فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال چهارم، شماره‌ی ۱۴، تابستان ۱۳۹۴
صفحات: ۱۶۷-۱۹۲

تحلیل اقتصادی هزینه‌های راه‌آهن سریع‌السیر در سرعت‌های مختلف به‌منظور پیاده‌سازی سرعت بهینه در ایران

زهرا علیمرادی[1*]
عبدالحمید اشراق‌نیای‌جهرمی[2]
میثم نعیمی[3]
حسین امین صدرآبادی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۲

چکیده

تحقیق حاضر به بررسی اقتصادی هزینه‌های راه‌آهن سریع‌السیر در سرعت‌های مختلف بهره‌برداری پرداخته، بر اساس تغییر هزینه‌ها پیشنهادی در جهت سرعت بهینه بهره‌برداری ارائه می‌دهد. تعیین سرعت بهینه بهره‌برداری‌از دیدگاه اقتصادی همواره موضوعی چالش‌برانگیز برای پیاده‌سازی راه‌آهن سریع‌السیر در ایران بوده است. مقاله حاضر تلاش می‌کند تا تأثیر عامل سرعت بر سوددهی و افزایش بازدهی صنعت ریلی را، با استفاده از تحلیل‌های اقتصادی و ارزیابی عوامل تأثیرگذار بر این مسأله شناسایی نماید. با توجه به در دسترس بودن اطلاعات سرعت و بهره‌برداری در شبکه حمل‌ونقل ریلی سریع‌السیر اروپا، مجموعه داده‌های پراکنده این شبکه به‌عنوان مطالعه موردی گردآوری‌شده و مبنای محاسبات اقتصادی قرارگرفته است. سپس، نحوه محاسبه متوسط سرعت با توجه به نوع قطار، مسافت، زمان‌های تلف‌شده و زمان سیر قطار، ارائه گردیده است. در ادامه هزینه‌های بهره‌برداری متناظر با سرعت‌های مختلف با لحاظ کردن اثرات زمان‌بندی پروژه‌ها و ارزش زمانی پول محاسبه‌شده است. درنهایت با جمع‌بندی اطلاعات حاصل از آنالیزهای انجام‌شده، سرعت تقریبی ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت به‌عنوان سرعت بهینه شبکه حمل‌ونقل ریلی سریع‌السیر بر مبنای مطالعه موردی تعیین گردیده است.

کلیدواژه‌ها: راه‌آهن سریع‌السیر، سرعت، هزینه‌یابی، اقتصاد

طبقه‌بندی JEL: L92, R42, R51

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف (*نویسنده مسئول) **Email:** z_alimoradi@mehr.sharif.ir
۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف **Email:** eshragh@sharif.edu
۳. دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران **Email:** meysam_naeimi@yahoo.com
۴. معاون پژوهشی، مرکز آموزش و تحقیقات راه آهن جمهوری اسلامی **Email:** aminsadr@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه مسأله تقاضای افزاینده حمل‌ونقل، افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، کاهش مصرف انرژی، توجه به مسائل زیست‌محیطی، جلب رضایت مشتری و غیره ازجمله مباحث مهم در استراتژی تحقیقاتی صنایع ریلی محسوب می‌گردد. گسترش روزافزون تردد مردم و افزایش رقابت میان انواع مختلف سیستم‌های حمل‌ونقل و نقش بسزای زمینه‌های زیست‌محیطی در ارزیابی این سیستم‌ها، کشورهای توسعه‌یافته را به ایجاد راه‌آهن سریع‌السیر جذب نموده است که مبین تأثیرات خوب اقتصادی، زیست‌محیطی، ایمنی و راحتی مسافران می‌باشد. یکی از معیارهای توسعه کشورها، میزان و چگونگی بهره‌مندی از حمل‌ونقل ریلی روان، ایمن و پرسرعت است چراکه موجب استفاده بهینه از انرژی، حفظ محیط‌زیست و نیز افزایش ضریب آرامش روانی و سلامت جانی شده و بهره‌گیری مطلوب از موقعیت سرزمینی را در پی خواهد داشت.

هدف اصلی هر صنعت مرتبط با حمل‌ونقل همواره این بوده است که با حداقل منابع موجود، حداکثر استفاده را از آن سیستم حمل‌ونقل نموده و بیشترین خدمات را به کاربران آن سیستم حمل‌ونقلی ارائه نماید؛ بنابراین سوددهی و بازدهی بالا هدف اصلی هر شرکت یا سازمان می‌باشد.

یکی از مشکلاتی که ایجاد راه‌آهن سریع‌السیر در بردارد، هزینه‌های بسیار بالای آن نسبت به راه‌آهن‌های متعارف می‌باشد که در مقابل درآمدهای مستقیم ناشی از آن به‌مراتب بالاتر است و لذا توجیه سرمایه‌گذاری در چنین پروژه‌های بزرگی معمولاً از دیدگاه بنگاه‌های اقتصادی، ضعیف‌تر از توجیه طرح‌های متعارف است. ولی حتی سیاست‌هایی که به موضوعات اقتصادی حمل‌ونقل توجه چندانی ندارند علاقه زیادی به پیاده‌سازی تکنولوژی‌های مرتبط با راه‌آهن سریع‌السیر از خود نشان نمی‌دهند. درصورتی‌که با کاهش هزینه‌ها در راه‌آهن سریع‌السیر این امکان وجود دارد که سیاست‌گذاران را به سمت فناوری نوین راه‌آهن سریع‌السیر سوق داد. مقاله حاضر تلاش می‌کند که با توجه به اهمیت موضوع سرعت در حمل‌ونقل ریلی و تأثیر آن بر سوددهی و افزایش بازدهی صنعت ریلی، ارتباط مؤثری را بین پارامترهای تأثیرگذار بر این مسأله شناسایی نماید؛ بنابراین با بررسی و مطالعه اثر سرعت بهره‌برداری حمل‌ونقل ریلی آنالیزهای اقتصادی مربوطه انجام و ارتباط بین این دو موضوع ارزیابی گردیده است.

برای راه‌اندازی راه‌آهن سریع‌السیر در کشور داشتن دورنمایی از هزینه‌های راه‌اندازی و ارتباط آن با مؤلفه‌های مرتبط امری حیاتی است. مشخص است که بدون داشتن برنامه مبتنی بر تجربیات دیگر کشورها دستیابی به تکنولوژی راه‌آهن سریع‌السیر، صرفاً اقدامی فنی نبوده و در امر خطیر انتقال مناسب تکنولوژی و مدیریت آن، بررسی مدیریتی و اقتصادی خطوط ریلی پرسرعت دیگر کشورها و بررسی محدودیت‌های موجود و علل اصلی تفاوت داشتن هزینه‌ها لازمه داشتن دورنمای واقعی می‌باشد. در بسیاری از این پروژه‌ها مسائل مالی از مشکلات اساسی اجرای طرح شده است. در بخش ریلی کشور جدا از کمبودهایی که هرروزه بدان پرداخته می‌شود، موضوع مهم راه‌اندازی یک خط سریع‌السیر با استانداردهای جهانی است. بررسی این موضوع ضروری است که چگونه با حداقل منابع موجود، حداکثر استفاده را از آن سیستم حمل‌ونقل فراهم‌شده و

بیشترین خدمات را به کاربران آن سیستم حمل‌ونقلی ارائه می‌نماید. به همین دلیل همواره ارتباط بین سرعت و هزینه به‌عنوان یک سؤال اساسی در صنعت راه‌آهن مطرح بوده است. لذا در این تحقیق ارتباط بین سرعت و انواع هزینه‌ها را با جزئیات تشریح شده است.

۲. پیشینه موضوع

تاکنون مطالعات زیادی درزمینه‌ی مباحث اقتصادی و مهندسی هزینه در راه‌آهن انجام‌شده و هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری‌از انواع سیستم‌های ریلی اعم از باری و مسافری ارزیابی گردیده است (Mizuno *et al.*, 1998; Forkenbrock, 2001; Caves *et al.*, 1981b). تأمین مالی پروژه‌های راه‌آهن‌های پرسرعت از محل بودجه‌های عمومی امکان‌پذیر نمی‌باشد بلکه احداث راه‌آهن‌های سریع‌السیر نیاز به مشارکت و جذب سرمایه با مشارکت وزارتخانه‌های دیگر را نیز می‌طلبد. نگرش نسبت به سرمایه‌گذار در این بخش نسبت به سایر طرح‌ها متفاوت است. در برخی کشورها برای تأمین هزینه‌های بالای این نوع راه‌آهن از خصوصی‌سازی استفاده می‌کنند. همچنین بسیاری از محققین خصوصی‌سازی راه‌آهن سریع‌السیر را در بسیاری از کشورها موردبررسی قرار داده‌اند (LIN, 1995; Alexandersson, 2009; Fukui, 1992). ورود تکنولوژی راه‌آهن‌های سریع‌السیر نیاز به یک نگرش جامع و یکپارچه و همکاری مقامات دولتی و نیز اهتمام به جذب سرمایه‌گذار در این بخش می‌باشد. مطالعات استراتژیک و تبیین یک سیاست کلی و نیز اولویت‌بندی اجرای طرح‌های سریع‌السیر می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها مفید باشد. با توجه به جدید بودن این تکنولوژی، مبحث بهره‌وری راه‌آهن سریع‌السیر موضوع مهمی است که نیاز به مطالعه و بررسی‌های میدانی با مشاهده و آنالیز تجربیات سایر کشورها خواهد داشت (Sánchez-Borràs *et al.*, 2010).

برای دستیابی به توسعه اقتصادی پایدار، استفاده مناسب از عوامل تولید و برنامه‌ریزی برای افزایش بهره‌وری در شرایطی که اقتصاد کشور با محدودیت عوامل تولید مواجه است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Hernández & Jiménez, 2014). حصول به این هدف مستلزم سنجش صحیح بهره‌وری عوامل تولید و ارائه راهکارهای مطلوب برای افزایش آن می‌باشد. در برخی تحقیقات با توجه به نقش و جایگاه بهره‌وری در فرایند توسعه اقتصادی، الگوهای سنجش بهره‌وری طی چند دهه اخیر تغییرات زیادی کرده است و روش‌های الگوهای اقتصادسنجی برای ارزیابی و سنجش آن مطرح‌شده است (Solow, 1962; Caves *et al.*, 1982).

