تحلیل شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور

مقاله علمی – پژوهشی

*پریسا بازدار اردبیلی (نویسنده مسئول)، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: p.bazdar@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸- پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۷

صفحه ۲۵۸-۲۴۳

چکیده

حمل‌ونقل ریلی یکی از ارکان اصلی زیرساخت‌های حمل‌ونقل در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، نقشی حیاتی در رشد اقتصادی، توسعه منطقه‌ای و پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کند. این شیوه حمل‌ونقل نه تنها از نظر جابجایی بار و مسافر حائز اهمیت است، بلکه به عنوان محرکی برای تخصیص بهینه منابع انسانی و بهبود بهره‌وری نیروی کار عمل می‌کند. با توجه به اهمیت این موضوع و ازآنجاکه شاخص کاربری نیروی انسانی می‌تواند نقش مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشور و بخصوص بخش حمل‌ونقل ریلی داشته باشد، در این مطالعه نقش شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور موردبررسی قرارگرفته است. برای این منظور در این مطالعه ابتدا به محاسبه شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی پرداخته می‌شود و در ادامه به بررسی اثرات شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی بر بخش حمل‌ونقل ریلی با بهره‌گیری از الگوی اقتصادسنجی خود رگرسیون با وقفه گسترده(ARDL) به تخمین مدل و تفسیر نتایج پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت شاخص کاربری نیروی انسانی تأثیر مثبتی بر ارزش‌افزوده بخش حمل‌ونقل ریلی دارد. سایر متغیرهای مدل شامل موجودی سرمایه، نیروی کار و مصرف انرژی نیز اثرات مثبت و معنی‌داری بر رشد اقتصادی بخش ریلی نشان داده‌اند. همچنین با توجه به ضریب تصحیح خطا می‌توان بیان کرد که سرعت تعدیل به سمت مقدار تعادلی و بلندمدت مناسب بوده، به‌طوری‌که در هر دوره حدود ۰/۲۳۸ خطای عدم تعادل تعدیل گردیده و مقدار کوتاه‌مدت به سمت مقدار تعادلی و بلندمدت خود به‌صورت نمایی میل می‌کند. آزمون‌های پایداری CUSUM و CUSUMQ حاکی از ثبات ضرایب در طول دوره مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: شاخص کاربری، نیروی انسانی، حمل‌ونقل ریلی، مدل *ARDL*، مدل ضریب تصحیح خطا

۱- مقدمه

حمل‌ونقل ریلی به عنوان یکی از ارکان اصلی زیرساخت‌های حمل‌ونقل در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، نقشی حیاتی در رشد اقتصادی، توسعه منطقه‌ای و پایداری زیست‌محیطی ایفا می‌کند. این شیوه حمل‌ونقل نه تنها از نظر جابجایی بار و مسافر حائز اهمیت است، بلکه به عنوان محرکی برای تخصیص بهینه منابع انسانی و بهبود بهره‌وری نیروی کار عمل می‌کند. حمل‌ونقل ریلی با ایجاد کریدورهای ارتباطی سریع و ایمن، نقش بسزایی در یکپارچگی اقتصادی مناطق دارد. قطارهای پرسرعت با کاهش چشمگیر زمان سفر، مرزهای جغرافیایی را کمرنگ کرده و زمینه را برای تمرکززدایی از کلان‌شهرها و توزیع متوازن فعالیت‌های اقتصادی فراهم می‌آورند. این امر به کاهش نابرابری‌های منطقه‌ای و هماهنگی بیشتر در زنجیره‌های تولید و عرضه کمک می‌کند (Wang, , et al.,2026). یکی از مهم‌ترین مزایای ریلی، جابجایی حجم بالای مسافر و بار با مصرف انرژی کمتر و آلایندگی پایین‌تر نسبت به حمل‌ونقل جاده‌ای و هوایی است. توسعه شبکه ریلی به ویژه در مسیرهای پرتردد، فشار ترافیکی را از روی جاده‌ها برداشته و هزینه‌های تعمیر و نگهداری

زیرساخت‌های جاده‌ای را کاهش می‌دهد(UNECE,2002). حمل‌ونقل ریلی در مقایسه با سایر روش‌های حمل‌ونقل زمینی، آمار تصادفات و تلفات کمتری دارند. ماهیت خطوط اختصاصی و سیستم‌های کنترل مرکزی، قابلیت پیش‌بینی زمان حرکت و رسیدن را افزایش داده و برای حمل کالاهای ارزشمند و فاسدشدنی بسیار مناسب است. اگرچه احداث زیرساخت‌های ریلی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه بالاست، اما طول عمر مفید این زیرساخت‌ها بسیار بیشتر از جاده‌ها بوده و هزینه نهایی به ازای هر واحد بار یا مسافر در بلندمدت کاهش می‌یابد. مطالعات نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در حمل‌ونقل ریلی، بازگشت اقتصادی قابل توجهی از طریق کاهش زمان سفر و افزایش جابجایی نیروی کار دارد(UNECE,2002). بخش حمل‌ونقل ریلی همواره یکی از بزرگ‌ترین کارفرمایان در بخش زیرساخت محسوب می‌شود. با این حال، کارایی استفاده از نیروی انسانی در این صنعت همواره یکی از چالش‌های اصلی مدیران و برنامه‌ریزان بوده است. بانک جهانی و سازمان ملل متحد شاخص‌های استانداردی برای اندازه‌گیری بهره‌وری نیروی کار در این بخش تدوین کرده‌اند (UNECE,2023). بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع و ازآنجاکه شاخص کاربری نیروی انسانی می‌تواند نقش مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشور و بخصوص بخش حمل‌ونقل ریلی داشته باشد، در این مطالعه نقش شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور موردبررسی قرارگرفته است.

توالی ارائه مطالب بدین صورت است که پس از ارائه مقدمه، در بخش دوم، مطالعات مختلف صورت گرفته در داخل و خارج کشور مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه مبانی نظری شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی ارائه شده است. در بخش چهارم شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی محاسبه و برای بخش حمل‌ونقل ریلی کشور تجزیه و تحلیل شده است. در بخش پنجم به تبیین مدل نقش شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی ایران پرداخته و در ادامه مدل ارائه شده، برآورد و تجزیه‌وتحلیل گردیده است. نهایتاً، جمع‌بندی تحقیق و پیشنهادات ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

قاسمی و سبحانی‌پور (۱۴۰۴) نشان می‌دهند که پیشرفت مدیریت منابع انسانی در راه‌آهن ایران بر اساس سطوح چهارگانه بلوغ فرآیندهای مدیریت منابع انسانی کمتر از ۲۵ درصد است. این تحقیق، اولویت‌های راهبردی را به شرح زیر معرفی کرده است:

-تدوین شرح شغل‌های دقیق

-استقرار سیستم یکپارچه اطلاعات منابع انسانی

-اجرای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در مدیریت منابع انسانی

-صدور گزارش‌های عملکرد فردی

-انجام رتبه‌بندی کارکنان(قاسمی و سبحانی‌پور و۱۴۰۴).

زورمند و همکاران(۱۴۰۴) به ارزیابی و رتبه‌بندی کارایی فنی مناطق راه‌آهن ایران در حمل‌ونقل بار با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای پرداخته‌اند. در این تحقیق با استفاده از نظرات خبرگان ۵ منطقه منتخب مرزی و ستادی، ابتدا شاخص‌های اولیه با محوریت اهمیت حمل‌ونقل بار با روش غربالگری فازی انتخاب و سپس با استفاده از روش DEA پنجره‌ای ارزیابی شده‌اند که بر این اساس، رتبه‌های خروجی ارزیابی انجام شده بر اساس کارایی فنی و کارایی فنی خالص، به ترتیب هرمزگان، جنوب شرق، شمال شرق ۲، آذربایجان و خراسان بوده است (زورمند و همکاران و ۱۴۰۴).

ثنایی ایلخچی و همکاران(۱۴۰۱) به شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد حمل بار ریلی با استفاده از روش‌های تحلیل داده و داده‌کاوی پرداخته‌اند. مطابق نتایج به‌دست آمده، از بین یازده عامل مورد بررسی، پنج عامل شامل تعداد نیروی انسانی عملیاتی صنعت ریلی، اندازه ناوگان باری(واگن و لکوموتیو) در سرویس، تعمیرات و نگهداری واگن‌های باری و طول خطوط اصلی شبکه ریلی به ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر عملکرد سیستم حمل‌ونقل ریلی بار در ایران شناسایی شده‌اند (ایلخچی و همکاران و۱۴۰۱).

مروتی شریف آبادی و همکاران (۱۴۰۰) به شناسایی عوامل کلیدی موثر بر سیستم حمل‌ونقل ریلی باری در افق ۵۰ ساله با استفاده از تکنیک دلفی پرداخته‌اند و ۷۶ عامل به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در آینده‌نگری ۵۰ ساله ایران در نظر گرفته و در ۸ دسته اصلی طبقه‌بندی شدند (مروتی شریف آبادی و همکاران،۱۴۰۰).

فدایی فروتن و بامداد (۲۰۲۲) کارایی ایستگاه‌های مسافری راه‌آهن ایران را در ۱۹ منطقه با استفاده از مدل SBM ارزیابی کردند. شاخص‌های ورودی مورد استفاده عبارت بودند از: تعداد کارکنان، مساحت کل ایستگاه، تعداد سکوها، تعداد صندلی‌های موجود و هزینه کل ایستگاه. نتایج رتبه‌بندی نشان داد که ایستگاه‌های تهران، مشهد، شاهرود، زنجان، قم و کرمان دارای بیشترین سطح کارایی هستند. برای ایستگاه‌های ناکارا، مقادیر مازاد ورودی‌ها (از جمله نیروی انسانی) ارائه گردید (فدایی فروتن و بامداد و۲۰۲۲).

