



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، صص ۵۳-۸۶

نوع مقاله: پژوهشی

رویکرد ترکیبی نوین بر پایه تحلیل پوششی داده‌های DFM با خروجی نامطلوب و تحلیل خوشه‌ای جهت ارزیابی توسعه پایدار کشورها

فاطمه زمزم^۱، حبیب زارع احمدآبادی^{۲*}، علیرضا ناصرصدرآبادی^۲،
علی مروتی شریف‌آبادی^۲

۱. دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶

چکیده

تحلیل کارایی کشورها در زمینه توسعه پایدار با توجه ویژه به انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند کمک شایانی به سیاست‌گذاری توسعه منطقه‌ای و جهانی نماید. پژوهش حاضر با ارائه یک مدل DFM با خروجی‌های نامطلوب به ارزیابی عملکرد کشور ایران و ۳۸ کشور OECD می‌پردازد. مقایسه تغییرات میزان افزایش در خروجی و کاهش در ورودی‌های جهت کارا شدن واحدهای تصمیم‌گیری در مدل‌های DFM و CCR از اهداف این پژوهش است. بر اساس بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش نهاده‌های نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و تشکیل سرمایه ناخالص به‌عنوان ورودی، نهاده تولید ناخالص داخلی (GDP) به‌عنوان خروجی مطلوب و نهاده مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌استثنای LULUCF به‌عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفته شده است. در نهایت نتایج نشان داد که کشورهای ناکارا جهت رسیدن به مرز کارا باید بیشترین تغییر را در نهاده ورودی کل مصرف انرژی اولیه و کمترین تغییر را در نهاده خروجی مطلوب (GDP) ایجاد کنند لذا توجه به مدیریت مصرف انرژی و پرداختن به آن می‌تواند در کارا شدن کشورهای ناکارا و دارای عملکرد ضعیف در پایداری زیست‌محیطی، نظیر ایران مؤثرتر باشد. همچنین تحلیل‌ها نشان داد که در ایران جهت بهبود وضعیت پایداری، سیاست‌گذاران باید بیشترین توجه خود را معطوف به کاهش مصرف انرژی، افزایش سطح بهره‌وری نیروی کار، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نهایت بهبود بهره‌وری سرمایه‌گذاری و GDP نمایند. بر مبنای روش تحقیق اشاره‌شده، به مقایسه دو شیوه مدل‌سازی ارزیابی کارایی کشورها در زمینه توسعه پایدار پرداخته‌شده است و مزیت‌های مدل DFM نسبت به CCR مورد تحلیل قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها، پایداری زیست‌محیطی، حداقل‌سازی اختلاف فاصله، کارایی



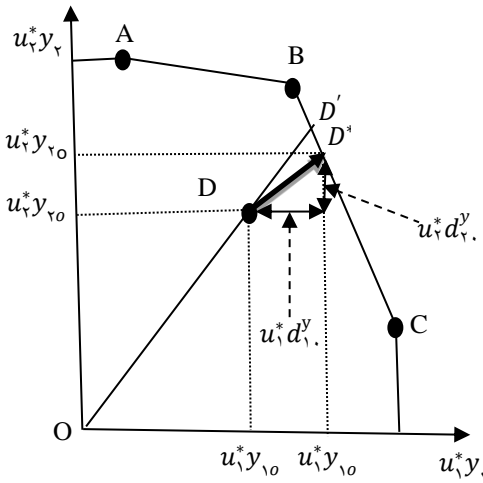
۱- مقدمه

در عصر حاضر با گسترش روزافزون تکنولوژی و رشد جوامع و صنایع، به‌کارگیری منابع انرژی پایدار و پاک، امری لازم و غیرقابل‌اجتناب است [۱] همچنین پایداری زیست‌محیطی جهت رشد بلندمدت افراد، جوامع و جهان طبیعی امری ضروری است. توسعه اقتصادی و مصارف انسانی متکی به استفاده پایدار از منابع محیطی است در غیر این صورت پایداری زیست‌محیطی از بین می‌رود. در مقیاس ملی و بین‌المللی، تأثیرات منفی زیست‌محیطی می‌تواند بر روی زمین، اقیانوس‌ها، سیستم‌های آب شیرین و جو تأثیرگذار باشد [۲]. مدیریت زنجیره تأمین پایدار زیست‌محیطی، به‌عنوان ادغام تفکر زیست‌محیطی در کل چرخه فرآیندهای زنجیره تأمین تعریف می‌گردد [۴، ۳]. سنجش عملکرد زیست‌محیطی محصول، فرآیند یا فعالیت‌ها در کل زنجیره تأمین به یک چالش بزرگ تبدیل شده است و این امر از لحاظ تأثیرات زیست‌محیطی بسیار حائز اهمیت است [۳، ۵] همچنین بررسی عملکرد زیست‌محیطی یکی از الگوهای اصلی سنجش توسعه پایدار منطقه‌ای است [۶، ۷]. توسعه پایدار به‌عنوان توسعه‌ای تعریف شده است که نیازهای زمان کنونی را برآورده می‌کند، بدون این‌که به توانایی نسل‌های آینده برای برآورده ساختن نیازهای خود آسیب وارد کند [۸، ۹]. مسئله 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 مسائل پایداری نباشند [۱۰]. بنابراین در این‌گونه مسائل ضرورت استفاده از رویکردهای کمی، مبتنی بر تابع تولید و سیستماتیک وجود دارد. تحلیل پوششی داده‌ها^۱ یکی از رویکردهایی است که نگاه ویژه‌ای به تکنیک‌های مبتنی بر تابع تولید دارد [۱۱] و یک رویکرد متفاوت جهت سنجش عملکرد پایدار است [۱۰]. به‌طورکلی DEA یکی از ابزارهای ناپارامتریک 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 [۱۲]. [۱۳]. به‌طور کلی وجه تمایز این تحقیق در نحوه مدل‌سازی است. رویکرد مورد استفاده در

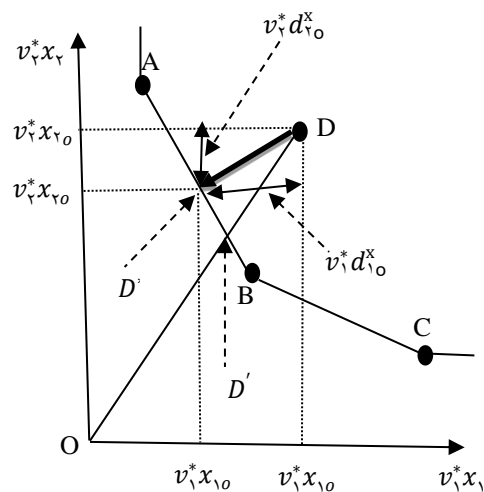


این پژوهش غیرشعاعی بودن تحلیل‌ها و تلفیق رویکرد مدل‌سازی حداقل‌سازی اختلاف فاصله^۲ (DFM) با خروجی‌های نامطلوب است. رویکرد DFM یک روش مدل‌سازی چند هدفه است که در این روش کمترین فاصله تا مرز ناکارا ملاک انتخاب برترین DMU ناکارا می‌باشد. در تحقیقات گذشته مدل‌های مختلفی جهت محاسبه امتیاز کارایی عملکرد زیست‌محیطی کشورها ارائه شده است که عموماً تمرکز بر روی مدل‌های شعاعی است - [۱۴]

[۱۷]. اما تحقیقی که پایداری کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی^۳ (OECD) را با رویکرد DFM با خروجی‌های نامطلوب در حوزه محیط‌زیست مورد بررسی قرار دهد، ارائه نشده است. مدل ارائه‌شده در این پژوهش به گونه‌ای است که امکان محاسبه میزان کاهش در ورودی و افزایش در خروجی‌ها را به صورت هم‌زمان فراهم می‌کند. بنابراین نوآوری پژوهش حاضر استفاده از خروجی نامطلوب در مدل DFM جهت ارزیابی عملکرد توسعه پایدار و عملکرد زیست‌محیطی کشورهای OECD و ایران است. به طور کلی این پژوهش به دنبال ارائه روش کمی جهت بررسی غیرشعاعی کارایی و ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی (پایداری) کشورهای منتخب بر مبنای رویکرد DFM با خروجی‌های نامطلوب است. در مدل‌های شعاعی، ورودی‌ها و خروجی‌ها با نسبت یکسان کاهش یا افزایش می‌یابند. بنابراین راه‌حل بهبود در مدل CCR ورودی‌محور، بر اساس شرط کاهش شعاعی ورودی‌ها با نسبت یکسان ($\theta^* = OD' / OD$ در شکل ۱) است. بدین ترتیب نقطه ایده‌آل برای هر DMU_D ناکارا در شکل ۱ 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 DMU_D در مدل‌های DFM لزوماً روی محور OD که ماهیت شعاعی دارد حرکت نمی‌کنند. شکل ۲ نیز منطق رسیدن به مرز کارا در مدل DFM بر مبنای خروجی‌ها نشان می‌دهد [۱۸].



شکل ۲. منطق رسیدن به مرز کارا در مدل DFM (برمبنای خروجی‌ها)



شکل ۱. منطق رسیدن به مرز کارا در مدل DFM (برمبنای ورودی‌ها)

بخش‌های بعدی این مقاله عبارت‌اند از: در بخش ۲ بررسی پیشینه پژوهش ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و تحلیل پوششی داده‌ها ارائه‌شده، روش پژوهش در بخش ۳ و در بخش ۴ تعریف متغیرهای ورودی و خروجی مطرح‌شده، یافته‌ها و نتایج پیاده‌سازی بر روی داده‌های واقعی در بخش ۵ و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آتی در بخش ۵ ارائه‌شده است.

۲- ادبیات و پیشینه تحقیق

۲-۱- ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی و تحلیل پوششی داده‌ها

امروزه به دلیل کاهش منابع طبیعی، تغییرات آب و هوایی، انتشار کربن و گرم شدن کره زمین؛ پایداری در تحلیل بقای اقتصادی و اجتماعی سازمان‌ها به‌عنوان اصلی در نظر گرفته‌می‌شود [۳]. مسائل زیست‌محیطی در سراسر جهان، توجه الگوهای توسعه اقتصادی را به پیشبرد مفهوم توسعه پایدار معطوف ساخته‌است. این اصل توسعه، که به نگرش



گسترده‌تر نیازهای فعلی و حصول اطمینان از توانایی نسل آینده اشاره دارد، متمرکز بر هماهنگی (هارمونیک) روابط بین جمعیت، منابع، محیط‌زیست و اقتصاد است [۱۹]. همچنین کاتس^۴ و همکاران (۲۰۰۱) اظهار داشتند که توسعه پایدار به معنای اعمال محدودیت است که این محدودیت‌ها از طریق تأثیر فناوری سازمان‌ها بر منابع طبیعی و توانایی محیط‌زیست جهت جذب این اثرات، تحمیل می‌شوند [۲۰]. نرخ فزاینده توسعه منجر به وضعیتی ناپایدار می‌شود که آیندگان نمی‌توانند نیازهای خود را برآورده کنند [۲۱]. در این میان ایجاد رویه‌هایی برای ارزیابی عملکرد بنگاه‌ها، کد رشته‌های اقتصادی، کشورها و نظام‌های نوآوری و فناوری در تحلیل ابعاد توسعه پایدار و دستیابی به سیاست‌های کنترلی و پیشگیرانه نقش بسزایی دارد. لذا مسائل ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی (پایداری) و توسعه پایدار به‌عنوان مباحث مهم و حیاتی، چندی است که توجه محققان و دانشگامیان را به خود معطوف ساخته است [۲، ۳، ۲۲-۳۳]. ارزیابی عملکرد ابزارهای گوناگونی دارد و در چند دهه گذشته، روش‌های مختلفی جهت ارزیابی عملکرد استفاده شده است [۲۱]. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از رویکردهای ارزیابی کارایی است که برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط چارنز و همکاران (۱۹۷۸) [۳۴] بر مبنای مطالعه فارل (۱۹۵۷) [۳۵] جهت ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) معرفی شد از آنجا که این الگو توسط چارنز، کوپر و رودز ارائه گردید، به الگوی (CCR) که از حروف اول نام سه فرد یادشده تشکیل شده است، معروف گردید و در سال ۱۹۷۸، در مقاله‌ای با عنوان اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده، ارائه شد. سپس در سال ۱۹۸۴، چارنز و کوپر به همراه بنکر [۳۶]، مدلی را ارائه کردند که با توجه به حروف اول نام آنان به مدل BCC مشهور گردید. مدل BCC از جمله مدل‌های DEA است که بازده نسبت به مقیاس را به‌صورت متغیر در نظر می‌گیرد، [۳۷] [۲۸]. در تحقیقات گذشته انواع مختلف مدل‌های DEA در تحلیل توسعه پایدار مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن‌ها مدل‌های شعاعی BCC، CCR و غیر شعاعی SBM [۱۱]، [۳۹-۴۸] و مدل‌سازی‌های شبکه‌ای [۲۲، ۴۹-۵۴] بوده است.

