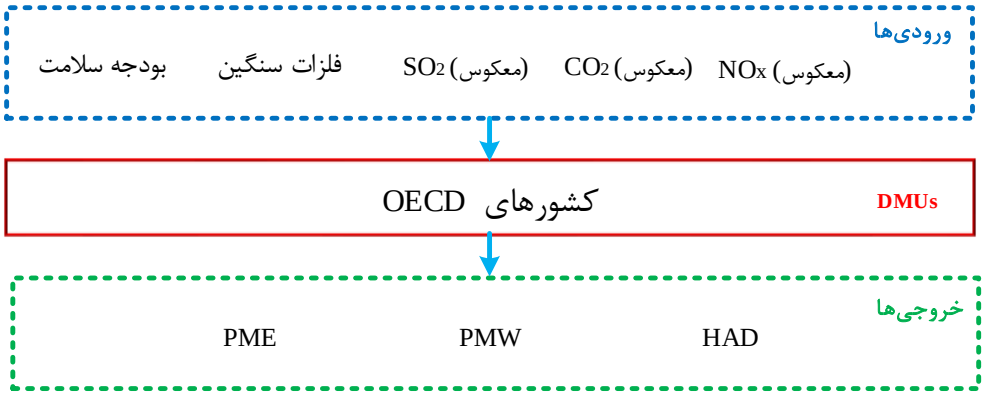
[4]. درصد وزنی جمعیت کشور را در معرض غلظت سالانه $PM_{2.5}$ قرار می‌دهد که از دستورالعمل WHO در چهار سطح مختلف ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب فراتر می‌رود. غلظت‌های بالاتر در فرایند میانگین‌گیری وزن‌های بالاتری داده می‌شود.

[5]. نتایج قرار گرفتن در معرض آلودگی هوای داخل ساختمان ناشی از استفاده از سوخت جامد خانگی را اندازه گیری می‌کند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

EPI بر اساس طیف ۰تا ۱۰۰می‌باشد یعنی امتیاز بالاتر کشورها نشان‌دهنده عملکرد بهتر آن کشور می‌باشد. مدل مفهومی پژوهش در شکل زیر قابل‌مشاهده است.



شکل ٤. ساختار متغیرهای ورودی و خروجی کشورها

۵ یافته‌ها

بر اساس داده‌های متغیرها، مراحل مدل‌سازی DFM بر اساس دیدگاه سوزوکی و همکاران (۲۰۱۰) در محیط نرم‌افزار لینگو کدنویسی شده و پس از رفع تمامی خطاهای مدل‌سازی نتایج به‌صورت زیر به دست آمد.

در ابتدا طبق گام‌های اول تا سوم مدل DFM، شامل حل مدل CCR اولیه ، مدل CCR ثانویه و مدل جمعی مقادیر θ^* و متغیرهای کمکی S^- و S^+ محاسبه و DMUها گروه‌بندی می‌شوند (طبق جدول ۳) .

جدول ۳. مقادیر کارایی و متغیرهای کمکی ورودی و خروجی‌ها

کشور	مدل CCR	ورودی‌ها					خروجی				گروه
	θ^*	S_1^-	S_2^-	S_3^-	S_4^-	S_5^-	S_1^+	S_2^+	S_3^+		
استرالیا	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		۱
اتریش	۰/۷۷	۰	۰	۰/۰۴۳۱	۰	۰/۰۰۴۸	۰/۱۶۹	۰/۱۵۵۲	۰		۳
بلژیک	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		۳
شیلی	۰/۹۸	۰	۰	۰	۰/۰۲۳۵	۰/۰۲۷۸	۰/۰۰۵۳	۰/۱۲۸۳	۰/۱۴۲۱		۳
کلمبیا	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		۱
کاستاریکا	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		۱
جمهوری چک	۰/۹۲	۰	۰	۰/۰۰۲۵	۰	۰/۰۳۹۶	۰/۲۱۸۸	۰/۱۵۱۶	۰		۳

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

کشور	مدل CCR	ورودی‌ها				خروجی			گروه
	θ^*	S_1^-	S_2^-	S_3^-	S_4^-	S_5^-	S_1^+	S_2^+	S_3^+	
دانمارک	۰/۷۲	۰/۰۹۱	۰	۰/۰۳۳۹	۰/۰۱۱۳	۰	۰/۰۲۳۶	۰/۰۷۲۵	۰	۳
استونی	۰/۷۳	۰	۰	۰/۰۰۷۲	۰/۰۸۹۵	۰/۲۵۹۹	۰/۰۲۴۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۵۱	۳
فنلاند	۰/۷۵	۰	۰	۰/۰۰۲۳	۰	۰/۰۱۰۳	۰/۰۹۷۲	۰/۱۰۲۸	۰	۳
فرانسه	۰/۹۸	۰	۰	۰/۰۰۲۲	۰	۰/۰۰۵۸	۰/۰۶۱۸	۰/۰۹۹۲	۰	۳
آلمان	۰/۹۹	۰	۰	۰/۰۰۲۲	۰	۰/۰۰۵۴	۰/۰۹۹۳	۰/۰۷۳۳	۰/۰۰۱۴	۳
یونان	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
مجارستان	۰/۶۵	۰	۰	۰/۰۱۷۷	۰/۱۸	۰/۰۳۸۳	۰/۱۳۶۲	۰	۰	۳
ایسلند	۰/۷۸	۰/۰۵۷۷	۰	۰	۰/۷۴۲۲	۰/۶۲۶	۰/۶۹	۰/۰۲۲۷	۰	۳
ایرلند	۰/۸۷	۰/۱۲۷۷	۰	۰/۰۴۲۶	۰/۰۱۷۹	۰/۰۲۱۷	۰/۰۲۵	۰/۰۵۰۲	۰	۳
ایتالیا	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
ژاپن	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
لتونی	۰/۷۶	۰	۰	۰/۰۹۷۳	۰/۰۵۹۵	۰/۰۶۴۳	۰	۰/۰۰۸۹	۰	۳
لیتوانی	۰/۸	۰	۰	۰/۰۵۰۵	۰/۱۵۹۷	۰/۱۹۶۹	۰/۱۶۳۲	۰/۱۱۴۶	۰	۳
لوکزامبورگ	۰/۷۴	۰/۰۶۴۹	۰	۰/۷۱۶	۰/۲۲۷۷	۰/۶۰۷۹	۰/۰۱۳۲	۰/۰۹۶۵	۰	۳
هلند	۰/۸۳	۰	۰	۰/۰۱۹۹	۰	۰/۰۲۴۸	۰/۰۵۷۹	۰/۰۵۶۸	۰	۳
نیوزلند	۰/۹۸	۰	۰	۰	۰/۰۶۱۱	۰/۰۳۱۹	۰/۰۱۰۸	۰/۰۱۹	۰	۳
نروژ	۰/۷۸	۰/۰۹۳۷	۰	۰/۰۲۷۷	۰/۰۲۲۵	۰	۰	۰/۰۰۶۳	۰	۳
لهستان	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
پرتغال	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
اسلواکی	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

