

## یادداشت پژوهشی

# ارزیابی کارایی و رتبه بندی نواحی راه آهن جمهوری اسلامی ایران، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها

حمیدرضا احدی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

زهرا ساقیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

E-mail: ahadi@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

### چکیده

ارزیابی کارایی یکی از مسائل مهم صنعت حمل و نقل ریلی کشور است. از آن جا که اندازه گیری کارایی هر سیستمی متأثر از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم است، اظهار نظر در خصوص سطح کارایی، مستلزم شناسایی دقیق ورودیها و خروجیهای سیستم است. روش تحلیل پوششی داده ها (DEA) روشی کارآمد برای اندازه گیری کارایی واحدهای تصمیم گیری (DMU) است. در این مقاله کارایی ۱۵ ناحیه راه آهن ج.ا.ایران 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 داده ها مورد بررسی قرار گرفته و واحد های کارا رتبه بندی شده اند. در این مقاله علاوه بر شناسایی مهم ترین ورودی ها و خروجی های موثر در ارزیابی کارایی نواحی راه آهن ج.ا.ایران، داده های مربوط به سوانح و حوادث حمل و نقل ریلی نیز در هر ناحیه مورد بررسی قرار گرفته است و اثرات نامطلوب سوانح ریلی در کاهش کارایی نواحی محاسبه شده است. این رویکرد جدید در محاسبه کارایی، انطباق بیشتری با واقعیت دارد و منعکس کننده ضرورت توجه به خروجیهای نامطلوب در ارزیابی های واقعی از کارایی نواحی راه آهن است.

واژه‌های کلیدی: راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ارزیابی کارایی، تحلیل پوششی داده ها، سوانح، رتبه بندی

## ۱. مقدمه

در این تحقیق نواحی راه آهن ج.ا.ا با استفاده از روش ناپارامتری تحلیل پوششی داده ها مورد ارزیابی قرار گرفته و نواحی کارآ بر اساس میزان کارآیی رتبه بندی شدند.

## ۲. مروری بر ادبیات موضوع

تاکنون مطالعات زیادی پیرامون ارزیابی کارآیی سیستم های حمل و نقل ریلی صورت گرفته است. در زیر، خلاصه ای از مطالعات صورت گرفته در این زمینه بیان می شود.

در سال ۲۰۰۸ مقاله ای توسط یو و لین برای بررسی کارآیی فنی و اثر بخشی فنی راه آهن های دنیا با استفاده از روش تحلیل پوششی داده های شبکه ای، ارائه شد. در این مقاله نیروی کار، انرژی، طول خط، تعداد واگن باری و مسافری، به عنوان ورودی های مسئله و مسافر-قطار-کیلومتر، بار-قطار-کیلومتر، مسافر-کیلومتر، تن-کیلومتر به عنوان خروجی های مسئله در نظر گرفته شدند [Yu and Lin, 2008].

در مقاله جیانگ در سال ۲۰۰۹، مدلی برای ارزیابی کارآیی سیستم های حمل و نقل ارائه شد. در این مدل سطح توسعه اقتصادی، معیارهای قابلیت حمل و نقل و معیارهای دسترسی راه آهن به عنوان ورودی و معیارهای ترافیک حمل و نقل و بازدهی حمل و نقل به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده است [Jiang, 2009].

لیپنگ در مقاله ای در سال ۲۰۱۰ به ارزیابی مقیاس ورودی-خروجی راه آهن های مختلف پرداخت. در این مقاله سرمایه گذاری در داراییهای ثابت و دستمزد به عنوان ورودی و سود کل و نیروی کار در حال خدمت به عنوان خروجی مسئله در نظر گرفته شد [Lipeng and Guohua, 2010].

از جمله مطالعات دیگری که در رابطه با ارزیابی کارآیی راه آهن جمهوری اسلامی ایران وجود دارد، می توان به مطالعه موحدی اشاره کرد که در آن کارآیی راه آهن جمهوری اسلامی ایران طی سال های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۴ با استفاده از تحلیل پوششی داده ها محاسبه شده است. همچنین واحدهای کارآ رتبه بندی گردیده اند [Movahedi, Saati and Vahidi, 2007].