موضوع هزینه‌یابی در خطوط راه‌آهن از دیرباز مدنظر محققان بسیاری قرارگرفته است. مطالعات اقتصادی راه‌آهن متعارف و مقایسه آن با دیگر کشورها در مراجع (موحدی و حسینی، ۱۳۸۹؛ خرازی و اویسی، ۱۳۸۷؛ پورکاظمی و سلطانی، ۱۳۸۶؛ پورکاظمی و رضایی، ۱۳۸۲؛ پورکاظمی، ۱۳۸۱؛ اقدسی

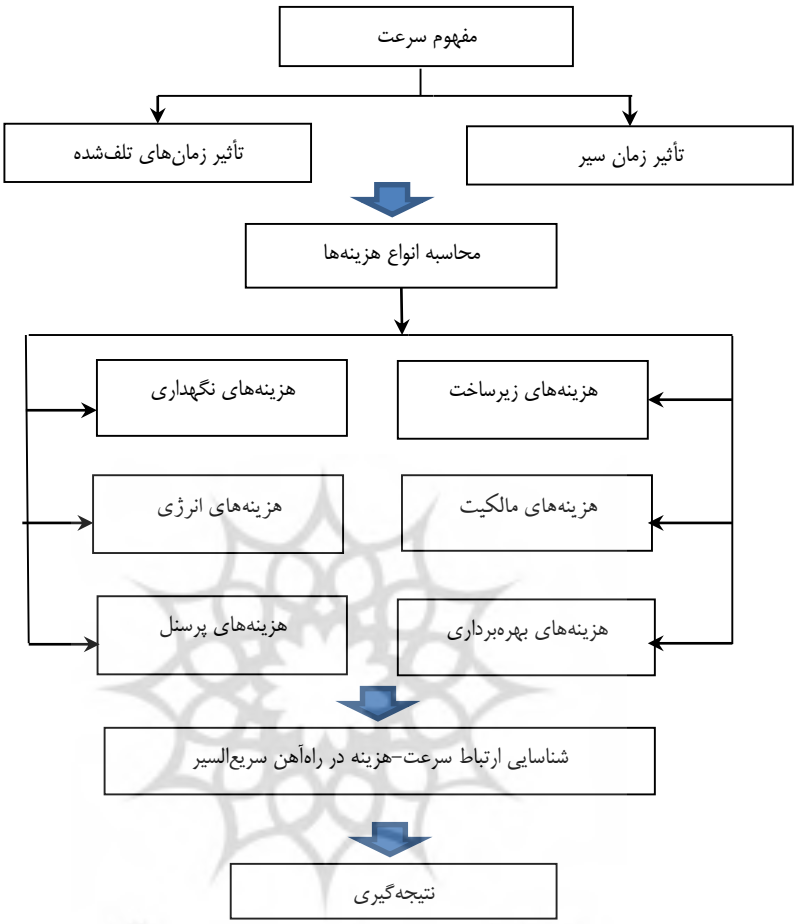
و غلامی، ۱۳۸۲) بررسی‌شده است. گزارش‌های اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن (UIC)، نیز ارتباط بین عملیات ریلی، سرعت خطوط و برخی هزینه‌ها را در شبکه حمل‌ونقل ریلی اروپا مشخص می‌کنند (Garcia & Españoles, 2010). لیکن اکثر تحقیقات گذشته راه‌آهن سریع‌السیر، به موضوع شبیه‌سازی فنی و نیـز بحث منفعت اجتماعی پرداخته‌اند و یا در مورد تفاوت بین مدهای حمل‌ونقل بحث کرده‌اند (Ivaldi & Vibes, 2005b; Ivaldi and Vibes, 2005a; Kanafani *et al.*, 2012). همچنین بسیاری از تحقیقات مانند (Adler *et al.*, 2010; Levinson *et al.*, 1996; Ha *et al.*, 2011; Fu *et al.*, 2012) به بررسی تفاوت راه‌آهن سریع‌السیر و حمل‌ونقل هوایی پرداخته و بررسی‌های اقتصادی را به این منظور انجام داده‌اند. اکثر این تحقیقات بر اساس مدل‌های اقتصادی ساده و برگرفته از منابع مختلف با تخمین‌های ساده کننده برای شبیه‌سازی نتایج استفاده کرده‌اند.

باوجود تاریخچه مذکور، تاکنون درزمینه‌ی ارتباط سرعت و هزینه‌های احداث راه‌آهن سریع‌السیر مطالعه مستقیم صورت نگرفته است، به‌نحوی‌که از آن بتوان به شناسایی بازه‌ای برای سرعت بهینه در راه‌آهن سریع‌السیر پرداخت. به‌عبارت‌دیگر به‌طور مشخص، مدیران و مهندسان نمی‌توانند قضاوت کنند که راه‌اندازی خطوط سریع‌السیر با دامنه سرعت‌های مختلف چه تبعات هزینه‌ای برای سیستم در بردارد. مطالعات اقتصادی موجود در داخل کشور ازجمله موحدی و حسینی، ۱۳۸۹؛ خرازی و اویسی، ۱۳۸۷؛ پورکاظمی و سلطانی، نیز به پیشبرد این مسأله در راه‌آهن عادی پرداخته‌اند و با توجه به مشخصات ویژه راه‌آهن سریع‌السیر نمی‌توانند الگوی مناسبی در این راستا باشند. لازم به توضیح است که هزینه‌یابی در راه‌آهن سریع‌السیر به دلیل زیاد بودن هزینه‌های زیرساخت و نیز نقش اساسی سرعت در این نوع هزینه‌ها از اهمیت بالاتری نسبت به راه‌آهن متعارف دارد. همچنین مطالعات متنوعی در مورد ارزیابی اقتصادی احداث پروژه‌های ریلی متعارف (و نه سریع‌السیر) در داخل و خارج از کشور انجام گردیده است (اشراق و علیمرادی، ۱۳۹۳؛ Caves *et al.*, 1981; Caves *et al.*, 1982; Givoni, 2006; Campos & de Rus, 2009; Thompson, 1994). علاوه بر این، استانداردهای بین‌المللی موجود ازجمله گزارش‌های اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن (UIC) و یا تحقیق انجام‌شده توسط (Garcia & Españoles, 2010) هرچند حاوی برخی داده‌های اقتصادی هستند، به ارتباط مبحث سرعت و هزینه نپرداخته‌اند. همچنین منابع مختلفی که بر مبنای ارزیابی‌های اقتصادی در پروژه‌های راه‌آهن سریع‌السیر مشاهده می‌شوند، ازجمله (Vickerman & Ulied, 2006; de Rus *et al.*, 2009; Chen & Hall, 2011; Levinson *et al.*, 1997; Levinson *et al.*, 1996; De Rus &; Garrett, 2011). اغلب به‌صورت پروژه محور به آنالیز اقتصادی پرداخته‌اند و اطلاعات جامعی برای وضعیت کلی خطوط سریع‌السیر به دست نمی‌دهند. این مطالعات اغلب مسائل اقتصادی را به‌طور شاخه‌ای خاص از یک کریدور معین یا شبکه‌ای از

کریدورهای ریلی موردبررسی و ارزیابی قرار داده‌اند (همچنین مراجعه شود به Inglada, 1997; Coto-Millán *et al.*, 2007; Preston & Wall, 2008; Gutiérrez, 2001; Adler *et al.*, 2010; De Rus, 2008). به‌علاوه منابع دیگری از قبیل Dobruszkes et al., 2014; Chen and Finger, 2014,Silvaa, 2014;) Pouryousef et al., 2013; Tierney, 2012)، در ادبیات فنی موضوع قابل‌مشاهده هستند که حاوی اطلاعات اقتصادی مدونی از خطوط و شبکه‌های ریلی سریع‌السیر هستند، لیکن توجهی به مبحث سرعت نداشته‌اند. درواقع این تحقیقات با اهداف دیگر ازجمله ارزیابی کیفیت شبکه، ارزیابی ظرفیت، ارزیابی کارایی سیستم و غیره نگاشته شده‌اند که اطلاعات اقتصادی آن‌ها می‌تواند مدارک مستندی برای پیشبرد تحقیق حاضر باشد. صرف‌نظر از منابع یادشده، از منظر داخلی (کشور ایران)، در بسیاری از این پروژه‌های توسعه ریلی مسائل مالی از مشکلات اساسی پیش روی اجرای طرح‌ها بوده است. در بخش ریلی کشور جدا از کمبودهای مدیریتی و مشکلات تصمیم‌گیری، دغدغه مهم پیش روی مدیران و طراحان راه‌اندازی یک خط سریع‌السیر با استانداردهای جهانی است. به همین دلیل همواره ارتباط بین سرعت و هزینه به‌عنوان یک سؤال اساسی در صنعت راه‌آهن مطرح بوده است. به‌عبارت‌دیگر ترکیب مسائل اقتصادی با مسأله فنی سرعت سیر راه‌آهن سریع‌السیر می‌تواند راهگشای بسیاری کمبودها هم برای مدیران و هم برای طراحان این سیستم حمل‌ونقل باشد، موضوعی که تاکنون به‌ندرت به آن توجه شده است. لذا با توجه به کمبودهای یادشده و اهمیت همزمان دو موضوع سرعت و هزینه در حمل‌ونقل ریلی سریع‌السیر و نیز با در نظر گرفتن عامل سوددهی به‌عنوان هدف غایی سازمان راه‌اندازی کننده راه‌آهن سریع‌السیر، بررسی و مطالعه توأمان این مسائل از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور در این تحقیق به بررسی جامع انواع هزینه‌ها با توجه به تغییر سرعت پرداخته، سپس با توجه به آنالیزهای هزینه‌ای موجود در تحقیقات گذشته، میزان تفاوت هزینه‌ها در راه‌آهن سریع‌السیر موردبررسی قرارگرفته‌اند.

