نوآوری سازگار با محیط زیست در صنعت حمل‌ونقل
(یک رویکرد مبتنی بر تحلیل مرز دوگانه)

مقاله علمی – پژوهشی

اکبر امیری، گروه ریاضی، واحد تالش، دانشگاه آزاد اسلامی، تالش، ایران
حسین عزیزی*، گروه ریاضی، واحد پارس‌آباد مغان، دانشگاه آزاد اسلامی، پارس‌آباد مغان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: azizhossein@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵– پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵
صفحه ۲۴۶-۲۲۱

چکیده

نوآوری سازگار با محیط زیست به معنای توسعه‌ی محصولات و فرایندهایی است که به توسعه‌ی پایدار کمک کرده و از تجربیات علمی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای بهبود محیط زیست استفاده می‌کند. نوآوری سازگار با محیط زیست نقش مهمی در مصرف منابع و آلودگی زیست‌محیطی دارد و یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین موفقیت یا شکست برنامه‌های مصرف انرژی و محافظت محیط زیست به شمار می‌رود. بنابراین، نوآوری سازگار با محیط زیست سنگ بنای توسعه‌ی پایدار است. صنعت حمل‌ونقل یکی از منابع عمده‌ی آلودگی محیط زیست است. تحلیل کارایی این صنعت به مردم و جوامع کمک می‌کند که نسبت به عملکرد آن آگاهی بیشتری پیدا کرده و راهبردهای مدیریتی بهتری ایجاد کنند. ضرورت توسعه‌ی پایدار در صنعت حمل‌ونقل نیازمند تحلیل کارایی در طول زمان است. یک رویکرد متداول برای ارزیابی عملکرد طی دوره‌های متوالی، شاخص بهره‌وری مالمکوئیست است. در این مقاله، با استفاده از رویکرد تحلیل مرز دوگانه، یک تحلیل نوین برای اندازه‌گیری کارایی ارائه می‌شود. در رویکرد پیشنهادی، به دست آوردن مجموعه‌ی وزن‌های مشترک برای شاخص بهره‌وری مالمکوئیست، با در نظر گرفتن ورودی‌های غیرقابل‌کنترل و خروجی‌های نامطلوب در تحلیل کارایی صورت می‌پذیرد. این مقاله با بررسی حمل‌ونقل باری در ایران، کاربرد مدل‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. مدل‌های پیشنهادی برای تحلیل شاخص بهره‌وری مالمکوئیست جهت تجزیه‌ی کارایی کلی به تغییر کارایی و تغییر فنی، به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهد که نوآوری سازگار با محیط زیست و کارایی زیست‌محیطی را در این صنعت به دقت ردیابی کنند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل مرز دوگانه، مجموعه‌ی وزن‌های مشترک، نوآوری سازگار با محیط زیست، کارایی زیست‌محیطی، حمل‌ونقل

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، تحقیقات زیادی در زمینه‌ی استفاده‌ی نادرست از منابع طبیعی در محیط زیست انجام شده است. به دنبال روند تمرکز بر رشد اقتصادی، برخی اثرات جانبی از قبیل کمیابی منابع، آلودگی محیط زیست، و بی‌عدالتی اجتماعی بروز کرده است. برای مواجهه با این مسائل، مفهوم توسعه‌ی پایدار ارائه شده است، یعنی «توسعه‌ای که قادر به پاسخ‌گویی به نیازهای کنونی باشد، بدون آنکه به توانایی نسل‌های آینده برای رفع نیازهایشان آسیب بزند» (WCED، ۱۹۸۷؛

پیکازو-تادئو و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طور مشابه، مفهوم نوآوری در محیط زیست نیز ارائه شده است. نوآوری زیست‌محیطی یکی از فرایندهای حیاتی برای نیل به اهداف توسعه‌ی پایدار در جهان است (کِمپ و آروندل، ۱۹۹۸؛ کمپ و پیرسون، ۲۰۰۷؛ OECD، ۲۰۰۹). به نوشته‌ی رشیدی و فرضی‌پور صائن (۲۰۱۵)، ضمن بیشینه‌سازی معیارهای اجتماعی و اقتصادی، نگرانی‌های زیست‌محیطی را باید کمینه‌سازی کرد. با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان و کمبود منابع، شرکت‌ها و کشورها باید همچنان نوآوری سازگار با محیط زیست داشته باشند (کارتر و جنینگز، ۲۰۰۲). داشتن یک اندازه‌ی کمّی برای فعالیت نوآوری سازگار با محیط زیست به درک مفاهیم کمک می‌کند و به تصمیم گیرندگان امکان می‌دهد که محرک‌ها و موانع آن را شناسایی کنند. برای نیل به این هدف، می‌توان شرکت‌ها را، خصوصاً در ارتباط با تأثیرات زیست‌محیطی از نظر انرژی، آلودگی، و مصرف آب، تشویق به پیاده‌سازی نوآوری‌های سازگار با محیط زیست کرد. امروزه، نوآوری‌های سازگار با محیط زیست توجه بیشتری را در میان پژوهشگران به‌عنوان معیارهای کلیدی موفقیت در رسیدن به اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به خود جلب کرده است (لپله و همکاران، ۲۰۱۵). به نوشته‌ی فاسلر و جیمز (۱۹۹۶)، نوآوری سازگار با محیط زیست فرایند توسعه دادن محصولات و خدمات نوینی است که ضمن ارائه‌ی ارزش به مشتری و شرکت، تأثیر زیست‌محیطی را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش می‌دهند. امروزه، نوآوری سازگار با محیط زیست ابزاری برای تحلیل توسعه‌ی زیست‌محیطی به شمار می‌آید. بنابراین، ارزیابی نوآوری سازگار با محیط زیست مستلزم بررسی عوامل ورودی و خروجی متعددی است. برخی از تولید کنندگان علاوه بر خروجی‌های مطلوب، خروجی‌های نامطلوب نیز تولید می‌کنند (سوئیوشی و گوتو، ۲۰۱۱). تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUها) است. سنجش تغییرات بهره‌وری DMUها ابزار مفیدی برای ردیابی آن‌ها در طول زمان است (فتحی و فرضی‌پور صائن، ۲۰۱۸). جی و لی (۲۰۱۰) مفاهیم پایه‌ای مرز DEA را ارائه کردند. برای اندازه‌گیری شاخص بهره‌وری مالمکوئیست (MPI)، وانگ و لن (۲۰۱۱) روش نوینی را بر پایه‌ی DEAی مرز دوگانه پیشنهاد کردند. در DEA، کارایی نسبی به‌صورت نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌ها اندازه‌گیری می‌شود. DEA برای محاسبه‌ی کارایی هر DMU، بهترین وزن را اختصاص می‌دهد. روش مجموعه‌ی وزن‌های مشترک (CSW) بر خلاف روش قبلی این انعطاف‌پذیری وزن را محدود می‌کند، به‌طوری که همه‌ی DMUها نمی‌توانند به کارایی کامل دست یابند (حسین‌زاده لطفی و همکاران، ۲۰۱۳). مدل‌های DEA از نوع CSW برای همه‌ی DMUها مجموعه‌ی وزن‌های یکسانی را در نظر می‌گیرند، به‌طوری که همه‌ی DMUها هم‌زمان به بالاترین نمره‌ی کارایی دست می‌یابند. به‌عبارت دیگر، تمام DMUها کارا و غیرکارا را می‌توان ارزیابی کرد و نهایتاً رتبه‌بندی نمود. در دهه‌های اخیر، حمل‌ونقل و تدارکات به عرصه‌های مهمی برای صنایع مختلف تبدیل شده است (فرضی‌پور صائن، ۲۰۰۹). این صنعت حمل‌ونقل مسافران و بار را امکان‌پذیر می‌سازد؛ بازارهایی را که در مناطق جغرافیایی مختلف واقع شده است، به یکدیگر پیوند می‌دهد؛ و زمینه‌ی اشتغال لااقل ۵٪ افراد را در کشورهای توسعه یافته فراهم می‌کند (بلتران-استوه و پیکازو-تادئو، ۲۰۱۵). در حالی که صنعت حمل‌ونقل به‌همراه عوامل دیگر تا حد زیادی به مدرن‌سازی جوامع کمک می‌کند، ولی منجر به دردسرهای شهرنشینی نیز می‌شود، از قبیل انتشار دی‌اکسید کربن، آلودگی هوا، و اثرات منفی بر محیط زیست و سلامت انسان‌ها (کیانی ماوی و همکاران، ۲۰۱۸؛ یانسون و همکاران، ۲۰۱۷؛ چانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ بلتران-استوه و پیکازو-تادئو، ۲۰۱۵). در مقایسه با تمام بخش‌های دیگر از قبیل کشاورزی، پسماند، و صنایع تولیدی دیگر، صنعت حمل‌ونقل با آزاد کردن ۲۰٪ کل گازهای گلخانه‌ای جهان جایگاه دوم را پس از بخش انرژی در آلوده کردن کره‌ی زمین به خود اختصاص داده است (زیولکوفسکا و زیولکوفسکی، ۲۰۱۵). پروژه‌هایی از قبیل «اکو-سیتی»، «شهرهای الگوی زیست‌محیطی»، و «قطب حمل‌ونقل با انتشار کربن پایین» (دن هارتوگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ لو و همکاران، ۲۰۱۷) راه‌حل‌هایی برای مبارزه با اثرات منفی صنعت حمل‌ونقل و حفظ محیط زیست پاکیزه هستند. پروژه‌های نوآوری سازگار با محیط زیست در ارتباط با توسعه‌ی پایدار جوامع هستند و هدف آن‌ها بهبود کیفیت زندگی ضمن به حداقل رساندن اثرات منفی پیشرفت فناوری است. حمل‌ونقل پایدار در نواحی مختلف از سه راستا مورد مطالعه قرار گرفته است-اقتصاد، محیط زیست و جامعه-از

جمله صنعت معدن (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۸)، حمل‌ونقل مسافران درون‌شهری (د آلمیدا گوئیمارائس و همکاران، ۲۰۱۸)، و صنعت لبنیات (دکیچ و همکاران، ۲۰۱۸). در راستای این سوابق، مقاله‌ی حاضر به بررسی روندها و تغییرات عملکرد نوآوری سازگار با محیط زیست در صنعت حمل‌ونقل می‌پردازد. محاسبه‌ی کارایی در زمینه‌ی برنامه‌ریزی، ساخت و اجرای سیستم‌های حمل‌ونقل نه فقط در ارتباط با معیارهای تحرک، ایمنی و اقتصادی، بلکه نیز در ارتباط با فاکتورهای متعدد زیست‌محیطی و اجتماعی مورد نیاز است. اینها شامل حفظ منابع طبیعی، تقویت بهداشت عمومی، تقویت امنیت انرژی و فراهم‌سازی امکان تحرک برای افراد کم‌توان است (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۳).

MPI عملکرد یک DMU را در دوره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌کند. این شاخص نخستین بار از سوی کیوز و همکاران (۱۹۸۲) پیشنهاد شد. با توجه به اینکه دوره‌ی پایه‌ی استفاده شده برای تعریف تکنیک تولید تأثیر زیادی بر نتایج دارد، تغییرات چندی برای محاسبه‌ی MPI پیشنهاد شده‌اند. MPI به‌دلیل مقایسه‌ی داده‌های شرکت‌ها برای یک یا چند سال، تبدیل به ابزار بسیار مفیدی برای اندازه‌گیری رشد نوآوری سازگار با محیط زیست شده است. MPI تغییرات بهره‌وری را در ارتباط با تغییرات زمانی اندازه‌گیری می‌کند و می‌توان آن را به تغییرات کارایی تجزیه کرد. لذا می‌توانیم تغییرات کارایی یک DMU را بین دو دوره‌ی زمانی ارزیابی کنیم. ولی تا جایی که اطلاع داریم، در مقالات مدل وزن‌های مشترک برای فرایندهای DEAی مرز دوگانه ارائه نشده است. بنابراین، هدف این مطالعه توسعه‌ی یک مدل CSW برای DEAی مرز دوگانه به‌منظور ارزیابی نوآوری سازگار با محیط زیست و کارایی زیست‌محیطی صنعت حمل‌ونقل با استفاده از MPI است. برای نیل به این هدف، پژوهشگران به پرسش‌های پژوهشی زیر پاسخ خواهند داد:

چه عواملی بر کارایی زیست‌محیطی و نوآوری سازگار با محیط زیست صنعت حمل‌ونقل تأثیر می‌گذارند؟

–مدل CSW نقطه‌ی ایده‌آل برای MPI کدام است؟

–چگونه می‌توان ورودی‌های غیرقابل‌کنترل و خروجی‌های نامطلوب را برای تحلیل CSW نقطه‌ی ایده‌آل مدل‌سازی کرد؟

مزیت اصلی استفاده از DEAی مرز دوگانه با روش نقطه‌ی ایده‌آل تعیین کردن DMUهای غیرکارا برای بهبود است. هم‌چنین، CSW مانع از کسب بالاترین نمره‌ی کارایی برای DMUها می‌شود. بر خلاف DEAی معمولی، روش CSW به تصمیم گیرندگان امکان می‌دهد که DMUها را به‌طور کامل رتبه‌بندی کنند. بنابراین، خدمات اصلی مقاله‌ی حاضر شامل موارد زیر است:

–مدل‌های نوین CSW برای DEAی مرز دوگانه توسعه داده می‌شوند.

–علاوه بر تحلیل CSW، این مقاله از MPI برای مطالعه‌ی تغییرات کارایی در طول زمان استفاده می‌کند.

–این مقاله ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب را برای تحلیل کارایی در نظر می‌گیرد.

بقیه‌ی مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است: قسمت ۲ به مرور مقالات اختصاص دارد. در قسمت ۳، مدل پیشنهادی ارائه می‌شود. مطالعه‌ی موردی حمل‌ونقل باری در قسمت ٤ بحث می‌شود. و سرانجام، نتیجه‌گیری مقاله در قسمت ۵ ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

۲-۱- محیط زیست، نوآوری سازگار با محیط زیست و DEA

نوآوری سازگار با محیط زیست به معنای توسعه‌ی محصولات و فرایندهایی است که به توسعه‌ی پایدار کمک کرده و از تجربیات علمی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم برای بهبود محیط زیست استفاده می‌کند. نوآوری سازگار با محیط زیست به تمام اشکال نوآوری اطلاق می‌شود: مثلاً طرح بازرگانی جدید، خدمت جدید، فناوری جدید، محصول جدید، و الی آخر. به‌علاوه، هرگونه فعالیت مرتبط با کاهش تأثیرات منفی یا افزایش اثرات مثبت زیست‌محیطی ضمن به حداقل رساندن مصرف منابع طبیعی جزئی از نوآوری سازگار با محیط زیست به شمار می‌رود (کمپ و آروندل، ۱۹۹۸؛ رنینگز، ۲۰۰۰؛ کمپ و پیرسون، ۲۰۰۷). پورتر و ون در لیند (۱۹۹۵) گزارش کردند که نوآوری سازگار با محیط زیست ممکن است منجر به یک وضعیت برد–برد شود، که در آن تولید و اشاعه‌ی فناوری‌ها موجب لبریزسازی دانش برای بهبود کارایی زیست‌محیطی می‌شود و این امر تأثیر مثبتی بر رقابت بین‌المللی دارد. نوآوری سازگار با محیط زیست به‌عنوان هر گونه نوآوری به‌منظور ایجاد یک پیشرفت قابل‌توجه و قابل‌تأیید به سوی

هدف توسعه‌ی پایدار از طریق کاهش اثرات زیست‌محیطی تعریف می‌شود (EIO، ۲۰۱۲). نوآوری سازگار با محیط زیست نوعی نوآوری است که منجر به پیشرفت قابل‌توجه هدف توسعه‌ی پایدار از طریق کاهش اثرات تولید ما بر محیط زیست، افزایش انعطاف‌پذیر طبیعت نسبت به فشارهای زیست‌محیطی، یا نیل به مصرف کارآمدتر و مسئولانه‌تر منابع طبیعی می‌شود (هملزکامپ، ۱۹۹۹؛ کلمر و همکاران، ۱۹۹۹). نوآوری سازگار با محیط زیست از طریق تغییر الگوی مصرف و بهبود سیستم‌های تولید انجام می‌شود (هولشتاین و تاننباوم، ۲۰۱٤).

نوآوری سازگار با محیط زیست نقش مهمی در مصرف منابع و آلودگی زیست‌محیطی دارد و یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین موفقیت یا شکست برنامه‌های مصرف انرژی و محافظت محیط زیست به شمار می‌رود (جاف و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین، نوآوری سازگار با محیط زیست سنگ بنای توسعه‌ی پایدار است. به علت وجود اثرات زیست‌محیطی و گسترش دانش، شرکت‌ها مشوق لازم را برای سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های نوآوری سازگار با محیط زیست ندارند (جاف و همکاران، ۲۰۰۳). هر چند که هر نویسنده‌ای دیدگاه متفاوتی دارد، ولی تمام تعاریف شامل دو تأثیر عمده‌ی نوآوری سازگار با محیط زیست است (هوینیک و رازیر، a۲۰۱٦): (*i*) اثرات مضر کمتر بر محیط زیست، و (*ii*) استفاده‌ی مؤثر از منابع.

یانگ و یانگ (۲۰۱۵) برای مطالعه‌ی تغییرات نوآوری سازگار با محیط زیست با استفاده از نشانگرهای عملکرد مربوط به انرژی و محیط زیست برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ از روش DEA استفاده کردند. یافته‌های تجربی پژوهش کستانتینی و همکاران (۲۰۱٦) نشان می‌دهد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم نوآوری سازگار با محیط زیست به افزایش تمرکز زیست‌محیطی کمک می‌کند. آن‌ها خاطرنشان کردند که قدرت این اثرات بسته به فناوری پذیرفته شده و نوع آلاینده‌ی مورد بررسی متغیر است. آن‌ها سپس ثابت کردند که توسعه‌ی نوآوری سازگار با محیط زیست تأثیر مثبت مستقیمی بر عملکرد زیست‌محیطی این بخش دارد. کیانی ماوی و استندینگ (۲۰۱۷) استفاده از DEA را برای ارزیابی عملکرد نوآوری سازگار با محیط زیست کشورهای OECD پیشنهاد کردند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهند که برای اکثر کشورهای OECD، مصرف انرژی و توسعه‌ی پایدار زیست‌محیطی برای تقویت نوآوری سازگار با محیط زیست، مهم‌تر از ورودی‌ها و خروجی‌های دیگر است.

۲-۲- شاخص بهره‌وری مالمکوئیست

کارایی و بهره‌وری دو نکته‌ی مهم در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها است. به‌طور کلی، کارایی به معنای استفاده از امکانات، از قبیل منابع طبیعی و سرمایه است. اندازه‌گیری کارایی در جهان امروز کار آسانی نیست، زیرا علاوه بر عوامل اقتصادی، باید عناصر اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز در نظر گرفت. ازاین‌رو، روش‌های استفاده شده برای ارزیابی کارایی باید امکان سنجش هم‌زمان همه‌ی عوامل را فراهم کند (وو و همکاران، ۲۰۱۵).

MPI برای اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری نسبی DMUها در دوره‌های زمانی مختلف از سوی کیوز و همکاران (۱۹۸۲) پیشنهاد شد. سپس، از مدل‌های DEA برای اندازه‌گیری MPI استفاده به عمل آمد (فره و همکاران، ۱۹۹۲). مدل DEAی بازده به مقیاس ثابت برای محاسبه‌ی تابع فاصله با استفاده از MPI استفاده می‌شود. بر این اساس، MPI دارای دو مؤلفه‌ی تغییر کارایی و تغییر فنی است. فره و همکاران (۱۹۹۲) این شاخص را برای مدل‌های DEAی بازده به مقیاس متغیر توسعه دادند. مدل آن‌ها دارای سه جزء است: تغییرات کارایی خالص، تغییرات کارایی مقایسه‌ای و تغییر فنی. علیرضایی و افشاریان (۲۰۱۰) فاکتور جدیدی را برای اندازه‌گیری MPI به نام تغییرات نظارتی تعریف کردند. آن‌ها عامل تغییرات نظارتی را به عوامل فوق اضافه کردند.