در مقاله جعفریان مقدم، با استفاده از دو روش تحلیل پوششی

با تداوم روند جهانی شدن اقتصاد و افزایش مبادلات در جهان، اهمیت خدمات حمل و نقل و ارتباطات بتدریج افزایش یافته و درصد قابل توجهی از منابع در این بخش تمرکز یافت. صنعت حمل و نقل به عنوان یکی از محورهای توسعه اجتماعی و اقتصادی در بیشتر کشورها، مورد توجه سیاست گذاران اقتصادی بوده تا با ساماندهی این بخش زمینه ارتقاء و عملکرد بهینه آن محقق گردد [Saffarzadeh, 1998]. در چنین شرایطی خدمات حمل و نقل و ارتباطات در کشور ما نیز به تناسب جایگاه راهبردی که ایران در منطقه دارد، شرایط ویژه ای یافته است. حمل و نقل و به ویژه حمل و نقل ریلی یکی از ارکان اصلی رشد و توسعه اقتصادی هر جامعه ای محسوب می شود، بالا بودن کارآیی این بخش از اقتصاد از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا از یک طرف مستلزم سرمایه گذاری زیادی در زیرساخت هاست و از طرف دیگر به دلیل پایین بودن هزینه های سوخت، آلودگی کمتر محیط زیست و همچنین بالا بودن ایمنی، سرمایه گذاری های لازم را توجیه پذیر می نماید [Movahedi and Hoseini, 2010].

اصل کمیابی و تخصیص بهینه منابع، موضوعی است که همواره ذهن بشر را به خود مشغول ساخته است، این محدودیت و کمیابی در تمام زمینه ها، مانند عوامل تولید، و به تبع آن کالا و خدمات کاملاً محسوس است، از این رو انسان برای ایجاد شرایط بهتر برای زندگی چاره ای جز استفاده هر چه بهتر از امکانات موجود جهت دسترسی به تولید بیشتر و کیفیت بالاتر را ندارد و آنچه که به روشنی پاسخگوی این نیاز است؛ بهبود کارآیی است.

اهمیت بهره وری و کارآیی در فرآیند تولید و فعالیت های اقتصادی پیشینه ای طولانی دارد. در مفهوم جدید، کارآیی، به معنی تلف نکردن منابع است که از نسبت ستانده به کل نهاده به دست می آید و بهره وری نیز به مفهوم مقایسه کارآیی یک بنگاه (سازمان) طی دو زمان متفاوت و یا مقایسه کارآیی دو بنگاه (سازمان) نسبت به یکدیگر در یک زمان مشخص است و به عبارت دیگر بهره وری مقایسه کارآیی است [Emami Meibodi, 2000].

توجه قرار گیرد بازده نسبت به مقیاس<sup>۱</sup> است. اگر با افزایش یک واحد داده، یک واحد ستاده افزایش می‌یابد و کارایی تغییر نمی‌کند، بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS)<sup>۲</sup> نام دارد. در غیر این صورت بازده متغیر نسبت به مقیاس (VRS)<sup>۳</sup> است [Momeni, 2008]. در این مقاله برای رتبه‌بندی واحدهای کارآ از روش ارائه شده توسط اسلامی و خوینی که به عنوان روشی جدید برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری کارآ است، استفاده شده است که این روش به شرح زیر است:

$$\text{Min } \phi_a^b = E - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (4)$$

St :

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq b}}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{ia} E, i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq b}}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ra}, r = 1, 2, \dots, s \quad (6)$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0,$$

$$i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s, j = 1, 2, \dots, n, j \neq b$$

که a زیر مجموعه ای از واحدهای تصمیم‌گیری ناکارآ و غیرحدی است و b زیر مجموعه ای از واحدهای تصمیم‌گیری کارآی حدی است. سپس  $\omega^b$  را مطابق فرمول زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\omega^b = \left( \sum_a |1 - \phi_a^b|^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \forall b \quad (7)$$