در جدول ۱ خلاصه‌ای از تحقیقات مرتبط مشاهده می‌شود. با توجه به این جدول، در اکثر تحقیقات از متغیرهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و سرمایه‌گذاری اقتصادی به‌عنوان ورودی و از متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO₂ به‌عنوان خروجی استفاده شده است. در ادامه به تعدادی از این پژوهش‌ها اشاره می‌گردد. ژو و



همکاران^۵ (۲۰۱۰) در پژوهش خود متغیرهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و موجودی سرمایه^۶ را به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO₂ را به عنوان خروجی در نظر گرفتند و به بررسی عملکرد انتشار گاز CO₂ در ۱۸ کشور انتشاردهنده CO₂، با استفاده از شاخص مالکوئیست^۷ پرداختند [۵۵]. در پژوهشی دیگر لوزانو^۸ (۲۰۱۵) با ارائه یک مدل NSBM^۹، کارایی ۹۲ نیروگاه زغال سنگ و ۲۳ کشور عضو اتحادیه اروپا و عضو OECD را مورد بررسی قرار دادند در این پژوهش نیز متغیرهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و تشکیل سرمایه ثابت ناخالص^{۱۰} به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به استثنای LULUCF به عنوان خروجی لحاظ شده است [۵۶]. افتخار^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با کمک مدل SBM، تحلیلی ناپارامتریک از کارایی انرژی و انتشار گاز CO₂ در اقتصادهای بزرگ دنیا انجام دادند. در این پژوهش متغیرهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و موجودی سرمایه به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO₂ به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است [۵۷]. سوزوکی و نیجکامپ^{۱۲} (۲۰۱۶) کارایی اقتصادی- زیست‌محیطی- انرژی^{۱۳} 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 به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO₂ به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است [۵۸]. لنز^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود، متغیرهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و سرمایه^{۱۵} را به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO₂ و انتشار گاز SOX را به عنوان خروجی در نظر گرفتند [۴۷]. وانگ^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل SBM به بررسی بهبود کارایی ۲۵ کشور در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ پرداختند که در این پژوهش متغیرهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و تشکیل سرمایه ثابت ناخالص^{۱۷} به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار گاز CO₂ به عنوان خروجی لحاظ شده است [۴۰]. افضل‌نژاد (۲۰۲۱) در پژوهش خود متغیرهای نیروی کار شاغل و موجودی سرمایه^{۱۸} به عنوان ورودی و متغیرهای تولید ناخالص داخلی (GDP) و مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به استثنای LULUCF به عنوان



خروجی معرفی کرد.

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

خروجی‌ها	ورودی‌ها	DMUs و مدل DEA	نویسندگان و سال انتشار
مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌استثنای LULUCF و GDP	نیروی کار شاغل، کل عرضه انرژی اولیه و تشکیل سرمایه ثابت ناخالص	۲۳ کشور عضو OECD و مدل NSBM	Lozano [۵۶] (۲۰۱۵)
انتشار CO ₂ و GDP	نیروی کار، کل مصرف انرژی اولیه و موجودی سرمایه	۲۶ اقتصاد برتر دنیا و مدل DEA-SBM	Iftikhar et al [۵۷] (۲۰۱۶)
انتشار CO ₂ و GDP	مصرف انرژی، جمعیت	کشورهای اتحادیه اروپا، اپک و آسه آن و مدل Target-Oriented DFM با عوامل ثابت در DEA	Suzuki and Nijkamp [۵۸] (۲۰۱۶)
انتشار CO ₂ و GDP	مصرف انرژی، جمعیت	کشورهای آسه آن و Time-Series Target-Oriented DFM	Suzuki and Nijkamp [۵۹] (۲۰۱۷)
انتشار CO ₂ و GDP	مصرف انرژی، جمعیت	کشورهای اتحادیه اروپا، اپک و آسه آن و مدل TO-DFM-FF	Suzuki and Nijkamp [۶۰] (۲۰۱۷)
انتشار SO _x ، انتشار CO ₂ و GDP	سرمایه، اشتغال، انرژی	۲۸ کشور اروپایی و مدل SBM-DEA	Lenz et al [۴۷] (۲۰۱۸)
انتشار CO ₂ و GDP	موجودی سرمایه، کل نیروی کار، کل مصرف انرژی اولیه	۲۸ کشور منتخب آفریقایی و مدل dynamic SBM-DEA و شاخص مالمکوئیست	Amowine et al [۴۳] (۲۰۱۹)
انتشار CO ₂ و GDP	تشکیل سرمایه ثابت ناخالص، مصرف انرژی و نیروی کار	۲۵ کشور منتخب و مدل SBM-DEA و شاخص مالمکوئیست	Wang et al [۴۰] (۲۰۱۹)
انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHE)، انتشار SO _x و GDP	مصرف انرژی، نیروی کار و سرمایه	۲۸ کشور عضو اتحادیه اروپا و مدل Dynamic DEA	Hsieh et al [۶۱] (۲۰۱۹)



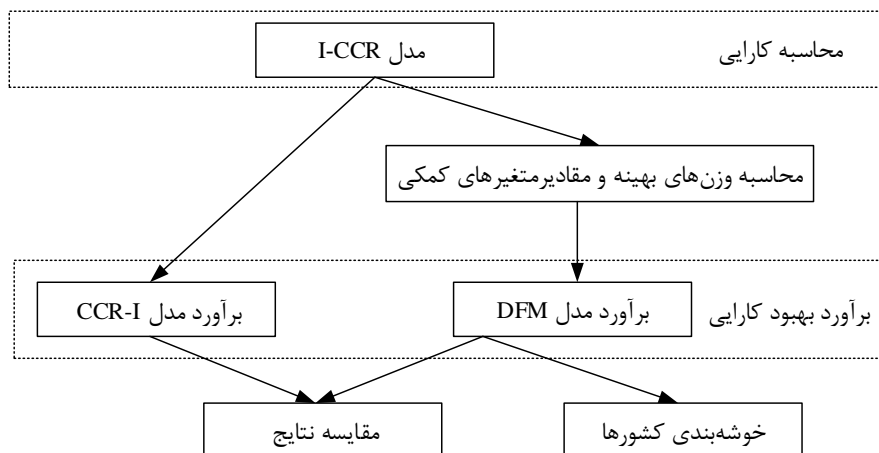
خروجی‌ها	ورودی‌ها	DEA و مدل DMUs	نویسندگان و سال انتشار
انتشار LI و HI , MI , CO_2	مصرف انرژی، نیروی کار، سرمایه و جمعیت	کشورهای با درآمد بالا، متوسط و پایین و مدل $NDEA$	Sarkhosh-Sara et al (۲۰۲۰) [۲۲]
انتشار CO_2 و GDP	مصرف انرژی، نیروی کار و موجودی سرمایه	۲۵ کشور آفریقایی و مدل $Dynamic SBM-DEA Model$	Amowine et al (۲۰۲۰) [۴۱]
انتشار CO_2 و مناطق جنگلی	مصرف انرژی، نیروی کار و موجودی سرمایه	۲۸۰ کشور اروپایی و مدل $SBM-DEA$ پویا	Lu et al (۲۰۲۱) [۴۸]
مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌استثنای $LULUCF$ و GDP	نیروی کار و موجودی سرمایه	۲۸ کشور منتخب و مدل DEA سنتی	Afzalinejad (۲۰۲۱) [۲۵]
انتشار CO_2 و GDP	مصرف انرژی و نیروی کار	کشورهای منتخب اروپای مرکزی و غربی و مدل DEA پنجره‌ای	Zhang et al (۲۰۲۱) [۲۲]
مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌استثنای $LULUCF$ و GDP	تشکیل سرمایه ثابت ناخالص، مصرف انرژی و نیروی کار	۳۸ کشور $OECD$ و کشور و کشور ایران و مدل DFM مبتنی بر خروجی‌های نامطلوب	پژوهش حاضر

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 [۶۳]. رویکرد DFM یک روش مدل‌سازی چند هدفه است که در این روش کارایی DMU ها با محاسبه فاصله آن‌ها از مرز کارا مشخص می‌شود. بر این اساس کاراترین DMU ها کمترین فاصله را تا مرز کارا دارند [۶۴]. با وجود مزیت‌های فراوان روش DEA ، یکی از مشکلات بارز مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها، شعاعی بودن تحلیل‌ها است. از آنجایی‌که مدل‌های DFM مبتنی بر تحلیل‌های غیرشعاعی می‌باشند بنابراین اخیراً تعدادی محدودی از پژوهشگران از رویکردهای DFM جهت بررسی عملکرد زیست‌محیطی کشورهای مختلف استفاده کردند [۶۰-۵۸]. به‌طور کلی وجه تمایز پژوهش حاضر در استفاده از روش DFM مبتنی بر خروجی‌های نامطلوب در ۳۸ کشور عضو $OECD$ و کشور ایران می‌باشد.



۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، جزء تحقیقات کاربردی و از نظر روش اجرا یک تحقیق توصیفی محسوب می‌شود. در این پژوهش، با کاربرد رویکرد DFM به ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی کشورهای OECD و ایران در حضور عوامل نامطلوب پرداخته می‌شود. پس از تحلیل نتایج به دست آمده و ارزیابی رفتار متغیرها در مورد ایران، نتایج دو مدل DFM و CCR با یکدیگر مقایسه می‌گردد. روند انجام پژوهش در شکل ۳ مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که در این پژوهش متغیرهای ورودی و خروجی بر اساس بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش تعیین شده است و داده‌های مربوط به این متغیرها از پایگاه‌های جهانی از قبیل بانک جهانی^{۱۹}، OECD^{۲۰} و Stat^{۲۱} استخراج گردید. در ادامه سه رویکرد DFM، DFM با خروجی‌های نامطلوب و تحلیل خوشه‌بندی به ترتیب تشریح می‌گردند.



شکل ۳. مراحل انجام پژوهش

۳-۱- مدل حداقل‌سازی اختلاف فاصله (DFM)

مدل DFM مدلی چندهدفه است که برای اولین بار توسط سوزوکی بر اساس مدل CCR ارائه شده توسط چارنز و همکاران (۱۹۷۸) در سال ۲۰۱۰ مطرح شد. مدل‌های استاندارد



DEA از قبيل مدل‌هاى CCR و BCC بر کاهش ورودى يا افزايش خروجى در جهت‌هاى شعاعى تمرکز دارند. مدل DFM چشم‌انداز جديدى را در مورد بهبود كارايى و اهداف بهينه‌كاوى^{۲۲} با استفاده از يك تابع پيش‌بينى (برآورد) موزون^{۲۳} ارائه مى‌دهد. تابع برآورد موزون مسئله بهبود كارايى را از منظر هم‌زمانى کاهش در ورودى و افزايش در خروجى بررسى مى‌كند. به‌طور كلّى رويكرد DFM يك روش مدل‌سازى چند هدفه است كه شامل گام‌هاى زير است [۱۸]. ابتدا انديس‌ها، پارامترها و متغيرهاى مطابق جدول ۲ زير تعريف مى‌گردد.