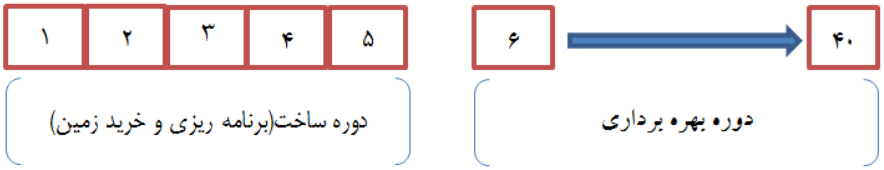
۳. روش تحقیق

برای انجام بررسی میدانی و شناسایی ارتباط بین سرعت بهره‌برداری و هزینه‌ها، جمع‌آوری داده‌های صحیح مهم‌ترین گام در ارزیابی اقتصادی تصمیمات مهندسی به شمار می‌رود. لذا در این تحقیق پس از بررسی مطالعات گذشته، مفهوم سرعت بهره‌برداری تشریح گردیده است. سپس نحوه محاسبه متوسط سرعت با توجه به نوع قطار، مسافت، زمان‌های تلف‌شده و زمان سیر، ارائه گردیده و درنهایت هزینه‌های بهره‌برداری متناظر با سرعت مختلف محاسبه‌شده است. روند انجام تحقیق در شکل ۱ نمایش داده‌شده است.



شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

برای احداث راه‌آهن سریع‌السیر در ابتدا برنامه‌ریزی صورت گرفته و پروژه زمان‌بندی می‌شود. در شکل زمان‌بندی یک پروژه یک راه‌آهن سریع‌السیر فرضی به تصویر کشیده شده است. در ۵ سال اول معمولاً به برنامه‌ریزی و خرید پرداخته، سپس از سال ۶ به بعد به بهره‌برداری‌از پروژه پرداخته‌اند. البته عمر پروژه یک عامل نسبی است و به مسائل سیاسی، اقتصادی و جغرافیایی نیز بستگی دارد. این عامل در این شکل به‌صورت میانگین ۴۰ سال در نظر گرفته‌شده است. برای انجام محاسبات اقتصادی این تحقیق، زمان‌بندی خاص مربوط به هر یک از پروژه‌های موردبررسی به‌صورت جداگانه مدنظر قرارگرفته است.



شکل ۱: زمان‌بندی پروژه راه‌آهن سریع‌السیر

با توجه به در دسترس بودن اطلاعات سرعت و بهره‌برداری قطارها در شبکه حمل‌ونقل ریلی سریع‌السیر اروپا، مجموعه داده‌های پراکنده این قاره به‌عنوان مطالعات موردی گردآوری‌شده و به‌عنوان مبنای محاسبات مقاله در نظر گرفته‌شده است. این اطلاعات در منابع مختلف ازجمله Dobruszkes et al., 2014; Chen and Finger, 2014, Silvaa, de Rus et al., 2009 2014; Pouryousef et al., 2013; Tierney, 2012; هم به‌صورت موردی (کشور خاصی در اتحادیه اروپا) و هم به‌صورت تجمعی (اطلاعات کلی شبکه) قابل‌مشاهده هستند. علاوه بر موضوع در دسترس بودن اطلاعات، دلایل زیر در انتخاب این شبکه به‌عنوان مطالعه موردی در تحقیق حاضر مدنظر قرارگرفته‌اند: ۱) قرار گرفتن خطوط سریع‌السیر راه‌آهن اروپا در یک شبکه واحد و متصل‌به‌هم که امکان مقایسه و ارزیابی خطوط و شرایط کشورهای واقع در اتحادیه اروپا را به‌صورت تطبیقی فراهم می‌نماید. ۲) داشتن شرایط مشابه و نزدیک به هم مانند واحد پول یکسان و شرایط جغرافیایی نسبتاً مشابه و همچنین فواصل نسبتاً نزدیک کشورها که قابلیت مقایسه بهتری را بین کشورهای اتحادیه اروپا ایجاد می‌کند. ۳) از منظر الگوپذیری، اطلاعات به‌دست‌آمده از یک شبکه حاوی چند کشور و با خطوط متنوع و متراکم قابلیت بیشتری برای ارائه الگو به سایر نقاط دنیا می‌تواند داشته باشد. در مقابل درصورتی‌که تحلیل بر روی یک کشور خاص از قبیل ژاپن، فرانسه، چین و غیره صورت پذیرد، کاربرد کمتری از حیث الگوپذیری دارد. ۴) اطلاعات ورودی مورداستفاده در این تحقیق مربوط به خطوط در حال بهره‌برداری است، لیکن در برخی کشورها ازجمله چین و آمریکا خطوط سریع‌السیر زیادی در دست احداث هستند که تجارب اقتصادی مربوط به احداث و بهره‌برداری این پروژه‌ها تا چند سال پس از بهره‌برداری به‌طور کامل روشن نمی‌باشد. با این توضیحات شبکه خطوط سریع‌السیر اروپا مبنای محاسبات اقتصادی این تحقیق قرار گرفته است. لازم به ذکر است که داده‌های ورودی به‌صورت حقیقی بوده و در مواقعی که اطلاعات سالیانه مدنظر بوده، اطلاعات سال ۲۰۱۰ به‌عنوان مبنای مطالعه استخراج گردیده است.

۱-۳. معرفی انواع سرعت در حمل و نقل ریلی

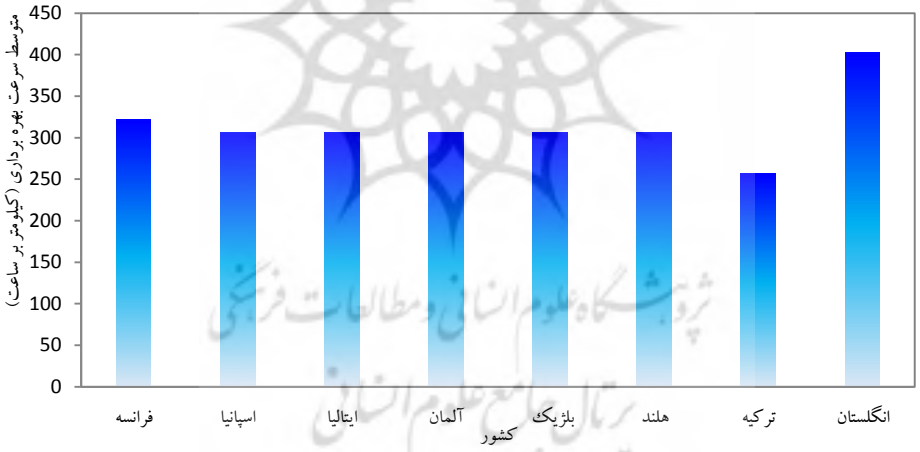
قطار پرسرعت (سریع‌السیر) نسبت به راه‌آهن معمولی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از سرعت بالاتری برخوردار است. تعریف قطار تندرو و مرز بین این نوع از ترابری ریلی و قطار معمولی بسته به

استانداردهای مختلف، متفاوت است. امروزه در متون علمی سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت را آستانه قابل‌پذیرش برای نامیدن قطارهای سریع‌السیر می‌دانند، به‌این‌ترتیب که هرگاه سرعت عبوری قطارها بیش از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت باشد می‌توان آن‌ها را قطارهای سریع‌السیر قلمداد کرد (Yanase, 2010). باوجود تعریف فوق ملاک سرعت برای قطارهای سریع در کشورهای مختلف، متفاوت است. این سرعت بین ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت تا ۳۰۰ کیلومتر بر ساعت متغیر است. (اتحادیه اروپا، راه‌آهن به‌سرعت بالای ۲۰۰ کیلومتر را به‌عنوان سریع‌السیر در نظر می‌گیرد (Gutierrez *et al.*, 1996).

شاخص سرعت یکی از اساسی‌ترین شاخص‌هایی است که برای انواع مدهای حمل‌ونقل من‌جمله راه‌آهن سریع‌السیر مطرح است. انواع سرعت خط یک پارامتر فنی مرتبط با زیرساخت‌ها می‌باشد (de Rus *et al.*, 2009). در راه‌آهن دو نوع سرعت وجود دارد که در ادامه توضیح داده‌شده است.

۱-۱-۳. سرعت عملیاتی (بهره‌برداری)

این نوع سرعت به مشخصات فنی قطار مربوط می‌باشد؛ و همواره با افزایش زمان، افزایش می‌یابد و تنها محدودیت آن، ماکزیمم سرعت خط می‌باشد. تحت شرایط معمول ۲۰۰-۲۵۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. متوسط سرعت بهره‌برداری راه‌آهن سریع‌السیر در کشورهای اروپایی دارای این تکنولوژی در شکل ۳ نشان داده‌شده است (Nash, 2009; Vickerman, 1997).



شکل ۳: متوسط سرعت بهره‌برداری راه‌آهن سریع‌السیر در کشورهای مختلف

۲-۱-۳. سرعت تجاری (سرعت میانگین)

این نوع سرعت حاصل تقسیم طول خط به کل زمان سفر می‌باشد. این پارامتر به زمان‌بندی، تعداد و زمان توقف ایستگاه‌ها می‌باشد. زمان سفر و توقف قطار (دقیقه) از معادله زیر به‌دست می‌آید،

درحالی‌که در آن R زمان توقف (دقیقه) D مسافت سفر (کیلومتر) و S_{av} سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت) می‌باشد (de Rus *et al.*, 2009).

$$T = R + 60D/S_{av} \quad (۱)$$

تعداد دورهایی که یک قطار در یک روز طی می‌کند (در طی ساعت) توسط معادله به‌دست‌آمده می‌آید (de Rus *et al.*, 2009).

$$S_{av} = {}^{D}/_{T} = \frac{R + \frac{60D}{S_{av}}}{60H_t} \quad (۲)$$

که در آن H_t نشان‌دهنده زمان طی سفر می‌باشد. همان‌طور که در معادله مشاهده می‌شود، طول مسیری که توسط قطار به‌طور سالیانه طی می‌شود با RA مشخص می‌شود:

$$RA = \frac{365 * 60 * H_t * D}{R * S_{av} + 60D} \quad (۳)$$

با توجه به اینکه سرعت تجاری عوامل متنوعی از قبیل زمان‌بندی حرکت قطارها، مشخصات مسیر، تعداد و زمان توقف ایستگاه‌ها را در نظر می‌گیرد، در این تحقیق سرعت میانگین مبنای انجام محاسبات اقتصادی در نظر گرفته‌شده است. به‌عنوان‌مثال اگر دو حالت قطارهای محلی (با مسافت حداکثر ۲۰۰ کیلومتر) و نیز قطارهای با مسافت طولانی (با مسافت حداکثر ۵۰۰ کیلومتر) به‌عنوان ملاک ارزیابی انتخاب شود، میزان مسافتی که قطار برای رفت‌وبرگشت[۱] سالانه طی می‌کند در شکل ۴ نشان داده‌شده است. در این شکل فرض شده است که روزانه ۷ ساعت از قطار استفاده شود.

