تخمین هزینه‌نهایی استفاده از زیرساختار شبکه راه‌آهن ایران با استفاده از رویکرد اقتصادسنجی

کیوان قصیری، استادیار، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
فرامرز جلیلوند، دانشکده راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: ghoseiri@iust.ac.ir

چکیده

در این تحقیق تخمین هزینه‌های نهایی مربوط به عملیات تعمیر و نگهداری جاری زیرساختار راه آهن ایران بررسی شده است. این شاخص مهم اقتصادی در بهره برداری از زیرساختار راه آهن، می‌تواند برای قیمت گذاری در دسترسی به شبکه خطوط راه آهن کشور و محاسبه تعرفه حمل بار و مسافر مورد استفاده قرار گیرد. این تحقیق نشان داد که متغیرهای تناژ ناخالص عبوری، بیشینه شیب و فراز، و بیشینه سرعت خط اجزای اصلی مدل هزینه را تشکیل داده‌اند و بر پایه متوسط ۵ ساله آماره‌های نواحی ۱۲ گانه راه آهن در طی سالهای ۱۳۷۹-۱۳۸۳ و با این فرض که هزینه نهایی نسبت به طول خط تغییر نکند کشش هزینه نسبت به تناژ ناخالص بار عبوری از شبکه ۰/۱۶۱ و مقدار هزینه نهایی آن برابر ۰/۱۲ یورو به ازای هزار تن کیلومتر ناخالص بوده است. همچنین این مطالعه نشان داد که با افزایش تن کیلومتر ناخالص، مقدار هزینه نهایی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: هزینه نهایی، زیر ساختار راه آهن، تابع هزینه، کشش هزینه، تعمیرات، نگهداری جاری

۱. مقدمه

یکی از تحلیل‌های مهم و در عین حال پیچیده اقتصادی، محاسبه هزینه‌های نهایی ناشی از تولید یک محصول یا ارایه یک خدمت است که مشخصه‌ای بسیار خوب برای ارزیابی اقتصادی هزینه‌هاست. مهم‌ترین کاربرد محاسبه هزینه‌های نهایی، قیمت‌گذاری برای محصولات یا امکانات یک شرکت است. رویکرد اساسی که این روش قیمت گذاری از آن برخوردار است، رویکرد حمایتی چشمگیری است که از مشتری به عمل می‌آورد چرا که قیمت‌گذاری بر پایه هزینه‌های نهایی تقریباً از همه انواع قیمت گذاری کمتر است. مهم‌ترین هدفی که قیمت گذاری بر پایه هزینه‌های نهایی دنبال می‌کند، کارآمد کردن هر چه بیشتر استفاده از امکانات تولید است و در واقع پر کردن ظرفیت‌های خالی تولید از اهداف این رویکرد است. برای خصوصی سازی راه آهن تاکنون فعالیتهای متعددی صورت گرفته است. یکی از بهترین راه حل‌ها در این رابطه، جداسازی بخش زیر ساختار راه آهن و بهره برداری زیرساختار از هم ارایه شده است که در آن سعی می‌شود که بخش زیرساختار همچنان در مالکیت دولت باقی بماند، ولی بخش مربوط به بهره برداری زیرساختار به تدریج به بخش خصوصی واگذار شود. در این حالت بخش بهره برداری برای استفاده از زیرساختار باید هزینه (شارژ) دسترسی پرداخت کند. دو محدودیت اصلی در این راستا عبارتند از این که اولاً دولت در این واگذاری دچار خسارت نشود. (این ضرر هم ضرر مالی و هم ضرریست که کم شدن اعتماد عمومی ایجاد می‌کند) و ثانیاً و

تاریخ دریافت: ۸۵/۰۷/۰۸ – تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۰/۲۷

مهم‌تر این که بخش خصوصی رغبتی برای این کار داشته باشد. قیمت گذاری بر اساس هزینه‌های نهایی روشی مناسب برای این منظور است. در واقع با این روش، تنها هزینه‌های مستقیم تحمیلی بر زیرساختار (مثل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری جاری زیر ساختار) که به دلیل استفاده بخش خصوصی از زیرساختار به وجود می‌آیند، از بخش بهره بردار اخذ می‌شود. این قیمت به مراتب کمتر از قیمتی است که با دیگر روش‌های قیمت‌گذاری بر مبنای هزینه مثل قیمت‌گذاری هزینه میانگین (حاصل تقسیم کلیه هزینه‌ها بر میزان استفاده) به دست می‌آید. در همین رابطه اتحادیه اروپا در جهت سیاست آزاد سازی صنعت راه آهن از انحصار دولتی کشورهای عضو، دستورالعمل مفصلی تحت عنوان 2001/14/EC ارایه کرده است. در بند ۷ این دستورالعمل چنین بیان شده است:

«پرداختهای بخش خصوصی به راه آهن برای استفاده از زیرساختار باید بر اساس هزینه‌هایی باشد که مستقیماً در نتیجه عملیات مربوط به استفاده قطارها از زیر ساختار راه آهن حاصل می شوند. (یعنی هزینه‌های نهایی ناشی از عملیات مربوط به استفاده قطارها از زیرساختار راه آهن)[2]. در این تحقیق با توجه به احساس نیاز به وجود روشی مناسب در قیمت گذاری دسترسی به زیر ساختار راه آهن که منافع مشریان و شرکت راه آهن را تأمین کند، سعی شده است تا ضمن مرور و الگوگیری از مطالعات مشابه انجام شده در سایر کشورها، هزینه‌های نهایی استفاده از زیرساختار راه آهن ایران نیز محاسبه شود.

۲. هزینه‌های نهایی زیرساختار راه آهن

تعریف عمومی هزینه‌های نهایی (MC) در اقتصاد عبارتست از:

$$MC=\Delta C/\Delta Q \qquad (۱)$$

که در آن:

Q میزان محصول (محصول می‌تواند کالا یا خدمت باشد)، ΔQ تغییر در میزان تولید محصول، C هزینه کل ناشی از تولید Q واحد از محصول، و ΔC تغییر در هزینه کل ناشی از ΔQ تغییر در میزان محصول را نشان می‌دهند. بر طبق این تعریف هزینه‌های نهایی استفاده از زیرساختار شبکه راه آهن، هزینه‌های افزوده شده ناشی از عبور یک قطار اضافی از شبکه راه آهن در نظر گرفته شده است. هزینه های ناشی از استفاده یک قطار اضافی از زیر ساختار می‌توانند به پنج نوع مهم تقسیم شوند: هزینه‌های استهلاک جاری، هزینه تعمیرات و نگهداری زیرساختار، هزینه‌های تراکم، هزینه تأخیرات ناشی از یک قطار که بر قطارهای بعدی نیز وارد می‌شود، هزینه‌های کمیابی: هزینه ناشی از عدم توانایی برای تخصیص مسیر به دلیل اشغال بودن مسیر توسط قطار اضافی، هزینه‌های تصادفات، هزینه‌های ناشی از وقوع تصادفات که شامل هزینه‌های مالی و جانی و هزینه‌های محیطی‌که مربوط به هزینه‌های ناشی از آلودگی محیطی می‌شود[1].

همان گونه که پیش از این ذکر شد، در این تحقیق هزینه‌های نهایی مربوط به عملیات تعمیر و نگهداری جاری زیرساختار راه آهن ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱ محاسبه هزینه‌های نهایی مربوط به استهلاک جاری زیرساختار راه‌آهن

رویکردهای متفاوتی برای محاسبه هزینه‌های نهایی ناشی از استفاده از زیرساختار وجود دارد. دو رویکرد مناسب در این ارتباط که تاکنون در بعضی کشورها مورد استفاده قرار گرفته‌اند به صورت زیرند:

- رویکرد اقتصاد سنجی: که در آن ابتدا تابع هزینه‌های متغیرکل مشخص می‌شود، سپس مشتق این تابع را نسبت به یک متغیر مناسب (عمدتاً تن کیلومتر ناخالص) برای به دست آوردن هزینه‌های نهایی مورد استفاده قرار می‌دهند.
- رویکرد مهندسی : که در آن هزینه های متغیر کل ناشی از همه وسایل نقلیه در حال حرکت در شبکه با استفاده از روابط مهندسی دقیق شناسایی می‌شود و نتیجه حاصله مبنای تعیین هزینه‌های نهایی در نظر گرفته می‌شود (برای مطالعه بیشتر رجوع کنید به [1]) با توجه به آن که در این تحقیق محاسبه هزینه نهایی از دیدگاه اقتصاد سنجی مورد نظر بوده است، در زیر به معرفی بیشتر آن پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱ رویکرد اقتصادی برای محاسبه هزینه‌های نهایی استفاده از زیرساختار راه آهن

این رویکرد یک رویکرد چند مرحله‌ای است که در آن داده‌های جزیی شده مربوط به هزینه‌های مختلف زیرساختاری وارد مدل می‌شود و نهایتاً میزان هزینه‌های نهایی ناشی از استفاده مشخص می‌شود.

به طور کلی مراحل مختلف در این رویکرد به صورت زیرند:

- اولین مرحله در این رویکرد، تعریف اجزای هزینه‌ای متناسب با هزینه‌های نهایی است. در واقع در این مرحله باید متغیرهای توضیحی مربوط به هزینه‌های متغیر شناسایی شوند. از مهم‌ترین متغیرهای توضیحی برای هزینه‌های متغیر مربوط به زیر ساختار راه آهن می‌توان به تناژ عبوری، طول خط و تن کیلومتر ناخالص اشاره کرد.
- دومین مرحله در این رویکرد شناسایی یک تابع هزینه مناسب است که برطبق آن هزینه‌های متغیر استفاده از زیر ساختار به متغیرهای توضیحی شرح داده شده در مرحله قبل وابسته می‌شود. برای انجام این کار می توان از توابع هزینه‌ای موجود بهره‌گیری و با اصلاحات و ساده سازیهایی که برای بهبود این توابع در جهت اهداف مشخصه انجام می‌شود تابع مناسبی را به دست آورد. این ساده سازیها بیشتر دلایلی آماری دارند، به این ترتیب که با استفاده از داده‌های نمونه‌ای که در نتیجه تقسیم‌بندی شبکه به بخش‌های مجزا و استخراج داده‌های مربوطه حاصل شده‌اند، ابتدا مدل کلی را با استفاده از نتایج رگرسیونی برای کل شبکه در نظر می‌گیریم، سپس با تحلیل‌های آماری متغیرهای توضیحی اساسی شناسایی شده و از بقیه متغیرها صرف نظر می‌شوند، تابع حاصل به عنوان تابع هزینه متغیر برای شبکه مورد نظر در نظر گرفته می‌شود. شایان یادآوری است که برای محاسبه هزینه‌های نهایی، این نوع توابع هزینه، عمدتاً از نوع لگاریتم خطی انتخاب می‌شوند، زیرا با مشتق گیری از تابع لگاریتم خطی نسبت به هر یک از متغیرهای توضیحی، کشش هزینه نسبت به آن متغیر به راحتی قابل محاسبه است.
- سومین مرحله، مشتق گیری از این تابع برای به دست آوردن تابع کشش هزینه است. با به دست آوردن این تابع، محاسبه تابع هزینه حاشیه‌ای، امکان پذیر می شود.
- چهارمین مرحله، بکارگیری تابع هزینه نهایی در بخش‌های مختلف شبکه راه آهن و به دست آوردن هزینه نهایی برای هر بخش است. آنگاه با میانگین‌گیری از این نتایج، هزینه نهایی کل شبکه راه آهن محاسبه می‌شود.

با در نظر گرفتن توضیحات فوق جانسون و نیلسون روشی مناسب برای محاسبه هزینه نهایی پیشنهاد کرده‌اند[4]. بر اساس این روش هزینه نهایی استفاده از زیرساختار راه آهن نسبت به میزان بهره‌برداری (U) که در اینجا تن کیلومتر عبوری (Tkm) در نظر گرفته می‌شود و با این فرض که هزینه نهایی نسبت به طول خط تغییر نکند، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MC = \frac{\partial C}{\partial tkm} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln tkm}\frac{C}{tkm} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln U}\frac{C}{tkm} \quad (۲)$$
$$= \beta^{u}\frac{C}{tkm}.$$

همان گونه که در بالا ذکر شد فرض شده است که هزینه نهایی نسبت به طول خط تغییر نکند، از این رو MC به عنوان هزینه نهایی ناشی از افزایش میزان استفاده برای طول خط، ثابت قلمداد می‌شود. بنابراین برای محاسبه هزینه‌های نهایی برای هر بخش از خطوط راه آهن داریم:

$$MC_i = \beta^{u}{}_i \frac{\hat{C}_i}{tkm_i} \quad (۳)$$

$\hat{C}_i$ هزینه تخمینی استفاده از زیرساختار و $\beta^{u}{}_i$ کشش هزینه‌های زیرساختاری نسبت به میزان تناژ عبوری است که با استفاده از مشتق گیری از تابع هزینه نسبت به میزان تناژ عبوری محاسبه می‌شود و نهایتاً برای محاسبه متوسط هزینه نهایی کل داریم:

$$MC = \sum_i \frac{tkm_i}{\sum_i tkm_i} MC_i \quad (٤)$$

۳. داده‌های راه‌آهن ایران

اطلاعات موجود براساس تقسیم بندی شبکه راه آهن ایران به ۱۲ ناحیه (ناحیه زاهدان به دلیل عدم وجود اطلاعات مالی حذف شده است)، و استخراج داده‌های لازم با مراجعه به سالنامه‌های آماری راه آهن و گزارشات اعتبارات تعمیرات و نگهداری جاری نواحی موجود در اداره کل خط شرکت راه آهن حاصل شده است. جدول ۱ فهرستی از اطلاعات گردآوری شده برای هر یک از نواحی و جدول۲ خلاصه متوسط ۵ ساله آمارهای مربوط به متغیرهای توضیحی مندرج در جدول ۱ را برای کل شبکه راه آهن ایران در طی سالهای ۱۳۷۹– ۱۳۸۳ را به قیمتهای ثابت سال ۱۳۷۸ نشان می‌دهد. (برای اطلاعات بیشتر به [۹] و [۱۰] مراجعه شود.)

٤. مدل هزینه حاشیه‌ای استفاده از زیرساختار راه آهن ایران

برای محاسبه هزینه‌های نهایی استفاده از زیرساختار راه آهن ایران از رویکرد اقتصادسنجی استفاده می‌کنیم. همان گونه که پیش از این نیز بیان شد مراحل مختلف در این رویکرد به طور کلی به این صورت‌اند که ابتدا باید یک تابع هزینه برای استفاده از زیرساختار (هزینه‌های جاری) که تعیین‌کننده هزینه‌های متغیر کوتاه مدت

استفاده از زیرساختار باشد را مشخص کرد. برای این کار متناسب با تقسیم بندی شبکه راه آهن با استفاده از اطلاعات مربوطه و تحلیل‌های رگرسیونی اقدام به تعیین تابع هزینه متغیر می‌کنیم. با مشخص شدن این تابع می‌توان با استفاده از مشتق گیری از آن نسبت به یک متغیر مناسب (تن- کیلومتر ناخالص عبوری) تابع مربوط به هزینه نهایی را محاسبه کرد. با استفاده از این تابع، هزینه‌های نهایی را برای هر بخش از شبکه خطوط راه آهن تعیین می‌کنیم و در نهایت هزینه نهایی کل را با میانگین‌گیری از هزینه‌های نهایی همه بخش‌ها با استفاده از متغیر وزنی مناسب (تن کیلومتر ناخالص هر بخش تقسیم بر تن کیلومتر ناخالص کل) محاسبه می‌کنیم.

٤-١ تابع هزینه متغیر استفاده از زیر ساختار راه آهن ایران

شناسایی تابع هزینه یکی از مهم‌ترین و در عین حال مشکل‌ترین مراحل در تحلیل رویکرد اقتصاد سنجی محسوب می شود. با توجه به این که تاکنون تابع هزینه‌ای مناسبی برای استفاده از زیرساختار راه آهن ایران ایجاد نشده است، ناگزیر ابتدا باید اقدام به شناسایی این تابع کرد. برای این کار سعی شده است که از توابع هزینه‌ای کشورهایی که دارای سابقه در محاسبه هزینه‌های حاشیه‌ای در زیرساختار راه آهن هستند، الهام گرفته و مدلی مناسب را برای زیرساختار راه آهن ایران ارایه کرد.
فرم تابعی که برای محاسبه هزینه‌های زیرساختاری راه آهن اتریش در نظر گرفته شده است، به صورت زیر است [5]:

$$\begin{aligned}&\log(K_i)=\alpha_0+\alpha_1\log(ton_i)+\\&\alpha_2\log(km_i)+\alpha_3\log(bh_km_i)+\alpha_4 r500_i\\&+\alpha_5\log(w_l_i)+\alpha_6\log(ton_i)\log(bh_km_i)\\&+\alpha_7\log(ton_i)steig10_i+\\&\alpha_8\log(ton_i)tunnel_i+\alpha_9\log(km_i)HN_i+\varepsilon_i.\end{aligned}\qquad (٥)$$

K_i هزینه‌های تعمیرات و نگهداری مربوط به بخش خطی i

ton_i تنهای ناخالص عبوری از بخش خطی i

Km_i طول بخش خطی i

HN برای خطوط اصلی صفر و برای خطوط فرعی یک

$bh-Km_i$ طول ریلهای ایستگاهی بخش خطی i

$r500_i$ قوسهای با شعاع کمتر از ۵۰۰ متر در بخش i (به عنوان درصدی از طول خط)

$steig10_i$ شیب‌های بالاتر از ۱۰ در هزار در بخش i (به عنوان درصدی از طول خط)

$tunnel_i$ طول تونلها در بخش i (به عنوان درصدی از طول خط)

$w-l_i$ طول سوزنها در بخش i بر حسب متر

$alter_i$ ریل‌های کهنه تر از از ۱۵ سال در بخش i (به عنوان درصدی از طول خط)

فرم تابعی دیگری که در مطالعات جانسون و نیلسون در رابطه با محاسبه هزینه نهایی راه آهن کشور سوئد[6] و کشورهای سوئد و فنلاند[4] در نظر گرفته شده است، بر اساس تابع هزینه‌ای لگاریتمی Berndt و Christensen [7] است.
این فرم تابعی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}&\ln C_{ijt}=\alpha+\beta_y y_{ijt}+\beta_u u_{ijt}+\beta_{yy}{y_{it}}^2\\&+\beta_{uu}{u_{ijt}}^2+\beta_{yu}y_{ijt}u_{ijt}+\sum_{k=1}^{K}\beta_k p_{kt}+\\&\sum_{k=1}^{K}\gamma_{ky}y_{ijt}p_{kt}+\sum_{k=1}^{K}\gamma_{ku}u_{ijt}p_{kt}\\&+\frac{1}{2}[\sum_{k=1}^{K}\sum_{k=1}^{K}\gamma_{kh}p_{kt}p_{ht}]+z_{ijt}\beta_z+\varepsilon_{ijt}\\&=x'_{ijt}\beta+\varepsilon_{ijt}\end{aligned}\qquad (٦)$$

که در آن:

C_{ijt} هزینه نگهداری،

P_{kt} قیمت نهایی

برای فاکتور k که به عنوان فاکتور ورودی مطرح می باشد، نظیر:

نرخ ساعتی کار نیروی انسانی،

نرخ ساعتی استفاده از ماشین آلات،

نرخ مواد و ... ،

Y_{ijt} طول خط،

U_{ijt} سطح استفاده (وزن ناخالص)

Z_{ijt} یک کمیت برای متغیرهای تکنیکی خط (تعداد سوزنها ، تعداد تونلها و ...)، $k=1,...,K$ و $P_{kt}=\ln P_{kt}$ و $u_{ijt}=\ln U_{ijt}$ و $y_{ijt}=\ln Y_{ijt}$ و $\{\varepsilon_{ijt}\}$ متغیری مستقل و بیانگر خطاست.

برای به دست آوردن تابعی مناسب با هدف محاسبه هزینه نهایی و با در نظر گرفتن فرم توابعی که در کشورهای مطرح (سوئد، فنلاند و اتریش) استفاده شده‌اند و اطلاعات موجود برای راه آهن ایران، اقدام به جستجو برای رسیدن به فرم تابعی مناسب شد.

معیار این جستجو به این صورت بود که اولاً تابع مورد نظر در پیش بینی هزینه مناسب باشد، که برای این منظور تحلیل‌های آماری و رگرسیونی مورد استفاده قرار می گیرند و ثانیاً و مهم‌تر در این‌جا این که هدفی را که محاسبه این تابع در پی آن است، یعنی محاسبه هزینه‌های نهایی محقق شود، که به دست دادن کشش هزینه‌ای مثبت و کوچک‌تر از یک منظور مورد نظر است.

با وارد کردن اطلاعات به دست آمده از راه آهن ایران و انجام تحلیل‌های آماری فرم تابعی که برای زیرساختار راه آهن ایران در نظر گرفته شده است، به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}\ln C_i = {} & \alpha_0 + \beta_1 \ln(ton_i) + \\ & \beta_2 \ln(km_i) + \beta_3 \ln(steig_i) + \beta_4 \ln(speed_i) \\ & + \beta_5 \ln(bridge_i) + \beta_6 \ln(km_i)\ln(bridge_i) + \varepsilon_i\end{aligned} \qquad (۷)$$

همان گونه که پیش از این نیز اشاره شد، متغیرهای توضیحی در آن به صورت زیراند:

C_i = هزینه متغیر زیرساختاری بخش i،

ton_i = تناژ ناخالص عبوری از بخش i،

km_i = کیلومتراژ بخش i،

$steig_i$ = حداکثر شیب و فراز در بخش i،

$speed_i$ = حداکثر سرعت در بخش i،

$bridge_i$ = متراژ پلها در بخش i و

ε_i = میزان خطاء در تخمین هزینه‌های بخش i.

با توجه به اطلاعات در دسترس، این تابع تنها هزینه‌های تعمیرات و نگهداری جاری را در نظر می‌گیرد و سرمایه گذاریهای جایگزینی زیرساختار راه آهن در آن در نظر گرفته نمی‌شود.

با در نظر گرفتن این فرم کلی و وارد کردن داده‌های مربوط به نواحی مختلف راه آهن ایران و انجام تحلیل‌های رگرسیونی، متغیرهای نامناسب مرحله به مرحله از مدل حذف می‌شوند تا این که در نهایت یک تابع مناسب به عنوان تابع هزینه حاصل شده است. جدول‌های ۳، ٤ و ٥ به ترتیب خلاصه عملیات آماری، تحلیل واریانس و تخمین ضرایب را برای بهترین ٤ مدل برازش شده نمایش می‌دهند.

از مدلهای یادشده، مدلهای شماره ۱،۲،۳ از شرایط خوبی برخوردارند، که درمیان آنها مدل شماره ۳ به دلیل P-value کمتر به عنوان بهترین انتخاب در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{aligned}\ln(C_i) = {} & 20.102 + 0.161\ln(ton_i) \\ & + 0.497\ln(steig_i) + 0.608\ln(speed_i) \\ & - 0.044\ln(km_i)\ln(bridge_i)\end{aligned} \qquad (۸)$$

٤-۲ محاسبه هزینه‌های نهایی استفاده از زیرساختار راه آهن ایران

همان‌گونه که پیش از این نیز اشاره شد، بنا به تعریف هزینه نهایی برای هر بخش از راه آهن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MC_i = \beta^u{}_i \frac{\hat{C}_i}{tkm_i} \qquad (۹)$$

که در آن:

$\hat{C}_i$ هزینه زیرساختاری تخمینی است که با استفاده از تابع رگرسونی به دست می‌آید و $\beta^u{}_i$ کشش هزینه‌های زیرساختاری نسبت به میزان تناژ عبوری با استفاده از مشتق‌گیری همین تابع نسبت به میزان تناژ عبوری محاسبه می‌شود که در این حالت مقدار آن برابر است با:

$$\beta_i{}^u = \frac{\partial \ln C_i}{\partial \ln ton_i} = 0.161 \qquad (۱۰)$$

در جدول مربوطه مقادیر مربوط به میزان استفاده به صورت میزان تناژ عبوری (tkm_i)، نتایج حاصل از محاسبه هزینه‌های زیرساختاری تخمینی $(\hat{C}_i)$، کشش هزینه‌های زیرساختاری نسبت به میزان استفاده $(\beta^u{}_i)$ و هزینه‌های نهایی تخمینی برای هر بخش خطی آورده شده است:

به دست ندادن کشش منفی نسبت به میزان استفاده یکی از عاملهای اصلی در انتخاب توابع هزینه‌ای است، زیرا کشش منفی نشان دهنده هزینه نهایی منفی است، چیزی که در عمل هیچگاه رخ نمی‌دهد، به همین دلیل به دست ندادن کشش منفی نسبت به میزان استفاده، در جستجوی توابع مناسب برای تخمین هزینه‌های

زیرساختاری، معیار مهمی در انتخاب فرم تابعی مطلوب است، معیاری که ما نیز در تخمین تابع هزینه‌ای از آن استفاده کردیم، چنان که با داده به دست آمده از راه آهن ایران فرم تابعی ارایه شده در این جا نسبت به دیگر گونه‌های تابعی تا حد زیادی این شرط را تامین می‌کند. همان طور که از جدول فوق مشاهده می‌شود، مقادیر مختلف برای هزینه حاشیه ای در نواحی مختلف به دست می‌آید، که به این ترتیب امکان مشخص کردن قیمت در هر ناحیه امکان پذیر است، در این حالت تنها میزان وزن ناخالص هر قطار و کیلومتراژی که هر قطار در هر ناحیه طی می‌کند، مورد نیاز است. همان طور که از جدول ٦ و نمودار ١ مشخص است، هرچه میزان استفاده بیشتر باشد، مقدار هزینه نهایی تخمینی نیز کمتر خواهد شد:

جدول ١. اطلاعات گردآوری شده برای هر ناحیه

متغیر	توضیح
C_i	میلیون ریال هزینه متغیر زیرساختار بخش i
ton_i	میلیون تن ناخالص عبوری از بخش i
km_i	کیلومتراژ بخش i
$steig_i$	حداکثر شیب و فراز در هزار در بخش i
$speed_i$	حداکثر سرعت بر حسب *کیلومتر در ساعت* در بخش i
$bridge_i$	متراژ پلها در بخش i

جدول ٢. خلاصه متوسط ٥ ساله آمارهای نواحی ١٢ گانه شبکه راه آهن ایران در طی سالهای ١٣٧٩- ١٣٨٣

	C	*ton*	*km*	*Steig*	*speed*	*Bridge*
میانگین	٢٩٩٨٦/٥	٧٠٢٨/٧	٦١١/٦	١٦/٢٥	١١٠/٨	٢١٤٧٤/٣
بیشینه	٤٧٠٨٥/٩	٢٣٢٦٨/٦	١١٥٠	٢٩	١٤٠	٩٤٦٣٢
کمینه	١٥٦٤٨/٩	١٥٥٥/٣	٢١٥	٥	٦٠	٦٨٦٥
خطای استاندارد	٩٩٦٥/٥	٦٢٦٧/٣	٢٨١.٧	٦/٥	٢٦/٨	٢٤٢٠٠/٩
مجموع کل	٣٥٩٨٣٨/١	٨٤٣٤٤/٣	٧٣٣٩	–	–	٢٥٧٦٩٢

جدول ٣. خلاصه عملیات آماری

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.783[a]	.614	.150	.3074091082
2	.783[b]	.614	.292	.2806264479
3	.765[c]	.586	.349	.2691238424
4	.726[d]	.527	.349	.2690353442
5	.658[e]	.433	.308	.2775111608
6	.580[f]	.336	.270	.2849446006

a. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed), Ln(ton), Ln(km), Ln(bridge)

b. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed), Ln(ton), Ln(bridge)

c. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed), Ln(ton)

d. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed)

e. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig)

f. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige)

جدول ٤. جدول تحلیل واریانس

ANOVA[g]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.751	6	.125	1.324	.388[a]
	Residual	.473	5	.095		
	Total	1.223	11			
2	Regression	.751	5	.150	1.907	.227[b]
	Residual	.473	6	.079		
	Total	1.223	11			
3	Regression	.716	4	.179	2.473	.140[c]
	Residual	.507	7	.072		
	Total	1.223	11			
4	Regression	.644	3	.215	2.968	.097[d]
	Residual	.579	8	.072		
	Total	1.223	11			
5	Regression	.530	2	.265	3.443	.078[e]
	Residual	.693	9	.077		
	Total	1.223	11			
6	Regression	.412	1	.412	5.069	.048[f]
	Residual	.812	10	.081		
	Total	1.223	11			

a. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed), Ln(ton), Ln(km), Ln(bridge)

b. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed), Ln(ton), Ln(bridge)

c. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed), Ln(ton)

d. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig), Ln(speed)

e. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige), Ln(steig)

f. Predictors: (Constant), Ln(km)Ln(brige)

g. Dependent Variable: Cost

جدول۵. تخمین ضرایب، استاندارد خطاها، مقادیر t

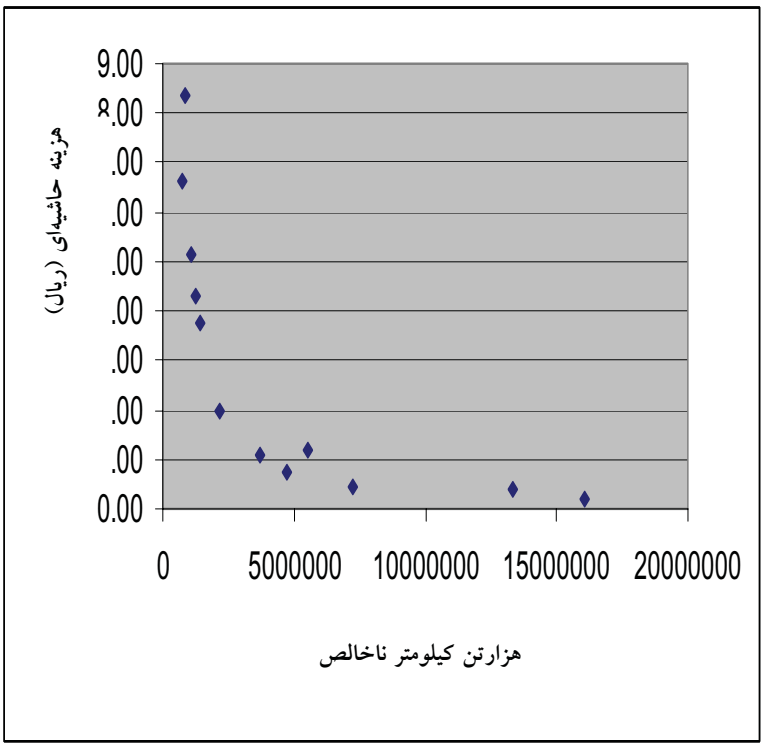
Coefficients [a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	17.697	51.172		.346	.744
	Ln(ton)	.137	.192	.314	.710	.509
	Ln(km)	.065	8.530	.095	.008	.994
	Ln(steig)	.524	.377	.692	1.389	.223
	Ln(speed)	.940	1.051	.768	.894	.412
	Ln(bridge)	.281	5.603	.649	.050	.962
	Ln(km)Ln(brige)	-.077	.875	-1.914	-.087	.934
2	(Constant)	18.083	4.517		4.003	.007
	Ln(ton)	.136	.172	.313	.793	.458
	Ln(steig)	.526	.268	.694	1.966	.097
	Ln(speed)	.946	.691	.773	1.369	.220
	Ln(bridge)	.239	.361	.551	.662	.533
	Ln(km)Ln(brige)	-.070	.042	-1.748	-1.653	.149
3	(Constant)	20.102	3.193		6.295	.000
	Ln(ton)	.161	.161	.369	.997	.352
	Ln(steig)	.497	.253	.656	1.964	.090
	Ln(speed)	.608	.448	.497	1.359	.216
	Ln(km)Ln(brige)	-.044	.017	-1.109	-2.680	.032
4	(Constant)	22.657	1.906		11.884	.000
	Ln(steig)	.349	.205	.461	1.703	.127
	Ln(speed)	.558	.445	.456	1.255	.245
	Ln(km)Ln(brige)	-.035	.014	-.877	-2.564	.033
5	(Constant)	24.838	.810		30.655	.000
	Ln(steig)	.236	.190	.312	1.242	.246
	Ln(km)Ln(brige)	-.023	.010	-.575	-2.292	.048
6	(Constant)	25.489	.634		40.194	.000
	Ln(km)Ln(brige)	-.023	.010	-.580	-2.251	.048

a. Dependent Variable: Cost

جدول ٦. میزان استفاده، هزینه‌های تخمینی، کشش میزان استفاده و هزینه‌های نهای ناشی از استفاده از زیرساختار نواحی مختلف خطی در سال ۱۳۸۳

ردیف	ناحیه	میزان استفاده (tkm_i)	هزینه تخمینی (ریال) $(\hat{C}_i)$	(MC_i) هزینه نهایی (ریال)
۱	تهران	۱۳۳۱۷۷٤٤٦۲۳	۳۱٦۰۷۷٤۰۸٤۳/۵۳	۰/۳۸
۲	اراک	۱۲٦۰۳٦۸۳٤۳	۳۳۷۸٤۲۱٦۷۸۵/۰۵	٤/۳۲
۳	لرستان	۱۰۸٦٤۳۹۲۹۰	۳٤۸۲۸۷۵۱۹٤۱/٦٦	۵/۱٦
٤	جنوب	۲۱٤۱۵۰۰٤۱٦	۲٦۵۰٦۰٦۷۳۷۸/۸۲	۱/۹۹
۵	شمال شرق	٤۷۵۷۰٤٦۳۰۰	۲۲٤۸۸۳۵۸۱۵٦/٤٦	۰/۷٦
٦	خراسان	۵۵۰۱٦٤۰۸۷۲	٤۰۷۵۷۲۷۰۳۲۰/۰۰	۱/۱۹
۷	شمال غرب	۱۳۹٦۱۷۷۸۳٦	۳۲٤۸۵۵۹۳۸۳۹/۳۵	۳/۷۵
۸	آذربایجان	۷۲٦۳۱۱۵۵۷	۲۹۸۲۱۲۲٤۰۳٤/۹۹	٦/٦۱
۹	شمال	۸۳۲۳۱۵۰۷٤	٤۳۲۷۵۱۹۲۵۰۰/۰٤	۸/۳۷
۱۰	اصفهان	۳۷۰٤۵۲۱۲۰۵	۲٤٦٤۱۸۸۲۱۸۹/۰۳	۱/۰۷
۱۱	جنوب شرق	۷۲٦۲۹۸٤۸٤۲	۲۱۱۳۷۵۵۰٤۱۵/٤۱	۰/٤۷
۱۲	هرمزگان	۱٦۰۷۸۵۸۸۷۸۰	۱۹٦۸۰۹۷۸۰٦۵/۰۹	۰/۲۰



نمودار۱. رابطه بین هزینه نهایی و میزان استفاده از زیر ساختار راه‌آهن ایران

جدول۷. مقایسه کشش مربوط به میزان استفاده در مطالعات مربوط به رویکرد اقتصادی

ملاحظات	تخمین کشش هزینه تناژ ناخالص عبوری	کشور – سال- مرجع	مطالعه
تنها در خطوط اصلی	۰/۱۳ -۰/ ۲۸	سوئد- ۱۹۹۸- [٦]	Johansson and Nilsson
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۰۸ -۰/۱۳	فنلاند- ۲۰۰۲- [۸]	Tervonen and Idström
در تمامی خطوط با ملاحظه هزینه‌های نگهداری تعمیرات و نوسازی	۰/۲۷ – ۰/۳۲		
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱٦۹	سوئد- ۲۰۰٤- [٤]	Johansson and Nilsson
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱٦۷	فنلاند- ۲۰۰٤ - [٤]	Johansson and Nilsson
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱۰۵	اتریش- ۲۰۰۲ - [٥]	Munduch et.al.,
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱٦۱	ایران - ۲۰۰٤	پژوهش حاضر

جدول۸ . مقایسه میانگین هزینه‌های نهایی به ازای هزار تن کیلومتر ناخالص در مطالعات مربوط به رویکرد اقتصادی

ملاحظات	تخمین هزینه نهایی بر حسب یورو به ازای هر هزارتن کیلومتر ناخالص	کشور – سال- مرجع	مطالعه
تنها در خطوط اصلی	۰/۳۲	سوئد- ۱۹۹۸- [٦]	Johansson and Nilsson
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱٤	فنلاند- ۲۰۰۲- [۸]	Tervonen and Idström
در تمامی‌خطوط با ملاحظه هزینه‌های نگهداری تعمیرات و نوسازی	۱/۲۳		
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱۳	سوئد- ۲۰۰٤- [٤]	Johansson and Nilsson
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۲٤	فنلاند- ۲۰۰٤ - [٤]	Johansson and Nilsson
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۵۵	اتریش- ۲۰۰۲ - [٥]	Munduch et.al.,
در تمامی خطوط تنها با ملاحظه هزینه‌های نگهداری و تعمیرات	۰/۱۲	ایران - ۲۰۰٤	پژوهش حاضر

جدول فوق نشان می‌دهد که در مطالعاتی که در آنها تابع هزینه تنها شامل هزینه‌های نگهداری است، هزینه‌های نهایی به ازای هر هزار تن کیلومتر ناخالص از ۰/۱۳ یورو (سوئد) تا ۰/۵۵ یورو (اتریش) تغییر می‌کند. تنها مورد فنلاند در سال ۲۰۰۲ است که شامل هزینه‌های جایگزینی نیز می‌شود. در این مورد میانگین هزینه نهایی بسیار بزرگ‌تر از دیگر موارد یاد شده است. بنابراین مورد فنلاند نشان می‌دهد که هزینه‌های جایگزینی تأثیری مهم در هزینه‌های نهایی دارند.

۵. نتیجه‌گیری

این مقاله تحلیلی اقتصادی از هزینه‌های تعمیرات و نگهداری زیرساختار راه آهن ایران را با هدف به دست آوردن هزینه‌های نهایی استفاده از زیرساختار ارایه می‌کند. تحلیل بر پایه داده‌های سال ۱۳۸۳ که به تفکیک نواحی ۱۲ گانه راه آهن ایران تهیه شده، انجام پذیرفته است. بر پایه نتایج حاصل، هزینه نهایی ناشی از استفاده کل شبکه راه آهن ایران برای سال ۱۳۸۳ برابر ۱/۰۰۱۱ ریال به ازای یک تن کیلومتر ناخالص و یا به عبارتی ۱۰۰۱ ریال به ازای هزار تن کیلومتر ناخالص محاسبه شد. البته این اعداد به تفکیک نواحی مختلف نیز محاسبه شده‌اند که در آنها ناحیه شمال با هزینه ۸/۳۷ و ناحیه هرمزگان با هزینه ۰/۲۰ به ترتیب بیشترین و کمترین هزینه‌های نهایی را به ازای عبور یک تن کیلومتر ناخالص به دست دادند.

محاسبه هزینه‌های نهایی و بکارگیری آن یک پروژه زمان بر و درعین‌حال نیازمند صرف هزینه‌های زیادی است، مهم‌ترین هزینه در این بخش هزینه‌های مربوط به ایجاد پایگاههای داده‌ای دقیق و بهنگام است چنان که دقت در نتایج حاصل ارتباط مستقیمی به دقت و جزیی بودن اطلاعات مربوطه دارد، به این ترتیب مهم‌ترین پیشنهادی که در خاتمه این تحقیق می‌توان به آن اشاره کرد، این است که با توجه به سیاستهای دولت ایران مبنی بر آزادسازی صنعت راه آهن از انحصار دولتی، به عنوان اولین و مهم‌ترین اقدام در این مسیر توجه هر بیشتر به ساماندهی سیستمهای اطلاعاتی و ثبت های مالی و تغییر رویکرد جمع آوری و ثبت اطلاعات از رویکرد ناحیه‌ای به رویکرد بلاکی شود که در آن برای به دست آوردن اطلاعات جزیی شده که نه تنها در محاسبه هزینه‌های نهایی بلکه در بسیاری موارد دیگر منشاء سودمندی فراوان خواهد شد، دست اندرکاران امر می‌توانند توجه ویژه‌ای به این مهم داشته باشند. همچنین لزوم انجام تحقیقاتی جامع در به دست آوردن توابع هزینه‌ای مناسب برای شرایط راه آهن ایران به عنوان یکی دیگر از نیازمندی‌های اساسی در پیش بینی هزینه‌های زیرساختاری و انجام برنامه‌ریزی‌های صحیح، هر چه بیشتر احساس می‌شود.

٦. منابع

1. Nash, C. and Matthews, B. (2002) "British rail infrastructure case study", Annex A4: Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency, Leeds: University of Leeds.

2. European Union (2001) "Directive 2001/14/EC of the European Parliament and of the Council of 26 February 2001 on the Allocation of Railway Infrastructure Capacity and the Levying of Charges for the Use of Railway Infrastructure and Safety Certification", Brussels.

3. Thomas, J. (2002) "EU task force on rail infrastructure charging: summary findings on best practice in marginal cost pricing", Third Seminar of the Imprint - Europe Thematic Network: Implementing reform on transport pricing: constraints and solutions; learning from best practice, Brussels, 23rd - 24th October 2002.

4. Johansson, P. and Nilsson, J.E. (2004) "An economic analysis of track maintenance costs" Transport Policy, 11, pp. 277–286.

5. Munduch, G., Pfister, A., Sögner, L. and Stiassny, A. (2002) "Estimating marginal costs for the Austrian railway system", Working Paper No. 78, February, Vienna: University of Economics and Business Administration.

6. Johansson, P., Nilsson, J.E. (1998) "Marginalkostnad för banslitage", CTS/T and S Working Papers 7.(in Swedish language)

7. Berndt, E., Christensen, L. (1972) "The translog function and the substitution of equipment, structures and labor in US

manufacturing,1929–1968", Journal of Econometrics, 1,pp. 81–114.

8. Tervonen, J. T. Idström, T. (2004) "Marginal rail infrastructure costs in Finland 1997 – 2002", Helsinki: Finnish Rail Administration, Publication A 6..

۹. سالنامه‌های آماری شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران (*www.rail.ir*)

۱۰. گزارشات عملکرد واحد برنامه ریزی و کنترل پروژه اداره کل خط راه آهن جمهوری اسلامی ایران: " اعتبارات تعمیرات و نگهداری جاری زیرساختار نواحی مختلف راه آهن ".

Estimating Marginal Costs for the Infrastructure of Iranian Railway Network using an Econometric Approach

K. Ghoseiri, Assistant Professor, Department of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
F. Jalilvand, B.Sc. Graduate, Department of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
E-mail: ghosieri@iust.ac.ir

ABSTRACT
The additional costs generated when an additional train uses the Railway infrastructure is defined as the marginal cost of usage of the network. This index can be divided into five main types: use-related infrastructure wear and tear costs, congestion costs, scarcity costs, external accident costs and environmental costs. Wear and tear of railway track is caused by a combination of usage-related and environmental-related damage. Use-related wear and tear costs are that proportion of the inspection, maintenance and renewal costs which result from trains using, and hence causing damage to, the track.
The main goal for this research is estimating the marginal costs for utilizing the Infrastructure of Iranian Railway Network. As an important economical index in rail operations, the marginal cost can be applied to determine infrastructure access charge as well as the freight and passenger tariffs in Iranian railway transportation. In this research, we focus on use-related wear and tear costs for Railway infrastructure marginal cost. This research identifies the variables transported grass-ton, maximum track slope, and maximum line speed as the principal cost determinant and based on the five years averaging of track maintenance cost observations of the twelve Iranian rail sections during the years from 2000 to 2004 cost elasticity with respect to grass-tons is 0.161 and the marginal cost equals to 0.12 Euro per thousands grass-tons. In this research it is assumed that marginal cost doesn't change with increase in length of lines.
This paper is organized as follows: section 1 presents an introduction to marginal cost and its role on the privatization as well as access pricing of the networked infrastructures. Section 2 reviews models and approaches to estimate marginal cost. In this section, a definition for marginal cost of utilization of the railway infrastructure network is presented. Section 3 illustrates the data structure that is used for modeling the Iranian railway network. The identified model and causal variables contributing in the Marginal cost estimation of Iranian railway network is presented in section 4 of the paper. This section includes a comprehensive review of the cost functions adopted by Austria, Sweden, and Finland Railways. Pitfalls and strengths of the fun cost functions are investigated and results for Iranian Railway network is compared with those of the selected countries.
Section 5 concludes the paper and consist of some suggestion for further researches.

Keywords: Marginal cost, railway infrastructure, cost function; cost elasticity, wear and tear costs.