

## تحلیل اقتصادی هزینه‌های راه‌آهن سریع‌السير در سرعت‌های مختلف به‌منظور پیااده‌سازی سرعت بهینه در ایران

زهرا علیمرادی<sup>۱\*</sup>

عبدالحمید اشراق‌نیا<sup>۲</sup>

میثم نعیمی<sup>۳</sup>

حسین امین صدرآبادی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۰۶

### چکیده

تحقیق حاضر به بررسی اقتصادی هزینه‌های راه‌آهن سریع‌السير در سرعت‌های مختلف بهره‌برداری پرداخته، بر اساس تغییر هزینه‌ها پیشنهادی در جهت سرعت بهینه بهره‌برداری ارائه می‌دهد. تعیین سرعت بهینه بهره‌برداری از دیدگاه اقتصادی همواره موضوعی چالش‌برانگیز برای پیاده‌سازی راه‌آهن سریع‌السير 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 سریع‌السير اروپا، مجموعه داده‌های پراکنده این شبکه به‌عنوان مطالعه موردی گردآوری شده و مبنای محاسبات اقتصادی قرار گرفته 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 محاسبه شده است. در نهایت با جمع‌بندی اطلاعات حاصل از آنالیزهای انجام‌شده، سرعت تقریبی ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت به‌عنوان سرعت بهینه شبکه حمل‌ونقل ریلی سریع‌السير بر مبنای مطالعه موردی تعیین گردیده است.

**کلیدواژه‌ها:** راه‌آهن سریع‌السير، سرعت، هزینه‌یابی، اقتصاد

طبقه‌بندی JEL: R51, R42, L92

**Email:** z\_alimoradi@mehr.sharif.ir

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف (نویسنده)

(مسئول)

**Email:** eshragh@sharif.edu

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

**Email:** meysam\_naeimi@yahoo.com

۳. دانشکده مهندسی راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران

**Email:** aminsadr@yahoo.com

۴. معاون پژوهشی، مرکز آموزش و تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی

## ۱. مقدمه

امروزه مسأله تقاضای افزایش حمل‌ونقل، افزایش ایمنی و قابلیت اطمینان، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، کاهش مصرف انرژی، توجه به مسائل زیست‌محیطی، جلب رضایت مشتری و غیره از جمله 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 کشورهای 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 به مراتب 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. در صورتی که 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 حمل و نقلی 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 در زمینه مباحث اقتصادی و مهندسی هزینه در راه‌آهن انجام شده و هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری از 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 مورد بررسی 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 مطرح شده است (Solow, 1962; Caves *et al.*, 1982).

موضوع هزینه‌یابی در خطوط راه‌آهن از دیرباز مدنظر محققان بسیاری قرار گرفته 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

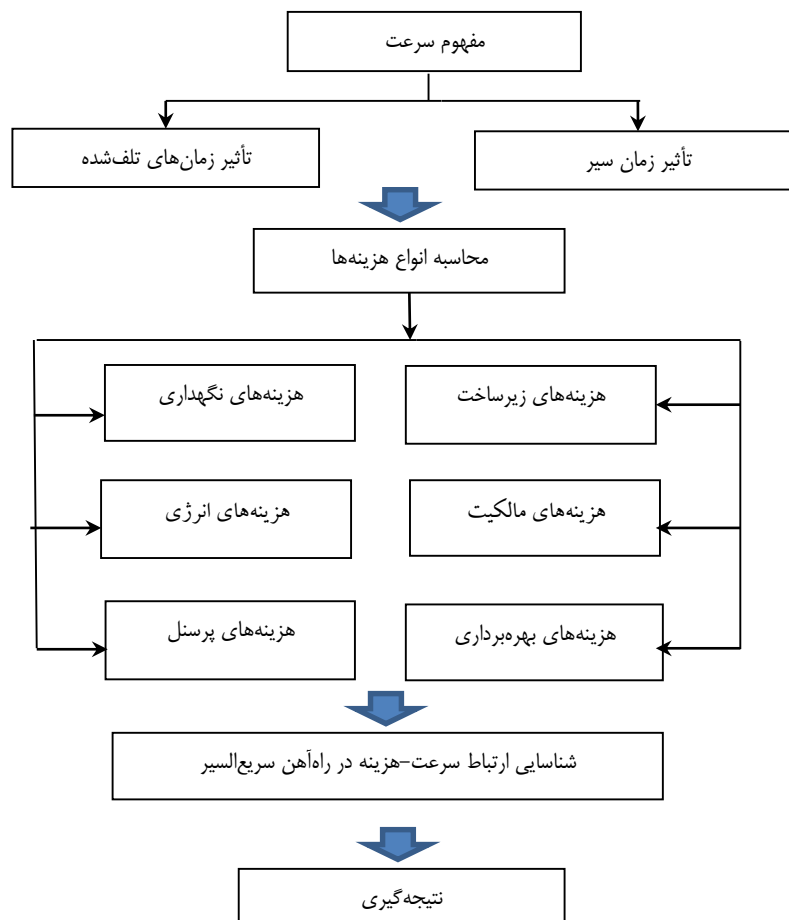
و غلامی، ۱۳۸۲) بررسی شده است. گزارش‌های اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن (UIC)، نیز ارتباط بین عملیات ریلی، سرعت خطوط و برخی هزینه‌ها را در شبکه حمل‌ونقل ریلی اروپا مشخص می‌کنند (Garcia & Españoles, 2010). لیکن اکثر تحقیقات گذشته راه‌آهن سریع‌السیر، به موضوع شبیه‌سازی فنی و نیز بحث منفعت اجتماعی پرداخته‌اند 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.