۴. آنالیز هزینه راه‌آهن سریع‌السیر در سرعت‌های مختلف

در این بخش انواع هزینه‌های مرتبط با پروژه‌های راه‌آهن سریع‌السیر با تکیه‌بر داده‌های شبکه راه‌آهن سریع‌السیر اروپا پرداخته‌شده است. اطلاعات ورودی این تحلیل از مراجع مختلف از قبیل (Cantos & Maudos, 2001; Loizides & Tsionas, 2002; Nash, 2008; Vickerman *et al.*, 1999; Vickerman, 1997) استخراج گردیده است. برای در نظر گرفته هزینه‌های راه‌آهن سریع‌السیر دسته‌بندی‌های مختلفی قابل‌طرح می‌باشد. در برخی از تحقیقات گذشته هزینه‌ها را به‌طورکلی به سه دسته (هزینه زیرساخت، بهره‌برداری و نگهداری) تقسیم می‌کنند (de Rus *et al.*, 2009; Hernández & Jiménez, 2014). علاوه بر طبقه‌بندی مذکور می‌توان هزینه‌ها را به

۱. Turnover

هزینه‌های عمرانی (زیرساخت)، هزینه‌های خرید قطار و تجهیزات تقسیم نمود. هزینه‌های خرید قطار[1] به سه دسته هزینه اکتساب (مالکیت)[2]، بهره‌برداری[3] و نگهداری[4] قطارها تقسیم می‌شوند. در این مقاله تاحدامکان کلیه هزینه‌های مرتبط با طول عمر پروژه در نظر گرفته‌شده و به تفکیک بررسی‌شده است.

۱-۴. هزینه‌های زیرساخت

هزینه‌های زیرساخت[5] به دودسته[6] از هزینه‌های ساخت و هزینه‌های نگهداری تقسیم می‌شود. لیکن در بخش بعد هزینه نگهداری به‌طور جداگانه بررسی‌شده است. هزینه‌های زیرساخت به‌صورت زیر قابل‌محاسبه می‌باشد:

$$\mathrm{IC}_t = \mathrm{IC}_t^c + \mathrm{IC}_t^M = \sum_{t=1}^{t0} \frac{c.L(1+h)}{(1+i)} + \sum_{t=t0+1}^{T} \frac{m.l}{(1+i)} \qquad (۴)$$

که در این فرمول c و m به ترتیب واحدهای هزینه ساخت و نگهداری به ازای هر کیلومتر خط راه‌آهن سریع‌السیر هستند. همچنین l طول کلی خط راه‌آهن بوده و i نرخ بهره است. i در این فرمول نوعی نرخ بهره پولی است که با استناد به de Rus et al., 2009 با در نظر گرفتن تورم و مالیات و وام‌ها و غیره محاسبه می‌شود و مفهوم جامع‌تری را برای نرخ بهره در نظر می‌گیرد. پارامتر h به‌عنوان اضافه بها تحت عنوان هزینه‌های برنامه‌ریزی حسابداری در نظر گرفته‌شده است (de Rus et al., 2009). ساخت زیربنای راه‌آهن سریع‌السیر جدید به‌منظور حذف محدودیت‌های فنی که سرعت را محدود می‌کند، نیازمند طراحی و اعمال هزینه‌های خاص می‌باشد. اگرچه در برخی پروژه‌ها، علاوه بر زیرساخت‌های عمرانی، به مکانیزم‌های مخابراتی جدید و سیستم‌های الکترونیکی با توان بالاتری نیز نیاز است. با توجه به اینکه مسائل فنی و جغرافیایی در هر پروژه به‌صورت موردی تعیین می‌شود، مقایسه هزینه‌های احداث پروژه‌های راه‌آهن سریع‌السیر در سرعت‌های گوناگون، امر مشکلی است. چراکه طراحی‌ها در پروژه‌های کشورهای مختلف متفاوت و گاهی متضاد می‌باشند. همچنین برخی از پروژه‌های راه‌آهن سریع‌السیر مربوط به ارتقای راه‌آهن معمولی به سریع‌السیر هستند و هزینه‌های آن‌ها نسبت به ساخت راه‌آهن جدید کمتر است. لیکن باوجوداین محدودیت‌ها، ساخت راه‌آهن سریع‌السیر جدید سه نوع هزینه اساسی را در برمی‌گیرد:

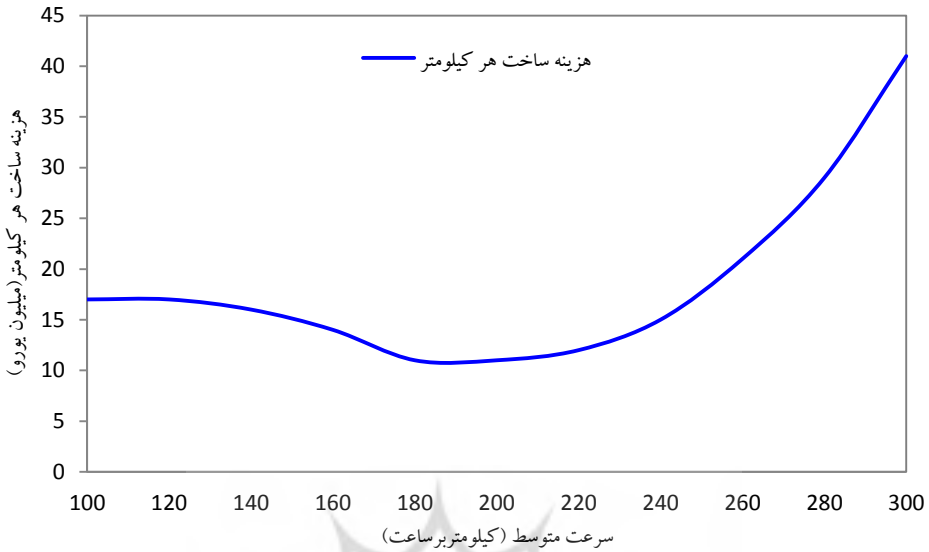
1. Rolling Stock Costs(RSC)
2. Acquisition
3. operation costs
4. Maintenance costs
5. Infrastructure costs

۱. هزینه‌های زمین و برنامه‌ریزی شامل مطالعات امکان‌سنجی و تجزیه‌وتحلیل فنی و اقتصادی طرح، طراحی فنی، خرید زمین و دیگر هزینه‌ها (هزینه‌هایی مانند عوارض، بیمه و غیره) می‌باشد. این هزینه‌ها تقریباً بین ۵ الی ۱۰ درصد از هزینه‌های کل سرمایه‌گذاری را شکل می‌دهند.
۲. هزینه‌های احداث زیرساخت شامل انواع هزینه‌های مرتبط با آماده‌سازی زمین و ساخت زیربنا می‌باشد. این هزینه‌ها در انواع پروژه‌ها بر اساس نوع زمین متفاوت است و در حدود ۴۰-۵۰ درصد از هزینه‌های کل سرمایه‌گذاری را شکل می‌دهند.
۳. هزینه‌های شامل المان‌های خاص ریل از قبیل سیستم‌های سیگنالینگ مخابراتی و مکانیزم‌های الکترونیکی و نصب موارد افزایش ایمنی و غیره است. این هزینه‌ها تقریباً بین ۵ الی ۱۰ درصد از هزینه‌های کل سرمایه‌گذاری را شکل می‌دهند.

اگرچه این سه نوع هزینه مذکور در انواع پروژه‌ها مطرح می‌گردد، تحت شرایط مختلف و همچنین در اثر وجود زیرساخت جدید یا در موردی که کریدور راه‌آهن از قبل موجود است، میزان آن‌ها متفاوت است. علی‌رغم محدودیت‌های یادشده، با توجه به شباهت نسبی خطوط راه‌آهن سریع‌السیر در محدوده اروپا، می‌توان به یک تخمین کلی از هزینه احداث راه‌آهن سریع‌السیر در سرعت‌های مختلف دست یافت. مهم‌ترین عوامل ایجاد شباهت در این شبکه عبارت‌اند از:

۱) تبعیت از قوانین اتحادیه اروپا و اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC)
۲) متصل بودن اکثر خطوط داخل شبکه به هم
۳) وضعیت جغرافیایی نسبتاً مشابه
۴) وضعیت اقتصادی نسبتاً مشابه و واحد پولی یکسان

با بررسی خطوط مختلف راه‌آهن سریع‌السیر در محدوده اروپا، هزینه احداث در سرعت‌های مختلف از پروژه‌های امکان‌سنجی گوناگون استخراج‌شده و نتایج آن در شکل ۵ خلاصه گردیده است. متوسط هزینه هر کیلومتر خط جدید راه‌آهن سریع‌السیر ارائه گردیده است. در این شکل، هزینه احداث تقریبی هر کیلومتر خط راه‌آهن سریع‌السیر برای سرعت‌های مختلف در محدوده اروپا نشان داده‌شده است. به‌منظور تعیین ارتباط تقریبی هزینه ساخت و سرعت، یک منحنی درجه سه به داده‌های موجود برازش گردیده است.

