ارایه مدل ریاضی تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای جهت ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل ریلی

مقاله پژوهشی

محمدرضا فتحی*، استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران
محمد حسن ملکی، دانشیار، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه قم، قم، ایران
زهره صفاری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه قم، قم، ایران
*پست الکترونیک نویسنده مسئول: Reza.fathi@ut.ac.ir

دریافت: ۹۷/۰۱/۲۱- پذیرش: ۹۸/۰٤/۲۸
صفحه ۱۰٦-۹۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل زیربنایی برای توسعه هر کشوری، وجود یک شبکه کارا و مناسب، جهت رفع نیازهای حمل‌ونقل آن کشور است. حمل و نقل ریلی نقش مهمی در توسعه اقتصادی یک کشور دارد؛ ازاین‌رو ارزیابی عملکرد ریلی یکی از مسائل مهم صنعت حمل و نقل ریلی کشور است. هدف اصلی این تحقیق تعیین مدل مناسب جهت ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل ریلی جمهوری اسلامی ایران است. پژوهش حاضر از حیث هدف کاربردی و از حیث روش اجرا، از نوع تحقیقات توصیفی-تحلیلی است. جامعه آماری این پژوهش شامل نواحی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران است. برای ارزیابی عملکرد نواحی راه‌آهن از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای استفاده شده است. براساس نتایج بدست آمده در سال ۱۳۹۳ ناحیه شمال شرق۲ دارای رتبه اول و در سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ ناحیه شرق دارای رتبه اول می‌باشد. به علاوه میانگین کارایی نواحی نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۳ ناحیه شرق بهترین عملکرد و ناحیه شمال بدترین عملکرد را داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، حمل و نقل ریلی، تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای

۱-مقدمه

توسعه و گسترش خطوط اصلی راه‌آهن و تجهیزات مربوط به حمل بار و مسافر در ادبیات توسعه به‌طور اعم و امور زیربنایی به‌طور اخص از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ازنظر مفهومی برنامه‌ریزی برای توسعه و گسترش مجموعه زیربنایی در چهارچوب برنامه‌های توسعه به معنای این است که رشد شبکه ریلی کشور به‌عنوان بخشی از توسعه زیرساخت کشور باید به‌موازات منابع تخصیص‌یافته به سمت جلو پیش رود. در راه‌آهن ایران، قوانین و محدودیت‌ها و نیازهای ویژه‌ای وجود دارد که برنامه‌ریزی حمل‌ونقل ریلی بایستی متناسب با این نیازها به‌صورت جامع در نظر گرفته شود. سیستم حمل‌ونقل ریلی نقش مهمی را در بهبود اقتصادی کشورها ایفا می‌کند. این نقش در کشورهایی مانند ایرآن‌که دارای مقدار زیادی منابع طبیعی است، اهمیت بیشتری دارد. به‌طوری‌که حمل‌ونقل ریلی گاها به‌عنوان " موتور توسعه" در ایران در نظر گرفته می‌شود. ارزیابی کارایی یکی از مسائل مهم صنعت حمل و نقل ریلی کشور است. ازآنجایی‌که اندازه‌گیری کارایی هر سیستمی متأثر از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم است، اظهارنظر در خصوص سطح کارایی مستلزم شناسایی دقیق ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم است. روش تحلیل پوششی داده‌ها روشی کارآمد

برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. تحلیل پوششی داده‌ها روش مفیدی برای برنامه‌نویسی ریاضی است، که توسط چارنز و همکارانش (۱۹۷۸) برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده معرفی‌شده است، این روش ورودی‌های متعددی را برای تولید خروجی‌های متعدد مصرف می‌کند. در بسیاری از مدل‌های سنتی DEA (امروزنژاد و همکاران، ۲۰۱۸) ساختار داخلی واحدهای تولید نادیده گرفته می‌شود و واحدهای تصمیم‌گیرنده اغلب به‌عنوان جعبه‌های سیاه در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، این مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ممکن است واحد جعبه سیاه را به‌عنوان واحدی کارآمد نشان دهند، درحالی‌که دارای برخی فرایندهای فرعی ناکارآمد است. برای مثال، در کاربردی از روش DEA در بانکداری، زمانی که بانک‌ها را به‌عنوان سیستم‌های دومرحله‌ای در نظر می‌گیریم، نتایج قابل‌اطمینان‌تر و دقیق‌تر خواهند بود. در مقالات *DEA*، مطالعات چشمگیری درزمینه مدل‌سازی دستگاه‌های تولیدی با ساختارهای شبکه‌ای وجود دارد. برای سادگی در بسیاری از این تحقیقات فرض شده است که دستگاه‌های تولیدی از دو مرحله تشکیل‌شده‌اند که در مرحله اول برخی ورودی‌ها به محصولات میانی تبدیل‌شده و این خروجی‌ها به‌عنوان ورودی‌های مرحله دوم برای تولید خروجی‌های نهایی استفاده می‌شود (به عنوان مثال صفرود و ژو (۱۹۹۹) و چن و ژو (۲۰۰٤)). علی حیدری بیوکی و خادمی زارع (۱۳۹٤) پس از شناسایی معیارهای اعتباردهی به متقاضیان حقوقی دریافت تسهیلات بانکی، با استفاده از تکنیک بهبود یافته تحلیل پوششی داده‌ها، یک روش کارآمد برای دسته‌بندی مشتریان حقوقی ارائه کردند. تکنیک بهبود یافته تحلیل پوششی داده‌ها با تعریف یک سازمان ایده‌آل در هر بار اجرا، ضمن کاهش محاسبات و افزایش سرعت عملیات تصمیم گیری باعث بهبود روش موجود می‌گردد. همچنین مدل *DEA* بهبود یافته یک مسیر حرکت مستقیم، کوتاه و پویا برای دستیابی به کارایی بیشتر در هر یک از شرکت‌ها، کارا و ناکارا ارایه می‌دهد. اولویت‌بندی ارائه شده توسط روش *DEA* بهبود یافته در تمام موارد مطالعه شده، با اولویت‌بندی به روش *DEA* موجود منطبق بوده است. کائو (۲۰۰۹) روش رابطه‌ای را برای ارزیابی دستگاه‌های شبکه‌ای عمومی معرفی کرد و سپس با معرفی فرآیندهای مجازی، سیستم‌ها را به فرآیندهای متوالی تبدیل کرد که در آن هر مرحله شامل فرآیندهای موازی است. لوزانو (۲۰۱۱) یک مدل عمومی برای دستگاه‌های دارای ساختار شبکه‌ای معرفی کرده است و در مورد کارایی هزینه و مقیاس آن بحث نمود. چن و همکارانش (۲۰۱۳) نشان دادند که مدل‌های *DEA* شبکه‌ای مضربی و پوششی نتایج مختلفی را در ارائه کارایی بخشی دارند. علاوه بر این، آن‌ها ذکر کردند که معیار مناسب را نمی‌توان از بسیاری از مدل‌های *DEA* شبکه‌ای به دست آورد. کائو (۲۰۱٤) دستگاه‌های عمومی چندمرحله‌ای را به‌عنوان دستگاه‌هایی که در آن ورودی‌های نمایان همراه با محصولات واسطه مصرف می‌شوند در نظر گرفت. در ادامه سوالات تحقیق به شرح زیر ارایه می‌گردد:

سؤال اصلی تحقیق:

مدل مناسب جهت ارزیابی عملکرد شبکه حمل‌ونقل ریلی به چه صورت است؟

سؤالات فرعی:

۱) معیارهای اصلی ورودی و خروجی جهت ارزیابی عملکرد شبکه حمل‌ونقل ریلی کدام‌اند؟

۲) کارایی هرکدام از واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای چقدر است؟ واحدهای کارا و ناکارا کدام‌اند؟

۲- پیشینه تحقیق

تاکنون پژوهش‌های متعددی در مورد ارزیابی عملکرد و کاربرد تکنیک تحلیل پوششی داده‌ای در حوزه‌های مختلف صورت گرفته است که در ادامه به چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود:

کائو و لیو (۲۰۰۹) از روش DEA برای اندازه‌گیری کارایی بانک‌های تجاری تایوان استفاده کردند. تعداد پرسنل، سرمایه فیزیکی، وجوه خریداری‌شده، سپرده‌ها، وام‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت شش متغیری بودند که در پژوهش آن‌ها به‌عنوان ورودی و خروجی تکنیک *DEA* درنظر گرفته شدند. آذر و نوبهار (۱۳۹٤) در مقاله‌ای تحت عنوان"ارایه مدل ارزیابی عملکرد شعب بانک با استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل پوششی داده‌ها *PCA-DEA*" به ارزیابی عملکرد ۱۰۰ شعبه بانک کشاورزی پرداختند. در پژوهش مذکور از مدل *CCR* خروجی محور به‌عنوان مدل اصلی استفاده شده است. وانگ (۲۰۱٤) عملکرد مالی شرکت‌های کشتی‌رانی کشور تایوان را به وسیله MCDM فازی ارزیابی کرد، او از تکنیک TOPSIS برای رتبه‌بندی این شرکت‌ها استفاده کرد. دهقانی و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تحت عنوان "رتبه‌بندی و ارزیابی عملکرد شعب بانک شهر با رویکرد کارت امتیازی متوازن با استفاده از مدل تاپسیس " به ارزیابی عملکرد شعب بانک شهر جهت تعیین موقعیت خود و اخذ تصمیمات استراتژیک برای رسیدن به هدف پرداخته‌اند. یو و لین (۲۰۰۸) مقاله‌ای را برای بررسی

کارایی فنی و اثربخشی فنی راه‌آهن‌های دنیا با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، ارایه کردند. آن‌ها در مقاله خود نیروی کار، انرژی، طول خط، تعداد واگن باری و مسافری، به‌عنوان ورودی‌های مسئله و مسافر–قطار–کیلومتر، بار–قطار–کیلومتر، مسافر–کیلومتر، تن– کیلومتر به‌عنوان خروجی‌های مسئله در نظر گرفتند. احدی و ساقیان (۱۳۹٤) کارایی ۱۵ ناحیه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران را در دو حالت بازده نسبت به مقیاس ثابت (کارایی فنی کل) و بازده نسبت به مقیاس متغیر (کارایی فنی خالص) با ورودی‌های یکسان و خروجی متفاوت با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها موردبررسی قرارداده و واحدهای کارا را رتبه‌بندی کردند.

۳- روش‌شناسی تحقیق

هر پژوهش، تلاشی سیستماتیک و روشمند به‌منظور دست یافتن به پاسخ یک پرسش یا راه‌حلی برای یک مسئله است. پژوهش حاضر از نظر هدف "پژوهشی کاربردی" و از نظر روش اجرا "پژوهشی توصیفی – تحلیلی" است. جامعه آماری این پژوهش شامل نواحی نوزده‌گانه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران است. با توجه به اینکه جامعه آماری این پژوهش دارای تعداد محدودی است، لذا کل جامعه آماری به عنوان نمونه در نظر گرفته شده است. در مطالعاتی که در آن‌ها از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است؛ نتایج پژوهش در صورتی از اعتبار لازم برخوردار خواهد بود که تناسب بین تعداد مجموع ورودی‌ها و خروجی و تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس رابطه زیر رعایت شده باشد:

$$n \geq max\{m \times s\,, 3(m+s)\}$$

در این رابطه n تعداد DMUها، m تعداد ورودی‌ها و s تعداد خروجی‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود رابطه فوق در این پژوهش رعایت شده است:

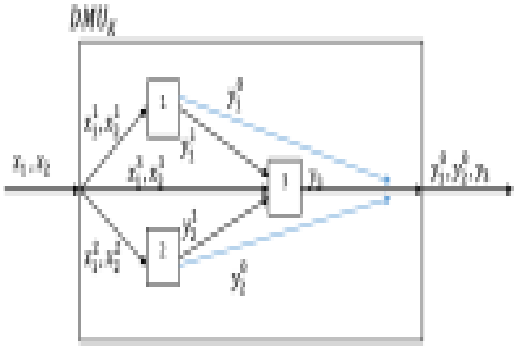
$$19 \geq max\{2 \times 2, 3(2+2)\}$$

در ادامه مراحل انجام این تحقیق در قالب نمودار ۱ به صورت زیر ارائه گردیده است.

نمودار ۱. مراحل پژوهش

در این تحقیق از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای استفاده شده است که در ادامه تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای به صورت زیر ارایه می‌گردد: در تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای برای هر DMU_j $(j=1,\ldots,n)$، ورودی x_{ij} $(i=1,\ldots,m)$، برای استفاده در تولید محصولات میانی z_{dj} $(d=1,\ldots,D)$ فرض شده است که به‌عنوان ورودی‌های برخی از فرآیندهای دیگر برای تولید خروجی‌های نهایی y_{ij} $(r=1,\ldots,s)$ به مصرف می‌رسند. به طور کلی از تحلیل

پوششی داده‌ای شبکه‌ای برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های متوالی و موازی استفاده می‌کنند که برای هر سیستم دارای مدل مجزایی می‌باشد.. سیستم‌های شبکه‌ای با ساختار متوالی به سیستم‌های تولیدی گفته می‌شود که خروجی‌های (p=1,....q) فرآیند فرعی همانند ورودی‌های p+1th فرایند فرعی مصرف شوند. بنابراین، خروجی‌های نهایی سیستم، خروجی‌های فرآیند فرعی q ام هستند. یک سیستم تولید معمولی با ساختار موازی از فرایند فرعی q تشکیل‌شده است. در سیستم‌های موازی ورودی i ام سیستم به چند بخش مصرف‌شده توسط فرآیندهای فرعی برای تولید خروجی‌ها به‌عنوان بخشی از خروجی نهایی r ام، تقسیم می‌شود. هر دو ساختار موازی و متوالی در کاربرد مفید هستند، اما بسیاری از دستگاه‌های تولیدی در دنیای واقعی پیچیده‌تر از آن هستند که چنین محدودیت‌های خاصی را برای فرآیندهای فرعی برآورده کنند. در اینجا از اصطلاح "شبکه عمومی" برای نام‌گذاری دستگاه‌های تولیدی بدون ساختار موازی و متوالی استفاده می‌کنیم. مدل‌های ارائه‌شده برای ساختارهای متوالی و موازی نمی‌توانند مستقیماً برای ارزیابی عملکرد دستگاه‌های شبکه عمومی استفاده شود.



شکل ۱. ساختار شبکه‌ای

اگر فرض کنیم n واحد مشاهده با همان ساختار شبکه‌ای ارائه شده در شکل (۱) وجود دارد، مدل ارائه شده کائو (۲۰۱٤) فرآیند را به‌طور جداگانه در نظر می‌گیرد، مدل مرتبط برای محاسبه امتیاز کارایی DMU_k به شکل زیر است:

$$\theta_k = \max\ u_1 y_{1k}^0 + u_2 y_{2k}^0 + u_3 y_{3k} \qquad (۱)$$

$$\text{s.t}:$$

$$v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} = 1$$

$$u_1 y_{1j} - \left(v_1 x_{1j}^1 + v_2 x_{2j}^1\right) \le 0 \qquad j = 1, \dots, n$$

$$u_2 y_{2j} - \left(v_1 x_{1j}^2 + v_2 x_{2j}^2\right) \le 0 \qquad j = 1, \dots, n$$

$$u_3 y_{3j} - \left(v_1 x_{1j}^3 + v_2 x_{2j}^3 + u_1 y_{1j}^1 + u_2 y_{2j}^1\right) \le 0 \qquad j = 1, \dots, n$$

$$(u_1 y_{1k}^0 + u_2 y_{2j}^0 + u_3 y_{3k}) - (v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j}) \le 0 \qquad j = 1, \dots, n$$

$$u_1, u_2, u_3, v_1, v_2 \ge 0$$

مجموعه دوم، سوم، و چهارم محدودیت‌ها به سه فرآیند فرعی موجود در هر واحد مربوط است، و مجموعه پنجم محدودیت‌ها واحدها را به‌عنوان جعبه سیاه در نظر می‌گیرد که به دلیل محدودیت‌های قبلی کنار گذاشته می‌شود. کائو و هوانگ (۲۰۱۰) از مدل رابطه‌ای (۱) همراه با مدل متوالی برای ارائه روشی به منظور نشان‌دادن اینکه ناکارایی سیستم شبکه‌ای می‌تواند در فرایندهای فرعی توزیع شود، استفاده کردند. توجه داشته باشید که مدل رابطه‌ای کارایی را زمانی که دستگاه‌های تولیدی از چند فرایند فرعی با تعداد کمی از واحدها تشکیل‌شده است، ارائه می‌دهد. لوزانو فرم پوششی مدل رابطه‌ای (۱) را به شکل زیر فرمول کرده است:

$$\theta_k = \min h$$

$$s.t: \sum_{p \in p_1(i)} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^p x_{ij}^p \le h x_{ij} \qquad i = 1, \dots, m \qquad (۲)$$

$$\sum_{p \in p_0(r)} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^p y_{rj}^p \le y_{rk} \qquad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{p\in p^{out}(d)}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^p z_{dj}^p - \sum_{p\in p^{in}(d)}\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^p z_{dj}^p \geq 0 \quad d=1,\dots,D$$
$$\lambda_j^p \geq 0 \quad j=1,\dots,n \;\; p=1,\dots,q$$

در این مدل، $P_I(i)$ مجموعه‌ای از فرآیندها است، که ورودی iام را مصرف می‌کند و x_i^p ورودی اولیه مصرف‌شده در فرایند p ام است. X_{ik} کل مقدار مصرف‌شده از ورودی اولیه DMU_k است. $P_0(r)$مجموعه‌ای از فرآیندها است، که خروجی r ام را تولید می‌کند، y_r^p، r امین خروجی تولیدشده در فرآیند p ام است. y_{rk} مقدار کل تولیدشده از خروجی نهایی DMU_k است. $P^{out}(d)$مجموعه‌ای از فرآیندها است، که d امین محصول میانی z_d^p است، $p \in P^{out}(d)$ ، d امین محصول میانی تولیدشده در فرآیند p ام است. $P^{in}(d)$ مجموعه‌ای از فرآیندها است، که محصول میانی d ام را مصرف می‌کند، $p\in P^{in}(d)$ و z_d^p، d امین محصول میانی مصرف‌شده در فرآیند p ام است. فرض بر این است که محصولات میانی به‌عنوان ورودی‌های اولیه استفاده و یا به‌عنوان خروجی نهایی تولید نمی‌شوند. با الهام از مدل (۱)، مدل مورداستفاده در پژوهش حاضر با توجه به نوع شبکه، به‌صورت زیر ارائه شده است:

(۳)

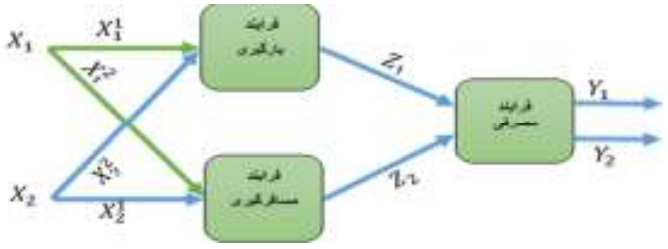
$$Eff_k = Max \sum_r u_r y_{rk}$$
$$\sum_i v_i x_{ik} = 1$$
$$\sum_r u_r y_{rj} - \sum_i v_i x_{ij} \leq 0 \quad \forall j$$
$$w_p z_j^p - \sum_i v_i\, x_{ij}^p \leq 0 \quad \forall p, \forall j$$
$$\sum_r u_r y_{rjx`} - \sum_p w_p z_j^p \leq 0 \quad \forall j$$
$$u_r, v_i, w_p \geq 0$$

محدودیت اول نشان‌دهنده محدودیت نرمال‌سازی ورودی‌ها، محدودیت دوم مربوط به کارایی کل سیستم، محدودیت سوم مربوط به کارایی هرکدام از فرآیندهای مسافربری و باربری و بالاخره محدودیت آخر مربوط به کارایی مرحله مصرفی است. مدل دوگان این مدل به‌صورت زیر خواهد بود:

(٤)

$$Eff_k = Min\ \theta$$
$$\sum_p \sum_j \lambda_j^p x_{ij}^p \leq \theta x_{ik} \quad \forall i$$
$$\sum_j \lambda_j^c y_{rj} \geq y_{rk} \quad \forall r$$
$$\sum_j \lambda_j^p z_{pj} - \sum_j \lambda_j^c z_{pj} \leq 0 \quad \forall p$$

در نهایت ساختار ورودی – خروجی پیشنهادی پژوهش به صورت شکل ۲ ارائه شده است.



شکل۲. ساختار ورودی – خروجی پیشنهادی

در این ساختار X_1 نشان‌دهنده تعداد کارکنان [1] و X_2 بیانگر سوخت مصرفی [2]، ورودی‌های مدل هستند. محصولات واسطه شامل تن-واگن [3] (Z_1) و مسافر-واگن [4] (Z_2) می‌باشند. خروجی‌های مدل نیز y_1 و y_2 هستند که به ترتیب بیانگر تن کیلومتر بار [5] و نفر کیلومتر مسافر [6] می‌باشند.

٤- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ادامه با استفاده از روابط (۳) و (٤) و به کمک نرم‌افزار GAMS کارایی و عملکرد هریک از نواحی نوزده‌گانه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران به تفکیک در هرسال محاسبه‌شده است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس مدل اولیه و دوگان برای هرسال به شرح زیر ارایه شده است:

جدول ۲. نتایج مربوط به سال ۱۳۹۳

	Primal				Dual
	P۱	P۲	C	System	System
DMU۰۱	۰,۱٦۸۸	۰,۱۷۲۸	۰,۱۱۹٦	۰,۰۲۵۰	۰,۰۲۰۵
DMU۰۲	۰,۲۹٤۸	۰,۰۳۹۱	۰,٤۲۸۹	۰,۰٦۰٦	۰,۰٦۰٦
DMU۰۳	۰,۲۹۱۵	۰,۱۵۳	۰,۷۰۸۸	۰,۱٤۷۷	۰,۱٤۷۷
DMU۰٤	۰,۱۱۱٤	۰,۰۹۲۱	۱	۰,۰۹۹۸	۰,۰۹۹۸
DMU۰۵	۰,۲۱۳۲	۰,۲۱۹۲	۰,۱۹۹۹	۰,۰٤۳۳	۰,۰٤۳۳
DMU۰٦	۰,۸۵۷۵	۰,۸۹۰٤	۰,۰٤۰۹	۰,۰۳۵۹	۰,۰۳۵۹
DMU۰۷	۰,۱۰۸۵	۰,۰۹۳۷	۰,۸۹٦٦	۰,۰۸۹۳	۰,۰۸۹۳
DMU۰۸	۰,۳۸۷۹	۰,۲٤۸٤	۰,۷۸۱۱	۰,۲۳۷٦	۰,۲۳۷٦
DMU۰۹	۰,۱۷٦۵	۰,۱۵۰۵	۰,۱۲۳۳	۰,۰۱۹۸	۰,۰۱۹۸
DMU۱۰	۰,۱۹۷۹	۰,۱۷۹٤	۰,۷۸۳۵	۰,۱٤٦٤	۰,۱٤٦٤
DMU۱۱	۰,٦۰۵٤	۰,٦۳٦۸	۰,۳۹۹۲	۰,۲٤۹۲	۰,۲٤۹۲
DMU۱۲	۰,۲۰۰۵	۰,۲۰٤۹	۰,۲٦۳۲	۰,۰۵۳۵	۰,۰۵۳۵
DMU۱۳	۰,۲۰۹۸	۰,۲۲۸۷	۰,۱۹۷	۰,۰٤۳٦	۰,۰٤۳٦
DMU۱٤	۰,۱۰۹۵	۰,۰۸۸٤	۱	۰,۰۹٦۹	۰,۰۹٦۹
DMU۱۵	۰,۱۸۲۸	۰,۱۲۸۸	۰,۸٦۱٦	۰,۱۲۹٦	۰,۱۲۹٦
DMU۱٦	۰,۵۷۸	۰,٤۷۱۱	۰,۱۳۱۳	۰,۰٦۷۵	۰,۰٦۷۵
DMU۱۷	۱	۱	۰,۰۵۲۸	۰,۰۵۲۸	۰,۰۵۲۸
DMU۱۸	۱	۱	۰,۰۳۷۸	۰,۰۳۷۸	۰,۰۳۷۸
DMU۱۹	۱	۰,۵۱٤۹	۰,۱٦۳۸	۰,۱۱٦۱	۰,۱۱٦۱

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده‌شده است، نتایج حاصل از مدل اولیه و ثانویه یکسان هستند که نشان‌دهنده صحیح بودن مدل‌ها است. این مسئله در نتایج مربوط به سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ هم مشاهده می‌شود.

جدول ۳. نتایج مربوط به سال ۱۳۹٤

	Primal				Dual
	P۱	P۲	C	System	System
DMU۰۱	۰,۲۱۰۵	۰,۱۹۷۸	۰,۱۱٤	۰,۰۲۳۱	۰,۰۲۳۱
DMU۰۲	۰,۳۵۳٤	۰,۳۵۳٤	۰,۱۷۲٤	۰,۰٦۰۹	۰,۰٦۰۹
DMU۰۳	۰,۲٤۵۸	۰,۱٦٦۹	۰,۵۸۷۸	۰,۱۱٦۷	۰,۱۱٦۷
DMU۰٤	۰,۱۰۰۷	۰,۰۸۹۹	۱	۰,۰۹٤۲	۰,۰۹٤۲
DMU۰۵	۰,۲۵٦٦	۰,۲۲۹٦	۰,۲۰۸۹	۰,۰۵۰۲	۰,۰۵۰۲
DMU۰٦	۱	۱	۰,۰۳۰۵	۰,۰۳۰۵	۰,۰۳۰۵
DMU۰۷	۰,۰۹۵۹	۰,۰۸۵۵	۰,۹۱	۰,۰۸۱٦	۰,۰۸۱٦
DMU۰۸	۰,۳٦۳۷	۰,۲۲۹۹	۰,۷۰۹۹	۰,۲۰۱۲	۰,۲۰۱۲
DMU۰۹	۰,۲٤۸۱	۰,۲۲۸٦	۰,۰۹۵٦	۰,۰۲۲٦	۰,۰۲۲٦
DMU۱۰	۰,۱۹٤	۰,۱۷۰۱	۰,٦۷۰۹	۰,۱۲۰۵	۰,۱۲۰۵
DMU۱۱	۰,۸۱۸۱	۰,۷۸۱۹	۰,۰۱۲٤	۰,۰۰۹۹	۰,۰۰۹۹
DMU۱۲	۰,۲٤۰۷	۰,۲۳۵۵	۰,۲٤۱۸	۰,۰۵۷۵	۰,۰۵۷۵
DMU۱۳	۰,۲۵٦۸	۰,۲۱۲۱	۰,۱۹۰٦	۰,۰٤۳۸	۰,۰٤۳۸
DMU۱٤	۰,۱۰٦۷	۰,۰۷۷٦	۱	۰,۰۸۹۲	۰,۰۸۹۲
DMU۱۵	۰,۱۷۵۳	۰,۱۲۳۹	۰,۸۰۲	۰,۱۱۵۸	۰,۱۱۵۸
DMU۱٦	۰,۵۸٦٦	۰,٤٤۸۵	۰,۱۳۹۳	۰,۰۷۰۲	۰,۰۷۰۲
DMU۱۷	۱	۱	۰,۰۵٦۱	۰,۰۵٦۱	۰,۰۵٦۱
DMU۱۸	۰,۵۳٤۹	۰,٤٤۹	۰,۰۹۱۹	۰,۰٤٤٤	۰,۰٤٤٤
DMU۱۹	۰,٦۲۹۱	۰,۵۵۲۲	۰,۰۷۹۷	۰,۰٤٦۵	۰,۰٤٦۵

جدول ٤. نتایج مربوط به سال ۱۳۹۵

	Primal				Dual
	P۱	P۲	C	System	System
DMU۰۱	۰,۲۳۳۱	۰,۲۰٦	۰,۱۱٥۲	۰,۰۲٥	۰,۰۲٥
DMU۰۲	۰,۳۸۱٥	۰,۳۲۳٤	۰,۱۹٦٦	۰,۰٦۸۱	۰,۰٦۸۱
DMU۰۳	۰,۳۷۸٥	۰,۱۸۸۳	۰,٦۰۸۲	۰,۱٦۰۸	۰,۱٦۰۸
DMU۰٤	۰,۱۳۹٥	۰,۱۰۷۳	۱	۰,۱۲۰۲	۰,۱۲۰۲
DMU۰٥	۰,۳۳٦٥	۰,۲٥۷٥	۰,۲۰۳۳	۰,۰٥۸۸	۰,۰٥۸۸
DMU۰٦	۱	۱	۰,۰۲۸۳	۰,۰۲۸۳	۰,۰۲۸۳
DMU۰۷	۰,۱۳۳٥	۰,۱۰۲۷	۰,۹۰۹	۰,۱۰٤٦	۰,۱۰٤٦
DMU۰۸	۰,٥۰۷۲	۰,۲۷۱٥	۰,٦۷۸۷	۰,۲٤۸۳	۰,۲٤۸۳
DMU۰۹	۰,۲۹۳۳	۰,۲۹٥٦	۰,۰۷٥۱	۰,۰۲۲۱	۰,۰۲۲۱
DMU۱۰	۰,۲۳٦۱	۰,۱۷٥۹	۰,٥٥٥۹	۰,۱۱۱۲	۰,۱۱۱۲
DMU۱۱	۱	۱	۰,۰۱٤٥	۰,۰۱٤٥	۰,۰۱٤٥
DMU۱۲	۰,۲٦۷۹	۰,۲٤۹۳	۰,۲۲۳۲	۰,۰٥۷۳	۰,۰٥۷۳
DMU۱۳	۰,۳۳۹	۰,۲٥۷۱	۰,۱۷۸٤	۰,۰٥۱۷	۰,۰٥۱۷
DMU۱٤	۰,۱۳۷۹	۰,۰۸۷٥	۱	۰,۱۰۷٦	۰,۱۰۷٦
DMU۱٥	۰,۲٤٥۹	۰,۱٤۸۷	۰,۸۸۲٦	۰,۱٦٥٦	۰,۱٦٥٦
DMU۱٦	۰,۷۲۰۹	۰,٤۸۲٥	۰,۰۹٦٦	۰,۰٥٥۸	۰,۰٥٥۸
DMU۱۷	۰,۹۳۱۷	۰,۷۲٦۲	۰,۰٥۸۳	۰,۰٤۷۱	۰,۰٤۷۱
DMU۱۸	۰,۷۳۰۹	۰,٥٥۱۷	۰,۱٥۸۳	۰,۰۹۸۷	۰,۰۹۸۷
DMU۱۹	۰,٦٥۲	۰,٥٤۷	۰,۱٥۲٦	۰,۰۸۹۹	۰,۰۸۹۹

واحدهای تصمیم‌گیرنده شامل نواحی راه‌آهن می‌باشند که به ترتیب عبارتند از: آذربایجان، اراک، اصفهان، تهران، جنوب، جنوب شرق، خراسان، شرق، شمال، شمال شرق۱، شمال شرق۲، شمال غرب، زاگرس، هرمزگان، یزد، کرمان، فارس، قم و لرستان. در ادامه برای مشخص کردن عملکرد نواحی در بازه زمانی مذکور، میانگین کارایی آن‌ها در جدول (۵) ارایه شده است.

جدول ۵. میانگین کارایی نواحی در بازه زمانی ۹۵-۹۳

ناحیه	سال			میانگین سه ساله کارایی
	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹٥	
آذربایجان	۰,۰۲۰٥	۰,۰۲۳۱	۰,۰۲٥	۰,۰۲۲۸
اراک	۰,۰٦۰٦	۰,۰٦۰۹	۰,۰٦۸۱	۰,۰٦۳۲
اصفهان	۰,۱٤۷۷	۰,۱۱٦۷	۰,۱٦۰۸	۰,۱٤۱۷
تهران	۰,۰۹۹۸	۰,۰۹٤۲	۰,۱۲۰۲	۰,۱۰٤۷
جنوب	۰,۰٤۳۳	۰,۰٥۰۲	۰,۰٥۸۸	۰,۰٥۰۷
جنوب شرق	۰,۰۳٥۹	۰,۰۳۰٥	۰,۰۲۸۳	۰,۰۳۱٥
خراسان	۰,۰۸۹۳	۰,۰۸۱٦	۰,۱۰٤٦	۰,۰۹۱۸
شرق	۰,۲۳۷٦	۰,۲۰۱۲	۰,۲٤۸۳	۰,۲۲۹۰

شمال	۰,۰۱۹۸	۰,۰۲۲٦	۰,۰۲۲۱	۰,۰۲۱۵
شمال شرق ۱	۰,۱٤٦٤	۰,۱۲۰۵	۰,۱۱۱۲	۰,۱۲٦۰
شمال شرق ۲	۰,۲٤۹۲	۰,۰۰۹۹	۰,۰۱٤۵	۰,۰۹۱۲
شمال غرب	۰,۰۵۳۵	۰,۰۵۷۵	۰,۰۵۷۳	۰,۰۵٦۱
زاگرس	۰,۰٤۳٦	۰,۰٤۳۸	۰,۰۵۱۷	۰,۰٤٦۳
هرمزگان	۰,۰۹٦۹	۰,۰۸۹۲	۰,۱۰۷٦	۰,۰۹۷۹
یزد	۰,۱۲۹٦	۰,۱۱۵۸	۰,۱٦۵٦	۰,۱۳۷
کرمان	۰,۰٦۷۵	۰,۰۷۰۲	۰,۰۵۵۸	۰,۰٦٤۵
فارس	۰,۰۵۲۸	۰,۰۵٦۱	۰,۰٤۷۱	۰,۰۵۲
قم	۰,۰۳۷۸	۰,۰٤٤٤	۰,۰۹۸۷	۰,۰٦۰۳
لرستان	۰,۱۱٦۱	۰,۰٤٦۵	۰,۰۸۹۹	۰,۰۸٤۱

در نهایت با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که در بازه زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۳ ناحیه شرق بهترین عملکرد و ناحیه شمال بدترین عملکرد را داشته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، جدول (٦) که رتبه‌بندی نواحی برحسب میزان کارایی در هرسال را نشان می‌دهد، ارایه گردید. در این جدول بیشترین کارایی رتبه یک و کمترین کارایی رتبه نوزده را دارا است.

جدول٦. رتبه‌بندی نواحی در بازه زمانی ۹۵-۹۳

ناحیه	سال		
	۱۳۹۳	۱۳۹٤	۱۳۹۵
	رتبه	رتبه	رتبه
آذربایجان	هجدهم	هفدهم	هفدهم
اراک	یازدهم	نهم	دهم
اصفهان	سوم	سوم	سوم
تهران	هفتم	پنجم	چهارم
جنوب	پانزدهم	دوازدهم	یازدهم
جنوب شرق	هفدهم	شانزدهم	شانزدهم
خراسان	نهم	هفتم	هفتم
شرق	دوم	اول	اول
شمال	نوزدهم	هجدهم	هجدهم
شمال شرق ۱	چهارم	دوم	پنجم
شمال شرق ۲	اول	نوزدهم	نوزدهم
شمال غرب	دوازدهم	دهم	دوازدهم
زاگرس	چهاردهم	پانزدهم	چهاردهم
هرمزگان	هشتم	ششم	ششم
یزد	پنجم	چهارم	دوم

کرمان	دهم	هشتم	سیزدهم
فارس	سیزدهم	یازدهم	پانزدهم
قم	شانزدهم	چهاردهم	هشتم
لرستان	ششم	سیزدهم	نهم

براساس جدول (٦) اصفهان در بازه زمانی ۹۵-۹۳ همواره رتبه سوم در میزان کارایی را حفظ کرده و ناحیه شرق در سال ۹۳ دارای رتبه دوم و در سال‌های ۹٤ و ۹۵ دارای رتبه اول بوده است. حال به منظور بررسی و مرور نتایج پژوهش حاضر به بیان سؤالات پژوهش پاسخ می‌دهیم. سؤال اصلی این پژوهش عبارت است از:

مدل مناسب جهت ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل ریلی به چه صورت است؟

با بررسی ساختار شبکه‌ای حمل و نقل ریلی و فرآیندهای درگیر در آن و همین‌طور تعیین ورودی‌ها، خروجی‌ها و محصولات واسطه در این ساختار، مدل (۳) به عنوان مدل مناسب جهت ارزیابی عملکرد حمل و نقل ریلی ارائه شد. همچنین این پژوهش دارای ۳ سؤال فرعی است که در ادامه به هریک از آن‌ها پاسخ داده شده است:

معیارهای اصلی ورودی و خروجی جهت ارزیابی عملکرد شبکه حمل و نقل ریلی کدام‌اند؟

با بررسی سایر مطالعات در حوزه ارزیابی عملکرد حمل و نقل ریلی و همین طور مصاحبه با خبرگان مرتبط ورودی‌ها، خروجی‌ها و محصولات واسطه مناسب جهت ارزیابی عملکرد حمل و نقل ریلی تعیین شد. ورودی‌ها شامل تعداد کارکنان و سوخت مصرفی، خروجی‌ها شامل نفر کیلومتر مسافر و تن کیلومتر بار هستند. همچنین محصولات واسطه عبارتند از تن-واگن و مسافر-واگن.

کارایی هرکدام از واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای چقدر است؟

کارایی هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از مدل (۳) محاسبه شده و نتایج آن با استفاده از نرم‌افزار GAMS تحلیل گردید که در جدول‌های (۲)، (۳) و (٤) ارایه شده است. واحدهای کارا و ناکارا کدام‌اند؟

بر اساس نتایج به‌دست آمده کارایی هیچ یک از واحدها در بازه زمانی مورد بررسی یک نبوده و لذا هیچ‌کدام از واحدها کارا نمی‌باشند. هر پژوهشی دارای محدودیت‌هایی است. آمار و اطلاعات مورد استفاده در پژوهش حاضر، بر اساس آمار و اطلاعات ارائه شده در سایت شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران است؛ لذا صحت این اطلاعات به این شرکت مربوط بوده و خارج از اختیار محقق جهت مقایسه و استناد به آمارهای مشابه است. ازآنجایی‌که متغیرهای پژوهش با توجه به اطلاعات موجود انتخاب شده‌اند، با تغییر ورودی‌ها، محصولات واسطه و خروجی‌ها نتایج متفاوتی در مورد عملکرد نواحی خواهیم داشت. مسئله دیگری که وجود دارد مربوط به نواحی تازه تأسیس است که این امر موجب پایین بودن میزان کارایی آن‌ها شده و باعث می‌شود که نتوانیم به مرز کارایی نزدیک شویم. در مطالعات آتی در صورت دستیابی به اطلاعات قیمتی نظیر درآمدهای ناشی از حمل بار و مسافر و بهای تمام شده خدمات ارائه شده می‌توان کارایی تخصیصی و اقتصادی را برای نواحی مورد مطالعه محاسبه و ارزیابی نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی بر روی اصلاح ساختار نیروی انسانی و مهندسی مجدد فرآیندها در حمل و نقل ریلی تحقیق و تفحص صورت گیرد. همچنین در دیگر پژوهش‌های تصمیم‌گیری (بهشتی نیا و همکاران، ۱۳۹٦، تیتکانلو و همکاران، ۱۳۹٦) می‌توان از ترکیب فنون تصمیم‌گیری چند معیاره و تحلیل پوششی داده‌ای شبکه‌ای استفاده کرد.

٦- پی‌نوشت‌ها

۱-تعداد کارکنان شاغل در هر ناحیه است.

۲-عبارت است از مقدار مصرف سوخت گازوئیل توسط لکوموتیوها.

۳-نسبت وزن بار با واگن به مجموع تعداد واگن‌های باردار و خالی در قطارهای باربری.

٤- نسبت وزن بار با واگن به مجموع تعداد واگن‌های باردار و خالی در قطارهای مسافربری.

۵-واحد سنجش جابه‌جایی بار که بیانگر حمل یک تن بار در یک کیلومتر است.
٦-واحد سنجش جابه‌جایی مسافر که بیانگر جابه‌جایی یک نفر مسافر در یک کیلومتر است.

۷- مراجع

- آذر، ع. و نوبهار، ع.، (۱۳۹٤)، " ارائه مدل ارزیابی عملکرد شعب بانک با استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل پوششی داده‌ها PCA-DEA"، نشریه پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی، دوره ۵، شماره ۳، ص. ۱-۲۹.

-بهشتی‌نیا، م. ع. و وحید نعمتی، الف.، (۱۳۹٦)، "ترکیب روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی برای انتخاب تأمین‌کنندگان (مطالعه موردی: شرکت تبلیغاتی)"، نشریه مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ٤۸، ص. ۲۲۹-۲۱۷.

- ساقیان، ز. و احدی، ح. ر. (۱۳۹٤)، " ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی نواحی راه‌آهن ج.ا.ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها"، پژوهش‌نامه حمل و نقل-علمی پژوهشی. دوره ۷، شماره ۲، ص. ۳٦۷-۳۷۲.

- حیدری بیوکی، طاهره و حسن خادمی زارع، (۱۳۹٤)، "بهبود روش تحلیل پوششی داده‌ها به منظور خوشه بندی مشتریان اعتباری بانک‌ها"، نشریه مدل‌سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ٤۱، ص. ۷٤-۵۹.

- دهقانی، ا. شاهوردیانی، ش.، و انصاری، ک. (۱۳۹۳)، "رتبه‌بندی و ارزیابی عملکرد شعب بانک شهر با رویکرد کارت امتیازی متوازن با استفاده از مدل تاپسیس"، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره ۲۰، ص. ۱۱۹-۱٤۷.

- تیتکانلو، ن. رکسانا فکری، ح. و کرامتی، ع.، (۱۳۹٦)، "مدلسازی عدم قطعیت در فرایند ارزیابی عملکرد کارکنان مبتنی بر تئوری شواهد و تئوری فازی"، نشریه مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۵، شماره ۵۱، ص. ۳٤-۳٤.

- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978), “Measuring the efficiency of decision making units”, European Journal of Operational Research, Vol. 2, No. 6, pp. 429–444.

-Emrouznejad, A., Parker, B.R., Tavares, G., (2018), “Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA”, Socio Economic Planning Sciences, Vol. 42, No. 1, pp.151-157.

- Seiford, L.M., Zhu, J., (1999), “Profitability and marketability of the top 55 U.S. commercial banks”, Management Science, Vol. 45, No. 9, pp. 1270-1288.

-Chen, Y., Zhu, J., (2004), “Measuring information technology’s indirect impact on firm performance”, Information Technology and Management, Vol. 5, No. 1-2, pp. 9–22.

-Kao, Ch., (2009), “Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model”, European Journal of Operational Research, Vol. 192, No. 3, pp. 949-962.

-Lozano, S., (2011), “Scale and cost efficiency analysis of networks of processes”, Expert Systems with Applications, Vol. 38, No 6, pp. 6612–6617.

-Chen,Y., Cook, W.D., Kao, Ch., Zhu, J., (2013), “Network DEA pitfalls: Divisional efficiency and frontier projection under general network structures”, European Journal of Operational Research, Vol. 226, No 3, pp.507-515.

-Kao, Ch., (2014), “Efficiency decomposition in network data envelopment analysis with slacks based measures”, Omega, Vol. 45, No. 1, pp.1-6.

-Kao, Ch., Liu, S., (2009), “Stochastic data envelopment analysis in measuring the efficiency of Taiwan commercial banks”,

- Yu, M.M., Lin, E.T.J., (2008), "Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model", Omega, Vol. 36, No. 6, pp.1005–1017.

- Kao, Ch., Hwang, S.N., (2010), "Efficiency measurement for network systems: IT impact on firm performance", Decision Support Systems, Vol. 48, No. 3, pp. 437–446.

European Journal of Operational Research, Vol. 196, No 1, pp. 312-322.

- Wang, YJ., (2014), "The evaluation of financial performance for Taiwan container shipping companies by fuzzy TOPSIS", Applied Soft Computing, Vol. 22, No. 1.