با وجود تاریخچه مذکور، تاکنون در زمینه‌ی ارتباط سرعت و هزینه‌های احداث راه‌آهن سریع‌السیر مطالعه مستقیم صورت نگرفته است، به‌نحوی که 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 از جمله 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 از جمله 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، از جمله (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 مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند (همچنین مراجعه شود به؛ Inglada, 1997; Coto-Millán *et al.*, 2007; Preston & Wall, 2008; Gutiérrez, 2001; Adler *et al.*, Dobruszkes *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2010; De Rus, 2008). به علاوه منابع دیگری از قبیل (Pouryousef *et al.*, 2013; Tierney, 2012; and Finger, 2014, Silvaa, 2014;) در ادبیات فنی موضوع قابل مشاهده هستند که حاوی اطلاعات اقتصادی مدونی از خطوط و شبکه‌های ریلی سریع‌السیر هستند، لیکن توجهی به مبحث سرعت نداشته‌اند. در واقع این تحقیقات با اهداف دیگر از جمله ارزیابی کیفیت شبکه، ارزیابی ظرفیت، ارزیابی کارایی سیستم و غیره نگاشته شده‌اند که اطلاعات اقتصادی آن‌ها می‌تواند مدارک مستندی برای پیشبرد تحقیق حاضر باشد. صرف نظر 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. به عبارت دیگر 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 مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

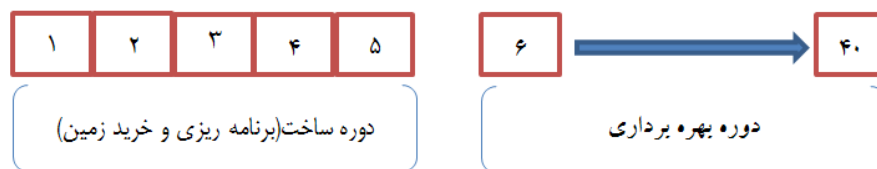
### ۳. روش تحقیق

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 در نهایت هزینه‌های بهره‌برداری متناظر با سرعت مختلف محاسبه شده است. روند انجام تحقیق در شکل ۱ نمایش داده شده 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 بهره‌برداری از پروژه پرداخته‌اند. البته عمر پروژه یک عامل نسبی است و به مسائل سیاسی، اقتصادی و جغرافیایی نیز بستگی دارد. این عامل در این شکل به صورت میانگین ۴۰ سال در نظر گرفته شده است. برای انجام محاسبات اقتصادی این تحقیق، زمان‌بندی خاص مربوط به هر یک از پروژه‌های موردبررسی به صورت جداگانه مدنظر قرار گرفته است.



شکل ۱: زمان بندی پروژه راه آهن سریع السیر

با توجه به در دسترس بودن اطلاعات سرعت و بهره برداری قطارها در شبکه حمل و نقل ریلی سریع السیر اروپا، مجموعه داده های پراکنده این قاره به عنوان مطالعات موردی گردآوری شده و به عنوان مبنای محاسبات مقاله در نظر گرفته شده است. این اطلاعات در منابع مختلف از جمله Dobruszkes et al., 2014; Chen and Finger, 2014, Silvaa, de Rus et al., 2009; Pouryousef et al., 2013; Tierney, 2012; 2014 هم به صورت موردی (کشور خاصی در اتحادیه اروپا) و هم به صورت تجمعی (اطلاعات کلی شبکه) قابل مشاهده هستند. علاوه بر موضوع در دسترس بودن اطلاعات، دلایل زیر در انتخاب این شبکه به عنوان مطالعه موردی در تحقیق حاضر مدنظر قرار گرفته اند: (۱) قرار گرفتن خطوط سریع السیر راه آهن اروپا در یک شبکه واحد و متصل به هم که امکان مقایسه و ارزیابی خطوط و شرایط کشورهای واقع در اتحادیه اروپا را به صورت تطبیقی فراهم می نماید. (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 می کند. (۳) از منظر الگوپذیری، اطلاعات به دست آمده از یک شبکه حاوی چند کشور و با خطوط متنوع و مترکم قابلیت بیشتری برای ارائه الگو به سایر نقاط دنیا می تواند داشته باشد. در مقابل در صورتی که تحلیل بر روی یک کشور خاص از قبیل ژاپن، فرانسه، چین و غیره صورت پذیرد، کاربرد کمتری از حیث الگوپذیری دارد. (۴) اطلاعات ورودی مورد استفاده در این تحقیق مربوط به خطوط در حال بهره برداری است، لیکن در برخی کشورها از جمله چین و آمریکا خطوط سریع السیر زیادی در دست احداث هستند که تجارب اقتصادی مربوط به احداث و بهره برداری این پروژه ها تا چند سال پس از بهره برداری به طور کامل روشن نمی باشد. با این توضیحات شبکه خطوط سریع السیر اروپا مبنای محاسبات اقتصادی این تحقیق قرار گرفته است. لازم به ذکر است که داده های ورودی به صورت حقیقی بوده و در مواقعی که اطلاعات سالیانه مدنظر بوده، اطلاعات سال ۲۰۱۰ به عنوان مبنای مطالعه استخراج گردیده است.