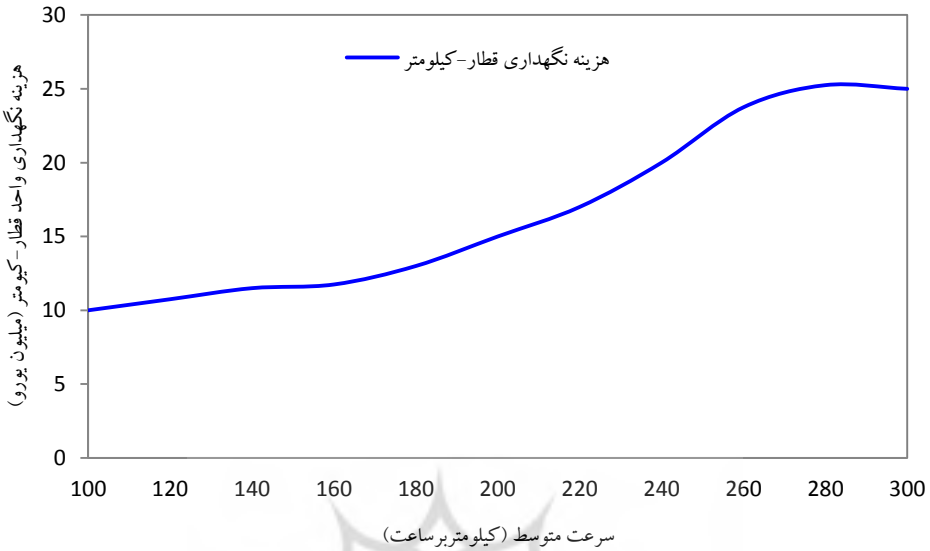


شکل ۲: هزینه احداث تقریبی هر کیلومتر خط راه‌آهن سریع‌السیر برای سرعت‌های مختلف در محدوده اروپا

۲-۴. هزینه‌های نگهداری

با در نظر گرفتن هزینه‌های نگهداری خط، الکتریسیته، سیگنالینگ، مخابرات و سایر هزینه‌های نگهداری ازجمله نگهداری قطارها، نظافت، ایستگاه‌ها در سیستم راه‌آهن سریع‌السیر در محدوده اروپا، ارتباط هزینه نگهداری و سرعت متوسط قطارها استخراج‌شده که نتایج آن در شکل ۶ خلاصه گردیده است. متوسط هزینه هر واحد قطار- کیلومتر در این شکل ارائه گردیده است. به‌منظور تعیین ارتباط تقریبی هزینه نگهداری و سرعت، یک منحنی درجه چهار به داده‌های موجود برازش گردیده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳: هزینه احداث تقریبی هر کیلومتر خط راه‌آهن سریع‌السیر برای سرعت‌های مختلف در محدوده اروپا

۳-۴. هزینه خرید قطار

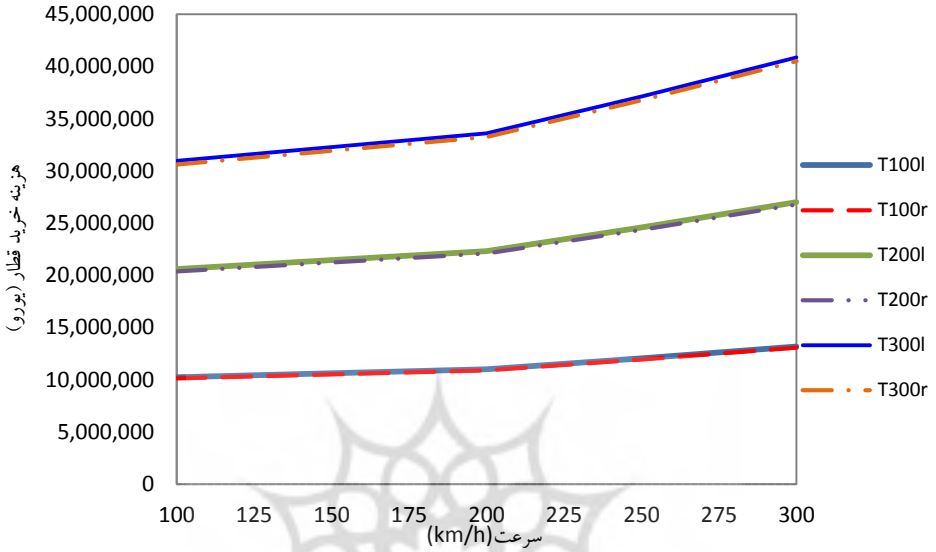
هزینه خرید قطارهای سریع‌السیر به عوامل زیادی ازجمله تعداد صندلی، توان الکتریکی، سرعت، میزان راحتی و غیره بستگی دارد. به‌منظور تعیین ارتباط بین هزینه خرید قطارهای سریع‌السیر با سرعت از رابطه ۵ استفاده‌شده است. همان‌طور که در رابطه مشاهده می‌شود، این هزینه با ضرب تعداد قطارهای خریده شده در هرسال در واحد هزینه هر صندلی (a) و متوسط ظرفیت آن‌ها ($\bar{q}$) به دست می‌آید (de Rus *et al.*, 2009).

$$\mathrm{RSC}^{A} = \sum_{t=1}^{T} \frac{(RS_t - RS_{t-1}).\, a.\, \bar{q}}{(1+i)^t} \qquad (۵)$$

RS در این رابطه هزینه خرید (مالکیت) قطار به‌صورت سالیانه است که در دو سال t و t-1 محاسبه‌شده و به‌منظور اعمال ارزش زمانی پول، در دو سال متوالی از هم کسر شده است. i در این رابطه نرخ بهره پولی با در نظر گرفتن تورم و مالیات می‌باشد. درواقع، i نوعی نرخ بهره پولی است که با استناد به (de Rus et al., 2009)، با در نظر گرفتن تورم و مالیات و وام‌ها و غیره محاسبه می‌شود و مفهوم جامع‌تری را برای نرخ بهره در نظر می‌گیرد. در ادامه هزینه خرید قطارهای با طول‌های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متر و هرکدام را در دو حالت محلی[۱] (مانند T100r) و

۱. Regional

مسافت‌های طولانی[۱] (مانند T100l) موردبررسی قرارگرفته است. این هزینه‌ها در شکل ۷ بر اساس پارامتر سرعت ارائه گردیده است.



شکل ۴: هزینه خرید انواع قطار در سرعت‌های مختلف

۴-۴. هزینه‌های بهره‌برداری‌از قطار

برای این هزینه مقدار مطلقی وجود ندارد، لیکن با تقسیم هزینه خرید (مالکیت) قطار بر صندلی-کیلومتر، می‌توان یک مقدار قابل‌مقایسه‌ای برای آن به‌دست‌آمده آورد. این هزینه توسط رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

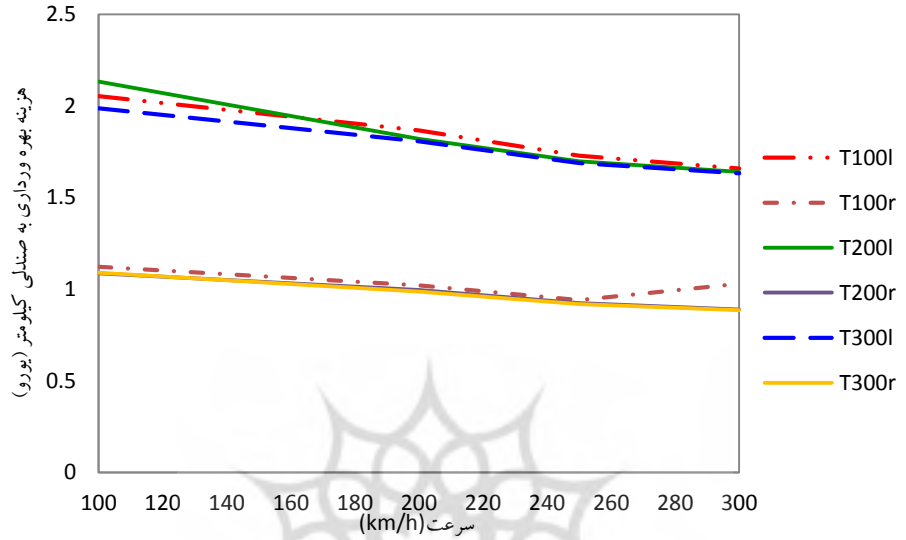
$$OC = \frac{RS}{100S * RA} \qquad (۶)$$

که در این رابطه RS هزینه خرید (مالکیت) قطار به‌صورت سالیانه و RA طول مسیری است که توسط قطار به‌طور سالیانه طی می‌شود. S نیز تعداد صندلی قطار را نشان می‌دهد.

هزینه بهره‌برداری انواع قطار در سرعت‌های مختلف در شکل ۸ رسم شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، برای هر نوع قطار (قطارهای محلی یا قطارهایی که مسافت‌های طولانی را طی می‌کنند) و برای هر سرعتی، هزینه‌های قطارها با تعداد صندلی بیشتر کمتر است. همچنین با توجه به این شکل هزینه مالکیت قطار بر صندلی-کیلومتر برای هر نوع قطار و در هر مسافتی که

۱. Long distance

طی می‌کند، با افزایش سرعت به‌تدریج کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به نزدیک بودن برخی داده‌ها در نتایج قطارهای محلی و مسافت زیاد، یک معادله برای آن‌ها برازش گردیده است.



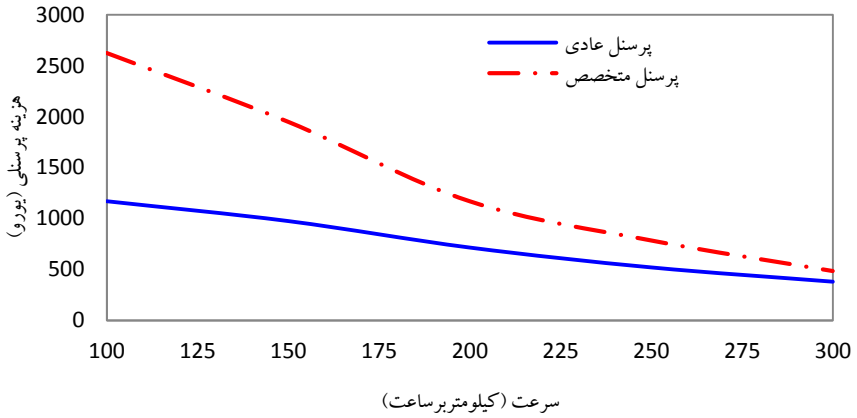
شکل ۵: هزینه بهره‌برداری انواع قطار در سرعت‌های مختلف

۵-۴. هزینه‌های پرسنلی

هزینه‌های پرسنلی شامل حقوق و دستمزد کارکنان راه‌آهن سریع‌السیر به‌صورت سالانه می‌باشد. این هزینه با واحد یورو بر صندلی –کیلومتر از رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$SC = \left(\frac{LC_p}{J_p * S_{av} * H_p} + \frac{LC_n}{J_n * S_{av} * H_n}\right)\frac{1}{100} \qquad (۷)$$

که در این رابطه، LC_p هزینه سالانه پرداختی به ازای هر کارمند متخصص و LC_n هزینه سالانه پرداختی به ازای هر کارمند عادی در پروژه است. J_p و J_n به ترتیب تعداد روزهای کاری سالانه راننده و دیگر کارکنان و همچنین H_p و H_n ساعات کاری آن‌ها در بهره‌برداری‌از قطار می‌باشد. همچنین S_{av} سرعت متوسط قطار می‌باشد. شکل ۹ با ترسیم هزینه پرسنلی به‌دست آمده از این رابطه، نسبت به‌سرعت متوسط بهره‌برداری به‌دست آمده است.