جدول ۲- مجموعه انديس‌ها، پارامترها و متغيرهاى مدل‌ها

متغيرهاى تصميم				پارامترها		انديس			
مفهوم	متغير	مفهوم	متغير	مفهوم	پارامتر	مفهوم	نماد	مفهوم	نماد
میزان کمبود خروجی مطلوب r ام	s_r^-	میزان كارايى بهينه DMU.	θ_0^*	میزان ورودى i ام DMU z ام	x_{ij}	تعداد كل خروجی‌هاى نامطلوب	d	ورودى	i
کاهش فاصله ورودى i ام	d_i^x	مقدار وزن ورودى i ام	v_i	میزان خروجى مطلوب r ام DMU z ام	y_{rj}	تعداد كل DMUها (کشورها)	n	خروجى مطلوب	r
کاهش فاصله خروجى نامطلوب t ام	d_t^{δ}	مقدار وزن خروجى مطلوب r ام	u_r	میزان خروجى نامطلوب t ام DMU z ام	Z_{tj}			خروجى نامطلوب	t
افزايش فاصله خروجى مطلوب r ام	d_r^{γ}	مقدار وزن خروجى نامطلوب t ام	δ_t					کشور (DMU)	j
سهم نسبى DMUها براى رسيدن به مرز كارا	λ_j	میزان مازاد ورودى i ام	s_i^-					تعداد كل ورودی‌ها	m



متغیرهای تصمیم				پارامترها		اندیس			
مفهوم	متغیر	مفهوم	متغیر	مفهوم	پارامتر	مفهوم	نماد	مفهوم	نماد
		میزان مازاد خروجی نامطلوب م t	s_t^-					تعداد کل خروجی‌های مطلوب	s

گام اول: مقادیر بهینه (θ^*, v^*, u^*) را با حل مدل LP (مدل CCR ورودی محور) محاسبه کنید. در این رابطه θ^* میزان کارایی بهینه مدل CCR و v^* و u^* به ترتیب مقادیر بهینه وزن ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند.

$$\begin{aligned} \max \theta &= \sum_r u_r y_{r0} \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \quad (\forall j = 1, \dots, n) \\ v_i &\geq 0, u_r &\geq 0 \\ i &= 1, \dots, m; r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} \max \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= \theta_0^* x_{i0} \quad (\forall i = 1, \dots, m) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{r0} \quad (\forall r = 1, \dots, s) \\ s_i^- &\geq 0, s_r^+ \geq 0, \lambda_j \geq 0 \\ j &= 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

سپس DMUها بر اساس مقادیر S^{-*}, S^{+*} و θ^* به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند. زمانی که $\theta^* = 1$ ، $S^{-*} = S^{+*} = 0$ ، DMU ارزیابی شده یک DMU کاملاً کارا



است و فاصله‌ای با مرز کارا ندارد.

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

$$\hat{x}_o = \theta_o^* x_o - S^{-*} \quad (\forall_i i = 1, \dots, m) \quad (3)$$

$$\hat{y}_o = y_o + S^{+*} \quad (\forall_r r = 1, \dots, s) \quad (4)$$

زمانی که $\theta^* \neq 1$ ، $S^{+*} \neq 0$ ، $S^{-*} \neq 0$ باشد؛ DMU ارزیابی شده یک DMU ناکارا است و جواب‌های بهینه با کمک گام‌های ۳، ۴ و ۵ مدل DFM محاسبه می‌شوند.

گام سوم: فواصل کاهش ورودی و افزایش خروجی با استفاده از حل مسئله MOQP^{۲۴} زیر بر اساس مقادیر بهینه مدل CCR (θ^*, v^*, u^*) و توابع اختلاف فاصله Frx و Fry که با فاصله اقلیدسی در فضای موزون تعریف شده‌اند، محاسبه می‌شوند.

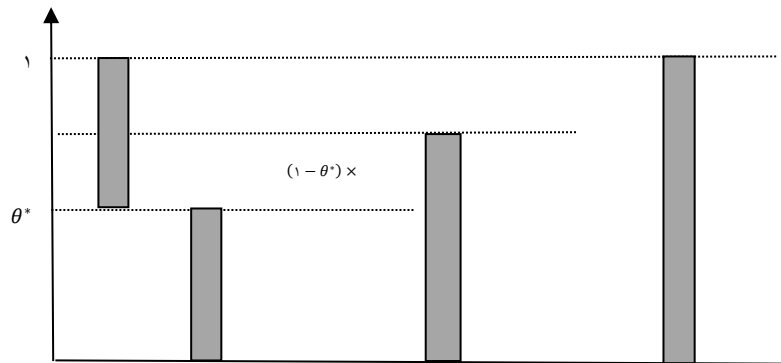
$$\begin{aligned} \min Fr^x &= \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_i^* x_{io} - v_i^* d_{io}^x)^2} \\ \min Fr^y &= \sqrt{\sum_{r=1}^s (u_r^* y_{ro} - u_r^* d_{ro}^y)^2} \\ \text{s. t. } \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{io} - d_{io}^x) &= \frac{2\theta_o^*}{1 + \theta_o^*} \\ \sum_{r=1}^s u_r^* (y_{ro} + d_{ro}^y) &= \frac{2\theta_o^*}{1 + \theta_o^*} \\ x_{io} - d_{io}^x &\geq 0 \quad (\forall_i i = 1, \dots, m) \\ d_{io}^x &\geq 0 \quad (\forall_i i = 1, \dots, m) \\ d_{ro}^y &\geq 0 \quad (\forall_r r = 1, \dots, s) \end{aligned} \quad (5)$$

در مدل‌های فوق x_{io} و y_{ro} به ترتیب بیانگر ورودی نام و خروجی‌های نام هر DMU ناکارا می‌باشند. همچنین در این مدل، d_{ro}^y و d_{io}^x متغیرهای تصمیم مدل هستند که کاهش فاصله ورودی x_{io} و افزایش فاصله خروجی y_{ro} را نشان می‌دهند. v_i^* و u_r^* پارامترهای مدل DFM هستند که v_i^* بیانگر وزن بهینه ورودی نام و u_r^* به‌عنوان وزن بهینه



خروجی α م در نظر گرفته می‌شود. مقدار پارامترهای v_i^* و u_r^* و θ^* در مرحله اول از حل مدل CCR به دست می‌آیند. به طوری کلی در این مدل، هدف از تابع Fr^x و Fr^y به ترتیب یافتن راه‌حلی جهت حداقل کردن مجموع فواصل کاهش ورودی و مجموع فواصل افزایش خروجی است. همچنین محدودیت‌های اول و دوم مدل فوق به ترتیب به مقادیر هدف کاهش ورودی و افزایش خروجی اشاره دارند.

شکل (۴) سطح آرمان متغیرهای ورودی و خروجی (کل فضای ممکن بهبود) TIR (۲۵) جهت دستیابی به کارایی که همان نقطه بهینه است را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نحوه تعیین سطح آرمانی کارایی متغیرهای ورودی و خروجی

بر اساس این شکل کل فضای ممکن بهبود α برای متغیرهای ورودی و خروجی برابر با $(1 - \theta^*)$ در نظر گرفته شده است. بدین صورت با فرض ورودی محور بودن مدل در شروع مدل‌سازی، با توجه با اینکه مجموع موزون ورودی‌ها برابر با 1 ($\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$) و مقدار تابع هدف یا همان مجموع موزون خروجی‌ها برابر با θ^* ($\theta^* = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$) است، پس از حل مدل ورودی محور، اختلاف بین مقادیر هدف ورودی و خروجی برابر با کل ظرفیت بهبودی است که می‌تواند برای ورودی و خروجی‌ها در نظر گرفته شود $(1 - \theta^*)$. همان‌طور که ذکر شد سطح آرمان ورودی‌ها برای رسیدن به TIR برابر با 1 و سطح آرمان خروجی‌ها برابر با θ^* است، بنابراین کل میزان مشارکت ورودی و خروجی برای رسیدن به



TIR برابر با $(1 + \theta^*)$ است. بدین ترتیب سهم ورودی و خروجی‌ها از کل تغییرات به ترتیب برابر با $\frac{1}{(1+\theta^*)}$ و $\frac{\theta^*}{(1+\theta^*)}$ خواهد بود. در نهایت این سهم به صورت 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 $\frac{1}{(1+\theta^*)}$ و $(1 - \theta^*) \frac{\theta^*}{(1+\theta^*)}$ است.

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_0 ناکارا با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$x_{io}^* = x_{io} - d_{io}^{x*} \quad (\forall_i \quad i = 1, \dots, m) \quad (6)$$

$$y_{ro}^* = y_{ro} + d_{ro}^{y*} \quad (\forall_r \quad r = 1, \dots, s) \quad (7)$$

گام پنجم: در این مرحله در مدل ریاضی مرحله ۲ مقدار $\theta = 1$ و به جای مقادیر x_{io}, y_{ro} به ترتیب مقادیر x_{io}^*, y_{ro}^* را جایگزین کنید، سپس جهت محاسبه مقادیر مطلوب s^{+**} و s^{-**} مدل (۲) را حل کنید.

در نهایت جهت محاسبه جواب‌های بهینه DMU_0 ناکارا از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$x_{io}^{**} = x_{io}^* - s^{-**} \quad (\forall_i \quad i = 1, \dots, m) \quad (8)$$

$$y_{ro}^{**} = y_{ro}^* + s^{+**} \quad (\forall_r \quad r = 1, \dots, s) \quad (9)$$

۲-۳- مدل DFM با خروجی‌های نامطلوب

آن^{۲۷} و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود یک مدل DFM با خروجی‌های نامطلوب جهت ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری پیشنهاد کردند. در این مدل، لازم است ابتدا مقیاس فاصله اقلیدسی به صورت روابط زیر اصلاح شود.

$$Fr^x = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_i^* x_{io} - v_i^* x_{io}^*)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_i^* d_{io}^x)^2} \quad (10)$$



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

سپس بر اساس فاصله اقلیدسی اصلاح‌شده مدل DFM مبتنی بر خروجی‌های نامطلوب را جهت ارزیابی عملکرد DMUها به صورت ذیل ارائه دادند [۶۴].

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

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

$$\text{Min } Fr^z = \sqrt{\sum_{t=1}^d (\delta_t^* d_{to}^z)^2}$$

$$\begin{aligned} \text{s. t. } & \sum_{i=1}^m v_i^* (x_{io} - d_{io}^x) \\ & + \sum_{t=1}^d \delta_t^* (z_{to} - d_{to}^z) \\ & = \frac{\gamma \theta_o^*}{1 + \theta_o^*} \end{aligned}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r^* (y_{ro} + d_{ro}^y) = \frac{\gamma \theta_o^*}{1 + \theta_o^*}$$

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

$$z_{to} - d_{to}^z \geq 0 \quad (\forall_t \ t = 1, \dots, d)$$

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

$$d_{to}^z \geq 0 \quad (\forall_t \ t = 1, \dots, d)$$

$$d_{ro}^y \geq 0 \quad (\forall_r \ r = 1, \dots, s)$$

(۱۱)

در مدل فوق z_{to} بیانگر خروجی نامطلوب t ام، d_{io}^x کاهش فاصله خروجی نامطلوب و δ_t^* بیانگر وزن بهینه خروجی نامطلوب است. سایر مفاهیم طبق مدل DFM ساده تعریف



می‌گردد. شایان ذکر است که جهت اجرای مراحل مدل DFM با خروجی‌های نامطلوب باید از مدل‌های CCR اولیه، CCR ثانویه و جمعی با خروجی‌های نامطلوب استفاده کرد [۶۴].

۳-۳- تحلیل خوشه‌بندی

خوشه‌بندی یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت است و فرآیند خودکاری است که در طی آن، اشیاء به دسته‌هایی تقسیم می‌شوند که اعضای آن از نظر شاخص‌های مورد نظر مشابه یکدیگرند [۶۵]. در این تحقیق از خوشه‌بندی برای بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌های بین کشورهای مورد بررسی در الگوی عملکردی‌شان در زمینه توسعه پایدار بهره گرفته شده است. بدین منظور ابتدا با کمک شیوه سلسله مراتبی و محاسبه شاخص فاصله بین خوشه‌ها و نمودار دندروگرام بهترین تعداد خوشه‌ها تعیین گردید. سپس با استفاده از روش K-Means ترکیب خوشه‌های نهایی مشخص شد. الگوریتم K-means از کاربردی‌ترین روش خوشه‌بندی داده‌هاست [۶۵] که برای اولین بار در سال ۱۹۶۷ توسط مک‌کوئین ارائه شده است [۶۶]. در این الگوریتم هر الگو در یک زمان می‌تواند فقط دارای یک مرکز باشد به طوری که اگر $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ شامل مجموعه‌ای از داده‌ها باشد. در این مجموعه n بیان‌کننده تعداد نقاط آن مجموعه است، همچنین اگر $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 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 (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$J(V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^c \|X_{ij} - V_j\|^2 \quad (12)$$

در رابطه فوق، $\|X_{ij} - V_j\|$ فاصله اقلیدسی بین X_{ij} و V_j است، C_i نقاط داده‌های خوشه i ام است، مرکز i امین V_i با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_i = \frac{1}{C_i} \sum_{j=1}^{C_i} X_{ij}, i = 1, 2, \dots, c \quad (13)$$

الگوریتم خوشه‌بندی K-Means یک الگوریتم نظارت نشده است و دارای فرآیند تکرار است که در آن مجموعه‌ای از داده‌ها به k خوشه تقسیم‌بندی می‌شوند و نقاط داده به صورت 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.