MPI دارای برخی ویژگی‌های مطلوب است. نیازی به هیچ‌گونه فرض رفتاری از قبیل کاهش هزینه‌ها یا به حداکثر رساندن سود نیست، که سبب می‌شود که برای مواقعی که اهداف تولید کنندگان متفاوت، نامشخص و یا بدون تغییر است، مفید باشد. از آنجا که MPI بین دو دوره‌ی زمانی برای ارزیابی تغییرات بهره‌وری DMUها اندازه‌گیری می‌شود، لذا ابزار بسیار سودمندی برای اندازه‌گیری رشد نوآوری سازگار با محیط زیست بنگاه‌ها در طول چندین سال است.

۲-۳- مجموعه‌ی وزن‌های مشترک در DEA

از DEA برای تعیین کارایی نسبی DMUها از طریق محاسبه‌ی نسبت مجموع خروجی‌های موزون به ورودی‌های موزون استفاده می‌شود (فارل، ۱۹۵۷). برای نیل به این هدف، مدل DEA وزن‌های ورودی و خروجی هر DMU را جداگانه

محاسبه می‌کند تا بتوان عملکرد بیشینه را برآورد کرد. کارایی محاسبه شده‌ی این روش بیشتر از عملکرد واقعی هر DMU است (چارنز و همکاران، ۱۹۷۸). این روش محاسبه‌ی وزن مشکلات زیادی دارد. اگر یک DMUی معمول در برخی معیارها عملکرد قابل‌توجهی داشته باشد، ممکن است برخی نشانگرها وزن بزرگ‌تری دریافت کنند و بدون در نظر گرفتن نشانگرهای دیگر، کارایی بزرگ‌تری ایجاد شود. به‌عبارت دیگر، به خاطر برخی نشانگرهای عملکرد، ممکن است DMU کارا در نظر گرفته شود. علاوه بر این، وزن واقعی هر ورودی یا خروجی را نمی‌توان به این طریق تشخیص داد. معنای این مطلب آن است که تمام DMUهای کارا و غیرکارا را می‌توان با هم ارزیابی و رتبه‌بندی کرد. بنابراین، CSW برای حل این مشکلات پیشنهاد شد (گولانی و رول، ۱۹۹۳؛ تامپسون و همکاران، ۱۹۹۰؛ کوک و ژو، ۲۰۰۷). کیانی ماوی و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل CSW را برای ارزیابی نوآوری سازگار با محیط زیست و کارایی زیست‌محیطی کشورهای OECD ابداع کردند. به‌منظور تعیین CSW و محاسبه‌ی کارایی DMUها، وانگ و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل رگرسیون غیرخطی را پیشنهاد کردند. عمرانی (۲۰۱۳) و ماکویی و همکاران (۲۰۰۸) رویکرد استواری را برای محاسبه‌ی CSW در DEA از طریق روش برنامه‌ریزی آرمانی ارائه کردند. برای ارزیابی کارایی کشورهای اتحادیه‌ی اروپا، یک مدل DEAی دومرحله‌ای از سوی گومز-کالوت و همکاران (۲۰۱۶) ارائه شد. جهانشاهلو و همکاران (a۲۰۱۱) از اطلاعات ترجیح تصمیم گیرندگان برای ایجاد یک مدل CSW استفاده کردند.

۲-٤- تحلیل مرز دوگانه با نقطه‌ی ایده‌آل

به‌طور کلی، دو نوع اندازه‌ی عملکرد را می‌توان برای هر DMU محاسبه کرد که کارایی خوش‌بینانه و کارایی بدبینانه نامیده می‌شود. یک رویکرد که کارایی هر DMU را هم برای عملکرد خوش‌بینانه و هم بدبینانه اندازه‌گیری می‌کند، روش «تحلیل مرز دوگانه» نامیده می‌شود. هر روش ارزیابی که فقط یکی از آن‌ها را در نظر بگیرد، گرفتار سوگیری است. برای تعیین کارایی کلی هر DMU، باید هر دوی آن‌ها را هم‌زمان در نظر گرفت. وانگ و چین (۲۰۰۹) یک DEAی مرز دوگانه را پیشنهاد کردند که در آن کارایی‌های خوش‌بینانه و بدبینانه با مرز کارایی مقایسه شده‌اند. در این پژوهش به تحلیل مرز دوگانه با روش نقطه‌ی ایده‌آل توجه شده است. از نقطه‌های ایده‌آل برای تعیین میزانی که DMUهای غیرکارا را می‌توان بهبود داد، استفاده می‌شود. امیرتیموری (۲۰۰۷) یک اندازه‌ی کارایی را با تمرکز بر معیارهای ایده‌آل و آنتی‌ایده‌آل از نظر مرز کارا و ناکارا پیشنهاد کرد. کیانی ماوی و همکاران (۲۰۱۳) یک مدل CSW را بر پایه‌ی روش نقطه‌ی ایده‌آل برای فرمول‌بندی ورودی‌های غیرقابل کنترل پیشنهاد کردند. توانا و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل CSW اتفاقی را با استفاده از روش نقطه‌ی ایده‌آل توسعه دادند. وانگ و لن (۲۰۱۳) بهره‌ورترین اندازه‌ی مقیاس یک DMU را بر اساس روش خوش‌بینانه و بدبینانه به دست آوردند. مطالعات دیگری درباره‌ی ارزیابی عملکرد هر دو دیدگاه خوش‌بینانه و بدبینانه از سوی تاکامورا و تونه (۲۰۰۳)، ژُو و همکاران (۲۰۰۷)، وانگ و چین (۲۰۰۷)، جهانشاهلو و همکاران (b۲۰۱۱)، بدیع‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد.

۲-۵-شکاف پژوهشی

در روش CSW برای MPI سراسری (کائو، ۲۰۱۰)، یک CSW یکسان برای ورودی‌ها و خروجی‌های تمام دوره‌های زمانی محاسبه می‌شود. این مدل تفاوت محیط عملیاتی DMUها در طول زمان را در نظر نمی‌گیرد. جدای از آن، مقالات موجود در زمینه‌ی DEA، فاقد مدل وزن مشترک برای MPI است. تغییر در محیط عملیاتی DMUها در طول زمان مستلزم آن است که تصمیم گیرنده همه‌ی DMUها را از نظر شرایط مناسب مورد ارزیابی قرار دهد. از سوی دیگر، روش نقطه‌ی ایده‌آل مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است که منجر به جواب بهینه‌ی سراسری می‌شود. بر این اساس، این مقاله یک مدل CSW برای تحلیل روندهای کارایی در طول زمان با استفاده از MPI ایجاد می‌کند. علاوه بر این، ورودی‌های غیرقابل کنترل و خروجی‌های نامطلوب زیست‌محیطی از محصولات اجتناب‌ناپذیر صنعت حمل‌ونقل هستند که در این مقاله برای تحلیل کارایی مدل‌سازی می‌شوند. تحلیل کارایی وزن‌های مشترک به سیاست‌گذاران کمک می‌کند که عملکرد زیست‌محیطی و نوآوری سازگار با محیط زیست صنعت حمل‌ونقل را در راستای توسعه‌ی پایدار پایش نمایند.

۳- روش پژوهشی

۳-۱- چارچوب DEA

فرض کنید که x_{ij} و y_{rj} به‌ترتیب مقادیر ورودی iاُم $(i = 1, \dots, m)$ و خروجی rاُم $(r = 1, \dots, s)$ از DMU_j

($j = 1, \ldots, n$) باشند. کلید اصلی در بررسی ریاضی صحیح یک متغیر غیرقابل کنترل آن است که توجه کنیم که اطلاعات مربوط به اینکه یک متغیر ورودی غیرقابل کنترل را تا چه حد می‌توان کاهش داد، از کنترل مدیر DMU خارج است و لذا مدیر نمی‌تواند از آن استفاده کند. فرض کنید که متغیرهای ورودی را می‌توان به زیرمجموعه‌ی قابل کنترل (I_D) و غیرقابل کنترل (I_N) تقسیم کرد. لذا داریم:

$$I_D \cap I_N = \varnothing \text{ با } I = \{1, \ldots, m\} = I_D \cup I_N$$

که در اینجا $\varnothing$ مجموعه‌ی تهی است.

برای ارزیابی صحیح عملکرد مدیریتی، لازم است که بین ورودی‌های قابل کنترل و غیرقابل کنترل افتراق قایل شویم، که نمونه‌ی آن در مدل CCR (چارنز، کوپر و رودز) زیر برای DMU_o دیده می‌شود:

$$\begin{aligned} E_o^* = \max & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} - \sum_{i \in I_N} v_i x_{io} \# \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i \in I_N} v_i x_{ij} - \sum_{i \in I_D} v_i x_{ij} \le 0, \quad j = 1, \ldots, n \\ & \sum_{i \in I_D} v_i x_{io} = 1 \\ & u_r, v_i \ge 0, \quad r = 1, \ldots, s, \; i = 1, \ldots, m \end{aligned} \tag{1}$$

که در اینجا u_r و v_i به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی وزن خروجی‌ها و ورودی‌ها است. اگر $E_o^* = 1$، آنگاه DMU_o کارا نامیده می‌شود؛ در غیر این صورت، وقتی $E_o^* < 1$، به آن DMUی غیرکارا گفته می‌شود.

۳-۲- CSW برای MPI در تحلیل مرز دوگانه

بر خلاف مدل‌های استاندارد DEA، مدل‌های وزن مشترک انعطاف‌پذیری وزن را کنار گذاشته و همه‌ی DMUها را با مبنای یکسانی ارزیابی می‌کنند (حسین‌زاده لطفی و همکاران، ۲۰۱۳). کائو (۲۰۱۰) با کمینه‌سازی مجموع مربع تفاضل‌ها بین کارایی CCR و کارایی CSW برای همه‌ی DMUها، یک مدل CSW را برای به دست آوردن MPI سراسری پیشنهاد کردند. وانگ و لن (۲۰۱۱) MPI را تحت DEAی مرز دوگانه اندازه‌گیری کردند. مزیت اصلی CSW آن است که به تصمیم گیرندگان امکان می‌دهد که کارایی همه‌ی DMUها را با مبنای مشترکی ارزیابی کنند. سان و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرده‌اند که روش نقطه‌ی ایده‌آل اختلافات بین تمام DMUها را کمینه‌سازی می‌کند.

تعریف ۱: یک DMUی مجازی، DMUی ایده‌آل نامیده می‌شود، در صورتی که کمترین ورودی‌ها را مصرف کرده و بیشترین خروجی‌ها را تولید کند. آنگاه، در صورتی که یک DMUی مجازی بیشترین ورودی‌ها را مصرف کرده و کمترین خروجی‌ها را تولید کند، به آن DMUی آنتی‌ایده‌آل می‌گوییم.

بنا به تعریف ۱، ورودی‌ها و خروجی‌های DMUی ایده‌آل و DMUی آنتی‌ایده‌آل را می‌توان به‌صورت زیر تعیین کرد:

$$\begin{cases} x_i^{\min} = \min_j \{x_{ij}\}, & i = 1, \ldots, n \\ y_r^{\max} = \max_j \{y_{rj}\}, & r = 1, \ldots, s \end{cases}$$

$$\begin{cases} x_i^{\max} = \max_j \{x_{ij}\}, & i = 1, \ldots, n \\ y_r^{\min} = \min_j \{y_{rj}\}, & r = 1, \ldots, s \end{cases} \tag{2}$$

۳-۳- روش CSW نقطه‌ی ایده‌آل برای MPI برای DEAی خوش‌بینانه

محاسبه‌ی MPI نیازمند دوره‌های متوالی برای روشن کردن تغییرات بهره‌وری در طول زمان است. فرض کنید که x_{ij}^t, y_{rj}^t و $x_{ij}^{t+1}, y_{rj}^{t+1}$ مقادیر ورودی و خروجی DMU_j به‌ترتیب در دوره‌های زمانی t و $t+1$ باشد. تحت دیدگاه خوش‌بینانه، MPI با مدل‌های برنامه‌ریزی خطی (۳) تا (۶) به دست می‌آید.

$$
\begin{aligned}
D_o^t(x_o^t, y_o^t) &= \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{io}^t \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{ij}^t - \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{ij}^t \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{io}^t = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۳}
$$

$$
\begin{aligned}
D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) &= \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^{t+1} - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{io}^{t+1} \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{ij}^t - \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{ij}^t \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{io}^{t+1} = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۴}
$$

$$
\begin{aligned}
D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) &= \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^{t+1} - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{io}^{t+1} \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t+1} \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{io}^{t+1} = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۵}
$$

$$
\begin{aligned}
D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t) &= \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{io}^t \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t+1} \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{io}^t = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۶}
$$

مدل‌های (۷) تا (۱۰) را به‌عنوان مدل‌های CSW نقطه‌ی ایده‌آل به‌ترتیب برای مدل‌های (۳) تا (٦) به دست آوردیم:

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{j=1}^{n} \left[\sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{ij}^t - \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^t \right] + \sum_{j=1}^{n} \left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^t - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t + \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{ij}^t \right] \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{ij}^t - \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{ij}^t \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i \epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^t = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^t - \sum_{i \epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^t = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۷}
$$

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^{t}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^{t} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^{t} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} + \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t+1}\right] \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t} - \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t} \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^{t} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^{t} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^{t} = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۸}
$$

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^{t+1}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^{t+1} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} + \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t+1}\right] \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t+1} \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^{t+1} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^{t+1} = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۹}
$$

$$
\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t} - \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^{t+1}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^{t+1} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t} + \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t}\right] \# \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{ij}^{t+1} \le 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{i\epsilon I_D} v_i x_{i(\min)}^{t+1} = 1 \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\max)}^{t+1} - \sum_{i\epsilon I_N} v_i x_{i(\min)}^{t+1} = 1 \\
& v_i, u_r \ge 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{۱۰}
$$

جواب‌های بهینه‌ی مدل‌های (۷) تا (۱۰) به‌صورت $\{v_i^*, u_r^*\}$خواهد بود، که نشان‌دهنده‌ی CSW برای تحلیل کارایی است. با پیاده‌سازی CSW مربوطه، $D_o^t(x_o^t, y_o^t)$ و $D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$ به دست می‌آید، که نشان‌دهنده‌ی کارایی DMU_o به‌ترتیب در دوره‌های زمانی t و $t+1$ است. $D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$ نشان‌دهنده‌ی کارایی DMU_o در دوره‌ی زمانی $t+1$ با استفاده از فناوری تولید دوره‌ی t است. و سرانجام، $D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)$ نشان‌دهنده‌ی کارایی DMU_o در دوره‌ی زمانی t با استفاده از فناوری تولید دوره‌ی $t+1$ است. بنابراین، MPI برای DMU_o به‌صورت رابطه‌ی (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$
\begin{aligned}
\text{MPI}_o \left[\frac{D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_o^t(x_o^t, y_o^t)} \cdot \frac{D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)}\right]^{\frac{1}{2}} = \# \\
\frac{D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_o^t(x_o^t, y_o^t)} \cdot \left[\frac{D_o^t(x_o^t, y_o^t)}{D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)} \cdot \frac{D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}\right]^{\frac{1}{2}}
\end{aligned} \tag{۱۱}
$$

اگر $MPI_o > 1$، بدان معنا است که بهره‌وری DMU_o تقویت شده است؛ اگر $MPI_o = 1$، یعنی بهره‌وری DMU_o تغییر نکرده است؛ و اگر $MPI_o < 1$، به معنای آن است که بهره‌وری DMU_o کاهش یافته است. MPI_o دارای دو مؤلفه‌ی تغییر کارایی (EC) و تغییر فنی (TC) است که در رابطه‌های (۱۲) و (۱۳) نشان داده شده است:

$$EC_o = \frac{D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_o^t(x_o^t, y_o^t)} \quad (12)$$

$$TC_o = \left[\frac{D_o^t(x_o^t, y_o^t)}{D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)} \cdot \frac{D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}{D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

۳-٤- روش CSW نقطه‌ی آنتی‌ایده‌آل برای MPI برای DEAی بدبینانه

مدل‌های DEAی بدبینانه تلاش می‌کنند که کارایی DMUها را در دامنه‌ی ۱ و بالاتر کمینه‌سازی کنند، در حالی که مدل‌های DEAی خوش‌بینانه کارایی DMUها را بیشینه‌سازی می‌کنند. اگر کارایی بدبینانه‌ی یک DMU برابر با یک باشد، به آن ناکارای بدبینانه گفته می‌شود. مدل‌های DEAی بدبینانه برای محاسبه‌ی عناصر مورد نیاز جهت MPI به‌صورت مدل‌های (۱٤) تا (۱۷) هستند:

$$\begin{aligned} D_o^t(x_o^t, y_o^t) = \min & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^t \# \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^t \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^t = 1 \\ & u_r \geq 0, v_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \ i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \min & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^{t+1} \# \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^t - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^t \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^{t+1} = 1 \\ & u_r \geq 0, v_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \ i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1}) = \min & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^{t+1} \# \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{t+1} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^{t+1} = 1 \\ & u_r \geq 0, v_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \ i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t) = \min & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}^t \# \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{t+1} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}^t = 1 \\ & u_r \geq 0, v_i \geq 0, \quad r = 1, \dots, s, \ i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (17)$$

مدل‌های CSW مبتنی بر روش نقطه‌ی آنتی‌ایده‌آل برای مدل‌های (۱۴) تا (۱۷) به‌ترتیب به‌صورت مدل‌های (۱۸) تا (۲۱) هستند:

$$
\begin{aligned}
\min\quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t} + \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t}\right] \#\\
\text{s.t.}\quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t} \geq 0, \quad j=1,\dots,n\\
& \sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t} = 1\\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t} = 1\\
& v_i, u_r \geq 0, \quad i=1,\dots,m,\ \ r=1,\dots,s
\end{aligned}
\tag{۱۸}
$$

$$
\begin{aligned}
\min\quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t+1}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t} + \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t}\right] \#\\
\text{s.t.}\quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t} \geq 0, \quad j=1,\dots,n\\
& \sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t} = 1\\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t} = 1\\
& v_i, u_r \geq 0, \quad i=1,\dots,m,\ \ r=1,\dots,s
\end{aligned}
\tag{۱۹}
$$

$$
\begin{aligned}
\min\quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t+1} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t+1}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t+1} + \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t+1}\right] \#\\
\text{s.t.}\quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t+1} \geq 0, \quad j=1,\dots,n\\
& \sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t+1} = 1\\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t+1} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t+1} = 1\\
& v_i, u_r \geq 0, \quad i=1,\dots,m,\ \ r=1,\dots,s
\end{aligned}
\tag{۲۰}
$$

$$
\begin{aligned}
\min\quad & \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t+1} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t}\right] + \sum_{j=1}^{n}\left[\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t+1} + \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t+1}\right] \#\\
\text{s.t.}\quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{t+1} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{ij}^{t+1} - \sum_{i\in I_D} v_i x_{ij}^{t+1} \geq 0, \quad j=1,\dots,n\\
& \sum_{i\in I_D} v_i x_{i(\max)}^{t+1} = 1\\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r(\min)}^{t+1} - \sum_{i\in I_N} v_i x_{i(\max)}^{t+1} = 1\\
& v_i, u_r \geq 0, \quad i=1,\dots,m,\ \ r=1,\dots,s
\end{aligned}
\tag{۲۱}
$$

جواب‌های بهینه‌ی مدل‌های (۱۸) تا (۲۱) به‌صورت مجموعه‌ی وزن‌های مشترک $\{v_i^*, u_r^*\}$ هستند، که از آن‌ها برای محاسبه‌ی مقادیر $D_o^t(x_o^t, y_o^t)$، $D_o^{t+1}(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$، $D_o^{t+1}(x_o^t, y_o^t)$ و $D_o^t(x_o^{t+1}, y_o^{t+1})$ بر اساس مرز DEAی بدبینانه استفاده خواهد شد. لذا MPI، تغییر کارایی و تغییر فنی DMU_o بر اساس DEAی بدبینانه از مدل‌های (۱۱) تا (۱۳)

اندازه‌گیری می‌شود.