ابتدا کوچک‌ترین  $\omega^b$  در DMU کارآی حدی را انتخاب و سپس واحد تصمیم‌گیری b ام مرتبط با آن، به عنوان اولین نقطه حدی کارآ در نظر گرفته می‌شود. در میان بقیه DMU های کارآی حدی کوچک‌ترین آنها انتخاب کرده و واحد تصمیم‌گیری مرتبط با آن را به عنوان دومین نقطه حدی کارآ در نظر می‌گیریم. بقیه نقاط نیز به طور مشابه رتبه بندی می‌شوند. با اضافه کردن محدودیت  $\sum_j \lambda_j = 1$  به مدل فوق، مدل تبدیل به مدل VRS می‌شود [ES-] [lami and Khoveyni, 2011].

داده‌ها و روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان ابزارهای قدرتمند مدیریتی در زمینه ارزیابی عملکرد سازمان‌ها، برای ۴۶ راه آهن دنیا، سه راه‌آهن آمریکا، کانادا و انگلیس گزینش نهایی شده و جهت الگوبرداری ارائه شد [Jafarian Moqadam and Fathali, 2008]. موحدی و همکارانش به تعیین و رتبه بندی کارایی فنی نواحی ۱۴ گانه راه‌آهن ایران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها پرداختند. همچنین واحدهای الگو برای نواحی ناکارآ معرفی و نواحی کارآ رتبه بندی گردیده‌اند. نتایج رتبه بندی نواحی کارآ نشان می‌دهد نواحی هرمزگان، شرق، خراسان، تهران و اصفهان به ترتیب دارای بالاترین سطح کارایی هستند [Movahedi and Hoseini, 2010].

### ۳. معرفی و پیاده سازی مدل

مدل اولیه DEA یک برنامه کسری خطی است که برای حل آن باید نخست به مدل خطی تبدیل شود تا بتوان روشهای حل برنامه‌ریزی خطی را برای آن بکار برد. برای این کار لازم است بدانیم در حداکثر کردن یک کسر، آن چه باید حداکثر شود نسبت صورت به منخرج است. بنابراین می‌توان منخرج را برابر یک عدد ثابت در نظر گرفت و صورت را حداکثر کرد و یا بالعکس، صورت را ثابت در نظر گرفته و منخرج را حداقل نمود. مورد اول در DEA بیشتر بکار گرفته می‌شود که مدل ثانویه آن با توجه به دو متغیر ثانویه E و  $\lambda_j$  به صورت مدل زیر خواهد بود:

$$\theta_p^* = \text{Min} E \quad (1)$$

St :

$$\sum_j x_{ij} \lambda_j - x_{ip} E \leq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_r y_{rj} \lambda_j - y_{rp} \geq 0, r = 1, 2, \dots, t \quad (3)$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

$y_{rj}$  : مقدار ستاده r از واحد j،

$x_{ij}$  : مقدار داده i از واحد j است.

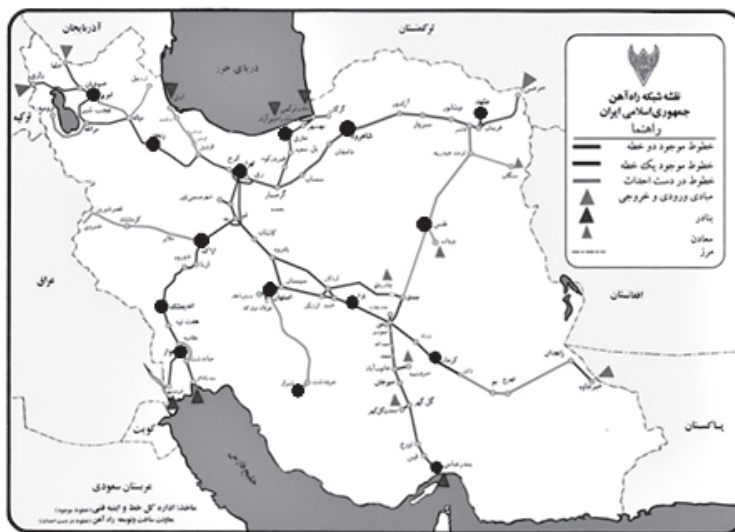
- اگر E=1 باشد، واحد مرکب به اندازه واحد هدف، داده‌ها را مصرف می‌کند؛ پس دلیلی برای ناکارایی واحد هدف وجود ندارد. هنگام ارزیابی مقایسه‌ای، نخستین مساله روش شناسی که باید مورد