۴- چارچوب تحلیل و مجموعه داده‌ها

در پژوهش حاضر ابتدا با بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش، نهادهای نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه^{۲۸} و تشکیل سرمایه ناخالص^{۲۹} به‌عنوان ورودی، نهاده تولید ناخالص داخلی (GDP^{۳۰}) به‌عنوان خروجی مطلوب و نهاده مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌استثنای LULUCF به‌عنوان خروجی نامطلوب انتخاب شدند. داده‌های مربوط به نهادهای ورودی نیروی کار شاغل و تشکیل سرمایه ناخالص و شاخص خروجی مطلوب GDP از بانک جهانی، نهاده خروجی نامطلوب مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌استثنای LULUCF از OECD. Stat و در نهایت نهاده ورودی کل مصرف انرژی اولیه از سایت EIA استخراج گردید. مدل مفهومی پژوهش در شکل زیر قابل‌مشاهده است.



شکل ۵- ساختار متغیرهای ورودی و خروجی کشورها

در نمودار فوق واحدهای تصمیم‌گیری شامل ۳۸ کشور عضو OECD و ایران در نظر گرفته شده است.

۵- یافته‌ها

بر اساس داده‌های متغیرها، مراحل مدل‌سازی DFM با خروجی نامطلوب بر اساس دیدگاه آن و همکاران (۲۰۱۹) 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 شامل حل مدل CCR اولیه با خروجی نامطلوب، مدل



CCR ثانویه با خروجی نامطلوب و مدل جمعی با خروجی نامطلوب مقادیر θ^* و متغیرهای کمکی S^- و S^+ محاسبه و DMUها گروه‌بندی می‌شوند (طبق جدول ۲).

جدول ۳. مقادیر کارایی و متغیرهای کمکی ورودی و خروجی‌ها

گروه	خروجی نامطلوب	خروجی مطلوب	ورودی‌ها			مدل CCR	کشور
	t_j^-	S_1^+	S_3^-	S_2^-	S_1^-	θ^*	
۳	۱۱۸۱۲۵	۰	۰	۰.۰۹۵۱۸۵	۰	۰.۵۶۱۱۳	استرالیا
۳	۲	۰	۰	۰	۰	۰.۶۱۵۴۷۷	اتریش
۳	۰	۰	۱۷۷۱۶.۲۵	۰.۳۵۱۶۸۲	۰	۰.۵۷۹۹۴۲	بلژیک
۳	۱۳۸۱۷۶۲	۰	۵۳۳۰.۴۹۸	۳.۷۵۹۲۷۴	۰	۰.۵۰۱۹۹۹۰	کانادا
۳	۵۶۱۳	۰	۱۵۲۷۶.۳۹	۰	۸۲۳۷۵۱.۸	۰.۳۳۴۱۵	شیلی
۳	۱۴۸۵۸	۰	۰	۰	۵۸۳۶۵۱۳	۰.۳۲۷۸۸۶	کلمبیا
۳	۱۴۹	۰	۰	۰	۸۴۳۰۵۷.۵	۰.۵۵۲۶۸۷	کاستاریکا
۳	۸۸۲۳	۰	۰	۰.۰۶۰۱۶۹	۰	۰.۳۳۷۰۸۴	جمهوری چک
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	دانمارک
۳	۵۷۹۸	۰	۰	۰	۱۷۸۲۱۹.۹	۰.۵۸۳۹۷۶	استونی
۳	۰	۰	۰	۰.۱۶۴۵۹۴	۰	۰.۶۱۷۹۸۶	فنلاند
۳	۰	۰	۲۶۹۸۹۴۵	۱.۳۱۷۷۱	۰	۰.۶۲۴۱	فرانسه
۳	۷۹	۰	۰	۰	۰	۰.۵۹۷۸۴۱	آلمان
۳	۱۱۴۳۶	۰	۰	۰.۱۰۰۳۴۵	۳۷۸.۹۷	۰.۴۱۸۸۳۳	یونان
۳	۸۵	۰	۱۵۲۹۲.۲۵	۰	۱۰۰۲۱۹	۰.۲۹۲۷۵۱	مجارستان
۳	۰	۰	۰	۰.۰۸۸۹۷۵	۰	۰.۶۰۷۹۸۸	ایسلند
۳	۴۱۶۹۱	۰	۰	۱.۲۱۰۷۰۳	۲۰۵۰۵۷۲	۰.۱۳۷۳۱۹	ایران
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	ایرلند
۳	۱۹۷۳۰	۰	۳۳۳۲۹۹۰	۰	۱۴۰۸۴.۱	۰.۷۳۹۶۲۳	اسرائیل
۳	۴۱	۰	۰	۰	۰	۰.۵۷۳۴۸۱	ایتالیا
۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰.۵۳۴۳۹۲	ژاپن
۳	۳۲۲۸۲	۰	۹۶۴۶.۸۸۶	۰.۵۴۹۲۹۴	۰	۰.۳۵۵۶۳۴	کره جنوبی
۳	۶۴۴	۰	۰	۰	۱۲۹۶۱۶.۹	۰.۴۱۰۹۱	لتونی
۳	۲۲۶۶	۰	۰	۰.۰۱۸۶۲۷	۲۰۵۸۸۴.۴	۰.۴۶۵۰۶۳	لیتوانی



گروه	خروجی نامطلوب	خروجی مطلوب	ورودی‌ها			مدل CCR	کشور
	t_1^-	S_1^+	S_3^-	S_2^-	S_1^-	θ^*	
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	لوکزامبورگ
۳	۶۶۳۳۶	۰	۵۶۳۷۴۵.۳	۰.۱۳۳۲۰۵	۶۶۷۰۵۰.۵	۰.۲۹۳۲۲۸	مکزیک
۳	۰	۰	۲۲۰۰۹.۶۷	۰.۴۰۲۸۹۶	۰	۰.۶۲۹۴۲	هلند
۳	۱۳۰۱۱	۰	۰	۰	۰	۰.۵۱۰۰۳۹	نیوزلند
۳	۰	۰	۱.۲۹E+۰۸	۰.۶۱۸۷۴۶	۰	۰.۷۱۷۲۱۲	نروژ
۳	۵۰۵۳۱	۰	۰	۰.۲۰۶۲۲۵	۸۶۸۴۸۴.۵	۰.۳۲۵۴۳۳	لهستان
۳	۰	۰	۰	۰.۰۰۴۹۳۲	۳۶۱۷۹۱.۱	۰.۴۳۷۸۹۶	پرتغال
۳	۰	۰	۰	۰.۰۲۸۷۶۸	۲۰۷۶۸.۰۳	۰.۳۳۳۳۱	اسلواکی
۳	۰	۰	۰	۰.۰۰۴۹۸۹	۰	۰.۳۹۹۷۹۸	اسلونی
۳	۰	۰	۴۲۵۶۴.۱۸	۰.۲۵۸۵۹۳	۳۳۸۵۲۰.۲	۰.۴۷۲۷۸۲	اسپانیا
۳	۰	۰	۱۷۸۲۸۶۲	۰.۸۸۰۱۸۷	۸۰۴۹۱۵.۶	۰.۸۴۹۲۶۱	سوئد
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	سوئیس
۳	۲۶۰۳۰	۰	۱۴۵۹۸۹.۲	۰	۱۳۳۲۹۱۳	۰.۲۲۷۶۷۹	ترکیه
۳	۰	۰	۳۳۰۱۴.۵۵	۰.۲۶۰۲۰۵	۱۳۶۱۴۸۴	۰.۶۶۳۴۱۷	انگلستان
۳	۱۲۲۷۹۸۶	۰	۶۷۴۹۸۳.۱	۱۲.۷۳۲۹۹	۰	۰.۶۴۵۵۴۷	آمریکا

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 دانمارک، لوکزامبورگ، ایرلند و سوئیس 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. کشورهای 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 (۳) قابل مشاهده است.



جدول ۴. کشورهای مرجع هر کشور مورد ارزیابی

کشورهای مرجع	کشور مورد ارزیابی	کشورهای مرجع	کشور مورد ارزیابی
دانمارک، ایرلند، لوکزامبورگ و سوئیس	ژاپن	دانمارک، لوکزامبورگ	استرالیا
دانمارک، لوکزامبورگ	کره جنوبی	دانمارک، ایرلند، لوکزامبورگ و سوئیس	اتریش
دانمارک و سوئیس	لتونی	دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	بلژیک
دانمارک	لیتوانی	دانمارک، لوکزامبورگ	کانادا
لوکزامبورگ	لوکزامبورگ	دانمارک و سوئیس	شیلی
دانمارک	مکزیک	دانمارک و سوئیس	کلمبیا
دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	هلند	دانمارک و سوئیس	کاستاریکا
دانمارک، ایرلند و لوکزامبورگ	نیوزلند	دانمارک، لوکزامبورگ	جمهوری چک
دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	نروژ	دانمارک	دانمارک
دانمارک	لهستان	دانمارک و سوئیس	استونی
دانمارک و سوئیس	پرتغال	دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	فنلاند
دانمارک و سوئیس	اسلواکی	دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	فرانسه
دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	اسلونی	دانمارک، ایرلند، لوکزامبورگ و سوئیس	آلمان
دانمارک و سوئیس	اسپانیا	دانمارک	یونان
دانمارک و سوئیس	سوئد	دانمارک و سوئیس	مجارستان
سوئیس	سوئیس	دانمارک، لوکزامبورگ و سوئیس	ایسلند
دانمارک و سوئیس	ترکیه	دانمارک	ایران
دانمارک و سوئیس	انگلستان	ایرلند	ایرلند
دانمارک، لوکزامبورگ	آمریکا	دانمارک و سوئیس	اسرائیل
		دانمارک، ایرلند، لوکزامبورگ و سوئیس	ایتالیا

با مشاهده دقیق‌تر می‌توان دریافت که پرتکرارترین کشورها در جدول فوق کشور دانمارک و لوکزامبورگ 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 محاسبه شده که در جداول زیر ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر بهینه و درصد افزایش متغیرهای ورودی و خروجی مدل DFM