خادم ثامنی و آشور (۱۳۹۹) در پژوهشی با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، عملکرد نواحی راه‌آهن ایران را با تأکید بر نیروی انسانی بررسی کردند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که در بخش نیروی انسانی کارشناسی، تنها ۲ درصد نیروی مازاد وجود دارد، در حالی که در بخش نیروی دیپلم و کمتر، مازاد نیروی انسانی به ١٤ درصد می‌رسد. این یافته اهمیت توجه به ترکیب مهارتی نیروی کار در صنعت ریلی را برجسته می‌کند (خادم ثامنی و آشور و ۱۳۹۹).

سارکیشیکیان و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به مدیریت بهره‌وری در راه‌آهن ایران پرداختند. این مطالعه با به‌کارگیری نظرات خبرگان، عوامل مؤثر بر بهره‌وری ناوگان ریلی را اولویت‌بندی کردند و نشان دادند که آموزش، خلاقیت و توانایی نیروی انسانی از جمله مهم‌ترین عوامل در این زمینه است. همچنین شاخص‌های عملکردی نظیر تن-کیلومتر حمل‌شده به ازای هر واگن در دوره ١٣٨٤ تا ١٣٩٦ تحلیل گردید(Sarkeshikian, et al., 2019).

شیرعلی و بهمنش (١٣٩٦) به بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی انسانی در صنعت ریلی پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که عوامل سازمانی یا مدیریتی، عوامل فردی، عوامل حمایت سازمانی و نظام جبران خدمات، عوامل تقویت حس تعهد و وفاداری، عوامل متعلق به برنامه‌ریزی و هدایت عملکرد کارکنان، عوامل ایجاد کننده جو صمیمیت و همکاری، میزان آزادی و استقلال کارکنان در انجام امور و شرایط فیزیکی و روانی محیطی مهم ترین عوامل اثرگذار بر بهره وری نیروی انسانی در صنعت ریلی بوده و ارتقای این عامل از طریق بهبود این شاخص‌ها امکان پذیر می‌باشد (شیرعلی و بهمنش و ١٣٩٦).

برادران و همکاران (١٣٩٦) در تحقیق خود به تحلیل موانع توسعه بهره‌وری در بخش واگن‌های باری راه‌آهن ایران پرداختند. در این مطالعه، شاخص‌های بهره‌وری نیروی انسانی، سرمایه و انرژی تعریف و اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مهم‌ترین موانع بهره‌وری عبارتند از:

-عدم وجود فضای سازمانی مناسب برای جذب سرمایه‌گذاری خارجی

- کمبود منابع مالی و اعتباری برای اجرای پروژه‌ها

-اهداف مبهم و برنامه‌ریزی بلندمدت نامشخص

-فرسودگی ماشین‌آلات و تجهیزات تعمیراتی (برادران و همکاران و ١٣٩٦).

سیف‌نیا و اجاقی (۱۳۹۳) به اندازه‌گیری شاخص‌های بهره‌وری راه‌آهن در دوره زمانی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۱ پرداختند تا زمینه برنامه‌ریزی برای بهبود آن فراهم شود (سیف‌نیا و اجاقی و ۱۳۹۳).

بشیری و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه ای با عنوان «مطالعه زمان استاندارد ارائه خدمات در قطارهای مسافری ایران (بهبود بهره‌وری)» رویکردی نوین را ارائه دادند. این پژوهش با استفاده از روش کرنومتر، زمان استاندارد هر فعالیت را محاسبه و تحلیل کردند که بهره‌وری نیروی کار تا ۱۸ درصد قابلیت افزایش دارد (بشیری و همکاران و ۱۳۸۸).

موحدی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات کارایی و رشد بهره‌وری در نواحی مختلف راه‌آهن با استفاده از شاخص مالم‌کوئیست پرداخته‌اند. این پژوهش از نظر روش‌شناختی، امکان بررسی تحولات بهره‌وری در طول زمان را فراهم کرد(Movahedi, et al., 2008).

موحدی و حسینی (۲۰۰۸) کارایی نواحی مختلف راه‌آهن ایران را تعیین و رتبه‌بندی کردند. یافته‌های این تحقیق نشان داد که در سال ٢٠٠٦، از ۱۲ ناحیه مورد بررسی، ٤ ناحیه در وضعیت بازدهی ثابت نسبت به مقیاس (CRS) و ۷ ناحیه در وضعیت بازدهی متغیر نسبت به مقیاس (VRS) قرار داشتند و میانگین کارایی به ترتیب ۰/۷۳۰ و ۰/۸۸۸ محاسبه شد. به عبارت دیگر، راه‌آهن ایران ۲۷ درصد زیر ظرفیت واقعی خود کار می‌کرده است(Movahedi, Hoseini,2008).

پورکاظمی و سلطانی (١٣٨٦) به ارزیابی کارایی راه‌آهن ایران در مقایسه با راه‌آهن کشورهای آسیایی و خاورمیانه پرداخته‌اند. این پژوهش نشان داد که جایگاه راه‌آهن ایران در مقایسه با

کشورهای منطقه نیازمند بهبود اساسی است (پورکاظمی و سلطانی و ۱۳۸٦).

پورکاظمی و رضایی (۱۳۸۲) در پژوهشی، کارایی سیزده ناحیه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران را با استفاده از روش DEA مورد ارزیابی قرار دادند. این مطالعه از جمله اولین تلاش‌ها برای سنجش کمی کارایی در نواحی مختلف راه‌آهن ایران محسوب می‌شود(پورکاظمی و رضایی و۱۳۸۲).

عزیزی و همکاران(۲۰۲۲) در مقاله‌ای عوامل مؤثر بر بهره‌وری پایدار منابع انسانی در خطوط راه‌آهن را بررسی کردند. این مطالعه که در یک شرکت بهره‌بردار راه‌آهن شهری و حومه انجام شد، نشان داد که نگرش و فرهنگ سازمانی، سبک رهبری، پاداش و ارگونومی به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بهره‌وری نیروی انسانی مطرح هستند (Azizi, et al.,2022).

سازمان ملل متحد در گزارش کمیته حمل‌ونقل ریلی خود (UNECE, 2002) چارچوب جامعی برای سنجش بهره‌وری در حمل‌ونقل ریلی ارائه داده است. بر اساس این چارچوب، شاخص‌های بهره‌وری نیروی انسانی شامل موارد زیر است:

-بهره‌وری نیروی کار زیرساخت: نسبت کیلومتر خطوط ریلی به تعداد کارکنان شاغل در مدیریت زیرساخت

-بهره‌وری نیروی کار عملیاتی: نسبت کیلومتر-قطار به تعداد کارکنان عملیاتی

-در دسترس بودن لوکوموتیو و واگن‌ها که نشان‌دهنده کیفیت نگهداری و تعمیرات است.

این گزارش تأکید می‌کند که شاخص‌های بهره‌وری باید با توجه به شرایط محلی و ساختار هر شرکت ریلی تفسیر شوند و استفاده از مقادیر هدف مطلق بدون در نظر گرفتن زمینه‌های عملیاتی، گمراه‌کننده خواهد بود(UNECE, 2002)

مک گیهان(۱۹۹۳) در مطالعه خود درباره راه‌آهن ایرلند نشان داد که شاخص‌های بهره‌وری جزئی به دلیل نادیده گرفتن جانشینی بین نهاده‌ها، می‌توانند تخمین‌های گمراه‌کننده‌ای از رشد بهره‌وری ارائه دهند. او با مقایسه این دو رویکرد در راه‌آهن ایرلند نشان داد که شاخص بهره‌وری جزئی نیروی کار رشد ۵۰/۸ درصدی را در دوره ۱۹۸۵-۱۹۹۲ نشان می‌دهد، در حالی که شاخص کل بهره‌وری رشد ۷۷/٤ درصدی را ثبت کرده است(McGeehan,1993).

اوم و همکاران(۱۹۹۹) در مطالعه مروری خود بر روش‌های سنجش بهره‌وری ریلی، سه روش اصلی را شناسایی کردند: شاخص‌های بهره‌وری جزئی، شاخص‌های کل بهره‌وری و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA). آنان نتیجه گرفتند که افزایش رقابت از طریق آزادسازی مقررات، بهبود معناداری در بهره‌وری ایجاد کرده است و استقلال مدیریتی عاملی مهم‌تر از شکل مالکیت (دولتی یا خصوصی) در تعیین کارایی شرکت‌های ریلی است(Oum, et al., 1999).

اوم و یو (۱۹۹٤) مطالعه‌ای بر روی ۱۹ کشور عضو OECD در دوره ۱۹۷۸-۱۹۸۹ انجام دادند. آنان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به این نتیجه رسیدند که سیستم‌های ریلی با وابستگی زیاد به یارانه‌های دولتی، به طور معناداری کارایی کمتری نسبت به راه‌آهن‌های با وابستگی کمتر به یارانه دارند(oum, Yu, 1994).

کانتوس و مادوس (۲۰۰۰) بهره‌وری ۱۵ شرکت ریلی اروپایی را در دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۰ با استفاده از روش مرزی تصادفی[1] بررسی کردند. یافته‌های آنان نشان داد که پیشرفت فنی عامل اصلی توضیح‌دهنده رشد بهره‌وری شرکت‌ها بوده است، هرچند در برخی کشورها، کسب کارایی نیز منبع مهمی از رشد بهره‌وری محسوب می‌شود. همچنین شرکت‌های با بیشترین درجه استقلال مدیریتی و مالی، به وضوح کارآمدترین شرکت‌ها بودند(Cantos, Maudos, 2000).