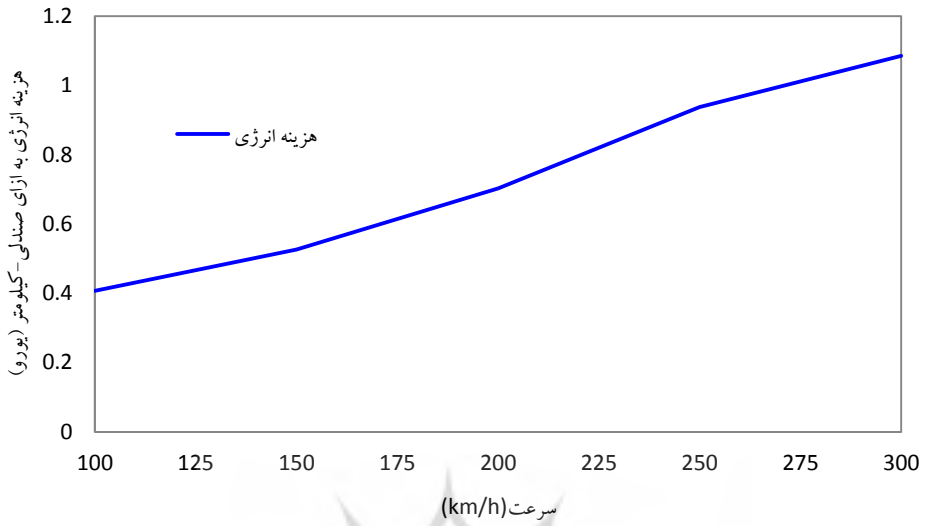
شکل ۶: هزینه پرسنل در بهره‌برداری در سرعت‌های مختلف

۶-۴. هزینه انرژی

هزینه‌های مرتبط با مصرف انرژی ، به موارد زیر بستگی دارد:

۱. هزینه انرژی مصرفی که بستگی به نحوه و مکان تولید انرژی و نحوه توزیع در شبکه ریلی بستگی دارد.
۲. تکنولوژی مصرف انرژی در قطار ازنظر میزان مصرف موتورها، ذخیره‌سازی انرژی در زمان ترمز گیری و ...
۳. هزینه تعمیر و نگهداری از تأسیسات الکتریکی
۴. نوع سیستم محرک قطارها اعم از دیزلی و الکتریکی

لازم به توضیح است که هزینه انرژی می تواند شامل برخی هزینه های غیر مستقیم نیز باشد که در این تحقیق از آنها صرف نظر شده است. برای مثلا ارتباط بین میزان انتشار دی اکسیدکربن در بخش حمل و نقل و شیوه حمل و نقل و انواع سوخت های مصرفی توسط فطرس و براتی (۱۳۹۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بخش به‌منظور محاسبه ارتباط بین سرعت قطارها و هزینه انرژی قطار، اطلاعات موجود از میزان انرژی مصرفی و هزینه سوخت در شبکه راه‌آهن سریع‌السیر اروپا استخراج گردیده و نتایج آن در شکل ۱۰ نشان داده‌شده است.



شکل ۱۰: هزینه انرژی قطار در سرعت‌های مختلف

۷-۴. هزینه‌های خارجی

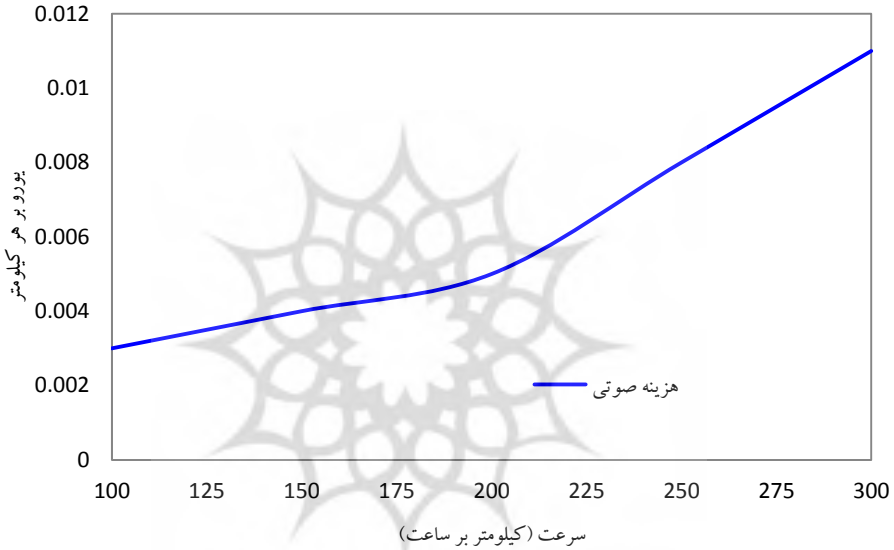
علاوه بر هزینه‌های مستقیم راه‌آهن سریع‌السیر که در بخش‌های قبل ارائه شد، برخی هزینه‌های غیرمستقیم نیز وجود دارند که در این بخش تحت عنوان هزینه‌های خارجی[۱] مطرح گردیده‌اند. مهم-ترین اثرات اجتماعی- زیست‌محیطی که باید در طرح‌های حمل‌ونقل مدنظر قرار گیرد، در جدول ۱ دسته‌بندی گردیده است (زاهد, ۱۳۸۴).

جدول ۱: برخی از اثرات اجتماعی در طرح‌های حمل‌ونقل

خاک	آب	هوا	اکوسیستم	میراث فرهنگی
فرسایش خاک و اصلاح سطح زمین	تغییر مسیر جریان آب‌های سطحی	کاهش کیفیت هوا به علت گردوخاک	تخریب پوشش گیاهی	تخریب ارزش زیبایی‌شناسی
کاهش بازدهی خاک	رسوب‌گذاری در آب‌های سطحی	اثرات منفی بر سلامت	آلودگی گیاهان	تخریب ارزش‌های اجتماعی
آلودگی خاک	کاهش کیفیت آب از طریق مواد آلاینده فعالیت‌های ساخت	دود ناشی از وسایط نقلیه هنگام بهره‌برداری	تخریب محیط پیرامون راه‌ها	تخریب مکان‌های باستانی

۱. External cost

کم بودن این هزینه‌های خارجی در راه‌آهن سریع‌السیر نسبت به سایر مدهای حمل‌ونقل از اولویت‌های این تکنولوژی می‌باشد. با این وجود در راه‌آهن نیز هم احداث زیرساخت‌ها و هم بهره‌برداری‌از خطوط باعث ایجاد برخی هزینه‌های زیست‌محیطی[۱] مانند گرفتن زمین، سروصدا، آلودگی هوا و گرم شدن زمین می‌شود. با توجه به معیارهای اجتماعی مختلف، مقایسه هزینه‌های خارجی برای راه‌آهن سریع‌السیر در کشورهای مختلف عملی نیست. علاوه‌بر این هزینه‌های زیست‌محیطی و خارجی راه‌آهن سریع‌السیر نسبت به سایر هزینه‌های سیستم قابل‌اغماض است، لیکن به‌عنوان‌مثال هزینه آلودگی صوتی، برای سرعت‌های مختلف بهره‌برداری در شکل ۱۱ ارائه گردیده است.



شکل ۷: متوسط هزینه صوتی راه‌آهن سریع‌السیر

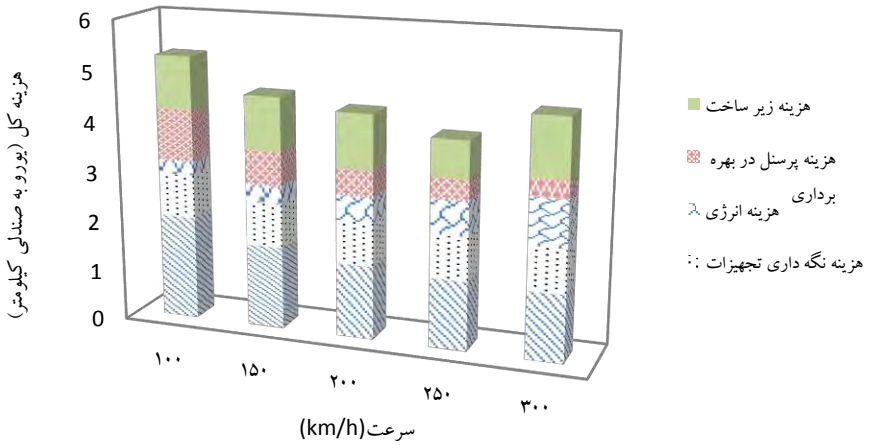
۵. جمع‌بندی ارتباط هزینه و پارامترهای بهره‌برداری

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده در بخش‌های قبل باهم تلفیق‌شده و ارتباط بین هزینه‌ها و پارامترهای بهره‌برداری در راه‌آهن سریع‌السیر تعیین گردیده است. برخی از هزینه‌ها با سرعت نسبت مستقیم داشته و با افزایش آن افزایش می‌یابد. برخی نیز کاهش‌یافته یا بدون تغییر می‌ماند.

۵-۱. ارتباط هزینه‌ها با سرعت

با تلفیق تجمعی داده‌های به‌دست‌آمده در شکل‌های ۵ الی ۱۱، نمودار کلی ارتباط هزینه و سرعت به‌صورت شکل ۱۲ خلاصه می‌گردد.

