

## تحلیل کارآیی انرژی و زیست‌محیطی بخش حمل و نقل تحت محدودیت‌های مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی در ایران

حوا محمدپرست<sup>۱</sup>

دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، گروه اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران،  
hamohammadparast@gmail.com

جواد شهرکی

دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران،  
j.shahraki@eco.usb.ac.ir

مصطفی مردانی نجف‌آبادی

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و  
منابع طبیعی خوزستان، ایران، m.mardani@asnrukh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱

### چکیده

رشد اقتصادی باعث برخی از مشکلات زیست‌محیطی همچون کمبود انرژی و آلودگی محیط زیست شده است. در همین راستا، در مطالعه حاضر تحلیل کارآیی انرژی و زیست‌محیطی با مجموع ثابت برای دستیابی به کارآیی پایدار در بخش حمل و نقل ایران تحت محدودیت مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرز کارآیی تعادل عمومی (CEEFDEA) انجام شده است. برای این منظور، ابتدا مقدار معینی از مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن در نظر گرفته شد. سپس، بر اساس این مقادیر و با در نظر گرفتن مینیمم-ماکزیمم مجموع ثابت آنها، مرز کارآیی تعادل عمومی ساخته شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که همه استان‌ها دارای درجه رضایت یکسان ۰/۹۷۹ می‌باشند. بر اساس نتایج مرز کارآیی تعادلی از طریق درجه رضایت، همه استان‌ها می‌بایست مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن را تعدیل نمایند. همچنین، ارزش کارآیی پایداری اکثر استان‌ها در بخش حمل و نقل کمتر از یک شد. با توجه به نتایج، بخش حمل و نقل کشور از نظر کارآیی انرژی و زیست‌محیطی ناکارآمد است. لذا لازم است با اتخاذ و اجرای سیاست‌های منطقی و سازگار با نقش انرژی و محیط‌زیست در این بخش زمینه توسعه پایدار را فراهم نمود.

طبقه‌بندی JEL: C61, Q57, Q4, Q1

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، توسعه پایدار، درجه رضایت، کارآیی انرژی و زیست‌محیطی، مرز کارآیی تعادل

## ۱- مقدمه

در چرخه اقتصاد هر کشور، بخش حمل و نقل یکی از مهمترین بخش‌های اقتصادی است. این بخش با ارائه خدمات حمل و نقل مانند انتقال کالای نیمه‌ساخته و نهایی به بازارهای مصرف و جابجایی بار و مسافر، نقش مهمی در رشد و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. رشد و توسعه اقتصادی با افزایش مصرف انرژی همراه است و صدمات قابل توجهی به محیط زیست وارد می‌کند که این امر نگرانی‌هایی را نسبت به توسعه ناپایدار به دلیل استفاده بی‌رویه از منابع به همراه داشته است. در واقع توسعه ناپایدار منجر به تخریب اکوسیستم و محیط‌زیست (سازمان بهداشت جهانی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵) و انتشار آلاینده‌های مختلف می‌شود (لی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۸).

نکته مهم در بخش حمل و نقل مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی می‌باشد. این بخش یکی از عمده‌ترین تقاضاکنندگان انرژی در ایران و جهان به‌شمار می‌رود و عمدتاً مصرف‌کننده فرآورده‌های بنزین، نفت گاز و گاز طبیعی است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۷). از طرف دیگر، بسیاری از آلاینده‌هایی مضر ناشی از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی و استفاده ناکارا از انرژی و منابع می‌باشد. بر اساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷، استفاده از سوخت‌های فسیلی نظیر بنزین و نفت‌گاز بیشترین آلودگی را ایجاد می‌کند.

بنابراین، بخش حمل و نقل یک بخشی با رشد اقتصادی بالا، مصرف انرژی بالا و آلودگی زیست‌محیطی بالاست (چانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ جی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کوی و لی، ۲۰۱۴). داده‌های آماری در ایران نیز مؤید این مطلب می‌باشد. بر اساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۷، تولید ناخالص ملی در سال ۱۳۹۷، ۲۵۸۲۹۷۱۲ میلیارد ریال می‌باشد. این در حالی است که کل مصرف انرژی در سال ۱۳۹۷، ۱۷۳/۹ میلیون تن معادل نفت خام و میزان مصرف نهایی انرژی در بخش حمل و نقل ۴۸/۳ میلیون تن معادل نفت خام می‌باشد. علاوه بر این، در سال ۱۳۹۷ بخش حمل و نقل به استثنای دی‌اکسیدکربن، بیشترین سهم در تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای داشته است. در این بخش، سهم دی‌اکسیدکربن ۲۴/۲ درصد در بین

1. World Health Organization (WHO)

2. Li et al

بخش‌های مصرف‌کننده و تولیدکننده می‌باشد که بعد از بخش نیروگاهی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. افزایش قابل ملاحظه سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن به دلیل افزایش نفت گاز، بنزین، گاز طبیعی در بخش حمل و نقل و سایر بخش‌ها می‌باشد. زیر بخش حمل و نقل جاده‌ای بیشترین سهم را در انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای نسبت به سایر بخش‌های حمل و نقل به خود اختصاص داده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۷).

با توجه به نگرانی جهانی در مورد انرژی و مسائل زیست‌محیطی و همچنین شروع توسعه پایدار و با توجه به افزایش مصرف انرژی و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آن در بخش حمل و نقل در ایران، ضرورت مدیریت مصرف انرژی و پرداختن به مسئله‌ی کارایی انرژی و زیست‌محیطی پیش از پیش آشکار می‌گردد. لذا با توجه به اهمیت موضوع و همچنین لزوم دستیابی به پایداری و بقاء محیط زیست و منابع طبیعی، این مطالعه در پی ارزیابی کارایی انرژی و زیست‌محیطی بخش حمل و نقل تحت محدودیت انرژی و آلودگی زیست‌محیطی می‌باشد.

در همه کشورها برای آنکه بتوانند افزایش کارایی انرژی همراه با ملاحظات محیطی را تجربه کنند، اولین گام جهت افزایش کارایی، پیدا کردن روشی مناسب برای اندازه‌گیری آن می‌باشد (مردانی و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از محبوب‌ترین روش‌ها در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs)<sup>۱</sup>، تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)<sup>۲</sup> است که، کارایی نسبی واحدها را بدون نیاز به شکل خاصی از تابع توزیع یا تابع ریاضی محاسبه می‌نماید (یو<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). تحلیل پوششی داده‌ها کلاسیک این امکان را برای واحد تصمیم‌گیری فراهم می‌کند تا با مطلوب‌ترین مجموعه وزن‌ها به حداکثر کارایی برسد. در واقع واحدهای تصمیم‌گیری تا زمانی که کارایی آنها به حداکثر برسد برای انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها انعطاف‌پذیر هستند (عمرانی، ۲۰۲۲). مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها کلاسیک مانند CCR<sup>۴</sup> (چارنز<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۸۷) و

1. Decision making units
2. Data envelopment analysis
3. Yu
4. Charnes, Cooper and Rhodes model
5. Charnes

مدل‌های BCC<sup>۱</sup> (بنکر و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۸۴) فرض می‌کنند که ورودی‌ها یا خروجی‌ها می‌توانند آزادانه در هنگام نمایش واحدهای تصمیم‌گیری در مرز کارآمد گسترش یابند. با این حال، این فرض زمانی نامعتبر است که واحدهای تصمیم‌گیری با ورودی‌ها و خروجی‌ها با جمع ثابت ارزیابی شوند، یعنی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها کلاسیک ممکن است برای ارزیابی این نوع از واحدهای تصمیم‌گیری مناسب نباشند. در واقع، تعدادی از موارد واحد تصمیم‌گیری با ورودی و خروجی با مجموع ثابت در دنیای واقعی وجود دارد. یانگ، لی، چن و لیانگ (2014) روش جدیدی به نام تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مرز کارا تعادل (EEFDEA) پیشنهاد کردند. از نظر این رویکرد، تمام واحدهای تصمیم‌گیری در یک زمان با یک ترتیب معین بر روی مرز کارا پیش‌بینی می‌شوند. در نهایت، زمانی می‌توان به مرز کارا تعادل دست یافت که همه واحدهای تصمیم‌گیری برای کارایی نسبی بهبود یافته باشند. سپس بر اساس یک مرز کارا تعادلی یکسان ارزیابی می‌شوند. هدف از مطالعه حاضر، تحلیل کارایی انرژی و زیست‌محیطی با مجموع ثابت با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مرز کارایی تعادل عمومی (CEEFDEA)<sup>۳</sup> برای ۳۱ استان کشور است.

ساختار پژوهش حاضر بدین شکل است که: ابتدا و پس از مقدمه در بخش دوم مبانی نظری و در بخش سوم، شواهد تجربی ارائه شده در مطالعات داخلی و خارجی و پیشینه موضوع بررسی خواهد شد. بخش چهارم، به معرفی متغیرهای پژوهش و تحلیل داده‌ها پرداخته خواهد شد. در بخش پنجم به روش تحقیق و تدوین الگوی مورد نظر اختصاص داشته و در بخش ششم به بررسی و ارزیابی نتایج حاصله از تحقیق پرداخته خواهد شد و در پایان جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهد گردید.

## ۲- مبانی نظری تحقیق

### ۲-۱- کارایی

به طور معمول کارایی با نحوه‌ی تخصیص بهینه منابع کمیاب توسط بنگاه برای نیل به اهداف تولید ارتباط دارد. کارایی تولیدی یک بنگاه با توجه به رابطه‌ی بین مقادیر

1. Banker, Charnes and Cooper model
2. Banker et al
3. Common equilibrium efficient frontier data envelopment analysis

بهینه و مقادیر مشاهده شده آن تعیین می‌گردد. زمانی که صحبت از کارایی یک بنگاه به میان می‌آید معمولاً به معنای موفقیت آن بنگاه در رسیدن به حداکثر ستانده با سطح معین نهاده است (فارل<sup>۱</sup>، ۱۹۵۷). کارایی مفهومی نسبی است و برای سنجش کارایی، باید عملکرد بنگاه مورد نظر با کارایی در شرایط بالقوه تولید مقایسه گردد تا مشخص شود که کارایی بنگاه‌ها و واحدهای تولیدی از اندازه‌ی مورد انتظار و ایده‌آل تا چه حد فاصله دارد (مهرگان، ۱۳۸۷).

## ۲-۲- انواع کارایی

### ۱- کارایی فنی<sup>۲</sup>

مطابق تعریف، نسبت ستاده حاصل از عملکرد هر واحد به نهاده استفاده شده (جهت تولید آن مقدار ستاده) کارایی فنی گفته می‌شود. یک بنگاه از نظر فنی کارا گفته می‌شود هر گاه از حداقل نهاده جهت تولید حداکثر ستاده استفاده کند و یا به عبارت دیگر عملکرد آن روی منحنی مرزی واقع گردد (زیبا، ۱۳۸۶).

### ۲- کارایی تخصیصی<sup>۳</sup>

این کارایی نشان‌دهنده ابعاد تخصیص بهینه عوامل موجود می‌باشد، به طوری که به کار گرفتن حداقل هزینه را برای بنگاه به همراه داشته باشد و به عبارت دیگر کارایی تخصیص نتیجه به کار گرفتن نهاده‌ها به نسبت مناسب است که موجب می‌شود هزینه تولید به حداقل میزان ممکن برسد (امامی میبدی، ۱۳۸۴).

### ۳- کارایی اقتصادی<sup>۴</sup>

این نوع کارایی، حاصل ضرب کارایی فنی و کارایی تخصیصی است. طبق تعریف، کارایی اقتصادی توانایی بنگاه در به دست آوردن حداکثر سود ممکن با توجه به قیمت و سطوح نهاده‌ها می‌باشد (امامی میبدی، ۱۳۸۴).

1. Farrell
2. Technical efficiency
3. Allocative efficiency
4. Economy efficiency

## ۲-۳- کارآیی انرژی

تقاضای انرژی از تقاضا برای خدمات انرژی مشتق می‌شود. خانوارها و بنگاه‌ها انرژی، سرمایه و نیروی کار را ترکیب می‌کنند تا کالای مرکب خدمات انرژی را تولید کنند. بنابراین، خدمات انرژی نیاز به فرایند تولید دارد و می‌توان تابع تولید وابسته آن را تعریف کرد (فتحی و همکاران، ۱۳۹۶). معمولاً بهبود سطح کارآیی انرژی عبارت است از کاهش مصرف انرژی به پایین‌تر از سطحی که در آن بدون هر گونه بهبودی، مصرف انرژی صورت گیرد (سورل، ۲۰۰۹). تعریف رایج فنی کارآیی انرژی بر اساس علم ترمودینامیک است. در مقابل اقتصاددانان از یک تعریف ترکیبی استفاده می‌کنند. آنها نسبت یک متغیر پولی را بر یک ورودی انرژی (که با معیار ترمودینامیک محاسبه شده)، کارآیی انرژی می‌نامند (هانتینگتون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۶). بر اساس باتاچاریا<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) تعریف ساده کارآیی انرژی معادله (۱) است:

$$(۱) \quad \text{انرژی کارآیی} = \frac{\text{محصول مفید فرایند}}{\text{نهاده فرایند}}$$

در اینجا مفهوم کارآیی فنی انرژی نظریه رفتار تولیدکننده در اقتصاد خرد ارائه می‌شود. بر اساس این تئوری، استفاده از اصطلاح کارآیی انرژی غیر دقیق و مبهم است. در واقع برای کاهش مصرف انرژی تولید مقداری معین، باید سطح کارآیی فنی یا کارآیی تخصصی ارتقا پیدا کند. نمودار (۱) ارائه وضعیت یک عامل اقتصادی است که از سرمایه  $K$  و انرژی  $E$  به منظور تولید خدمات انرژی یا تولید  $y$  استفاده می‌کند. این وضعیت با منحنی تولید یکسان  $IS$  و منحنی هزینه  $IC$  نشان داده می‌شود.

اگر عامل اقتصادی در نقطه  $X_1$  قرار داشته باشد، از لحاظ فنی ناکارا است، زیرا در بالای منحنی  $IS_0$  قرار دارد. ناکارایی فنی به وسیله فاصله نقاط  $X_1$  و  $\theta X_1$  نشان داده می‌شود، به این معنی که می‌توان بدون کاهش خروجی نسبت مقادیر نهاده را کاهش داد. کارایی فنی ( $\theta$ ) را می‌توان با نسبت فاصله مبدأ از بردار کارایی  $\theta X_1$  به فاصله مبدأ از بردار  $X_1$  مشخص کرد. همچنین، نرخ قیمت نهاده با خط شیب دار  $W^T X_1$  نشان داده شده است. اگر عامل اقتصادی در نقطه  $X^*$  قرار داشته باشد، جایی که خط  $W^T X_1$  بر

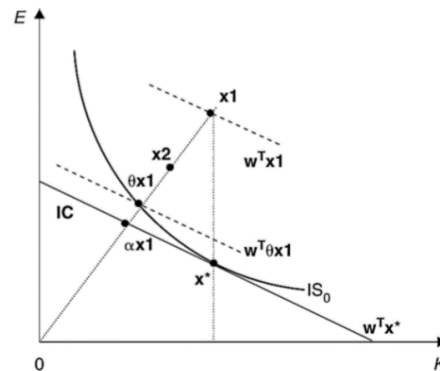
1. Huntington  
2. Bhattacharyya

منحنی  $IS_0$  مماس است، حداقل هزینه‌ها برای تولید  $y$  خط  $W^T X_1$  است. قرار گرفتن در نقطه  $\theta X_1$  اگر چه از لحاظ فنی کارا است اما دارای ناکارایی تخصیصی است (به دلیل بالاتر بودن خط  $W^T \theta X_1$  از  $W^T X^*$ ). کارایی تخصیصی به وسیله نسبت فاصله مبدأ از  $\alpha X_1$  و فاصله مبدأ از  $\theta X_1$  تعریف می‌شود. کل کارایی هزینه  $\alpha$  به عنوان نسبت فاصله مبدأ از  $\alpha X_1$  و فاصله مبدأ از  $X_1$  در نظر گرفته می‌شود. برای رسیدن به نقطه بهینه ترکیب نهاده‌ها، عامل اقتصادی باید نسبت کاربرد  $K$  نسبت به  $E$  را افزایش دهد. در اینجا امکان شناسایی چند راه‌حل افزایش کارایی فنی و کاهش استفاده از انرژی در حالی که سطح خدمات انرژی یا تولید ثابت باشد، وجود دارد:

(الف) عامل اقتصادی خدمات انرژی  $y$  را در نقطه  $\alpha X_1$  تولید می‌کند. در این حالت، می‌تواند با بهبود سطح کارایی فنی به نقطه بهینه  $x^*$  برسد. در اینجا کاهش مصرف انرژی وجود دارد و سرمایه جایگزین شده است.

(ب) عامل اقتصادی خدمات انرژی  $y$  را در نقطه  $x_1$  تولید می‌کند. در این حالت، می‌تواند با بهبود سطح کارایی فنی به نقطه بهینه  $x^*$  برسد. در اینجا کاهش مصرف انرژی وجود دارد و سرمایه جایگزین انرژی نشده است.

(ج) عامل اقتصادی خدمات انرژی  $y$  را در نقطه  $X_2$  تولید می‌کند. در این حالت نیز، می‌تواند با بهبود سطح کارایی فنی به نقطه بهینه  $x^*$  برسد. در اینجا کاهش مصرف انرژی وجود خواهد داشت در حالی که سرمایه جایگزین انرژی می‌شود. بنابراین، مشخص است که سطح استفاده از انرژی برای تولید خدمات انرژی از پیش تعیین شده، در طول زمان به دلیل تغییر سطح کارایی فنی تغییر می‌کند (فتحی و همکاران، ۱۳۹۶).



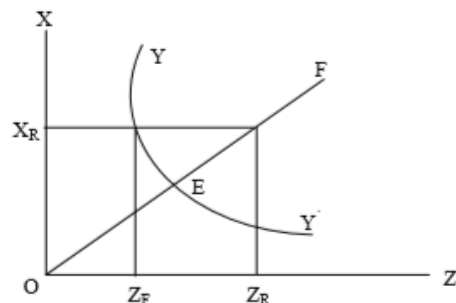
نمودار ۱. ارائه وضعیت یک عامل اقتصادی از سرمایه  $K$  و انرژی  $E$  به منظور تولید انرژی (فارل، ۱۹۵۷)

## ۲-۴- کارآیی زیست‌محیطی

کارآیی زیست‌محیطی را می‌توان به عنوان نسبت حداقل استفاده بالقوه به بالفعل نهاده‌های زیانبار زیست‌محیطی تعریف کرد (رینهارد و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹). در واقع، کارآیی زیست‌محیطی نشانگر وضعیت تولید آلاینده‌ها از نهاده‌های تولید است (سورواری<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱). اساساً کارآیی زیست‌محیطی جنبه‌ای از کارآیی فنی انرژی است که روی نهاده با پیامدهای زیست‌محیطی منفی تمرکز می‌کند. کاهش در سطح نهاده‌های آلاینده بر کارآیی‌های فنی و زیست‌محیطی اثر می‌گذارد (گراهام<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴). در نمودار (۲) منحنی تولید یکسان  $YY'$  با نهاده  $X$  یک نهاده معمولی و نهاده  $Z$  یک نهاده زیانبار برای محیط‌زیست نشان داده می‌شود و کارایی زیست‌محیطی:

$$EE = \frac{OZ_F}{OZ_R} \quad (2)$$

که در آن،  $EF$  کارآیی زیست‌محیطی،  $OZ_F$  حداقل استفاده بالقوه نهاده‌های زیانبار زیست‌محیطی و  $OZ_R$  حداقل استفاده بالفعل نهاده‌های زیانبار زیست‌محیطی است.



نمودار ۲. مرز تولید با نهاده معمولی  $X$  و نهاده‌ی زیانبار  $Z$  (رینهارد و همکاران (۱۹۹۹))

کارآیی فنی شرط لازم و کافی برای کارآیی زیست‌محیطی است، اگر چه در صورت استفاده از سطوح بالایی از نهاده‌ی زیانبار زیست‌محیطی، درجه بالای کارآیی فنی می‌تواند با سطح نسبتاً پایینی از کارایی زیست‌محیطی سازگار باشد. به همین ترتیب

1. Reinhard et al
2. Sorvari
3. Graham

در مقادیر کم نهاده‌ی زیانبار زیست‌محیطی، سطح پایینی از کارایی فنی با درجه بالایی از کارآیی محیط‌زیست منطبق است (رینهارد، ۱۹۹۹).

متأسفانه درباره ارتباط میان کارآیی زیست‌محیطی و کارآیی انرژی چارچوب نظری روشنی وجود ندارد این ارتباط بسته به قوانین و سیاست‌گذاری کشورها متفاوت است (نیشیتانی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). با این حال به نظر می‌رسد که نظارت و رژیم‌های متفاوت در یک کشور بر روی راهبرد و سیاست‌گذاری انرژی بر مسائل زیست‌محیطی به صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیر داشته باشد. همچنین، کارآیی زیست‌محیطی خوب و با کیفیت نیز زمانی به دست می‌آید که کارآیی انرژی بالا باشد. از دیدگاه مدیریتی هیچ قانون طبیعی وجود ندارد که به طور خودکار ارتباط کارآیی زیست‌محیطی را با کارآیی انرژی بیان کند. اما در عمل همواره این ارتباط مکمل بین کارآیی انرژی و زیست‌محیطی به ویژه در سال‌های اخیر با نگرانی‌های بین‌المللی بر سر مسائل زیست‌محیطی مانند گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی و توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته است. البته وضع برخی مقررات ممکن است ارتباط واضحی بین کارآیی زیست‌محیطی و کارآیی انرژی ایجاد کند و یا ممکن است اعمال صحیح ابزارهای نظارتی در مواردی خاص سبب ایجاد انگیزه‌های اقتصادی قوی برای تداوم بهبود در کارآیی زیست‌محیطی شود (ایترهوس و اسجاکر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸).

## ۲-۵- روش‌های ارزیابی کارآیی

برای ارزیابی کارایی یک بنگاه ابتدا باید مرز کارایی بنگاه شناسایی شود و بر مبنای فاصله‌ی بنگاه از وضعیت ایده آل، میزان عدم کارایی و به تبع آن کارایی مشخص شود. برای حل این مسئله، دو رویکرد عمده وجود دارد. نخست، رویکرد پارامتریک<sup>۳</sup> که در این رویکرد با فرض یک شکل تابعی برای مرز کارایی (کاب داگلاس، ترانسلوگ و...) و نوع توزیع عدم کارایی (نرمال یک طرفه، گاما و...)، آن را با استفاده از روش‌های مرسوم اقتصادسنجی تخمین می‌زنند. این رویکرد در ابتدا با استفاده از مدل مرزی معین دنبال شد که در آن عدم کارایی، تلفیقی از عدم کارایی واقعی و جزء اخلاقی

1. Nishitani et al  
2. Ytterhus and Sjaker  
3. Parametric

تخمین بود. برای رفع این مشکل مدل مرزی احتمالی<sup>۱</sup> توسط تیمر<sup>۲</sup> (۱۹۷۱) معرفی گردید. سرانجام ایگنر، لاول و اشمیت<sup>۳</sup> (۱۹۷۷) بارزترین مدل مرزی یعنی تابع تولید مرزی تصادفی را ارائه نمودند. این رویکرد در ادبیات اقتصادی به SFA<sup>۴</sup> معروف است. رویکرد دوم، رویکرد ناپارامتریک<sup>۵</sup> است. چارنز<sup>۶</sup>، کوپر<sup>۷</sup> و رودز<sup>۸</sup> در سال ۱۹۸۷ مجموعه‌ای از مسائل برنامه‌ریزی خطی را برای فرموله کردن اندازه‌گیری شاخص کارایی فنی فارل ارائه دادند. روش آنها در ارزیابی کارایی به تحلیل پوششی داده‌ها معروف شد. در این روش نیازی به مشخص نمودن شکل تابعی وجود ندارد و از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌گردد. مطالعه‌ی صورت گرفته توسط اینگر، لاول و اشمیت (۱۹۷۷) و چارنز، کوپر و رودز (۱۹۷۸) پایه‌ی مطالعات کارایی در رویکردهای مرزی پارامتریک و ناپارامتریک را تشکیل می‌دهند. ادبیات موجود در زمینه‌ی اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل تولید شامل دو رویکرد مرزی<sup>۹</sup> و غیر مرزی<sup>۱۰</sup> است که هر کدام از این رویکردها نیز دارای دو شاخه از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک هستند (گراسکوپف<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۳). منظور از رویکردهای مرزی، آن شاخص‌هایی است که از یک مرز کارا برای اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری استفاده می‌کنند. رویکردهای غیر مرزی شامل آن دسته از روش‌هایی است که فرض می‌شود محصول تولیدی بنگاه در هر حالت برابر با محصول متناظر با این سطح از نهاده و تکنولوژی بر روی مرز کاراست، به عبارت دیگر بنگاه همواره بر روی مرز کارا قرار دارد (گراسکوپف، ۱۹۹۳).

حسابداری رشد<sup>۱۲</sup>، شاخص دیویزیا<sup>۱۳</sup> و شاخص تورنکوئیست<sup>۱</sup> جز شاخص‌های رویکرد غیر مرزی مبتنی بر روش‌های ناپارامتریک برای محاسبه‌ی رشد بهره‌وری کل

1. Probabilistic
2. Timmer
3. Aigner, Lovell and Schmidt
4. Stochastic Frontier Analysis (SFA)
5. Non-parametric
6. Charnes
7. Cooper
8. Rohdes
9. Frontier
10. Non-frontier
11. Grosskopf
12. Growth Accounting
13. Divisia Index

عوامل تولید می‌باشند. شاخصهای پارامتریک در رویکرد غیر مرزی مبتنی بر تخمین یک تابع تولید و یا دوگان یعنی یک تابع هزینه و استفاده از آنها برای محاسبه‌ی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید است. انتقادی که به رویکرد غیر مرزی وارد است توجه نکردن به مسئله عدم کارایی است (گراسکوپف، ۱۹۹۳). اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی با استفاده از رویکردهای مرزی تقریباً مشابه هم است. همانطور که پیشتر بیان شد، در رویکرد مرزی پارامتریک برای بنگاه یک مرز کارا تخمین زده می‌شود. برخی از این مطالعات انجام گرفته در این زمینه برای اندازه‌گیری تغییر فنی، یک تابع تولید مرزی و برخی دیگر تابع هزینه یا سود یا مسافت را تخمین زده و از آن برای محاسبه‌ی شاخص‌های بهره‌وری استفاده می‌نمایند. اما در روش‌های مرزی ناپارامتریک، مرز کارا با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌گردد (فتحی و همکاران، ۱۳۹۴).

### ۳- پیشینه تحقیق

در سالهای اخیر مطالعات زیادی به ارزیابی کارایی انرژی و زیست‌محیطی صورت گرفته است. اما در بخش حمل و نقل مطالعات کمی وجود دارد. در این راستا، برخی از مطالعات انجام شده معرفی و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### مطالعات داخلی

فتحی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به اندازه‌گیری کارایی انرژی صنعتی با انتشار دی‌اکسیدکربن در کشورهای در حال توسعه منتخب با مدل‌های ناپارامتریک ایستا و پویا با استفاده از روش چند مرحله‌ای تحلیل پوششی با رویکرد تابع تولید مشترک با ستانده مطلوب و نامطلوب در دو حالت ایستا و پویا و نیز شاخص مالم کوئیسست برای تغییرات شاخص‌های بهره‌وری طی دوره‌ی ۲۰۰۱-۲۰۱۲ پرداختند. نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که از طریق بهبود کارایی انرژی، مصرف انرژی به میزان ۱۸/۱ درصد در سال برای کشورهای در حال توسعه‌ی منتخب کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل کارایی پویا نشان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی با ۲/۶ درصد در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال پایه (۲۰۰۱) در کشورهای منتخب بهبود یافته است. با تجزیه

شاخص عملکرد کارایی انرژی به دو قسمت مرتبط با آن، ملاحظه می‌شود که تغییر کارایی انرژی استاتیک تأثیر منفی داشته در حالی که تغییرات تکنولوژی، تأثیر مثبتی بر تغییر عملکرد کارایی انرژی پویا داشته است.

اوحدی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با عنوان « محاسبه زیست‌کارایی انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در کشورهای نفت‌خیز » با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها، به تجزیه و تحلیل کارایی زیست‌محیطی و انتشار دی‌اکسیدکربن، ۹ کشور نفتی در حال توسعه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کشور ایران پس از کشور برزیل با کسب نمره ۴۲٪ و تخصیص‌رتبه ۸ از بین ۹ کشور تحت بررسی از کمترین میزان کارایی زیست‌محیطی درمقایسه با سایر کشورهای تحت مطالعه برخوردار بوده و از جایگاه مطلوبی درمقایسه با سایر کشورها برخوردار نیست.

### مطالعات خارجی

چانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل کارایی زیست‌محیطی سیستم حمل و نقل در چین با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها غیر شعاعی مبتنی بر اسلک پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اکثر استان‌های چین در صنعت حمل‌ونقل سازگار با محیط زیست نیستند. سطوح کارایی زیست‌محیطی در اکثر استان‌ها کمتر از ۵۰ درصد سطح ایده آل یا هدف است. بنابراین، صنعت حمل و نقل چین از نظر زیست‌محیطی بسیار ناکارآمد است. چین می‌تواند میزان زیادی از انتشار کربن را در هر استان کاهش دهد که از حداقل ۱/۶ میلیون تن معادل نفت خام در چانگها و حداکثر ۳۳ میلیون تن معادل نفت خام در گوانگدونگ و شانگها متغیر است.

پارک و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با عنوان « ارزیابی کارایی زیست‌محیطی بخش حمل و نقل ایالات متحده » با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های اندازه‌گیری مبتنی بر اسلک (SBM-DEA) پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بخش حمل و نقل ایالات متحده از نظر زیست‌محیطی ناکارآمد است. آنها علاوه بر کارایی زیست‌محیطی، کارایی کربن و کاهش بالقوه کربن برای ۵۰ ایالت ایالات متحده برآورد نمودند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بخش حمل و نقل ایالات متحده از نظر

1. chang et al

زیست‌محیطی ناکارآمد است. همچنین میانگین امتیاز کارایی زیست‌محیطی حمل و نقل زیر ۰/۶۴ می‌باشد. بنابراین، ایالت‌ها می‌توانند به طور قابل ملاحظه‌ای انتشار کربن را برای بهبود کارایی زیست‌محیطی بخش‌های حمل و نقل خود کاهش دهند.

عمرانی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی کارایی انرژی بخش حمل و نقل ۲۰ استان ایران با استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها - بازی مشارکتی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد برخی از استان‌های کوچکتر در مقایسه با استان‌های بزرگ در بخش حمل و نقل از کارآیی انرژی بهتری برخوردار هستند.

رین و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به اندازه‌گیری کارآیی انرژی و انتشار کربن سیستم‌های حمل و نقل منطقه‌ای در چین با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با محدودیت شانس غیر شعاعی پرداختند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که اکثر سیستم حمل و نقل منطقه‌ای چین دارای کارآیی انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن پایینی هستند و ناکارآمدی‌ها عمدتاً به دلیل کارآیی پایین مصرف بنزین و نفت سفید است.

ژو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای با عنوان «مدل‌سازی خروجی نامطلوب با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس تبدیل نمایی» با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارآیی انرژی در چین با توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اکثر بخش‌های صنعت چین، به‌ویژه بخش‌های مرتبط با استخراج انرژی، عملکرد خوبی ندارند. بر اساس نتایج ارزیابی کارآیی، این مقاله محاسبه می‌کند که چگونه هر بخش می‌تواند از طریق صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار به بهبود کارآیی دست یابد.

وو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به اندازه‌گیری کارآیی انرژی و زیست‌محیطی سیستم‌های حمل و نقل در چین بر اساس یک رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها موازی پرداختند. این مقاله حمل و نقل را به عنوان یک سیستم موازی متشکل از زیرسیستم‌های حمل و نقل مسافر و بار بررسی می‌کند و یک رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها موازی را برای ارزیابی کارایی هر زیرسیستم گسترش می‌دهد. نتایج ۳۰ منطقه در سطح استانی چین نشان می‌دهد که اکثر آنها در سیستم حمل‌ونقل و دو زیرسیستم

1. Ren et al  
2. Zhou et al  
3. Wu et al

موازی کارایی پایینی دارند. تفاوت‌های کارایی زیادی بین زیرسیستم‌های حمل و نقل مسافر و بار وجود دارد. علاوه بر این، توسعه نامتوازن در سه منطقه بزرگ چین رخ داده است که مناطق شرقی و پس از آن چین مرکزی و سپس غرب بالاترین کارایی را دارد. با بررسی مطالعات انجام شده مشخص می‌گردد که با وجود اینکه روش تحلیل پوششی داده‌ها به طور گسترده‌ای در ارزیابی کارایی انرژی و محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما فقط چند مطالعه موجود در مورد سیستم‌های حمل و نقل، به ویژه برای تحقیقات در زمینه کارایی انرژی و محیط زیست، در دسترس است. علاوه بر این، در تمام مطالعات قبلی سیستم حمل و نقل به عنوان یک کل در نظر گرفته شده است، در حالی که در واقعیت سیستم حمل و نقل شامل حمل و نقل بار و مسافر می‌باشد. همچنین، با بررسی تحقیقات فوق در مورد خروجی با مجموع ثابت مشخص گردید که تحقیقات اندکی در مورد ورودی انرژی با انتشار آلودگی با مجموع ثابت صورت گرفته است. علاوه بر این، در مطالعات موجود، مرز کارایی تعادلی (EEF) مبتنی بر استراتژی مینیمم کاهش خروجی در آن ثابت می‌باشند. در این پژوهش از رویکرد ورودی و خروجی با مجموع ثابت مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها با مرز کارایی تعادلی تعمیم‌یافته جدید برای ارزیابی پایداری بر حسب کارایی انرژی و زیست‌محیطی سیستم حمل و نقل با در نظر گرفتن مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی با مجموع ثابت استفاده می‌شود.

#### ۴- معرفی متغیرهای پژوهش و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش متغیرهای ورودی و خروجی مورد استفاده برای تحلیل کارایی انرژی و محیط زیست در جدول (۱) خلاصه شده است.

##### جدول ۱. متغیرهای ورودی و خروجی

واحد	متغیر	ورودی / خروجی
میلیارد ریال	سرمایه	ورودی غیر انرژی
نفر	نیروی کار	ورودی انرژی
ده هزار تن معادل نفت خام (1000toe)	انرژی	ورودی انرژی
میلیون نفر-کیلومتر	PTV	خروجی مطلوب
میلیون تن-کیلومتر	FTV	خروجی مطلوب
تن	CO <sub>2</sub>	خروجی نامطلوب

1. Equilibrium efficient frontier

در پژوهش حاضر، به منظور تحلیل کارآیی انرژی و زیست‌محیطی بخش حمل و نقل ایران تحت محدودیت مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی، به جزء داده‌های انتشار دی‌اکسیدکربن از داده‌های مرکز آمار ایران، ترازنامه آماری سال ۱۳۹۷، سالنامه آماری راهداری و حمل و نقل جاده‌ای سال ۱۳۹۷، آمارنامه‌ی مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی زا سال ۱۳۹۷، سالنامه آماری کشور در سال ۱۳۹۷ استفاده شده است. با این حال، در مورد انتشار دی‌اکسیدکربن در سطح استانی هنوز آمار رسمی در کشور وجود ندارد. بنابراین، در این مقاله برای محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش حمل و نقل استانی از مدل ردپای کربن که توسط چانگ و همکاران (۲۰۱۳) و بی و همکاران (۲۰۱۴) با موفقیت به کار گرفته شده است، استفاده شده است. بر اساس دستورالعمل‌های پانل بین دولتی تغییرات آب و هوایی (ICPP)<sup>۱</sup> برای فهرست ملی گازهای گلخانه‌ای محاسبه داده‌های دی‌اکسیدکربن، انتشار دی‌اکسیدکربن سوخت‌های فسیلی را با استفاده از معادله زیر می‌توان تخمین زد.

$$\text{انتشار CO}_2 = \sum_{i=1}^n A \times CCF_i \times HE_i \times COF_i \times \frac{44}{12} \quad (10)$$

بر اساس رابطه (۱۰)، انتشار دی‌اکسیدکربن به مقدار مصرف تمام سوخت کربنی احتراق شده (A)، ضریب محتوای کربن (CCF<sup>۲</sup>)، معادل حرارت (HE<sup>۳</sup>) و ضریب اکسیداسیون کربن (COF<sup>۴</sup>) سوخت کربنی مربوط می‌شود. عوامل انتشار دی‌اکسیدکربن نشان داده شده در جدول (۲) منعکس‌کننده چندین نوع اصلی سوخت کربن‌دار هستند.

**جدول ۲. عوامل انتشار دی‌اکسیدکربن با استفاده از انواع سوخت‌های کربنی در ایران**

سوخت	بنزین	نفت گاز	گاز طبیعی
CCF	۱۸/۹	۲۰/۱۷	۱۵/۳۲
HF	۴۴۸	۴۳۳/۳	۰/۳۸۴
COF(%)	۹۸	۹۸/۲	۹۹

CCF و HE به ترتیب بر حسب تن کربن/تریلیون ول و تریلیون ژول/(m<sup>3</sup>)<sup>۱۰</sup>

1. International conference on parallel processing
2. The carbon content factor
3. The heat equivalent
4. The carbon oxidation factor

آمار توصیفی برای ورودی‌ها و خروجی‌های ۳۱ استان کشور در جدول (۳) داده شده است.

جدول ۳. آمار توصیفی ورودی / خروجی

متغیرها	ورودی غیر انرژی		ورودی انرژی	خروجی مطلوب		خروجی نامطلوب
	نیروی کار	سرمایه	انرژی	FTV	PTV	CO <sub>2</sub>
میانگین	۱۰۰۰۲/۲	۲۳۲۴۰۱۳۹	۱۱۹۶۲/۱	۵۵۷۶/۸	۱۰۱۰/۸	۳۲۴۹۵۶۲/۸
میانه	۱۴۹۲۷	۱۸۸۱۸۵۷۵/۱	۱۳۴۹۶/۳	۴۱۷۶	۷۹۱	۴۱۱۲۱۵۷/۴
انحراف معیار	۱۴۳۱۷/۰۸	۴۶۸۳۷۸۴۰/۱	۱۵۲۷۷/۹	۶۷۱۰/۰۷	۱۶۲۶/۰۸	۴۶۹۵۴۱۸/۵
ماکزیمم	۶۲۹۷۷	۲۷۰۶۹۸۷۱۹	۵۷۰۵۱/۱	۲۳۲۶۵	۷۹۷۰	۲۴۲۲۲۶۰۵/۱
مینیمم	۳۵۵۸	۴۸۹۹۵۵۹/۴	۱۷۷/۷	۳۳۳	۲۶۱	۱۱۳۹۲۹۸/۶

منبع: یافته‌های پژوهش

یکی از روش‌های اندازه‌گیری کارایی، روش ناپارامتریک است. در روش ناپارامتریک که بارزترین آن روش تحلیل پوششی داده‌ها است، تکنیک مورد استفاده برنامه‌ریزی خطی است. در این روش با استفاده از یک مجموعه‌ی چندگانه از متغیرهای ورودی و خروجی، کارایی یک گروه از واحدهای مورد بررسی تعیین می‌شود و به ازای یک مجموعه‌ی مشخص از متغیرهای ورودی و خروجی، رتبه‌ی مشخصی به هر یک از واحدهای مورد بررسی اختصاص می‌یابد. همچنین، مرز کارا به صورت تجربی مشخص می‌شود (مردانی و تاکی، ۲۰۲۰). در این پژوهش با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مرز کارایی تعادل عمومی به ارزیابی کارایی مصرف انرژی و زیست‌محیطی در سیستم حمل و نقل پرداخته می‌شود.

##### ۵- روش شناسی تحقیق

هدف اصلی این بخش، توسعه مدل تحلیل پوششی داده‌ها با مرز کارایی تعادل عمومی مبتنی بر ورودی انرژی و خروجی آلودگی محیط‌زیست با مجموع ثابت برای ارزیابی پایداری بر حسب کارایی انرژی و زیست‌محیطی سیستم حمل و نقل در ایران می‌باشد.

## ۵-۱- شالوده اصلی مرز کارآیی تعادلی

در این مطالعه، هر واحد تصمیم‌گیری مربوط به یک استان در سطح کشور است. این مطالعه شامل  $n$  بخش صنعتی (واحد تصمیم‌گیری) است و هرکدام از آنها  $p$  ورودی انرژی  $(z_j = (z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{pj})^T)$  به همراه  $m$  ورودی غیرانرژی  $(X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T)$  مصرف می‌کند تا  $s$  خروجی مطلوب  $(y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T)$  تولید گردد. بعلاوه،  $l$  خروجی نامطلوب (آلودگی‌های زیست‌محیطی)  $(f_j = (f_{1j}, f_{2j}, \dots, f_{lj})^T)$  نیز تولید می‌گردد. معیار کارآیی انرژی و زیست‌محیطی (بنکر و همکاران، ۱۹۸۴) براساس مفروضات نهاده‌گرا و بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS)<sup>۱</sup> به شرح رابطه (۱۱) است.

$$\theta_k^{BCC} = \text{Max} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^l w_t f_{tk} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dk}}$$

$$\text{s.t.} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^l w_t f_{tj} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dj}} \leq 1, j=1, 2, \dots, n$$

$$u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s;$$

$$w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l;$$

$$v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$\eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p;$$

آزاد در علامت  $u_0$

متغیرهای  $u_r, w_t, v_i$  و  $\eta_d$  در مدل (امیرتیموری و همکاران، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران ۲۰۲۰) ضرایب مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌ها هستند. فرض می‌شود خروجی نامطلوب در دسترس است (گالونی<sup>۲</sup> و رول<sup>۳</sup>، ۱۹۸۹؛ سیفرد<sup>۴</sup> و ژو، ۲۰۰۲؛ شی و همکاران، ۲۰۱۰ و وو و همکاران ۲۰۱۶) و  $\theta_k^{BCC}$  به عنوان امتیاز کارآیی انرژی و زیست‌محیطی برای تصمیم‌گیرنده  $k$  است.

- 1 . Variable returns to scale
- 2 . Golany
- 3 . Roll
- 4 . Seiford

اندازه‌گیری فوق، کاهش مصرف انرژی و انتشار آلودگی زیست‌محیطی با مجموع ثابت را نادیده می‌گیرد. بنابراین، با استفاده از مدل یانگ و همکاران (2011)، مینیمم خروجی نامطلوب و ورودی انرژی بدست‌آمده برای  $DMU_K$  با توجه به قید مجموع ثابت به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{t=1}^l w_t \beta_{tk} + \sum_{d=1}^p \eta_d \alpha_{dk} \\
 \text{s.t. } & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^l w_t (f_{tk} - \beta_{tk}) + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{d=1}^p \eta_d (z_{dk} - \alpha_{dk})} = 1; \\
 & \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{tj} - \sum_{t=1}^l w_t (f_{tj} + \beta_{tj}) + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^p \eta_d (z_{dj} + \alpha_{dj})} \leq 1, \text{ for } \forall j \neq k; \\
 & \sum_{j=1, j \neq k}^n \beta_{tj} - \beta_{tk} = -\beta_t \quad \text{for } \forall t; \\
 & \sum_{j=1, j \neq k}^n \alpha_{dj} - \alpha_{dk} = -\alpha_d \quad \text{for } \forall d; \\
 & \sum_{j=1, j \neq k}^n \alpha_{dj} - \alpha_{dk} = -\alpha_t \quad \text{for } \forall d; \\
 & 0 \leq \beta_{tk} \leq f_{tk}, \quad 0 \leq \alpha_{dk} \leq z_{dk} \quad \text{for } \forall t, d; \\
 & 0 \leq \beta_{tj} \quad 0 \leq \alpha_{dj} \quad \text{for } \forall t, d, \forall j \neq k; \\
 & u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s; \\
 & w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l; \\
 & v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m; \\
 & \eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p;
 \end{aligned} \tag{12}$$

$u_0$  آزاد در علامت

در مدل بنکر و همکارا (1984)  $(\beta_{tk} (t=1, 2, \dots, l))$  و  $(\alpha_{dk} (d=1, 2, \dots, p))$  به ترتیب کاهش خروجی نامطلوب و کاهش ورودی انرژی  $DMU_K$  را ارزیابی می‌کند.  $\beta_{tj} (t=1, 2, \dots, l); j=1, 2, \dots, n \neq k)$  و  $\alpha_{dj} (d=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, n \neq k)$  متغیرهای برونزا در مدل هستند و به ترتیب افزایش خروجی نامطلوب و افزایش ورودی انرژی برای سایر  $DMU_j (j \neq k)$  و  $\beta_t$  و  $\alpha_d$  کاهش تعیین شده برای خروجی نامطلوب و ورودی انرژی به منظور حمایت از محیط زیست و دستیابی به مصرف انرژی پایدار

می‌باشند. یانگ و همکاران (۲۰۱۱)، نشان دادند که امتیاز کارایی  $DMU_K$  پس از تعدیل خروجی‌ها یک است، این نتیجه همچنان در وضعیت خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت بکار می‌رود. محدودیت‌های سوم و چهارم تضمین می‌کنند که میزان کاهش هر واحد تصمیم‌گیری از خروجی‌های نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت، برابر با هدف کاهش از پیش تعیین شده است.

یانگ و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) و فانگ<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) پیشنهاد به کارگیری مرز کارایی تعادل عمومی همه واحدهای تصمیم‌گیری را دادند. پایه مرز کارایی تعادل عمومی این است که همه واحدهای تصمیم‌گیری با تعدیل خروجی با مجموع ثابت، کارا شوند. مجموع وزنی  $W$  که پایه در این مطالعه را تشکیل می‌دهد، به صورت رابطه می‌باشد.

$$W = (u_r, w_t, v_i, \eta_d, \beta_{tj}, \alpha_{dj}, u_0) \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^l w_t (f_{tj} + \beta_{tj}) + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^p \eta_d (z_{dj} + \alpha_{dj})} = 1; \text{ for } \forall j;$$

$$\sum_{j=1}^n \beta_{tj} + \beta_t = 0 \quad \text{for } \forall t;$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{dj} + \alpha_d = 0 \quad \text{for } \forall d;$$

$$f_{tj} + \beta_{tj} \geq 0 \quad \text{for } \forall t, j;$$

$$z_{dj} + \alpha_{dj} \geq 0 \quad \text{for } \forall t, j;$$

$$u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s;$$

$$w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l;$$

$$v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$\eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p$$

$u_0, \beta_{tj}, \alpha_{dj}$  آزاد در علامت

$\alpha_{dj}$  و  $\beta_{tj}$  به ترتیب  $t^{\text{th}}$  خروجی نامطلوب و  $d^{\text{th}}$  ورودی  $DMU_j$  هستند. علامت  $\beta_{tj}$  و  $\alpha_{dj}$  مستقل می‌باشند. این به این معناست که می‌تواند مثبت، منفی و صفر باشند. ارزش صفر برای  $\beta_{tj}$  و  $\alpha_{dj}$  نشان می‌دهد که  $DMU_j$ ها قبلاً بدون هیچ تغییری به سطح تعادل رسیدند. اولین محدودیت  $DMU_j$ ها، کارایی از طریق تعدیل خروجی نامطلوب و ورودی انرژی است.

۵-۲- تعیین مرز کارآیی تعادلی از طریق درجه رضایت<sup>۱</sup>

یانگ و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) و فانگ و لی (۲۰۱۵) مدل‌های متناظر را برای دستیابی به مرز کارآیی تعادل عمومی توسعه داده‌اند، هدف آنها مینیمم کردن مجموع وزنی خروجی با مجموع ثابت است.

در این بخش، با ماکزیمم - مینیمم کردن مجموع وزنی خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت هر کدام از واحد تصمیم‌گیری، می‌توان به مرز کارآیی تعادل عمومی دست یافت. بر اساس مجموع وزنی  $W$  در مدل بی و همکاران (۲۰۱۴)، ماکزیمم - مینیمم کردن مجموع وزنی خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت هر کدام از  $DMU_k(1, \dots, n)$  با استفاده از مدل چانگ و همکاران (۲۰۱۳) به صورت رابطه (۱۴) نگاشته شد.

$$\bar{f}_k(f_k) = \max(\min) \sum_{t=1}^l W_t |\beta_{tk}| + \sum_{d=1}^p \eta_d |\alpha_{dk}|$$

$$\text{s.t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^l w_t (f_{tj} + \beta_{tj}) + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^p \eta_d (z_{dj} + \alpha_{dj})} = 1; \text{ for } \forall j;$$
(۱۴)

$$\sum_{j=1}^n \beta_{tj} + \beta_t = 0 \quad \text{for } \forall t;$$

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{dj} + \alpha_d = 0 \quad \text{for } \forall d$$

$$f_{tj} + \beta_{tj} \geq 0 \quad \text{for } \forall t, j;$$

$$z_{dj} + \alpha_{dj} \geq 0 \quad \text{for } \forall t, j;$$

$$u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s;$$

$$w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l;$$

$$v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$\eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p;$$

آزاد در علامت  $u_0, \beta_{tj}, \alpha_{dj}$

1. Equilibrium efficient frontier determination based on satisfaction degree

با توجه به اینکه علائم  $\alpha_{dj}$  و  $\beta_{tj}$  مستقل می‌باشند، در تابع هدف برای ماکزیمم - مینیمم کردن تعدیل وزنی خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت،  $|\beta_{tk}|$  و  $|\alpha_{dk}|$  به صورت  $|\beta_{tk}| = a_{tk} + b_{tk}$  و  $|\alpha_{dk}| = g_{dk} + h_{dk}$  می‌باشد. در نتیجه با تبدیل مدل غیر خطی چانگ و و همکاران (۲۰۱۳) به مدل خطی، مدل چانگ و همکاران (۲۰۱۳) به صورت رابطه (۱۵) نگاشته می‌شود.

$$\begin{aligned} \bar{f}_k(\underline{f}_k) &= \max(\min) \sum_{t=1}^l (a_{tk} + b_{tk}) + \sum_{d=1}^p (g_{dk} + h_{dk}) \\ \text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^l w_t f_{tj} - \sum_{i=1}^m (a_{ij} - b_{ij}) + u_0 - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dj} + \sum_{d=1}^p (g_{dj} - h_{dj}) &= 0, \text{ for } \forall j; \\ \sum_{j=1}^n (a_{ij} - b_{ij}) + w_t \beta_t &= 0 \quad \text{for } \forall t; \\ \sum_{j=1}^n (g_{dj} - h_{dj}) + \eta_d \alpha_d &= 0 \quad \text{for } \forall d; \\ \sum_{j=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dj} - \sum_{d=1}^p (g_{dj} - h_{dj}) &= C; \\ w_t f_{tj} + (a_{ij} - b_{ij}) &\geq 0 \quad \text{for } \forall t, j; \\ \eta_d z_{dj} + (g_{dj} - h_{dj}) &\geq 0 \quad \text{for } \forall d, j; \\ u_r &\geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s; \\ w_t &\geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l; \\ v_i &\geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m; \\ \eta_d &\geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p; \\ a_{ij}, b_{ij}, g_{dj}, h_{dj} &\geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p; \\ u_0 &\text{ آزاد در علامت} \end{aligned} \quad (15)$$

در مدل چارنز و همکاران (۱۹۷۸)، ماکزیمم - مینیمم مجموع وزنی خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت هر واحد تصمیم‌گیری بر اساس مجموع وزنی  $W$  کارآیی تعادل عمومی می‌باشد. در عمل، هر واحد تصمیم‌گیری مایل است به حداقل مجموع وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت  $f_k^*$  ( $k=1, \dots, n$ ) برسد. همچنین، واحد تصمیم‌گیری مایل نیست به حداکثر مجموع

وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت  $\bar{f}_k^*$  ( $k=1, \dots, n$ ) برسد (وو و همکاران ۲۰۱۳). بنابراین، درجه رضایت هر کدام از واحدهای تصمیم‌گیری می‌تواند روی خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت اثر بگذارد. تعریف درجه رضایت  $DMU_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) به صورت رابطه (۱۶) نگاشته می‌شود.

$$S_j = \frac{\bar{f}_j - f_j}{\bar{f}_j^* - f_j^*} \quad j=1, 2, \dots, n \quad (16)$$

هر کدام از درجه رضایت واحدهای تصمیم‌گیری می‌تواند به وسیله  $S_j \in [0, 1]$ ,  $j=1, \dots, n$  تعیین شود. اگر  $S_j=1$  باشد،  $DMU_j$  به حداقل مجموع وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت  $\bar{f}_j^*$  خواهد رسید. اگر  $S_j=0$  باشد،  $DMU_j$  به حداکثر مجموع وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت  $\bar{f}_j^*$  خواهد رسید. ممکن است برای هر واحد تصمیم‌گیری،  $S_j=1$  نباشد، اما هر واحد تصمیم‌گیری با سایر واحدهای تصمیم‌گیری برای ماکزیمم کردن درجه رضایت چانه‌زنی خواهد کرد. وو و همکاران (۲۰۱۶)، نشان دادند که چانه زنی بین واحدهای تصمیم‌گیری نباید تفاوت زیادی ایجاد کند. دلیل آن این است که اختلافات زیاد بین همه واحدهای تصمیم‌گیری، تمایل برخی از واحدهای تصمیم‌گیری را برای مشارکت در دستیابی به مرز کارآیی تعادل عمومی کاهش می‌دهد. بر اساس مطالعات بی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، وو و همکاران (۲۰۱۶) و لی و همکاران (۲۰۱۳)، مرز کارآیی تعادل عمومی باید درجه رضایت همه واحدهای تصمیم‌گیری را ماکزیمم کند و اختلاف درجه رضایت هر واحد تصمیم‌گیری را کاهش دهد. بنابراین، مدل اگیلمیز<sup>۲</sup> و پارک (۲۰۱۴) که یک برنامه ریزی خطی<sup>۳</sup> تک هدفه است، برای محاسبه مجموع وزنی کاهش بهینه خروجی نامطلوب و ورودی انرژی هر  $DMU_j$  به صورت رابطه (۱۷) نگاشته می‌شود:

1 . Bi  
2 . Egilmez  
3 . linear programming

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } S \\
 & \frac{\bar{f}_j^* - \left( \sum_{t=1}^l (a_{tj} - b_{tj}) - \sum_{d=1}^p (g_{dj} + h_{dj}) \right)}{\bar{f}_j^* - \underline{f}_j^*} \geq S, \text{ for } \forall j; \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^l w_t f_{tj} - \sum_{t=1}^l (a_{tj} - b_{tj}) + u_0 - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dj} - \sum_{d=1}^p (g_{dj} - h_{dj}) = 0, \text{ for } \forall j; \\
 & \sum_{j=1, \dots, n} (a_{tj} - b_{tj}) + w_t \beta_t = 0 \quad \text{for } \forall t; \\
 & \sum_{j=1, \dots, n} (g_{dj} - h_{dj}) + \eta_d \alpha_d = 0 \quad \text{for } \forall d; \\
 & \sum_{j=1, \dots, m} v_i x_{ij} - \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dj} - \sum_{d=1}^p (g_{dj} - h_{dj}) = C \\
 & w_t f_{tj} + (a_{tj} - b_{tj}) \geq 0 \quad \text{for } \forall t, j; \\
 & \eta_d z_{dj} + (g_{dj} - h_{dj}) \geq 0 \quad \text{for } \forall d, j; \\
 & u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s; \\
 & w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l; \\
 & v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m; \\
 & \eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p; \\
 & a_{tj}, b_{tj}, g_{dj}, h_{dj} \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p; \\
 & u_0 \text{ آزاد در علامت}
 \end{aligned}
 \tag{۱۷}$$

### ۵-۳- ارزیابی کارآیی پایداری روی مرز کارآیی تعادل عمومی

در دو زیر مجموعه بالا، تعدیل بهینه واحدهای تصمیم‌گیری  $\beta_{tj}$  و  $\alpha_{dj}$  برای ساختار مرز کارآیی تعادل عمومی تعیین می‌شود. بر اساس چنین پلتفرم مشترک، کارآیی پایداری  $DMU_k (k=1, \dots, n)$  با استفاده از مدل امروزنژاد<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) به صورت رابطه (۱۸) نگاشته می‌شود.

$$\theta_k^{BCC} = \text{Max} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^l w_t f_{tk} + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{d=1}^p \eta_d z_{dk}}$$

$$\text{s.t.} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^l w_t (f_{tk} + a_{tj}^{**} - b_{tj}^{**}) + u_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} + \sum_{d=1}^p \eta_d (z_{dj} + g_{dj}^{**} - h_{dj}^{**})} \leq 1, j=1, 2, \dots, n$$

$$u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s;$$

$$w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l;$$

$$v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$\eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p;$$

$u_0$  آزاد در علامت

\*\* مقدار بهینه مدل اگلیمیز و پارک (۲۰۱۴) را نشان می دهد.

همچنین، مدل امروزنژاد یک مدل غیرخطی است و می توان با استفاده از مدل چارنر و کوپر (۱۹۶۲) آن را به مدل خطی به صورت رابطه (۱۹) تبدیل نمود (امروزنژاد، ۲۰۱۴).

$$\theta_k^{EEF} = \text{Max} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^l w_t f_{tk} + u_0$$

$$\text{s.t.} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^l w_t (f_{tk} + a_{tj}^{**} - b_{tj}^{**}) + u_0 - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{d=1}^p \eta_d (z_{dj} + g_{dj}^{**} - h_{dj}^{**}) \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$u_r \geq 0 \quad r=1, 2, \dots, s;$$

$$w_t \geq 0 \quad t=1, 2, \dots, l;$$

$$v_i \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, m;$$

$$\eta_d \geq 0 \quad d=1, 2, \dots, p;$$

$u_0$  آزاد در علامت

## ۶- نتایج تجربی

جدول (۴) تا (۶) نتایج حاصل از تحلیل کارایی انرژی و زیست محیطی بخش حمل و نقل ایران تحت محدودیت مصرف انرژی و آلودگی زیست محیطی در ۳۱ استان کشور را نشان می دهد.

### ۶-۱- نتایج مرز کارآیی تعادلی (EEF)

برای تعیین مرز کارآیی تعادل عمومی، با توجه به فرض مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت از روش پیشنهادی استفاده شده است. مجموع مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن به ترتیب ۵۵۸۱۹۲ واحد (یک واحد= ده هزار تن معادل نفت خام (1000 toe) و ۱۷۵۸۸۶۶۰۰ واحد (یک واحد= ده هزار تن معادل نفت خام (1000 toe) است.

فرض کنید دولت برای توسعه پایدار نیازمند کاهش ده درصدی در هر دو مورد مجموع مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن می‌باشد. بنابراین، می‌بایست مجموع مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت به ترتیب ۵۰۲۳۷۲ واحد (یک واحد= ده هزار تن معادل نفت خام (10000 toe) و ۱۵۸۲۹۷۹۴۰ واحد (یک واحد= ده هزار تن معادل نفت خام (10000 toe) برسد.

ابتدا، از مدل پیشنهادی (چارنز و همکاران ۱۹۷۸) برای تعیین ماکزیمم - مینیمم مجموع وزنی مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت برای هر واحد تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. جدول شماره (۴) نتایج مربوطه را نشان می‌دهد.

نتایج مدل چارنز و همکاران (۱۹۷۸) با استفاده از  $\alpha_k = 558192$  و  $\beta_t = 175886600$  و  $c = 100$  محاسبه می‌شود. ستون‌های ۲ تا ۶ نتایج را بر اساس معیار ماکزیمم مجموع وزنی نشان می‌دهد. ستون ۲ ماکزیمم مجموع وزنی مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت را نشان می‌دهد. ستون ۳ و ۴ به ترتیب تعدیل بهینه انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی را نشان می‌دهد. در این دو ستون مقادیر مثبت نشان می‌دهد که استان‌های در نظر گرفته شده می‌بایست مقدار خروجی/ ورودی مربوطه را برای بدست آوردن مرز کارآیی تعادلی افزایش دهند، در حالی که مقادیر منفی به این معناست که برای دستیابی به مرز کارآیی تعادلی نیاز به کاهش دارند. مقادیر تعیین شده نهایی انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی برای هر استان در ستون ۵ و ۶ نشان داده شده است. نتایج مشابه بر اساس مینیمم مجموع وزنی در ستون‌های ۷ تا ۱۱ نشان داده شده است. از جدول (۴) نتایج ذیل حاصل می‌شود: (۱) بر اساس ماکزیمم مجموع وزنی، ماکزیمم مجموع وزنی انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی با مجموع ثابت در هر استان صفر نیست. این به این معناست که همه استان‌ها باید مصرف انرژی و انتشار

دی اکسیدکربن را تعدیل نمایند. برای تعدیل انتشار دی اکسیدکربن، ۱۷ استان کشور (آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اصفهان، خوزستان، فارس، قزوین، کردستان، کرمان، کرمانشاه، گلستان، گیلان، لرستان، مازندران، مرکزی، همدان، یزد) برای دستیابی به حداکثر مقدار نسبی تعدیل وزنی خود می‌بایست انتشار دی‌اکسید کربن را کاهش دهند. همچنین، برای دستیابی حداکثر تعدیل وزنی مصرف انرژی، تمام استان‌های کشور بجز استان‌های چهارمحال و بختیاری، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان، کرمان و همدان می‌بایست مصرف انرژی را کاهش دهند. (۲) در مقابل ماکزیمم مجموع وزنی، تنها ۶ استان می‌بایست انتشار دی اکسیدکربن را برای مینیمم کردن معیار وزنی تعدیل نمایند. این در حالی است که برای مینیمم کردن معیار وزنی، ۲۲ استان کشور می‌بایست مصرف انرژی خود را تعدیل نمایند. (۳) سطر آخر جدول (۴) نشان می‌دهد که مجموع تعدیل انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی استان‌ها بر اساس معیار ماکزیمم - مینیمم مجموع وزنی به ترتیب (۵۹۸۷۹۲ و ۱۹۰۸۹۷-) و (۲۹۰۶۰- و ۸۶۱۰۶-) می‌باشد. در حالی که مجموع تعدیل مورد نیاز (۱۷۵۸۸۶۶۰ و ۵۵۸۱۹) می‌باشد. بنابراین، معیار مبتنی بر تعدیل ماکزیمم و مینیمم هر استان نمی‌تواند به طور مستقیم برای ایجاد مرز کارآیی تعادلی استفاده شود. این نتیجه با نتایج مطالعات زوو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، یانگ و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) و فانگ و لی (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

از این رو، برای دستیابی به مرز کارآیی تعادلی از مدل پیشنهادی اگلمیز و پارک (۲۰۱۴) برای ماکزیمم - مینیمم کردن درجه رضایت در بین ۳۱ استان کشور استفاده می‌شود. نتایج مربوطه در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج حاصل از جدول (۵) به شرح ذیل خلاصه می‌شود: (۱) مینیمم درجه رضایت ۰/۹۷۹ است که از ماکزیمم - مینیمم درجه رضایت بدست می‌آید. بعلاوه، همه استان‌ها دارای درجه رضایت یکسان ۰/۹۷۹ می‌باشند. با توجه به اینکه حداقل درجه رضایت در تمام استان‌های کشور ۰/۹۷۹ می‌باشد و نزدیک به یک می‌باشد. لذا همه استان‌های کشور به حداقل مجموع وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت خواهند رسید. (۲) با دستیابی به مرز کارآیی تعادلی، ۱۲ استان می‌بایست مقدار مشخصی از انتشار دی اکسیدکربن را

کاهش دهند. برای تعدیل مصرف انرژی به‌جزء استان سیستان و بلوچستان تمام استان‌های کشور میزان مصرف انرژی را می‌بایست کاهش دهند. دلیل کاهش مصرف انرژی در استان سیستان و بلوچستان قاچاق نفت گاز و بنزین به خارج از کشور می‌باشد. (۳) ردیف آخر جدول (۵) نشان می‌دهد که مقدار تعدیل انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی (۱۱۴۱۳- و ۹۲۰۹۵-) است که با کاهش مقدار مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن تعیین شده برابر نیست و این مقادیر کمتر از مقدار تعیین شده برای توسعه پایدار می‌باشد. حال آنکه بر اساس مطالعات زوو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در کشور چین، نتایج حاصله با مقدار تعیین شده برای توسعه پایدار مطابقت داشت. لذا می‌بایست مجموع مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت را بیش از ده درصد کاهش داد. دلیل افزایش مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن در کشور ما می‌تواند زیر ساخت فرسوده، عدم توانایی زیر ساخت، عدم استفاده از فناوری جدید، عدم افزایش راندمان وسایل نقلیه، عدم رعایت الزامات زیست‌محیطی در بخش حمل و نقل و عدم توانایی سیاستگذاران در بهره‌گیری از صرفه‌های حاصل از مقیاس به عنوان فرصتی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها برای رسیدن به این سطح از انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی باشد.

جدول ۴. نتایج ماکزیمم و مینییم مجموع وزنی انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی با مجموع ثابت

مینییم					ماکزیمم					DMU
$z_{dj} + \alpha_{dj}$	$f_{tj} + \beta_{tj}$	$\alpha_{dj}$	$\beta_{tj}$	$\bar{f}_j^*$	$z_{dj} + \alpha_{dj}$	$f_{tj} + \beta_{tj}$	$\alpha_{dj}$	$\beta_{tj}$	$\bar{f}_j^*$	
۳۵۵۹۳/۱	۷۵۹۷۱۱۸	-۱۲۹۵۳/۳	-۶۷۴۰/۳	۰/۲۶	۳۵۵۹۳/۱	۷۵۹۶۳۸۴۱۵۶/۵	-۱۲۹۸۵/۴	۷۴۷۳/۷-	۳/۹	آذربایجان شرقی
۲۸۳۲۸/۳	۵۴۱۲۵۳۷/۹	--۶۷۵۳	۰	۰/۱۰	۲۷۱۷۶/۱	۵۴۱۰۷۱۲/۲	-۷۹۰۵/۲	-۱۸۲۵/۶-	۱۶/۹	آذربایجان غربی
۱۱۰۰۹/۷	۲۲۱۵۲۱۱/۲	-۲۴۸۶/۵	۰	۰/۰۴	۱۰۳۲۷/۳	۲۲۱۷۹۵۰/۱	-۳۱۶۸/۹	۲۷۳۸/۹	۱۱	اردبیل
۳۴۸۷۴/۳	۱۳۹۰۰۲۴۹/۶	-۳۱۱۳/۱	-۸۴۷۲/۳	۰/۱۳	۳۴۶۰۵/۱	۱۳۸۹۹۹۳۵/۵	-۳۳۸۲/۳	-۸۷۸۶/۴	۶/۱	اصفهان
۱۲۷۰۰/۶	۴۷۴۰۰۸۷/۸	-۳۵۴۵/۶	۰	۰/۰۵	۱۲۵۹۰/۴	۴۷۴۰۴۰۱	-۳۶۵۵/۸	۳۱۳/۲	۵/۹	البرز
۲۷۱۶/۸	۱۱۳۹۲۹۸/۶	۰	۰	۰	۲۰۶۰/۳	۱۱۴۸۲۹۲	-۶۵۶/۵	۸۹۹۳/۴۸	۴/۴	ایلام
۴۲۵۶/۲	۳۰۰۴۱۱۲/۱	-۱۱۹۵/۶-	۰	۰/۰۲	۴۱۹۶/۶	۳۰۱۱۹۰۱	-۱۲۵۵/۲	۷۷۸۸/۸	۷	بوشهر
۵۱۷۹۹/۳	۲۴۲۲۲۶۰۵/۱	-۵۲۵۱/۷	۰	۰/۰۸	۱۲۹۰۹/۷	۲۴۸۱۳۱۷۱/۵	-۴۴۱۴۱/۳	۵۹۰۵۶۶/۳	۱۷/۲	تهران
۵۴۲۰/۵	۱۷۵۴۹۱۰/۷	۰	۰	۰	۹۸۵۳/۷	۱۷۵۴۹۱۰/۷	۴۴۳۳/۱	۰	۱/۳	چهارمحال و بختیاری
۲۷۴۶/۵	۲۲۷۲۰۴۱/۷	۰	۰	۰	۵۱۷۵/۲	۲۴۱۵۴۷۴/۴	۴۴۳۳/۷	۰	۱۰	خراسان جنوبی
۴۶۶۰۸/۵	۱۲۶۲۴۸۶۳/۲	-۱۰۱۶۰/۹	۰	۰/۱۵	۲۶۱۳۲/۵	۱۲۷۷۴۶۳۰/۹	-۳۰۶۳۶/۹	۱۴۹۷۶۷/۷۲	۲۰/۱	خراسان رضوی
۶۴۵۷/۸	۱۳۷۸۸۲۴/۳	-۱۶۴۱/۳	۰	۰/۰۲	۴۷۲۵/۳	۲۱۲۳۶۹۹/۸	-۳۳۷۳/۸	۷۴۴۸۷۵/۴	۱۱/۶	خراسان شمالی
۲۱۶۵۹/۳	۹۸۳۶۵۳۳/۵	-۲۷۸۲/۹	۰	۰/۰۴	۱۳۸۹۷/۹	۸۸۳۹۷۹۸	-۱۰۵۴۴/۴	-۹۹۶۷۳۵/۵	۱۹/۸	خوزستان
۸۲۸۳/۲	۲۶۲۱۱۱۷/۵	-۲۵۳۵/۹	۰	۰/۰۴	۴۷۵۷	۳۲۲۸۶۱۹/۰۲	-۶۰۶۲/۰۷	۶۰۷۵۰۱/۴	۱۵/۲	زنجان
۶۰۹۹/۱	۲۷۹۳۴۶۰/۱	-۲۰۳۶/۸	۰	۰/۰۳	۳۲۶۶/۷	۲۹۵۰۰۷۱/۱	-۴۸۶۹/۳	۱۵۶۶۱۰/۹	۲/۶۴	سمنان
۱۷۴۱/۵	۷۰۰۳۶۰۷/۸	۱۵۶۳/۸	۰	۰/۰۲	۶۹۲۷/۷	۷۷۱۸۲۵۱/۸	۶۷۴۹/۹	۷۱۴۶۴۳/۹	۱۲/۸	سیستان و بلوچستان

۳۳۰۷۹/۵	۱۱۶۹۲۷۰۶/۷	-۴۸۴۹/۸	-۶۱۳۶/۵	۰/۱۳	۳۲۰۵۲/۶	۱۱۴۱۳۷۵۶/۹	-۵۷۸۶/۸	-۲۸۵۰۸۶/۴	۳/۳	فارس
۱۲۹۵۰/۵	۳۵۷۷۹۴۶/۵	-۳۲۶۸/۹	۰	۰/۰۵	۸۶۱۴/۸	۳۵۲۳۹۵۹/۱	-۷۶۰۴/۶	-۵۳۹۸۷/۴	۵	قزوین
۷۹۳۷	۳۶۱۹۳۳۱/۷	-۲۹۰۷/۴	۰	۰/۰۴	۴۴۴۱/۱	۳۶۳۳۳۱۰/۴	-۶۴۰۳/۳	۱۳۹۷۸/۷	۱۳/۴	قم
۱۱۲۸۸/۶	۵۵۶۳۵۶۶/۹	-۲۲۹۶/۶	۰	۰/۰۳	۸۷۰۵/۲	۵۴۰۳۲۲۸	-۴۸۸۰	-۱۶۰۳۳۸/۸	۸/۷	کردستان
۱۰۸۸۹/۲	۵۵۴۲۹۳۷	۰	۰	۰	۱۱۸۲۲	۵۵۰۴۶۱۳/۶	۹۳۲/۹	-۳۸۳۲۳/۴	۷/۱	کرمان
۱۷۸۴۷/۹	۴۰۱۵۶۰۷	-۳۷۵۹	۰	۰/۰۶	۱۲۷۹۱/۷	۳۹۳۱۲۷۱/۴	-۸۸۱۵/۲	-۸۴۳۳۵/۵	۷	کرمانشاه
۳۶۹۰/۶	۱۱۶۴۰۹۳/۱	-۱۷۱۴/۶	۰	۰/۰۳	۲۲۵۱/۹	۱۱۹۴۸۰۲/۵	-۳۱۵۳/۳	۳۰۷۰۹/۳	۲/۶	کهگیلویه و بویراحمد
۱۲۹۸۳/۳	۲۷۹۰۴۲۸	-۳۲۱۵/۳	۰	۰/۰۵	۹۰۱۹/۷	۲۷۴۴۴۹۵	-۷۱۷۸/۹	-۴۵۹۳۳	۳	گلستان
۱۶۶۵۶/۴	۵۴۱۰۳۲۲/۷	-۴۹۸۳	۰	۰/۰۷	۸۵۸۶/۶	۵۲۹۰۳۹۱/۸	-۱۳۰۵۲/۸	-۱۱۹۳۰/۸	۱۱/۸	گیلان
۸۱۴۱/۷	۳۰۴۶۶۳۸/۳	۰	۰	۰	۹۸۱۰/۲	۲۹۷۱۱۰۲/۹	۱۶۶۸/۵	-۷۵۵۳۵/۴	۱۶/۶	لرستان
۲۰۶۹۲/۸	۷۸۳۷۴۸۷/۲	-۳۶۹۵/۷	-۷۷۱۱	۰/۱۳	۱۴۹۶۷/۲	۷۵۸۵۵۰۲/۴	-۹۴۲۱/۲	-۲۵۹۶۹۵/۷	۴/۷	مازندران
۱۱۰۲۲/۸	۴۱۱۲۱۵۷/۴	-۲۵۲۲/۸	۰	۰	۷۸۷۶/۳	۴۰۳۲۰۹۰/۸	-۵۶۶۹/۳	-۸۰۰۶۶/۶	۱۳/۳	مرکزی
۵۵۴۷/۵	۶۶۸۷۸۴۳/۴	۰	۰	۰	۳۶۱۴/۸	۶۶۰۷۷۵۵/۵	-۱۶۳۲/۷	-۸۰۰۸۷/۹	۱۵/۵	هرمزگان
۱۰۸۴۳/۳	۳۵۶۶۲۵۲/۳	۰	۰	۰	۱۱۲۸۰/۱	۳۴۸۳۰۱۱/۲	۴۳۶/۸	-۸۳۲۴۱/۱	۶	همدان
۸۱۸۵/۸	۴۷۱۳۶۴۱/۸	۰	۰	۰	۷۲۶۴/۸	۴۶۶۵۳۲۹/۷	-۹۲۰/۹	-۴۸۳۱۲/۱	۲/۲	یزد
۴۷۲۰۸۵/۱	۱۷۵۸۵۷۵۴۰/۶	-۸۶۱۰۶/۸	-۲۹۰۶۰/۲	۱/۶۱	۳۶۷۲۹۴/۸	۱۷۶۶۲۸۸۲۶/۱	-۱۹۰۸۹۷/۱	۵۹۸۷۹۲/۵	۲۸۷	کل کشور

منبع: یافته‌های پژوهش

## جدول ۵. نتایج ماکزیمم - مینیمم درجه رضایت

ماکزیمم - مینیمم درجه رضایت						DMU
ماکزیمم - مینیمم رضایت	درجه رضایت	$z_{dj} + \alpha_{dj}$	$f_{ij} + \beta_{ij}$	$\alpha_{dj}$	$\beta_{ij}$	
۰/۹۷۹	۰/۹۷۹	۳۵۵۹۶/۱	۷۵۹۴۰۰۸/۵	-۱۲۹۸۲/۴	-۹۸۴۹/۹	آذربایجان شرقی
	۰/۹۷۹	۲۷۱۴۹/۷	۵۴۰۹۵۷۴/۸	-۷۹۳۱/۷	-۲۹۶۳/۱	آذربایجان غربی
	۰/۹۷۹	۱۰۳۱۱/۷	۲۲۱۷۲۲۲/۶	-۳۱۸۴/۶	۲۰۱۱/۳	اردبیل
	۰/۹۷۹	۳۴۵۷۷/۵	۱۳۸۹۹۰۸۴/۱	۳۴۱۰-	-۹۶۳۷/۹	اصفهان
	۰/۹۷۹	۱۲۵۹۴/۷	۴۷۳۹۰۴۷/۲	-۳۶۵۱/۶	-۱۰۴۰/۶	البرز
	۰/۹۷۹	۲۰۵۲/۴	۱۱۴۷۶۳۷/۷	-۶۶۴/۵	۸۳۳۹/۱	ایلام
	۰/۹۷۹	۴۱۹۵/۲	۳۰۱۱۲۹۵	-۱۲۵۶/۶	۷۱۸۲/۸	بوشهر
	۰/۹۷۹	۵۶۶۵۰	۲۴۱۹۱۲۲۷/۸	-۴۰۱/۱	-۳۱۳۷۷/۴	تهران
	۰/۹۷۹	۵۱۵۶/۳	۱۷۵۶۲۲۴/۵	-۲۶۴/۳	۱۳۱۳/۷	چهارمحال و بختیاری
	۰/۹۷۹	۲۴۴۶/۴	۲۲۷۶۳۱۷/۲	-۳۰۰/۲	۴۲۷۵/۴	خراسان جنوبی
	۰/۹۷۹	۴۵۵۱۲/۷	۱۲۶۳۲۲۵۵/۴	-۱۱۲۵۶/۸	۷۳۹۲/۲	خراسان رضوی
	۰/۹۷۹	۵۹۷۷/۶	۱۳۸۳۰۰۴	-۲۱۲۱/۶	۴۱۷۹/۶	خراسان شمالی
	۰/۹۷۹	۲۱۳۰۸/۸	۹۸۳۶۹۳۷/۱	-۳۱۳۳/۶	۴۰۳/۵	خوزستان
	۰/۹۷۹	۸۰۵۹/۸	۲۶۲۳۱۰۳/۴	-۲۷۵۹/۴	۱۹۸۵/۸	زنجان
	۰/۹۷۹	۶۰۲۱/۸	۲۷۹۸۰۰۸/۱	-۲۱۱۴/۲	۴۵۴۷/۹	سمنان
	۰/۹۷۹	۲۱۱۹/۱	۷۰۰۵۵۲۳/۴	۱۹۴۱/۳	۱۹۱۵/۵	سیستان و بلوچستان
	۰/۹۷۹	۳۳۶۷۹/۲	۱۱۶۸۷۹/۶	-۴۲۵۰/۲	-۱۰۹۳۷/۴	فارس
	۰/۹۷۹	۱۲۲۶۱/۶	۳۵۷۸۱۹۰/۳	-۳۹۵۸	۲۴۳/۸	قزوین
	۰/۹۷۹	۷۸۸۶	۳۶۲۲۶۴۸/۸	-۲۹۵۸/۵	۳۳۱۷/۱	قم
	۰/۹۷۹	۱۰۳۶۲/۷	۵۵۶۲۵۸۸/۷	-۳۲۲۲/۵	-۹۷۸/۳	کردستان
	۰/۹۷۹	۱۰۶۹۵/۹	۵۵۴۸۲۶۴/۲	-۱۹۳/۳	۵۳۲۷/۱	کرمان
	۰/۹۷۹	۱۶۹۲۲/۷	۴۰۱۵۴۰۱/۱	-۴۶۸۴/۳	-۲۰۵/۹	کرمانشاه
	۰/۹۷۹	۳۶۶۰/۱	۱۱۶۸۳۰۱/۶	-۱۷۴۵/۲	۴۲۰۸/۴	کهگیلویه و بویراحمد
	۰/۹۷۹	۱۲۵۱۰/۸	۲۷۹۱۰۷۲/۵	-۳۶۸۷/۹	۶۴۴/۵	گلستان
	۰/۹۷۹	۱۶۴۳۴/۴	۵۴۰۸۳۴۴/۹	۵۲۰۵-	-۱۹۷۷/۹	گیلان
	۰/۹۷۹	۷۴۸۴/۵	۳۰۴۵۹۲۲/۲	-۶۵۷/۲	-۷۱۶/۲	لرستان
	۰/۹۷۹	۲۰۶۹۸/۳	۷۸۳۵۷۴۱/۵	-۳۶۹۰/۲	۹۴۵۶/۸-	مازندران
	۰/۹۷۹	۱۰۹۸۰/۳	۴۱۱۳۲۲۷/۵	-۲۵۶۵/۳	۱۰۷۰	مرکزی
	۰/۹۷۹	۵۰۷۸/۷	۶۶۹۳۷۵۰/۵	-۴۶۸/۹	۵۹۰۷	هرمزگان
	۰/۹۷۹	۹۷۹۱/۷	۳۵۶۵۵۱۱/۲	-۱۰۵۱/۶	-۷۴۱/۲	همدان
	۰/۹۷۹	۷۹۱۹/۹	۴۷۱۷۸۴۵/۳	-۲۶۵/۹	۴۲۰۳/۵	یزد
		۴۶۶۰۹۶/۶	۱۷۵۸۷۵۱۸۷	-۹۲۰۹۵/۴	-۱۱۴۱۳/۹	کل کشور

منبع: یافته‌های پژوهش

### ۶-۱- نتایج و تجزیه و تحلیل کارایی پایداری

در این بخش، از مرز کارایی تعادلی ساخته شده در بخش ۶-۱ برای اندازه‌گیری پایداری بر حسب کارایی انرژی و زیست‌محیطی سیستم حمل و نقل ۳۱ استان کشور استفاده می‌شود. با استفاده از بکارگیری مدل امروزنژاد و همکاران (۲۰۱۶)، امتیاز کارایی انرژی و زیست‌محیطی و رتبه آن به شرح جدول (۶) می‌باشد از جدول (۶) نتایج ذیل حاصل می‌شود: (۱) در میان ۳۱ استان کشور، استان‌های ایلام، بوشهر، تهران، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، خوزستان، سیستان و بلوچستان، کرمان، کهگیلویه و بویراحمد، هرمزگان، یزد دارای بهترین عملکرد با بدست آوردن بالاترین ارزش کارایی پایداری می‌باشند. زیرا استان‌های سیستان و بلوچستان، ایلام، خراسان جنوبی، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر، هرمزگان، یزد و کرمان به ترتیب دارای کمترین مصرف انرژی در بین استان‌های کشور می‌باشند. امکان دارد استان‌های مرزی همچون سیستان و بلوچستان، ایلام، خراسان جنوبی، بوشهر و هرمزگان به دلیل قاچاق نفت‌گاز و بنزین به خارج از کشور، کارایی انرژی پایین‌تری داشته باشند. از طرف دیگر، جایگاه‌های سوخت گاز طبیعی در این استان‌ها پایین می‌باشد. برای مثال در استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۷ میزان مصرف گاز طبیعی در بخش حمل و نقل ۴/۸ میلیون متر مکعب می‌باشد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۷) و بدون جایگاه سوخت گاز طبیعی در این سال بوده است (سالنامه آماری کشور، ۱۳۹۷). از دلایل بالا بودن کارایی استان‌های تهران، خراسان رضوی و خوزستان، وجود جایگاه‌های سوخت گاز طبیعی، استفاده از وسایل نقلیه ریلی و توجه به توسعه پایدار می‌باشد. بدترین عملکرد در سطح استان‌ها مربوط به استان آذربایجان شرقی است که ارزش کارایی پایداری تنها ۰/۲۵۱ است. به طوری که در سال ۱۳۹۷ میزان مصرف بنزین در این استان ۱۱۵۳ میلیون لیتر و مصرف نفت‌گاز ۱۱۴۴ میلیون لیتر و گاز طبیعی ۶۶۵ میلیون متر مکعب می‌باشد و دارای بیشترین مصرف انرژی بعد از استان‌های تهران و خراسان رضوی است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۷). (۲) تقریباً یک سوم استان‌های کشور با توجه به پایداری مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن با مجموع ثابت در فرایند حمل و نقل نسبتاً خوب می‌باشند. برای مثال ۱۱ استان کشور دارای ارزش کارایی یک می‌باشند و ۲۰ استان ارزش کارایی پایداری زیر یک می‌باشد. (۳) نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استان‌هایی

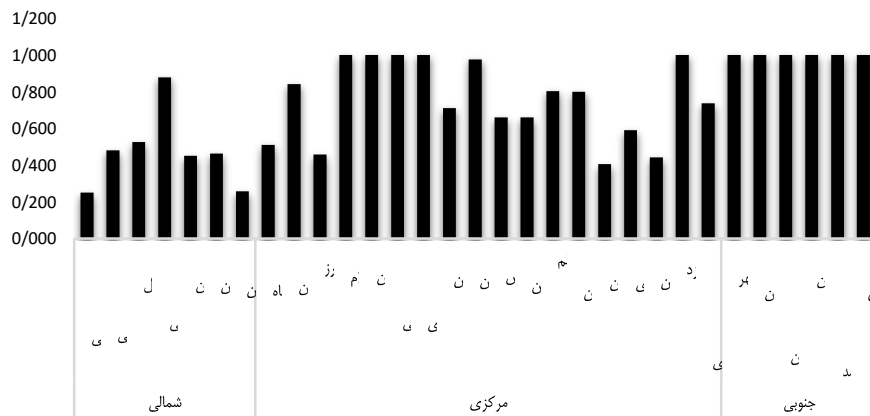
دارای مصرف انرژی پایین ( به عنوان مثال، سیستان و بلوچستان، ایلام، خراسان جنوبی، کهگیلویه و بویراحمد، بوشهر، هرمزگان، یزد و کرمان) نسبت به استان‌های دارای مصرف انرژی بالا (به عنوان مثال، آذربایجان شرقی) دارای عملکرد بهتری می‌باشند.

برای تجزیه و تحلیل پایداری با توجه به مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت در مقیاس بزرگ، ۳۱ استان کشور به سه ناحیه ( به عنوان مثال، شمالی، مرکزی و جنوبی) تقسیم می‌شود که کارآیی پایداری آن‌ها در شکل یک نشان داده شده است. نتایج با توجه به شکل یک به شرح ذیل خلاصه می‌شود: (۱) نواحی شمالی شامل ۷ استان کشور (خراسان شمالی، گلستان، مازندران، گیلان، اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی) است. کارآیی هر یک از استان‌ها در توسعه پایدار با توجه به مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن آنها کمتر از یک است. در میان این ۷ استان استان‌های آذربایجان شرقی و مازندران به ترتیب دارای ارزش کارآیی ۰/۲۵۱ و ۰/۲۵۹ است که نشانگر پایین‌ترین ارزش کارآیی در میان استان‌های کشور می‌باشد. این امر ناشی از افزایش مصرف انرژی و عدم توجه به شاخص‌های توسعه پایدار در این دو استان می‌باشد. (۲) نواحی مرکزی ۱۷ استان (کرمانشاه، اصفهان، البرز، ایلام، تهران، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، زنجان، سمنان، فارس، قزوین، قم، کردستان، لرستان، مرکزی، همدان، یزد و چهارمحال و بختیاری) می‌باشد. در میان این استان‌ها، ایلام، تهران، خراسان رضوی، خراسان جنوبی و یزد دارای ارزش کارآیی یک می‌باشند و بقیه استان‌ها در نواحی مرکزی دارای ارزش کارآیی کمتر از یک می‌باشند. (۳) نواحی جنوبی ۷ استان می‌باشد و تمامی استان‌ها در این نواحی دارای ارزش کارآیی یک می‌باشند. (۴) با توجه به جدول شماره (۶) و نمودار شکل یک، میانگین کارآیی پایداری در نواحی شمالی، مرکزی و جنوبی به ترتیب ۰/۴۷۳، ۰/۷۵۷ و ۱ می‌باشد به عبارت دیگر، نواحی جنوبی با توجه به کاهش مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت بهترین عملکرد را در توسعه پایدار داشتند و پس از آن نواحی مرکزی و نواحی شمالی قرار دارند. اختلاف زیاد در مقادیر متوسط کارآیی پایداری نواحی جنوبی (۱) و نواحی شمالی (۰/۴۷۳) نشان می‌دهد که باید اقدامات بیشتری برای ایجاد تعادل در توسعه پایدار در بین نواحی انجام شود.

جدول ۶. پایداری بر حسب کارآیی انرژی و زیست‌محیطی

رتبه	کارآیی	DMU	رتبه	کارآیی	DMU
۹	۰/۶۶۱	فارس	۲۱	۰/۲۵۱	آذربایجان شرقی
۱۰	۰/۶۶۶	قزوین	۱۴	۰/۴۸۱	آذربایجان غربی
۵	۰/۸۰۴	قم	۱۲	۰/۵۲۸	اردبیل
۶	۰/۸	کردستان	۴	۰/۸۴۲	اصفهان
۱	۱	کرمان	۱۶	۰/۴۵۸	البرز
۱۳	۰/۵۱۱	کرمانشاه	۱	۱	ایلام
۱	۱	کهگیلویه و بویراحمد	۱	۱	بوشهر
۱۷	۰/۴۵۱	گلستان	۱	۱	تهران
۱۵	۰/۴۶۴	گیلان	۷	۰/۷۲۸	چهارمحال و بختیاری
۱۹	۰/۴۰۶	لرستان	۱	۱	خراسان جنوبی
۲۰	۰/۲۵۹	مازندران	۱	۱	خراسان رضوی
۱۱	۰/۵۹۱	مرکزی	۳	۰/۸۷۹	خراسان شمالی
۱	۱	هرمزگان	۱	۱	خوزستان
۱۸	۰/۴۴۴	همدان	۸	۰/۷۱۲	زنجان
۱	۱	یزد	۲	۰/۹۷۷	سمنان
			۱	۱	سیستان و بلوچستان

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۱. کارآیی پایداری در سه ناحیه

## ۷- نتیجه گیری

رشد سریع اقتصادی موجب تشدید مسائل گوناگونی شده است. در این میان کاهش روزافزون مصرف انرژی و آلودگی شدید محیط زیست دو مسئله اصلی است که به شدت بر توسعه پایدار در جامعه تأثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر، حالت توسعه فعلی با مفهوم پایداری مطابقت ندارد. لذا در راستای توسعه اقتصادی، علاوه بر رشد اقتصادی، بایستی صرفه‌جویی انرژی، بهبود کارایی انرژی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد. از آنجائیکه بخش حمل و نقل درصد بالایی از مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی را در برمی‌گیرد و نقش اساسی در توسعه پایدار دارد، مطالعه در این بخش ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین یکی از مهم‌ترین کارهایی که بر عهده متخصصان فن گذارده شده است یافتن راه‌حلهایی به منظور کاستن اثرات جانبی منفی ناشی از رشد اقتصادی و مصرف انرژی به محیط زیست است. برای این مهم چندین مدل تحلیل پوششی داده‌های ناپارامتریک با انتشار دی‌اکسید کربن برای ارزیابی کارایی انرژی و زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله، از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرز کارایی تعادل عمومی (CEEFD) برای ارزیابی کارایی انرژی و زیست‌محیطی با در نظر گرفتن مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن استفاده شده است. نتایج تجربی در این مطالعه نشان می‌دهد همه استان‌ها دارای درجه رضایت یکسان ۰/۹۷۹ می‌باشند. بر اساس نتایج مرز کارایی تعادلی از طریق درجه رضایت، ماکزیمم - مینیمم مجموع وزنی انتشار دی‌اکسیدکربن و مصرف انرژی با مجموع ثابت در هر استان صفر نیست. این به این معناست که همه استان‌ها باید مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن را تعدیل نمایند. ۱۲ استان می‌بایست مقدار مشخصی از انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش دهند و ۱۹ استان نیاز به افزایش دارند. برای تعدیل مصرف انرژی به جزء استان سیستان و بلوچستان تمام استان‌های کشور بایستی میزان مصرف انرژی را کاهش دهند. همچنین مقدار تعدیل انتشار دی‌اکسیدکربن و مصرف انرژی (۱۱۴۱۳- و ۹۲۰۹۵-) است که این مقادیر کمتر از مقدار تعیین شده برای توسعه پایدار می‌باشد. علاوه بر این، نتایج کارایی پایداری نشان می‌دهد که برخی از مناطق از کارایی پایداری خوبی برخوردار نیستند. با توجه به نتایج تحقیق لازم است با اتخاذ و اجرای سیاست‌های منطقی سازگار با نقش انرژی و محیط زیست در بخش

حمل و نقل در زمینه توسعه پایدار قدم برداشته و زمینه رشد و توسعه اقتصادی را فراهم نمود. همچنین، لزوم ایجاد همکاری مستمر بین المللی بین کشورهای درحال توسعه و توسعه یافته برای اشتراک گذاری فناوری هایی که باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود را تسریع نمایند، تا علاوه بر مزایای کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی در دهه‌های آینده را نیز تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این، این مطالعه به یک مرز کارآیی تعادل عمومی بر اساس ماکزیمم - مینیمم کردن رضایت دست یافته است، اما مرز کارآیی تعادل عمومی منحصر به فرد را نمی‌توان تضمین کرد، محدودیتی که در مطالعات دیگر نیز دیده می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۱۴؛ یانگ و همکاران ۲۰۱۵). بنابراین، تحقیقات آینده می‌تواند سعی کند یک مرز کارآیی تعادلی منحصر به فرد را شناسایی کند. علاوه بر این، تحقیقات آتی می‌تواند معیارهای بیشتری را برای دستیابی به مرز کارآیی تعادلی بررسی کند.

## منابع

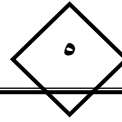
- اوحدی، نسرين؛ شهرکی، جواد؛ پهلوانی، مصیب و مردانی نجفآبادی، مصطفی (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی زیست‌محیطی کربن با داده‌های غیردقیق با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های فازی (مطالعه موردی: ایران و کشورهای نفت خیز). فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۱۹(۴)، ۱۱۱-۱۳۰.
- ترازنامه انرژی سال (۱۳۹۷)، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.
- سالنامه آماری استان‌ها (۱۳۹۷)، مرکز آمار ایران.
- صادقی، زین‌العابدین؛ هاشمی، فریبا السادات و اکبری‌فرد، حسین (۱۳۹۵). بررسی روند کارایی انرژی در بخش حمل و نقل. پژوهش‌نامه حمل و نقل، ۴(۱۳)، ۷۵-۵۴.
- فتحی، بهرام؛ خداپرست مشهدی، مهدی؛ همایونی فر، مسعود و سجادی فر، سید حسین (۱۳۹۶). مطالعه مقایسه‌ای کارایی انرژی، زیست‌محیطی در کشورهای در حال توسعه با رویکرد ستانده مطلوب و نامطلوب در محیط رقابتی. پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۲۵(۸۱)، ۸۱، ۱۲۱-۸۵.
- فتحی، بهرام؛ مهدوی عادل، محمد حسین و فطرس، محمد حسن (۱۳۹۴). اندازه‌گیری کارایی انرژی صنعتی با انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای در حال توسعه منتخب با مدل‌های ناپارامتریک ایستا و پویا. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۴۶(۱۱)، ۶۱-۸۷.
- مهرگان، نادر و اصغر مبارک (۱۳۷۸). بررسی تأثیر مولفه‌های اقتصاد نوین بر کارایی صنایع در ایران، فصلنامه اقتصاد مقداری، ۵(۲)، تابستان، ۱۵۲-۱۳۱.
- Amirteimoori, A., Masrouri, S., Yang, F. and Kordrostami, S. (2017). Context-based competition strategy and performance analysis with fixed-sum outputs: an application to banking sector. *Journal of the Operational Research Society* 68(11), 1461-1469.
- Bhattacharyya, S.C. (2019). *Energy economics: concepts, issues, markets and governance*, Springer Nature.

- Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science* 30(9),1078-1092.
- Bi G., Wang, P., Yang, F. and Liang, L. (2014). Energy and Environmental Efficiency of China's Transportation Sector: A Multidirectional Analysis Approach. *Mathematical Problems in Engineering* 2014, 539596.
- Chang, Y.-T., Zhang, N., Danao, D. and Zhang, N. (2013). Environmental efficiency analysis of transportation system in China: A non-radial DEA approach. *Energy policy* 58, 277-283.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Wei, Q. (1987) A Semi-Infinite Multicriteria Programming Approach to Data Envelopment Analysis With Infinitely Many Decision-Making Units, *texas univ at austin center for cybernetic studies*.
- Cui, Q. and Li, Y. (2014). The evaluation of transportation energy efficiency: An application of three-stage virtual frontier DEA. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 29, 1-11.
- Egilmez, G. and Park, Y.S. (2014). Transportation related carbon, energy and water footprint analysis of U.S. manufacturing: An eco-efficiency assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 32, 143-159.
- Emrouznejad, A., Tavana, M. and Hatami-Marbini, A. (2014). The state of the art in fuzzy data envelopment analysis. *Performance measurement with fuzzy data envelopment analysis*, 1-45.
- Fang, L. (2016). A new approach for achievement of the equilibrium efficient frontier with fixed-sum outputs. *Journal of the Operational Research Society* 67(3), 412-420.
- Fang, L. and Li, H. (2015). Cost efficiency in data envelopment analysis under the law of one price. *European Journal of Operational Research* 240(2), 488-492.
- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* 120(3), 253-281.
- Golany, B. and Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega* 17(3), 237-250.

- Graham, M. 2004. Environmental efficiency: meaning and measurement and application to Australian dairy farms.
- Grosskopf, S. (1993). Efficiency and Productivity, in the Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications, Fried, H.O, Knox, C. L. L. and Shelton, S. S., New York: Oxford University Press, 160-194.
- Huntington, H.G. (2011). The policy implications of energy-efficiency cost curves. *The Energy Journal* 32(Special Issue.)
- Ji, X., Wu, J. and Zhu, Q. (2016). Eco-design of transportation in sustainable supply chain management: A DEA-like method. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 48, 451-459.
- Li, F., Emrouznejad, A., Yang, G.-l. and Li, Y. (2020). Carbon emission abatement quota allocation in Chinese manufacturing industries: An integrated cooperative game data envelopment analysis approach. *Journal of the operational research society* 71(8), 1259-1288.
- Li, M., Li, C. and Zhang, M. (2018). Exploring the spatial spillover effects of industrialization and urbanization factors on pollutants emissions in China's Huang-Huai-Hai region. *Journal of Cleaner Production* 195, 154-162.
- Mardani Najafabadi, M., Sabouni, M., Azadi, H. and Taki, M. (2022). Rice production energy efficiency evaluation in north of Iran; application of Robust Data Envelopment Analysis. *Cleaner Engineering and Technology* 6, 100356.
- Mardani Najafabadi, M. and Taki, M. (2020). Robust data envelopment analysis with Monte Carlo simulation model for optimization the energy consumption in agriculture. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-15.
- Nishitani, K., Kaneko, S., Fujii, H. and Komatsu, S. (2011). Effects of the reduction of pollution emissions on the economic performance of firms: an empirical analysis focusing on demand and productivity. *Journal of Cleaner Production* 19(17-18), 1956-1964.
- Omrani, H., Alizadeh, A., Emrouznejad, A. and Oveysi, Z. (2022). A novel best-worst-method two-stage data envelopment analysis model considering decision makers' preferences: An application in bank branches evaluation. *International Journal of Finance & Economics*.

- Omrani, H., Shafaat, K. and Alizadeh, A. (2019). Integrated data envelopment analysis and cooperative game for evaluating energy efficiency of transportation sector: A case of Iran. *Annals of Operations Research* 274(1), 471-499.
- Organization, W.H. (2005). *Ecosystems and human well-being: health synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment*, World Health Organization.
- Park, Y.S., Lim, S.H., Egilmez, G. and Szmerekovsky, J. (2018). Environmental efficiency assessment of US transport sector: A slack-based data envelopment analysis approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 61, 152-164.
- Reinhard, S., Lovell, C.K. and Thijssen, G. (1999). Econometric estimation of technical and environmental efficiency: an application to Dutch dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics* 81(1), 44-60.
- Ren, J., Gao, B., Zhang, J. and Chen, C. (2020). Measuring the Energy and Carbon Emission Efficiency of Regional Transportation Systems in China: Chance-Constrained DEA Models. *Mathematical Problems in Engineering* 2020, 9740704.
- Seiford, L.M. and Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European journal of operational research* 142(1), 16-20.
- Shi, G.-M., Bi, J. and Wang, J.-N. (2010). Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs. *Energy Policy* 38(10), 6172-6179.
- Sorrell, S. (2009). Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy policy* 37(4), 1456-1469.
- Sorvari, J., Porvari, P. and Koskela, S. (2011) *Survey on the environmental efficiency assessment methods and indicators*, MMEA research report.
- Wu, J., Zhu, Q., Chu, J., Liu, H. and Liang, L. (2016a). Measuring energy and environmental efficiency of transportation systems in China based on a parallel DEA approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 48, 460-472.

- Wu, J., Zhu, Q. and Liang, L. (2016b). CO2 emissions and energy intensity reduction allocation over provincial industrial sectors in China. *Applied Energy* 166, 282-291.
- Yang, F., Wu, D.D., Liang, L. and O'Neill, L. (2011). Competition strategy and efficiency evaluation for decision making units with fixed-sum outputs. *European Journal of Operational Research* 212(3), 560-569.
- Yang, M., Li, Y., Chen, Y. and Liang, L. (2014). An equilibrium efficiency frontier data envelopment analysis approach for evaluating decision-making units with fixed-sum outputs. *European Journal of Operational Research* 239(2), 479-489.
- Ytterhus, B. and Sjaker, O. (1998). *The Grip Barometeret; a mapping of environmental adaptation in the manufacture of furniture, building and construction, banking and insurance, advertising, tourism and the wholesale and retail trade*. Oslo: The Norwegian School of Management and GRIP.
- Yu, H., Zhang, Y., Zhang, A., Wang, K. and Cui, Q. (2019a). A comparative study of airline efficiency in China and India: A dynamic network DEA approach. *Research in Transportation Economics* 76, 100746.
- Yu, R., Yao, H., Cui, Y., Hong, L., He, C. and Hou, J. (2019b). Improved charge transport and reduced nonradiative energy loss enable over 16% efficiency in ternary polymer solar cells. *Advanced Materials* 31(36), 1902302.
- Zhou, Z., Xu, G., Wang, C. and Wu, J. (2019). Modeling undesirable output with a DEA approach based on an exponential transformation: An application to measure the energy efficiency of Chinese industry. *Journal of Cleaner Production* 236, 117717.
- Zhu, Q., Li, X., Li, F., Wu, J. and Zhou, D. (2020). Energy and environmental efficiency of China's transportation sectors under the constraints of energy consumption and environmental pollutions. *Energy Economics* 89, 104817.



# Analysis of the Energy and Environmental Efficiency of the Transportation Sector Under the Constraints of Energy Consumption and Environmental Pollutions in Iran

Havva Mohammadparast

PhD. Student of Economic sciences, Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, hamohammadparast@gmail.com

Javad Shahraki <sup>1</sup>

Associate Professor of Economic , Faculty of Management and Economics, University of Sistan and Baluchestan,, Zahedan, Iran, j.shahraki@eco.usb.ac.ir

Mostafa Mardani Najafabadi

Associate Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Khuzestan, Iran, m.mardani@asnruk.ac.ir

Received: ۲۰۲۲/۱۱/۱۳ Accepted: ۲۰۲۳/۰۱/۳۱

## Abstract

Economic growth has caused some environmental problems such as energy shortage and environmental pollution. In this regard, in the present study, the analysis of a fixed-sum energy and environmental efficiency to achieve sustainable efficiency in the transport sector of Iran under the limitation of energy consumption and environmental pollution using the Common equilibrium efficient frontier data envelopment analysis (CEEFDEA) is carried out. For this purpose, first, a certain value of energy consumption and carbon dioxide emission was considered. Then, based on these values and considering the minimum-maximum of their fixed sum, the general equilibrium efficiency boundary was built. The obtained results show that all provinces have the same satisfaction level of ۰.۹۷۹. Based on the results of the equilibrium efficiency boundary through the degree of satisfaction, all provinces should adjust energy consumption and carbon dioxide emissions. Also, the sustainable efficiency value of most provinces in the transportation sector was less than one. According to the results, the transportation sector is inefficient in terms of eco-efficiency score. Therefore, it is necessary to provide the basis for sustainable development by adopting and implementing rational policies compatible with the role of energy and environment in this sector.

**JEL Classification:** C۶۱, Q۱, Q۴, Q۵۷.

---

<sup>۱</sup>. Corresponding Author