کشور	مدل CCR	ورودی‌ها					خروجی			گروه
	θ^*	S_1^-	S_2^-	S_3^-	S_4^-	S_5^-	S_1^+	S_2^+	S_3^+	
اسلوونی	۰/۵۹	۰	۰	۰/۱۰۱۸	۰/۰۳۵۷	۰/۱۷۷۹	۰/۰۶۲۲	۰	۰	۳
اسپانیا	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
سوئد	۰/۷۴	۰/۰۱۶۴	۰	۰/۰۱۹۱	۰/۰۱۲۳	۰	۰	۰/۰۲۵۷	۰	۳
سوئیس	۰/۷۴	۰/۳۱۴۸	۰	۰/۱۱۳۲	۰/۰۱۹۵	۰/۰۹۷۸	۰/۰۰۲	۰/۰۶۰۶	۰	۳
انگلستان	۰/۹۶	۰	۰	۰/۰۰۲۸	۰	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۸۹	۰/۰۳۸۴	۰	۳
آمریکا	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱

بر اساس خروجی مدل CCR و مدل جمعی، DMUها به سه دسته (گام ۲ مدل DFM) تقسیم می‌شوند؛ بنابراین با توجه به مقادیر θ^* و متغیرهای S^- و S^+ در جدول فوق کشورهای استرالیا، بلژیک، کلمبیا، کاستاریکا، یونان، ایتالیا، ژاپن، لهستان، پرتغالف اسلوانی، اسپانیا و آمریکا کارا هستند و در دسته اول قرار می‌گیرند و سایر DMUها در دسته سوم جای گرفته و وارد مدل DFM می‌شوند.

همچنین بر اساس خروجی مدل CCR ثانویه (مقادیر λ)، برای هریک از کشورها که دچار ضعف عملکردی هستند کشورهایی به‌عنوان واحد مرجع در نظر گرفته می‌شود و به میزان بزرگی ضعف در عملکرد، فاصله تا کشور الگو نیز بیشتر می‌شود. کشورهای مرجع برای هریک از کشورهای مورد بررسی در جدول ۴ قابل‌مشاهده است.

جدول ٤. کشورهای مرجع هر کشور مورد ارزیابی

کشور مورد ارزیابی	کشورهای مرجع	کشور مورد ارزیابی	کشورهای مرجع
استرالیا	استرالیا	ایتالیا	ایتالیا
اتریش	استرالیا، بلژیک، پرتغال و اسپانیا	ژاپن	ژاپن
بلژیک	بلژیک	لتونی	کلمبیا، کاستاریکا و یونان
شیلی	استرالیا، کاستاریکا و لهستان	لیتوانی	کلمبیا، یونان و اسلواکی
کلمبیا	کلمبیا	لوکزامبورگ	بلژیک و پرتغال
کاستاریکا	کاستاریکا	هلند	استرالیا، بلژیک و ایتالیا
جمهوری چک	یونان، ایتالیا و لهستان	نیوزلند	استرالیا، بلژیک، یونان و پرتغال
دانمارک	بلژیک، پرتغال و آمریکا	نروژ	بلژیک، پرتغال و آمریکا
استونی	کلمبیا، کاستاریکا و پرتغال	لهستان	لهستان
فنلاند	استرالیا، بلژیک، یونان، پرتغال و اسپانیا	پرتغال	پرتغال
فرانسه	استرالیا، بلژیک، ایتالیا و اسپانیا	اسلواکی	اسلواکی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

کشور مورد ارزیابی	کشورهای مرجع	کشور مورد ارزیابی	کشورهای مرجع
آلمان	استرالیا، ژاپن و آمریکا	اسلوونی	کلمبیا، کاستاریکا، یونان و پرتغال
یونان	یونان	اسپانیا	اسپانیا
مجارستان	کلمبیا، کاستاریکا، یونان و پرتغال	سوئد	استرالیا، بلژیک، پرتغال و آمریکا
ایسلند	استرالیا، بلژیک، پرتغال و آمریکا	سوئیس	پرتغال و آمریکا
ایرلند	بلژیک و پرتغال	انگلستان	یونان، ایتالیا، ژاپن و اسپانیا
		آمریکا	آمریکا

با مشاهده دقیق‌تر می‌توان دریافت که پرتکرارترین کشورها در جدول فوق کشور پرتغال و بلژیک است و این بدان معناست که این دو کشور به دلیل عملکردشان در پایداری و عملکرد زیست‌محیطی به‌عنوان مرجع بیشتر کشورها در نظر گرفته می‌شود. سپس بر اساس حل مدل DFM و CCR ورودی محور، برای DMUهای دسته سوم، مقادیر و درصد افزایش و کاهش متغیرهای ورودی و خروجی جهت رسیدن DMUها به مرز کارا در دو مدل DFM و CCR محاسبه‌شده که در جداول زیر ارایه‌شده است.