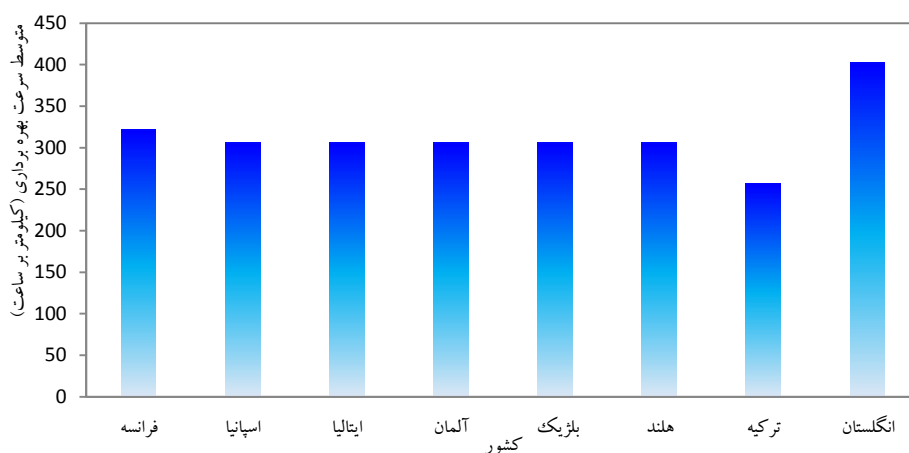
### ۱-۳. معرفی انواع سرعت در حمل و نقل ریلی

قطار پرسرعت (سریع السیر) نسبت به راه آهن معمولی به طور قابل ملاحظه ای 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، به این ترتیب که هرگاه سرعت عبوری قطارها بیش از ۲۰۰ کیلومتر در ساعت باشد می‌توان آن‌ها را قطارهای سریع‌السیر قلمداد کرد (Yanase, 2010). با وجود 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 به سرعت بالای ۲۰۰ کیلومتر را به عنوان سریع‌السیر در نظر می‌گیرد (Gutierrez et al., 1996)). شاخص سرعت یکی از اساسی‌ترین شاخص‌هایی است که برای انواع مدهای حمل‌ونقل من جمله 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 داده شده است.

### ۱-۳-۱. 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 داده شده 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 زمان بندی، تعداد و زمان توقف ایستگاه‌ها می‌باشد. زمان سفر و توقف قطار (دقیقه) از معادله زیر به دست می‌آید،



درحالی که در آن  $R$  زمان توقف (دقیقه)  $D$  مسافت سفر (کیلومتر) و  $S_{av}$  سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت) می باشد (de Rus et al., 2009).

$$T = R + 60D/S_{av} \quad (۱)$$

تعداد دورهایی که یک قطار در یک روز طی می کند (در طی ساعت) توسط معادله به دست آمده می آید (de Rus et al., 2009).

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

که در آن  $H_t$  نشان دهنده زمان طی سفر می باشد. همان طور که در معادله مشاهده می شود، طول مسیری که توسط قطار به طور سالیانه طی می شود با  $RA$  مشخص می شود:

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

با توجه به اینکه سرعت تجاری عوامل متنوعی از قبیل زمان بندی حرکت قطارها، مشخصات مسیر، تعداد و زمان توقف ایستگاهها را در نظر می گیرد، در این تحقیق سرعت میانگین مبنای انجام محاسبات اقتصادی در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال اگر دو حالت قطارهای محلی (با مسافت حداکثر ۲۰۰ کیلومتر) و نیز قطارهای با مسافت طولانی (با مسافت حداکثر ۵۰۰ کیلومتر) به عنوان ملاک ارزیابی انتخاب شود، میزان مسافتی که قطار برای رفت و برگشت<sup>۱</sup> سالانه طی می کند در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل فرض شده است که روزانه ۷ ساعت از قطار استفاده شود.