۱. Environmental cost

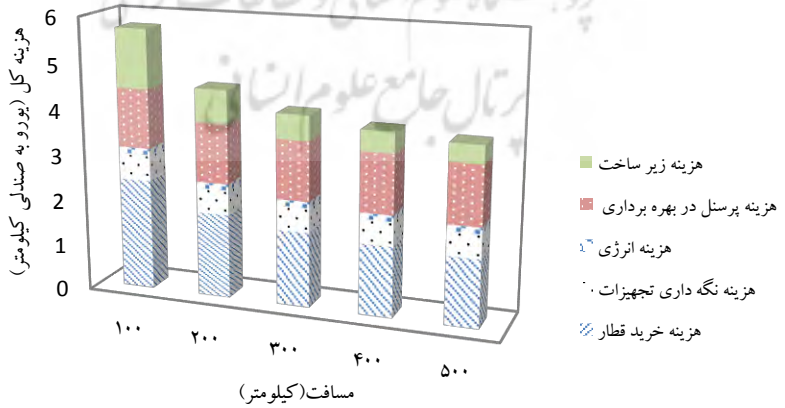


شکل ۸: تغییرات انواع هزینه در سرعت‌های متوسط مختلف

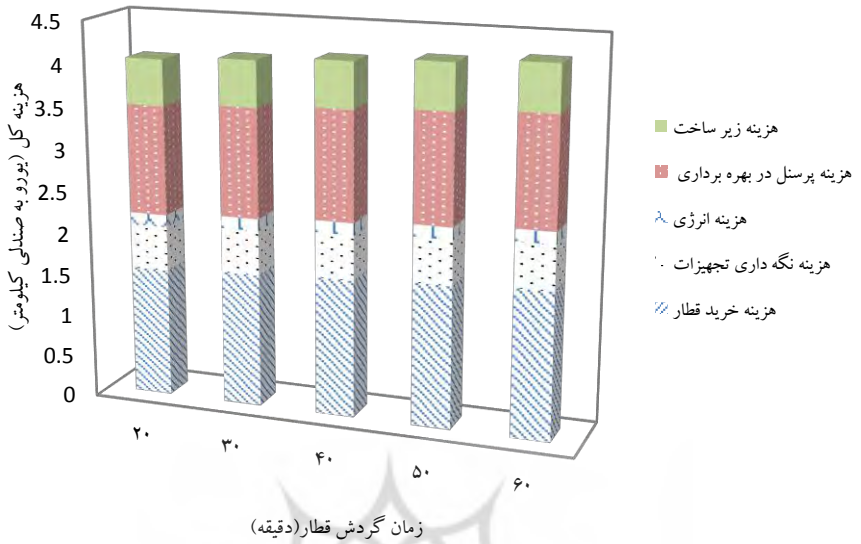
همان‌طور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود، سطح زیر بالاترین نمودار ارائه‌دهنده هزینه کل با احتساب بخش‌های مختلف آن به‌صورت تجمعی می‌باشد. ارتباط سرعت با بخش‌های مختلف هزینه-ای نیز در شکل نمایان شده است. مطابق این شکل، مجموع هزینه‌ها در محدوده تقریبی سرعت ۲۵۰ کیلومتربرساعت دارای کمترین میزان می‌باشد.

۲-۵. تحلیل حساسیت بر اساس مؤلفه‌های سرعت

با توجه به ارتباط سرعت با دو عامل مسافت طی شده و زمان سفر، در ادامه هزینه‌های به‌دست آمده در شکل‌های ۵ الی ۱۱ بر اساس کمیت‌های یادشده محاسبه شده و در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده‌شده و سهم هزینه‌ای آن‌ها مشخص گردیده است.



شکل ۹: ارتباط هزینه‌های مستقیم راه‌آهن سریع‌السیر در مسافت‌های مختلف(کیلومتر)



شکل ۱۰: تغییرات انواع هزینه و هزینه کل نسبت به تغییر زمان گردش قطار

۶. تحلیل نتایج و بحث

با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های فوق موارد زیر در خصوص ارتباط سرعت با بخش‌های مختلف هزینه‌ای به تفکیک خلاصه می‌گردد:

۱. در این تحقیق سعی بر آن بوده است تا ارتباط سرعت با کلیه هزینه‌های طرح راه‌آهن سریع‌السیر شناسایی شود. لیکن بخشی از هزینه‌های بهره‌برداری، مرتبط با قطارهایی است که نقش جابه‌جایی مسافر ندارند و به‌عنوان قطارهای عملیات تعمیر و نگهداری استفاده می‌شوند. از سوی دیگر هزینه‌های مربوط به خدمات اضافی مسافر (خدمات رستوران، هزینه‌های فروش بلیط، مالیات و یا هزینه استفاده از امکانات لوکس) می‌باشد. این هزینه‌ها دارای وابستگی مشخصی با پارامتر سرعت نمی‌باشند. درنتیجه در این مطالعه از آن‌ها صرف‌نظر شده است.

۲. هرچند هزینه بهره‌برداری‌از قطار با افزایش سرعت اندکی کاهش می‌یابد، لیکن هزینه‌های بهره‌برداری‌از زیرساخت، در اثر حرکت قطار بوده و مستقیماً مرتبط با زیادشدن سرعت افزایش می‌باشد. هرچند میزان هزینه‌های بهره‌برداری وابسته به‌سرعت می‌باشند، لیکن افزایش سرعت باعث افزایش مسافت قابل طی برای یک قطار معین در دوره زمانی مشخص می‌شود. این موضوع سبب می‌شود که هزینه‌های استهلاک و سایر هزینه‌های مالی نسبت به مسافت کاهش پیدا کند. بنابراین با رویکرد کاهش هزینه‌های استهلاک، هزینه‌های لازم برای حرکت قطار کاهش می‌یابد.

اما درمجموع هزینه‌های بهره‌برداری نسبت به استهلاک از سهم بیشتری برخوردار است. لازم به ذکر است که هزینه‌های استهلاک تنها هزینه‌های غیرمالی در اقتصاد می‌باشد.

۳. هزینه‌های انرژی و بخشی از هزینه تعمیر و نگهداری قطار (هزینه‌های مربوط به نظارت، کنترل و سیگنالینگ) نیز با افزایش سرعت قطار به‌صورت خفیف افزایش می‌یابد، اما دیگر هزینه‌های نگهداری کاهش می‌یابد. اثر این هزینه‌ها بر روند نهایی هزینه کل چشمگیر نبوده است.

۴. با افزایش سرعت، هزینه‌های پرسنلی نیز کاهش می‌یابد، چون در سرعت‌های بالا، تعداد پرسنل و مدت‌زمان کار آن‌ها ثابت باقی می‌مانند. بنابراین ارتباط سرعت با هزینه‌های پرسنلی معکوس است.

۵. هزینه خرید قطار به ازای هر صندلی کیلومتر با افزایش سرعت و مسافتی که قطار طی می‌کند، اندکی کاهش می‌یابد. زیرا کاهش زمان رفت‌وبرگشت به ایستگاه‌های اصلی بر هزینه استهلاک و سرمایه قطار تأثیر می‌گذارد. درنتیجه می‌توان به یک مسافت اقتصادی یا بهینه دست‌یافت که در آن هزینه‌های سرمایه (دارایی ثابت) در طول عمر قطار مستهلک گردد.

۶. با توجه به اثر صندلی کیلومتر در محاسبات انجام‌شده، می‌توان به یک اندازه اقتصادی قطار (کمترین هزینه صندلی-کیلومتر با بیشترین طول قطار) دست یافت. زیرا برخی از هزینه‌های قطار (مانند استهلاک) مستقل از اندازه و ثابت هستند. هزینه‌های پرسنلی بهره‌برداری نیز به‌اندازه قطار ارتباط ضعیفی دارند. درنهایت، هزینه‌های انرژی، با افزایش اندازه قطار پایین‌تر می‌آیند، چراکه وزن قطار (بر اساس تعداد صندلی) و سطح مقطع موردنیاز قطار کاهش می‌یابند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی اقتصادی هزینه‌های مربوط به راه‌آهن سریع‌السیر برای سرعت‌های مختلف بهره‌برداری پرداخته شد. با بررسی اثر سرعت بهره‌برداری بر هزینه‌های مختلف راه‌آهن سریع‌السیر، ارتباط عوامل به تفکیک با تغییر سرعت قطار موردمطالعه قرار گرفت. با در نظر گرفتن شبکه حمل‌ونقل ریلی سریع‌السیر اروپا به‌عنوان مطالعه موردی محاسبات اقتصادی بر مبنای این شبکه انجام پذیرفت. مهم‌ترین نتایج تحقیق به‌صورت زیر خلاصه می‌گردد:

۱) هزینه کل راه‌آهن سریع‌السیر شامل مجموع هزینه‌های زیرساخت، نگهداری، خرید قطار، بهره-برداری، انرژی، پرسنلی و هزینه‌های جنبی است که هر یک می‌تواند در آنالیز هزینه‌ها و ارتباط با سرعت نقش داشته باشد.

۲) با توجه به مطالعه انجام‌شده، صرف‌نظر از برخی انحرافات مقطعی در نمودارها، ارتباط کلی بین سرعت با هزینه‌های زیرساخت، نگهداری، خرید قطار و انرژی به‌صورت مستقیم بوده و هزینه‌های مذکور با افزایش سرعت زیاد شده‌اند.

۳) با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ارتباط کلی بین سرعت با هزینه‌های بهره‌برداری قطار و هزینه‌های پرسنلی به‌صورت معکوس بوده و هزینه‌های مذکور با افزایش سرعت کم شده‌اند.

۴) برخی هزینه‌های جنبی از قبیل هزینه‌های خدمات اضافی مسافر (خدمات رستوران، هزینه‌های فروش بلیط، مالیات و یا هزینه استفاده از امکانات لوکس) وابستگی مشخصی با پارامتر سرعت ندارند.

۵) هزینه کل راه‌آهن با احتساب بخش‌های مختلف آن (هر سه حالت افزایشی، کاهشی و بی‌اثر) محدوده تقریبی سرعت ۲۵۰ کیلومتربرساعت دارای کمترین میزان هزینه‌های تجمعی می‌باشد.