جدول ۵. درصد و میزان تغییر (کاهش/ افزایش) متغیرهای ورودی و خروجی مدل **DFM**

کشور	DFM																	
	مقادیر کاهش ورودی‌ها					مقادیر افزایش خروجی‌ها			در صد کاهش ورودی‌ها				در صد افزایش خروجی					
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3
اتریش	۰	۱۸/۳۲۹	۰/۰۸۵۷	۰		۰	۰	۰	۱۳/۱۲	۰	۰/۲	۱	۰	۰	۰	۰/۱۴
شیلی	۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰		۰/۰۰۳۴	۰/۵۲۲۴	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲	۱	۱	۰/۰۱	۰	۰	۰
جمهوری چک	۵۵/۶۷۹	۵/۹۱۳۶	۰/۰۱۰۴	۰		۰/۰۰۶۲	۰	۰	۰/۴۱۴۷ ۳	۰/۰۳ ۰	۰/۰۸	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰/۰۵ ۰
دانمارک	۶۲۱۶/۷۷	۱۷/۳۷۹	۰/۰۸۴۶	۰		۰	۰	۰	۲۴/۱۴	۱	۰/۱۷	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰/۲۴ ۰
استونی	۰/۹۷۳۱ ۱۵۵۲	۱۳/۸۶۸	۰	۰/۰۰۰۱		۰/۰۲۷۳	۰	۱۶/۳۸	۰	۱	۰/۱۶	۰	۱	۱	۰	۰	۰/۱۶ ۰	۰
فلاند	۰	۲۱/۳۰۰	۰	۰		۰	۰	۰	۱۴/۰۴	۰	۰/۲۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۴ ۰
فرانسه	۰	۱/۲۰۱۰	۰/۰۰۵۶	۰		۰/۰۰۱۱	۰	۰	۰/۵۹۲	۰	۰/۰۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰/۰۱ ۰
آلمان	۰	۰/۶۵۱۶	۰/۰۰۳۵	۰		۰/۰۰۰۸	۰	۰	۰/۱۳۵۳ ۰	۰	۰/۰۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰
مجارستان	۰	۱۸/۰۲۸	۰/۰۴۳۴	۰		۰/۰۰۸۴	۰	۹/۵۵۷۰	۱۱/۰۳	۰	۰/۲۶	۱	۰	۱	۰	۰/۱۵ ۰	۰	۰/۲۵ ۰
ایسلند	۰	۱۲/۴۹۹	۰	۰/۰۰۰۲۷		۰/۰۴۵۷	۰	۰	۱۷/۸۰	۰	۰/۱۳	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰/۱۸ ۰
ایرلند	۵۴۸۹/۰۷	۵/۷۴۹۲	۰/۰۸۲۲	۰		۰/۰۰۹۲	۰	۰	۰/۸۳۷۰ ۹	۱	۰/۰۷	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰/۱
لتونی	۲۵/۵۵۳۸	۱۷/۷۲۱	۰/۲۶۱	۰/۰۰۰۱		۰/۰۲۹۵	۰	۰	۰/۴۲۵۸ ۷	۰/۰۲ ۰	۰/۲۳	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰/۱۴ ۰
لیتوانی	۱۵۳/۹۲۵	۸/۲۷۸۴	۰/۰۷۹	۰/۰۰۰۱		۰/۰۱۷۸	۰	۰	۰/۹۱۸۹ ۷	۰/۱۲ ۰	۰/۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰/۱۱ ۰
لوکزامبورگ	۶۲۲۷/۰۸	۱۴/۳۶۰	۱/۰۸۸۲	۰/۰۰۰۱		۰/۰۵۰۷	۰	۰	۲۲/۵۷	۱	۰/۱۵	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰/۲۳ ۰
هلند	۰	۱۲/۹۶۲۹	۰/۰۴۰۸	۰		۰/۰۰۴۷	۰	۰	۰/۶۵۳۷ ۸	۰	۰/۱۴	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰/۰۹ ۰

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

کشور	DFM															
	مقادیر کاهش ورودی‌ها					مقادیر افزایش خروجی‌ها			در صد کاهش ورودی‌ها				در صد افزایش خروجی			
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3
نیوزلند	۰	۰/۹۱۵۵	۰	۰	۰	۰/۰۰۵۹	۰	۰	/۶۴۱۴ ۰	۰	۰/۰۱	۰	۱	۱	۰	/۰۱ ۰
نروژ	۸۲۳۹/۱۰	۱۲/۱۷۴	۰/۰۶۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	/۰۵۷ ۱۸	۱	۰/۱۳	۱	۱	۰	۰	/۱۸ ۰
اسلوونی	۰	۳۱/۸۴۱	۰/۲۴۴۸	۰	۰	۰/۰۲۹۶	۰	/۷۳۶۷ ۱۱	۲۰/۶۸	۰	۰/۳۶	۰	۱	۰	/۱۵ ۰	/۳۴ ۰
سوئد	۰	۱۵/۸۵۹	۰/۰۵۷۶	۰	۰	۰	۰	۰	۲۱/۵۰	۰	۰/۱۶	۱	۱	۰	۰	/۲۲ ۰
سوئیس	۹۸۷۰/۶۶	۱۴/۱۹۵	۰/۲۰۰۴	۰	۰	۰/۰۱۵۶	۰	۰	۲۰/۷۹	۱	۰/۱۵	۱	۱	۰	۰	/۲۱ ۰
انگلستان	۰	۳/۳۰۱۷	۰/۰۰۶۱	۰	۰	۰/۰۰۱۲	۰	۰	/۸۸۲۸ ۱	۰	۰/۰۳	۱	۰	۱	۰	/۰۲ ۰

جدول ٦. درصد و میزان کاهش متغیرهای ورودیِ مدل **CCR**

کشور	CCR					
	در صد کاهش ورودی‌ها	مقادیر کاهش ورودی‌ها				
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
اتریش	۰/۲۳	۱۲۴۷/۲۶	۲۱/۴۷	۰/۰۲۰۰۷	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۱۵۷۲
شیلی	۰/۰۲	۲۵/۲۳	۲۵۵۶۹	۰/۰۰۰۰۴۸	۰	۰/۰۰۰۰۵۸
جمهوری چک	۰/۰۸	۱۴۷/۷۲	۱۴۳۹۷	۰/۰۰۰۸۷۶	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۵۲
دانمارک	۰/۲۸	۱۷۱۷/۸۲	۲۷/۶۳	۰/۰۲۳۳۷۴	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۲۵۳۸
استونی	۰/۲۷	۴۱۷/۹	۲۳/۵۲	۰/۰۰۷۴۸۳	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۶۳۸۵
فنلاند	۰/۲۵	۱۱۲۱/۵۷	۲۴/۸۴	۰/۰۰۷۴۳۸	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۲۰۷۳
فرانسه	۰/۰۲	۷۴/۴۹	۱۲۰۵۵	۰/۰۰۰۰۸۸	۰	۰/۰۰۰۰۱۸
آلمان	۰/۰۱	۳۴/۸۵	۰/۵۸	۰/۰۰۰۰۲۲	۰	۰/۰۰۰۰۰۵
مجارستان	۰/۳۵	۳۷۳/۵۹	۲۳/۵۵	۰/۰۱۴۹۸۷	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۲۸۹۹
ایسلند	۰/۲۲	۱۴۵۱/۷۵	۲۱/۳۶	۰/۰۰۴۰۶۳	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۱۰۱۴۹
ایرلند	۰/۱۳	۶۹۸/۰۶	۱۹۲۶۸	۰/۰۱۰۴۵۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۱۱۷۲
لتونی	۰/۲۴	۲۶۰/۸۶	۱۸/۵۷	۰/۰۶۱۸۲	۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۶۹۹۶
لیتوانی	۰/۲	۲۴۴/۷۸	۱۶/۴۴	۰/۰۱۵۴۷۷	۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۳۴۸۵
لوکزامبورگ	۰/۲۶	۱۶۳۹/۳۶	۲۵/۳	۰/۲۸۶۴۹۲	۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۰۱۳۳۳۹
هلند	۰/۱۷	۸۷۶/۳۳	۱۵/۷۱	۰/۰۰۶۷۳۸	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷۸
نیوزلند	۰/۰۲	۶۴/۵	۴۴۹۴۷	۰/۰۰۰۲۲۴	۰	۰/۰۰۰۰۹۵
نروژ	۰/۲۲	۱۷۷۶/۷۷	۲۰/۲۷	۰/۰۱۳۲۴۳	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۱۳۱۹
اسلوونی	۰/۴۱	۸۸۸/۸۶	۳۶/۰۹	۰/۱۰۰۲۹۶	۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۰۱۲۱۲۲
سوئد	۰/۲۶	۱۵۲۶/۹۳	۲۵/۰۲	۰/۰۱۴۶۹۱	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۲۰۱۲
سوئیس	۰/۲۶	۲۵۲۲/۰۲	۲۴/۲۷	۰/۰۵۱۱۹۳	۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۰۳۹۷۴
انگلستان	۰/۰۴	۱۵۵/۹۸	۱۵۴۰۱	۰/۰۰۰۲۲۲	۰	۰/۰۰۰۰۴۳