برای تجمیع مقادیر خوش‌بینانه و بدبینانه‌ی MPI، EC و TC، از میانگین هندسی استفاده می‌شود (وانگ و لن، ۲۰۱۱).

$$\mathrm{MPI}_o(\text{مرز دوگانه}) = \left[\mathrm{MPI}_o(\text{خوش‌بینانه}) \cdot \mathrm{MPI}_o(\text{بدبینانه})\right]^{1/2} \quad \#(۲۲)$$

$$\mathrm{EC}_o(\text{مرز دوگانه}) = \left[\mathrm{EC}_o(\text{خوش‌بینانه}) \cdot \mathrm{EC}_o(\text{بدبینانه})\right]^{1/2} \quad \#(۲۳)$$

$$\mathrm{TC}_o(\text{مرز دوگانه}) = \left[\mathrm{TC}_o(\text{خوش‌بینانه}) \cdot \mathrm{TC}_o(\text{بدبینانه})\right]^{1/2} \quad \#(۲۴)$$

بنابراین، مرز دوگانه‌ی MPI، EC و TC برای DMU_o از رابطه‌های (۲۲) تا (۲٤) اندازه‌گیری می‌شود:

٤- مطالعه‌ی موردی: صنعت حمل‌ونقل در ایران

امروزه، صنعت حمل‌ونقل نقش مهمی در کشورها ایفا می‌کند (بلتران-استوه و پیکازو-تادئو، ۲۰۱۵). حمل‌ونقل بحث‌هایی را نیز در زمینه‌ی نوآوری سازگار با محیط زیست پدید آورده است. علاوه بر ایجاد آلودگی هوا، حمل‌ونقل باعث تولید مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای نیز می‌شود (وزارت حفاظت محیط زیست، a۲۰۰٤). این صنعت یکی از آلوده کننده‌های مهم، به‌خصوص آلودگی هوا است (چانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ژو و همکاران، ۲۰۱٤)، زیرا برخی گازها را به اتمسفر آزاد می‌کند (بلتران-استوه و پیکازو-تادئو، ۲۰۱۵).

حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین روش‌های تأمین نیاز انسان‌ها است. به‌علاوه، حمل‌ونقل نه تنها یکی از نیروهای محرکه‌ی اصلی توسعه‌ی اجتماعی-اقتصادی به شمار می‌رود، بلکه یکی از برجسته‌ترین عوامل مخرب محیط زیست نیز هست. در واقع، فعالیت‌های حمل‌ونقل نیاز به تحرک را برآورده می‌سازد، ولی به قیمت اثرات مضر زیست‌محیطی. عوامل نامطلوب اصلی حمل‌ونقل شامل آلودگی هوا، آلودگی آب، سروصدا، دفع وسایل نقلیه پس از عمر مفید آن‌ها و از دست رفتن تنوع حیات به علت توسعه‌ی جاده‌ها هستند. صنعت حمل‌ونقل به علت اهمیت ژئواستراتژیک آن، تأثیری کلیدی بر کیفیت محیط زیست ایران دارد، به این صورت که ۹۳٫۵٪ حمل‌ونقل باری همگانی را در ۳۱ استان به خود اختصاص می‌دهد. ایران با دارا بودن ۸۸،۰۱۵ کیلومتر جاده، دومین کشور بزرگ خاورمیانه به شمار می‌رود. ایران سیستم جاده‌های آسفالته‌ی وسیعی دارد که اکثر شهرها و شهرک‌ها را به هم پیوند می‌دهد.

در این مقاله، تُناژ بار، مسافت طی شده در جاده، مصرف سوخت، حمل‌ونقل باری همگانی (وو و همکاران، ۲۰۱٦)، و بودجه‌ی تحقیق و توسعه (کوهن و لوینتال، ۱۹۹۰؛ فلوریدا، ۱۹۹٦؛ کمپ و پیرسون، ۲۰۰۸؛ کینلی و همکاران، ۲۰۱۵؛ رودریگز و وینگارتن، ۲۰۱۷) به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شده است. انتشار دی‌اکسید کربن (بلتران-استوه و پیکازو-تادئو، ۲۰۱۵)، حجم گردش بار (ژُو و همکاران، ۲۰۱٤؛ کوئی و لی، ۲۰۱٤)، حوادث ترافیکی و آموزش ایمنی به‌عنوان خروجی انتخاب شده است. این مطالعه کارایی زیست‌محیطی و نوآوری سازگار با محیط زیست را در صنعت حمل‌ونقل در ۳۱ استان ایران از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹٦ بررسی می‌کند. در این مرحله، جدول ۱ متغیرهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد.

برخی متغیرها نامطلوب هستند و افزایش آن‌ها منجر به کاهش کارایی سیستم می‌شود. مثلاً حوادث ترافیکی و انتشار دی‌اکسید کربن متغیرهای نامطلوب هستند. وقتی که y_{rj}^b مقدار خروجی نامطلوب برای DMU_j باشد، مقادیر پایین‌تر y_{rj}^b مطلوب‌تر خواهد بود. برای در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب، سیفورد و ژو (۲۰۰۲) یک تبدیل خطی $\bar{y}_{rj}^b = -y_{rj}^b + w > 0$ را پیشنهاد کردند تا آن‌ها را به خروجی مفید (مطلوب) تبدیل کنند. در این مقاله، فرض کردیم $w = \max y_{rj}^b + 1$. طول جاده به‌عنوان یک متغیر غیرقابل کنترل در نظر گرفته شده است. داده‌های ورودی و خروجی از گزارش سالیانه‌ی آماری سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای برای سال ۱۳۹٦ استخراج شده است. این سازمان مسئول فراهم‌سازی امکانات و زیرساخت‌ها برای بهبود و استفاده‌ی بهینه از سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای و اجرای مقررات و سیاست‌های مربوطه در حوزه‌ی حمل‌ونقل جاده‌ای تحت قانون توسعه‌ی اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی کشور است. بخش حمل‌ونقل جاده‌ای دارای گردش سالیانه‌ی حدود ٦۰۰ میلیون تن کالا، ۹۰۰ میلیون مسافر و بیش از ۹۰٪ حمل‌ونقل کالا و مسافر کشور است. تمام داده‌های ورودی و خروجی در طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹٦ در جدول‌های ۲ تا ۵، ارائه شده است.

جدول ۱. متغیرهای ورودی و خروجی سیستم حمل‌ونقل جاده‌ای

	متغیر	واحد اندازه‌گیری	شرح
ورودی‌ها	تناژ بار	هزار تُن	مقدار کالاهای بارگیری شده در هر استان
	طول جاده	کیلومتر	طول جاده‌ها در هر استان
	مصرف سوخت	ده هزار لیتر	حجم مصرف سوخت برای حمل‌ونقل
	حمل‌ونقل باری همگانی	دستگاه	تعداد وسایل نقلیه‌ی باری همگانی در هر استان
	هزینه‌ی تحقیق و توسعه	ده میلیون ریال	تخصیص اعتبار برای تحقیق و توسعه در هر استان
خروجی‌ها	انتشار دی‌اکسید کربن	تُن	حجم انتشار دی‌اکسید کربن بر اثر مصرف سوخت
	حجم گردش بار	میلیون تُن-کیلومتر	حجم گردش بار در هر استان
	حوادث ترافیکی	مورد حادثه‌ی دارای تلفات	تعداد حوادث دارای تلفات در هر استان
	آموزش ایمنی	نفر-ساعت	آموزش ایمنی به رانندگان در هر استان

جدول ۲. مجموعه‌ی داده‌های ورودی

DMU	تناژ بار				طول جاده‌ها				مصرف سوخت			
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶
البرز	٦٤٢٦	٦١٥٧	٧١٠٧	٨٣٣٦	٣٧٥	٣٩٣	٤١٠	٤١٠	٨٦٢٣٥,٨	٨٨٣٤٠,٤	٨٥٢٨١,٥	٩٦٨٣١,٦
اردبیل	٣٢٧٢	٣٥٠٩	٣٥٤٨	٣٦٤٩	١٠٠٠	١٥٩٩	١٥٥٥	١٥٥٥	٣١٢٣١,٩	٣٠٩٨٣,٥	٣٠٤٦٥,١	٢٨٢١٤,٥
آذربایجان غربی	١٠٤٥٢	٩٢١٩	٩٩٤١	١١٠٥٦	٢٧٨٩	٢٩٤٨	٢٩٧٤	٢٨٢٩	٥٤٥٨٩,٩	٥٥٣٩٨,٨	٥٥٦٦٣,٦	٥١١٦١,٤
آذربایجان شرقی	١٥١٩٨	١٤٦٤٦	١٥٩٢٥	١٨٢٥٣	٣٣٥٩	٣٤٦٤	٣٤٨٠	٣٤٨٠	٨٢٢٥٢,١	٧٨٧٩٨,٢	٨١٧٠٦	٧٠١٣٨,٤
بوشهر	٧١٧٣	٦٣٤٤	٥٦٣٨	٥٩٠٠	١٩٢٧	٢١٢١	٢٠٩٥	٢٠٩٥	٢١٤٥٨,٦	٢٢٥٨٩,٣	٢٠٧٦٦,٥	٢١٨٧٣,١
چهارمحال و بختیاری	٣٠٨٢	٣١٠٢	٣٤٩٢	٣٩٨٧	١٣٠٩	١٢٩٦	١٣٠٢	١٣٠٢	٢٧٦٩٨,١	٢٥٨٩٦,٧	٢٥٧٣٢	٢٤٣٨١,٣
فارس	٢٣٩٥٢	٢٣٩٨٥	٢٤٧٠٠	٢٧٦٨٧	٦٧٩٥	٧٤٣٠	٨٩٤٤	٩٤٣٧	١٣٦٦٥٨,١	١٣٧٧٩٨,٩	١٣٧٧٣٨,١	١٣٣٤٢٧,٣
گیلان	٧٨٣٩	٧٨٩٤	٨٩٩٩	٩٤٥٨	١٨٧٣	١٨٩٠	١٨٦٧	١٨٦٧	١٧٠٠١,٨	١٦٩٥٢,٨	١٦٩٨٥,٨	١٧٠٦٦,٢
گلستان	٥٠٢٦	٥٣٥٠	٥٤٦٨	٥٧٤٧	١٢٣٥	١٢٣١	١١٩٨	١١٦٩	٢٦٥٦٩,٧	٢٨٢٣٦,٩	٢٧٢٦٠,٨	٢٧٠١٣,١
همدان	٩١٢٨	٩١٦٦	١٠٠٠١	١١٣١١	٢٠٠٩	٢٠٣٦	١٦٥١	١٦٥١	٤٦٥٨٩,٢	٤٤٨٥٢,٣	٤٧٧٥٧,٩	٤٣٢٧٣,٧
هرمزگان	٢١٧٧٤	١٨٠٦٠	١٩٨٩٥	١٩٩٧٨	٣٢١٢	٢٨٩٧	٣٠٣٥	٣٠٧٠	٦٣٣٥٩,١	٦٠٣٦٥,٧	٥٧٥٨٩,٨	٥٠٧٥٢,٢
ایلام	٢٨٤١	٢٧٣٣	٢٦١٠	٢٨٥٧	١٥١٥	١٤٨٢	١٥٠٤	١٥٣٥	١١٩٨٦,٣	١١٥٨٣,٢	١٠٧٤٢	١٠٩٠٣,٤
اصفهان	٤٢٥٢٤	٤١٢٤٦	٤٤٠٤٢	٤٨٥٠٦	٥٥١١	٥٤١٤	٥٤٤٥	٥٤٤٧	١٢٣٣٦٥,٧	١٢٢٥٨٧,٥	١٢٧٥٢٢,٢	١١٨٤٠٠,٨
کرمان	١٨٥٩٦	١٧١١٨	٢٣٠٥٦	٢٩٠٢١	٥٧٠٥	٥٦٩٢	٦٤٠٥	٦٤٠٥	٤٧٧٢٣,٢	٤٥٤٥٧,٩	٤٤٤٣٩,٧	٤٩٤٠٧,٨
کرمانشاه	٧٧٨١	٧٤٩٦	٧٥٠٥	٨٤٣٩	٢٥٣٤	٢٨٤١	٢٨١١	٢٨١١	٤٤٢٥٣,٧	٤٥٨٩٦,٨	٤٥٩١٤,٢	٤٢١٢٣,٢
خراسان جنوبی	٣٧٧٨	٣٧٤٠	٤٠٧٢	٤٧٢٦	٥٥٥٧	٤٤٥٥	٥٣٧١	٥٥٨٩	١١٥٥١,٣	١١٤٤١,٦	١١٢٢٦,٥	١١٦٩١,٢
خراسان رضوی	٢٨٣١٣	٢٤٥٤٧	٢٧٠٦٨	٢٩٩٥٩	٦٤١٣	٦٤١٢	٦٤٨٥	٦٥٠١	١٠٠٠٢٤,٤	١٠٠٢٢٢,٩	١٠٠٤٤٩,٣	٩٧٠٤٨,١
خراسان شمالی	٣٥٣٦	٣٣٠٣	٣٢١٥	٣٣٧٥	٢٠٤٢	١٣٥٩	١٣٨١	١٣٨١	١١٥٢٤,٣	١١٥١٥,٩	١١٣٤٨,٢	١٢٨٥٦
خوزستان	٣٩٥٠٩	٣٦٥٠١	٣٧٦٠٦	٣٨٦٥٧	١٥٧٧	١٨١٩	٥٠٥٩	٥٣١٠	٥٩٩٢٦,٩	٥٩٧٢٧,٦	٥٨١٥٧,٧	٥٦١٤٢,٣
کهگیلویه و بویراحمد	٥٩٦	٤٩٩	٥٤٨	٨٧٨	١٢٣٥	١٥١٢	١٦١٥	١٥١٠	٤٣٧٣,٩	٤٠٨٩,٦	٤٢١٨,٢	٥٣٩٦
کردستان	٥٨٥٥	٥٠٥٤	٥٣١٦	٥٩٦٨	١٥٧٧	١٨١٩	١٦٢٧	١٦٢٨	١٧٧٩٨,٧	١٧٢٥٦,٩	١٩٣٢٢,٦	٢٠٠٧١,٤
لرستان	٤٩٦٥	٤٧٣٠	٥٠٣١	٥٨٠٨	١٨٠٧	١٨٥٦	١٨٧٦	١٨٠٦	٣٧٨٩٦,٤	٣٥٥٨٩,٧	٣٥١٣٨	٣١٨٩٣,٨
مرکزی	١٦٠٤٠	١٥٦٨٣	١٦٧١٩	١٧٢٦٤	٢٠٢٤	١٨٤٥	١٨٣٠	١٩٧٢	٢٦٣٥٦,٨	٢٥٦٨٩,٣	٢٥٣٥٢,٤	٢٣٧٠٣,٢
مازندران	١٣٩٠٥	١٣٠١٤	١٢٣٥٥	١٥٣٦٩	٢٥٢٣	٢٨٩٧	٢٣٦٥	٢٣٦٥	٣٧٣٧١,١	٣٦٨٩٦,٥	٣٤٩٢١,٢	٣٦٥٣٤,٤
قزوین	٧٨٤٣	٧١٧٢	٧٦٧٣	٨٥٢٨	٢١٠٦	١٣٤١	١٣٧٢	١٣٧٣	٣٤١٤٨,٣	٣٣٢٣٨,٦	٣١٥٩٧	٢٨٢٨٥,٤
قم	٤٦٣٧	٤٦٥٢	٤٧٩١	٥٥٦٩	٧١٥	٦٧٨	٧٤٧	٧٤٨	١٢٩٨٧,١	١٢٤٨٢,٦	١٢٣٧٣,٨	١٢٠٠٨,٢
سمنان	٨٩٤٧	٨٧٣٢	٨٨٤٤	٩٦٤٠	١٥٩٣	١٦٠٠	١٦٢٧	١٦٣٣	١٣٠٧٨,٩	١٣٢٢٥,٣	١٢٩١٧,٣	١٣٢٢٣
سیستان و بلوچستان	٦٦٤٧	٥٩٧٥	٥٠٥٠	٥٣٤٤	٥٩٩١	٨٠١٠	٦٢٣٩	٦٢٣٩	٢٢٨٩٦,٧	٢٥٥٥٩,٩	٢٧٢٤٦,٧	٣٦١٥٥,٥
تهران	٢٩٥٦٣	٢٨٣٩٩	٣٠٤٦٢	٣٣٠٨٧	١٠٠٣	٩٨٣	٩٤٠	٩٣٩	١٠٩٦٤٧,٨	١٠٢٢٢٣,٥	١٠١٨٢٠,٥	١٠٦٢٢١,٨
یزد	٢٠٣٩٨	١٦٦٤٦	٢٠٥٣١	٢٢٦٤٧	٢٣٥٤	٢٢٩٥	٢٣٢٨	٢٣٢٨	٤٤٤٣٦,٩	٤٤٢٣٥,٢	٤١٣٣٩,٣	٤١٦٤١,٦
زنجان	٥٤٧٧	٥٢٨٢	٦٣٠٧	٧٣٤٥	١٤٥٢	١٦٥٨	١٦٢٩	١٦٣٠	١٥٥٥٧,٤	١٥٧٣٦,٥	١٥٩٤٨,٩	١٥٨١٤,٥

جدول ۳. مجموعه‌ی داده‌های ورودی (ادامه)

DMU	حمل‌ونقل برای همگانی				بودجه‌ی تحقیق و توسعه			
	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶
البرز	۱۵۷۹۴	۱۳۴۹۰	۱۴۰۴۲	۱۱۸۹۹	۲۷	۳۳	۳۸	۳۹
اردبیل	۹۰۶۹	۷۵۶۰	۷۵۱۳	۷۱۹۸	۳۸	۴۷	۵۱	۶۰
آذربایجان غربی	۱۸۶۴۵	۱۵۴۶۲	۱۵۴۱۷	۱۴۹۲۱	۹۳	۱۰۷	۱۲۶	۱۶۱
آذربایجان شرقی	۲۹۴۹۰	۲۴۵۶۳	۲۴۶۰۸	۲۴۱۳۲	۶۸	۷۸	۹۲	۱۱۱
بوشهر	۳۸۰۴	۲۹۹۴	۳۲۴۳	۲۶۱۲	۲۲	۲۶	۳۰	۵۱
چهارمحال و بختیاری	۹۰۵۴	۷۵۵۱	۷۸۰۴	۷۵۱۲	۱۶	۱۹	۲۱	۴۵
فارس	۴۳۱۱۱	۳۶۶۱۴	۳۶۵۲۶	۳۵۲۶۴	۴۳	۵۱	۵۶	۹۱
گیلان	۵۸۳۹	۴۸۳۴	۵۱۴۹	۴۷۸۶	۵۴	۶۴	۷۱	۷۵
گلستان	۹۲۱۱	۷۵۷۴	۷۸۱۲	۷۶۰۳	۳۰	۳۷	۴۰	۵۸
همدان	۱۵۰۷۰	۱۳۴۲۰	۱۳۳۹۰	۱۳۰۷۳	۲۹	۳۴	۳۹	۵۸
هرمزگان	۴۶۲۳	۴۲۵۰	۴۷۸۵	۴۶۶۲	۳۹	۴۴	۴۴	۱۰۰
ایلام	۳۰۸۳	۲۵۳۴	۲۴۴۲	۲۳۶۳	۴۲	۴۹	۵۳	۷۴
اصفهان	۴۱۱۷۵	۳۶۲۶۶	۳۶۷۳۰	۳۴۹۸۷	۵۳	۵۷	۶۷	۸۲
کرمان	۱۵۵۹۵	۱۲۸۲۱	۱۳۵۰۱	۱۲۴۹۹	۲۸	۳۹	۴۲	۹۰
کرمانشاه	۱۵۴۶۳	۱۲۹۴۸	۱۲۹۳۱	۱۲۶۵۳	۵۰	۵۶	۶۵	۹۴
خراسان جنوبی	۳۳۴۵	۳۳۱۶	۳۶۵۷	۳۸۹۰	۲۷	۳۱	۳۷	۵۸
خراسان رضوی	۳۵۷۳۰	۲۸۸۸۲	۲۹۷۳۱	۲۸۴۸۶	۸۸	۱۰۱	۱۲۲	۱۶۹
خراسان شمالی	۳۱۹۱	۳۲۸۹	۳۶۳۶	۳۸۵۳	۱۶	۲۰	۲۲	۳۶
خوزستان	۱۵۵۸۳	۱۳۱۳۸	۱۳۹۴۵	۱۲۷۵۷	۶۹	۸۵	۹۷	۱۳۱
کهگیلویه و بویراحمد	۱۳۶۹	۹۵۴	۹۶۵	۸۸۰	۱۷	۲۰	۲۳	۳۱
کردستان	۶۵۲۸	۵۴۰۷	۵۷۴۵	۵۸۰۵	۳۵	۴۱	۴۷	۷۲
لرستان	۱۰۸۰۰	۹۳۷۱	۹۴۷۴	۹۴۸۲	۲۳	۲۷	۲۹	۴۷
مرکزی	۹۶۱۴	۸۴۴۰	۸۶۰۳	۷۸۴۶	۲۵	۲۹	۳۲	۴۵
مازندران	۱۴۷۷۶	۱۱۴۲۰	۱۱۴۹۵	۱۱۸۸۸	۴۸	۵۷	۶۵	۹۰
قزوین	۱۰۶۰۰	۹۲۶۹	۹۳۷۲	۹۴۸۴	۲۴	۲۹	۳۵	۵۵
قم	۴۵۴۵	۳۵۸۹	۳۷۵۱	۳۲۵۹	۲۱	۲۳	۳۸	۴۳
سمنان	۳۷۹۴	۳۱۲۶	۳۱۸۳	۲۹۹۸	۲۷	۳۰	۳۲	۲۳
سیستان و بلوچستان	۷۰۹۳	۴۹۰۱	۴۹۳۶	۴۱۰۸	۶۰	۷۰	۸۵	۱۱۲
تهران	۳۹۶۵۸	۳۱۸۷۴	۳۱۶۴۱	۲۴۷۶۳	۷۸	۸۵	۹۴	۱۰۴
یزد	۱۱۵۶۳	۸۷۵۷	۸۷۰۸	۷۸۲۵	۲۴	۲۸	۳۰	۳۸
زنجان	۵۶۷۱	۴۹۸۳	۵۱۴۶	۴۶۲۰	۲۲	۲۵	۳۰	۴۸