#### ۴. ارزیابی کارایی و رتبه بندی نواحی کارآ

هریک از نواحی راه آهن به عنوان یک واحد تصمیم ساز، شامل مجموعه‌ای از ورودیها و خروجیهاست. در واقع هر ناحیه با استفاده از ورودی‌هایی که در اختیار دارد، به تولید خروجی‌ها می‌پردازد [Movahedi and Hoseini, 2010]. شبکه راه آهن ایران از نظر مدیریت، تعمیر و نگهداری خطوط و بهره برداری به نواحی مختلف تقسیم شده است. حدود این نواحی، متناسب با شرایط منطقه مشخص شده است و با تقسیمات کشوری استان‌ها یکسان نیست. هر ناحیه در راه آهن دارای چندین ایستگاه است و توسط یک یا چند ایستگاه با نواحی دیگر در ارتباط است. بار یا مسافر در طول حرکت از مبدا تا مقصد خود ممکن است از یک یا چند ناحیه عبور کند. نقشه نواحی راه آهن ایران در شکل ۱ نشان داده شده است.

با توجه به مقالات بررسی شده و همچنین با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان صنعت ریلی، در این مقاله دو مدل ارزیابی با ورودیهای یکسان و خروجیهای متفاوت در نظر گرفته است. تعداد کارکنان، طول خطوط اصلی و تعداد واگن باردار مسافری و باری به عنوان ورودیها در هر دو مدل در نظر گرفته شده و معادل واحد حمل (مجموع تن-کیلومتر و نفر-کیلومتر)، نیز به عنوان خروجی در هر دو مدل در نظر گرفته شده است. پس از مشخص

شدن ورودیها و خروجیهای مسئله، داده های مرتبط با آنها برای سال ۱۳۸۹ جمع آوری شدند. به عنوان مثال در ناحیه هرمزگان به ۳۳۲۳۶۷ واگن باری و ۲۴۰۲۸ واگن مسافری در سال ۱۳۸۹ خدمات عبوری و ایستگاهی ارائه شده است و مجموع عملکرد این ایستگاه در دوره مورد بررسی برابر با ۶۷۰۲ واحد حمل بوده است. برای انطباق بیشتر نتایج به دست آمده با واقعیت، تلفات انسانی (مجموع مصدومین و فوتی‌ها) و همچنین تعداد سوانح خروج از خط قطار به عنوان خروجی نامطلوب به مدل دوم اضافه شده است. در این صورت امکان مقایسه بین وضعیت نواحی راه آهن در حالات احتساب سوانح ریلی و بدون احتساب آن، امکان پذیر شده و اهمیت در نظرگرفتن سوانح ریلی در ارزیابی کارایی نواحی راه آهن مشخص می‌گردد. لازم به ذکر است که به دلیل عدم تمایل راه آهن برای انتشار تعداد سوانح ریلی در سال مورد بررسی، اعداد مربوط به سوانح در جدول فوق آورده نشده است و فقط نتایج حاصل از حل مدل در این مقاله در دسترس قرار گرفته است. نواحی کارآ و ناکارآی راه آهن ج.ا.ا. با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها تعیین شدند. سپس نواحی کارآ با استفاده از روش ارائه شده توسط اسلامی و خوینی رتبه بندی شدند [Eslami and Khoveyni, 2011]. الگوریتم روش ارائه شده برای تعیین کارایی و رتبه بندی واحدهای کارآ با استفاده از نرم افزار CPLEX در محیط