گاتون و پستیو (۱۹۹۵) کارایی ۱۹ کشور اروپایی را در دوره ۱۹۸۸-۱۹٦۱ مورد مطالعه قرار دادند. آنان نشان دادند که بهره‌وری را می‌توان به دو مؤلفه تجزیه کرد: کارایی مدیریتی و پیشرفت فنی. سطح پایین کارایی یک شرکت ریلی می‌تواند ناشی از روند نزولی در دوره مورد مطالعه یا ناشی از عوامل محیطی، جغرافیایی و نهادی باشد. همچنین شرکت‌های با شاخص استقلال پایین، با کسب استقلال بیشتر می‌توانند سطح کارایی خود را افزایش دهند(Gathon, Pestieau, 1995).

سازمان ملل متحد در جدیدترین گزارش خود تحت عنوان "بهره‌وری در حمل‌ونقل ریلی" با استفاده از پایگاه داده اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) به تحلیل بهره‌وری ۱۵ کشور عضو در دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۱ پرداخته است. این مطالعه نشان می‌دهد که همه‌گیری کووید-۱۹ تأثیر قابل توجهی بر شاخص‌های بهره‌وری داشته و در اکثر کشورها کاهش

بهره‌وری در سال ۲۰۲۰ و سپس بهبود نسبی در سال ۲۰۲۱ مشاهده شده است.

یافته‌های کلیدی این گزارش شامل:

-بهره‌وری نیروی کار زیرساخت: اسپانیا، پرتغال و بلاروس بالاترین مقادیر را در دوره مورد مطالعه ثبت کردند، در حالی که بلغارستان و جمهوری اسلواک پایین‌ترین مقادیر را داشتند.

-بهره‌وری نیروی کار عملیاتی: سوئیس و اسپانیا بالاترین سطوح بهره‌وری را در بین کشورهای مورد مطالعه نشان دادند.

-بهره‌وری زیرساخت حمل‌ونقل: سوئیس با اختلاف قابل توجه بالاترین سطح بهره‌وری خطوط ریلی را داشت (بیش از دو برابر رتبه دوم) در حالی که لتونی پایین‌ترین سطح را ثبت کرد(UNECE, 2023).

سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) و مجمع بین‌المللی حمل‌ونقل (ITF) در گزارش خود به تحلیل تطبیقی جامعی از راه‌آهن‌های اتحادیه اروپا، سوئیس، نروژ، چین، آمریکا، کانادا، ژاپن و هند پرداخته است. این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب خدمات (نسبت خدمات مسافری به باری) تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر شاخص‌های بهره‌وری دارد. به طور کلی، خدمات باری "بهره‌ورتر" از خدمات مسافری است، زیرا قطارهای باری واحد می‌توانند تا ۱۰،۰۰۰ تن بار را جابجا کنند در حالی که قطارهای مسافری به ندرت بیش از ۱،۰۰۰ مسافر حمل می‌کنند. همچنین تراکم ترافیک در راه‌آهن‌های آمریکا و چین بالاتر از اروپاست، در حالی که راه‌آهن‌های اروپایی در شاخص train-kms/km عملکرد بهتری دارند (ITF, 2019).

گروه ضربت جهانی کارایی مترو (WCTRS) در اولین گزارش خود روش نوینی برای سنجش بهره‌وری عملیاتی سیستم‌های ریلی شهری ارائه کرده است. آنان روش بهره‌وری نهاده متغیر[۲] را که مبتنی بر روش نمایه چندجانبه ترانسلاگ[۳] است، به عنوان روشی برتر نسبت به تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) معرفی می‌کنند. دلیل اصلی این انتخاب، خاصیت تعدی[۴] روش VIP است که در DEA وجود ندارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مداخلات سیاستی هدفمند برای بهبود کارایی سیستم‌های ریلی شهری ضروری است و صرفاً اختصاص منابع بیشتر بدون توجه به کارایی، منجر به بهبود عملکرد نخواهد شد(Oum et al., 2025).

کوتنکو و کوتنکو(۲۰۲۲) در مطالعه خود بر مدیریت بهینه ناوگان لوکوموتیو، معیار بهره‌وری تیم راننده لوکوموتیو را به عنوان یکی از معیارهای کلیدی کیفیت مدیریت عملیات قطار معرفی کرده‌اند. آنان نشان می‌دهند که کنترل ویژگی‌های بهره‌وری تیم‌های راننده از طریق زمان چرخه[۵] کار آنان امکان‌پذیر است و انتخاب زمان چرخه منطقی، امکان هماهنگ‌سازی مدت زمان عملیات تولیدی را فراهم می‌کند(Kotenko, Kotenko, 2024).

ترث وی، واترز و پوک(۱۹۹۷) در مطالعه تطبیقی راه‌آهن‌های کانادا (CN و CP) با صنعت ریلی آمریکا نشان دادند که اگرچه هر دو راه‌آهن کانادایی از نظر سطح مطلق بهره‌وری مشابه بودند، اما رشد بهره‌وری آنان در دهه ۱۹۸۰ نسبت به صنعت ریلی آمریکا کم بود. هر دو کشور بازده نسبت به تراکم[۶] را نشان می‌دادند که حاکی از نیاز به کاهش ورودی‌های مسیر و سرمایه مرتبط است. تصویب قانون حمل‌ونقل ملی در سال ۱۹۶۷ منجر به بهبود بهره‌وری راه‌آهن ملی کانادا (CN) شد(Tretheway, Waters & Pok, 1997) .

بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که با وجود مطالعات متعدد در حوزه سنجش کارایی و شناسایی موانع بهره‌وری، همچنان شکاف قابل توجهی در زمینه ارائه مدل‌های عملیاتی و بومی بهبود بهره‌وری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی ایران وجود دارد.

۳- بررسی مبانی تئوریک شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل و نقل ریلی

۳-۱-تعریف و مفهوم شاخص کاربری نیروی انسانی

شاخص کاربری نیروی انسانی[۷] در صنعت حمل‌ونقل ریلی، به مجموعه سنجه‌هایی گفته می‌شود که کارایی و اثربخشی به‌کارگیری نیروی کار را در فرآیند تولید خدمات جابه‌جایی اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص از نسبت خروجی‌های تولیدشده (مانند تن-کیلومتر یا مسافر-کیلومتر) به ورودی نیروی کار (تعداد کارکنان یا ساعت‌های کارکرده) محاسبه می‌شود.

مبانی نظری اصلی این شاخص بر دو مفهوم کلیدی استوار است:

۱. بهره‌وری نیروی کار[۸] : نسبت بازده تولید به میزان نیروی کار مصرف‌شده.

۲. کارایی تخصیصی[۹]: میزان تناسب بین تعداد و ترکیب نیروی انسانی با حجم و پیچیدگی عملیات ریلی.

۳-۲-چارچوب‌های نظری اندازه‌گیری

بر اساس ادبیات موجود، سه رویکرد اصلی برای اندازه‌گیری بهره‌وری و کاربری نیروی انسانی در حمل‌ونقل ریلی شناسایی شده است.(Batsokin,2019)

۳-۲-۱-روش برداری[۱۰]

این روش مبتنی بر استفاده همزمان از چندین شاخص جزئی است که هر یک جنبه‌ای از عملکرد نیروی کار را نشان می‌دهند. شاخص‌های ترکیبی شامل:

شاخص‌های طبیعی[۱۱]: نسبت‌هایی مانند تن-کیلومتر به ازای هر کارمند.

شاخص‌های ارزشی[۱۲]: نسبت درآمدهای حاصل از حمل به هزینه نیروی کار.

شاخص‌های شرطی-طبیعی[۱۳]: استفاده از واحدهای یکسان‌شده مثل "واحد ترافیک" (TU) که مجموع تن-کیلومتر و مسافر-کیلومتر است.

۳-۲-۲- روش چندمعیاره[۱۴]

این روش علاوه بر کمیت، کیفیت نیروی کار را نیز در نظر می‌گیرد و شامل مولفه‌هایی است مانند:

- نسبت کارکنان متخصص به کل کارکنان
- شاخص جابه‌جایی و جابجایی نیرو[۱۵]
-سطح تطابق صلاحیت کارکنان با پیچیدگی کارها.

تحقیقات تجربی نشان داده است که در برخی موارد، منابع انسانی به دلیل عدم تناسب بین سطح صلاحیت کارکنان و پیچیدگی کارها، به‌طور کارآمد استفاده نمی‌شوند(Daneci-Patrau, Patache, 2011).

۳-۲-۳-روش چندعاملی[۱۶]

این روش، بهره‌وری نیروی کار را در تعامل با سایر نهاده‌ها (سرمایه، سوخت، ناوگان) بررسی می‌کند. مفهوم بازده نسبت به تراکم در اینجا حیاتی است: در حمل‌ونقل ریلی، با افزایش ترافیک در یک شبکه ثابت (بدون افزایش خطوط)، بهره‌وری نیروی کار به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد (Couto, Graham, 2008).

۳-۳- شاخص‌های کلیدی و مبانی محاسباتی

بر اساس پایگاه داده بانک جهانی و گزارش‌های کمیسیون اقتصادی سازمان ملل(UNECE)، شاخص‌های استاندارد کاربری نیروی انسانی به شرح زیر تعریف می‌شوند:

۳-۳-۱-شاخص‌های پایه بهره‌وری

جدول ۱. شاخص‌های پایه بهره‌وری نیروی کار

مبانی نظری	فرمول محاسباتی	شاخص
سنجش کارایی در جابه‌جایی کالا	تن-کیلومتر خالص/ تعداد کارکنان	بهره‌وری نیروی کار بار
سنجش کارایی در جابه‌جایی مسافر	مسافر-کیلومتر/تعداد کارکنان	بهره‌وری نیروی کار مسافر
شاخص جامع برای شرکت‌های ترکیبی	(تن-کیلومتر+مسافر-کیلومتر) / تعداد کارکنان	بهره‌وری ترکیبی

در گزارش‌های تخصصی، برای محاسبه "واحد ترافیک تعدیل شده"[۱۷]، معمولاً مسافر-کیلومتر در ضریب ۲ ضرب می‌شود تا تفاوت هزینه‌های انرژی و زیرساختی بین قطارهای باری و مسافری لحاظ گردد(UNECE, 2002).

۳-۳-۲-شاخص‌های تراکم و شدت کاربری

-کارکنان به ازای هر کیلومتر خط[۱۸]: این شاخص نشان‌دهنده شدت کاربری نیروی انسانی در نگهداری زیرساخت است. مقادیر بسیار بالا ممکن است نشانه کارایی پایین یا اتکا به روش‌های کار فشرده باشد، در حالی که مقادیر بسیار پایین ممکن است خطر کاهش ایمنی را به همراه داشته باشد.

-واحد ترافیک به ازای هر کارمند[۱۹]: معیار اصلی بهره‌وری در اقتصاد حمل‌ونقل است.

۳-۴-ملاحظات محیطی و ساختاری (مبانی تطبیقی)

یک ضعف تئوریک مهم در این شاخص‌ها، تأثیرپذیری شدید از عوامل برون‌زا است. کمیته حمل‌ونقل ریلی UNECE تأکید کرده است که عوامل جغرافیایی، اقتصادی و سیاسی به طور قابل توجهی در اندازه‌گیری‌های بهره‌وری منعکس می‌شوند و مشکل اصلی در مقایسه‌های بین‌المللی این است که اطمینان حاصل شود "چیزها با یکدیگر مقایسه می‌شوند" (Batsokin,2019).

متغیرهای مداخله‌گر عبارتنداز:
-ترکیب ترافیک: جابه‌جایی کالاهای سنگین در مسیرهای کوهستانی در مقابل کالاهای سبک در دشت.
- طول سفر متوسط: بهره‌وری نیروی کار در سفرهای کوتاه شهری به دلیل توقف‌های مکرر به طور طبیعی کمتر از سفرهای برون‌شهری است.
برون‌سپاری: تعریف "کارمند ریلی" در کشورهای مختلف متفاوت است (مثلاً برخی شرکت‌ها کارکنان خدمات درمانی یا آموزشی را جزو پرسنل ریل محسوب می‌کنند) (Batsokin,2019).

۳-۵-مدل‌های تلفیقی و رویکردهای نوین

۳-۵-۱-مدل رگرسیونی

تحقیقات انجام‌شده بر روی سیستم‌های ریلی ترکیه نشان می‌دهد که بهره‌وری نیروی کار تابعی خطی از متغیرهایی مانند تراکم ترافیک و تعداد کارکنان است. این مدل تأکید دارد که "بهره‌وری نیروی کار در عملیات ریلی، محصول مدلی است که در درجه اول مدیریت خوب را فراهم می‌کند" (Ünver, Ersöz, ,2013).

۳-۵-۲-شاخص پتانسیل یکپارچه

رویکرد ارائه شده توسط نازارنکو(۲۰۱۳) شامل ۱۰ شاخص نیروی کار است که تغییرات در تعداد کارکنان را با ویژگی‌های کیفی و ساختاری پرسنل (سن، تجربه، تحصیلات) ترکیب می‌کند(Nazarenko2013).

در جدول زیر خلاصه شاخص‌ها و مبانی نظری ارائه شده است.

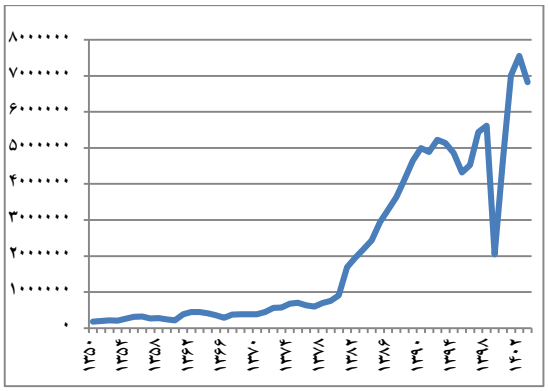
جدول۲. خلاصه شاخص‌ها و مبانی نظری

ردیف	نام شاخص	مبنای تئوریک	منبع معتبر
۱	تن-کیلومتر خالص/کارمند	تابع تولید کاب-داگلاس در حمل بار	UNECE/World Bank
۲	مسافر-کیلومتر/کارمند	تابع تولید در خدمات مسافری	UNECE
۳	کارمند/کیلومتر خط	تئوری مقیاس و تراکم	World Bank
٤	بهره‌وری چندعاملی	رویکرد هزینه-مرزی	Oum et al. (1999)
٥	شاخص تطابق صلاحیت	تئوری سرمایه انسانی	Daneci-Patrau (2011)

مبانی تئوریک شاخص کاربری نیروی انسانی در ریل نشان می‌دهد که اگرچه این شاخص‌ها ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل کارایی هستند، اما دارای محدودیت‌های ذاتی می‌باشند. ساده‌انگاری در تفسیر نسبت "واحد ترافیک بر کارمند" بدون توجه به تراکم شبکه، میانگین طول سفر، ترکیب محموله و سطح فناوری می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست مدیریتی شود. تحلیل‌گران حرفه‌ای باید از شاخص‌های ترکیبی (همراه با شاخص‌های کیفی و شدت سرمایه) استفاده کنند تا تصویر واقعی‌تری از عملکرد نیروی انسانی به دست آورند.

٤-تحلیل و بررسی شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور

دراین مقاله برای محاسبه شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور از شاخص ترکیبی استفاده شده است. این شاخص نشان می‌دهد که هر کارمند ریلی به طور متوسط چه میزان "واحد ترافیکی" (Traffic Unit) جابجا می‌کند. این شاخص به مدیران اجازه می‌دهد تا کارایی عملیاتی شرکت‌های ریلی را در دوره‌های مختلف مقایسه کرده و نقاط ضعف در مدیریت منابع انسانی را شناسایی کنند (UNECE,2023). شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور از تقسیم(تن-کیلومتر+ مسافر-کیلومتر×۲)/ تعداد کارکنان بدست آمده است که آمارهای مربوط به آن از سایت راه آهن جمهوری اسلامی ایران استخراج‌شده است (راه آهن جمهوری اسلامی ایران و ۱٤۰۳). همانطوری که از نمودار شماره۱ ملاحظه می‌گردد، شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور از سال ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۹۳ بطور متوسط روند صعودی داشته بطوریکه از ۱۸۰۸۷۵ به ۵۱۳۷٤۸۰ رسیده است. در سال‌های ۱۳۹٤ و ۱۳۹۵ ، شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور کاهش یافته و مجددا تا سال ۱۳۹۸ افزایش یافته و درسال۱۳۹۹ به دلیل شیوع کرونا به ۲۰٤٦٦۳۷ کاهش یافته است. شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور در سال‌های ۱٤۰۰ تا ۱٤۰۲ افزایش یافته و مجددا در سال ۱٤۰۳ کاهش یافته است.



نمودار۱. شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور طی سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۵۰

۵-تبیین مدل نقش شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی ایران

در این مقاله برای بررسی نقش شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی ایران از تابع تولید کاب-داگلاس استفاده‌شده است. منظور از تابع تولید، رابطه فنی بین نهاده‌های مورداستفاده در یک واحد تولیدی و ستانده یا محصول آن واحد تولیدی است. شکل عمومی(ریاضی) تابع تولید به شرح زیر می‌باشد.

$$Y = AK_t^{\alpha} L_t^{\beta} IL_t^{\gamma} E_t^{\lambda} \qquad (1)$$

بنابراین بر اساس تابع تولید Y=F(K,L,IL ,E) که در آن K موجودی سرمایه، L نیروی کار، IL شاخص کاربری نیروی انسانی، E مصرف انرژی و Y میزان تولید یا ستانده است.

الگوی تجربی تابع تولید به‌صورت زیر تبیین می‌شود:

$$LnY_t = LnA + \alpha\ LnK_t + \beta\ LnL_t + \gamma\ LnIL_t + \lambda LnE_t + U_t \qquad (2)$$

LnY_t: لگاریتم ارزش‌افزوده بخش حمل‌ونقل ریلی ایران به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵ است که آمارهای مربوط به این متغیر از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران جمع‌آوری‌شده است (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و ۱۴۰۳).

LnK_t: موجودی سرمایه بخش حمل‌ونقل ریلی کشور است که آمارهای مربوط به آن از سالنامه آماری راه آهن جمهوری اسلامی ایران استخراج‌شده است (سالنامه آماری راه آهن جمهوری اسلامی ایران و ۱۴۰۳).

$LnIL_t$: شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی است. این شاخص از تقسیم (تن-کیلومتر+ مسافر-کیلومتر×۲) به تعداد کارکنان بدست آمده است که آمارهای مربوط به آن از سایت راه آهن جمهوری اسلامی ایران استخراج‌شده است (راه آهن جمهوری اسلامی ایران و ۱۴۰۳).

LnL_t: نیروی شاغل بخش حمل‌ونقل ریلی اعم از باسواد و بی‌سواد که آمارهای مربوط به آن از سایت راه آهن جمهوری اسلامی ایران استخراج‌شده است (راه آهن جمهوری اسلامی ایران و ۱۴۰۳).

LnE_t: لگاریتم مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور که آمارهای مربوط به آن از سایت راه آهن جمهوری اسلامی ایران استخراج‌شده است (راه آهن جمهوری اسلامی ایران و ۱۴۰۳).

با توجه به مدل به‌دست‌آمده به بررسی نقش شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی ایران طی دوره زمانی ۱۴۰۳-۱۳۵۰ می‌پردازیم. همچنین برای تحلیل‌های اقتصادسنجی نرم‌افزار Eviews 13 به‌کاررفته است.

۶- برآورد و تجزیه‌وتحلیل مدل

۶-۱- معرفی مدل

در این مقاله برای تخمین مدل از الگوی خود بازگشتی با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده‌شده است. یکی از الگوهای پویای متناسب با رابطه‌ی ایستای بلندمدت، الگوی خود بازگشتی با وقفه‌های توزیعی(ARDL) است، که برآوردهای به نسبت بدون تورشی از ضرایب بلندمدت به دست می‌دهد. برخلاف سایر تکنیک‌های رایج درروش تحلیل هم انباشتگی، همانند روش انگل-گرنجر، در ابتدا نیازی به آگاهی از درجه‌ی انباشتگی متغیرهای موردمطالعه نیست. همچنین روش ARDL قادر به برآورد همزمان ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت الگو و تعیین جهت علیّت بین متغیرهای الگوست.

یک الگوی $ARDL(p,q_1,q_2,\ldots q_k)$ در شکل ساده به‌صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$\alpha(L,P)Y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i(L,q_i)X_{it} + \delta W_t + u_t \qquad (3)$$

که در آن، α_0 مقدار ثابت، Y_t متغیر وابسته و L عملگر وقفه است، به‌طوری‌که $L^jY_t=Y_{t-j}$، W_t برداری از متغیرهای قطعی(غیر تصادفی)، نظیر عرض از مبدأ، متغیر روند، متغیرهای مجازی و یا متغیرهای برون‌زا با وقفه‌های ثابت است. P، تعداد وقفه‌های به‌کاررفته برای متغیر وابسته و q_i تعداد وقفه‌های مورداستفاده برای متغیرهای مستقل(X_{it}) است.

هم‌چنین در الگوی بالا:

$$\alpha(L,P)=1-\alpha_1 L-\alpha_2 L^2-\alpha_p L^p \quad (٤)$$

$$\beta_i(l,q_i)=1-\beta_{i1}L-\beta_{i2}L^2-\beta_{iq}L^q \quad i=1,2,\ldots,k \quad (٥)$$

تعداد وقفه‌های بهینه برای هر یک از متغیرهای توضیحی را می‌توان با کمک یکی از ضوابط آکائیک، شوارتز-بیزین و حنان-کوئین، تعیین کرد.

در بلندمدت $X_{it}=X_{it-1}=\ldots=X_{it-q}$ و $Y_t=Y_{t-1}=\ldots=Y_{t-P}$ است که X_{it-q} بیانگر وقفه‌ی qام از متغیر iام است. بدین ترتیب معادله‌ی بلندمدت برای الگوی ARDL به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$Y_t=\alpha+\sum_{i=1}^{k}\theta_i X_i+W_t+V_t \quad (٦)$$

که در این رابطه:

$$\alpha_t=\frac{\alpha_0}{\alpha(1,P)} \quad (٧)$$

$$\gamma=\frac{\delta}{\alpha(1,P)} \quad (٨)$$

$$\theta_i=\frac{\beta_i(1,P)}{\alpha(1,P)}=\frac{\sum_{j=1}^{q}\beta_{ij}}{\alpha(1,P)} \quad (٩)$$

برآورد الگوی ARDL، شامل دو مرحله برای برآورد ضرایب بلندمدت است. در مرحله‌ی اول وجود ارتباط بلندمدت پیش‌بینی‌شده توسط تئوری اقتصادی، بین متغیرهای مسئله، موردبررسی قرارگرفته و در صورت تشخیص وجود ارتباط بلندمدت، در مرحله‌ی دوم ضرایب بلندمدت و کوتاه‌مدت، برآورد می‌شوند. برای توضیح مرحله‌ی اول، فرض کنید در تئوری اقتصادی پیش‌بینی می‌شود رابطه‌ای بلندمدت بین متغیرهای x وy و z وجود دارد. بدون داشتن هر نوع اطلاعات اولیه در مورد مسیر رابطه‌ی بین متغیرها، سه رگرسیون خطای تصحیح نامحدود زیر برآورد می‌شوند که در هر یک از آن‌ها یکی از سه متغیر به‌عنوان متغیر وابسته قرار داده‌شده‌اند:

$$\Delta y_t=\alpha_{0y}+\sum_{i=1}^{n}b_{iy}\,\Delta y_{t-i}+\sum_{i=1}^{n}c_{iy}\,\Delta x_{t-i}+\sum_{i=1}^{n}d_{iy}\,\Delta z_{t-i}+\gamma_{1y}\,y_{t-1}+\gamma_{2y}\,x_{t-1}+\gamma_{3y}\,z_{t-1}+\varepsilon_{1i} \quad (١٠)$$

$$\Delta x_t=\alpha_{0x}+\sum_{i=1}^{n}b_{ix}\,\Delta y_{t-i}+\sum_{i=1}^{n}c_{ix}\,\Delta x_{t-i}+\sum_{i=1}^{n}d_{ix}\,\Delta z_{t-I}+\gamma_{1x}\,y_{t-1}+\gamma_{2x}\,x_{t-1}+\gamma_{3x}\,z_{t-1}+\varepsilon_{2i} \quad (١١)$$

$$\Delta zt=\alpha_{0z}+\sum_{i=1}^{n}b_{iz}\,\Delta y_{t-i}+\sum_{i=1}^{n}c_{iz}\,\Delta x_{t-i}+\sum_{i=1}^{n}d_{iz}\,\Delta z_{t-i}+\gamma_{1y}\,y_{t-1}+\gamma_{2y}\,x_{t-1}+\gamma_{3y}\,z_{t-1}+\varepsilon_{3i} \quad (١٢)$$

برای تشخیص رابطه‌ی بلندمدت بین متغیرها از آزمون F استفاده می‌شود. فرض صفر برای آزمون نبود رابطه‌ی بلندمدت نشان داده‌شده در اولین معادله از معادلات بالا، عبارت است از.

$$H0:\gamma_{1y}=\gamma_{2y}=\gamma_{3y}=0 \quad (١٣)$$

مقدار آماره‌ی F مرتبط با این آزمون، با $F(y/x,z)$ نشان داده می‌شود. هم‌چنین فرض صفر برای آزمون نبود رابطه‌ی بلندمدت بیان‌شده در معادله‌های دوم و سوم از معادلات بالا، به ترتیب به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

$$H0:\gamma_{1x}=\gamma_{2x}=\gamma_{3x}=0 \quad (١٤)$$

$$H0:\gamma_{1Z}=\gamma_{2Z}=\gamma_{3Z}=0 \quad (١٥)$$

که آماره‌ی F مرتبط با این در آزمون به ترتیب $F_x(x/y,z)$ و $F_z(z/x,y)$ است. آماره‌ی F دارای توزیع غیراستاندارد بوده و به سه پارامتر بستگی دارد؛ نخست این‌که متغیرهای دخیل در الگوی ARDL، دارای درجه‌ی انباشتگی از صفر یا یک I(1)هستند. دوم اینکه الگوی ARDL، دارای عرض از مبدأ و (یا) متغیر روند باشد یا خیر و سوم این‌که متغیرهای توضیحی در الگوی مذکور چه تعداد باشند.

دو مجموعه از مقادیر بحرانی (CVs)، برای آماره‌ی F توسط پسران و پسران گزارش‌شده است. این دو مجموعه به ترتیب با فرض این‌که همه‌ی متغیرهای دخیل در الگو دارای درجه‌ی انباشتگی از یک و یا صفر هستند، برای سطوح مختلف اطمینان، محاسبه‌شده‌اند. اگر مقدار آماره‌ی F محاسباتی، خارج از محدوده‌ی مقادیر بحرانی قرار گیرد، بدون دانستن این‌که متغیرهای موردمطالعه دارای درجه‌ی از صفر یا یک هستند، قادر به قضاوت خواهیم بود. به‌عبارت‌دیگر، اگر نتایج تجربی نشان دهد که مقدار $F_y(0)$ بزرگ‌تر از دامنه‌ی بالایی مقادیر بحرانی بوده ولی $F_x(0)$ و $F_z(0)$ کوچک‌تر از دامنه‌ی پایینی مقادیر بحرانی باشد، یک رابطه‌ی بلندمدت و یکتا وجود دارد، که در این رابطهy، متغیر وابسته وx وz متغیرهای توضیحی آن هستند. برعکس، اگر آماره‌ی F محاسباتی در دامنه‌ی مقادیر بحرانی قرار گیرد، نیاز است تا درجه‌ی انباشتگی متغیرهای موردمطالعه تعیین شود، تا بتوان در مورد ارتباط بلندمدت متغیرها اظهارنظر کرد.

در صورتی‌که در مرحله‌ی اول روش ARDL، وجود رابطه‌ی بلندمدت پایدار تأیید شود، در مرحله‌ی دوم، دو گام دیگر برای تخمین الگوی ARDL، طی می‌شود. در اولین گام، تعداد وقفه‌های الگوی ARDL، بر اساس یکی از معیارهای ضوابط آکائیک، شوارترز-بیزین و حنان-کوئین، تعیین می‌شود و در گام دوم، الگوی انتخاب‌شده با استفاده از روش حداقل

مربعات معمولی، برآورد می‌شود (بازدار اردبیلی و همکاران و ۱۴۰۳).

۶-۲- بررسی مانایی متغیرهای تحقیق

در بررسی حاضر آزمون ایستایی متغیرهای الگو به‌وسیله آزمون دیکی-فولر تعمیم‌یافته در سطح متغیرها باوجود متغیرهای برون‌زای عرض از مبدأ و عرض از مبدأ و روند زمانی صورت می‌گیرد (سوری و ۱۴۰۰). نتایج مربوط به این آزمون در سطح و تفاضل مرتبه اول برای کلیه متغیرهای بکار رفته در مدل‌های مطرح‌شده در جدول ۱ آورده شده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود همه‌ی متغیرهای موردبررسی در سطح و یا با یک‌بار تفاضل گیری ایستا شده‌اند یعنی جمعی از درجه صفر یا یک می‌باشند.

همان‌طور که می‌دانیم در این حالت استفاده از روش OLS معمولی باعث به وجود آمدن رگرسیون‌های کاذب می‌شود. لذا برای برآورد الگو بهتر است از روش ARDL استفاده شود. این روش نسبت به درجه هم جمعی متغیرهای توضیحی حساس نبوده و بدون در نظر گرفتن این‌که متغیرها(I(0 یا I(1) هستند به‌کاربرده می‌شوند و با انتخاب وقفه مناسب در مدل، می‌توان برآورد سازگاری از ضرایب به دست آورد.

جدول۳. بررسی ایستایی متغیرهای الگو بر اساس آزمون دیکی-فولر تعمیم‌یافته

متغیر	آماره آزمون	مقادیر بحرانی در سطح ۵٪	نتیجه
LnY	-۳/۸۳	-۲/۹۷	I(0)
LnK	-۳/۰۱۷	-۲/۹۷	I(0)
LnL	-۱/۴۲	-۲/۹۷	-
تفاضل مرتبه اولLnL	-۴/۷۹	-۲/۹۷	I(1)
LnIL	-۱/۴۵	-۲/۹۷	-
تفاضل مرتبه اول LnIL	-۵/۸۹	-۲/۹۷	I(1)
LnE	-۱/۱۴	-۲/۹۷	-
تفاضل مرتبه اولLnE	-۴/۸۲۲	-۲/۹۷	I(1)

۶-۳- برآورد مدل اصلی با استفاده از روش ARDL

۶-۳-۱- اثرات پویا و بلندمدت الگو

تجزیه و تحلیل از روش (ARDL) مبتنی بر تفسیر سه معادله پویا، بلندمدت و تصحیح خطا می‌باشد که نتایج حاصل از معادله پویا معادله‌ای است که در آن متغیر وابسته به شکل با وقفه در سمت راست معادله ظاهر می‌شود. برای انتخاب وقفه بهینه می‌توان از معیار آکائیک شوارتز، حنان کویین و ضریب تعیین تعدیل‌شده استفاده کرد که در این مطالعه برای جلوگیری از کاهش درجه آزادی از معیار شوارتز بیزین استفاده‌شده است. به‌عبارت‌دیگر برای برآورد رابطه (معادله) با توجه به تعداد کم مشاهدات تعداد وقفه، یک در نظر گرفته می‌شود، زیرا در نمونه‌های کوچک، وجود تعداد وقفه‌های زیاد باعث از دست دادن درجه آزادی می‌شود. الگوی برآوردی بر اساس معیار شوارتز بیزین مورد تخمین قرار می‌گیرد که در نمونه‌های کمتر از ۱۰۰ معمولاً از معیار شوارتز- بیزین استفاده می‌شود.

جدول٤. نتایج برآورد مدل کوتاه‌مدت رابطه‌ی شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی

ARDL(1,1,0,4,0)

متغیرها	ضرایب	سطح معنی‌داری
LGDP	۰/۷۶۱	۰/۰۰۲۲
LK	۰/۰۳۰	۰/۰۲۰٤
LK(-1)	۰/۱۱	۰/۰۹۵۵
LL	۰/۳۱	۰/۰۵٦۳
LIL	۰/۰۰۳٦	۰/۰۷۳٤
LIL (-1)	۰/۱۰۹	۰/۰۲۳٤
LIL (-2)	۰/۱۷۹	۰/۰۲۸۱
LIL (-3)	۰/۱۰٦	۰/۰٦٦٤
LIL (-4)	۰/۱۰۵	۰/۰۷۲۲
LE	۰/۷۲	۰/۰٦٦٤
C	۱۳/۸۱	۰/۲۱۲۰
WD=۱/۸٦	F=۱۷۹	R^2=۰/۹۹

در رابطه‌ی پویای به‌دست‌آمده، وقفه بهینه لگاریتم ارزش‌افزوده بخش حمل‌ونقل ریلی، یک، وقفه بهینه موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی، یک، وقفه بهینه نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی، صفر، وقفه بهینه شاخص کاربری نیروی

انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور، چهار، وقفه بهینه مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور صفر به دست آمد و مدل به‌صورت ARDL(1,1,0,4,0) برآورد شد. در تخمین فوق ضرایب تمامی متغیرها از آماره‌ی t بالایی برخوردار بوده و همگی در سطح خطای ۵ یا ۱۰ درصد معنی‌دار و ازنظر علامتی سازگار با مبانی نظری ارائه‌شده هستند. با توجه به ضریب مثبت متغیرهای تفاضل مرتبه اول ارزش افزوده بخش حمل‌ونقل ریلی، موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی، نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی، شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی، مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی که معنادار نیز می‌باشد رابطه مثبت بین این متغیرها و رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی مورد تأیید قرار می‌گیرد. طبق جدول فوق ضریب تعیین محاسبه‌شده ۰/۹۹ می‌باشد که نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی بسیار بالای الگو است و آماره F برای الگو کاملاً معنی‌دار می‌باشد. یعنی هیچ‌کدام از ضرایب الگو هم‌زمان صفر نیست و مقدار دوربین واتسون نیز که ۱/۸۶ بوده و حکایت از این دارد که تخمین به‌صورت مناسب انجام‌گرفته است. نتایج حاصل از برآورد رابطه بلندمدت در جدول ۵ نشان داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، تمامی ضرایب مدل از معنی‌داری بالایی برخوردار و ازنظر علامتی، سازگار با تئوری‌های نظری هستند. هریک از ضرایب متغیرها، کشش رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور را نسبت به آن متغیر نشان می‌دهد. ضریب متغیر موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش رشد موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی نسبت به رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور برابر با ۰/۶۱۶ است و بدین معنی است که با یک درصد افزایش موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور، رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور ۶۱/۶ درصد افزایش می‌یابد. ضریب متغیر نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش رشد نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور نسبت به رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی ۰/۷۴است و بدین معنی است که با افزایش نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور افزایش می‌یابد. شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش رشد شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی نسبت به رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور برابر با ۰/۴۵ است و بدین معنی است که با یک درصد افزایش شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی، رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور ۴۵ درصد افزایش می‌یابد و بدین معنی است که با افزایش شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی، رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور افزایش می‌یابد. همچنین ضریب متغیر مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی نسبت به رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی ۰/۸۷ است و بدین معنی است که با یک درصد افزایش در مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی، میزان رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور ۸۷ درصد افزایش می‌یابد.

جدول۵. نتایج برآورد مدل بلندمدت رابطه‌ی شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی

متغیرها	ضرایب	سطح معنی‌داری
LK	۰/۶۱۶	۰/۰۸۳۴
LL	۰/۷۴	۰/۰۱۴۸
LIL	۰/۴۵	۰/۰۶۱۳
LE	۰/۸۷	۰/۰۲۹۳
C	۵۷/۹۳	۰/۴۴۷۶

۶-۳-۲- برآورد الگوی تصحیح خطا (ECM)

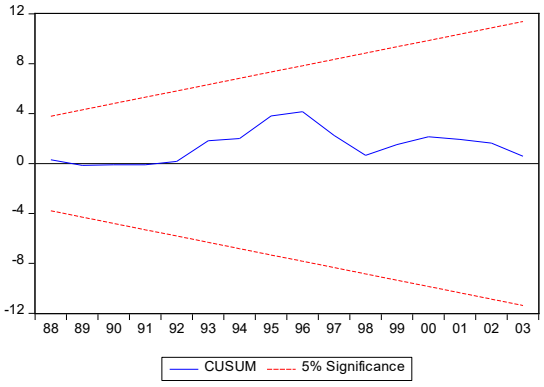
هم‌چنین با توجه به نتایج حاصله از جدول مدل تصحیح خطا توسط نرم‌افزار تخمین زده‌شده که نشانگر تعدیل پویایی‌های کوتاه‌مدت در جهت روابط تعادلی بلندمدت است. ضریب جمله تصحیح خطا به این معنی است که در هر دوره چقدر از عدم تعادل کوتاه‌مدت به‌سوی تعادل بلندمدت تعدیل می‌شود. و لازمه‌ی این است که ضریب تصحیح خطا ضمن معنی‌دار بودن، در بازه‌ی [۰و۱] قرار داشته باشد. نتایج نشانگر این است که اگر شوکی باعث انحراف معیار متغیرها از تعادل کوتاه‌مدت اولیه شود، در هر دوره ۲۳۸٪ از عدم تعادل کوتاه‌مدت به‌سوی تعادل بلندمدت تصحیح می‌شود.

۶-۳-۳- پایداری نتایج

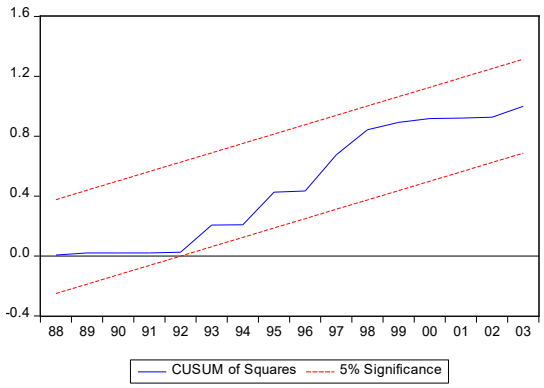
در مرحله بعد، پایداری پارامترهای تخمین زده‌شده در الگوی بلندمدت بررسی می‌شود که برای این منظور از آزمون‌های

مجموع تجمعی پسماند(CUSUM) و مجموع تجمعی مربع پسماند (CUSUMQ) استفاده می‌شود.

آزمون‌های CUSUM و CUSUMQ از یک نمودار برای نمایش و یک دسته خطوط مستقیم استفاده می‌کند که معمولاً این خطوط برای سطح معنی‌داری ۵ درصد رسم می‌شوند و نتیجه آزمون‌های مذکور، به ترتیب، در شکل‌های ۱و۲ نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نمودارهای CUSUM و CUSUMQ میان دو خط بحرانی در سطح ۵ درصد قرارگرفته‌اند. بر اساس این نتایج، ضرایب متغیرها در طول دوره موردبررسی، دارای ثبات می‌باشند. به‌عبارتی‌دیگر، شکست ساختاری در الگو وجود ندارد. درواقع، آزمون نشان می‌دهد که میانگین جملات پسماند صفر است و فروض اول کلاسیک برقرار است.



شکل۱. نمودار پسماند تجمعی



شکل۲. نمودار مجذور پسماند تجمعی

۷- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله، محاسبه شاخص کاربری نیروی انسانی و بررسی نقش آن در رشد اقتصادی بخش ریلی کشور است. دراین مقاله برای محاسبه شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور از شاخص ترکیبی استفاده شده است. شاخص ترکیبی کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور از تقسیم (تن-کیلومتر+ مسافر-کیلومتر×۲) به تعداد کارکنان بدست آمده است. این شاخص نشان می‌دهد که هر کارمند ریلی به طور متوسط چه میزان "واحد ترافیکی" (Traffic Unit) جابجا می‌کند. این شاخص به مدیران اجازه می‌دهد تا کارایی عملیاتی شرکت‌های ریلی را در دوره‌های مختلف مقایسه کرده و نقاط ضعف در مدیریت منابع انسانی را شناسایی کنند.

با توجه به مدل به‌دست‌آمده به بررسی نقش شاخص کاربری نیروی انسانی در رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی ایران طی دوره زمانی ۱۴۰۳-۱۳۵۰ می‌پردازیم. همچنین برای تحلیل‌های اقتصادسنجی از مدل از الگوی بازگشتی با وقفه‌های توزیعی(ARDL) و نرم‌افزار Eviews 13 استفاده شده است. ازآنجایی‌که شرط استفاده از الگوی بازگشتی با وقفه‌های توزیعی، I(0) یا I(1) بودن سری‌های زمانی است. لذا، این امر مستلزم بررسی مانایی داده‌های تحقیق خواهد بود. نتایج این آزمون برای تمامی متغیرها نشان می‌دهد که همه‌ی متغیرهای موردبررسی در سطح و یا با یک‌بار تفاضل‌گیری ایستا شده‌اند یعنی جمعی از درجه صفر یا یک می‌باشند. لذا برای برآورد الگو بهتر است از روش ARDL استفاده شود. در رابطه‌ی پویای به‌دست‌آمده، مدل به‌صورت ARDL(1,1,0,4,0) برآورد شد. نتایج حاصل از برآورد رابطه کوتاه مدت و بلندمدت نشان می‌دهد که تمامی ضرایب مدل از معنی‌داری بالایی برخوردار و ازنظر علامتی، سازگار با تئوری‌های نظری هستند. هریک از ضرایب متغیرها، کشش رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور را نسبت به آن متغیر نشان می‌دهد. ضریب متغیر موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش رشد موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی نسبت به رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر با ۰/۰۳ و ۰/٦١٦ است و بدین معنی است که با یک درصد افزایش موجودی سرمایه در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور، رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور۳ و ٦١/٦ درصد افزایش می‌یابد. ضریب متغیر نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش رشد نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور نسبت به رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۷٤ است و بدین معنی است که با افزایش نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور افزایش می‌یابد. شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش رشد شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی

نسبت به رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر با ۰/۰۰۳۶ و ۰/۴۵ است و بدین معنی است که با یک درصد افزایش شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی، رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب۰/۳۶ و ۴۵ درصد افزایش می‌یابد و بدین معنی است که با افزایش شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی، رشد اقتصادی حمل‌ونقل ریلی کشور در کوتاه مدت و بلندمدت افزایش می‌یابد. همچنین ضریب متغیر مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی یا همان کشش مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی نسبت به رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۸۷ است و بدین معنی است که با یک درصد افزایش در مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی، میزان رشد اقتصادی بخش حمل‌ونقل ریلی کشور در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب ۷۲ و ۸۷ درصد افزایش می‌یابد.

هم‌چنین با توجه به نتایج حاصله از جدول مدل تصحیح خطا توسط نرم‌افزار تخمین زده‌شده که نشانگر تعدیل پویایی‌های کوتاه‌مدت در جهت روابط تعادلی بلندمدت است. نتایج نشانگر این است که اگر شوکی باعث انحراف معیار متغیرها از تعادل کوتاه‌مدت اولیه شود، در هر دوره ۲۳۸٪ از عدم تعادل کوتاه‌مدت به‌سوی تعادل بلندمدت تصحیح می‌شود. در مرحله بعد، پایداری پارامترهای تخمین زده‌شده در الگوی بلندمدت بررسی می‌شود که برای این منظور از آزمون‌های مجموع تجمعی پسماند(CUSUM) و مجموع تجمعی مربع پسماند(CUSUMQ)استفاده می‌شود. بر اساس این نتایج، ضرایب متغیرها در طول دوره موردبررسی، دارای ثبات می‌باشند. به‌عبارتی‌دیگر، شکست ساختاری در الگو وجود ندارد. درواقع، آزمون نشان می‌دهد که میانگین جملات پسماند صفر است و فروض اول کلاسیک برقرار است.

در ادامه برای بهبود شاخص کاربری نیروی انسانی در بخش حمل‌ونقل ریلی کشور پیشنهادات سیاستی ارائه شده است.

-بهبود سیستم اطلاعات منابع انسانی: ایجاد پایگاه داده یکپارچه برای پایش مستمر بهره‌وری نیروی کار.

-بازطراحی ساختار آموزش و توانمندسازی: هماهنگی سطح صلاحیت کارکنان با پیچیدگی عملیات ریلی.

-بهینه‌سازی ترکیب مهارتی نیروی کار: کاهش مازاد نیروی کار کم‌مهارت و افزایش نسبت کارکنان متخصص.

-توجه به شاخص‌های ترکیبی و کیفی: استفاده همزمان از شاخص‌های کمّی و کیفی برای ارزیابی واقع‌بینانه‌تر عملکرد نیروی انسانی.

-مقاوم‌سازی سیستم ریلی در برابر شوک‌های بیرونی: تدوین برنامه‌های واکنش سریع برای حفظ بهره‌وری در بحران‌هایی مشابه همه‌گیری کووید-۱۹.

در مجموع، با توجه به کشش بالای شاخص کاربری نیروی انسانی، سرمایه‌گذاری در بهبود کارایی نیروی کار در بخش حمل‌ونقل ریلی می‌تواند یکی از مؤثرترین راهبردها برای تحقق رشد اقتصادی پایدار در این بخش باشد.

۸-پی‌نوشت‌ها

1-Stochastic Frontier
2-Variable Input Productivity (VIP)
3-Translog Multilateral Indexing
4-Transitivity
5-Cycle Time
6-Returns to Density
7- Labour Utilization Index
8-Labour Productivity
9-Allocative Efficiency
10-Vector Method
11-Natural Indicators
12-Value Indicators
13-Conventionally Natural Indicators
14-Multi-criteria Method
15-Mobility Index
16-Multifactor Method
17-Adjusted Traffic Unit
18-Employees per km of line
19-Traffic Units per Employee

۹-مراجع

-بازدار اردبیلی، پریسا. امام وردی، قدرت الله. غیاثوند، ابوالفضل و سیفی‌پور، رویا (۱۴۰۳). شاخص ترکیبی ثبات مالی و اقتصادی و بررسی آن در بخش حمل‌ونقل ریلی، *فصلنامه علمی جاده*، سال بیست و دوم، دوره سوم، شماره ۱۲۰، پاییز، ۶۴-۴۹.

-برادران، وحید، باراد، مظفر و محمدی، مهیا (۱۳۹۶). تحلیل موانع توسعه بهره وری در اداره کل واگن‌های راه آهن جمهوری اسلامی ایران براساس تحلیل شاخص‌های بهره وری و ارائه راهکارهای موثر بر ارتقای آن، *نشریه مدیریت بهره وری*، پیاپی ۴۱، ۱۸۰-۱۴۵.

-بشیری، مهدی، پورسیدآقایی، محسن و جواهرمنش، فرشید (۱۳۸۸)، مطالعه زمان استاندارد انجام خدمات توسط مأمورین موظف در قطارهای مسافری ایران (با رویکرد افزایش بهرهوری)، *دو ماهنامه علمی-پژوهشی دانشور رفتار*، دانشگاه شاهرود، سال شانزدهم، شماره۵۵، ۱۱۸-۱۰۵.

-پورکاظمی، محمدحسین و سلطانی، حسنعلی (۱۳۸۶). ارزیابی کارایی راه آهن جمهوری اسلامی ایران در مقایسه با راه آهن‌های کشورهای آسیایی و خاورمیانه، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره۷۸، بهار ، ۱۲۱-۸۷.

- پورکاظمی، محمدحسین و رضایی، جواد (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی نواحی سیزده گانه راه آهن جمهوری اسلامی ایران به روش تحلیل پوششی داده‌ها(D.E.A)، دوره ۳۸، شماره ۳، شماره پیاپی ۳، پاییز و زمستان، دی ماه، ۱۶۳-۱۴۵.

-ثنایی ایلخچی، علی، عبدالملکی، مهدی و نظری، سبحان (۱۴۰۱). شناسایی مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد حمل بار ریلی با استفاده از روش‌های تحلیل داده و داده‌کاوی؛ مطالعه موردی: راه‌آهن ایران،

dx.doi.org/10.2139/ssrn.5192834

-خادم ثامنی، ملودی و آشور، علی (۱۳۹۹). بررسی تأثیر سطح تحصیلات نیروی انسانی در کارایی صنعت ریلی ایران و نقش دانشکده مهندسی را ه آهن، *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، سال بیست و دوم، شماره ۸۸ ، زمستان،۷۲-۵۷.

- زورمند باغدار، سید ناصر، پویا، علیرضا، پاکدامن، مرتضی و حاجی میرزاجان، امیر (۱۴۰۴). ارزیابی و رتبه‌بندی کارایی فنی مناطق راه‌آهن ایران در حمل‌ونقل بار با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل*، سال بیست و دوم، دوره دوم، شماره ۸۳ ، تابستان، ۱۳۴-۱۱۱.

-سالنامه آماری ۱۴۰۳ حمل‌ونقل ریلی کشور (۱۴۰۳). دفتر هوشمند سازی و داده کاوی، معاونت تأمین سرمایه و اقتصاد حمل‌ونقل، *شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران*.

-سوری، علی (۱۴۰۰). اقتصاد سنجی همراه با کاربرد Eviews & Estata، *انتشارات نور علم*، تهران.

-سیف‌نیا، فرخنده. اجاقی، سهیلا (۱۳۹۳). اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل تولید راه آهن ج.ا.ا و بررسی تأثیر اجزای بهره‌وری کل عوامل تولید راه آهن بر تولید ناخالص داخلی کشور ایران با استفاده از رهیافت اقتصاد سنجی طی دوره ۹۱-۱۳۸۱، *شانزدهمین همایش بین المللی حمل و نقل ریلی*، *انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران*، تهران.

-شیرعلی، شیرین و بهمنش، محمد (۱۳۹۶). بررسی عوامل مؤثر بر بهره وری نیروی انسانی در صنعت ریلی، دومین همایش بین المللی افق‌های نوین در علوم انسانی و مدیریت، *انجمن افق نوین علم و فناوری*، تهران.

-قاسمی، علیرضا و سبحانی‌پور، سید محمدرضا (۱۴۰۴). بررسی سطح بلوغ فرایندهای مدیریت منابع انسانی شرکت راه آهن ج.ا.ا بر اساس استاندارد ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی (مورد مطالعه: اداره کل راه آهن قم)، *فصلنامه مدیریت راهبردی و آینده پژوهی*، دوره ۸، شماره۱، بهار و تابستان، ۱۱۱ ـ ۸۵.

-مروتی شریف آبادی، علی، منصوری، زهرا، زارع احمدآبادی، حبیب و زنجیرچی، سید محمود (۱۴۰۰). شناسایی عوامل کلیدی موثر بر سیستم حمل و نقل ریلی باری در افق ۰۵ ساله با استفاده از تکنیک دلفی، *دو فصلنامه علمی آینده پژوهی ایران*، دوره ٦، شماره ۱، بهار و تابستان، ۲۳۲-۲۰۵.

-Azizi, N., Akhavan, P., Philsoophian, M., Davison, C., Haass, O., & Saremi, S. (2022). Exploring the factors affecting sustainable human resource productivity in railway lines. *Sustainability,* 14(1), 225.

- Batsokin, A. O.(2019). Specific features of estimating labour productivity in railway transport. *Directory of Open Access Journals,*105-112.

-Cantos, P., & Maudos, J. (2000). Productivity, efficiency and technical change in European railways: A non-parametric approach. *Transportation,* 27(4), 403-423.

-Couto, A., & Graham, D. J. (2008). Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.*

-Dadfar, F., Tutunchi, J., & Tabatabayi Nasab, S. Z. (2014). Investigating the factors affecting the promotion of manpower productivity in Railroad Company of Islamic Republic of Iran. *International Conference on Business Development and Excellence.*

-Daneci-Patrau, D., & Patache, L. (2011). Efficiency of human resources management in railway transport. *Journal of Academic Research in Economics,* 3(3), 258-270.

-Fadaei Foroutan, Seyedeh Ladan. Bamdad, Shahrooz (2022). Efficiency evaluation of Iranian railway stations using data envelopment analysis, *Journal of Industrial Engineering and Management Studies,* Vol. 9, No. 1, 38-48.

-Gathon, H. J., & Pestieau, P. (1995). Decomposing efficiency into its managerial and its regulatory components: The case of European railways. *European Journal of Operational Research,* 80(3), 500-507.

-https://www.cbi.ir/

-https://www.rai.ir/page-Default/fa/0/form/pId8715

-International Transport Forum (ITF). (2019). Efficiency in railway operations and infrastructure management. *OECD/ITF.*

-Saghafi, M. (1999). Concepts of measuring productivity and its indicators in rail passenger transportation. 06th Railway Transportation Conference.
-Sarkeshikian, S. A., Lotfi, A., & Bagheri, M. (2019). Productivity management in Iranian railway by data envelopment analysis. International *Journal of Transportation Engineering,* 7(1), 67-76.
-Specific features of estimating labour productivity in railway transport. (2019). *Directory of Open Access Journals.*
-Tretheway, M. W., Waters II, W. G., & Pok, S. (1997). Productivity growth of Canadian National and Canadian Pacific Railways: A comparison with U.S. railroads. *Logistics and Transportation Review,* 33(1), 25-41.
-Ünver, M., & Ersöz, T. (2013). The regression model of the labor productivity in Turkish railway systems. 2nd International Symposium on Railway Systems Engineering.
-United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2002). Indicators of productivity in rail transport (TRANS/SC.2/2002/15). United Nations.
-United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2023). Productivity in rail transport (ECE/TRANS/SC.2/2023/7). *United Nations.*
Europe. (2002). Productivity in rail transport (Report No. TRANS/SC.2/2002/15). *United Nations.*
-Wang, S., Tang, D., Zhang, Z., & Zhao, X. (2026). High-speed transport infrastructure and labor distribution: International lessons on spatial-temporal governance structures. *Journal of Transport Geography,* 113, 104106.
-Kotenko, A., & Kotenko, O. (2022). Locomotive team productivity as a criterion for optimal locomotive fleet management. *In Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 403, 567-576.
-Kotenko, O., & Kotenko, A. (2024). The approach to assessing the level of digital mobility of human capital of railway transport enterprises. *Bìznes Inform,* 10, 123-130.
-McGeehan, H. (1993). Rail costs, productivity and the variable cost function: A translog approach. *Journal of Transport Economics and Policy,* 27(2), 157-174.
-Movahedi, M. M., Abtahi, S.Y. Motamedi, M.(2011). Iran railway efficiency analysis using DEA: An international comparison. *International Journal of Applied Operational Research,* 1(1), 1-6.
-Movahedi, M. M., & Hoseini, S. M. (2008). Efficiency evaluation of 12 regions of RAI (Iranian railway) using data envelopment analysis (DEA). *International Journal of Railway,* 1(2), 37-44.
-Nazarenko, I. (2013). The estimation and optimization of personnel's potential of railway transport's department. *Semantic Scholar.*
-Oum, T. H., & Yu, C. (1994). Economic efficiency of railways and implications for public policy: A comparative study of the OECD countries. *Journal of Transport Economics and Policy,* 28(2), 121-138.
-Oum, T. H., Waters, W. G., & Yu, C. (1999). A survey of productivity and efficiency measurement in rail transport. *Journal of Transport Economics and Policy,* 33(1), 9-42.
-Oum, T. H., Wang, K., Yu, C., Coppola, P., Castagna, L., Kato, H., Le, Y., Luo, X., Gan, S., Kim, K., Kim, W., Patil, G., Gaur, V., Circella, G., Mhiuddin, H., Lecompte, M. C., & Lim, C. (2025). The WCTRS global subway efficiency benchmarking task force inaugural report: The key findings, lessons learned, policy issues investigated. *Transport Policy,* 162, 353-363.

Analysis of the Human Resource Utilization Index in the Iranian Rail Transport Sector

Parisa Badar Ardebili, *Assistant Professor, Housing & Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

E-mail: p.bazadar@bhrc.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

Rail transport is one of the main pillars of transport infrastructure in developed and developing countries, playing a vital role in economic growth, regional development and environmental sustainability. This mode of transport is not only important in terms of cargo and passenger movement, but also acts as a driver for the optimal allocation of human resources and improving labor productivity. Given the importance of this issue and since the human resource utilization index can play an important role in the economic growth and development of the country, especially the rail transport sector, this study examines the role of the composite human resource utilization index in the country's rail transport sector. For this purpose, this study first calculates the composite human resource utilization index in the rail transport sector, and then examines the effects of the composite human resource utilization index on the rail transport sector using the autoregressive extended lag (ARDL) econometric model to estimate the model and interpret the results. The results show that both in the short and long term, the human resource utilization index has a positive effect on the added value of the rail transport sector. Other variables in the model, including capital stock, labor force, and energy consumption, have also shown positive and significant effects on the economic growth of the rail sector. Also, considering the error correction coefficient, it can be stated that the speed of adjustment towards the equilibrium and long-term value is appropriate, so that in each period, about 0.238 of the imbalance error is adjusted and the short-term value tends towards its equilibrium and long-term value exponentially. The CUSUM and CUSUMQ stability tests indicate the stability of the coefficients throughout the study period.

Keywords: User Index, Human Resources, Rail Transport, ARDL Model, Error Correction Coefficient Model