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

بر اساس یافته‌های جدول فوق، برخلاف مدل CCR که جهت دستیابی به کارایی تمام ورودی‌ها به نسبت یکسان تغییر می‌کنند، در مدل DFM فقط تعدادی از ورودی‌ها جهت نیل به این هدف تغییر (کاهش) می‌یابد.

بر اساس میزان تغییرات در متغیرهای ورودی مطابق جدول ۵، می‌توان بیان نمود که متغیرهای ورودی از قبیل انتشار گازهای SO_2 (X_3)، NOx (X_5) و CO_2 (X_4) به بیشترین تغییر جهت بهبود وضعیت کشورهای ناکارا در حوزه سلامت انسان نیاز دارند؛ بنابراین با اعمال سیاست‌های کنترل آلودگی تا حدی زیادی می‌توان به بهبود کشورها در این زمینه کمک کرد. همچنین بر اساس یافته‌های جدول ۶، از آنجایی که کشورهایی نظیر آلمان، فرانسه، شیلی، نیوزلند و انگلیس نسبت به سایر کشورهای ناکارا، از وضعیت بهتری در حوزه سلامت انسان برخوردار می‌باشند؛ بنابراین جهت بهبود وضعیت سلامت انسان در این کشورها به تغییرات کمتری و درکشورهایی نظیر اسلوونی، مجارستان، دانمارک و استونی به تغییرات بیشتری در متغیرهای ورودی نسبت به سایر کشورها نیاز است.

اکنون با توجه به وضعیت درصدهای تغییر متغیرهای ورودی و خروجی، حاصل حل مدل‌های DFM، می‌توان با کمک نرم‌افزار SPSS به خوشه‌بندی کشورها پرداخت. ابتدا بر اساس نمودار دندروگرام و میزان جهشی که در شاخص فاصله بین خوشه‌ها بررسی شد، مشخص شد که مناسب‌ترین تعداد خوشه برابر با ۳ است. در ادامه بر اساس روش K-means به خوشه‌بندی کشورهای ناکارا پرداخته‌شده و میانگین تغییرات متغیرهای ورودی و خروج هر یک از خوشه‌ها تعیین می‌گردد (طبق جدول ۷).

جدول ۷. خوشه‌بندی کشورها بر اساس روش **K-means** با مقادیر مرکز خوشه‌ها

متغیرها	خوشه‌ها		
	۱	۲	۳
X_1	۰/۸۳	۰/۲۵	۰/۰۱
X_2	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۵
X_3	۱	۰/۰۱	۰/۹۲
X_4	۱	۱	۰/۱۷
X_5	۰/۵	۱	۰/۸۳
Y_1	۰	۰	۰
Y_2	۰	۰/۰۴	۰/۰۲
Y_3	۰/۲	۰/۰۵	۰/۱۱
	دانمارک	شیلی	اتریش
	ایرلند	استونی	جمهوری چک
	لوکزامبورگ	ایسلند	فنلاند
	نروژ	نیوزلند	فرانسه
	سوئد		آلمان
	سوئیس		مجارستان
			لتونی
			لیتوانی
			هلند

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

متغیرها	خوشه‌ها		
	۱	۲	۳
اسلوونی			
انگلیس			

اگر بخواهیم خوشه‌ها را بر اساس متغیرها توصیف کنیم؛ مطابق جدول ۷، متغیر بودجه سلامت (X_1)، در کشورهای خوشه اول در بهترین وضعیت و در کشورهای خوشه دوم در وضعیت متوسط قرار دارد؛ اما وضعیت بودجه سلامت در کشورهای خوشه سوم ضعیف می‌باشد و ایجاد زیرساخت‌های ایجاد سیستم ایمنی در این کشورها نامناسب می‌باشد. میزان متغیر فلزات سنگین و انتشار گاز SO_2 (X_3) در دو خوشه اول و سوم مشابه هم می‌باشد؛ اما میزان این دو متغیر در خوشه دو در کمترین میزان ممکن قرار دارد. میزان انتشار گاز CO_2 (X_4) در خوشه اول و دوم بسیار زیاد و میزان انتشار این گاز گلخانه‌ای در خوشه سوم در وضعیت بهتری قرار دارد. سایر متغیرها نیز به همین ترتیب تحلیل می‌گردد.

یکی از اقداماتی که در این مرحله جهت بررسی نقش هر یک از متغیرها در کارا شدن همه DMUها می‌توان انجام داد محاسبه میزان درصد تغییرات لازم برای همه متغیرهای ورودی و خروجی به صورت مجزا جهت رسیدن به مرز کارا می‌باشد. در ادامه درصد تغییرات لازم کل کشورهای ناکارا در متغیرهای ورودی و خروجی محاسبه می‌شود. این مقادیر در جدول ۸ قابل‌مشاهده است.

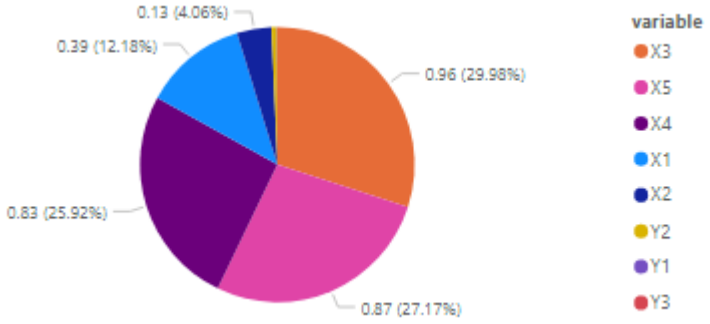
جدول ۸. کل درصد تغییرات متغیرهای وردی و خروجی

متغیرها	مجموع مقادیر موجود	مجموع میزان تغییرات لازم	درصد تغییرات
X_1	۹/۰۳	۳/۵۶	۰/۳۹
X_2	۱۹/۶۶	۲/۵۷	۰/۱۳
X_3	۲/۲۷	۲/۱۸	۰/۹۶
X_4	۳/۵۵	۲/۹۴	۰/۸۳
X_5	۵/۹۷	۵/۲۱	۰/۸۷
Y_1	۱۹/۶۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱
Y_2	۱۹/۸۲	۰/۳۸	۰/۰۲
Y_3	۱۹/۱۲	۲/۳۱	۰/۰۰۱

همچنین شکل زیر نحوه توزیع کل میزان تغییرات لازم در متغیرهای ورودی و خروجی کشورهای ناکارا را در قالب نمودار دایره‌ای نشان داده‌شده‌است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]



شکل ۵. نمودار دایره‌ای میزان تغییرات متغیرها

با توجه به نمودار فوق متغیرهای ورودی از قبیل انتشار گازهای SO_2 (X_3)، NOx (X_5) و CO_2 (X_4) بیشترین تاثیر را بر سلامت انسان و همچنین بیشترین سهم را در کارا شدن کشورهای ناکارا دارد. لذا توجه به این متغیرها و پرداختن به آن می‌تواند در کارا شدن و بهبود وضعیت سلامت در این کشورها موثرتر باشد. طبق شکل ۵ کشورها برای رسیدن به کارایی باید با ایجاد سیستم‌های جامع‌تر مدیریت در حوزه بهداشت و درمان جهت کنترل شکل‌گیری آلاینده‌های محیط زیستی و تاثیر نهایی آن بر سلامت انسان، بیشترین تغییر را در متغیرهای ورودی خود ایجاد کند. همچنین با توجه به جدول ۸ و نمودار ۵ نیز مشخص می‌شود که متغیرهای فلزات سنگین و بودجه سلامت تاثیر کمتری بر سلامت انسان و بهبود وضعیت کشورهای ضعیف در این زمینه دارند بنابراین هنگام تدوین سیاست‌گذاری در اولویت پایین‌تر نسبت به سایر متغیرها قرار دارند.

٦ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف تحلیل غیرشعاعی کارایی کشورهای منتخب به معنای بررسی هم‌زمان میزان افزایش خروجی‌ها و کاهش ورودی‌ها جهت بررسی اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا بر سلامت انسان طراحی شده‌است. در این راستا بر مبنای مطالعه و بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش یک مدل مفهومی دربرگیرنده ۵ متغیر ورودی CO_2، NOx، SO_2، بودجه سلامت و فلزات سنگین و ۳ متغیر خروجی مرگ و میر ناشی از ذرات معلق نوع ۱ (PME)، مرگ و میر ناشی از ذرات معلق نوع ۲ (PMW) و HAD ارایه شد. در مرحله اول از حل مدل DFM، کشورهای استرالیا، بلژیک، کلمبیا، کاستاریکا، یونان، ایتالیا، ژاپن، لهستان، پرتغالف اسلوانی، اسپانیا و آمریکا کارا شدند و روی مرز کارا قرار گرفتند و سایر DMUها وارد مدل DFM می‌شوند و کلیه مراحل مدل‌سازی DFM بر اساس کشورهای ناکارا صورت می‌پذیرد. با بررسی میزان تغییرات به‌دست آمده برای کلیه ورودی و خروجی‌ها و میزان شکاف عملکردی کشورهای مختلف برای کارا شدن، به اهمیت بیشتر نهاده ورودی نظیر انتشار گازهای SO_2، NOx و CO_2 پی برده می‌شود. این بدین معناست که انتشار گازهای گلخانه‌ای در سلامت انسان در نتیجه پایداری زیست‌محیطی کشورها نقش کلیدی را ایفا می‌کنند در واقع کشورها برای بهبود وضعیت خود در پایداری زیست‌محیطی باید با ایجاد سیستم جامع مدیریت جهت کنترل میزان آلاینده‌های هوا بخصوص انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا حد ممکن کاهش دهند و توسعه پایدار قوی برای کشورها به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و تاثیر آن بر سلامت انسان‌ها و بنابراین برنامه‌ها و سیاست‌های آن کشور جهت مدیریت

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

کنترل آلاینده‌های هوا و تاثیر آن بر میزان مرگ ومیرها گره خورده است و متغیرهایی نظیر فلزات سنگین و بودجه سلامت نسبت به انتشار گازهای SO_2، NOx و CO_2 در بهبود وضعیت سلامت انسان در کشورهای ناکارا و ضعیف از اهمیت کمتری برخوردارند؛ بنابراین این متغیرها هنگام تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در اولویت پایین‌تری قرار می‌گیرند. تعدادی زیادی از محققین در مطالعات گذشته خود اظهار داشتند که انتشارهای گازهای SO_2، NOx و CO_2 بر میزان مرگ و میر و بیماری‌ها و به‌صورت کلی بر سیستم سلامت جوامع تاثیر می‌گذارد که موید آن نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد که کنترل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا در سیستم سلامت کشورهای بزرگ دنیا امری ضروری است [۷، ۷۳]. در ادامه با استفاده از روش K-means به خوشه‌بندی کشورهای ناکارا اقدام شد. بر اساس نتایج خوشه‌بندی (مطابق جدول ۷) می‌توان دریافت کشورهای خوشه ۱ نظیر دانمارک، ایرلند، لوکزامبورگ، نروژ در حوزه کشاورزی که منبع اصلی انتشار آلاینده‌های NOx می‌باشد، توانسته‌اند سیاست‌های کنترلی خوبی داشته‌باشند؛ اما برعکس در بخش‌های مربوط به آلاینده‌های ناشی از صنعت که منجر به انتشار گازهای SO_2 و CO_2 می‌شود نسبت به سایر خوشه‌ها وضعیت نامناسب‌تری دارند. همچنین زیرساخت‌ها و سیاست‌های حمل ونقل عمومی در این کشورها باعث‌شده‌است که آلایندگی ناشی از فلزات سنگین از قبیل سرب[1] و جیوه[2] در این کشورها کاهش پیدا کند. اما سیاست‌های کشورهای خوشه ۲ نظیر شیلی، استونی، ایسلند و نیوزلند بیشتر مبتنی بر حمایت از صنایع مادر می‌باشد؛ بنابراین صنایع مادر در این کشورها رشد پیدا کرده‌است. همچنین این کشورها استفاده از سوخت‌های خانگی را نیز نتوانسته‌اند کنترل نمایند. حمایت از صنایع مادر در کشورهای خوشه ۲ باعث شده‌است که آلایندگی‌های زیست‌محیطی اعم از CO_2 و NOx در این جوامع رشد زیادی پیدا کند و از آنجایی‌که بودجه سلامت قوی هم ندارند بنابراین قادر به پیشگیری از مرگ و میرها نمی‌باشند. در کشورهای خوشه ۳ نظیر آلمان، اتریش، انگلیس و هلند نیز آلایندگی‌های زیست‌محیطی اعم از SO_2 و NOx رشد زیادی پیدا و از آنجایی‌که وضعیت بودجه سلامت در این کشورها نیز ضعیف می‌باشد و ایجاد زیرساخت‌های ایجاد سیستم ایمنی در این کشورها نامناسب می‌باشد بنابراین قادر به پیشگیری از مرگ و میرها نمی‌باشند. به‌طور کلی از جدول بالا می‌توان دریافت که کشورهای هر خوشه الگوهای شبیه به‌هم دارند بنابراین لازم است تا رفتارهای مشابه جهت تدوین و اجرا سیاست‌ها و اقدامات خود در جهت بهبود وضعیت موجود و کاهش مصرف متغیرهای ورودی بین خود شکل دهند. به عنوان مثال کشورهایی نظیر لوکزامبوگ و دانمارک جهت بهبود وضعیت خود باید بیشتر از هر چیزی بر روی کنترل آلودگی ناشی از صنعت و کشورهایی نظیر آلمان، اتریش و انگلیس جهت بهبود وضعیت خود باید سیاست‌هایی جهت افزایش بودجه سلامت در نظر بگیرند. همچنین هر کشور ناکارا و دارای عملکرد ضعیف در عملکرد زیست‌محیطی و حوزه سلامت انسان می‌تواند کشور پیشرو و موفق در خوشه خود را الگو قرار داده و در جهت بهبود وضعیت و عملکرد زیست‌محیطی خود تلاش کند. در آخر به محققین توصیه می‌شود در پژوهش‌های خود سایر روش‌هایی تحلیل پوششی داده‌ها نظیر مدل‌های شبکه‌ای را با رویکرد DFM تلفیق کنند و یک مدل مرحله‌ای کامل و جامع در این زمینه ارایه

[1]. pd
[2]. hg

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

دهند. همچنین توصیه می‌گردد در همین چارچوب از متغیرهای غیراختیاری (ثابت) نظیر جمعیت در مدل مفهومی خود استفاده و نتایج پژوهش حاضر با مدل‌های دیگر نظیر NDEA و مدل DFM در حضور عوامل ثابت مقایسه گردد. محققین در پژوهش‌های خود می‌توانند از سایر مدل‌های توسعه‌یافته DFM نظیر مدل مبتنی بر هدف[1] استفاده نمایند. علاوه‌بر این محققین حوزه ارزیابی عملکرد می‌توانند در پژوهش‌های آتی از روش‌های دیگر جهت برخورد با خروجی‌های نامطلوب استفاده نمایند و مدل مناسب ارایه و نتایج مقایسه گردد. پیشنهاد می‌گردد از مدل‌های DFM مبتنی بر مدل‌های BCC در پژوهش‌های آتی استفاده شود و نتایج مقایسه گردد. در آخر نیز توصیه می‌گردد که محققین حوزه ارزیابی عملکرد شاخص‌های سلامت انسان را در کشورهای دیگر نیز بررسی کنند.

منابع

[1] Naddafi, K., Ehrampoush, M., Jafari, V., Nabizadeh, R., Younesian, M. (2009). Complete Evaluation of Suspended Air Particles and Their Composition in the Central Area of Yazd City. The Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, 16(4), 26-32 .

[2] Halkos, G., Argyropoulou, G. (2021b). Pollution and health effects: A nonparametric approach. Computational Economics, 58(3), 691-714 .

[3] Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. Nature, 525(7569), 367-371.

[4] Dobaradaran, S., & Mohamadzadeh, F. (2014). Servey of the oil and gas pollutant impacts on the human and environment. Iranian South Medical Journal,17(1),85-95 .

[5] Khorsandi, H., Karimzade, S., Aghaei, M., Aghapour, A. A., Mousavi Moghanjooghi, S., Kargar, H. (2016). Health impact assessment of exposure to particulate matter less then 10 micron and sulfur dioxide using airq model in urmia, iran. Studies in Medical Sciences, 27(5), 438-448 .

[6] Khorsandi, H., Amini Tapok, F., Cargar, H., Mousavi Moughanjogi, S. (2013). Study of Urmia city air quality according to the air quality index (AQI). Studies in Medical Sciences, 23(7), 767-775. .

[7] Gao, J., Hou, H., Zhai, Y., Woodward, A., Vardoulakis, S., Kovats, Liu, Q. (2018). Greenhouse gas emissions reduction in different economic sectors: Mitigation measures, health co-benefits, knowledge gaps, and policy implications. Environmental Pollution, 240, 683-698 .

[8] McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. The Lancet, 367(9513), 859-869.

[9] Chu, J., Wu, J., Zhu, Q., An, Q., Xiong, B. (2019). Analysis of China's regional eco-efficiency: A DEA two-stage network approach with equitable efficiency decomposition. Computational Economics, 54(4), 1263-1285.

[10] Wang, M., Huang, Y., Li, D. (2021). Assessing the performance of industrial water resource utilization systems in China based on a two-stage DEA approach with game cross efficiency. Journal of Cleaner Production, 312, 127722 .