شکل ۱. نقشه شبکه راه آهن ج.ا.ا. ایران (مرکز نواحی ●)

### ۵. نتیجه گیری

در این مقاله یکی از موضوعات بسیار مهم در صنعت حمل و نقل ریلی یعنی کارایی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی کارایی از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده و داده‌های سال ۱۳۸۹ مبنای ارزیابی کارایی قرار گرفته است. الگوریتم مربوطه با استفاده از نرم افزار CPLEX در محیط برنامه‌ریزی جاوا اجرا شد. بر اساس نتایج به دست آمده میانگین کارایی راه آهن ج.ا.ایران برای مدل اول با بازده نسبت به مقیاس ثابت و متغیر به ترتیب برابر با ۰/۷۶ و ۰/۹۱ و برای مدل دوم با بازده نسبت به مقیاس ثابت و متغیر به ترتیب برابر با ۰/۹۴۴ و ۰/۹۴۸ است. پس از تعیین نواحی کارآ و ناکارآ توسط روش تحلیل پوششی داده‌ها، نواحی کارآ یعنی

برنامه نویسی جاوا نوشته شد [IBM ILOG, 2008]. لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده از سالنامه آماری راه آهن ایران سال ۱۳۸۹ به دست آمده است [Statistical Yearbook, 2010]. مدت زمان حل هر مساله به طور کامل (شامل ارزیابی کارایی تمام نواحی و رتبه‌بندی نواحی کارآ برای هر مدل ۱ ثانیه است. مسائل بر روی یک رایانه با مشخصات RAM:4GB, Intel (R) Core i5 CPU (TM) اجرا شده‌اند. مدل‌های پیشنهادی به وسیله روش تحلیل پوششی داده‌ها با بازده نسبت به مقیاس ثابت و متغیر، حل شدند. نواحی با کارایی ۱، به عنوان نواحی کارآ در نظر گرفته شده و تمام نواحی مورد بررسی در این مطالعه، رتبه بندی شدند. نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. مدل های مورد استفاده برای ارزیابی کارایی نواحی راه آهن ج.ا.ایران

مدل	ورودی	خروجی
اول	تعداد کارکنان، طول خطوط اصلی، تعداد واگن مسافری و باری پر	واحد حمل
دوم	تعداد کارکنان، طول خطوط اصلی، تعداد واگن مسافری و باری پر	واحد حمل، تلفات انسانی، سوانح ریلی

جدول ۲. رتبه بندی نواحی راه آهن ایران

نواحی راه آهن	مدل اول		مدل دوم	
	VRS	CRS	VRS	CRS
فارس	۵	۲	۶	۵
کرمان	۳	۳	۱	۲
شرق	۷	۸	۹	۷
هرمزگان	۱	۶	۹	۷
یزد	۶	۵	۷	۷
اصفهان	۸	۷	۸	۷
آذربایجان	۱۴	۱۲	۱۱	۸
شمال غربی	۱۳	۱۳	۱۲	۹
خراسان	۲	۴	۳	۳
شمال شرقی	۱۲	۱۴	۱۳	۱۰
شمال	۱۵	۹	۴	۴
تهران	۴	۸	۹	۷
اراک	۱۱	۱۱	۱۰	۷
لرستان	۱۰	۱	۵	۶
جنوب	۹	۱۰	۲	۱

- جعفریان مقدم، احمد رضا و فتحعلی، مسعود (۱۳۸۷) "انتخاب راه‌آهن‌های برتر دنیا در زمینه حمل و نقل کالا جهت الگوبرداری برای راه‌آهن ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)"، مجموعه مقالات دهمین همایش حمل و نقل ریلی.

- سالنامه آماری راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۹.