#### ۴. آنالیز هزینه راه آهن سریع السیر در سرعت های مختلف

در این بخش انواع هزینه های مرتبط با پروژه های راه آهن سریع السیر با تکیه بر داده های شبکه راه آهن سریع السیر اروپا پرداخته شده است. اطلاعات ورودی این تحلیل از مراجع مختلف از قبیل (Cantos & Maudos, 2001; Loizides & Tsionas, 2002; Nash, 2008; Vickerman, 1997; et al., 1999) استخراج گردیده است. برای در نظر گرفته هزینه های راه آهن سریع السیر دسته بندی های مختلفی قابل طرح می باشد. در برخی از تحقیقات گذشته هزینه ها را به طور کلی به سه دسته (هزینه زیرساخت، بهره برداری و نگهداری) تقسیم می کنند (de Rus et al., 2009; Hernández & Jiménez, 2014). علاوه بر طبقه بندی مذکور می توان هزینه ها را به

۱. Turnover

هزینه‌های عمرانی (زیرساخت)، هزینه‌های خرید قطار و تجهیزات تقسیم نمود. هزینه‌های خرید قطار<sup>۱</sup> به سه دسته هزینه اکتساب (مالکیت)<sup>۲</sup>، بهره‌برداری<sup>۳</sup> و نگهداری<sup>۴</sup> قطارها تقسیم می‌شوند. در این مقاله تا حد امکان کلیه هزینه‌های مرتبط با طول عمر پروژه در نظر گرفته شده و به تفکیک بررسی شده است.

#### ۱-۴. هزینه‌های زیرساخت

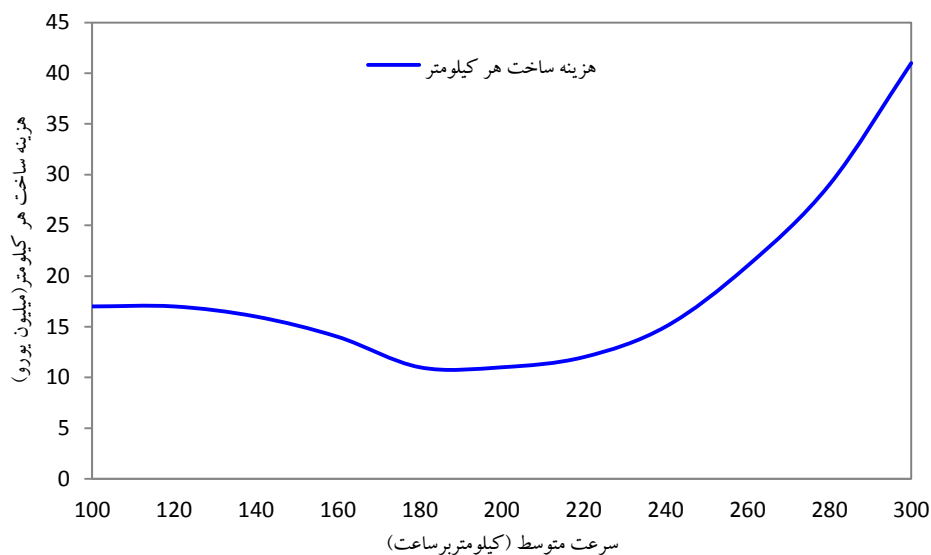
هزینه‌های زیرساخت<sup>۵</sup> به دودسته<sup>۶</sup> از هزینه‌های ساخت و هزینه‌های نگهداری تقسیم می‌شود. لیکن در بخش بعد هزینه نگهداری به‌طور جداگانه بررسی شده است. هزینه‌های زیرساخت به‌صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$IC_t = IC_t^c + IC_t^m = \sum_{t=1}^{t_0} \frac{c \cdot L(1+h)}{(1+i)} + \sum_{t=t_0+1}^T \frac{m \cdot l}{(1+i)} \quad (4)$$

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 گرفته شده 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 با وجود این 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

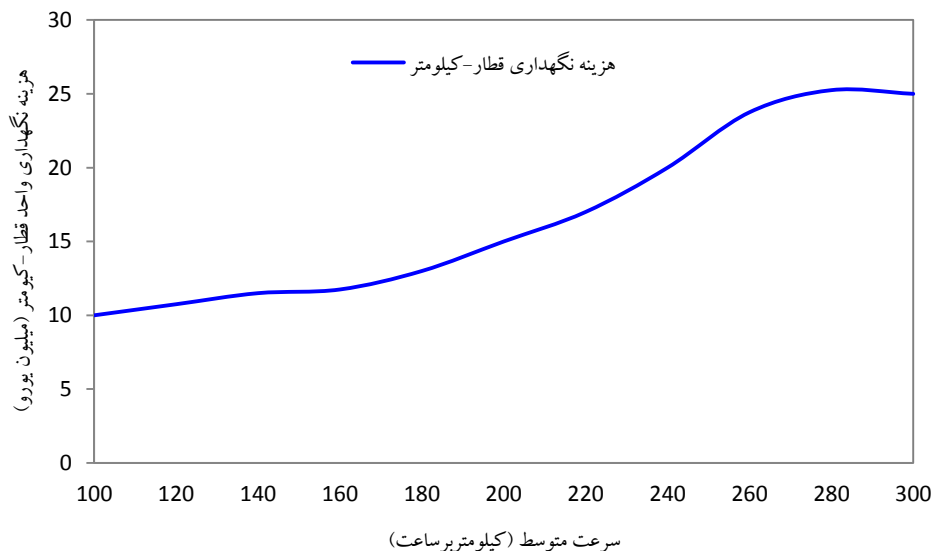
۱. هزینه‌های زمین و برنامه‌ریزی شامل مطالعات امکان‌سنجی و تجزیه و تحلیل فنی و اقتصادی طرح، طراحی فنی، خرید زمین و دیگر هزینه‌ها (هزینه‌هایی مانند عوارض، بیمه و غیره) می‌باشد. این هزینه‌ها تقریباً بین ۵ الی ۱۰ درصد از هزینه‌های کل سرمایه‌گذاری را شکل می‌دهند.
  ۲. هزینه‌های احداث زیرساخت شامل انواع هزینه‌های 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 استخراج شده 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 داده شده 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

#### ۴-۲. هزینه‌های نگهداری

با در نظر گرفتن هزینه‌های نگهداری خط، الکتریسیته، سیگنالینگ، مخابرات و سایر هزینه‌های نگهداری از جمله نگهداری قطارها، نظافت، ایستگاه‌ها در سیستم راه‌آهن سریع‌السیر در محدوده اروپا، ارتباط هزینه نگهداری و سرعت متوسط قطارها استخراج شده 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.



شکل ۳: هزینه احداث تقریبی هر کیلومتر خط راه آهن سریع السیر برای سرعت های مختلف در محدوده اروپا

### ۳-۴. هزینه خرید قطار

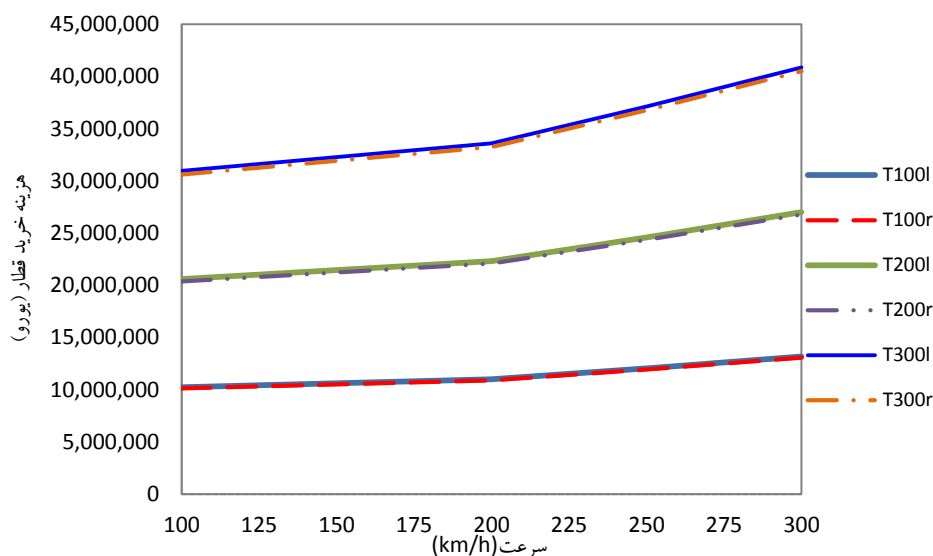
هزینه خرید قطارهای سریع السیر به عوامل زیادی از جمله تعداد صندلی، توان الکتریکی، سرعت، میزان راحتی و غیره بستگی دارد. به منظور تعیین ارتباط بین هزینه خرید قطارهای سریع السیر با سرعت از رابطه ۵ استفاده شده است. همان طور که در رابطه مشاهده می شود، این هزینه با ضرب تعداد قطارهای خرید شده در هر سال در واحد هزینه هر صندلی ( $a$ ) و متوسط ظرفیت آن ها ( $\bar{q}$ ) به دست می آید (de Rus et al., 2009).

$$RSC^A = \sum_{t=1}^T \frac{(RS_t - RS_{t-1}) \cdot a \cdot \bar{q}}{(1+i)^t} \quad (5)$$

در این رابطه هزینه خرید (مالکیت) قطار به صورت سالیانه است که در دو سال  $t$  و  $t-1$  محاسبه شده و به منظور 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 می باشد. در واقع،  $i$  نوعی نرخ بهره پولی است که با استناد به (de Rus et al., 2009)، با در نظر گرفتن تورم و مالیات و وام ها و غیره محاسبه می شود و مفهوم جامع تری را برای نرخ بهره در نظر می گیرد. در ادامه هزینه خرید قطارهای با طول های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ متر و هر کدام را در دو حالت محلی<sup>۱</sup> (مانند T100r) و

۱. Regional

مسافت‌های طولانی<sup>۱</sup> (مانند T100l) مورد بررسی قرار گرفته 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 بهره‌برداری از قطار

برای این هزینه مقدار مطلق وجود ندارد، لیکن با تقسیم هزینه خرید (مالکیت) قطار بر صندلی-کیلومتر، می‌توان یک مقدار قابل مقایسه‌ای برای آن به دست آمده آورد. این هزینه توسط رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

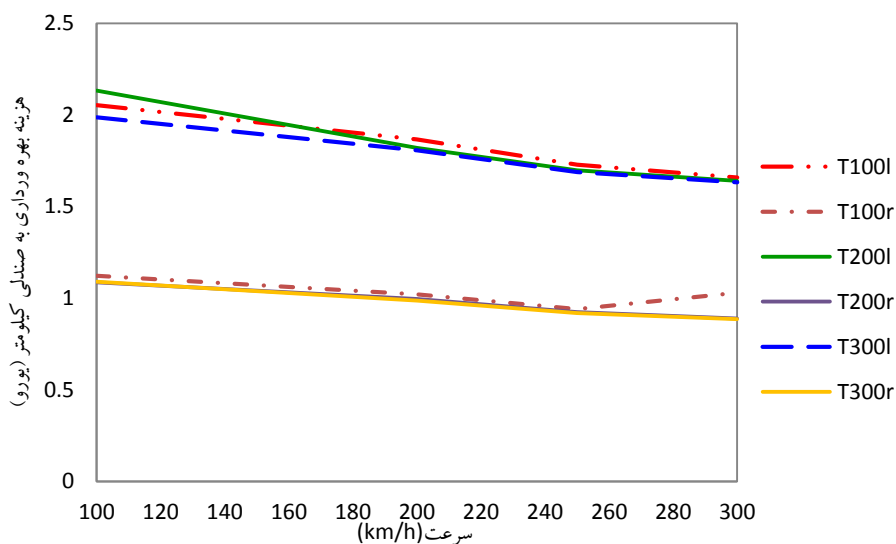
$$OC = \frac{RS}{100S * RA} \quad (6)$$

که در این رابطه  $RS$  هزینه خرید (مالکیت) قطار به صورت سالیانه و  $RA$  طول مسیری است که توسط قطار به طور 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 به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به نزدیک بودن برخی داده‌ها در نتایج قطارهای محلی و مسافت زیاد، یک معادله برای آن‌ها برازش گردیده است.



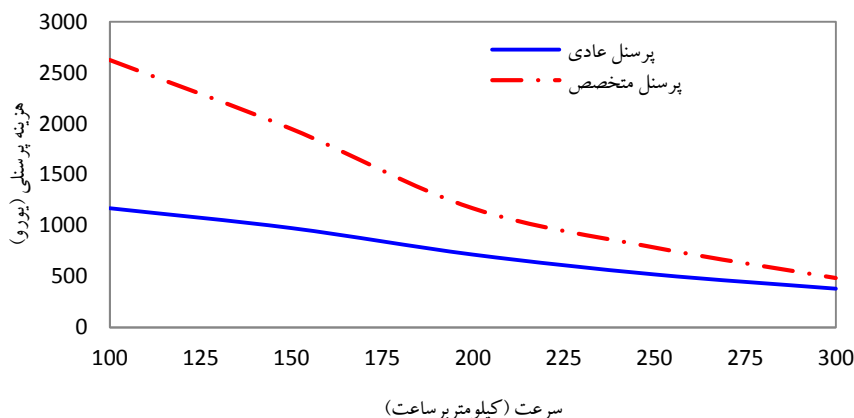
شکل ۵: هزینه بهره‌برداری انواع قطار در سرعت‌های مختلف

#### ۴-۵. هزینه‌های پرسنلی

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

$$SC = \left( \frac{LC_p}{J_p * S_{av} * H_p} + \frac{LC_n}{J_n * S_{av} * H_n} \right) \frac{1}{100} \quad (7)$$

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 بهره‌برداری از قطار می‌باشد. همچنین  $S_{av}$  سرعت متوسط قطار می‌باشد. شکل ۹ با ترسیم هزینه پرسنلی به دست آمده از این رابطه، نسبت به سرعت متوسط بهره‌برداری به دست آمده است.



شکل ۶: هزینه پرسنل در بهره‌برداری در سرعت‌های مختلف

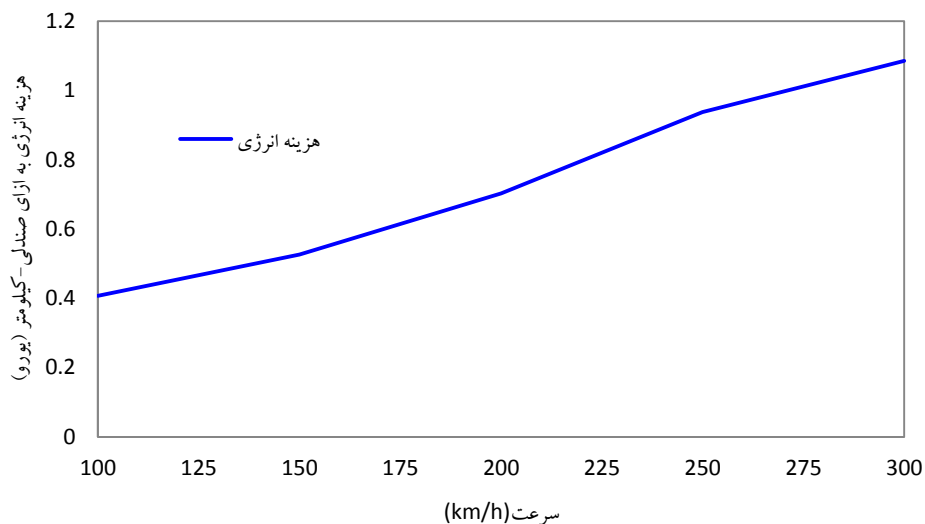
#### ۴-۶. هزینه انرژی

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 از نظر میزان مصرف موتورها، ذخیره‌سازی انرژی در زمان ترمزگیری 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 می‌تواند شامل برخی هزینه‌های غیر مستقیم نیز باشد که در این تحقیق از آنها صرف نظر شده است. برای مثال ارتباط بین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در بخش حمل و نقل و شیوه حمل و نقل و انواع سوخت‌های مصرفی توسط قطار و براتی (۱۳۹۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بخش به منظور 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 داده شده است.





شکل ۱۰: هزینه انرژی قطار در سرعت‌های مختلف

#### ۴-۷. هزینه‌های خارجی

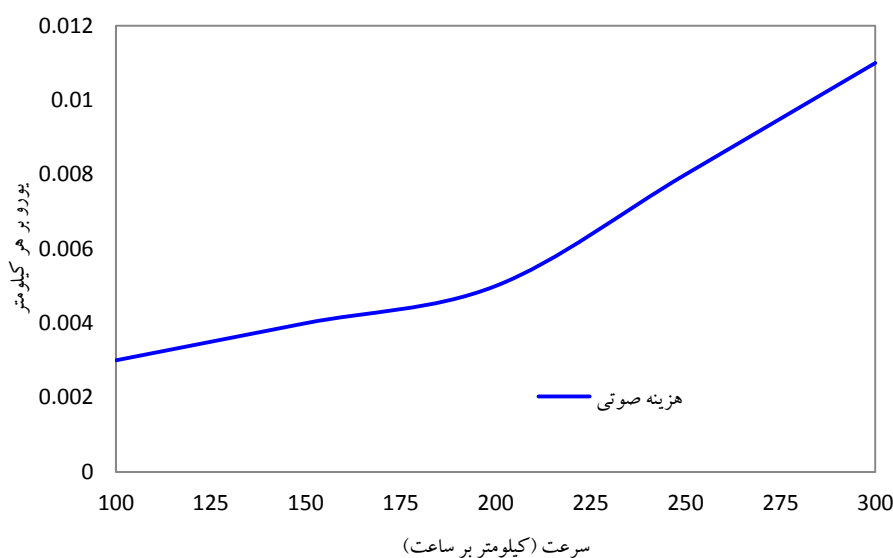
علاوه بر هزینه‌های مستقیم راه‌آهن سریع‌السیر که در بخش‌های قبل ارائه شد، برخی هزینه‌های غیرمستقیم نیز وجود دارند که در این بخش تحت عنوان هزینه‌های خارجی<sup>۱</sup> مطرح گردیده‌اند. مهم‌ترین اثرات اجتماعی- زیست‌محیطی که باید در طرح‌های حمل‌ونقل مدنظر قرار گیرد، در جدول ۱ دسته‌بندی گردیده است (زاهد، ۱۳۸۴).

جدول ۱: برخی از اثرات اجتماعی در طرح‌های حمل‌ونقل

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

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 بهره‌برداری از خطوط باعث ایجاد برخی هزینه‌های زیست‌محیطی<sup>۱</sup> 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. علاوه بر این هزینه‌های زیست‌محیطی و خارجی راه‌آهن سریع‌السیر نسبت به سایر هزینه‌های سیستم قابل‌اغماض است، لیکن به‌عنوان مثال هزینه آلودگی صوتی، برای سرعت‌های مختلف بهره‌برداری در شکل ۱۱ ارائه گردیده است.



شکل ۷: متوسط هزینه صوتی راه‌آهن سریع‌السیر

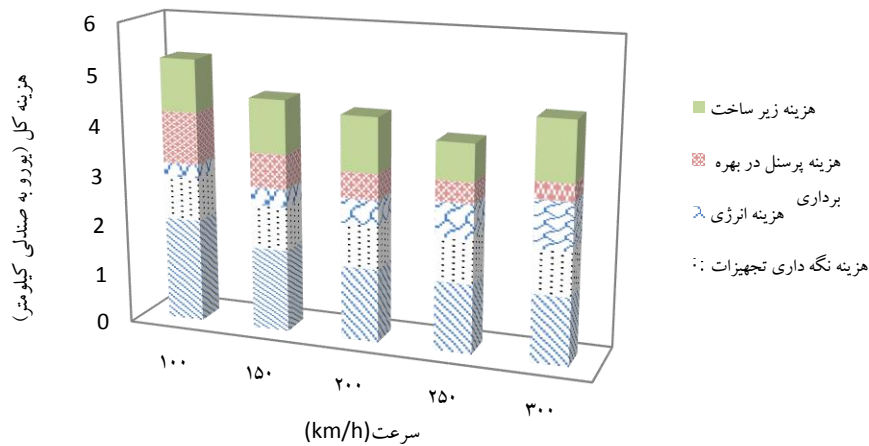
## ۵. جمع‌بندی ارتباط هزینه و پارامترهای بهره‌برداری

در این بخش نتایج به‌دست‌آمده در بخش‌های قبل باهم تلفیق شده 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 کاهش یافته 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

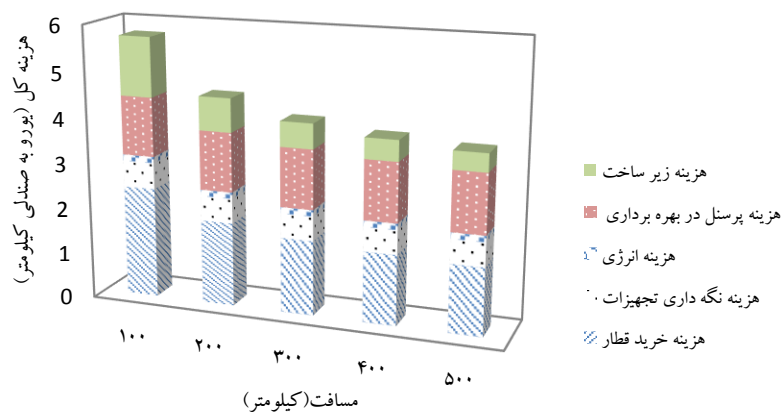


شکل ۸: تغییرات انواع هزینه در سرعت‌های متوسط مختلف

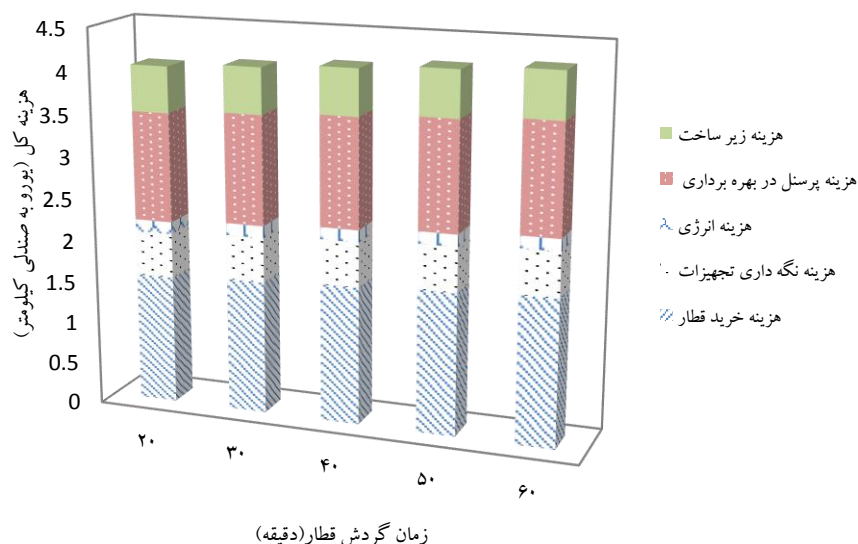
همان‌طور که در شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود، سطح زیر بالاترین نمودار ارائه‌دهنده هزینه کل با احتساب بخش‌های مختلف آن به صورت تجمعی می‌باشد. ارتباط سرعت با بخش‌های مختلف هزینه-ای نیز در شکل نمایان شده است. مطابق این شکل، مجموع هزینه‌ها در محدوده تقریبی سرعت ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت دارای کمترین میزان می‌باشد.

## 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 داده شده و سهم هزینه‌های 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. در نتیجه در این مطالعه از آن‌ها صرف‌نظر شده است.

۲. هرچند هزینه بهره‌برداری از قطار با افزایش سرعت اندکی کاهش می‌یابد، لیکن هزینه‌های بهره‌برداری از زیرساخت، در اثر حرکت قطار بوده و مستقیماً مرتبط با زیاد شدن سرعت افزایش می‌یابد. هرچند میزان هزینه‌های بهره‌برداری وابسته به سرعت 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 در مجموع 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 به صورت 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 رفت و برگشت به ایستگاه‌های اصلی بر هزینه استهلاک و سرمایه قطار تأثیر می‌گذارد. در نتیجه می‌توان به یک مسافت اقتصادی یا بهینه دست یافت که در آن هزینه‌های سرمایه (دارایی ثابت) در طول عمر قطار مستهلک گردد.

۶. با توجه به اثر صندلی کیلومتر در محاسبات انجام شده، 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 به اندازه قطار ارتباط ضعیفی دارند. در نهایت، هزینه‌های انرژی، با افزایش اندازه قطار پایین‌تر می‌آیند، چراکه وزن قطار (بر اساس تعداد صندلی) و سطح مقطع مورد نیاز 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 مورد مطالعه قرار گرفت. با در نظر گرفتن شبکه حمل و نقل ریلی سریع‌السیر اروپا به عنوان مطالعه موردی محاسبات اقتصادی بر مبنای این شبکه انجام پذیرفت. مهم‌ترین نتایج تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

- ۱) هزینه کل راه‌آهن سریع‌السیر شامل مجموع هزینه‌های زیرساخت، نگهداری، خرید قطار، بهره‌برداری، 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 انجام شده، صرف‌نظر از برخی انحرافات مقطعی در نمودارها، ارتباط کلی بین سرعت با هزینه‌های زیرساخت، نگهداری، خرید قطار و انرژی به صورت 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 کیلومتر بر ساعت دارای کمترین میزان هزینه‌های تجمعی می‌باشد. لازم به ذکر است که علاوه بر 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.

## 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، محمد مهدی و حسینی، سیدمحمی‌الدین (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.; Uljed, 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 & Fundación 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 Ulid, 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)*.