DFM										کشور
در صد کاهش خروجی نامطلوب	در صد افزایش خروجی مطلوب	در صد کاهش ورودی‌ها			مقدار کاهش خروجی نامطلوب	مقادیر افزایش خروجی مطلوب	مقادیر کاهش ورودی‌ها			
		X_3	X_2	X_1			Z_1	Y_1	X_3	
۰.۴۷	۰.۲۸	۰.۴۲	۰.۴۴	۰.۴۳	۲۵۵۲۱۱	۳۷۴۱۴۶۹۵۴۸۶	۱۲۳۳۳۳۹۱۳۱۴۰	۲.۶۰۵	۵۸۲۲۱۷۸	استرالیا
۰.۰۰	۰.۲۴	۰.۴۹	۰.۱۶	۰.۲۱	۰	۱۰۲۱۰۴۳۸۴۴۹۸	۵۳۴۰۱۶۱۴۹۶۹	۰.۲۳۶	۹۷۷۳۸۰	اتریش
۰.۰۵	۰.۲۷	۰.۴۸	۰.۵۲	۰.۴۳	۵۷۲۱	۱۳۷۰۱۰۹۴۰۳۶۳	۶۱۴۷۹۷۶۷۰۷۴	۱.۴۰۳	۲۱۹۴۶۳۷	بلژیک
۰.۴۹	۰.۳۳	۰.۳۹	۰.۷۲	۰.۵۲	۳۵۸۰۱۹	۵۴۴۹۰۰۳۲۸۱۳۴	۱۴۲۱۲۸۷۶۵۸۴۱	۱۰.۹۱۵	۱۰۵۸۳۶۷۳	کانادا
۰.۲۷	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۶۴	۳۰۱۸۶	۱۲۶۴۳۹۴۲۵۰۱۹	۳۵۰۷۰۵۴۹۵۹۳	۰.۷۷۱	۵۷۰۲۳۹۷	شیلی
۰.۳۷	۰.۵۱	۰.۵۱	۰.۵۱	۰.۸۵	۵۶۴۲۷	۱۳۷۳۰۳۷۱۶۹۹	۳۶۰۶۳۵۰۳۹۴۶	۰.۸۷۰	۲۱۱۶۸۳۷۲	کلمبیا
۰.۰۰	۰.۲۹	۰.۵۰	۰.۲۷	۰.۲۹	۰	۱۷۷۱۱۹۳۶۳۲۲	۴۶۸۱۵۱۴۹۴۰	۰.۰۶۰	۷۰۴۳۴۲	کاستاریکا
۰.۴۹	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۶	۰.۵۶	۵۹۷۱۰	۱۲۰۷۴۶۶۰۸۶۴۳	۲۹۶۴۸۱۲۹۳۰۷	۰.۹۹۸	۳۰۰۳۵۹۴	چک
۰.۵۵	۰.۲۶	۰.۵۷	۰.۲۱	۰.۷۵	۸۱۱۴	۸۱۴۷۴۴۶۶۳۵	۵۴۴۴۰۷۹۷۸۴	۰.۰۲۰	۵۲۱۶۳۳	استونی
۰.۰۰	۰.۲۴	۰.۴۰	۰.۵۴	۰.۴۲	۰	۶۴۰۳۹۲۰۸۱۱۶	۳۵۹۴۸۶۵۶۳۵۸	۰.۶۵۷	۱۱۵۲۸۵۳	فنلاند
۰.۰۰	۰.۲۳	۰.۲۷	۰.۶۰	۰.۴۳	۰	۶۰۲۴۷۰۵۲۶۷۰۱	۱۶۸۷۶۳۵۶۰۷۷۱	۶.۱۸۷	۱۲۹۷۰۰۹۹	فرانسه
۰.۰۰	۰.۲۵	۰.۵۰	۰.۲۶	۰.۲۴	۰	۹۵۷۹۵۰۹۸۲۰۲۷	۳۸۷۲۸۳۸۶۳۳۳۳	۳.۵۵۷	۱۰۶۱۵۲۱۴	آلمان
۰.۰۰	۰.۴۱	۰.۴۱	۰.۵۰	۰.۵۰	۰	۷۷۵۸۸۰۰۳۳۷	۱۰۴۳۲۶۳۱۴۸۵	۰.۵۸۵	۲۳۷۵۵۱۳	یونان
۰.۲۶	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۶۶	۱۷۰۱۱	۸۴۸۰۸۳۳۲۰۰۹	۲۳۵۴۶۲۸۲۴۶۸	۰.۵۸۰	۳۱۰۸۷۳۶	مجارستان
۰.۰۳	۰.۲۴	۰.۴۲	۰.۷۷	۰.۴۴	۱۳۰	۵۲۸۹۵۷۹۶۰۳	۱۹۶۷۳۴۸۷۸۹	۰.۱۷۶	۹۴۹۴۹	ایسلند
۰.۸۱	۰.۷۶	۰.۷۶	۰.۹۵	۰.۸۸	۳۹۳۶۵۲	۱۴۵۴۱۹۰۸۶۹۷۲	۵۹۶۶۴۳۳۴۳۴۷	۱۱.۰۵۲	۲۳۵۷۵۴۷۹	ایران
۰.۰۰	۰.۱۵	۰.۴۶	۰.۰۹	۰.۵۰	۰	۶۰۱۷۱۴۰۳۶۸۸	۴۰۶۷۱۹۰۱۸۵۵	۰.۰۸۹	۲۰۶۸۱۰۰	اسرائیل
۰.۰۰	۰.۲۷	۰.۵۰	۰.۲۳	۰.۲۵	۰	۵۱۱۳۶۰۹۷۳۷۰۳	۱۶۵۰۶۷۴۹۶۷۵۵	۱.۵۳۷	۶۳۷۵۳۵۲	ایتالیا
۰.۰۷	۰.۳۰	۰.۵۰	۰.۳۱	۰.۵۰	۸۰۳۱۲	۱۵۳۶۹۳۰۸۵۳۱۸۶	۶۲۰۷۹۷۳۴۲۵۵۲	۵.۹۵۶	۳۴۱۷۷۵۴۴	ژاپن
۰.۴۴	۰.۴۸	۰.۵۳	۰.۶۲	۰.۶۲	۳۱۸۵۷۲	۷۷۵۰۳۳۹۰۰۱۵۶	۲۷۲۰۴۸۴۴۳۳۲۹	۷.۶۸۲	۱۷۵۸۳۶۴۳	کره
۰.۱۵	۰.۴۲	۰.۵۰	۰.۴۱	۰.۶۷	۱۷۰۶	۱۳۹۷۹۸۵۶۶۴۸	۳۷۸۶۵۵۰۹۳۲	۰.۰۶۶	۶۵۷۹۸۸	لتونی
۰.۰۰	۰.۳۶	۰.۳۶	۰.۵۰	۰.۵۰	۰	۲۰۳۹۵۸۲۳۳۴۷	۲۴۶۸۵۹۴۴۱۷	۰.۱۴۴	۷۳۲۶۱۷	لیتوانی
۰.۳۶	۰.۵۵	۰.۵۵	۰.۶۱	۰.۷۰	۲۵۵۱۹۰	۵۸۱۱۴۰۲۰۸۱۳۷	۱۱۳۰۰۶۱۹۴۰۷۰	۴.۸۶۶	۳۷۹۹۵۱۳۴	مکزیک
۰.۰۰	۰.۲۳	۰.۳۵	۰.۴۹	۰.۴۴	۰	۲۰۷۴۸۰۷۹۱۰۴۶	۶۸۴۱۱۲۸۵۱۱۲	۱.۸۶۴	۴۰۹۵۳۷۲	هلند
۰.۴۱	۰.۳۲	۰.۵۰	۰.۳۶	۰.۴۲	۳۳۹۲۶	۶۸۹۴۸۵۸۴۸۹۶	۲۴۵۷۰۰۹۲۱۹۷	۰.۳۲۹	۱۱۸۳۷۹۸	نیوزلند



حبيب زارع احمدآبادى و همكاران ————— رويکرد تركيبى نوين بر پايه تحليل...

DFM										کشور
در صد کاهش خروجی نامطلوب	در صد افزایش خروجی مطلوب	در صد کاهش ورودیها			مقدار کاهش خروجی نامطلوب	مقادیر افزایش خروجی مطلوب	مقادیر کاهش ورودیها			
Z_1	Y_1	X_3	X_2	X_1	Z_1	Y_1	X_3	X_2	X_1	
۰.۰۰	۰.۱۶	۰.۳۳	۰.۶۷	۰.۲۴	۰	۵۹۶۲۱۷۹۶۳۱۴	۳۶۳۸۲۳۹۴۴۰۸	۱.۲۷۰	۶۸۸۳۶۷	نروژ
۰.۳۹	۰.۵۱	۰.۵۱	۰.۶۲	۰.۵۳	۱۵۱۳۶۲	۳۰۲۳۸۷۳۰۲۱۶۴	۵۲۳۵۰۲۵۳۲۱۵	۲.۶۹۹	۹۵۹۴۵۱۰	لهستان
۰.۲۶	۰.۳۹	۰.۰۵	۰.۵۶	۰.۶۸	۱۶۱۹۱	۹۰۴۱۶۷۱۱۴۸۲	۲۱۲۷۱۵۸۵۳۹	۰.۶۰۰	۳۵۴۴۴۵۹	پرتغال
۰.۴۲	۰.۵۰	۰.۰۰	۰.۶۵	۰.۶۸	۱۶۱۷۵	۵۲۴۱۳۷۷۳۰۲۸	۰	۰.۴۷۵	۱۸۵۷۸۳۵	اسلواکی
۰.۲۵	۰.۴۳	۰.۲۹	۰.۵۰	۰.۶۷	۴۲۵۶	۲۳۶۸۱۶۳۶۸۴۴	۳۱۷۷۶۳۳۹۹۹	۰.۱۴۷	۶۸۳۳۸۷	اسلونی
۰.۱۹	۰.۳۶	۰.۱۳	۰.۵۷	۰.۶۱	۵۸۱۱۱	۴۵۸۶۲۹۵۲۰۸۴۶	۳۴۱۰۴۳۹۶۳۶۸	۳.۳۶۴	۱۳۸۹۵۹۵۴	اسپانیا
۰.۰۰	۰.۰۸	۰.۰۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰	۴۳۸۲۳۳۴۱۷۹۷	۰	۱.۰۶۴	۲۷۳۸۵۹۶	سوئد
۰.۵۲	۰.۶۳	۰.۶۳	۰.۶۳	۰.۷۲	۲۶۱۴۹۱	۴۵۲۹۹۶۵۵۱۰۲۷	۱۴۴۱۱۳۰۶۶۸۵۲	۴.۰۱۹	۲۳۲۲۸۲۵۹	ترکیه
۰.۰۰	۰.۲۰	۰.۰۱	۰.۵۰	۰.۵۰	۰	۵۴۷۹۰۵۸۱۷۶۶۳۰	۶۸۰۵۹۳۲۷۳۴	۴.۱۴۱	۱۷۳۶۹۱۷۳	انگلستان
۰.۳۴	۰.۲۲	۰.۴۳	۰.۵۱	۰.۳۱	۲۳۳۱۲۱۶	۴۵۰۹۷۷۵۱۳۹۵۴۵	۱۹۲۴۱۷۳۹۳۱۷۶۳	۵۱.۳۶۱	۵۱۲۸۶۰۴۲	آمریکا

جدول ۶. مقادیر بهینه و درصد افزایش متغیرهای ورودی و خروجی مدل CCR

CCR					کشور
مقادیر کاهش خروجی نامطلوب	مقادیر کاهش ورودیها			در صد کاهش ورودیها و خروجی نامطلوب	
Z_1	Y_1	X_3	X_2		
۲۳۸۸۶۷	۱۳۰۲۲۷۶۵۷۸۶۳	۲.۶۱۴	۵۹۱۹۱۴۳	۰.۴۴	استرالیا
۳۰۳۴۰	۴۱۰۶۶۸۱۴۲۷۳	۰.۵۵۴۴۲	۱۷۳۷۴۹۵	۰.۲۸	اتریش
۴۸۹۹۴	۵۳۵۹۹۲۳۶۰۱۰	۱.۱۲۵۶	۲۱۴۷۸۱۰	۰.۴۲	بلژیک
۳۶۵۱۲۲	۱۸۱۵۹۹۷۵۷۴۶۵	۷.۶۰۲	۱۰۲۲۸۱۳۷	۰.۵	کانادا
۷۵۲۴۹	۳۳۵۹۴۵۳۷۲۹۴	۱.۰۳۳۸۱	۵۹۳۶۳۰۱	۰.۶۷	شیلی
۱۰۰۹۱۲	۳۴۲۴۰۲۹۵۰۷۳	۱.۱۳۲۹۷	۱۶۶۱۷۶۴۸	۰.۶۷	کلمبیا
۶۱۳۷	۴۲۱۳۳۶۳۷۲۲	۰.۰۹۹۹	۱۱۰۰۱۹۲	۰.۴۵	کاستاریکا
۸۰۹۴۱	۳۹۱۳۵۵۳۱۰۶۹	۱.۱۶۵۵۶	۳۵۴۹۶۰۷	۰.۶۶	چک
۶۱۷۴	۳۹۹۶۳۷۶۱۰۰	۰.۰۳۹۹	۲۹۳۶۲۴.۵	۰.۴۲	استونی
۲۰۱۴۸	۲۴۷۲۷۸۱۴۷۵۳	۰.۴۶۵۵	۱۰۵۰۸۶۵	۰.۳۸	فنلاند
۱۶۸۳۳۴	۲۳۷۹۶۳۷۶۶۷۰۳	۳.۹۱۳۲۴	۱۱۴۱۲۷۷۸	۰.۳۸	فرانسه
۳۲۲۹۱۹	۳۰۹۸۲۷۰۹۰۸۵۱	۵.۵۴۱۶	۱۷۲۵۳۰۱۸	۰.۴	آلمان
۴۹۶۶۶	۱۴۷۷۵۷۳۶۸۵۹	۰.۶۷۸۰۲	۲۷۵۵۵۹۵	۰.۵۸	یونان
۴۵۷۴۸	۳۰۳۹۶۱۰۸۹۹۵	۰.۷۵۲۶	۳۳۶۰۰۲۰	۰.۷۱	مجارستان