[11] Jiang, T., Zhang, Y., Jin, Q. (2021). Sustainability efficiency assessment of listed companies in China: a super-efficiency SBM-DEA model considering undesirable output. Environmental Science and Pollution Research .

[12] Zahedi, S., Najafi, G. (2021). Sustainable Development, A New Conceptual Framework (10), 43-76.

[13] Mathew, M. J., Sautter, B., Ariffin, E. H., Menier, D., Ramkumar, M., Siddiqui, N. A., Gensac, E. (2020). Total vulnerability of the littoral zone to climate change-driven natural hazards in north Brittany, France. Science of The Total Environment, 706, 135963. .

[14] Niknaghsh, E., Shoja, N., Movahedi, M. M., Gholam Abri, A. (2020). Energy Efficiency and its Priority in Iran Manufacturing Industries. Journal of Operational Research and Its Applications, 17(3), 135-147. (In Persian)

[15] Tsaples, G., Papathanasiou, J. (2021). Data envelopment analysis and the concept of sustainability: A review and analysis of the literature. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 138, 110664 .

[1]. Target-Oriented DFM

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

[16] Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L. (2006). Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. Ecological Economics, 60(1), 111-118 .
[17] Wong, W.-P. (2021). A Global Search Method for Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis: Procedures and Managerial Perspectives. Symmetry, 13(7), 1155 .
[18] Mehregan, M. (2016). Data Envelopment Analysis: Quantitative models in evaluating the performance of organizations. Academic book . (In Persian)
[19] Ramezanzadeh, S. (2016). Desining a Model for Performance Evaluation Based on Common Weights in DEA and PCA Approaches with Fuzzy Data (Case Study: Amin Police University) Allameh Tabataba'i University. (In Persian)
[20] Xu, T., You, J., Li, H., Shao, L. (2020). Energy Efficiency Evaluation Based on Data ture Review. Energies, 13(14), 3548 .
[21] Bozorgi, F., Soufi, M., Amirteimoori, A., Homayounfar, M. (2021). Analysis of Marginal Rates of Substitution in the Presence of Undesirable Factors Using Data Envelopment Analysis. Journal of Operational Research and Its Applications, 18(4), 103-119. (In Persian)
[22] Yu, Y., Zhu, W., Shi, Q., Zhang, Q. (2016). Network-like DEA approach for environmental assessment: Evidence from US manufacturing sectors. Journal of Cleaner Production, 139, 277-286 .
[23] Chen, H., Liu, J., Li, Y., Chiu, Y.-H., Lin, T.-Y. (2019). A Two-stage Dynamic Undesirable Data Envelopment Analysis Model Focused on Media Reports and the Impact on Energy and Health Efficiency. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(9), 1535 .
[24] Mehmood, K., Iftikhar, Y., Chen, S., Amin, S., Manzoor, A., Pan, J. (2020). Analysis of Inter-Temporal Change in the Energy and CO2 Emissions Efficiency of Economies: A Two Divisional Network DEA Approach. Energies, 13(13), 3300 .
[25] Tone, K., Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach. Omega, 42(1), 124-131 .
[26] Suzuki, S., Nijkamp, P. (2017b). Regional Performance Measurement and Improvement: New Developments and Applications of Data Envelopment Analysis (Vol. 9): Springer.
[27] Dadbakhsh, M., Khanjani, N., Bahrampour, A. (2015). Death from respiratory diseases and air pollutants in Shiraz, Iran (2006-2012). Journal of Environment Pollution and Human Health, 3(1), 4-11.
[28] Song, C., He, J., Wu, L., Jin, T., Chen, X., Li, R., Mao, H. (2017). Health burden attributable to ambient PM2. 5 in China. Environmental Pollution, 223, 575-586 .
[29] Evans, J., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Burnett, R., Rainham, D. G., Birkett, N. J., Krewski, D. (2013). Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery. Environmental research, 120, 33-42 .
[30] Goudarzi, G., Geravandi, S., Foruozandeh, H., Babaei, A. A., Alavi, N., Niri, M. V., Mohammadi, M. J. (2015). Cardiovascular and respiratory mortality attributed to ground-level ozone in Ahvaz, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 187(8), 1-9 .
[31] Karimi Ghoozlou, R., Ahmadi, A., Abbaspour, M., Abbaszadeh, N. (2021). Assessment of Environmental Pollutant Particles PM10 and PM2.5 with Air Quality Index Method (Case Study: Tehran Industrial Cement Complex). Journal of Environmental Science and Technology, 23(8), 155-167 .
[32] Kim, K.-H., Kabir, E., Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. Environment international, 74, 136-143 .
[33] Fang, Y., Naik, V., Horowitz, L., Mauzerall, D. L. (2013). Air pollution and associated human mortality: the role of air pollutant emissions, climate change and methane concentration increases from the preindustrial period to present. Atmospheric Chemistry and Physics, 13(3), 1377-1394 .
[34] Krewski, D. (2009). Evaluating the effects of ambient air pollution on life expectancy. Mass Medical Soc, In (360), 413-415.
[35] Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F. E., Dockery, D. W. (2006). Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities study. American journal of respiratory and critical care medicine, 173(6), 667-672 .
[36] Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Godleski, J.(2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. Circulation, 109(1), 71-77.
[37] Glasson, J., Therivel, R. (2013). Introduction to environmental impact assessment: Routledge.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

[38] Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 1298-1322 .
[39] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444 .
[40] Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253-281.
[41] Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092 .
[42] Mardani, A., Streimikiene, D., Balezentis, T., Saman, M. Z. M., Nor, K. M., Khoshnava, S. M. (2018). Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Economics: An Overview of the State-of-the-Art and Recent Development Trends. Energies, 11(8), 2002 .
[43] Hassanzadeh, A., Yousefi, S., Farzipoor Saen, R., Hosseininia, S. S. S. (2018). How to assess sustainability of countries via inverse data envelopment analysis? Clean Technologies and Environmental Policy, 20(1), 29-40 .
[44] Łozowicka, A. (2020). Evaluation of the Efficiency of Sustainable Development Policy Implementation in Selected EU Member States Using DEA. The Ecological Dimension. Sustainability, 12(1), 435 .
[45] Wang, L.-W., Le, K.-D., & Nguyen, T.-D. (2019). Assessment of the Energy Efficiency Improvement of Twenty-Five Countries: A DEA Approach. Energies, 12(8), 1535 .
[46] Amowine, N., Ma, Z., Li, M., Zhou, Z., Yaw Naminse, E., Amowine, J. (2020). Measuring Dynamic Energy Efficiency in Africa: A Slack-Based DEA Approach. Energy Science & Engineering, 8(11), 3854-3865 .
[47] Lin, X., Zhu, X., Han, Y., Geng, Z., Liu, L. (2020). Economy and carbon dioxide emissions effects of energy structures in the world: Evidence based on SBM-DEA model. Science of The Total Environment, 729, 138947 .
[48] Amowine, N., Ma, Z., Li, M., Zhou, Z., Azembila Asunka, B., Amowine, J. (2019). Energy Efficiency Improvement Assessment in Africa: An Integrated Dynamic DEA Approach. Energies, 12(20), 3915.
[49] Gómez-Calvet, R., Conesa, D., Gómez-Calvet, A. R., Tortosa-Ausina, E. (2014). Energy efficiency in the European Union: What can be learned from the joint application of directional distance functions and slacks-based measures?. Applied Energy, 132, 137-154.
[50] Wang, C.-N., Hsu, H.-P., Wang, Y.-H., Nguyen, T.-T. (2020). Eco-Efficiency Assessment for Some European Countries Using Slacks-Based Measure Data Envelopment Analysis. Applied Sciences, 10(5), 1760.
[51] Camioto, F. d. C., Rebelatto, D. A. d. N., Rocha, R. T. (2015). Energy efficiency analysis of BRICS countries: a study using Data Envelopment Analysis. Gestão & Produção, 23, 192-203 .
[52] Lenz, N. V., Šegota, A., Maradin, D. (2018). Total-factor Energy Efficiency in EU: Do Environmental Impacts Matter?. International Journal of Energy Economics and Policy,8 (3),92-96.
[53] Lu, C. C., Lin, I. F., Wu, D., Zhang, X. (2021). The effect of forestry on energy efficiency in EU countries: A non-oriented dynamic slack-based data envelopment analysis. Energy Science & Engineering.
[54] Halkos, G. E., Tzeremes, N. G., Kourtzidis, S. A. (2016). Measuring sustainability efficiency using a two-stage data envelopment analysis approach. Journal of Industrial Ecology, 20(5), 1159-1175.
[55] Halkos, G. E., Tzeremes, N. G., Kourtzidis, S. A. (2015). Regional sustainability efficiency index in Europe: an additive two-stage DEA approach. Operational Research, 15(1), 1-23.
[56] Tsaples, G., Papathanasiou, J., Georgiou, A. C., & Samaras, N. (2019). Assessing multidimensional sustainability of European countries with a novel, two-stage DEA. Paper presented at the International Conference on Decision Support System Technology. 111-122
[57] Yeh, W.-C., Huang, H.-C., Hu, C.-F. (2020). Network data envelopment analysis with common weights: an application to the sustainability measurement of OECD countries. Environmental Engineering and Management Journal, 19(5), 809-818.
[58] Feng, Y., Yu, X., Chiu, Y.-H., Lin, T.-Y. (2020). Energy Efficiency and Health Efficiency of Old and New EU Member States. Frontiers in Public Health, 8 (168).
[59] Sarkhosh-Sara, A., Tavassoli, M., Heshmati, A. (2020). Assessing the sustainability of high-, middle-, and low-income countries: A network DEA model in the presence of both zero data and undesirable outputs. Sustainable Production and Consumption, 21, 252-268.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]

[60] Kiani Mavi, R., Saen, R. F., Goh, M. (2019). Joint analysis of eco-efficiency and eco-innovation with common weights in two-stage network DEA: A big data approach. Technological Forecasting and Social Change, 144, 553-562 .
[61] Suzuki, S., Nijkamp, P. (2016b). An evaluation of energy-environment-economic efficiency for EU, APEC and ASEAN countries: Design of a Target-Oriented DFM model with fixed factors in Data Envelopment Analysis. Energy Policy, 88, 100-112 .
[62] Zhang, T., Chiu, Y.-h., Li, Y., Lin, T.-Y. (2018). Air pollutant and health-efficiency evaluation based on a dynamic network data envelopment analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(9), 2046.
[63] Li, Y., Chiu, Y.-h., Lin, T.-Y. (2019). The impact of economic growth and air pollution on public health in 31 Chinese cities. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(3), 393 .
[64] Wu, J., Xia, P., Zhu, Q., Chu, J. (2019). Measuring environmental efficiency of thermoelectric power plants: a common equilibrium efficient frontier DEA approach with fixed-sum undesirable output. Annals of Operations Research, 275(2), 731-749.
[65] He, X., Chiu, Y.-h., Chang, T.-H., Lin, T.-Y., Wang, Z. (2020). The energy efficiency and the impact of air pollution on health in China. Paper presented at the Healthcare.
[66] Halkos, G., Argyropoulou, G. (2021a). Modeling energy and air pollution health damaging: a two-stage DEA approach. Air Quality, Atmosphere & Health, 14(8), 1221-1231.
[67] Zhang, Y., Chen, X., Mao, Y., Shuai, C., Jiao, L., Wu, Y. (2021). Analysis of resource allocation and PM2.5 pollution control efficiency: Evidence from 112 Chinese cities. Ecological Indicators, 127, 107705 .
[68] Suzuki, S., Nijkamp, P. Regional performance measurement and improvement: Springer
[69] Suzuki, S., Nijkamp, P. (2016a). An Evaluation of Energy-Environment-Economic Efficiency for Asian Countries: A Proposal for a Time-Series Target-Oriented DFM Model in Data Envelopment Analysis. Regional Growth and Sustainable Development in Asia, 7, 113 .
[70] Suzuki, S., Nijkamp, P. (2017a). Measurement of Energy-Environment-Economic Performance for EU, APEC, and ASEAN Countries: Combination of a Fixed-Factor Model with an SE Model. In Regional Performance Measurement and Improvement: New Developments and Applications of Data Envelopment Analysis , 143-162 .
[71] Niknam, T., Amiri, B. (2010). An efficient hybrid approach based on PSO, ACO and k-means for cluster analysis. Applied Soft Computing, 10(1), 183-197.
[72] MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. Paper presented at the Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability.
[73] Li, Y., Lin, T.-Y., Chiu, Y.-H. (2020). Dynamic linkages among economic development, environmental pollution and human health in Chinese. Cost Effectiveness and Resource Allocation, 18(1), 1-19.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.3.61]