جدول ٤. مجموعه‌ی داده‌های خروجی

DMU	انتشار دی‌اکسید کربن				حجم گردش بار				حوادث ترافیکی			
	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۵	۱۳۹٦	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۵	۱۳۹٦	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۵	۱۳۹٦
البرز	۲۲۷,۷	۲۳۳,۲	۲۲۵,۱	۲۵۵,٦	۱٦۵۷	۱۵٦٤	۱۹٤۹	۲۵۰۸	۳۸۷	٤۰۰	۳۵۹	۹۵۵
اردبیل	۸۲,۵	۸۱,۸	۸۰,٤	۷٤,۵	۱۱٦۳	۱۳۸۱	۱٤۰۵	۱٤٦۸	۵٤	۵۵	٤۹	۵۷
آذربایجان غربی	۱٤٤,۱	۱٤٦,۳	۱٤۷	۱۳۵,۱	٤٤۵۱	٤۲۰۷	٤٤٤۹	۵٤۷۱	٦۱	۱۱۸	۱۰۳	۱٦٤
آذربایجان شرقی	۲۱۷,۱	۲۰۸	۲۱۵,۷	۱۸۵,۲	٦۸۰۷	٦٦۷٤	۸۱۹۸	۹۲۰٤	۲۲۹	۲۸۵	۱۹۵	۳۳۰
بوشهر	۵٦,۷	۵۹,٦	۵٤,۸	۵۷,۷	۵۰۱٤	٤٤۰۰	٤۳٤۸	٤٦٤۲	٤۹	٤۳	٦٤	۷۱
چهارمحال و بختیاری	۷۳,۱	٦۸,٤	٦۷,۹	٦٤,٤	۱۳٦۳	۱۳٤۷	۱۳۷۷	۱٤۹۹	۱۵	٤۵	٤۱	٤۱
فارس	۳٦۰,۸	۳٦۳,۸	۳٦۳,٦	۳۵۲,۲	۱۰۳٤۲	۱۰۹۷۰	۱۱۹۸۷	۱۲۷۰۵	۲۹۵	۲۰۹	۱٦۰	۱٦۲
گیلان	٤٤,۹	٤٤,۸	٤٤,۸	٤۵,۱	۲۷۰۲	۲٦٤۹	۳۰۹۷	۳۲۳۸	۱٦۵	۱۳۳	۱۵۲	۹٤
گلستان	۷۰,۱	۷٤,۵	۷۲	۷۱,۳	۱۹۹۳	۲۱٦۲	۲۲۳۵	۲۲٤۲	۲۸	۲۹	۲٦	۲۵
همدان	۱۲۳	۱۱۸,٤	۱۲٦,۱	۱۱٤,۲	۳٦۱۰	۳٤۹٦	۳۹٤۹	٤٤۱۵	۱۲۷	۱۱۹	۸۸	۵۳
هرمزگان	۱٦۷,۳	۱۵۹,٤	۱۵۲	۱۳٤	۲۰۷۵۳	۱٦۹۸۹	۱۷۲۵۹	۱۷٦۰۰	٤٤	۱٤۳	۲۰۰	۲۲۵
ایلام	۳۱,٦	۳۰,٦	۲۸,٤	۲۸,۸	۸۰۷	۸۹۰	۱۰٤۸	۱۱۰۵	۲۷	۳۲	۵۲	۲۹
اصفهان	۳۲۵,۷	۳۲۳,٦	۳۳٦,۷	۳۱۲,٦	۱۹۹۱۳	۱۹٦۸٤	۲۰۸۵۲	۲۲۱۸۱	۲۳۱	۱۷۳	۱٤۸	۲۱۹
کرمان	۱۲٦	۱۲۰	۱۱۷,۳	۱۳۰,٤	۱۰۲۳٤	۸۸۳۱	۱۲۸٦٤	۱٦٤۷۱	۷۲	۱٦۰	۲٦۷	۲۳۱
کرمانشاه	۱۱٦,۸	۱۲۱,۲	۱۲۱,۳	۱۱۱,۲	۲٤۹۷	۲٤۹۵	۲٦۲۳	۳۳۹۲	۱۳۱	۱۵۵	۱۹۵	۱۷۹
خراسان جنوبی	۳۰,۵	۳۰,۲	۲۹,٦	۳۰,۹	۲۰۲٦	۱۹۸۷	۲۲٤۵	۲۵۰۱	۳۲	٤۱	۳۸	۳۸
خراسان رضوی	۲٦٤,۱	۲٦٤,٦	۲٦۵,۲	۲۵٦,۲	۱۹۱۷٦	۱۵۵۵٦	۱۹۲۰۹	۲۰٤۵۵	۱۲٦	۱۱۹	۱۳۲	۱٤۳
خراسان شمالی	۳۰,٤	۳۰,٤	۳۰	۳۳,۹	۱٤۹۵	۱٦۰۳	۱٤۸۰	۱٦۱۰	۳۸	۳۷	٤٦	۵۷
خوزستان	۱۵۸,۲	۱۵۷,۷	۱۵۳,۵	۱٤۸,۲	۲۸۷۷۵	۲۵۷٦۰	۲۵۸۲۸	۲۵۷۹۷	۲۱٤	۲۱۹	۲۷۱	۳۵۲
کهگیلویه و بویراحمد	۱۱,۵	۱۰,۸	۱۱,۱	۱٤,۲	۲۱٤	۱٤۹	۱٦٤	۲۹۵	۷۲	۷٤	۷۹	۹٦
کردستان	٤۷	٤۵,٦	۵۱	۵۳	۲٤۳۵	۲۰٦۵	۲۲۳٦	۲۸٤۸	۸۳	۹۷	۷۳	۹٦
لرستان	۱۰۰	۹٤	۹۲,۸	۸٤,۲	۱٦۸۲	۱٦۵٦	۱۸۷۲	۲۳٦۷	۱۵٦	۲۲٤	۲۰۱	۲۱٤
مرکزی	٦۹,٦	٦۷,۸	٦٦,۹	٦۲,٦	٦۰٤۲	٦۱۵۱	۷۰۵۰	۷۳۳۷	۲۳٤	۲٤۳	۲٦٤	۳۱۳
مازندران	۹۸,۷	۹۷,٤	۹۲,۲	۹٦,۵	٤۲۱٤	٤۳۷۹	٤۰۹٤	۵۱۹۵	۲۳۳	۱٦۲	۲۹۱	۳۳۹
قزوین	۹۰,۲	۸۷,۷	۸۳,٤	۷٤,۷	۲۸۳۱	۲۵۳٤	۲۷۰٤	۳۰۸٤	۱٦۵	۸٤	٦۵	٦۲
قم	۳٤,۳	۳۳	۳۲,۷	۳۱,۷	۲۱۵۷	۲۳٤۹	۲٤۹۳	۳۰٦۹	۱٤۱	۱۵۹	۱٦۵	۱۸۳
سمنان	۳٤,۵	۳٤,۹	۳٤,۱	۳٤,۹	٤۲٦٤	٤۱٤۲	٤۳٤۱	٤۹۰۲	۱۵۰	۱۵٦	۱۵۵	۱۷۱
سیستان و بلوچستان	٦۰,٤	٦۷,۵	۷۱,۹	۹۵,۵	۳٤۱۹	۳۰٤٤	۲۹۰۷	۳۳۰۰	۲٤	۳۱	۲٦	۳۰
تهران	۲۸۹,۵	۲٦۹,۹	۲٦۸,۸	۲۸۰,٤	۱٤۲۷۱	۱٤۰۳۹	۱٦۲۸۳	۱۷٤٦٤	۷٦۱	۸۲۳	۹٦۳	۱۰٤٤
یزد	۱۱۷,۳	۱۱٦,۸	۱۰۹,۱	۱۰۹,۹	۱۲۳۵۷	۱۰۷۲۸	۱۳۱۱۲	۱۳۹۳۷	۵٤	٤۰	٤۲	۳۳
زنجان	٤۱,۱	٤۱,۵	٤۲,۱	٤۱,۸	۲۲۰٤	۱۷۹۲	۲۱٤٦	۲۵۳۳	۱۱۵	۱۲۵	۱۱٤	۱۱۷

جدول ۵. مجموعه‌ی داده‌های خروجی (ادامه)

DMU	آموزش ایمنی			
	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۵	۱۳۹٦
البرز	۳٤۸٦۳	۳۱۰۹۰	۲٤٤۸۲	۲۳۲۷٦
اردبیل	۵۸۸۵۲	۳۷۸۹۸	۳۰۵۷٦	۲۲۹۳۲
آذربایجان غربی	۱۱۹٦۵۵	۱۷۵٦۳۰	۱٦۲۹۰۲	٦۵۰٤٤
آذربایجان شرقی	۷٦۰۲۳	٦٤۷٤۳	۵۹٤۷۲	٦٦۲۷٦
بوشهر	۳۲۳۰۸	٦۱٤٤۷	٤۵۱٦٤	۲۲۷٦٤
چهارمحال و بختیاری	۸۰۵۵۱	۸۱۷٦۸	٦٦٤۷٤	٤۱۲۹۲
فارس	۱۵۱۵٦۱	۱۰۰۹۲۹	۸۱٦۲۰	۸۱۰۸٤
گیلان	۳۹۹۸۰	۳٤۷٤۲	۱۹٦٤۰	۱۵۱۹۲
گلستان	۵۷۲۱۲	۵۰۱۷۵	٤۰۷۱۲	۳۱۰۸۰
همدان	٦۲٤٦٤	٤۳٤۵۷	۳۳٤۸۰	۳۰٦۲٤
هرمزگان	۲٤۰۰۹	۹۳٦۸۱	۷۱۷۹۲	٤٦٦٤۸
ایلام	۵۳۹۰۰	٦٦۹٦۵	۳۲۱۹۲	۳۵۸۳۰
اصفهان	۱۳۱۹۳۹	۷۸۱۷٦	۵۹۹٤۸	۷۹۷۷۲
کرمان	۸۱۷۷۰	۲۸۳۰۱	۲٤۵۵٦	۲۸۵۸۸
کرمانشاه	۷۲٤٦۹	۱۹۹۸۹٦	۱۰۳۲۰۸	۳۸۲۲۰
خراسان جنوبی	٤۱۲۵۳	۱۵۷۷٦	۱٤۰٦۰	۱۵۰۰۰
خراسان رضوی	۲۲٦۵۳۲	۱۱۷۹۲۱	۲۱۲٦۹٤	۹۵۲٤٤
خراسان شمالی	۳۱۹۳۱	۱۷۰۸۷	۱۷۷۵۲	۱۵٤۲۸
خوزستان	۷٦٤۳۱	۸٦۲۵۹	٦۰۹۲۰	٤۹۹٦۰
کهگیلویه و بویراحمد	۸۲٤۲	۸۰۵۰	۸۳٤٤	۷۹۸۰
کردستان	۲۵٤٦۸	۱٦۳۳۱	۲٦۸٦۸	۳۳۰٤۸
لرستان	۸۱٦۰٤	۷۲۱۹۱	۷۲۹٤٤	٤۹٤۲۰
مرکزی	۷۵۵٦۲	٤۲٤۷۲	۲۸۵۳۲	۲٦۷۹۲
مازندران	۷٦٦٤۳	۳۲٦۰۰	۳٦۸۳٦	۳۲۲۸۸
قزوین	۵۲۵۳۸	۲۱۸۵٤	۱۸۷۸۸	۲۱۹۲٤
قم	٤۱٦٦٦	۱٦۰۷۲	۱٦۸۲۸	۹۲٤۰
سمنان	۱۰۲۰٦	۹٤٤۲	۸٦٤۸	۲۵۲۰
سیستان و بلوچستان	٦۱۸۳۵	۲۹۹۷۲	۲۷۷٤٤	۲۱٦۲۸
تهران	۹۳۰٤۵	٤۳٦۵۲	۳۸۰۵۲	۵۹۰۸۰
یزد	۲۸۰۷۰	۱۹۱٦۰	۱٤۱۳٦	۱۵۱٤٤
زنجان	۳۷٦۰٦	۱٦٤۹۹	۱۸۹۲۸	۱۷۲۲۰

در حالی که تمرکز کشور بر رشد اقتصادی است، برخی اثرات جانبی از قبیل کاهش منابع، آلودگی محیط زیست و بی‌عدالتی‌های اجتماعی بروز کرده است. نوآوری سازگار با محیط زیست با تقویت نوآوری‌های مرتبط با محیط زیست برای مبارزه با اثرات منفی فشارهای زیست‌محیطی به رشد سبز اقتصادها کمک می‌کند (جانگ و همکاران، ۲۰۱۵). ارزیابی نوآوری سازگار با محیط زیست روندهای عمومی به سوی توسعه‌ی سبز و پایدار را مشخص می‌کند و آگاهی جامعه را بهبود می‌بخشد. اندازه‌گیری نوآوری سازگار با محیط زیست در سطح ملی به محک‌زنی بهترین عملکرد کمک می‌کند (پارک و همکاران، ۲۰۱۷). موضوع نوآوری سازگار با محیط زیست و تحلیل عوامل دخیل در آن یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدرن در صنعت حمل‌ونقل است، زیرا اثرات منفی حمل‌ونقل از قبیل پسماند و آلودگی هوا زندگی بر روی زمین را به مخاطره می‌اندازد. مقالات موجود در عرصه‌ی صنعت حمل‌ونقل توجه چندانی به اندازه‌های نوآوری سازگار با محیط زیست نکرده‌اند. این مقاله صنعت حمل‌ونقل باری را در ایران طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹٦ با استفاده از MPI برای مشخص کردن تغییرات عملکرد مورد بررسی قرار می‌دهد. بر این اساس، یک روش CSW در تحلیل مرز دوگانه با روش نقطه‌ی ایده‌آل ایجاد

می‌شود تا تغییرات نوآوری سازگار با محیط زیست و کارایی زیست‌محیطی در صنعت حمل‌ونقل مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج تحلیل MPI با استفاده از مدل‌های (۳) تا (٦) و (١٤) تا (١٧) و رابطه‌های (١١) تا (١٣) در جدول‌های ٦ تا ٨ نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی ١٥، ١٢، ١٥ و ١٦ DMUی کارا با نمرات کارایی ١ به‌ترتیب برای سال‌های ١٣٩٣ تا ١٣٩٦ است، که سبب می‌شود که رتبه‌بندی کامل DMUها دشوار و حتی غیرممکن باشد. توسعه‌ی مدل‌های CSW با نقطه‌ی ایده‌آل، متوسط نمره‌ی کارایی هر دوره را (٠,٤٣٧٢، ٠,٤٤٩٢، ٠,٤٣٩٦ و ٠,٣٢٨٣ به‌ترتیب برای سال‌های ١٣٩٣ تا ١٣٩٦) در مقایسه با مدل‌های (٣) تا (٦) (٠,٨٨٤٥، ٠,٨٢٩٨، ٠,٨٦٢٧ و ٠,٨٩٦٢ به‌ترتیب برای سال‌های ١٣٩٣ تا ١٣٩٦) کاهش می‌دهد و منجر به امکان تشخیص بهتر بین DMUها می‌شود. مدل‌های CSW پیشنهادی به‌طور متوسط مقادیر پایین‌تری برای MPI، تغییر کارایی و تغییر فناوری تحت DEAی خوش‌بینانه در مقایسه با مدل‌های (٣) تا (٦) به دست داده است. MPI، EC و TC بدبینانه نیز پایین‌تر از مدل‌های بدبینانه‌ی (١٤) تا (١٧) است.