CCR					کشور
مقادیر کاهش خروجی نامطلوب	مقادیر کاهش ورودی‌ها			در صد کاهش ورودی‌ها و خروجی نامطلوب	
Z_1	Y_1	X_3	X_2		
۱۸۴۲	۱۸۳۴۹۷۳۴۲۲	۰۰۰۸۹۳۱	۸۴۱۶۱۰۲۲	۰.۳۹	ایسلند
۴۱۵۹۵۵	۶۷۶۴۶۴۹۵۴۴۵	۱۰۰۰۴۹۹۶	۲۳۰۵۹۴۵۷	۰.۸۶	ایران
۲۰۴۳۲	۲۲۷۵۶۲۹۱۷۵۳	۰.۲۵۸۱۸	۱۰۷۵۴۱۲	۰.۲۶	اسرائیل
۱۷۹۸۶۱	۱۴۱۹۵۸۰۴۷۸۵۴	۲.۹۳۴۷۵	۱۰۷۸۴۶۸۹	۰.۴۳	ایتالیا
۵۶۸۴۶۲	۵۸۳۵۴۹۴۰۷۹۷۵	۹۰۰۴۵۶۲	۳۲۲۷۹۹۵۷	۰.۴۷	ژاپن
۴۶۵۶۸۵	۳۳۰۱۹۷۴۵۸۹۱۱	۷.۹۲۹۶	۱۸۱۴۳۳۱۹	۰.۶۴	کره
۶۵۶۸	۴۴۶۸۱۳۳۷۱۰	۰۰۰۹۴۹۹	۵۷۹۶۹۳.۳	۰.۵۹	لتونی
۱۰۹۹۹	۳۶۵۳۸۵۵۷۰۱	۰.۱۵۴۹۸	۷۹۱۲۲۶.۹	۰.۵۴	لیتوانی
۴۹۶۶۹۱	۱۴۶۸۰۹۱۳۵۵۹۴	۵.۶۷۷۸۷	۳۸۳۲۵۰۷۴	۰.۷۱	مکزیک
۶۶۷۱۴	۷۲۱۲۰۵۲۳۸۶۷	۱.۴۱۷۴۷	۳۴۷۳۴۱۳	۰.۳۷	هلند
۴۰۳۳۶	۲۴۰۷۸۶۸۹۲۶۷	۰.۴۴۵۹	۱۳۹۵۶۲۶	۰.۴۹	نیوزلند
۱۴۰۹۴	۳۰۷۲۱۱۱۷۳۶۷	۰.۵۳۱۱۶	۷۹۴۳۷۸.۲	۰.۲۸	نروژ
۲۶۱۷۹۹	۶۸۹۱۷۶۶۶۸۶۱	۲.۹۳۸۶۲	۱۲۱۹۷۳۰۴	۰.۶۷	لهستان
۳۶۱۷۸	۲۵۲۴۱۳۹۹۳۳۹	۰.۶۰۷۰۵	۲۹۵۸۶۹۳	۰.۵۷	پرتغال
۲۶۷۶۵	۱۳۲۲۴۷۷۳۵۵۹	۰.۴۸۸۴۳	۱۸۲۴۱۰۲	۰.۶۷	اسلواکی
۱۰۲۳۹	۶۵۳۳۷۶۷۳۲۲۳	۰.۱۷۶۴	۶۱۳۵۹۰	۰.۶۰	اسلونی
۱۶۶۷۰۰	۱۳۸۹۳۰۱۳۷۱۶۱	۳.۱۱۵۳۴	۱۲۰۸۳۹۵۸	۰.۵۳	اسپانیا
۸۱۴۷	۲۱۰۹۰۰۵۴۵۶۸	۰.۳۴۰۴۸	۸۷۶۳۵۰.۷	۰.۱۶	سوئد
۳۸۹۶۸۲	۱۷۶۱۳۸۱۹۳۱۵۷	۴.۹۲۰۳	۲۴۸۸۴۱۱۸	۰.۷۷	ترکیه
۱۵۴۰۵۴	۱۵۶۱۷۴۲۸۹۸۸۳	۲.۸۱۵۵۴	۱۱۸۱۱۰۳۸	۰.۳۴	انگلستان
۲۲۹۵۴۲۱	۱۵۷۶۴۱۴۰۰۰۰۰۰	۳۵.۴۰۶۷	۵۷۸۰۷۲۲۶	۰.۳۵	آمریکا

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.

اکنون با توجه به وضعیت درصدهای تغییر متغیرهای ورودی و خروجی، حاصل حل مدل‌های DFM، می‌توان به خوشه‌بندی کشورها پرداخت. ابتدا بر اساس نمودار دندروگرام و میزان جهشی که در شاخص فاصله بین خوشه‌ها بررسی گردید، مشخص شد که مناسب‌ترین تعداد خوشه برابر با ۳ است. در ادامه بر اساس روش K-means به خوشه‌بندی

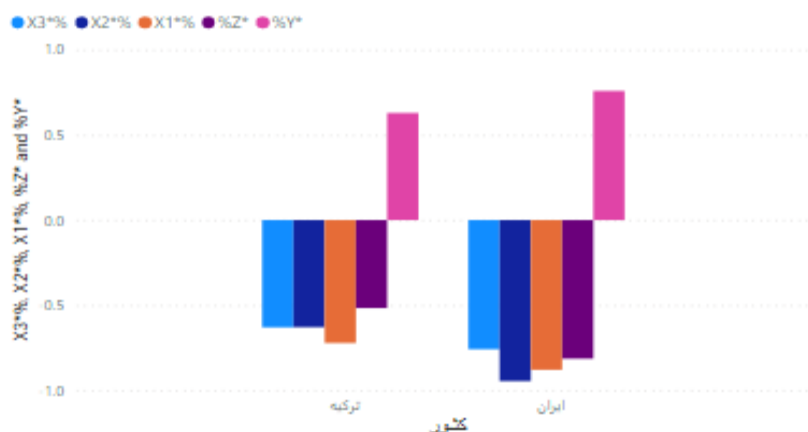


کشورهای ناکارا پرداخته شده و میانگین تغییرات متغیرهای ورودی و خروج هر یک از خوشه‌ها تعیین می‌گردد (طبق جدول ۶).

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

متغیرها	خوشه‌ها		
	۱	۲	۳
X_1	۰.۸	۰.۳۹	۰.۶۲
X_2	۰.۷۹	۰.۴۴	۰.۵۲
X_3	۰.۷	۰.۳۸	۰.۴۱
Y_1	۰.۷	۰.۲۴	۰.۴۳
Z_1	۰.۶۷	۰.۰۳	۰.۳۶
	ایران و ترکیه	اتریش، بلژیک، کاستاریکا، فنلاند، فرانسه، آلمان، یونان، ایسلند، اسرائیل، ایتالیا، ژاپن، لیتوانی، هلند، نروژ، سوئد، انگلستان و ایالات متحده آمریکا	استرالیا، کانادا، شیلی، کلمبیا، جمهوری چک، استونی، مجارستان، کره جنوبی، لتونی، مکزیک، لهستان، پرتغال، اسلواکی، اسلونی و اسپانیا

از جدول بالا می‌توان دریافت که تقریباً تمام کشورهای خوشه ۲ (به جز کشور کاستاریکا که بر اساس دسته‌بندی بانک جهانی در دسته کشورهای با درآمد متوسط-بالا قرار می‌گیرد) جز کشورهای با درآمد بالا تعریف شده‌اند، همچنین از بین ۱۸ کشور خوشه ۳ تنها دو کشور (کلمبیا و مکزیک که بر اساس دسته‌بندی بانک جهانی در دسته کشورهای با درآمد متوسط-بالا قرار می‌گیرد) جز کشورهای با درآمد بالا تلقی می‌شوند؛ بنابراین از ترکیب نتایج خوشه ۲ و خوشه ۳ می‌توان دریافت که بین دسته‌بندی کشورها از حیث سطح درآمد و نتایج این پژوهش تناسب و همخوانی لازم وجود دارد. بر اساس نتایج تحقیق کشورهای خوشه ۲ کمترین میزان تغییرات جهت رسیدن به مرز کارا نیاز دارند. نکته شایان توجه در خوشه‌بندی حاصل، قرار گرفتن ایران و ترکیه در بین ۳۵ کشور ناکارا، در یک خوشه متمایز است که باید بالاترین سطح تغییرات در متغیرهای ورودی و خروجی را خود جهت رسیدن به مرز کارا داشته باشند. همچنین بر اساس مقایسه کشور ایران و ترکیه طبق شکل (۶) می‌توان دریافت که ایران نسبت به ترکیه به تغییرات بیشتری در متغیرهای ورودی و خروجی خود جهت رسیدن به کارایی نیاز دارد؛ بنابراین لازم است تا سیاست‌ها و اقداماتی در جهت بهبود وضعیت موجود و کاهش مصرف متغیرهای ورودی تدوین و اجرا گردد.



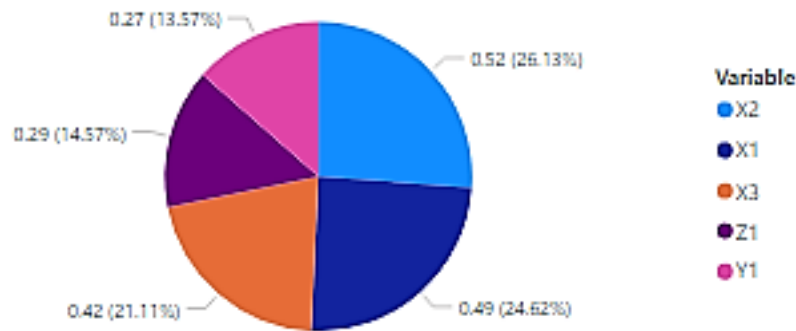
شکل ۶: درصد تغییرات متغیرهای ورودی و خروجی کشور ایران و ترکیه

یکی از اقداماتی که در این مرحله می‌توان جهت بررسی نقش هر یک از متغیرها در کارا شدن همه DMUها 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 می‌گردد. این مقادیر در جدول (۷) قابل مشاهده است.

جدول ۸. کل درصد تغییرات متغیرهای ورودی و خروجی

	مجموع مقادیر موجود	مجموع میزان تغییرات لازم	درصد تغییرات
X_1	۴.۱۴	۲.۰۲	۰.۴۹
X_2	۲.۵۲	۱.۳۱	۰.۵۲
X_3	۲.۴۹	۱.۰۴	۰.۴۲
Y_1	۲.۴۳	۰.۶۶	۰.۲۷
Z_1	۲.۳۹	۰.۷۰	۰.۲۹

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



شکل ۷. نمودار دایره‌ای میزان تغییرات متغیرها

با توجه به نمودار فوق متغیرهای ورودی از قبیل کل مصرف انرژی اولیه (X_2) بیشترین سهم را در کارا شدن کشورهای ناکارا دارد. لذا توجه به این متغیر و پرداختن به آن می‌تواند در کارا شدن و بهبود وضعیت کشورهای نظیر ایران مؤثرتر باشد. طبق شکل (۶) کشور ایران نیز برای رسیدن به کارایی باید با مدیریت مصرف بیشترین تغییر را در نهاده کل مصرف انرژی اولیه خود ایجاد کند. همچنین متغیر خروجی مطلوب (GDP) کمترین سهم را در کارا شدن کشورهای ناکارا دارد.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تحلیل غیرشعاعی کارایی کشورهای منتخب به معنای بررسی هم‌زمان میزان افزایش خروجی‌ها و کاهش ورودی‌ها برای بهبود وضعیت توسعه پایدارشان طراحی شده است. در این راستا بر مبنای مطالعه و بررسی ادبیات و پیشینه پژوهش یک مدل مفهومی که دربرگیرنده ۳ متغیر ورودی نیروی کار شاغل، کل مصرف انرژی اولیه و تشکیل سرمایه ناخالص، یک متغیر خروجی مطلوب GDP و یک متغیر خروجی نامطلوب مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به استثنای LULUCF ارائه شد. در مرحله اول از حل مدل DFM، کشورهای دانمارک، لوکزامبورگ، ایرلند و سوئد کارا شدند و روی مرز کارا قرار گرفتند ($\theta^* = 1, S^{+*} = S^{-*} = 0$) و سایر DMUها وارد مدل DFM می‌شوند و کلیه مراحل



مدل‌سازی DFM بر اساس کشورهای ناکارا صورت می‌پذیرد. با بررسی میزان تغییرات بدست آمده برای کلیه ورودی و خروجی‌ها و میزان شکاف عملکردی کشورهای مختلف برای کارا شدن، به اهمیت بیشتر نهاده ورودی نظیر کل مصرف انرژی اولیه پی برده می‌شود. این بدین معناست که مصرف انرژی در پایداری زیست‌محیطی کشورها نقش کلیدی را ایفا می‌کنند، در واقع کشورها برای بهبود وضعیت خود در پایداری زیست‌محیطی باید میزان مصرف انرژی خود را تا حد ممکن کاهش دهند و توسعه پایدار قوی برای کشورها به مصرف انرژی اولیه و بنابراین برنامه‌ها و سیاست‌های آن کشور جهت مدیریت مصرف انرژی گره خورده است. محمود و همکاران [۱۶] در پژوهش خود اظهار داشت که تولید کارا بدون مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است که مؤید آن نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد که کنترل میزان مصرف انرژی در اقتصادهای بزرگ دنیا امری ضروری است. همچنین طبق نتایج پژوهش لی و همکاران (۲۰۲۱) [۴۸] روند تاریخی مدیریت مصرف انرژی مؤید امکان‌پذیری کاهش مصرف انرژی است. در ادامه با استفاده از روش K-means به خوشه‌بندی کشورهای ناکارا اقدام گردید که تقریباً تمام کشورهای خوشه ۲ و ۳ (به جز کشورهای کاستاریکا، کلمبیا و مکزیک که بر اساس دسته‌بندی بانک جهانی در دسته کشورهای با درآمد متوسط-بالا قرار می‌گیرد) جز کشورهای با درآمد بالا تلقی می‌شوند. کشورهای خوشه ۲ و سپس کشورهای خوشه ۳ جهت رسیدن به مرز کارا کمترین تغییر را باید در متغیرهای ورودی و خروجی خود ایجاد کنند. همچنین بر اساس نتایج خوشه‌بندی ایران و ترکیه، در خوشه متمایز نسبت به سایر کشورها قرار گرفتند. با مقایسه بین ایران و ترکیه نتایج نشان داد که سیاست‌گذاران ایران باید بیشترین توجه خود را معطوف نهاده‌های ورودی خود به‌ویژه متغیر مصرف انرژی و سپس افزایش سطح بهره‌وری نیروی کار نمایند. همچنین بررسی‌ها نشان داد که کشور ایران جهت کارا شدن باید کمترین تغییر را در متغیر خروجی GDP و متغیر ورودی تشکیل سرمایه ناخالص ایجاد 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 ارائه دهند. همچنین توصیه می‌گردد در همین چارچوب از متغیرهای غیراختیاری (ثابت) نظیر جمعیت در مدل مفهومی خود استفاده کنند و از سایر مدل‌های توسعه‌یافته DFM نظیر مدل مبتنی بر هدف^{۳۱} استفاده نمایند. علاوه بر این محققین حوزه



ارزیابی عملکرد می‌توانند شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی را در کشورهای دیگر نیز بررسی کنند. در آخر نیز توصیه می‌گردد که نتایج پژوهش حاضر را با مدل‌های دیگر نظیر NDEA و مدل DFM در حضور عوامل ثابت مقایسه گردد.

۷- پی‌نوشت‌ها

- | | |
|---|--|
| ۱. Data envelopment analysis | ۲۰. Greenhouse gas emissions (oecd.org) |
| ۲. Distance Friction Minimization Model | ۲۱. Energy Information Administration |
| ۳. Organisation for Economic Co-operation and Development | ۲۲. benchmarking targets |
| ۴. Kates | ۲۳. Weighted Projection Function |
| ۵. Zhou et al | ۲۴. multi-objective quadratic programming |
| ۶. Capital stock | ۲۵. Total Improvement Room |
| ۷. Malmquist index | ۲۶. دامنه تغییراتی است که کارایی می‌تواند افزایش یابد یا به عبارتی شکاف کارایی که توسط ورودی و خروجی‌ها باید پوشش داده شود |
| ۸. Lozano | ۲۷. An |
| ۹. Network Slacks-Based | ۲۸. Total primary energy consumption |
| ۱۰. Gross fixed-capital formation | ۲۹. Gross Capital Formation |
| ۱۱. Iftikhar | ۳۰. Gross Domestic Product |
| ۱۲. Suzuki & Nijkamp | ۳۱. Target-Oriented DFM |
| ۱۳. energy-environment-economic efficiency | |
| ۱۴. Lenz | |
| ۱۵. Capital stock | |
| ۱۶. Wang | |
| ۱۷. Gross fixed-capital formation | |
| ۱۸. Capital stock | |
| ۱۹. world bank | |

۸- منابع

- [۱] H. Haddad, M. Taghizadeh Yazdi, M. Zandieh, J. Heydari Dehui, and H. Razavi Haji Agha, "Presenting a Bi-Level programming approach for Unit commitment in Iran with minimization of greenhouse gas emission," *Modern Research in Decision Making*, vol. ۶, no. ۴, pp. ۵۵-۷۴, ۲۰۲۱. [Online]. Available: http://journal.saim.ir/article/۲۴۸۵۳۴_f1d9۴۴۱۶۷۳bc۹a۴fb۶۱۱۰e۵۶fad۸۸a۵۸.pdf
- [۲] S. Olafsson, D. Cook, B. Davidsdottir, and L. Johannsdottir, "Measuring countries' environmental sustainability performance – A review and case study of Iceland," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۳۹, pp. ۹۳۴-۹۴۸, ۲۰۱۴/۱۱/۰۱/ ۲۰۱۴, doi: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.rser.۲۰۱۴.۰۷.۱۰۱>.
- [۳] A. Acquaye *et al.*, "Measuring the environmental sustainability performance of global supply



chains: A multi-regional input-output analysis for carbon, sulphur oxide and water footprints," *Journal of Environmental Management*, vol. ۱۸۷, pp. ۵۷۱-۵۸۵, ۲۰۱۷/۰۲/۰۱/ ۲۰۱۷, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.059>.

- [۴] S. Rayat Pisha, R. Ahmadi Kahnali, and T. Abbasnejad, "APPLYING THE QUALITATIVE APPROACH META SYNTHESSES FOR PROVIDE A COMPREHENSIVE MODEL OF ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY IN SUPPLY CHAIN," *Modern Research in Decision Making*, vol. ۱, no. ۱, pp. ۱۳۹-۱۶۶, ۲۰۱۶. [Online]. Available: http://journal.saim.ir/article_20712_403dfcf822b9f9eb60de810c3b8400.pdf.
- [۵] B. Ageron, A. Gunasekaran, and A. Spalanzani, "Sustainable supply management: An empirical study," *International Journal of Production Economics*, vol. ۱۴۰, no. ۱, pp. ۱۶۸-۱۸۶, ۲۰۱۲/۱۱/۰۱/ ۲۰۱۲, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.007>.
- [۶] M. Wang, Y. Huang, and D. Li, "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*, vol. ۳۱۶, p. ۱۲۷۷۲۲, ۲۰۲۱/۰۸/۲۰/ ۲۰۲۱, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127722>.
- [۷] e. malek akhlagh, m. a. sangbor, F. Javidi, and j. rajabi, *Structuring strategic enablers of sustainable global value chain management* (no. ۴). ۲۰۲۱, pp. ۱-۲۵.
- [۸] T. Jiang, Y. Zhang, and Q. Jin, "Sustainability efficiency assessment of listed companies in China: a super-efficiency SBM-DEA model considering undesirable output," *Environmental Science and Pollution Research*, ۲۰۲۱/۰۴/۲۴ ۲۰۲۱, doi: 10.1007/s113۵6-۰۲۱-۱۳۹۹۷-۱.
- [۹] S. Zahedi and G. Najafi, *Sustainable Development, A New Conceptual Framework* (no. ۴). ۲۰۲۱, pp. ۴۳-۷۶.
- [۱۰] G. Tsaples and J. Papathanasiou, "Data envelopment analysis and the concept of sustainability: A review and analysis of the literature," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. ۱۳۸, p. ۱۱۰۶۶۴, ۲۰۲۱/۰۳/۰۱/ ۲۰۲۱, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110664>.
- [۱۱] P. Zhou, B. W. Ang, and K. L. Poh, "Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance," *Ecological Economics*, vol. ۶۰, no. ۱, pp. ۱۱۱-۱۱۸, ۲۰۰۶/۱۱/۰۱/ ۲۰۰۶, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.12.001>.
- [۱۲] W.-P. Wong, "A Global Search Method for Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis: Procedures and Managerial Perspectives," *Symmetry*, vol. ۱۳, no. ۷, p. ۱۱۵۵, ۲۰۲۱. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/7/1155>.
- [۱۳] T. Xu, J. You, H. Li, and L. Shao, "Energy Efficiency Evaluation Based on Data Envelopment Analysis: A Literature Review," *Energies*, vol. ۱۳, no. ۱۴, p. ۳۵۴۸, ۲۰۲۰. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3548>.
- [۱۴] Y. Yu, W. Zhu, Q. Shi, and Q. Zhang, "Network-like DEA approach for environmental assessment: Evidence from US manufacturing sectors," *Journal of Cleaner Production*, vol. ۱۳۹, pp. ۲۷۷-۲۸۶, ۲۰۱۶.
- [۱۵] H. Chen, J. Liu, Y. Li, Y.-H. Chiu, and T.-Y. Lin, "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*, vol. 16, no. 9, p. 1535, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/9/1535>.
- [16] K. Mehmood, Y. Iftikhar, S. Chen, S. Amin, A. Manzoor, and J. Pan, "Analysis of Inter-Temporal Change in the Energy and CO₂ Emissions Efficiency of Economies: A Two Divisional Network DEA Approach," *Energies*, vol. 13, no. 13, p. 3300, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/13/3300>.
- [17] K. Tone and M. Tsutsui, "Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach," *Omega*, vol. 42, no. 1, pp. 124-131, 2014/01/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.04.002>.
- [18] S. Suzuki and P. Nijkamp, *Regional Performance Measurement and Improvement: New Developments and Applications of Data Envelopment Analysis*. Springer, 2017.
- [19] K. Angelakoglou and G. Gaidajis, "A Conceptual Framework to Evaluate the Environmental Sustainability Performance of Mining Industrial Facilities," *Sustainability*, vol. 12, no. 9, p. 2130, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/2130>.
- [20] R. W. Kates, "Sustainability Science," *Science*, vol. 292, no. 5517, pp. 741-742, 2001 2001. [Online]. Available: <https://ci.nii.ac.jp/naid/1002689677/en/>.
- [21] T. Sueyoshi, R. Zhang, J. Qu, and A. Li, "New concepts for environment-health measurement by data envelopment analysis and an application in China," *Journal of Cleaner Production*, vol. 312, p. 127468, 2021/08/20/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127468>.
- [22] A. Sarkhosh-Sara, M. Tavassoli, and A. Heshmati, "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*, vol. 21, pp. 202-268, 2020/01/01/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.08.009>.
- [23] M. J. S. Noveiri, S. Kordrostami, and A. Amirteimoori, "Performance analysis of sustainable supply networks with bounded, discrete, and joint factors," *Environment, Development and Sustainability*, 2021/06/10 2021, doi: 10.1007/s10668-021-01410-y.
- [24] K.-H. Lee and R. Farzipoor Saen, "Measuring corporate sustainability management: A data envelopment analysis approach," *International Journal of Production Economics*, vol. 140, no. 1, pp. 219-226, 2012/11/01/ 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.024>.
- [25] M. Afzalinejad, "Evaluating radial efficiency considering environmental factors: A generalization of classical DEA," *Measurement*, vol. 119, p. 109497, 2021/07/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109497>.
- [26] X. Li, F. Li, N. Zhao, and Q. Zhu, "Measuring environmental sustainability performance of freight transportation seaports in China: A data envelopment analysis approach based on the closest targets," *Expert Systems*, vol. 37, no. 4, p. e12324, 2020.
- [27] Y. Wei, Y. Li, M. Wu, and Y. Li, "Progressing sustainable development of 'the Belt and Road countries': Estimating environmental efficiency based on the Super-slack-based measure model," *Sustainable Development*, vol. 28, no. 4, pp. 521-539, 2020. [Online].



Available: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:wly:sustdv:v:۷:y:۲۰۲۰:i:۲:p:۵۲۱-۵۳۹>.

- [۲۸] L. Ruoque, Y. Man, C. K. M. Lee, P. Ji, and J. Ren, "Comparative sustainability efficiency measurement of energy storages under uncertainty: An innovative framework based on interval SBM model," *Journal of Energy Storage*, vol. ۴۰, p. ۱۰۲۸۰۸, ۲۰۲۱/۰۸/۰۱/ ۲۰۲۱, doi: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.est.۲۰۲۱.۱۰۲۸۰۸>.
- [۲۹] Y. Ryu and T. Sueyoshi, "Examining the Relationship between the Economic Performance of Technology-Based Small Suppliers and Socially Sustainable Procurement," *Sustainability*, vol. ۱۳, no. ۱۳, p. ۷۲۲۰, ۲۰۲۱. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/۲۰۷۱-۱۰۵۰/۱۳/۱۳/۷۲۲۰>.
- [۳۰] H. Sun, A. K. Kporsu, F. Taghizadeh-Hesary, and B. K. Edziah, "Estimating environmental efficiency and convergence: ۱۹۸۰ to ۲۰۱۶," *Energy*, vol. ۲۰۸, p. ۱۱۸۲۴۴, ۲۰۲۰/۰۱/۰۱/ ۲۰۲۰, doi: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.energy.۲۰۲۰.۱۱۸۲۴۴>.
- [۳۱] H. Sun, M. Mohsin, M. Alharthi, and Q. Abbas, "Measuring environmental sustainability performance of South Asia," *Journal of Cleaner Production*, vol. ۲۵۱, p. ۱۱۹۵۱۹, ۲۰۲۰/۰۴/۰۱/ ۲۰۲۰, doi: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.jclepro.۲۰۱۹.۱۱۹۵۱۹>.
- [۳۲] N. Adler, E. Yazhemsy, and R. Tarverdyan, "A framework to measure the relative socio-economic performance of developing countries," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. ۴۴, no. ۲, pp. ۷۳-۸۸, ۲۰۱۰/۰۶/۰۱/ ۲۰۱۰, doi: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.seps.۲۰۰۹.۰۸.۰۰۱>.
- [۳۳] L. Marti and R. Puertas, "Assessment of sustainability using a synthetic index," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. ۸۴, p. ۱۰۶۳۷۵, ۲۰۲۰/۰۹/۰۱/ ۲۰۲۰, doi: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.eiar.۲۰۲۰.۱۰۶۳۷۵>.
- [۳۴] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, vol. ۲, no. ۶, pp. ۴۲۹-۴۴۴, ۱۹۷۸/۱۱/۰۱/ ۱۹۷۸, doi: [https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/۰۳۷۷-۲۲۱۷\(۷۸\)۹۰۱۳۸-۸](https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/۰۳۷۷-۲۲۱۷(۷۸)۹۰۱۳۸-۸).
- [۳۵] M. J. Farrell, "The measurement of productive efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, vol. ۱۲۰, no. ۳, pp. ۲۵۳-۲۸۱, ۱۹۵۷.
- [۳۶] R. D. Banker, A. Charnes, and W. W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, vol. ۳۰, no. ۹, pp. ۱۰۷۸-۱۰۹۲, ۱۹۸۴. [Online]. Available: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:inm:ormnsc:v:۳۰:y:۱۹۸۴:i:۹:p:۱۰۷۸-۱۰۹۲>.
- [۳۷] A. Mardani, D. Streimikiene, T. Balezentis, M. Z. M. Saman, K. M. Nor, and S. M. Khoshnava, "Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Economics: An Overview of the State-of-the-Art and Recent Development Trends," *Energies*, vol. ۱۱, no. ۸, p. ۲۰۰۲, ۲۰۱۸. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/۱۹۹۶-۱۰۷۳/۱۱/۸/۲۰۰۲>.
- [۳۸] A. Hassanzadeh, S. Yousefi, R. Farzipoor Saen, and S. S. S. Hosseininia, "How to assess sustainability of countries via inverse data envelopment analysis?," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. ۲۰, no. ۱, pp. ۲۹-۴۰, ۲۰۱۸/۰۱/۰۱ ۲۰۱۸, doi: [۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۰۹۸-۰۱۷-۱۴۵۰-x](https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۰۹۸-۰۱۷-۱۴۵۰-x).
- [۳۹] A. Łozowicka, "Evaluation of the Efficiency of Sustainable Development Policy Implementation in Selected EU Member States Using DEA. The Ecological Dimension,"



- Sustainability*, vol. 12, no. 1, p. 430, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/430>.
- [40] L.-W. Wang, K.-D. Le, and T.-D. Nguyen, "Assessment of the Energy Efficiency Improvement of Twenty-Five Countries: A DEA Approach," *Energies*, vol. 12, no. 8, p. 1530, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/8/1530>.
- [41] N. Amowine, Z. Ma, M. Li, Z. Zhou, E. Yaw Naminse, and J. Amowine, "Measuring Dynamic Energy Efficiency in Africa: A Slack-Based DEA Approach," *Energy Science & Engineering*, vol. 8, no. 11, pp. 3854-3860, 2020.
- [42] X. Lin, X. Zhu, Y. Han, Z. Geng, and L. Liu, "Economy and carbon dioxide emissions effects of energy structures in the world: Evidence based on SBM-DEA model," *Science of The Total Environment*, vol. 729, p. 138947, 2020/08/10/ 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138947>.
- [43] N. Amowine, Z. Ma, M. Li, Z. Zhou, B. Azembila Asunka, and J. Amowine, "Energy Efficiency Improvement Assessment in Africa: An Integrated Dynamic DEA Approach," *Energies*, vol. 12, no. 20, p. 3910, 2019. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/20/3910>.
- [44] R. Gómez-Calvet, D. Conesa, A. R. Gómez-Calvet, and E. Tortosa-Ausina, "Energy efficiency in the European Union: What can be learned from the joint application of directional distance functions and slacks-based measures?," *Applied Energy*, vol. 132, pp. 137-154, 2014/11/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.053>.
- [45] C.-N. Wang, H.-P. Hsu, Y.-H. Wang, and T.-T. Nguyen, "Eco-Efficiency Assessment for Some European Countries Using Slacks-Based Measure Data Envelopment Analysis," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 9, p. 1760, 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/9/1760>.
- [46] F. d. C. Camiato, D. A. d. N. Rebelatto, and R. T. Rocha, "Energy efficiency analysis of BRICS countries: a study using Data Envelopment Analysis," *Gestão & Produção*, vol. 22, pp. 192-203, 2010.
- [47] N. V. Lenz, A. Šegota, and D. Maradin, "Total-factor Energy Efficiency in EU: Do Environmental Impacts Matter?," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 8, no. 3, pp. 92-96, 2018. [Online]. Available: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eco:journ/2018-03-14>.
- [48] C. C. Lu, I. F. Lin, D. Wu, and X. Zhang, "The effect of forestry on energy efficiency in EU countries: A non-oriented dynamic slack-based data envelopment analysis," *Energy Science & Engineering*, 2021.
- [49] G. E. Halkos, N. G. Tzeremes, and S. A. Kourtzidis, "Measuring sustainability efficiency using a two-stage data envelopment analysis approach," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 20, no. 9, pp. 1109-1117, 2016.
- [50] G. E. Halkos, N. G. Tzeremes, and S. A. Kourtzidis, "Regional sustainability efficiency index in Europe: an additive two-stage DEA approach," *Operational Research*, vol. 10, no. 1, pp. 1-23, 2010.



- [۵۱] G. Tsaples, J. Papathanasiou, A. C. Georgiou, and N. Samaras, "Assessing multidimensional sustainability of European countries with a novel, two-stage DEA," in *International Conference on Decision Support System Technology*, ۲۰۱۹: Springer, pp. ۱۱۱-۱۲۲.
- [۵۲] W.-C. Yeh, H.-C. Huang, and C.-F. Hu, "NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS WITH COMMON WEIGHTS: AN APPLICATION TO THE SUSTAINABILITY MEASUREMENT OF OECD COUNTRIES," *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. ۱۹, no. ۵, pp. ۸۰۹-۸۱۸, ۲۰۲۰.
- [۵۳] Y. Feng, X. Yu, Y.-H. Chiu, and T.-Y. Lin, "Energy Efficiency and Health Efficiency of Old and New EU Member States," (in English), *Frontiers in Public Health*, Original Research vol. ۸, no. ۱۶۸, ۲۰۲۰-June-۰۹ ۲۰۲۰, doi: ۱۰.۳۳۸۹/fpubh.۲۰۲۰.۰۰۱۶۸.
- [۵۴] R. Kiani Mavi, R. F. Saen, and M. Goh, "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*, vol. ۱۴۴, pp. ۵۵۳-۵۶۲, ۲۰۱۹/۰۷/۰۱/ ۲۰۱۹, doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.01.030>.
- [۵۵] P. Zhou, B. W. Ang, and J. Y. Han, "Total factor carbon emission performance: A Malmquist index analysis," *Energy Economics*, vol. ۳۲, no. ۱, pp. ۱۹۴-۲۰۱, ۲۰۱۰/۰۱/۰۱/ ۲۰۱۰, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.10.003>.
- [۵۶] S. Lozano, "A joint-inputs Network DEA approach to production and pollution-generating technologies," *Expert Systems with Applications*, vol. ۴۲, no. ۲۱, pp. ۷۹۶۰-۷۹۶۸, ۲۰۱۵/۱۱/۳۰/ ۲۰۱۵, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.06.023>.
- [۵۷] Y. Iftikhar, W. He, and Z. Wang, "Energy and CO₂ emissions efficiency of major economies: A non-parametric analysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. ۱۳۹, pp. ۷۷۹-۷۸۷, ۲۰۱۶/۱۲/۱۵/ ۲۰۱۶, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.072>.
- [۵۸] S. Suzuki and P. Nijkamp, "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*, vol. ۸۸, pp. ۱۰۰-۱۱۲, ۲۰۱۶/۰۱/۰۱/ ۲۰۱۶, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.007>.
- [۵۹] S. Suzuki and P. Nijkamp, "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*, vol. ۷, p. ۱۱۳, ۲۰۱۶.
- [۶۰] S. Suzuki and P. Nijkamp, "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*. Singapore: Springer Singapore, ۲۰۱۷, pp. ۱۴۳-۱۶۲.
- [۶۱] J.-c. Hsieh, C.-c. Lu, Y. Li, Y.-h. Chiu, and Y.-s. Xu, "Environmental Assessment of European Union Countries," *Energies*, vol. ۱۲, no. ۲, p. ۲۹۵, ۲۰۱۹. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/2/295>.
- [۶۲] J. Zhang, A. K. Patwary, H. Sun, M. Raza, F. Taghizadeh-Hesary, and R. Iram, "Measuring



energy and environmental efficiency interactions towards CO₂ emissions reduction without slowing economic growth in central and western Europe," *Journal of Environmental Management*, vol. 279, p. 111704, 2021/02/01/ 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111704>.

- [63] S. Suzuki and P. Nijkamp, *Regional performance measurement and improvement*. Springer.
- [64] Q. An, X. Tao, B. Dai, and J. Li, "Modified Distance Friction Minimization Model with Undesirable Output: An Application to the Environmental Efficiency of China's Regional Industry," *Computational Economics*, vol. 55, no. 4, pp. 1047-1071, 2020/04/01 2020, doi: 10.1007/s10614-019-09888-w.
- [65] T. Niknam and B. Amiri, "An efficient hybrid approach based on PSO, ACO and k-means for cluster analysis," *Applied Soft Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 183-197, 2010/01/01/ 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.07.001>.
- [66] J. MacQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," in *Proceedings of the fifth Berkeley symposium on mathematical statistics and probability*, 1967, vol. 1, no. 14: Oakland, CA, USA, pp. 281-297.