لازم به ذکر است که علاوه‌بر موضوع سرعت، عواملی از قبیل سیاست‌گذاری‌های مرتبط با حمل‌ونقل، شرایط جغرافیایی و توپوگرافی مناطق و شرایط اقتصادی کشورها نیز در هزینه‌یابی خطوط سریع‌السیر اثرگذار هستند که به‌عنوان موضوعات آتی قابل‌طرح هستند. همچنین برای تحقیقات آینده استفاده از تحلیل‌های آماری و احتمالاتی برای ارزیابی هزینه‌های موجود و پیاده‌سازی روش‌های احتمالاتی برای افزایش کارایی تحلیل‌های انجام‌شده پیشنهاد می‌گردد. اعمال این روش‌ها باعث می‌شود تا شرایط عدم قطعیت در پروژه‌های راه‌آهن سریع‌السیر و تبعات اقتصادی آن در تحلیل‌ها منظور گردد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

اشراق، عبدالحمید و علیمرادی، زهرا (۱۳۹۳)؛ بررسی اثرات کیفی در ارزیابی اقتصادی طرح‌های دولتی – مطالعه موردی محور راه‌آهن تهران– میانه. کنفرانس اقتصاد، توانمندسازی اصلاح رفتارهای اقتصادی، شیراز.

اقدسی، محمد و غلامی، علیرضا (۱۳۸۲)؛ بررسی شاخص‌های بهره‌وری و ترکیب عوامل تولید در راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران. مجله فنی و مهندسی مدرس، ۱۱: ۷۹-۹۶.

پورکاظمی، محمدحسین (۱۳۸۱)؛ ارزیابی کارایی نواحی سیزده‌گانه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران به روش تحلیل پوششی داده‌ها. مجله تحقیقات اقتصادی، ۳-۴: ۱۰۵-۱۲۴.

پورکاظمی، محمدحسین و رضایی، جواد (۱۳۸۲)؛ ارزیابی کارایی نواحی سیزده‌گانه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران به روش تحلیل پوششی داده‌ها (D.E.A). مجله تحقیقات اقتصادی، ۶۳: ۱۴۵-۱۶۳.

پورکاظمی، محمدحسین و سلطانی، حسینعلی (۱۳۸۶)؛ ارزیابی کارایی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران در مقایسه با راه‌آهن‌های کشورهای آسیائی و خاورمیانه. مجله تحقیقات اقتصادی، ۸۶: ۸۷-۱۲۱.

خرازی، فرشاد و اویسی، علی (۱۳۸۷)؛ شاخص‌های مقایسه‌ای ایران و کشورهای منطقه در سال ۲۰۰۶ مرکز تحقیقات راه‌آهن.

زاهد، فاطمه (۱۳۸۴)؛ بررسی عوامل مؤثر در ارزیابی و توجیه فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پروژه‌های راه و راه‌آهن معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری – پژوهشکده حمل‌ونقل.

فطرس، محمدحسن و براتی، جواد (۱۳۹۲)، تجزیه ی دی اکسیدکربن منتشره ی بخش حمل و نقل به زیربخش ها و انواع سوخت های مصرفی، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۲ (۶) ، ۶۴-۸۳.

موحدی، محمدمهدی و حسینی، سیدمحی‌الدین (۱۳۸۹)؛ تعیین و رتبه‌بندی کارایی نواحی مختلف راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها. مجله ریاضیات کاربردی، واحد لاهیجان، ۷(۱): ۴۹-۶۴.

Adler, N.; Pels, E. and Nash, C. (2010); High-speed rail and air transport competition: Game engineering as tool for cost-benefit analysis. *Transportation Research Part B: Methodological*, 44(7): 812-833.

Alexandersson, G. (2009); Rail privatization and competitive tendering in Europe. *Built Environment*, 35(1): 43-58.

Campos, J. and de Rus, G. (2009); Some stylized facts about high-speed rail: A review of HSR experiences around the world. *Transport policy*, 16(1): 19-28.

Cantos, P. and Maudos, J. n. (2001); Regulation and efficiency: the case of European railways. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(5): 459-472.

Caves, D. W.; Christensen, L. R. and Diewert, W. E. (1982); The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*: 1393-1414.

Caves, D. W.; Christensen, L. R. and Swanson, J. A. (1981a); Economic performance in regulated and unregulated environments: a comparison of US and Canadian railroads. *The Quarterly Journal of Economics*: 560-581.

Caves, D. W.; Christensen, L. R. and Swanson, J. A. (1981b); High Cost of Regulating US Railroads, The. *Regulation*, 5: 41.

Caves, D. W.; Christensen, L. R. and Swanson, J. A. (1981c); Productivity growth, scale economies, and capacity utilization in US railroads, 1955-74. *The American economic review*: 994-1002.

Chen, G. and Silvaa, J. d. A. e. (2014); Estimating the provincial economic impacts of high-speed rail in Spain: An application of structural equation modeling. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.

Chen, C.-L. and Hall, P. (2011); The impacts of high-speed trains on British economic geography: a study of the UK's InterCity 125/225 and its effects. *Journal of Transport Geography*, 19(4): 689-704.

Coto-Millán, P.; Inglada, V. and Rey, B. (2007); Effects of network economies in high-speed rail: the Spanish case. *The annals of regional science*, 41(4): 911-925.

De Rus, G. (2008).The economic effects of high speed rail investment .OECD/ITF Joint Transport Research Centre Discussion Paper.

De Rus, G.; Barrón, I.; Campos, J.; Gagnepain, P.; Nash, C.; Ulied, A. and Vickerman, R. (2009); *Economic analysis of high speed rail in Europe.* Fundación BBVA.

De Rus, G. and Inglada, V. (1997); Cost-benefit analysis of the high-speed train in Spain. *The annals of regional science*, 31(2): 175-188.

Dobruszkes, F.; Dehon, C. and Givoni, M. (2014); Does European high-speed rail affect the current level of air services? An EU-wide analysis. *Transportation Research Part A*.

Finger, M. (2014); Governance of competition and performance in European railways: An analysis of five cases. *Utilities Policy* (0).

Forkenbrock, D. J. (2001); Comparison of external costs of rail and truck freight transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(4): 321-337.

Fu, X.; Zhang, A. and Lei, Z. (2012); Will China's airline industry survive the entry of high-speed rail? *Research in Transportation Economics*, 35(1): 13-25.

Fukui, K. (1992); Japanese National Railways Privatization Study; The Experience of Japan and Lessons for Developing Countries. World Bank.

Garcia, A. and Españoles, F. F. (2010); Relationship between rail service operating direct costs and speed. *Study and Research Group for Economics and Transport Operation. International Union of Railways & Fundacìon de los Ferrocarriles Españoles*.

Garrett, S. (2011); Florida High-Speed Rail: An Economic Policy Analysis. *thesis*.

Givoni, M. (2006); Development and Impact of the Modern High-speed Train: A Review. *Transport reviews*, 26(5): 593-611.

Gutiérrez, J. (2001); Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid–Barcelona–French border. *Journal of Transport Geography*, 9(4): 229-242.

Gutierrez, J.; Gonzalez, R. and Gomez, G. (1996); The European high-speed train network: predicted effects on accessibility patterns. *Journal of Transport Geography*, 4(4): 227-238.

Ha, H.-K.; Yoshida, Y. and Zhang, A. (2011); Social efficiency benchmarking of Japanese domestic transport services: A comparison of rail and air. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(7): 554-561.

Hernández, A. and Jiménez, J. L. (2014); Does high-speed rail generate spillovers on local budgets? *Transport policy*, 35(0): 211-219.

Ivaldi, M. and Vibes, C. (2005a); Intermodal and intramodal competition in passenger rail transport. *Available at SSRN 637242*.

Ivaldi, M. and Vibes, C. (2005b); Intermodal and intramodal competition in the long-haul passenger transport market.

Kanafani, A.; Wang, R. and Griffin, A. (2012); The Economics of Speed – Assessing the performance of High Speed Rail in Intermodal Transportation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43(0): 692-708.

Levinson, D.; Gillen, D.; Kanafani, A. and Mathieu, J.-m. (1996); The full cost of intercity transportation-a comparison of high speed rail, air and highway transportation in California. *Institute of Transportation Studies*.

Levinson, D.; Mathieu, J. M.; Gillen, D. and Kanafani, A. (1997); The full cost of high-speed rail: an engineering approach. *The annals of regional science*, 31(2): 189-215.

LIN, C. Y. (1995); The high-speed rail project and its privatization in Taiwan. *Rail International*¬

Loizides, J. and Tsionas, E. G. (2002); Productivity growth in European railways: a new approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(7): 633-644.

Mizuno, O.; Kikuno, T.; Inagaki, K.; Takagi, Y. and Sakamoto, K. (1998); Analyzing effects of cost estimation accuracy on quality and productivity. In *Proceedings of the 20th international conference on Software engineering*, 410-420: IEEE Computer Society.

Nash, C. (2008); Passenger railway reform in the last 20 years – European experience reconsidered. *Research in Transportation Economics*, 22(1): 61-70.

Nash, C. (2009); European Rail Reform-The Next Steps.

Preston, J. and Wall, G. (2008); The ex-ante and ex-post economic and social impacts of the introduction of high-speed trains in South East England. *Planning, Practice & Research*, 23(3): 403-422.

Pouryousef, H.; Lautala, P. and White, T. (2013); Review of capacity measurement 2 methodologies; similarities and differences in 3 the us and european railroads 4. *Europe*, 39: 40.

Sánchez-Borràs, M.; Nash, C.; Abrantes, P. and López-Pita, A. (2010); Rail access charges and the competitiveness of high speed trains. *Transport policy*, 17(2): 102-109.

Solow, R. M. (1962); Technical progress, capital formation, and economic growth. *The American economic review*: 76-86.

Tierney, S. (2012); High-speed rail, the knowledge economy and the next growth wave. *Journal of Transport Geography*, 22(0): 285-287.

Thompson, L. S. (1994); High-Speed Rail (HSR) in the United States—Why Isn't There More? *Japan Railway & Transport Review*: 32-39.

Vickerman, R. (1997); High-speed rail in Europe: experience and issues for future development. *The annals of regional science*, 31(1): 21-38.

Vickerman, R.; Spiekermann, K. and Wegener, M. (1999); Accessibility and economic development in Europe. *Regional studies*, 33(1): 1-15.

Vickerman, R. and Ulied, A. (2006); Indirect and wider economic impacts of high speed rail. *Economic analysis of high speed rail in Europe*: 89-118.

Yanase, N. (2010); Necessities for future high speed rolling stock. *International Union of Railways (UIC).*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی