فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هجدهم / شماره ۷۶/ بهار ۱۴۰۲ / صفحات ۱۵۶-۱۱۷

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

حوا محمدپرست[۱]
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
دانشیارگروه اقتصادکشاورزی، 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 درنظر گرفته شد. سپس، بر اساس این مقادیر و با در نظرگرفتن 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، توسعه‌پایدار، درجه رضایت، کارآیی انرژی و زیست‌محیطی، مرز کارآیی تعادل

---

۱. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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[1]، ۲۰۰۵) و انتشار آلاینده‌های مختلف می‌شود (لی و همکاران[2]، 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؛ کوای 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 دی‌اکسیدکرین ۲۴/۲ درصد در بین

1. World Health Organization (WHO)
2. Li et al

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

بخش‌های مصرف‌کننده و تولیدکننده می‌باشد که بعد از بخش نیروگاهی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است. افزایش قابل ملاحظه سرانه انتشار دی اکسیدکربن 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 کارآیی 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 کارآیی انرژی و زیست‌محیطی بخش حمل و نقل تحت محدودیت انرژی و آلودگی زیست‌محیطی می‌باشد.

در همه کشورها برای آنکه بتوانند افزایش کارآیی انرژی همراه با ملاحظات محیطی را تجربه کنند، اولین گام جهت افزایش کارآیی، پیدا کردن روشی مناسب برای اندازه‌گیری آن می‌باشد (مردانی و همکاران، ۲۰۲۰). یکی از محبوب‌ترین روش‌ها در ارزیابی کارآیی واحدهای تصمیم‌گیری (DMUs[1])، تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[2]) است که، کارآیی نسبی واحدها را بدون نیاز به شکل خاصی از تابع توزیع یا تابع ریاضی محاسبه می‌نماید (یو[3]، ۲۰۱۹). تحلیل پوششی داده‌ها کلاسیک این امکان را برای واحد تصمیم‌گیری فراهم می‌کند تا با مطلوب‌ترین مجموعه وزن‌ها به حداکثر کارآیی برسد. در واقع واحدهای تصمیم‌گیری تا زمانی که کارآیی آنها به حداکثر برسد برای انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها انعطاف‌پذیر هستند (عمرانی، ۲۰۲۲). مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها کلاسیک مانند CCR[4] (چارنز[5] و همکاران، ۱۹۸۷) و

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

مدل‌های BCC[1] (بنکر و همکاران[2]، 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 کارآ پیش بینی می‌شوند. در نهایت، زمانی می‌توان به مرز کارآ تعادل دست یافت که همه واحدهای تصمیم‌گیری برای کارآیی نسبی بهبود یافته باشند. سپس بر اساس یک مرز کارآ تعادلی یکسان ارزیابی می‌شوند. هدف از مطالعه‌ی حاضر، تحلیل کارآیی انرژی و زیست‌محیطی با مجموع ثابت با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مرز کارآیی تعادل عمومی(CEEFDEA[3]) 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 معرفی‌متغیرهای پژوهش و تحلیل‌داده‌ها 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 خواهدگردید.

۲- مبانی نظری تحقیق

۲-۱- کارآیی

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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[1]، 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 کارآیی

۱-کارآیی فنی[2]

مطابق تعریف، نسبت ستاده حاصل از عملکرد هر واحد به نهاده استفاده شده (جهت تولید آن مقدار ستاده) کارآیی 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- کارآیی تخصیصی[3]

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

۳- کارآیی اقتصادی[4]

این نوع کارآیی، حاصل‌ضرب کارآیی فنی و کارآیی تخصیصی است. طبق تعریف، کارآیی 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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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[1]، ۱۹۹۶). بر اساس باتاچاریا[2] (۲۰۱۹) تعریف ساده کارآیی انرژی معادله (۱) است:

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

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 θX_1 نشان داده می‌شود، به این معنی که می‌توان بدون کاهش خروجی نسبت مقادیر نهاده را کاهش داد. کارایی فنی (θ) را می‌توان با نسبت فاصله مبدأ از بردار کارایی θX_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

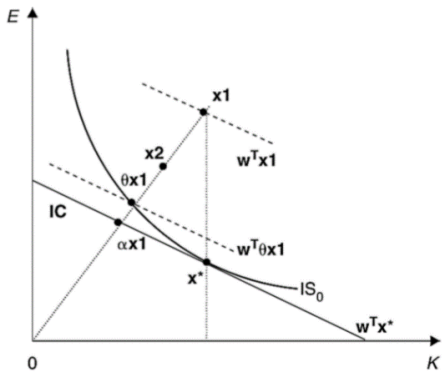
[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

منحنی IS_0 مماس است، حداقل هزینه‌ها برای تولید y خط W^TX_1 است. قرار گرفتن در نقطه θX_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^TX^*). کارایی تخصیصی به وسیله نسبت فاصله مبدأ از αX_1 و فاصله مبدأ از θX_1 تعریف می‌شود. کل کارایی هزینه α به عنوان نسبت فاصله مبدأ از αX_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 αX_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)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

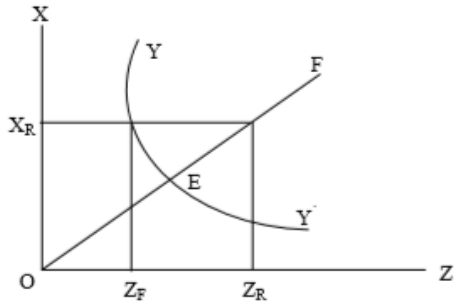
۲-۴- کارآیی زیست‌محیطی

کارآیی زیست‌محیطی را می‌توان به عنوان نسبت حداقل استفاده بالقوه به بالفعل نهاده‌های زیانبار زیست‌محیطی تعریف کرد (رینهارد و همکاران[1]، ۱۹۹۹). در واقع، کارآیی زیست‌محیطی نشانگر وضعیت تولید آلایندگی از نهاده‌های تولید است (سورواری[2]، 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[3]، 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:

$$EE = \frac{OZ_F}{OZ_R} \qquad (۲)$$

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 نهاده‌ی معمولی x و نهاده‌ی زیانبار z (رینهارد و همکاران (۱۹۹۹)

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

1. Reinhard et al
2. Sorvari
3. Graham

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

در مقادیرکم 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[1]، 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[2]، 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[3] 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 اخلال

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

تخمین بود. برای رفع ایـن مشـکل مـدل مـرزی احتمـالی[۱] توسط تیمر[۲] (۱۹۷۱) معرفی گردید. سـرانجام ایگنـر، لاول و اشـمیت[۳] (۱۹۷۷) بارزترین مدل مرزی یعنی تابع تولید مرزی تصادفی را ارائه نمودند. این رویکرد در ادبیـات اقتصـادی به SFA[۴] معروف است. رویکرد دوم، رویکرد ناپارامتریک[۵] است. چارنز[۶]، کوپر[۷] و رودز[۸] در سال ۱۹۸۷ مجموعه‌ای از مسائل برنامه‌ریزی خطی را برای فرموله کـر دن انـدازه گیـری شاخص کارایی فنی فارل ارائه دادند. روش آنها در ارزیابی کـارایی بـه تحلیـل پوششـی داده‌ها معروف شد. در این روش نیازی به مشخص نمودن شکل تـابعی وجـود 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 کـارایی در رویکردهای مرزی پارامتریـک و ناپارامتریـک را تشـکیل مـی‌دهنـد. ادبیـات موجـود در زمینه‌ی اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل تولید شامل دو رویکرد مرزی[۹] و غیـر مـرزی[۱۰] اسـت کـه هرکـدام از ایـن رویکردهـا نیـز دارای دو شـاخه از روش‌هـای پارامتریـک و ناپارامتریک هستند (گراسکوپف[۱۱]، ۱۹۹۳). منظور از رویکردهای مرزی، آن شاخص‌هایی است که از یک مـرز کـارا بـرای انـدازه گیـری کـارایی و بهـره‌وری اسـتفاده مـی‌کننـد. رویکردهای غیر مرزی شامل آن دسته از روش‌هایی است که فرض مـی‌شـود محصـول تولیدی بنگاه در هر حالت برابر با محصول متناظر با این سطح از نهاده و تکنولـوژی بـر روی مرز کاراست، به عبارت دیگر بنگاه همواره بر روی مرز کارا قـرار دارد (گراسـکوپف، ۱۹۹۳).

حسابداری رشد[۱۲]، شاخص دیویزیا[۱۳] و شاخص تورنکویست[۱] جز شاخص‌های رویکرد غیر مرزی مبتنی بر روش‌های ناپارامتریک برای محاسبه‌ی رشـد بهـره وری کـل

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

عوامـل تولید می‌باشند. شاخصهای پارامتریک در رویکرد غیر مرزی مبتنی بر تخمین یک تـابع تولید و یا دوگان یعنی یک تابع هزینه و استفاده از آنها برای محاسبه‌ی رشد بهـره وری کل عوامل تولید است. انتقادی که به رویکرد غیر مرزی وارد است توجه نکردن به مسئله عدم کارایی است (گراسکوپف، ۱۹۹۳). انـدازه گیـر ی بهـره‌وری و کـارایی بـا اسـتفاده از رویکردهای مرزی تقریباً مشابه هم است. همانطـور کـه پیشـتر بیـان شـد، در رویکـرد مرزی پارامتریک برای بنگاه یک مرز کارا تخمین زده می‌شـود. برخـی ازای ن مطالعـات انجام گرفته در این زمینه برای اندازه‌گیری تغییر فنی، یک تـابع تولیـد مـرزی و برخـی دیگر تابع هزینه یا سود یا مسافت را تخمین زده و از آن بـرای محاسـبه‌ی شـاخص‌های بهره‌وری استفاده می‌نمایند. اما در روش‌های مرزی ناپارامتریک، مرز کارا بـا اسـتفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی تعیـین می‌گـردد (فتحی و همکاران، ۱۳۹۴).

۳- پیشینه تحقیق

در سالهای اخیر مطالعات زیادی به ارزیابی کارآیی 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 اندازه گیری کارایی انرژی صنعتی با انتشار دی اکسیدکربن در کشورهای در حال توسعه منتخب با مدلهای ناپارامتریک ایستا و پویا با استفاده از روش چند مرحله‌ای تحلیل پوششـی با رویکرد تابع تولید مشترک با ستانده مطلوب و نـامطلوب در دوحالـت ایسـتا و پویا و نیز شاخص مالم کوئیست برای تغییرات شـاخص‌هـای بهـره وری طـی دوره‌ی ۲۰۰۱-۲۰۱۲ پرداختند. نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که از طریق بهبود کارایی انرژی، مصرف انرژی به میزان ۱۸/۱درصد در سال برای کشورهای در حال توسعه‌ی منتخب کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل کـارایی پویـا نشـان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی با ۲/۶ درصد در سـال ۲۰۱۲ نسـبت بـه سـال پایـه (۲۰۰۱) در کشورهای منتخب بهبود یافته است. با تجزیه

1. Tornqvist

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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 انـرژی پویـا داشته است.

اوحدی و همکاران (۱۳۹۷) درمطالعه‌ای با عنوان « محاسبه زیست‌کارایی انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در کشورهای نفت‌خیز » با استفاده از از مدل تحلیل پوششی داده‌ها، به تجزیه و تحلیل کارآیی زیست‌محیطی و انتشار دی اکسیدکربن، ۹ کشور نفتی در حال توسعه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کشور ایران پس از کشور برزیل با کسب نمره ۴۲ /۰ و تخصیص‌رتبه ۸ از بین ۹ کشور تحت بررسی ازکمترین میزان کارآیی زیست محیطی درمقایسه با سایر کشورهای تحت مطالعه برخوردار بوده و از جایگاه مطلوبی درمقایسه با سایر کشورها برخوردار نیست.

مطالعات خارجی

چانگ و همکاران[1] (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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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[1] (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به اندازه گیری 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 دی اکسیدکربن پایینی هستند و ناکارآمدی‌ها عمدتاً به دلیل کارآیی پایین مصرف بنزین و نفت سفید است.

ژو و همکاران[2] (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[3] (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به اندازه گیری 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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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 کارآیی 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 کارآیی انرژی و محیط زیست، در دسترس است. علاوه براین، 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 براین، در مطالعات موجود، مرز کارآیی تعادلی (EEF[1]) 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 کارآیی تعادلی تعمیم‌یافته جدید برای ارزیابی پایداری بر حسب کارآیی 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 کارآیی انرژی و محیط زیست در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول ۱. متغیرهای ورودی و خروجی

ورودی/ خروجی	متغیر	واحد
ورودی غیر انرژی	سرمایه	میلیارد ریال
	نیروی کار	نفر
ورودی انرژی	انرژی	ده هزار تن معادل نفت خام (۱۰۰۰toe)
خروجی مطلوب	PTV	میلیون نفر- کیلومتر
	FTV	میلیون تن- کیلومتر
خروجی نامطلوب	CO_2	تن

1. Equilibrium efficient frontier

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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 دی اکسیدکربن 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 دی اکسیدکربن در سطح استانی هنوز آمار رسمی در کشور وجود ندارد. بنابراین، در این مقاله برای محاسبه انتشار دی اکسیدکربن 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)[1] برای فهرست ملی گازهای گلخانه‌ای محاسبه داده‌های دی اکسیدکربن، انتشار دی اکسیدکربن سوخت‌های فسیلی را با استفاده از معادله زیر می‌توان تخمین زد.

$$\text{انتشار } CO_2 = \sum_{i=1}^{n} A \times CCF_i \times HE_i \times COF_i \times \frac{44}{12} \qquad (۱۰)$$

بر اساس رابطه (۱۰)، انتشار دی اکسیدکربن به مقدار مصرف تمام سوخت کربنی احتراق شده (A)، ضریب محتوای کربن (CCF[2])، معادل حرارت (HE[3]) و ضریب اکسیداسیون کربن (COF[4]) سوخت کربنی مربوط می‌شود. عوامل انتشار دی اکسیدکربن نشان داده شده در جدول (۲) منعکس‌کننده چندین نوع اصلی سوخت کربن‌دار هستند.

جدول ۲. عوامل انتشار دی اکسیدکربن 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/$(10^4 m^3)$

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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	PTV	FTV	CO_2
میانگین	۱۰۰۰۲/۲	۲۳۲۴۰۱۳۹	۱۱۹۶۲/۱	۱۰۱۰/۸	۵۵۷۶/۸	۳۲۴۹۵۶۲/۸
میانه	۱۴۹۲۷	۱۸۸۱۸۵۷۵/۱	۱۳۴۹۶/۳	۷۹۱	۴۱۷۶	۴۱۱۲۱۵۷/۴
انحراف معیار	۱۴۳۱۷/۰۸	۴۶۸۳۷۸۴۰/۱	۱۵۲۷۷/۹	۱۶۲۶/۰۸	۶۷۱۰/۰۷	۴۶۹۵۴۱۸/۵
ماکزیمم	۶۲۹۷۷	۲۷۰۶۹۸۷۱۹	۵۷۰۵۱/۱	۷۹۷۰	۲۳۲۶۵	۲۴۲۲۲۶۰۵/۱
مینیمم	۳۵۵۸	۴۸۹۹۵۵۹/۴	۱۷۷/۷	۲۶۱	۳۳۳	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 کارآیی 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 کارآیی تعادل عمومی مبتنی بر ورودی انرژی و خروجی آلودگی محیط‌زیست با مجموع ثابت برای ارزیابی پایداری بر حسب کارآیی انرژی و زیست‌محیطی سیستم حمل و نقل در ایران می‌باشد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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 $\left(z_j=\left(z_{1j}, z_{2j},\ldots z_{pj}\right)^T\right)$ به همراه m ورودی غیرانرژی$\left(X_j=\left(x_{1j}, x_{2j},\ldots,x_{mj}\right)^T\right)$ مصرف می‌کند تا s خروجی مطلوب $\left(y_j=\left(y_{1j},y_{2j},\ldots,y_{sj}\right)^T\right)$ تولید گردد. بعلاوه، l خروجی نامطلوب (آلودگی‌های زیست‌محیطی)$\left(f_j=\left(f_{1j},f_{2j},\ldots,f_{lj}\right)^T\right)$ نیز تولید می‌گردد.

معیار کارآیی انرژی و زیست‌محیطی (بنکر و همکاران، ۱۹۸۴) براساس مفروضات نهاده‌گرا و بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS[1]) به شرح رابطه (۱۱) است.

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

$$\text{s.t}\quad \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^{l} w_t f_{tj} + u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^{p} \eta_d z_{dj}} \le 1,\ j=1,2,\ldots,n \qquad (۱۱)$$

$$u_r \ge 0 \qquad r=1, 2, \ldots s;$$
$$w_t \ge 0 \qquad t=1,2,\ldots l;$$
$$v_i \ge 0 \qquad i=1, 2, \ldots m;$$
$$\eta_d \ge 0 \qquad d=1,2,\ldots p;$$
$$u_0 \text{ آزاد در علامت}$$

متغیرهای u_r، w_t، v_i وη_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[2] و رول[3]، ۱۹۸۹؛ سیفرد[4] و ژو، ۲۰۰۲؛ شی و همکاران، ۲۰۱۰ و وو و همکاران ۲۰۱۶) و θ_k^{BCC} به عنوان امتیاز کارآیی انرژی و زیست‌محیطی برای تصمیم‌گیرنده k است.

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

اندازه‌گیری فوق، کاهش مصرف انرژی و انتشار آلودگی زیست‌محیطی با مجموع ثابت را نادیده می‌گیرد. بنابراین، با استفاده از مـدل یانـگ و همکـاران (2011)، مینـیمم خروجی نامطلوب و ورودی انرژی بدست‌آمده برای DMU_K با توجه به قید مجموع ثابـت به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&\min \sum_{t=1}^{l} w_t\beta_{tk} + \sum_{d=1}^{p} \eta_d\alpha_{dk} \\
&\text{s.t} \quad \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} - \sum_{t=1}^{l} w_t(f_{tk}-\beta_{tk}) + u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} + \sum_{d=1}^{p} \eta_d(z_{dk}-\alpha_{dk})} = 1; \\
&\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{t=1}^{l} w_t(f_{tj}+\beta_{tj}) + u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} + \sum_{d=1}^{p} \eta_d(z_{dj}+\alpha_{dj})} \le 1, \text{ for } \forall_j \neq k; \\
&\sum_{j=1,\, j\neq k}^{n} \beta_{tj}-\beta_{tk} = -\beta_t \qquad \text{for } \forall t; \\
&\sum_{j=1,\, j\neq k}^{n} \alpha_{dj}-\alpha_{dk} = -\alpha_d \qquad for\ \forall d; \\
&\sum_{j=1\neq}^{n} \alpha_{dj}-\alpha_{dk} = -\alpha_t \qquad \text{for } \forall d; \\
&o \le \beta_{tk} \le f_{tk},\ 0 \le \alpha_{dk} \le z_{dk} \qquad \text{for } \forall t,d; \\
&o \le \beta_{tj} \quad 0 \le \alpha_{dj} \qquad \text{for } \forall t; d \forall_j \neq k; \\
&u_r \ge 0 \qquad r=1, 2, \ldots s; \\
&w_t \ge 0 \qquad t=1,2,\ldots l; \\
&v_i \ge 0 \qquad i=1, 2, \ldots m; \\
&\eta_d \ge 0 \qquad d=1,2,\ldots p;
\end{aligned}
\tag{۱۲}
$$

u_0آزاد در علامت

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

می‌باشند. یانگ و همکاران (۲۰۱۱)، نشان دادند که امتیاز کارآیی 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[1] (۲۰۱۶) پیشنهاد به کارگیری مرز کارآیی تعادل عمومی همه واحدهای تصمیم‌گیری را دادند. پایه مرز کارآیی 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.

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

$$\begin{aligned}
&\sum_{j=1,}^{n} \beta_{tj}+\beta_t=0 && \text{for } \forall t;\\
&\sum_{j=1}^{n} \alpha_{dj}+\alpha_d=0 && \text{for } \forall d\\
&f_{tj}+\beta_{tj}\geq 0 && \text{for } \forall t,j;\\
&z_{dj}+\alpha_{dj}\geq 0 && \text{for } \forall t , j;\\
&u_r\geq 0 && r=1, 2, \ldots s;\\
&w_t\geq 0 && t=1,2,\ldots l;\\
&v_i\geq 0 && i=1, 2 ,\ldots m;\\
&\eta_d\geq 0 && d=1,2,\ldots p\\
&u_0,\beta_{tj}, \alpha_{dj}, && \text{آزاد در علامت}
\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

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

1. Fang

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

۵-۲- تعیین مرز کارآیی تعادلی از طریق درجه رضایت[1]

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 $DMU_k(1,...,n)$ با استفاده از مدل چانگ و همکاران (۲۰۱۳) به صورت رابطه (۱۴) نگاشته مـ شود.

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

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

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

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

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

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

$$u_r\geq 0 \qquad r=1,\, 2,\, \ldots s;$$

$$w_t\geq 0 \qquad t=1,2,\ldots l;$$

$$v_i\geq 0 \qquad i=1,\, 2\,,\ldots m;$$

$$\eta_d\geq 0 \qquad d=1,2,\ldots p;$$

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

1. Equilibrium efficient frontier determination based on satisfaction degree

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

با توجه به اینکه علائم β_{tj} و α_{dj} 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 $|a_{tk}| = g_{dk} + h_{dk}$ 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.

$$
\begin{aligned}
&\bar{f}_k\left(\underline{f}_k\right)=\max(\min)\sum_{t=1}^{l}(a_{tk}+b_{tk})+\sum_{d=1}^{p}\left(g_{dk}+h_{dk}\right)\\
&\text{s.t.}\quad \sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}-\sum_{t=1}^{l}w_t f_{tj}-\sum_{t=1}^{l}\left(a_{tj}-b_{tj}\right)+u_0-\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}+\sum_{d=1}^{p}\eta_d z_{dj}+\sum_{d=1}^{p}\left(g_{dj}-h_{dj}\right)=0,\quad \text{for } \forall_j;\\
&\sum_{j=1,}^{n}\left(a_{tj}-b_{tj}\right)+w_t\beta_t=0 \qquad \text{for } \forall t;\\
&\sum_{j=1,}^{n}\left(g_{dj}-h_{dj}\right)+\eta_d\alpha_d=0 \qquad \text{for } \forall t;\\
&\sum_{j=1,}^{m}v_i x_{ij}-\sum_{d=1}^{p}\eta_d z_{dj}-\sum_{d=1}^{p}\left(g_{dj}-h_{dj}\right)=C;\\
&w_t f_{tj}+\left(a_{tj}-b_{tj}\right)\geq 0 \qquad \text{for } \forall t,j;\\
&\eta_d z_{dj}+\left(g_{dj}-h_{dj}\right)\geq 0 \qquad \text{for } \forall t,j;\\
&u_r\geq 0 \qquad r=1,2,\ldots s;\\
&w_t\geq 0 \qquad t=1,2,\ldots l;\\
&v_i\geq 0 \qquad i=1,2,\ldots m;\\
&\eta_d\geq 0 \qquad d=1,2,\ldots p;\\
&a_{tj}, b_{tj}, g_{dj}, h_{dj}\geq 0 \qquad d=1,2,\ldots p;\\
&u_0 \text{ آزاد در علامت}
\end{aligned}
\tag{۱۵}
$$

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 مرز کارآیی تعادل عمومی می‌باشد. در عمل، هر واحد تصمیم‌گیری مایل است به حداقل مجموع وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت $\underline{f}_k^*(k=1,\ldots,n)$ برسد. همچنین، واحد تصمیم‌گیری مایل نیست به حداکثر مجموع

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت $\bar{f}^{*}_{k}(k=1,\ldots,n)$ 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 $DMU_j(j=1,\ldots,n)$ به صورت رابطه (۱۶) نگاشته می‌شود.

$$S_j=\frac{\bar{f}^{*}_{j}-f_j}{\bar{f}^{*}_{j_j}-\underline{f}^{*}_{j}} \qquad j=1.2\ldots n \qquad (۱۶)$$

هر کدام از درجه رضایت واحدهای تصمیم‌گیری می‌تواند به وسیله $S_j\epsilon[۰,۱]$, $j=1\ldots,n$تعیین شود. اگر $S_j=1$ باشد، DMUj به حداقل مجموع وزنی از خروجی نامطلوب و ورودی انرژی با مجموع ثابت $\underline{f}^{*}_{j}$ خواهد رسید. اگر $S_j=۰$ باشد، DMUj 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[۱] 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[۲] و پارک (۲۰۱۴) که یک برنامه ریزی خطی[۳] 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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

$$\text{Max } S$$

$$\frac{\vec{f}^{*}_{j}-\left(\sum_{t=1}^{l}\left(a_{tj}-b_{tj}\right)-\sum_{d=1}^{p}\left(g_{dj}+h_{dj}\right)\right)}{\vec{f}^{*}_{j}-\underline{f}^{*}_{j}}\geq S,\quad \text{for } \forall j;$$

$$\sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}-\sum_{t=1}^{I}w_t f_{tj}-\sum_{t=1}^{l}\left(a_{tj}-b_{tj}\right)+u_0-\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}-\sum_{d=1}^{p}\eta_d z_{dj}-\sum_{d=1}^{p}\left(g_{dj}-h_{dj}\right)=0,\quad \text{for } \forall_j; \tag{۱۷}$$

$$\sum_{j=1,}^{n}\left(a_{tj}-b_{tj}\right)+w_t\beta_t=0 \qquad \text{for } \forall t;$$

$$\sum_{j=1,}^{n}\left(g_{dj}-h_{dj}\right)+\eta_d\alpha_d=0 \qquad \text{for } \forall t;$$

$$\sum_{j=1,}^{m}v_i x_{ij}-\sum_{d=1}^{p}\eta_d z_{dj}-\sum_{d=1}^{p}\left(g_{dj}-h_{dj}\right)=C$$

$$w_t f_{tj}+\left(a_{tj}-b_{tj}\right)\geq 0 \qquad \text{for } \forall t,j;$$

$$\eta_d z_{dj}+\left(g_{dj}-h_{dj}\right)\geq 0 \qquad \text{for } \forall t,j$$

$$u_r\geq 0 \qquad r=1, 2, \ldots s;$$

$$w_t\geq 0 \qquad t=1,2,\ldots l;$$

$$v_i\geq 0 \qquad i=1, 2, \ldots m;$$

$$\eta_d\geq 0 \qquad d=1,2,\ldots p;$$

$$a_{tj}, b_{tj}, g_{dj}, h_{dj}\geq 0 \qquad d=1,2,\ldots p;$$

u_0 آزاد در علامت

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

در دو زیر مجموعه بالا، تعدیل بهینه واحدهای تصمیم‌گیری β_{tj} و α_{dj} برای ساختار مرز کارآیی تعادل عمومی تعیین می‌شود. بر اساس چنین پلتفرم مشترک، کارآیی پایداری $DMU_K(k=1,\ldots,n)$ها با استفاده از مدل امروزنژاد[1] (۲۰۱۴) به صورت رابطه (۱۸) نگاشته می‌شود.

1 . Emrouznejad

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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

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

$$\begin{aligned} u_r &\ge 0 \qquad r=1,2,\ldots s; \\ w_t &\ge 0 \qquad t=1,2,\ldots l; \\ v_i &\ge 0 \qquad i=1,2,\ldots m; \\ \eta_d &\ge 0 \qquad d=1,2,\ldots p; \end{aligned} \tag{۱۸}$$

u_0 آزاد در علامت

** مقدار بهینه مدل اگیلمیز و پارک(۲۰۱۴) را نشان می‌دهد.

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

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

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

$$\begin{aligned} u_r &\ge 0 \qquad r=1,2,\ldots s; \\ w_t &\ge 0 \qquad t=1,2,\ldots l; \\ v_i &\ge 0 \qquad i=1,2,\ldots m; \\ \eta_d &\ge 0 \qquad d=1,2,\ldots p; \end{aligned} \tag{۱۹}$$

u_0 آزاد در علامت

۶- نتایج تجربی

جدول (۴) تا (۶) نتایج حاصل از تحلیل کارآیی انرژی و زیست‌محیطی بخش حمل و نقل ایران تحت محدودیت مصرف انرژی و آلودگی زیست‌محیطی در ۳۱ استان کشور را نشان می‌دهد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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 (toe ۱۰۰۰) و ۱۷۵۸۸۶۶۰۰ واحد (یک واحد= ده هزار تن معادل نفت خام (toe ۱۰۰۰) 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 (toe۱۰۰۰۰) و ۱۵۸۲۹۷۹۴۰واحد (یک واحد= ده هزار تن معادل نفت خام (toe۱۰۰۰۰) 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 α_k=۵۵۸۱۹و β_t=۱۷۵۸۸۶۶۰ و c=۱۰۰ 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 حالی‌که 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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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، هزمزگان، همدان و 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 وبلوچستان، 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 حالی‌است 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 حالی‌که 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[1] 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

1. Zhu et all

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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[1] 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.

1. Zhu et all

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول۴. نتایج ماکزیمم و مینیمم مجموع وزنی انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی با مجموع ثابت

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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

فارس	۳/۳	-۲۸۵۰۸۶/۴	-۵۷۸۶/۸	۱۱۴۱۳۷۵۶/۹	۳۲۰۵۲/۶	۰/۱۳	-۶۱۳۶/۵	-۴۸۴۹/۸	۱۱۶۹۲۷۰۶/۷	۳۳۰۷۹/۵
قزوین	۵	-۵۳۹۸۷/۴	-۷۶۰۴/۶	۳۵۲۳۹۵۹/۱	۸۶۱۴/۸	۰/۰۵	۰	-۳۲۶۸/۹	۳۵۷۷۹۴۶/۵	۱۲۹۵۰/۵
قم	۱۳/۴	۱۳۹۷۸/۷	-۶۴۰۳/۳	۳۶۳۳۳۱۰/۴	۴۴۴۱/۱	۰/۰۴	۰	-۲۹۰۷/۴	۳۶۱۹۳۳۱/۷	۷۹۳۷
کردستان	۸/۷	-۱۶۰۳۳۸/۸	-۴۸۸۰	۵۴۰۳۲۲۸	۸۷۰۵/۲	۰/۰۳	۰	-۲۲۹۶/۶	۵۵۶۳۵۶۶/۹	۱۱۲۸۸/۶
کرمان	۷/۱	-۳۸۳۲۳/۴	۹۳۲/۹	۵۵۰۴۶۱۳/۶	۱۱۸۲۲	۰	۰	۰	۵۵۴۲۹۳۷	۱۰۸۸۹/۲
کرمانشاه	۷	-۸۴۳۳۵/۵	-۸۸۱۵/۲	۳۹۳۱۲۷۱/۴	۱۲۷۹۱/۷	۰/۰۶	۰	-۳۷۵۹	۴۰۱۵۶۰۷	۱۷۸۴۷/۹
کهگیلویه و بویراحمد	۲/۶	۳۰۷۰۹/۳	-۳۱۵۳/۳	۱۱۹۴۸۰۲/۵	۲۲۵۱/۹	۰/۰۳	۰	-۱۷۱۴/۶	۱۱۶۴۰۹۳/۱	۳۶۹۰/۶
گلستان	۳	-۴۵۹۳۳	-۷۱۷۸/۹	۲۷۴۴۴۹۵	۹۰۱۹/۷	۰/۰۵	۰	-۳۲۱۵/۳	۲۷۹۰۴۲۸	۱۲۹۸۳/۳
گیلان	۱۱/۸	-۱۱۹۳۰/۸	-۱۳۰۵۲/۸	۵۲۹۰۳۹۱/۸	۸۵۸۶/۶	۰/۰۷	۰	-۴۹۸۳	۵۴۱۰۳۲۲/۷	۱۶۶۵۶/۴
لرستان	۱۶/۶	-۷۵۵۳۵/۴	۱۶۶۸/۵	۲۹۷۱۱۰۲/۹	۹۸۱۰/۲	۰	۰	۰	۳۰۴۶۶۳۸/۳	۸۱۴۱/۷
مازندران	۴/۷	-۲۵۹۶۹۵/۷	-۹۴۲۱/۲	۷۵۸۵۵۰۲/۴	۱۴۹۶۷/۲	۰/۱۳	-۷۷۱۱	-۳۶۹۵/۷	۷۸۳۷۴۸۷/۲	۲۰۶۹۲/۸
مرکزی	۱۳/۳	-۸۰۰۶۶/۶	-۵۶۶۹/۳	۴۰۳۲۰۹۰/۸	۷۸۷۶/۳	۰	۰	-۲۵۲۲/۸	۴۱۱۲۱۵۷/۴	۱۱۰۲۲/۸
هرمزگان	۱۵/۵	-۸۰۰۸۷/۹	-۱۶۳۲/۷	۶۶۰۷۵۵/۵	۳۶۱۴/۸	۰	۰	۰	۶۶۸۷۸۴۳/۴	۵۵۴۷/۵
همدان	۶	-۸۳۲۴۱/۱	۴۳۶/۸	۳۴۸۳۰۱۱/۲	۱۱۲۸۰/۱	۰	۰	۰	۳۵۶۶۲۵۲/۳	۱۰۸۴۳/۳
یزد	۲/۲	-۴۸۳۱۲/۱	-۹۲۰/۹	۴۶۶۵۳۲۹/۷	۷۲۶۴/۸	۰	۰	۰	۴۷۱۳۶۴۱/۸	۸۱۸۵/۸
کل کشور	۲۸۷	۵۹۸۷۹۲/۵	-۱۹۰۸۹۷/۱	۱۷۶۶۲۸۸۲۶/۱	۳۶۷۲۹۴/۸	۱/۶۱	-۲۹۰۶۰/۲	-۸۶۱۰۶/۸	۱۷۵۸۵۷۵۴۰/۶	۴۷۲۰۸۵/۱

منبع: یافته‌های پژوهش

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۵. نتایج ماکزیمم – مینیمم درجه رضایت

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

منبع: یافته‌های پژوهش

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

۶-۱- نتایج و تجزیه و تحلیل کارآیی پایداری

در این بخش، از مرز کارآیی تعادلی ساخته شده در بخش ۶-۱ برای اندازه‌گیری پایداری بر حسب کـارایی انـرژی و زیست محیطی سیستم حمل و نقل ۳۱ استان کشور استفاده می‌شود. با استفاده از بکارگیری مدل امروزنژاد و همکاران (۲۰۱۶)، امتیاز کـارایی انـرژی و زیست محیطی 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 کارآیی 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، کارآیی 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 گازطبیعی در این سال بوده است (سالنامه آماری کشور، ۱۳۹۷). از دلایل بالا بودن کارآیی 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 کارآیی 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 گازطببعی 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 دی اکسیدکربن با مجموع ثابت در فرایند حمل و نقل نسبتاً خوب می‌باشند. برای مثال ۱۱ استان کشور دارای ارزش کارآیی یک می‌باشند و ۲۰ استان ارزش کارآیی پایداری زیر یک می‌باشد. (۳) نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استان‌هایی

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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.

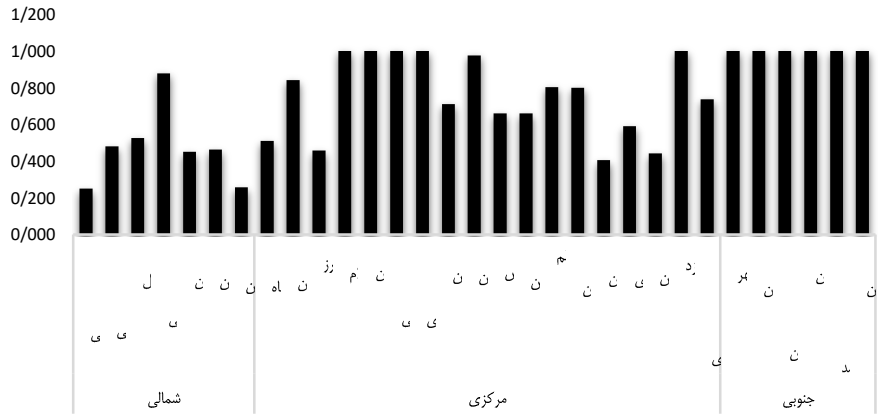
برای تجزیه و تحلیل پایداری با توجه به مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن با مجموع ثابت در مقیاس بزرگ، ۳۱ استان کشور به سه ناحیه (به عنوان مثال، شمالی، مرکزی و جنوبی) تقسیم می‌شود که کارآیی پایداری آن‌ها در شکل یک نشان داده شده است. نتایج با توجه به شکل یک به شرح ذیل خلاصه می‌شود: (۱) نواحی شمالی شامل ۷ استان کشور (خراسان شمالی، گلستان، مازندارن، 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 مازنداران 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 چهار محال 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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

جدول ۶. پایداری بر حسب کارآیی انرژی و زیست‌محیطی

DMU	کارآیی	رتبه	DMU	کارآیی	رتبه
آذربایجان شرقی	۰/۲۵۱	۲۱	فارس	۰/۶۶۱	۹
آذربایجان غربی	۰/۴۸۱	۱۴	قزوین	۰/۶۶	۱۰
اردبیل	۰/۵۲۸	۱۲	قم	۰/۸۰۴	۵
اصفهان	۰/۸۴۲	۴	کردستان	۰/۸	۶
البرز	۰/۴۵۸	۱۶	کرمان	۱	۱
ایلام	۱	۱	کرمانشاه	۰/۵۱۱	۱۳
بوشهر	۱	۱	کهگیلویه و بویراحمد	۱	۱
تهران	۱	۱	گلستان	۰/۴۵۱	۱۷
چهارمحال و بختیاری	۰/۷۲۸	۷	گیلان	۰/۴۶۴	۱۵
خراسان جنوبی	۱	۱	لرستان	۰/۴۰۶	۱۹
خراسان رضوی	۱	۱	مازندران	۰/۲۵۹	۲۰
خراسان شمالی	۰/۸۷۹	۳	مرکزی	۰/۵۹۱	۱۱
خوزستان	۱	۱	هرمزگان	۱	۱
زنجان	۰/۷۱۲	۸	همدان	۰/۴۴۴	۱۸
سمنان	۰/۹۷۷	۲	یزد	۱	۱
سیستان و بلوچستان	۱	۱			

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۱. کارآیی پایداری در سه ناحیه

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

۷- نتیجه‌گیری

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 ازمهم ترین کارهایی که بر عهده متخصصان فن گذارده شده است یافتن راه حل‌هایی به منظور کاستن اثرات جانبی منفی ناشی از رشد اقتصادی و مصرف انرژی به محیط زیست است. برای این مهم چندین مدل تحلیل پوششی داده های ناپارامتریک با انتشار دی اکسید کربن برای ارزیابی کارایی انرژی و زیست محیطی مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله، از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با مرز کارآیی تعادل عمومی (CEEFDEA) برای ارزیابی کارایی انرژی و زیست محیطی با در نظر گرفتن مصرف انرژی و انتشار دی اکسیدکربن استفاده شده است. نتایج تجربی در این مطالعه نشان می‌دهد همه استان‌ها دارای درجه رضایت یکسان ۰/۹۷۹ می‌باشند. بر اساس نتایج مرز کارآیی تعادلی از طریق درجه رضایت، ماکزیمم - مینیمم 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.۱۲ استان می‌بایست مقدار مشخصی از انتشار دی اکسیدکربن را کاهش دهند و ۱۹ استان نیاز به افزایش دارند. برای تعدیل مصرف انرژی به‌جزء استان سیستان و بلوچستان تمام استان‌های کشور بایستی میزان مصرف انرژی را کاهش دهند. همچنین مقدار تعدیل انتشار دی اکسیدکربن و مصرف انرژی (۱۱۴۱۳- و ۹۲۰۹۵-) است که این مقادیر کمتر از مقدار تعیین شده برای توسعه پایدار می‌باشد. علاوه بر این، نتایج کارآیی پایداری نشان می‌دهد که برخی از مناطق از کارآیی 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

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

منابع

- اوحدی، نسرین؛ شهرکی، جواد.؛ پهلوانی، مصیب و مردانی نجفآبادی، مصطفی (۱۳۹۸). ارزیابی کارآیی 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)، ۱۳۰-۱۱۱.
- 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 کارآیی 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 عادلی، محمد حسین و فطرس، محمد حسن (۱۳۹۴). اندازه گیری کارایی انرژی صنعتی با انتشار دی اکسید 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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

- 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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

- 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 society71(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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

- 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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

- 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.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]

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 [۱]
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@asnrukh.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**.**

۱. Corresponding Author

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-28]