- موحدی، محمد مهدی و حسینی، سید محی الدین (۱۳۸۹) "تعیین و رتبه بندی کارآیی نواحی مختلف راه آهن جمهوری اسلامی ایران با استفاده از تحلیل پوششی داده ها"، مجله ریاضیات کاربردی واحد لاهیجان، بهار ۱۳۸۹، ۶۴-۴۹.

- مومنی، منصور (۱۳۸۷) "مباحث نوین تحقیق در عملیات"، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، چاپ دوم.

- Eslami, R and Khoveyni, M (2011) "A new method for ranking extreme efficient dms based on changing the reference set using L2 – norm", International Journal of Applied Operational Research, 1, pp.65-71.

- IBM ILOG, (2008) "ILOG CPLEX Version 11.0 User's Guide", ILOG CPLEX Division, 2008.

- Jiang, Changbing (2009) "a model of evaluating transportation system efficiency based on data envelopment analysis approach", Second International Symposium on Electronic Commerce and Security.

- Lipeng, Feng and Guohua, Zhou (2010) "Analysis on the scale of input-output in diversified railway", IEEE.

- Movahedi, M., Saati, S. and Vahidi, A. R. (2007) "Iranian railway efficiency (1971-2004): An application of DEA", Int. J. Contemp.Math. Sciences, 2 (31), pp.1569-1579.

- Yu, M. M. and Lin, E. T. (2008) "Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model", Omega, 36(6), pp.1005-1017.

نواحی‌یی که مقدار کارآیی آنها برابر با عدد یک است، انتخاب و بر اساس روش ارائه شده توسط اسلامی و خوینی رتبه بندی شدند. در مدل اول، نواحی هرمزگان، خراسان و تهران با بازده نسبت به مقیاس ثابت و نواحی لرستان، فارس و کرمان با بازده نسبت به مقیاس متغیر به عنوان سه رتبه اول نواحی کارآ تعیین شدند. در مدل دوم و با احتساب داده‌های نامطلوب (سوانح ریلی و تلفات انسانی)، نواحی کرمان، جنوب و خراسان با بازده نسبت به مقیاس ثابت و نواحی جنوب، کرمان و خراسان با بازده نسبت به مقیاس متغیر به عنوان سه رتبه اول نواحی کارآ تعیین شدند. در مقاله حاضر با در نظر گرفتن تلفات انسانی و خروج از خط قطار به عنوان خروجیهای نامطلوب و واحد حمل به عنوان خروجی مطلوب، رویکرد جدیدی در رابطه با ارزیابی کارآیی نواحی راه‌آهن ارائه شده است که انطباق بیشتری با واقعیت دارد و منعکس کننده ضرورت توجه به خروجیهای نامطلوب در ارزیابیهای واقعی از کارآیی نواحی راه‌آهن است. همان طور که از بررسی نتایج دو مدل مورد استفاده مشخص است، وجود سوانح ریلی در نواحی راه‌آهن منجر به تغییر در نتایج و رتبه بندی کارآیی نواحی مورد بررسی می‌شود. به عنوان مثال ناحیه هرمزگان در مدل اول با بازده نسبت به مقیاس ثابت، دارای رتبه اول است. همین ناحیه در صورت اعمال تاثیرات سوانح ریلی به رتبه ۹ ام از نظر کارآیی تنزل می‌یابد. غیر یک بودن میانگین کارآیی نواحی راه آهن ج.ا.ایران بدین معنا است که علی رغم سطح قابل قبول کارآیی، هنوز از امکانات موجود نواحی راه آهن ج.ا.ایران به طور کامل بهره برداری نشده است. همچنین تحقق سطح بالاتری از کارآیی در راه آهن ج.ا.ایران، از طریق الگو برداری نواحی نا کارا از نواحی کارآمد امکان پذیر خواهد بود.

## ۶. پی نوشتها

- 1- Returns to scale
- 2- Constant returns to scale
- 3- Variable returns to scale

## ۷. مراجع

- امامی میبدی، علی (۱۳۷۹) "اصول اندازه‌گیری کارآیی و بهره‌وری" موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، چاپ اول.