جدول ٦. MPI بر مبنای DEAی خوش‌بینانه برای صنعت حمل‌ونقل طی سال‌های ١٣٩٣ تا ١٣٩٦

DMU	۱۳۹۳–۱۳۹۴			۱۳۹۴–۱۳۹۵			۱۳۹۵–۱۳۹۶			متوسط		
	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC
البرز	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
اردبیل	۰,٦٥٥٥	۰,٦٤٣٨	۱,۰۱۸۱	۱,۱۱٦٥	۱,۱۳٦۹	۰,۹۸۲۱	۰,۹٥٦۳	۱,۰٥٦٥	۰,۹۰٥۲	۰,۸۸۷۹	۰,۹۱۷۹	۰,۹٦۷۳
آذربایجان غربی	۱,۳۱٤٤	۱,۱۷٤٦	۱,۱۱۹۰	۰,۹٦۰۷	۱,۱۱٦٥	۰,۸٦۰٥	۰,۷۳۰۲	۰,۸۰۰۸	۰,۹۱۱۹	۰,۹۷۳۳	۱,۰۱٦٥	۰,۹٥۷٦
آذربایجان شرقی	۰,۹۹۱۰	۰,۹۳٥٤	۱,۰٥۹٤	۱,۰۸۲۷	۱,۱۹٥۳	۰,۹۰٥۸	۰,۹٦۰٤	۱,۱۹۹۷	۰,۸۰۰٥	۱,۰۱۰۱	۱,۱۰۲۸	۰,۹۱٥۸
بوشهر	۱,۰۰۷۱	۱,۰۱٤۳	۰,۹۹۲۹	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹٦٤	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹٦٤	۱,۰۰۱۲	۱,۰۰٤۷	۰,۹۹٦٤
چهارمحال و بختیاری	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
فارس	۰,۷۱۸٦	۰,۷٦۸۳	۰,۹۳٥۳	۰,۸٥۹۳	۰,۹۸۱۳	۰,۸۷٥۷	۰,۸٥۸٦	۱,۳۳۰۹	۰,٦٤٥۱	۰,۸۰۹٤	۱,۰۰۱۱	۰,۸۰۸٤
گیلان	۰,۹٤٤٦	۰,۸۸۹٥	۱,۰٦۲۰	۰,۸۸۷٥	۱,۰۰٤۹	۰,۸۸۳۲	۱,۰۰۰۲	۱,۰۲٤۸	۰,۹۷٦۰	۰,۹٤۳۰	۰,۹۷۱۲	۰,۹۷۱۰
گلستان	۱,۰۱٦۸	۰,۹۹۲۳	۱,۰۲٤۷	۱,۱٥۱۱	۱,۰۷۲٥	۱,۰۷۳۳	۱,۰۲۷٥	۱,۲۲۳۷	۰,۸۳۹۷	۱,۰٦۳٤	۱,۰۹۲۰	۰,۹۷۳۸
همدان	۰,۹۱۱٤	۱,۰۲۱۱	۰,۸۹۲٦	۱,۰٥۱۹	۱,۰۳۰٥	۱,۰۲۰۸	۰,۸۲۷۰	۱,۱٦۰٤	۰,۷۱۲۷	۰,۹۲٥٥	۱,۰٦۸۸	۰,۸٦٦۰
هرمزگان	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
ایلام	۱,۰۳۹۹	۱,۰۰۰۰	۱,۰۳۹۹	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۱۳۱	۱,۰۰۰۰	۱,۰۱۳۱
اصفهان	۰,۸۲۸۰	۰,۸۹۷۳	۰,۹۲۲۸	۰,۸۸٥٥	۰,۸٤٦٥	۱,۰٤٦۱	۰,۹٤۳۹	۱,۳۱٦٦	۰,۷۱٦۹	۰,۸۸٤٥	۱,۰۰۰۰	۰,۸۸٤٥
کرمان	۰,٦۸۸٥	۰,۷۳۷٥	۰,۹۳۳٦	۱,۲٥۹٦	۱,۱۸٦۳	۱,۰٦۱۸	۰,۸۸٦۱	۰,۹٦۳۹	۰,۹۱۹۳	۰,۹۱٦۰	۰,۹٤٤۸	۰,۹٦۹٥
کرمانشاه	۱,۸۲۲۲	۱,۷۳۸۲	۱,۰٤۸۳	۰,۷٤٤۲	۰,۸۳۸۳	۰,۸۸۷۷	۰,٦٤٤۱	۰,۷۷٥٥	۰,۸۳۰٦	۰,۹٥٥۹	۱,۰٤۱٦	۰,۹۱۷۷
خراسان جنوبی	۰,۸۰۰٥	۰,۸۰۳۰	۰,۹۹٦۹	۱,۰۳۳٦	۱,۰٤۱۸	۰,۹۹۲۱	۰,۹٥٤۹	۱,۰۸۰۱	۰,۸۸٤۱	۰,۹۲٤٥	۰,۹٦٦۸	۰,۹٥٦۲
خراسان رضوی	۰,۷٥۹۸	۰,۷۰٥۷	۱,۰۷٦٦	۱,۲٥۳۰	۱,٤۲۲۳	۰,۸۸۱۰	۰,۸۳٤٤	۰,۸۷٥۷	۰,۹٥۲۸	۰,۹۲٦۱	۰,۹٥۷۹	۰,۹٦٦۸
خراسان شمالی	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۳۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۳۰	۰,۹۹٤۳	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹٤۳
خوزستان	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
کهگیلویه و بویراحمد	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
کردستان	۰,۸٦٦۳	۰,۸٦۲۱	۱,۰۰٤۹	۱,۱۷٥۸	۱,۱۹۰۹	۰,۹۸۷۳	۱,۰٤۱۹	۱,۲۷۰٦	۰,۸۲۰۰	۱,۰۲۰۰	۱,۰۹۲٦	۰,۹۳۳٥
لرستان	۰,۸۸٤۲	۰,۸۲۲٥	۱,۰۷٥۰	۰,۹۹٦۹	۱,۲۷٦۰	۰,۷۸۱۳	۰,۸۷٦۰	۱,۱٤٦٦	۰,۷٦٤۰	۰,۹۱۷٤	۱,۰٦۳۷	۰,۸٦۲٥
مرکزی	۰,۹۰۱٥	۰,۹۷٥۸	۰,۹۲۳۹	۱,۰۰۳۰	۱,۰۲٤۸	۰,۹۷۸۷	۰,۹٦۲٥	۱,۰۰۰۰	۰,۹٦۲٥	۰,۹٥٤۷	۱,۰۰۰۰	۰,۹٥٤۸
مازندران	۰,٦۹۲۲	۰,٦۷۲٥	۱,۰۳۲٦	۱,۱۱۲٥	۱,۰۳۲٦	۰,۹۲۸۲	۰,۹۰٥۱	۱,۲۰۳٤	۰,۷٥۲۱	۰,۸٦٤۹	۰,۹٦٥٦	۰,۸۹٥۷
قزوین	۰,۹۳٤۷	۱,۰۳٤۳	۰,۹۰۳۷	۱,۰۲۳۸	۰,۹۷۷۷	۱,۰٤۷۲	۰,۸٤۹٦	۱,۰٦٤۸	۰,۷۹۷۹	۰,۹۳۳۳	۱,۰۲٥۰	۰,۹۱۰٦
قم	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
سمنان	۱,۰۱٤۷	۱,۰٦۰۳	۰,۹٥۷۰	۱,۰۰٤٥	۱,۰۰۸۹	۰,۹۹٥٦	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰٦٤	۱,۰۲۲۷	۰,۹۸٤۰
سیستان و بلوچستان	۰,۷۸٤۷	۰,۷۰۱٤	۱,۱۱۸۸	۱,۱۳۸٦	۱,۲۲۹۲	۰,۹۲٦۳	۱,۰۰٥۷	۱,۱۱۳٦	۰,۹۰۳۱	۰,۹٦٥۰	۰,۹۸٦٥	۰,۹۷۸۲
تهران	۰,۸۲۰۲	۱,۰۰۰۰	۰,۸۲۰۲	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۳٦۱	۱,۰۰۰۰	۰,۹۳٦۱
یزد	۰,۹۸۱٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۱٦	۱,۰۰٤٦	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰٤٦	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹٥٤	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹٥٤
زنجان	۰,۷۹٦٥	۰,۹۲۸٥	۰,۸٥۷۸	۰,۹٤٥۷	۰,۹۸۲٥	۰,۹٦۲٥	۰,۸٦٥٤	۱,۰٤۳٥	۰,۸۲۹۳	۰,۸٦۷۱	۰,۹۸۳۷	۰,۸۸۱٤

جدول ۷. بر مبنای DEAی بدبینانه برای صنعت حمل‌ونقل طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶

DMU	۱۳۹۳–۱۳۹۴			۱۳۹۴–۱۳۹۵			۱۳۹۵–۱۳۹۶			متوسط		
	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC
البرز	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
اردبیل	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
آذربایجان غربی	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
آذربایجان شرقی	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۸۸	۱,۰۸۷۵	۰,۹۲۷۶	۱,۰۰۲۹	۱,۰۲۸٤	۰,۹۷۵۳
بوشهر	۱,۱۹٦۱	۱,۳۵۲۸	۰,۸۸٤۲	۱,۱۰۱۹	۱,۱۰۷۱	۰,۹۹۵۳	۰,٦٦۷۹	۰,۷۵٦۹	۰,۸۸۲٤	۰,۹۵۸٤	۱,۰٤۲۷	۰,۹۱۹۲
چهارمحال و بختیاری	۱,۱۹۷۵	۱,۱۵۳۸	۱,۰۳۷۹	۱,۰۱۸۳	۰,۸٤۱٤	۱,۲۱۰۲	۰,۹۵٤۷	۰,۸۲۰۵	۱,۱٦۳۵	۱,۰۵۲۰	۰,۹۲۷۰	۱,۱۳٤۸
فارس	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
گیلان	۰,۹۸۵۱	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۵۱	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۵۷	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۵۷	۰,۹۹۳٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۳٦
گلستان	۰,۹۳۳٦	۰,۹۹۸۷	۰,۹۳٤۸	۰,۹۷۷۰	۰,۹٤۱۵	۱,۰۳۷۷	۰,۸۲۹۱	۰,۸۳۹۸	۰,۹۸۷۳	۰,۹۱۱۱	۰,۹۲٤۳	۰,۹۸۵۷
همدان	۰,۹۱٦۳	۰,۹۹۰۸	۰,۹۲٤۸	۰,۹۵۸۰	۰,۹٤۱۸	۱,۰۱۷۲	۰,۹۲۹۱	۰,۹٦۵۹	۰,۹٦۱۹	۰,۹۳٤۳	۰,۹٦٦۰	۰,۹٦۷۲
هرمزگان	۱,۹۵۰٦	۲,۱۰۵۸	۰,۹۲٦۳	۰,۹۲۰۳	۰,۸۹۱۱	۱,۰۳۲۸	۰,٦۵۸۲	۰,۷۰۸٦	۰,۹۲۸۹	۱,۰۵۷۲	۱,۰۹۹٦	۰,۹٦۱٤
ایلام	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۵۰٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۵۰٦	۰,۹۸۳۳	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۳۳
اصفهان	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
کرمان	۰,۸۲۲۹	۰,۸۷۱۱	۰,۹٤٤۷	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۳۷۱	۰,۹۵۵۰	۰,۹۸۱۲
کرمانشاه	۱,۰۰۹۱	۱,۰۱۸۳	۰,۹۹۱۰	۰,۹۸۲۰	۰,۹۹۰۹	۱,۰۰۹۱	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
خراسان جنوبی	۰,۹۵۸٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۵۸٦	۰,۹۹۰۷	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۰۷	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۲۹	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۲۹
خراسان رضوی	۰,۷۸۱۷	۰,۸۰۵۳	۰,۹۷۰۷	۰,۹٦۷۵	۱,۰۰۲۷	۰,۹٦٤۹	۰,۸۷۱۲	۰,۹۹۷۳	۰,۸۷۳٦	۰,۸۷۰۲	۰,۹۳۰٤	۰,۹۳۵۳
خراسان شمالی	۱,۰۰۰٤	۱,۱۲۸۰	۰,۸۸٦۹	۰,۹٦۸۹	۱,۰۱۲۷	۰,۹۵٦۷	۰,۸٤۸٤	۰,۷۸۸۷	۰,۹٦۵۵	۰,۹۳٦۹	۱,۰۰۱۳	۰,۹۳۵۷
خوزستان	۱,۰۷۹۷	۱,٤۵۵۵	۰,۷٤۱۸	۰,۷۸٦۸	۰,۸۸٤۱	۰,۸۸۹۹	۰,۸۱۱٤	۰,۷۷۷۱	۱,۰٤٤۲	۰,۸۸۳٤	۱,۰۰۰۰	۰,۸۸۳٤
کهگیلویه و بویراحمد	۰,۹٦۲۷	۱,۰۰۰۰	۰,۹٦۲۷	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۷٤	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۷٤
کردستان	۰,۸۸۸۷	۰,۹۹٤۰	۰,۸۹٤۱	۱,۱۳۸۲	۱,۲۷۳۲	۰,۸۹٤۰	۰,۹۰٤۲	۰,۹۷۷۲	۰,۹۲۵۳	۰,۹۷۰۷	۱,۰۷۳٤	۰,۹۰٤۳
لرستان	۱,۰۷۰۸	۱,۰۳۷۱	۱,۰۳۲۵	۱,۱۱٦۲	۰,۹۵٤۵	۱,۱٦۹٤	۱,۱۲۵۲	۱,۰۰۷۵	۱,۱۱٦۸	۱,۱۰۳۸	۰,۹۹۹۱	۱,۱۰٤۸
مرکزی	۰,۹۹۵۹	۰,۹۹۱۸	۱,۰۰٤۱	۰,۹۸۲۵	۰,۹٦۵۳	۱,۰۱۷۸	۰,۹۸۷۷	۱,۰۰۸۸	۰,۹۷۹۱	۰,۹۸۸۷	۰,۹۸۸۵	۱,۰۰۰۲
مازندران	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۱٤	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۱٤	۰,۹۹۷۱	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۷۱
قزوین	۰,۸۵۵٦	۰,۸۵۱۳	۱,۰۰۵۱	۰,۹۵۷٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۵۷٦	۱,۰۳۳٦	۱,۰٤۳۳	۰,۹۹۰۷	۰,۹٤٦۱	۰,۹٦۱۲	۰,۹۸٤۳
قم	۰,۷۳٦۳	۰,۸۱۷٤	۰,۹۰۰۸	۰,۸۸٦۵	۱,۰۳۸۰	۰,۸۵٤۰	۰,٦۹٤۵	۰,۷۵۹۰	۰,۹۱۵۰	۰,۷٦۸۲	۰,۸٦۳٦	۰,۸۸۹۵
سمنان	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۵۰۹	۱,۰۰۰۰	۰,۹۵۰۹	۰,۹۸۳٤	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۳٤
سیستان و بلوچستان	۰,۹۲۱٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۲۱٦	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۳۲	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۳۲
تهران	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
یزد	۰,۹۷٦٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷٦٦	۰,۹۳۹۲	۱,۰۰۰۰	۰,۹۳۹۲	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۱٦	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۱٦
زنجان	۰,۷۳۹۳	۰,۷۸۳۸	۰,۹٤۳۲	۱,۰۲۱۰	۱,۰۲۱۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۸۳	۱,۰۰۱۲	۱,۰۷۷۱	۰,۹۰۳۹	۰,۹۲۸۸	۰,۹۷۳۲

جدول ۸. MPI بر مبنای تحلیل مرز دوگانه برای صنعت حمل‌ونقل طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶

DMU	۱۳۹۳–۱۳۹۴			۱۳۹۴–۱۳۹۵			۱۳۹۵–۱۳۹۶			متوسط		
	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC
البرز	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰
اردبیل	۰,۸۰۹۶	۰,۸۰۲۴	۱,۰۰۹۰	۰,۹۹۱۰	۱,۰۶۶۳	۱,۰۵۶۶	۰,۹۷۷۹	۱,۰۲۷۹	۰,۹۵۱۴	۰,۹۴۲۲	۰,۹۵۸۱	۰,۹۸۳۵
آذربایجان غربی	۱,۱۴۶۵	۱,۰۸۳۸	۱,۰۵۷۸	۰,۹۲۷۶	۱,۰۵۶۶	۰,۹۸۰۲	۰,۸۵۴۵	۰,۸۹۴۹	۰,۹۵۴۹	۰,۹۸۶۶	۱,۰۰۸۲	۰,۹۷۸۵
آذربایجان شرقی	۰,۹۹۵۵	۰,۹۶۷۲	۱,۰۲۹۳	۰,۹۵۱۷	۱,۰۹۳۳	۱,۰۴۰۵	۰,۹۸۴۳	۱,۱۴۲۲	۰,۸۶۱۷	۱,۰۰۶۵	۱,۰۶۵۰	۰,۹۴۵۱
بوشهر	۱,۰۹۷۵	۱,۱۷۱۴	۰,۹۳۷۰	۰,۹۹۷۶	۱,۰۵۲۲	۱,۰۴۹۷	۰,۸۱۵۸	۰,۸۷۰۰	۰,۹۳۷۷	۰,۹۷۹۵	۱,۰۲۳۵	۰,۹۵۷۰
چهارمحال و بختیاری	۱,۰۹۴۳	۱,۰۷۴۲	۱,۰۱۸۸	۱,۱۰۰۱	۰,۹۱۷۳	۱,۰۰۹۱	۰,۹۷۷۱	۰,۹۰۵۸	۱,۰۷۸۷	۱,۰۲۵۷	۰,۹۶۲۸	۱,۰۶۵۳
فارس	۰,۸۴۷۷	۰,۸۷۶۵	۰,۹۶۷۱	۰,۹۳۵۸	۰,۹۹۰۶	۰,۹۲۷۰	۰,۹۲۶۶	۱,۱۵۳۶	۰,۸۰۳۲	۰,۸۹۹۶	۱,۰۰۰۵	۰,۸۹۹۱
گیلان	۰,۹۶۴۶	۰,۹۴۳۱	۱,۰۲۲۸	۰,۹۳۹۸	۱,۰۰۲۴	۰,۹۴۲۱	۰,۹۹۷۹	۱,۰۱۲۳	۰,۹۸۵۸	۰,۹۶۷۹	۰,۹۸۵۵	۰,۹۸۲۲
گلستان	۰,۹۷۴۳	۰,۹۹۵۵	۰,۹۷۸۷	۱,۰۵۵۳	۱,۰۰۴۹	۱,۰۶۰۵	۰,۹۲۳۰	۱,۰۱۳۷	۰,۹۱۰۵	۰,۹۸۴۳	۱,۰۰۴۷	۰,۹۷۹۷
همدان	۰,۹۱۳۸	۱,۰۰۵۸	۰,۹۰۸۶	۰,۱۰۱۹۰	۰,۹۸۵۲	۱,۰۰۳۹	۰,۸۷۶۶	۱,۰۵۸۷	۰,۸۲۸۰	۰,۹۲۹۹	۱,۰۱۶۱	۰,۹۱۵۲
هرمزگان	۱,۳۹۶۶	۱,۴۵۱۱	۰,۹۶۲۴	۱,۰۱۶۳	۰,۹۴۴۰	۰,۹۵۹۳	۰,۸۱۱۳	۰,۸۴۱۸	۰,۹۶۳۸	۱,۰۲۸۲	۱,۰۴۸۶	۰,۹۸۰۵
ایلام	۱,۰۱۹۸	۱,۰۰۰۰	۱,۰۱۹۸	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۵۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۵۰	۰,۹۹۸۱	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۸۱
اصفهان	۰,۹۰۹۹	۰,۹۴۷۳	۰,۹۶۰۶	۱,۰۲۲۸	۰,۹۲۰۱	۰,۹۴۱۰	۰,۹۷۱۵	۱,۱۴۷۴	۰,۸۴۶۷	۰,۹۴۰۵	۱,۰۰۰۰	۰,۹۴۰۵
کرمان	۰,۷۵۲۷	۰,۸۰۱۵	۰,۹۳۹۱	۱,۰۳۰۴	۱,۰۸۹۲	۱,۱۲۲۳	۰,۹۴۱۳	۰,۹۸۱۸	۰,۹۵۸۸	۰,۹۲۶۴	۰,۹۴۹۹	۰,۹۷۵۳
کرمانشاه	۱,۳۵۶۰	۱,۳۳۰۴	۱,۰۱۹۲	۰,۹۴۶۵	۰,۹۰۷۳	۰,۸۵۸۷	۰,۸۰۲۶	۰,۸۸۰۶	۰,۹۱۱۴	۰,۹۷۷۷	۱,۰۲۰۶	۰,۹۵۸۰
خراسان جنوبی	۰,۸۷۶۰	۰,۸۹۶۱	۰,۹۷۷۶	۰,۹۹۱۴	۱,۰۲۰۷	۱,۰۱۱۹	۰,۹۷۷۲	۱,۰۳۹۳	۰,۹۴۰۳	۰,۹۵۳۳	۰,۹۸۳۳	۰,۹۶۹۵
خراسان رضوی	۰,۷۷۰۷	۰,۷۵۳۹	۱,۰۲۲۳	۰,۹۲۲۰	۱,۱۹۴۲	۱,۱۰۱۰	۰,۸۵۲۶	۰,۹۳۴۵	۰,۹۱۲۳	۰,۸۹۷۷	۰,۹۴۴۰	۰,۹۵۰۹
خراسان شمالی	۱,۰۰۰۲	۱,۰۶۲۱	۰,۹۴۱۸	۰,۹۷۸۱	۱,۰۰۶۳	۰,۹۸۴۳	۰,۹۱۳۲	۰,۹۳۷۴	۰,۹۷۴۲	۰,۹۶۵۱	۱,۰۰۰۶	۰,۹۶۴۶
خوزستان	۱,۰۳۹۱	۱,۲۰۶۴	۰,۸۶۱۳	۰,۹۴۳۳	۰,۹۴۰۳	۰,۸۸۷۰	۰,۹۰۰۸	۰,۸۸۱۵	۱,۰۲۱۹	۰,۹۳۹۹	۱,۰۰۰۰	۰,۹۳۹۹
کهگیلویه و بویراحمد	۰,۹۸۱۲	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۱۲	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۳۷	۱,۰۰۰۰	۰,۹۹۳۷
کردستان	۰,۸۷۷۴	۰,۹۲۵۷	۰,۹۴۷۹	۰,۹۳۹۵	۱,۲۳۱۴	۱,۱۵۶۸	۰,۹۷۰۶	۱,۱۱۴۳	۰,۸۷۱۱	۰,۹۹۵۰	۱,۰۸۳۰	۰,۹۱۸۸
لرستان	۰,۹۷۳۰	۰,۹۲۳۶	۱,۰۵۳۵	۰,۹۵۵۹	۱,۱۰۳۶	۱,۰۵۴۹	۰,۹۹۲۸	۱,۰۷۴۸	۰,۹۲۳۷	۱,۰۰۶۳	۱,۰۳۰۹	۰,۹۷۶۲
مرکزی	۰,۹۴۷۵	۰,۹۸۳۸	۰,۹۶۳۲	۰,۹۹۸۱	۰,۹۹۴۶	۰,۹۹۲۷	۰,۹۷۵۰	۱,۰۰۴۴	۰,۹۷۰۸	۰,۹۷۱۶	۰,۹۹۴۲	۰,۹۷۷۳
مازندران	۰,۸۳۲۰	۰,۸۲۰۱	۱,۰۱۴۵	۰,۹۶۳۴	۱,۰۵۴۸	۱,۰۱۶۲	۰,۹۴۷۳	۱,۰۹۷۰	۰,۸۶۳۵	۰,۹۲۸۷	۰,۹۸۲۷	۰,۹۴۵۰
قزوین	۰,۸۹۴۳	۰,۹۳۸۳	۰,۹۵۳۱	۱,۰۰۱۴	۰,۹۸۸۸	۰,۹۹۰۱	۰,۹۳۷۱	۱,۰۵۴۰	۰,۸۸۹۱	۰,۹۳۹۷	۰,۹۹۲۶	۰,۹۴۶۷
قم	۰,۸۵۸۱	۰,۹۰۴۱	۰,۹۴۹۱	۰,۹۲۴۱	۱,۰۱۸۸	۰,۹۴۱۵	۰,۸۳۳۴	۰,۸۷۱۲	۰,۹۵۶۶	۰,۸۷۶۵	۰,۹۲۹۳	۰,۹۴۳۲
سمنان	۱,۰۰۷۳	۱,۰۲۹۷	۰,۹۷۸۳	۰,۹۹۷۸	۱,۰۰۴۴	۱,۰۰۲۲	۰,۹۷۵۱	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۵۱	۰,۹۹۴۸	۱,۰۱۱۳	۰,۹۸۳۷
سیستان و بلوچستان	۰,۸۵۰۴	۰,۸۳۷۵	۱,۰۱۵۴	۰,۹۶۲۴	۱,۱۰۸۷	۱,۰۶۷۱	۱,۰۰۲۸	۱,۰۵۵۳	۰,۹۵۰۳	۰,۹۶۹۱	۰,۹۹۳۲	۰,۹۷۵۶
تهران	۰,۹۰۵۶	۱,۰۰۰۰	۰,۹۰۵۶	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۶۷۵	۱,۰۰۰۰	۰,۹۶۷۵
یزد	۰,۹۷۹۱	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۹۱	۰,۹۷۱۳	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۱۳	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۳۴	۱,۰۰۰۰	۰,۹۸۳۴
زنجان	۰,۷۶۷۴	۰,۸۵۳۱	۰,۸۹۹۵	۰,۹۸۲۶	۱,۰۰۱۶	۰,۹۸۱۱	۰,۹۲۰۱	۱,۰۲۲۱	۰,۹۰۰۲	۰,۸۸۵۳	۰,۹۵۵۹	۰,۹۲۶۲

تغییرات کارایی زیست‌محیطی و نوآوری سازگار با محیط زیست DMUها با استفاده از مدل‌های CSW برای MPI در جدول‌های ۹ تا ۱۱ نشان داده شده‌اند. یافته‌های جدول ۹ نشان می‌دهد که کارایی زیست‌محیطی و نوآوری سازگار با محیط زیست از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ حرکت همواری نداشته است. گرچه روند اصلی از سال ۱۳۹۴–۱۳۹۳ به‌صورت کاهش بهره‌وری است، ولی چهار استان فارس، اصفهان، مازندران و قزوین در این مدت بهبود بهره‌وری را نشان می‌دهند. علت این بهبود در اصفهان، تعطیلی دو ژنراتور برق با سوخت‌های فسیلی است که منجر به انتشار کمتر دی‌اکسید کربن شده است. با این حال، بهره‌وری صنعت حمل‌ونقل از سال ۱۳۹۵–۱۳۹۴ به‌طور کلی افزایش یافته است، که به خاطر توسعه‌ی زیرساختی برای حرکت روزانه‌ی ۶۰۰۰ کامیون است. بهره‌وری پنج استان (اصفهان، مازندران، قزوین، قم و تهران) در سال ۱۳۹۵–۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۴–۱۳۹۳ کاهشی بوده است. مقادیر متوسط MPI و EC خوش‌بینانه نشان می‌دهد که بهره‌وری گیلان، اصفهان و سمنان از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ بهبود یافته است، ولی DMUهای دیگر نتوانسته‌اند بهبود ایجاد کنند و حتی عملکرد آن‌ها کاهش نیز یافته است. گرچه ایران سعی می‌کند ناوگان حمل‌ونقل را از طریق سرمایه‌گذاری‌های

زیرساخت در این صنعت نوسازی کند، ولی تحریم‌های اقتصادی آمریکا و اتحادیه‌ی اروپا علیه ایران واردات فناوری‌های جدید به کشور را با مشکل مواجه ساخته است. سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کارایی حمل‌ونقل جاده‌ای (مسافری و باری) را از طریق مدیریت سیستماتیک جاده‌ها و پل‌ها، تعیین نقاط حادثه‌خیز، نوسازی ناوگان حمل‌ونقل باری با استفاده از کامیون‌های ساخت داخل و بهینه‌سازی مصرف سوخت از طریق پایش عملکرد کامیون‌های فعال بهبود داده است.

جدول ۹. MPI بر مبنای DEAی خوش‌بینانه برای صنعت حمل‌ونقل طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶

DMU	۱۳۹۳-۱۳۹۴			۱۳۹۴-۱۳۹۵			۱۳۹۵-۱۳۹۶			متوسط		
	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC
البرز	۰,۹۲۵۱	۱,۰۳۲۲	۰,۸۹۶۲	۱,۲۳۹۲	۱,۱۶۰۸	۱,۰۶۷۵	۰,۱٤۵۰	۰,۱٤۶۰	۰,۹۹۲۹	۰,۵٤۹۸	۰,۵۵۹۳	۰,۹۸۳۰
اردبیل	۰,۸۷۸۲	۰,۹۷۹۹	۰,۸۹۶۲	۱,۰۹۶۵	۱,۰۲۷۲	۱,۰۶۷۵	۰,۹۱۷۸	۰,۹۲٤٤	۰,۹۹۲۹	۰,۹۵۹۷	۰,۹۷۶۳	۰,۹۸۳۰
آذربایجان غربی	۰,۸۷۵۳	۰,۹۷۶۷	۰,۸۹۶۲	۱,۰۳۵۷	۰,۹۷۰۲	۱,۰۶۷۵	۰,۸۰۰۸	۰,۸۰۶۵	۰,۹۹۲۹	۰,۸۹۸۷	۰,۹۱٤۳	۰,۹۸۳۰
آذربایجان شرقی	۰,۸۸۱۶	۰,۹۸۳۷	۰,۸۹۶۲	۱,۲۰۹۶	۱,۱۳۳۱	۱,۰۶۷۵	۰,۷۷۰۷	۰,۷۷۶۲	۰,۹۹۲۹	۰,۹۳۶۷	۰,۹۵۲۹	۰,۹۸۳۰
بوشهر	۰,۹۲۶۹	۱,۰۳٤۲	۰,۸۹۶۲	۰,۹۹۸۸	۰,۹۳۵۶	۱,۰۶۷۵	۰,۶۳۶۶	۰,۶٤۱۲	۰,۹۹۲۹	۰,۸۳۸٤	۰,۸۵۲۹	۰,۹۸۳۰
چهارمحال و بختیاری	۰,۸۷۸۲	۰,۹۷۹۹	۰,۸۹۶۲	۱,۰۷۲۰	۱,۰۰٤۲	۱,۰۶۷۵	۰,۵۰۷۷	۰,۵۱۱۳	۰,۹۹۲۹	۰,۷۸۱۹	۰,۷۹۵٤	۰,۹۸۳۰
فارس	۱,۱۱۰۳	۱,۲۳۸۹	۰,۸۹۶۲	۱,۱۹۰۶	۱,۱۱۵۳	۱,۰۶۷۵	۰,۶۷۵۹	۰,۶۸۰۷	۰,۹۹۲۹	۰,۹۶۳۲	۰,۹۷۹۸	۰,۹۸۳۰
گیلان	۰,۹۷۶۶	۱,۰۸۹۷	۰,۸۹۶۲	۱,۰۵۹۳	۰,۹۹۲۳	۱,۰۶۷۵	۱,۱۰۸۸	۱,۱۱۶۷	۰,۹۹۲۹	۱,۰٤۶۸	۱,۰۶٤۹	۰,۹۸۳۰
گلستان	۰,۸۷۸۲	۰,۹۷۹۹	۰,۸۹۶۲	۱,۰۹۱٤	۱,۰۲۲٤	۱,۰۶۷۵	۰,۷٤۹۹	۰,۷۵۵۳	۰,۹۹۲۹	۰,۸۹۵۸	۰,۹۱۱۳	۰,۹۸۳۰
همدان	۰,۹٤۶۹	۱,۰۵۶۶	۰,۸۹۶۲	۱,۰۸۳۳	۱,۰۱٤۸	۱,۰۶۷۵	۰,۷۶۱۵	۰,۷۶۶۹	۰,۹۹۲۹	۰,۹۲۱۰	۰,۹۳۶۹	۰,۹۸۳۰
هرمزگان	۰,۸٤۰۶	۰,۹۳۸۰	۰,۸۹۶۲	۱,۱۲۱۸	۱,۰۵۰۹	۱,۰۶۷۵	۰,٤۷۲۲	۰,٤۷۵۶	۰,۹۹۲۹	۰,۷۶۳۶	۰,۷۷۶۸	۰,۹۸۳۰
ایلام	۰,۹۲۳۶	۱,۰۳۰۶	۰,۸۹۶۲	۱,۰۶٤۶	۰,۹۹۷۳	۱,۰۶۷۵	۰,۷۹۷۹	۰,۸۰۳۶	۰,۹۹۲۹	۰,۹۲۲۳	۰,۹۳۸۳	۰,۹۸۳۰
اصفهان	۱,۱٤۰۰	۱,۲۷۲۰	۰,۸۹۶۲	۱,۰۶۶۳	۰,۹۹۸۹	۱,۰۶۷۵	۰,۸۲۷۱	۰,۸۳۳۰	۰,۹۹۲۹	۱,۰۰۱۸	۱,۰۱۹۱	۰,۹۸۳۰
کرمان	۰,۶۹۰۹	۰,۷۷۰۹	۰,۸۹۶۲	۰,۹۷٤۷	۰,۹۱۳۱	۱,۰۶۷۵	۰,۵٤۵۰	۰,۵٤۸۹	۰,۹۹۲۹	۰,۷۱۶۰	۰,۷۲۸۳	۰,۹۸۳۰
کرمانشاه	۰,۹٤۶۶	۱,۰۵۶۲	۰,۸۹۶۲	۰,۹۹۰۳	۰,۹۲۷۷	۱,۰۶۷۵	۰,۷۷۸۷	۰,۷۸٤۳	۰,۹۹۲۹	۰,۹۰۰٤	۰,۹۱۶۰	۰,۹۸۳۰
خراسان جنوبی	۰,۹۳٤۲	۱,۰٤۲٤	۰,۸۹۶۲	۰,۹۹۰۹	۰,۹۲۸۲	۱,۰۶۷۵	۰,۶۹۳۷	۰,۶۹۸۷	۰,۹۹۲۹	۰,۸۶۲۷	۰,۸۷۷۷	۰,۹۸۳۰
خراسان رضوی	۰,۹۶۵۸	۱,۰۷۷۷	۰,۸۹۶۲	۰,۹۷۷۰	۰,۹۱۵۲	۱,۰۶۷۵	۰,۷۸۲۷	۰,۷۸۸۳	۰,۹۹۲۹	۰,۹۰۳۹	۰,۹۱۹۵	۰,۹۸۳۰
خراسان شمالی	۰,۸۶۹۶	۰,۹۷۰۳	۰,۸۹۶۲	۱,۰۶۰۵	۰,۹۹۳٤	۱,۰۶۷۵	۰,۶۵۷۷	۰,۶۶۲٤	۰,۹۹۲۹	۰,۸٤۶۵	۰,۸۶۱۱	۰,۹۸۳۰
خوزستان	۰,۸۹۶۲	۱,۰۰۰۰	۰,۸۹۶۲	۱,۰۰۳۸	۰,۹٤۰۳	۱,۰۶۷۵	۰,۷٤۰۵	۰,۷٤۵۸	۰,۹۹۲۹	۰,۸۷۳٤	۰,۸۸۸٤	۰,۹۸۳۰
کهگیلویه و بویراحمد	۰,۹۲۳۹	۱,۰۳۰۹	۰,۸۹۶۲	۱,۰۲۶۱	۰,۹۶۱۲	۱,۰۶۷۵	۰,۷۹۵۶	۰,۸۰۱۳	۰,۹۹۲۹	۰,۹۱۰۳	۰,۹۲۶۰	۰,۹۸۳۰
کردستان	۰,۹۱۳۹	۱,۰۱۹۸	۰,۸۹۶۲	۱,۰۶۹۱	۱,۰۰۱۵	۱,۰۶۷۵	۰,۶۹۵۳	۰,۷۰۰۳	۰,۹۹۲۹	۰,۸۷۹۱	۰,۸۹٤۳	۰,۹۸۳۰
لرستان	۰,۸٤۳٤	۰,۹٤۱۱	۰,۸۹۶۲	۱,۱۸٤۰	۱,۱۰۹۱	۱,۰۶۷۵	۰,۶۷۲۰	۰,۶۷۶۸	۰,۹۹۲۹	۰,۸۷۵۵	۰,۸۹۰۶	۰,۹۸۳۰
مرکزی	۰,۹٤۸۶	۱,۰۵۸۵	۰,۸۹۶۲	۱,۰۹۱۸	۱,۰۲۲۸	۱,۰۶۷۵	۰,۷٤۳۷	۰,۷٤۹۰	۰,۹۹۲۹	۰,۹۱۶۷	۰,۹۳۲۵	۰,۹۸۳۰
مازندران	۱,۰۵۳۸	۱,۱۷۵۹	۰,۸۹۶۲	۰,۸۹۱۵	۰,۸۳۵۱	۱,۰۶۷۵	۰,۷۵۷۷	۰,۷۶۳۱	۰,۹۹۲۹	۰,۸۹۲۹	۰,۹۰۸۳	۰,۹۸۳۰
قزوین	۱,۰۲۵۸	۱,۱٤٤۶	۰,۸۹۶۲	۱,۰۰۶۵	۰,۹٤۲۹	۱,۰۶۷۵	۰,۶۹۵۸	۰,۷۰۰۸	۰,۹۹۲۹	۰,۸۹۵۶	۰,۹۱۱۱	۰,۹۸۳۰
قم	۰,۹۷۷۸	۱,۰۹۱۰	۰,۸۹۶۲	۰,۷۲۷۲	۰,۶۸۱۲	۱,۰۶۷۵	۰,۹۵۳۵	۰,۹۶۰۳	۰,۹۹۲۹	۰,۸۷۸۵	۰,۸۹۳۷	۰,۹۸۳۰
سمنان	۰,۹۸۲۳	۱,۰۹۶۱	۰,۸۹۶۲	۱,۱۳۵٤	۱,۰۶۳۶	۱,۰۶۷۵	۱,۵۰۳۲	۱,۵۱۳۹	۰,۹۹۲۹	۱,۱۸۸	۱,۲۰۸۵	۰,۹۸۳۰
سیستان و بلوچستان	۰,۹۲۱۰	۱,۰۲۷۷	۰,۸۹۶۲	۰,۹۷٤۱	۰,۹۱۲۵	۱,۰۶۷۵	۰,۸۲۱۲	۰,۸۲۷۱	۰,۹۹۲۹	۰,۹۰۳۲	۰,۹۱۸۸	۰,۹۸۳۰
تهران	۰,۹۱۷۶	۱,۰۲۳۹	۰,۸۹۶۲	۰,۹۰٤۳	۰,۸٤۷۱	۱,۰۶۷۵	۰,۹۰۳۸	۰,۹۱۰۳	۰,۹۹۲۹	۰,۹۰۸۵	۰,۹۲٤۳	۰,۹۸۳۰
یزد	۰,۹٤۹۲	۱,۰۵۹۱	۰,۸۹۶۲	۱,۰۹۷۶	۱,۰۲۸۲	۱,۰۶۷۵	۰,۸۶۶۶	۰,۸۷۲۸	۰,۹۹۲۹	۰,۹۶۶۵	۰,۹۸۳۲	۰,۹۸۳۰
زنجان	۰,۹۵۰۷	۱,۰۶۰۸	۰,۸۹۶۲	۱,۰۱۳٤	۰,۹٤۹۳	۱,۰۶۷۵	۰,۶۸۲٤	۰,۶۸۷۳	۰,۹۹۲۹	۰,۸۶۹۵	۰,۸۸٤۶	۰,۹۸۳۰

جدول ۱۰. MPI بر مبنای DEAی بدبینانه برای صنعت حمل‌ونقل طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶

DMU	۱۳۹۳–۱۳۹۴			۱۳۹۴–۱۳۹۵			۱۳۹۵–۱۳۹۶			متوسط		
	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC
البرز	۰,۷۲۹۶	۰,۸۵۹۵	۰,۸۴۸۹	۰,۶۸۳۸	۰,۷۷۶۹	۰,۸۸۰۲	۱,۲۳۲۶	٤,۱۱٤۱	۰,۲۹۹٦	۰,۸۵۰٤	۱,٤۰۰۵	۰,٦۰۷۲
اردبیل	۰,۵۲۰٦	۰,٦۱۳۳	۰,۸۴۸۹	۰,۷٤۳۵	۰,۸٤٤۷	۰,۸۸۰۲	۰,۵۳۵۷	۲,۸۳۱۲	۰,۱۸۹۲	۰,۵۹۱۹	۱,۱۳٦۲	۰,۵۲۰۹
آذربایجان غربی	۱,۲۷۵۷	۱,۵۰۲۸	۰,۸۴۸۹	۰,۷۸۷٦	۰,۸۹٤۸	۰,۸۸۰۲	۰,۲۳۹۳	۱,۳۸۷۸	۰,۱۷۲٤	۰,٦۲۱۸	۱,۲۳۱۲	۰,۵۰۵۰
آذربایجان شرقی	۰,۷٤۲٤	۰,۸۷٤٦	۰,۸۴۸۹	۰,۷۷۸۸	۰,۸۸٤۸	۰,۸۸۰۲	۱,۰٤۵٦	٤,۱۰۲۰	۰,۲۵٤۹	۰,۸٤۵٦	۱,٤٦۹۷	۰,۵۷۵٤
بوشهر	۱,٦۰۹۳	۱,۸۹۵۷	۰,۸۴۸۹	۰,٦۳۷۰	۰,۷۲۳۷	۰,۸۸۰۲	۰,۲۱۳٤	۱,۳۱٦۷	۰,۱٦۲۱	۰,٦۰۲۵	۱,۲۱۷۹	۰,٤۹٤۸
چهارمحال و بختیاری	۰,۸۵٤۸	۱,۰۰۷۰	۰,۸۴۸۹	۰,۷۳۵۵	۰,۸۳۵٦	۰,۸۸۰۲	۰,۳۸٦۹	۱,۲۸۷٤	۰,۳۰۰۵	۰,٦۲٤۲	۱,۰۲۷۰	۰,٦۰۷۸
فارس	۰,۵٦۱۵	۰,٦٦۱٤	۰,۸۴۸۹	۰,۷۳٦۵	۰,۸۳٦۷	۰,۸۸۰۲	۱,۰۸۰۸	۲,۷۱۵۰	۰,۳۹۸۱	۰,۷٦٤٦	۱,۱٤۵۳	۰,٦٦۷۵
گیلان	۰,۷۳۳۲	۰,۸٦۳۷	۰,۸۴۸۹	۰,۵۷۸۹	۰,۵۰۹۵	۰,۸۸۰۲	۰,٤۳۱٦	۳,۲۵۲۱	۰,۱۳۲۷	۰,۵٤٤۳	۱,۱۷۵۹	۰,٤٦۲۸
گلستان	۰,۷۱۱۰	۰,۸۳۷٦	۰,۸۴۸۹	۰,۷۵۰۵	۰,۸۵۲۷	۰,۸۸۰۲	۰,۵۰۹۳	۲,۳۳۸۲	۰,۲۱۷۸	۰,٦٤۷۷	۱,۱۸٦٤	۰,۵٤٦۰
همدان	۰,۵۹۳٤	۰,٦۹۹۰	۰,۸۴۸۹	۰,٦۷۱٦	۰,۷٦۳۰	۰,۸۸۰۲	۰,۷۸۸۹	۲,۷۳۱۵	۰,۲۸۸۸	۰,٦۸۰۰	۱,۱۳۳٦	۰,۵۹۹۸
هرمزگان	۳,٤۵۸۵	٤,۰۷٤۱	۰,۸۴۸۹	۰,۷٦٦۳	۰,۸۷۰٦	۰,۸۸۰۲	۰,۲۰٦۵	۱,۲٦۹۷	۰,۱٦۲٦	۰,۸۱۸۰	۱,٦۵۱٤	۰,٤۹۵۳
ایلام	۱,۰٦٤۹	۱,۲۵٤٤	۰,۸۴۸۹	۰,۵۰٤۹	۰,٤٤٤٤	۰,۸۸۰۲	۰,۳۷٤٦	۳,۵٤۰۲	۰,۱۰۵۸	۰,۵٦۱۸	۱,۳۰۸۸	۰,٤۲۹۲
اصفهان	۰,۵۵۰۹	۰,٦٤۹۰	۰,۸۴۸۹	۰,۷٤۱۲	۰,٦۵۲٤	۰,۸۸۰۲	۱,۷٦۲۵	٤,۸۲۸۷	۰,۳٦۵۰	۰,۸۵۸۸	۱,۳۲٤٤	۰,٦٤۸۵
کرمان	۰,۲٤۸۵	۰,۲۹۲۷	۰,۸۴۸۹	۰,۹۱۵۳	۰,۸۰۵٦	۰,۸۸۰۲	۰,٦۷٤٤	۲,٤۱۲۸	۰,۲۷۹۵	۰,۵۱۳۰	۰,۸٦٤٦	۰,۵۹۳۳
کرمانشاه	۲,٤٦۲۸	۲,۹۰۱۲	۰,۸۴۸۹	۰,٤٤٤۹	۰,۵۰۵٤	۰,۸۸۰۲	۰,۲۵۰۱	۱,۱۳۷۲	۰,۲۱۹۹	۰,٦٤۹۵	۱,۱۸۵۸	۰,۵٤۷۷
خراسان جنوبی	۰,۳۳۳۱	۰,۳۹۲٤	۰,۸۴۸۹	۰,۷٤٦۷	۰,۸٤۸۳	۰,۸۸۰۲	۰,٤٦۸۵	۳,۰۲۲۵	۰,۱۵۵۰	۰,٤۸۸٤	۱,۰۰۲۰	۰,٤۸۷٤
خراسان رضوی	۰,٤۵۳٦	۰,۵۳٤۳	۰,۸۴۸۹	۱,٦۹٦٤	۱,٤۹۳۲	۰,۸۸۰۲	۰,۳٤۹۳	۱,٤۳۵٦	۰,۲٤۳۳	۰,٦۱۸۵	۱,۰۹۱۷	۰,۵٦٦۵
خراسان شمالی	۰,٤۲۸۱	۰,۵۰٤۳	۰,۸۴۸۹	۱,۰۷۳۰	۰,۹٤٤۵	۰,۸۸۰۲	۰,٤۷۲۷	۲,۳۵۸۷	۰,۲۰۰٤	۰,۵۷٦۰	۱,۰۸٤۷	۰,۵۳۱۰
خوزستان	۰,۹۱٦۱	۱,۰۷۹۲	۰,۸۴۸۹	۰,٦۱۸۹	۰,۷۰۳۱	۰,۸۸۰۲	۰,۵۰٤۰	۲,٦۹٦۸	۰,۱۸٦۹	۰,٦۵۸۷	۱,۲٦۹٦	۰,۵۱۸۸
کهگیلویه و بویراحمد	۰,۸۳۰۲	۰,۹۷۸۰	۰,۸۴۸۹	۰,۹۰۱۳	۱,۰۲٤۰	۰,۸۸۰۲	۰,۳۱۸۳	۳,۱۵۱۳	۰,۱۰۱۰	۰,٦۱۹۹	۱,٤٦٦۸	۰,٤۲۲٦
کردستان	۰,۵٤۷٤	۰,٦٤٤۸	۰,۸۴۸۹	۱,٤۳۵۲	۱,٦۳۰۵	۰,۸۸۰۲	۰,٦۱٤٤	۳,۵٦۵۹	۰,۱۷۲۳	۰,۷۸٤٤	۱,۵۵۳۵	۰,۵۰٤۹
لرستان	۰,۷۵۳٦	۰,۸۸۷۷	۰,۸۴۸۹	۰,۹٤۰۸	۱,۰٦۸۸	۰,۸۸۰۲	۰,۵۲۳۰	۱,۸۵٦۵	۰,۲۸۱۷	۰,۷۱۸٤	۱,۲۰۷۷	۰,۵۹٤۹
مرکزی	۰,٤۸٤٦	۰,۵۷۰۸	۰,۸۴۸۹	۰,٦۹۱٦	۰,٦۰۸۷	۰,۸۸۰۲	۰,۷۵۸۰	۲,۹٦۵۵	۰,۲۵۵٦	۰,٦۰٦۹	۱,۰۵۳۹	۰,۵۷۵۹
مازندران	۰,۳۵۸۲	۰,٤۲۱۹	۰,۸۴۸۹	۱,۱۲۵۷	۰,۹۹۰۸	۰,۸۸۰۲	۰,۵۸۲۸	۲,۸۱۱٤	۰,۲۰۷۳	۰,۵۹۱٤	۱,۱۰۱۲	۰,۵۳۷۰
قزوین	۰,۳٤٤۲	۰,٤۰۵۵	۰,۸۴۸۹	۰,۸۰۹۳	۰,۷۱۲۳	۰,۸۸۰۲	۰,۸٤۱۳	۳,۲۹۷۹	۰,۲۵۵۱	۰,۵۹۰۸	۱,۰۲٦۷	۰,۵۷۵۵
قم	۰,۳۵۲۲	۰,٤۱٤۹	۰,۸۴۸۹	۰,۷۲۰۰	۰,٦۳۳۷	۰,۸۸۰۲	۰,۳۳۳۸	۲,۱۵۵۰	۰,۱۵٤۹	۰,٤۲۰۸	۰,۸٦۳۵	۰,٤۸۷۳
سمنان	۰,۸۳۲٦	۰,۹۸۰۸	۰,۸۴۸۹	۰,۹۷۵۵	۰,۸۵۸٦	۰,۸۸۰۲	۰,۲۸۰۰	۱,۸۰۰۵	۰,۱۵۵۵	۰,۵۸۵۰	۱,۱۹۸۸	۰,٤۸۸۰
سیستان و بلوچستان	۰,٤۱۵۵	۰,٤۸۹٤	۰,۸۴۸۹	۰,۷٦۲۳	۰,۸٦٦۰	۰,۸۸۰۲	۰,۳۱۲۱	۲,٦۲۷۵	۰,۱۱۸۸	۰,٤٦۲٤	۱,۰۳٦۵	۰,٤٤٦۱
تهران	۰,٤۳۰۵	۰,۵۰۷۱	۰,۸۴۸۹	۰,۷۸۸۲	۰,۸۹۵۵	۰,۸۸۰۲	۱,۷۸۲٤	٦,۲۳۲۳	۰,۲۸٦۰	۰,۸٤۵۷	۱,٤۱٤۵	۰,۵۹۷۹
یزد	۰,۵۸۵۱	۰,٦۸۹۲	۰,۸۴۸۹	۰,۷۸۲۳	۰,٦۸۸٦	۰,۸۸۰۲	۰,۹۹۷٦	۳,۷۵٦۱	۰,۲٦۵٦	۰,۷۳۸۰	۱,۲٦۵۲	۰,۵۸۳۳
زنجان	۰,۳۸٦۱	۰,٤۵٤۸	۰,۸۴۸۹	۱,۰۸٦۱	۰,۹۵٦۰	۰,۸۸۰۲	۰,۵۱۵٦	۲,۵۲۵۲	۰,۲۰٤۲	۰,۵۷۵۲	۱,۰۷٦۵	۰,۵۳٤٤

جدول ۱۱. MPI بر مبنای DEAی مرز دوگانه برای صنعت حمل‌ونقل طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶

DMU	۱۳۹۳–۱۳۹۴			۱۳۹۴–۱۳۹۵			۱۳۹۵–۱۳۹۶			متوسط		
	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC
البرز	۰,۸۲۱۶	۰,۹۴۱۹	۰,۸۷۲۲	۰,۹۲۰۵	۰,۹۴۹۶	۰,۹۶۹۳	۰,۴۲۲۸	۰,۷۷۵۰	۰,۵۴۵۴	۰,۶۸۳۸	۰,۸۸۵۰	۰,۷۷۲۶
اردبیل	۰,۶۷۶۲	۰,۷۷۵۲	۰,۸۷۲۲	۰,۹۰۲۹	۰,۹۳۱۵	۰,۹۶۹۳	۰,۷۰۱۲	۱,۶۱۷۸	۰,۴۳۳۴	۰,۷۵۳۷	۱,۰۵۳۲	۰,۷۱۵۶
آذربایجان غربی	۱,۰۵۶۷	۱,۲۱۱۵	۰,۸۷۲۲	۰,۹۰۳۲	۰,۹۳۱۷	۰,۹۶۹۳	۰,۴۳۷۸	۱,۰۵۸۰	۰,۴۱۳۷	۰,۷۴۷۶	۱,۰۶۱۰	۰,۷۰۴۶
آذربایجان شرقی	۰,۸۰۹۰	۰,۹۲۷۵	۰,۸۷۲۲	۰,۹۷۰۶	۱,۰۰۱۳	۰,۹۶۹۳	۰,۸۹۷۷	۱,۷۸۴۴	۰,۵۰۳۱	۰,۸۹۰۰	۱,۱۸۳۴	۰,۷۵۲۰
بوشهر	۱,۲۲۱۳	۱,۴۰۰۲	۰,۸۷۲۲	۰,۷۹۷۶	۰,۸۲۲۹	۰,۹۶۹۳	۰,۳۶۸۶	۰,۹۱۸۸	۰,۴۰۱۲	۰,۷۱۰۸	۱,۰۱۹۲	۰,۶۹۷۴
چهارمحال و بختیاری	۰,۸۶۶۴	۰,۹۹۳۴	۰,۸۷۲۲	۰,۸۸۸۰	۰,۹۱۶۰	۰,۹۶۹۳	۰,۴۴۳۲	۰,۸۱۱۳	۰,۵۴۶۲	۰,۶۹۸۶	۰,۹۰۳۸	۰,۷۷۲۹
فارس	۰,۷۸۹۶	۰,۹۰۵۲	۰,۸۷۲۲	۰,۹۳۶۴	۰,۹۶۶۰	۰,۹۶۹۳	۰,۸۵۴۷	۱,۳۵۹۴	۰,۶۲۸۷	۰,۸۵۸۱	۱,۰۵۹۳	۰,۸۱۰۰
گیلان	۰,۸۴۶۲	۰,۹۷۰۱	۰,۸۷۲۲	۰,۷۵۷۹	۰,۷۳۴۷	۰,۹۶۹۳	۰,۶۹۱۸	۱,۹۰۵۷	۰,۳۶۳۰	۰,۷۵۴۸	۱,۱۱۹۰	۰,۶۷۴۵
گلستان	۰,۷۹۰۲	۰,۹۰۶۰	۰,۸۷۲۲	۰,۹۰۵۰	۰,۹۳۳۷	۰,۹۶۹۳	۰,۶۱۸۰	۱,۳۲۸۹	۰,۴۶۵۰	۰,۷۶۱۷	۱,۰۳۹۸	۰,۷۳۲۶
همدان	۰,۷۴۹۶	۰,۸۵۹۴	۰,۸۷۲۲	۰,۸۵۳۰	۰,۸۷۹۹	۰,۹۶۹۳	۰,۷۷۵۱	۱,۴۴۷۳	۰,۵۳۵۵	۰,۷۹۱۴	۱,۰۳۰۵	۰,۷۶۷۹
هرمزگان	۱,۷۰۵۱	۱,۹۵۴۹	۰,۸۷۲۲	۰,۹۵۶۵	۰,۹۲۷۲	۰,۹۶۹۳	۰,۳۱۲۳	۰,۷۷۷۱	۰,۴۰۱۸	۰,۷۹۰۴	۱,۱۳۲۶	۰,۶۹۷۷
ایلام	۰,۹۹۱۷	۱,۱۳۷۰	۰,۸۷۲۲	۰,۶۸۷۸	۰,۷۰۹۶	۰,۹۶۹۳	۰,۵۴۶۷	۱,۶۸۶۷	۰,۳۲۴۱	۰,۷۱۹۸	۱,۱۰۸۲	۰,۶۴۹۵
اصفهان	۰,۷۹۲۵	۰,۹۰۸۶	۰,۸۷۲۲	۰,۸۳۴۱	۰,۸۶۰۵	۰,۹۶۹۳	۱,۲۰۷۴	۲,۰۰۵۶	۰,۶۰۲۰	۰,۹۲۷۶	۱,۱۶۱۸	۰,۷۹۸۴
کرمان	۰,۴۱۴۴	۰,۴۷۵۰	۰,۸۷۲۲	۰,۸۸۶۱	۰,۹۱۴۲	۰,۹۶۹۳	۰,۶۰۶۳	۱,۱۵۰۸	۰,۵۲۶۸	۰,۶۰۶۱	۰,۷۹۳۶	۰,۷۶۳۷
کرمانشاه	۱,۵۲۶۹	۱,۷۵۰۵	۰,۸۷۲۲	۰,۶۸۴۷	۰,۶۶۳۸	۰,۹۶۹۳	۰,۴۴۱۳	۰,۹۴۴۴	۰,۴۶۷۳	۰,۷۶۴۸	۱,۰۴۲۲	۰,۷۳۳۸
خراسان جنوبی	۰,۵۵۷۸	۰,۶۳۹۶	۰,۸۷۲۲	۰,۸۶۰۲	۰,۸۸۷۴	۰,۹۶۹۳	۰,۵۷۰۱	۱,۴۵۳۲	۰,۳۹۲۳	۰,۶۴۹۱	۰,۹۳۷۸	۰,۶۹۲۲
خراسان رضوی	۰,۶۶۱۹	۰,۷۵۸۸	۰,۸۷۲۲	۱,۲۰۷۸	۱,۲۴۶۰	۰,۹۶۹۳	۰,۵۲۲۹	۱,۰۶۳۸	۰,۴۹۱۵	۰,۷۴۷۷	۱,۰۰۱۹	۰,۷۴۶۲
خراسان شمالی	۰,۶۱۰۱	۰,۶۹۹۵	۰,۸۷۲۲	۱,۰۰۰۸	۱,۰۳۲۴	۰,۹۶۹۳	۰,۵۵۷۶	۱,۲۵۰۰	۰,۴۴۶۱	۰,۶۹۸۳	۰,۹۶۶۵	۰,۷۲۲۵
خوزستان	۰,۹۰۶۱	۱,۰۳۸۸	۰,۸۷۲۲	۰,۷۸۸۲	۰,۸۱۳۱	۰,۹۶۹۳	۰,۶۱۰۹	۱,۴۱۸۲	۰,۴۳۰۸	۰,۷۵۸۵	۱,۰۶۲۰	۰,۷۱۴۱
کهگیلویه و بویراحمد	۰,۸۷۵۸	۱,۰۰۴۱	۰,۸۷۲۲	۰,۹۶۱۷	۰,۹۹۲۱	۰,۹۶۹۳	۰,۵۰۳۲	۱,۵۸۹۱	۰,۳۱۶۷	۰,۷۵۱۲	۱,۱۶۵۵	۰,۶۴۴۵
کردستان	۰,۷۰۷۳	۰,۸۱۰۹	۰,۸۷۲۲	۱,۲۳۸۷	۱,۲۷۷۹	۰,۹۶۹۳	۰,۶۵۳۶	۱,۵۸۰۳	۰,۴۱۳۶	۰,۸۳۰۴	۱,۱۷۸۷	۰,۷۰۴۵
لرستان	۰,۷۹۷۲	۰,۹۱۴۰	۰,۸۷۲۲	۱,۰۵۵۴	۱,۰۸۸۸	۰,۹۶۹۳	۰,۵۹۲۸	۱,۱۲۰۹	۰,۵۲۸۹	۰,۷۹۳۰	۱,۰۳۷۱	۰,۷۶۴۷
مرکزی	۰,۶۷۸۰	۰,۷۷۷۳	۰,۸۷۲۲	۰,۸۱۵۲	۰,۸۴۱۱	۰,۹۶۹۳	۰,۷۵۰۸	۱,۴۹۰۴	۰,۵۰۳۸	۰,۷۴۵۹	۰,۹۹۱۴	۰,۷۵۲۴
مازندران	۰,۶۱۴۴	۰,۷۰۴۴	۰,۸۷۲۲	۰,۹۳۹۸	۰,۹۶۹۶	۰,۹۶۹۳	۰,۶۶۴۵	۱,۴۶۴۷	۰,۴۵۳۷	۰,۷۲۶۷	۱,۰۰۰۱	۰,۷۲۶۶
قزوین	۰,۵۹۴۲	۰,۶۸۱۳	۰,۸۷۲۲	۰,۸۴۶۷	۰,۸۷۳۵	۰,۹۶۹۳	۰,۷۶۵۱	۱,۵۲۰۳	۰,۵۰۳۳	۰,۷۲۷۴	۰,۹۶۷۲	۰,۷۵۲۱
قم	۰,۵۸۶۸	۰,۶۷۲۸	۰,۸۷۲۲	۰,۶۷۸۸	۰,۷۰۰۳	۰,۹۶۹۳	۰,۵۶۴۲	۱,۴۳۸۶	۰,۳۹۲۲	۰,۶۰۸۰	۰,۸۷۸۴	۰,۶۹۲۱
سمنان	۰,۹۰۴۴	۱,۰۳۶۸	۰,۸۷۲۲	۰,۹۸۷۳	۱,۰۱۸۶	۰,۹۶۹۳	۰,۶۴۸۸	۱,۶۵۱۰	۰,۳۹۲۹	۰,۸۳۳۶	۱,۲۰۳۶	۰,۶۹۲۶
سیستان و بلوچستان	۰,۶۱۸۶	۰,۷۰۹۲	۰,۸۷۲۲	۰,۸۶۱۷	۰,۸۸۸۹	۰,۹۶۹۳	۰,۵۰۶۳	۱,۴۷۴۲	۰,۳۴۳۴	۰,۶۴۶۲	۰,۹۷۵۹	۰,۶۶۲۲
تهران	۰,۶۲۸۵	۰,۷۲۰۶	۰,۸۷۲۲	۰,۸۴۴۳	۰,۸۷۱۰	۰,۹۶۹۳	۱,۲۶۹۲	۲,۳۸۱۹	۰,۵۳۲۹	۰,۸۷۶۶	۱,۱۴۳۴	۰,۷۶۶۶
یزد	۰,۷۴۵۲	۰,۸۵۴۴	۰,۸۷۲۲	۰,۸۶۹۴	۰,۸۹۶۹	۰,۹۶۹۳	۰,۹۲۹۸	۱,۸۱۰۶	۰,۵۱۳۵	۰,۸۴۴۶	۱,۱۱۵۳	۰,۷۵۷۲
زنجان	۰,۶۰۵۹	۰,۶۹۴۶	۰,۸۷۲۲	۰,۹۸۴۳	۱,۰۱۵۴	۰,۹۶۹۳	۰,۵۹۳۲	۱,۳۱۷۴	۰,۴۵۰۳	۰,۷۰۷۳	۰,۹۷۵۸	۰,۷۲۴۸

MPI و EC بدبینانه نتایج مشابه DEAی خوش‌بینانه دارد و نشان می‌دهد که صنعت حمل‌ونقل برای عملکرد کارا با مشکلات زیادی مواجه است. جدول ۱۱ نتایج تحلیل مرز دوگانه را نشان می‌دهد. با تلفیق شاخص‌های عملکرد خوش‌بینانه و بدبینانه، رویکرد تحلیل مرز دوگانه کارایی DMUها را به‌صورت دقیق‌تری ارزیابی می‌کند. روشن است که سمنان، آذربایجان شرقی و کردستان در طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶، کارایی خود را و اصفهان، آذربایجان شرقی و تهران بهره‌وری خود را بهبود بخشیده‌اند. گرچه بهبود بهره‌وری در اصفهان بیشتر از سمنان است، ولی سمنان کارایی بیشتری نسبت به اصفهان داشته است. داده‌ها نشان می‌دهد که بودجه‌ی تحقیق و توسعه برای همه‌ی DMUها افزایش یافته است، ولی سمنان از این نظر بیش از ۲۸٪ کاهش داشته است، که منجر به کاهش بهره‌وری برای این DMU شده است. تحلیل وزن مشترک سوگیری نمره‌ی کارایی را در میان DMUها از بین می‌برد، به‌طوری که همه‌ی DMUها با مبنای یکسانی مورد بررسی و رتبه‌بندی قرار می‌گیرند. رتبه‌بندی مبتنی بر CSW به تصمیم گیرندگان و سیاست‌گذاران امکان

می‌دهد که راهبردهای بهبود را بر اساس عملکرد دقیق DMUها تعیین کنند. به‌منظور بهبود صنعت حمل‌ونقل، سیاست‌گذاران می‌توانند راهبردهای زیر را مد نظر قرار دهند:

-توسعه‌ی مسیرهای ریلی کنونی برای متصل کردن بنادر مهم به شبکه‌ی ملی راه‌آهن؛

-تخصیص بودجه‌ی بیشتر برای تکمیل پروژه‌های حمل‌ونقل ناتمام؛

-توسعه‌ی سیستم‌های هوشمند برای پایش حمل‌ونقل جاده‌ای؛

-تلفیق دیدگاه‌های زیست‌محیطی، نوآوری سازگار با محیط زیست و ایمنی در سرمایه‌گذاری‌های حمل‌ونقل؛

-نگهداری مؤثر شبکه‌ی موجود حمل‌ونقل؛

-آموزش ضروریات ایمنی و بهبود خدمات ایمنی در جاده‌ها.

۵- نتیجه‌گیری

ارزیابی عملکرد با استفاده از DEA برای مقاصد تصمیم‌گیری بسیار مفید است، زیرا نقاط ضعف DMUهای غیرکارا را روشن می‌کند و راه‌حل‌هایی را برای بهبود توصیه می‌نماید. با این حال، ارزیابی بهره‌وری و کارایی DMUها در طول زمان اطلاعات دقیق‌تری را درباره‌ی بهبود یا نزول آن‌ها به دست می‌دهد. این مقاله یک رویکرد CSW را برای MPI در ارتباط با تحلیل مرز دوگانه پیشنهاد کرد. به خاطر نقش مهم صنعت حمل‌ونقل در توسعه‌ی اقتصاد از یک سو و اثرات زیست‌محیطی منفی آن از سوی دیگر، کارایی زیست‌محیطی و نوآوری سازگار با محیط زیست در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده کردیم که علی‌رغم بهبود بهره‌وری، یک DMU ممکن است در تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها کارا نباشد. در مقایسه با مدل‌های متعارف، مدل‌های CSW پیشنهادی نمرات کارایی پایین‌تری را جهت MPI، EC و TC برای DMUهای حمل‌ونقل به دست می‌دهند، که نشان‌دهنده‌ی قدرت تشخیصی بالاتر مدل‌های CSW برای رتبه‌بندی DMUها است. مدل‌سازی ورودی‌های غیرقابل کنترل مانند طول جاده و خروجی‌های نامطلوب از قبیل انتشار دی‌اکسید کربن و حوادث ترافیکی در این مطالعه، به تصمیم گیرندگان حمل‌ونقل امکان می‌دهد که این صنعت را از لحاظ نوآوری سازگار با محیط زیست و توسعه‌ی پایدار مورد پایش قرار دهند. علی‌رغم نیاز به سرمایه‌گذاری‌های زیرساخت در صنعت حمل‌ونقل در کشور، راه‌حل‌های ساده‌ای مانند توسعه‌ی فضای پارکینگ در امتداد جاده‌ها، آموزش ایمنی و کاهش حد سرعت می‌تواند نقش قابل‌توجهی در کاهش حوادث جاده‌ای داشته باشد. با توجه به محدود بودن تعداد DMUها، فقط ۹ فاکتور عملکردی در این پژوهش بررسی شده است، در حالی که ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد دیگری را نیز می‌توان در نظر گرفت. مطالعات آینده می‌توانند CSW را با در نظر گرفتن داده‌های نادقیق از طریق داده‌های اتفاقی و فازی ایجاد کنند. زمانی که سیاست‌گذاران مقادیر هدف را برای نوآوری سازگار با محیط زیست و عملیات زیست‌محیطی و کارایی آن‌ها تعیین کنند، پژوهشگران می‌توانند با توسعه‌ی CSW بر اساس تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی، از آن استفاده کنند.

۶- مراجع

-Alirezaee, M.R., Afsharian, M., (2010). Improving the discrimination of data envelopment analysis models in multiple time periods. *Int. Trans. Oper. Res*. 17 (5), 667-679.

-Amirteimoori, A., (2007). DEA efficiency analysis: efficient and anti-efficient frontier. *Appl.Math. Comput*. 186, 10-16.

-Badiezadeh, T., Farzipoor Saen, R., Samavati, T., (2018). Assessing sustainability of supplychains by double frontier network DEA: a big data approach. *Comput. Oper. Res*. 98, 284-290.

-Beltrán-Esteve, M., Picazo-Tadeo, A., (2015). Assessing environmental performance trendsin the transport industry: eco-innovation or catching-up? *Energ. Econ*. 51, 570-580.

-Cainelli, G., De Marchi, V., Grandinetti, R., (2015). Does the development of environmentalinnovation require different resources? Evidence from Spanish manufacturing firms. J. *Clean. Prod*. 94, 211-220.

-Carter, C.R., Jennings, M.M., (2002). Social responsibility and supply chain relationships.*Transp. Res. E-Logist.* 38 (1), 37-52.

-Caves, D.W., Christensen, L.R., Diewert, W.E., (1982). The economic theory of indexnumbers and the measurement of input, output, and productivity. Econometrica 50,1393-1414.

-Chang, Y.T., Zhang, N., Danao, D., Zhang, N., (2013). Environmental efficiency analysis oftransportation system in China: a non-radial DEA approach. *Energy Policy,* 58, 277-283.

model for evaluating sustainability of distributive supply chains of transportcompanies. *J. Clean. Prod.* 184, 696-708.

-Florida, R., (1996). Lean and Green: the move to environmentally conscious manufacturing. Calif. *Manage. Rev.* 39 (1), 80-105.

-Fussler, C., James, P., (1996). Eco-innovation: a Breakthrough Discipline for Innovationand Sustainability. *Pitman Publishing,* London.

-Golany, B., Roll, Y., (1993). Some extensions of techniques to handle non-discretionaryfactors in data envelopment analysis. *J. Psychoeduc. Assess.* 4 (4), 419-–432.

-Gómez-Calvet, R., Conesa, D., Gómez-Calvet, A.R., Tortosa-Ausina, E., (2016). On the dynamicsof eco-efficiency performance in the European Union. Comput. *Oper. Res.* 66, 336-350.

-Guimarães, V. de A., Leal Jr., I.C., Silva, M.A.V., (2018). Evaluating the sustainability ofurban passenger transportation by Monte Carlo simulation. Renew. *Sustain. EnergyRev*. 93, 732-752.

-Gupta, P., Mehlawat, M.K., Aggarwal, U., Charles, V., (2018). An integrated AHPDEA multiobjectiveoptimization model for sustainable transportation in mining industry.Resour. Policy. 74, 101180.

-Hemmelskamp, J., (1999). The Influence of Environmental Policy on Innovative Behavior:An Econometric Study. European Union—Institute for Prospective TechnologicalStudies (IPTS), *Seville,* Spain.

-Hojnik, J., Ruzzier, M., (2016a). The driving forces of process eco-innovation and its impacton performance: insights from Slovenia. J. Clean. Prod. 133, 812-825.

-Holstein, W., Tanenbaum, M., (2014). Production system. Encyclopaedia Britannica. OnlineAcademic Edition. *Encyclopaedia Britannica.*

-Hosseinzadeh Lotfi, F., Hatami-Marbini, A., Agrell, P.J., Aghayi, N., Gholami, K., (2013). Allocating fixed resources and setting targets using a common-weights DEA approach.Comput. Ind. Eng. 64 (2), 631-640.

Jaffe, A.B., Newell, R.G., Stavins, R.N., (2002). Environmental policy and technologicalchange. *Environ. Resour. Econ.* 22, 41-69.

-Jaffe, A.B., Newell, R.G., Stavins, R.N., (2003). Technological change and the environment.In: Màler, K.G., Vincent, J. (Eds.), Handbook of

-Chang, I., Leitner, H., Sheppard, E., (2016). A Green leap forward? Eco-State restructuringand the TianjineBinhai eco-city model. *Reg. Stud.* 50 (6), 929-943.

-Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision makingunits. Eur. J. *Oper. Res.* 2 (6), 429-444.

-Cohen, W.M., Levinthal, D.A., (1990). Absorptive capacity: a new perspective on innovationand learning. *Admin. Sci Quart.* 35, 128-152.

-Cook, W.D., Zhu, J., (2007). Within-group common weights in DEA: an analysis of powerplant efficiency. *Eur. J. Oper. Res.* 178, 207-216.

-Costantini, V., Crespi, F., Marin, G., Paglialunga, E., (2016). Eco-innovation, sustainablesupply chains and environmental performance in European industries. *J. Clean. Prod.*155, 1-14.

-Cui, Q., Li, Y., (2014). The evaluation of transportation energy efficiency: an application ofthree-stage virtual frontier DEA. Transp. *Res. D-Trans. Environ.* 29, 1-11.

-den Hartog, H., Sengers, F., Xu, Y., Xie, L., Jiang, P., de Jong, M., 2018. Low-carbonpromises and realities: lessons from three socio-technical experiments in Shanghai. *J. Clean. Prod.* 181, 692-702.

-Djekic, I., Smigic, N., Glavan, R., Miocinovic, J., Tomasevic, I., (2018). Transportation sustainability index in dairy industry-Fuzzy logic approach. *J. Clean. Prod*. 180,107-115.

-EIO, (2012). Paving the Way to a Green Economy Through Eco-innovation. Europe inTransition. *European Commission*, Paris, France.

-Environmental Protection Department, HKSAR, 2004a. Air Pollutant and Greenhouse GasEmission Inventory (1990–2003). Available at:. http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/data/emission_inve.html.

-Färe, R., Grosskopf, S., Lindgren, B., Roose, P., (1992). Productivity change in Swedishanalysis pharmacies 1980–1989: a nonparametric Malmquist approach. J. Prod. *Anal.3* (1), 85-102.

-Farrell, M.J., (1957). The measurement of productive efficiency. J. R. Stat. Soc. 120 (3), 253-281.

-Farzipoor Saen, R., 2009. A mathematical model for selecting third-party reverse logisticsproviders. Int. J. *Procure Manage. 2,* (2), 180-190.

-Fathi, A., Farzipoor Saen, R., (2018). A novel bidirectional network data envelopmentanalysis

innovation with common weights in two-stage network DEA: a big data approach.Technol. Forecast. Soc. *Change 144*, 553-562.

-Klemmer, P., Lehr, U., Löbbe, K., (1999). Environmental Innovation: Incentives andBarriers. Analytica, Berlin, Germany.

-Läpple, D., Renwick, A., Thorne, F., (2015). Measuring and understanding the drivers ofagricultural innovation: evidence from Ireland. *Food Policy* 51, 1-8.

-Lu, H., de Jong, M., Chen, Y., (2017). Economic city branding in China: the multi-levelgovernance of municipal self-promotion in the greater Pearl River Delta. *Sustainability 9* (4), 1-24.

-Makui, A., Alinezhad, A., Kiani Mavi, R., Zohrebandian, M., (2008). A goal programmingmethod for finding common weights in DEA with an improved discriminating powerfor efficiency. *Int. J. Ind. Syst. Eng*. 1 (4), 293-303.

-OECD, (2009). Sustainable Manufacturing and Eco-innovation: Framework, Practices andMeasurement. Organisation for Economic Co-operation and Development. *Publishing,* Paris, France.

-Omrani, H., (2013). Common weights data envelopment analysis with uncertain data: arobust optimization approach. *Comput. Ind. Eng.* 66 (4), 1163-1170.

-Park, M., Bleischwitz, R., Han, K.J., Jang, E.K., Joo, J.H., (2017). Eco-innovation indices astools for measuring eco-innovation. *Sustainability 9* (12), 1-28.

-Picazo-Tadeo, A.J., Gómez-Limón, J.A., Reig-Martínez, E., (2011). Assessing farming coefficiency: a data envelopment analysis approach. *J. Environ. Manage*. 92 (4),1154-1164.

-Porter, M.E., van der Linde, C., (1995). Toward a new conception of the environmentcompetitiveness relationship. *J. Econ. Perspect.* 9, 97-118.

-Rashidi, K., Farzipoor Saen, R., (2015). Measuring eco-efficiency based on green indicatorsand potentials in energy saving and undesirable output abatement. *Energy Econ.* 50(C), 18-26.

-Rennings, K., (2000). Redefining innovation: eco-innovation research and the contributionfrom ecological economics. *Ecol. Econ.* 32, 319-332.

-Rodríguez, J., Wiengarten, F., (2017). The role of process innovativeness in the developmentof environmental innovativeness capability. *J. Clean. Prod.* 142, 2423-2434.

Environmental Economics. ElsevierScience, *Amsterdam*, 461-516.

–Jahanshahloo, G.R., Zohrehbandian, M., Alinezhad, A., Abbasian Naghneh, S., Abbasian,H., Kiani Mavi, R., (2011a). Finding common weights based on the DM's preferenceinformation. *J. Oper. Res. Soc.* 62, 1796-1800.

–Jahanshahloo, G.R., Lot., F.H., Rezaie, V., Khanmohammadi, M., (2011b). Ranking DMUsby ideal points with interval data in DEA. *Appl. Math. Model*. 35, 218-229.

–Jang, E.K., Park, M.S., Roh, T.W., Han, K.J., (2015). Policy instruments for eco-innovationin Asian countries. Sustainability 7, 12586-12614.

–Jansson, J., Nordlund, A., Westin, K., (2017). Examining drivers of sustainable consumption:the influence of norms and opinion leadership on electric vehicle adoption inSweden. J. Clean. Prod. 154, 176–187.

–Ji, Y., Lee, C., (2010). Data envelopment analysis. *Stata J. 10,* 267-280.

–Kao, C., (2010). Malmquist productivity index based on common weights DEA: the case ofTaiwan forests after reorganization. *Omega* 38, 484-491.

–Kemp, R., Arundel, A., (1998). Survey Indicators for Environmental Innovation; Studies inTechnology. Innovation and Economic Policy. (STEP), *Oslo,* Norway.

–Kemp, R., Pearson, P., (2007). Final Report MEI Project About Measuring Eco-innovation.UM-MERIT: *Maastricht,* The Netherlands.

-Kemp, R., Pearson, P., (2008). Policy Brief About Measuring Eco-innovation and Magazine. Newsletter Articles. 17-18. Project deliverable. https://cordis.europa.eu/docs/publications/1245/124548931-6_en.pdf.

-Kiani Mavi, R., Standing, C., (2017). Eco-innovation analysis with DEA: an application to OECD countries. IADIS Int. J. *Comput. Sci. Inform Syst.* 12 (2), 133-147.

-Kiani Mavi, R., Kazemi, S., Jahangiri, J., (2013). Developing common set of weights with considering non-discretionary inputs and using ideal point method. J. Appl. Math. doi.org/10.1155/2013/906743.

-Kiani Mavi, R., Zarbakhshnia, N., Khazraei, A., (2018). Bus Rapid Transit (BRT): a simulationand multi criteria decision-making (MCDM) approach. *Transp. Policy* 72,187-197.

-Kiani Mavi, R., Farzipoor Saen, R., Goh, M., (2019). Joint analysis of eco-efficiency andeco-

-WCED, (1987). Our Common Future. World Commission on Environment andDevelopment. *Oxford University Press,* Oxford.

-Woo, C., Chung, Y., Chun, D., Seo, H., Hong, S., (2015). The static and dynamic environmental efficiency of renewable energy: a Malmquist index analysis of OECD countries.Renew. Sustain. *Energy Rev.* 47, 367-376.

-Wu, J., Zhu, Q., Chu, J., Liu, H., Liang, L., (2016). Measuring energy and environmental efficiency of transportation systems in China based on a parallel DEA approach.Transp. *Res. D-Transport Environ.* 48, 460-472.

_Yang, F., Yang, M., (2015). Analysis on China's eco-innovations: regulation context, intertemporal change and regional differences. *Eur. J. Oper. Res.* 247 (3), 1003-1012.

-Ying-Ming, W., Yi-Xin, L., (2011). Measuring Malmquist productivity index: a new approachbased on double frontiers data envelopment analysis. *Math. Comput. Model.* 54, 2760-2771.

-Zheng, J., Garrick, N.W., Atkinson-Palombo, C., McCahill, C., Marshall, W., (2013). Guidelines on developing performance metrics for evaluating transportation sustainability. *Res. Transport Bus Manage*. 7, 4-13.

-Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L., (2007). Mathematical programming approach to constructingcomposite indicators. *Ecol. Econ.* 62, 291-297.

-Zhou, G., Chung, W., Zhang, Y., (2014). Measuring energy efficiency performance ofChina's transport sector: a data envelopment analysis approach. *Expert Syst. Appl*. 41(2), 709-722.

-Ziolkowska, J.R., Ziolkowski, B., (2015). Energy efficiency in the transport sector in the EU-27: a dynamic dematerialization analysis. *Energy Econ.* 51, 21–30.

-Seiford, L.M., Zhu, J., (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *Eur. J.Oper. Res.* 142, 16-20.

Sueyoshi, T., Goto, M., (2011). Measurement of returns to scale and damages to scale forDEA-based operational and environmental assessment: how to manage desirable(good) and undesirable (bad) outputs? *Eur. J. Oper. Res.* 211 (1), 76-89.

-Sun, J., Wu, J., Guo, D., (2013). Performance ranking of units considering ideal and antiidealDMU with common weights. *Appl. Math. Model.* 37, 6301-6310.

-Takamura, Y., Tone, K., (2003). A comparative site evaluation study for relocatingJapanese government agencies out of Tokyo. *Socioecon. Plann. Sci.* 37, 85-102.

-Tavana, M., Kazemi, S., Kiani Mavi, R., (2015). A stochastic data envelopment analysismodel using a common set of weights and the ideal point concept. Int. J. *Appl.Manag. Sci. Eng*. 7 (2), 81-92.

-Thompson, R.G., Langemeier, L.N., Lee, C.T., Lee, E., Thrall, R.M., (1990). The role ofmultiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. *J. Econ.*46, 93-108.

-Wang, Y.M., Chin, K.S., (2007). Discriminating DEA efficient candidates by consideringtheir least relative total scores. J. *Comput. Appl. Math.* 206, 209–215.

-Wang, Y., Chin, K., (2009). A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: DEA with double frontiers. *Int. J. Prod. Res.* 47 (23), 6663-6679.

-Wang, Y.M., Lan, Y.X., (2011). Measuring Malmquist productivity index: a new approachbased on double frontiers data envelopment analysis. Math. Comput. Model. 54, 2760-2771.

-Wang, Y.M., Lan, Y.X., (2013). Estimating most productive scale size with double frontiersdata envelopment analysis. Econ. Model. 33, 182-186.

-Wang, Y.M., Luo, Y., Lan, Y.X., (2011). Common weights for fully ranking decision makingunits by regression analysis. *Expert Syst. Appl.* 38 (8), 9122-9128.

Eco-innovation in Transportation Industry a Double-Frontier Analysis Approach

Akbar Amini, Department of Applied Mathematics, Talesh Branch, Islamic Azad University, Talesh, Iran.

Hossien Azizi, Department of Applied Mathematics, Parsabad Moghan Branch, Islamic Azad University, Parsabad Moghan, Iran.

E-mail: azizhossein@gmail.com

Received: September 2003 Accepted: January 2024

ABSTRCAT

Eco-innovation refers to the development of products and processes in the service of sustainable development, which uses scientific experiences, both directly and indirectly, to improve the environment. Eco-innovation is crucially important in the consumption of resources and pollution of the environment. Furthermore, it is one of the most fundamental factors in determining the success or failure of energy-consumption plans and protecting the environment. Thus, Eco-innovation is the cornerstone of sustainable development. The transportation industry is one of the main sources of environmental pollution. Analyzing efficiency of this industry helps people and societies to have a better understanding of its performance and develop better management strategies. The necessity of sustainable development in the transportation industry requires efficiency analysis over time. The Malmquist Productivity Index (MPI) is one of the common approaches to assess performance over the course of consecutive periods. This paper used a double-frontier analysis approach to propose a modern analysis to measure efficiency. In the proposed approach, the common set of weights for MPI is yielded by taking into account the undesirable outputs in the efficiency analysis. This paper demonstrated the application of the proposed models by investigating freight transport in Iran. The proposed models for the MPI analysis to decompose overall efficiency into efficiency change and technical change enable the decision-makers to meticulously trace the Eco-innovation and environmental efficiency in this industry.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Double Frontier Analysis, Common Set of Weights, Eco-innovation, Environmental Efficiency