

مدل سازی و هزینه‌یابی تأخیر قطارهای راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران

مقاله علمی - پژوهشی

فرشاد صادقیان یکتا، دانش آموزخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه ارشاد دماوند، تهران، ایران
حمید علیپورصبحی، دانش آموزخته کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام، تهران، ایران
فرزانه نظری‌زاده*، دانشجوی دکتری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Farzaneh.nazarizadeh@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

صفحه ۱۲۸-۱۰۹

چکیده

تأخیر یکی از مهمترین مشکلات سیستم‌های حمل و نقل ریلی است که هزینه‌های مادی و معنوی بسیار زیادی دارد. از بین رفتن اعتماد مسافران، اتلاف وقت مسافران، مسدود شدن در سیستم یک خطه، استهلاک دیزل، پرداخت خسارت به مسافران، اتلاف سوخت و... تنها بخشی از هزینه‌های وارد شده به سیستم حمل و نقل ریلی می‌باشد. در زمینه هزینه‌یابی تأخیر قطارها تاکنون هیچ مطالعه‌ای در ایران انجام نشده است. در شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران نیز به علت تأخیر قطارها سالانه میلیاردها تومان هزینه تحمیل می‌شود که در حال حاضر میزان آن مشخص و قابل محاسبه نیست. همچنین زمانی می‌توان حساسیت و درک بهتری نسبت به تأخیرها داشت که میزان زیان تحمیل شده به سیستم مشخص و قابل محاسبه باشد. لذا در این تحقیق سعی می‌شود در ابتدا تمامی عوامل و زیر عامل‌های تأخیر شناسایی شده و سپس تفکیک و دسته‌بندی تمام عوامل و زیر عامل‌های تأخیر همراه با ارتباطات آن‌ها در مدلی شماتیک آورده شود و پس از آن با استفاده از هزینه‌یابی علمی و دقیق، میزان خسارتی که هر کدام از عامل‌های تأخیر در قطارهای مسافری راه آهن جمهوری اسلامی ایران وارد می‌نمایند، مشخص گردد که با استفاده از این هزینه‌یابی می‌توان عوامل مختلف را رتبه بندی نمود، میزان خسارت وارد شده به شرکت راه آهن در بازه‌های زمانی مختلف را بررسی کرد و با توجه به حساسیتی که نسبت به انواع تأخیرها به وجود می‌آید در جهت بهبود، کاهش و رفع تأخیرها و همچنین مدیریت بهینه سرمایه‌گذاری تلاش نمود.

واژه‌های کلیدی: تأخیر، هزینه‌یابی تأخیر، قطارهای مسافری، راه آهن جمهوری اسلامی ایران

۱-مقدمه

اهمیت هر یک از عامل‌های تأخیر داشت که بتوان میزان زیانی که هر عامل به سیستم وارد می‌نماید را اندازه‌گیری نمود. تأخیرها علاوه بر زیان‌های مالی که برای شرکت ارایه دهنده خدمات دارند باعث نارضایتی مسافران نیز می‌شوند. (Markovich et al. ۲۰۱۵). به حداقل رساندن میزان تأخیرها و برنامه‌ریزی جهت مدیریت آنها همواره از اهداف بسیار مهم و اساسی برای شرکت‌های ارایه دهنده خدمات ریلی می‌باشد. با توجه به زیانهای فراوان مالی تأخیرها، هزینه‌یابی عوامل مختلف موثر بر

تأخیر قطارها شامل عوامل بسیار زیادی است که تعدادی از آن‌ها به صورت سیستماتیک و تعدادی از آن‌ها به صورت غیر قابل پیش بینی و اتفاقی می‌باشد. در اکثر مواقع تأخیرهای به وجود آمده حالت افزایشی به خود می‌گیرند به نحوی که تأخیر به وجود آمده اولیه موجب تأخیرهای بیش‌تر در ادامه مسیر می‌شود. اکثر مطالعات انجام شده پیرامون موضوع تأخیر قطارها به پیش بینی میزان تأخیرها و تخمین زمان حادث شدن آنها معطوف شده است در حالی که زمانی می‌توان درک بهتری نسبت به میزان

به طور میانگین، هفته ای چهل هزار دقیقه تاخیر در سیستم حمل و نقل قطارها وجود دارد که این تاخیرها هزینه‌های بسیار زیادی را به شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نماید. اهمیت زیاد تاخیرها و هزینه بسیار کلانی که به علت تاخیرها به شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران وارد می‌شود بدیهی است ولیکن تاکنون هیچ گونه هزینه‌یابی دقیقی در جهت محاسبه میزان خسارات مالی وارد شده ناشی از تاخیرها صورت نگرفته است و حساسیتی نسبت به هزینه‌های بسیار زیادی که صنعت ریلی در حال تحمل آن‌ها است به وجود نیامده است. لذا هدف این تحقیق در ابتدا ایجاد مدلی شماتیک برای شناسایی و رسم ارتباطات تمامی عامل‌ها و زیرعامل‌های حوزه‌های مختلف موثر بر تاخیر قطارها می‌باشد و سپس هزینه‌یابی آن‌ها به صورتی انجام می‌شود که مشخص گردد هر کدام از عامل‌ها یا زیرعامل‌های تاخیر، چه مقدار هزینه به شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران وارد می‌کنند.

۳- اهمیت و ضرورت پژوهش

۱) در کشور ایران با استناد به پایگاه داده قطارهای مسافری در شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران سالیانه حدود دو میلیون و یکصد هزار دقیقه تاخیر دارند و این در حالی است که تاکنون هیچ‌گونه هزینه‌یابی علمی و دقیقی که مشخص نماید هر کدام از عامل‌ها یا زیرعامل‌های تاخیر چه میزان خسارتی را به شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نمایند، یا به عبارت ساده‌تر هر دقیقه توقف و تاخیر یک قطار چه مقدار ضرر مالی به مجموعه وارد می‌نماید، صورت نگرفته است. ۲) در شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران سال‌های بسیاری است که به طور هفتگی جلسه‌ای با عنوان جلسات عالی گراف در بالاترین سطوح مدیریتی انجام می‌شود. لیکن با توجه به این‌که تاکنون هزینه‌یابی برای تاخیر قطارها انجام نشده است، حساسیت مالی مناسبی برای این ضرر کلان وارده به سرمایه‌های ملی ایجاد نشده است و برنامه‌ریزی مدونی نیز برای مقابله با هزینه کلان تاخیرها وجود ندارد. زیرا زمانی می‌توان درک بهتری نسبت به میزان اهمیت هر یک از عامل‌های تاخیر داشت که بتوان میزان زیانی که هر عامل به سیستم وارد می‌نماید را اندازه‌گیری نمود. به عبارت دیگر اگر

تأخیر قطارها ضمن آرایه اطلاعات و گزارش‌های دقیق، بستری جهت برنامه‌ریزی بهینه برای به حداقل رساندن تاخیرها و هزینه‌های ناشی از آن‌ها را فراهم می‌سازد و این امکان را برای برنامه‌ریزها فراهم می‌سازد تا در جهت کاهش هزینه تاخیرها و برنامه‌ریزی برای بودجه در دسترس سازمان رویکرد و برنامه‌ریزی بهتر و موثرتری داشته باشند (Hansen and Pachl, ۲۰۰۸) در سیستم‌های حمل و نقل ریلی دو هدف بسیار مهم جهت بهبود بهره‌وری وجود دارد که یکی از آن‌ها افزایش قابلیت اعتماد و اطمینان است و دیگری کاهش هزینه‌های خدمت رسانی می‌باشد. برای رسیدن به بهره‌وری مناسب باید به ارزیابی و بهبود این دو عامل پرداخت و آگاهی مناسبی از هزینه‌های مورد انتظار خدمت رسانی و سطح توقعات داشت. قابلیت اعتماد و اطمینان عامل اصلی بسیار موثر بر موفقیت در سیستم‌های حمل و نقل انبوه است که عوامل بسیار زیاد و متنوعی بستگی دارد (Barron et al., ۲۰۱۳). برای مثال زمان رسیدن به مقصد، میزان تاخیرها، زمان انتظار مسافران جهت سوار و پیاده شدن و ... از عوامل بسیار مهم در جلب رضایت مسافران و جلب اعتماد و پاسخ‌دهی به توقعات آنها است (Carey and Kwieciński, ۱۹۹۵).

۲- پیشینه تحقیق

به حداقل رساندن میزان تاخیر در حمل و نقل و برنامه‌ریزی جهت کاهش و مدیریت آن‌ها همواره جزو اهداف عالی و بسیار مهم و موثر برای شرکت‌های آرایه دهنده خدمات ریلی و مدیریت لجستیک در سطح کلان بوده است (Markovich et al., 2015). عوامل مختلف و متعددی می‌تواند موجب تاخیر قطارها شود. بسیاری از این عوامل برای تمامی قطارها در سرتاسر دنیا یکسان است و بسیاری از عوامل دیگر با توجه به شرایط اقتصادی، آب و هوایی، فرهنگی و ... هر کشور می‌تواند متفاوت باشد. با استناد به سیستم بی‌آی در شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران تمام تاخیرهای به وجود آمده برای قطارهای مسافربری مربوط به یکی از ۱۱ عامل اصلی است. هر یک از عوامل اصلی (حوزه‌های کاری) ناشی از زیرعامل‌های بسیار زیاد و متنوعی هستند که ابعاد مسئله را بسیار بزرگ می‌کند و نیاز به شناسایی، تفکیک، دسته‌بندی و ارزیابی دقیق عوامل را ضروری می‌سازد. با توجه به گزارش‌های هفته‌ای سیستم بی‌آی

میزان خسارت وارد شده ناشی از تاخیر قطارها به مجموعه مشخص و محاسبه شده باشد این جلسات می تواند منجر به برنامه ریزی عملیاتی دقیق و مدونی برای تخصیص بودجه مناسب با میزان تاثیر عامل ها و بکارگیری راهکارهای متنوع و عملیاتی در جهت کاهش و حذف تاخیرها شود. لذا انجام این تحقیق می تواند حساسیت مدیران ارشد راه آهن ایران را نسبت به تاخیر قطارها افزایش دهد. (۳) تاخیر قطارها در شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران ناشی از ۱۱ عامل اصلی می باشد. با توجه به این که هر یک از عامل های اصلی از زیر عامل های متعددی تشکیل شده اند، ابعاد مسئله هزینه یابی تاخیرها بسیار بزرگ شده است و بررسی علمی، دقیق و موثر تاخیرها منوط به شناسایی، تفکیک، دسته بندی، ارزیابی و هزینه یابی هر کدام از زیر عامل ها می باشد که تا کنون در این زمینه مطالعه ای در شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران صورت نگرفته است. در نتیجه در حال حاضر ضرورت یک بررسی جامع برای شناسایی، تفکیک، دسته بندی و هزینه یابی کلیه عوامل موثر بر تاخیر قطارها اهمیت و ضرورت وصف ناپذیری برای شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران پیدا کرده است که این ارزیابی می تواند بستر مناسبی در جهت توجه پیش تر به اقدامات اصطلاحی را فراهم آورد.

برای مشخص شدن کیفیت دستاوردهای این پژوهش و مقایسه میزان انطباق دستاوردها با اهداف آن، سوالات زیر مطرح می باشد:

الف) آیا با انجام این پروژه میزان هزینه ای که هر عامل تاخیر به شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می نماید مشخص می گردد؟

ب) مجموع هزینه ای که به صورت هفتگی، ماهیانه و سالیانه در اثر تاخیرها به شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می شود، چقدر است؟

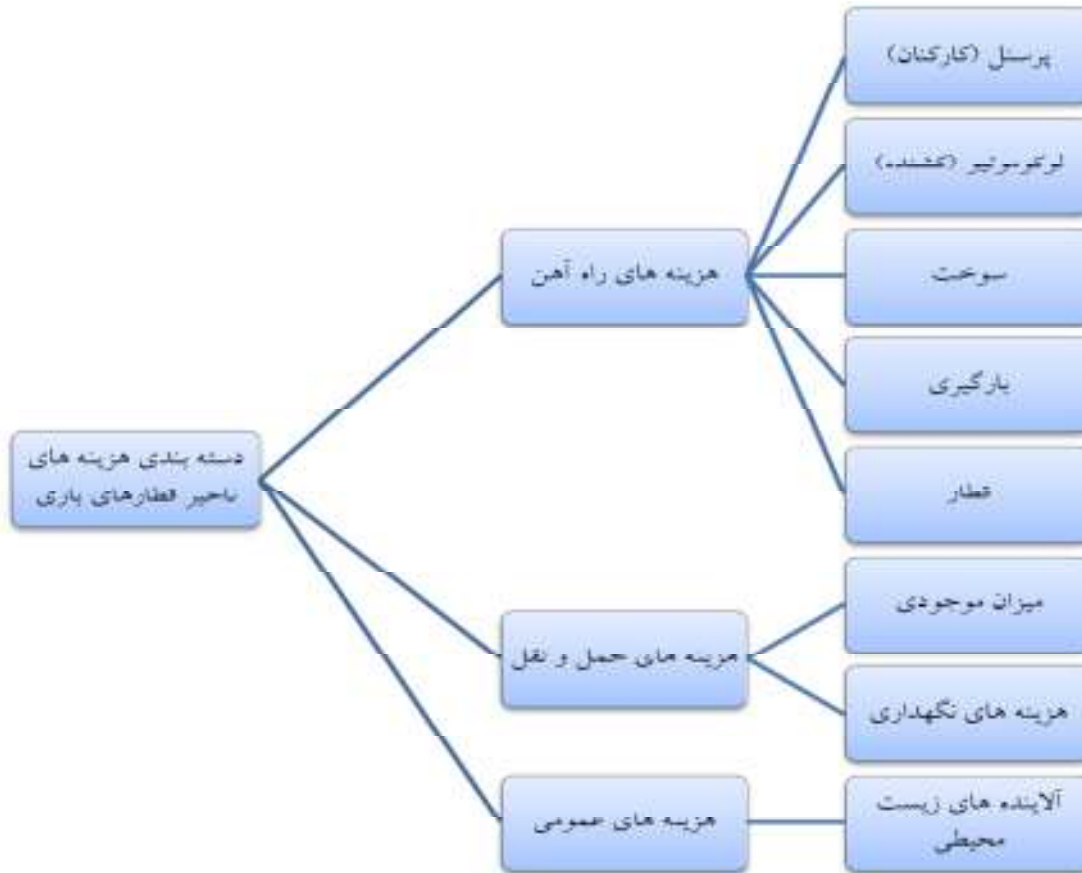
پ) آیا هزینه یابی تاخیر قطارها می تواند سبب حساسیت مدیران عالی رتبه راه آهن جمهوری اسلامی ایران نسبت به تاخیرها شود.

اولین مطالعه مربوط به هزینه یابی در صنعت حمل و نقل ریلی به سال ۱۹۹۷ در دانشکده مهندسی راه آهن دانشگاه دلف هلند برمی گردد که در آن تحقیق زوتمن به هزینه یابی و بررسی منافع طراحی و تعمیرات و نگهداری خطوط راه آهن پرداخت (Zoeteman, 2004). اساس تحقیق زوتمن بر مبنای

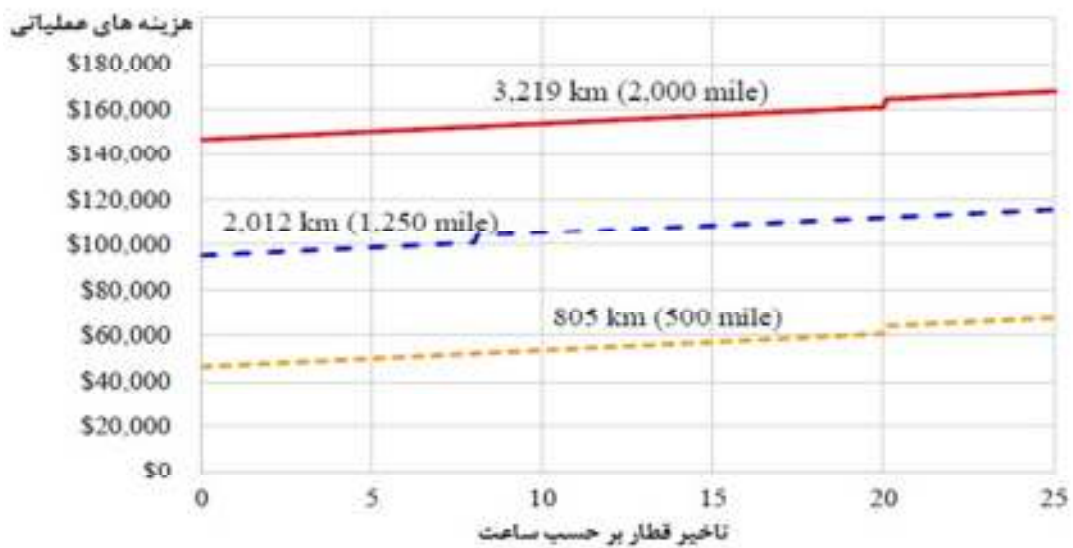
هزینه چرخه عمر (LLC) و با استفاده از تکنیک هزینه و درآمد شکل گرفت. ورودی های مدل زوتمن هزینه های کارگری، هزینه های تخریب، نرخ بهره پولی و... بود و خروجی های مدل وی هزینه های تعمیر و نگهداری، هزینه ساختمان ها و درصدی هم به عنوان هزینه های پنهان بود. او برای جمع آوری اطلاعات از یک منبع داده و سیستم پشتیبانی از تصمیم گیری که توسط نیروی انسانی کنترل و هدایت میشد استفاده نمود. که وی برای شناسایی مهم ترین قسمت های ریلی برای قطارهای باری، تناژ بار انتقال یافته از هر مسیر را در نظر گرفت. پس از شناسایی مهم ترین مسیرها زوتمن هزینه تجهیز و در صورت نیاز ایجاد زیر ساخت های بهتر در آن منطقه را محاسبه نمود. در مرحله بعد زوتمن هزینه نگهداری سالیانه تجهیزات را محاسبه کرد و با استفاده از تکنیک هزینه و درآمد به ارزیابی تجهیز و بازسازی زیرساخت ها پرداخت و به این صورت اولین تحقیق در زمینه هزینه یابی و ارزیابی سرمایه گذاری در ایجاد و بازسازی زیرساخت ها صورت گرفت (Zoeteman, 2004). در زمینه هزینه یابی تاخیر قطارها تنها دو مطالعه صورت گرفته است که یکی مربوط به هزینه یابی تاخیر قطارهای مسافری در کشور انگلستان است و دیگری مربوط به هزینه یابی تاخیر قطارهای باری در آمریکای شمالی می شود (Meng. & Corman) (Zhou, 2014). تنها مطالعه صورت گرفته برای هزینه یابی تاخیر قطارهای مسافری، مربوط به دفتر ممیزی انگلستان در سال ۲۰۰۶ میلادی می شود، هدف از این مطالعه کاهش تاخیر در ارائه خدمات مسافری ریلی با مدیریت کردن بهتر وقایع و حوادث بوده است. این مطالعه در سال ۲۰۰۶ میلادی در دفتری ممیزی انگلستان شروع شد و نتایج آن پس از دو سال بررسی و مطالعه در سال ۲۰۰۸ میلادی منتشر گردید. در این مطالعه مشخص شد قطارهای مسافری این کشور مجموعاً چهارده میلیون دقیقه تاخیر در سال ۲۰۰۶ میلادی داشته اند و خسارتی بیش از یک میلیارد پوند به این کشور وارد شده است (National Edit Office, 2008). بر اساس محاسبات صورت گرفته در این مطالعه بازای هر دقیقه تاخیر به طور میانگین هزینه ای بالغ بر ۷۳ پوند به علت زمان از دست رفته مسافران به اقتصاد این کشور صدمه وارد می شود. اساس محاسبات انجام شده بر فرض ارزیابی طرح های جدید بوده است، بدین صورت که با آمدن یک طرح

ریلی، نوع بلیط خریداری شده و محدودیت‌های سرعتی. عوامل غیر روتین عواملی هستند که انتظار وقوع آن‌ها وجود ندارد مانند تصادفات، خرابی‌ها و... با توجه به پیچیدگی‌های بسیار زیاد و تنوع بالای عوامل‌های تأخیر، آن‌ها برای محاسبات هزینه تأخیر قطارهای باری مجبور به استفاده از یک دسته‌بندی کلی‌تر شدند که در شکل ۵: دسته بندی هزینه های تأخیر قطارهای باری بر اساس نظر لووت و همکاران (۲۰۱۵) نمایش داده شده است. Lovett, and et al (2015). لووت و همکاران (۲۰۱۵) عوامل مرتبط با دسته اول (هزینه‌های راه‌آهن) را با بررسی تحقیقات (Dingler, 2010) و (Schafer, 2008) معرفی و در ادامه این تحقیقات به مشخص نمودن هزینه هر کدام از این عوامل در راه‌آهن امریکای شمالی پرداختند و مشخص کردند که در ازای یک ساعت تأخیر یک قطار هر کدام از عوامل‌ها چه مقدار هزینه مالی به سیستم متحمل می‌کنند. آن‌ها به همین شیوه هزینه‌های مرتبط با نگهداری (ماندن کالاها در قطار) و موجودی کالاها با مد نظر قرار دادن این‌که بسیاری از کالاها امکان فاسد شدن دارند (شرایط خاصی نگهداری) و یا اینکه بایستی در زمان معینی به مقصد برسند و در غیر این صورت باید خساراتی به صاحبان بارها پرداخت شود را بر مبنای داده‌های سیستمی بررسی، و میانگین هزینه هر دقیقه تأخیر را مشخص کردند. محاسبه هزینه‌های عمومی نیز با توجه به آلاینده‌های زیست محیطی لووت با استناد به دفتر تجزیه و تحلیل و ارزیابی امریکا، و سند هزینه و درآمد (USDOT, 2014) به محاسبه هزینه آلاینده‌های قطارهای باری در قبال هر ساعت تأخیر پرداختند. در ادامه این تحقیق لووت و همکاران (۲۰۱۵) به محاسبه و مطالعه موردی در سه مسیر با مسافت متفاوت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که متوسط شیب هزینه‌های عملیاتی برای مسیری با مسافت‌های متفاوت یکسان و معادل ۸۱۴ دلار برای هر ساعت است که در شکل ۶: تغییر هزینه عملیاتی با توجه به تأخیر و طول مسیر (Lovett et al, 2015) نمایش داده شده است.

جدید چه مقدار در زمان مردم صرفه‌جویی می‌شود و این مقدار در ارزش پولی ضرب می‌شود که هر شخصی که از این تکنولوژی جدید استفاده نماید باید آن مبلغ را بپردازد تا زمان سفر آن یک دقیقه کوتاه‌تر شود. برای انجام محاسبات مسافران به سه دسته اصلی مسافران مشاغل پراهمیت (دارای بالاترین ارزش زمانی در جامعه)، مسافران مشاغل با اهمیت متوسط و کم و سایر مسافران تقسیم شدند و سپس طبق نمونه‌هایی با جامعه آماری متناسب، میزان حضور هر یک از گروه‌ها در قطارهای مسافری کشور انگلستان مشخص گردید، پس از این مرحله با استفاده از اطلاعات خزانه‌داری ضریب افت تولید ناخالص داخلی میزان ارزش زمان هر یک از گروه‌های مسافری مشخص، و به طور میانگین میزان خسارت وارد شده به اقتصاد کشور انگلستان در ازای هر دقیقه تأخیر قطارهای مسافری مشخص گردید (National Edit Office, 2008). همانطور که شرح داده شد این تحقیق صرفاً هزینه تأخیر قطارها را بر اساس نرخ تولید ناخالص داخلی کشور انگلستان و هزینه‌های وارد شده به کل اقتصاد این کشور بیان می‌کند و محاسباتی که نشان دهنده میزان هزینه تحمیل شده به شرکت‌های حمل و نقل ریلی باشد را نشان نمی‌دهد و هدف آن جهت دهی به هدفمند ساختن کمک‌های دولتی به شرکت‌های حمل و نقل ریلی است. در تنها مطالعه‌ای که در زمینه هزینه‌یابی تأخیر قطارهای باری صورت گرفته‌است، لووت و همکارانش در سال ۲۰۱۵ در امریکای شمالی با تأکید بر این‌که ذی‌نفعان بسیاری تحت تأثیر عملکرد قطارهای باری قرار دارند، شرکت‌های حمل و نقل ریلی، شرکت‌های باربری و سپس عموم مردم را مهم‌ترین ذی‌نفعان قطارهای باری معرفی نمودند (Lovett et al. 2015). آن‌ها در تقسیم‌بندی عوامل تأخیر، دو دسته اصلی عوامل روتین (منظم) و عوامل غیر روتین (نامنظم) را معرفی کردند که هر یک از گروه‌ها می‌توانند تأثیرات خاص خود را داشته‌باشند و تحت شرایط خاصی رخ دهند. به عقیده آن‌ها عوامل روتین در شرایط عادی رخ می‌دهند و عبارت‌اند از تغییرات پرسنل، مسیرهای مشترک



شکل ۱. دسته بندی هزینه های تاخیر قطارهای باری بر اساس نظر لووت و همکاران (۲۰۱۵)



شکل ۲. تغییر هزینه عملیاتی با توجه به تأخیر و طول مسیر (Lovett et al. 2015)

کوتاه است. در نهایت آنان به محاسبه هزینه تاخیر در سه مسافت کوتاه، متوسط و بلند پرداختند.

با وجود اینکه به عقیده آن‌ها شیب هزینه‌های عملیاتی برای مسیرهای طولانی و کوتاه برابر است، اما با توجه به تجمعی بودن هزینه‌ها، هزینه‌های تاخیر مسیرهای طولانی‌تر بیش از مسیرهای

جدول ۱. هزینه تاخیر قطارهای باری در مسافت های مختلف (Lovett et al. 2015)

مسافت	هزینه
۸۰۵ کیلومتر	۶۴۳۴ دلار
۲۰۱۲ کیلومتر	۶۵۸۶ دلار
۳۲۱۹ کیلومتر	۶۸۲۶ دلار

شیوه گردآوری و روش تحلیل داده‌ها و اطلاعات

برای جمع‌آوری اطلاعات پیرامون پیشینه مطالعاتی از اطلاعات کتابخانه‌ای، پایگاه‌های داده اطلاعاتی و مقالات معتبر منتشر شده در مجله‌های بین‌المللی معتبر استفاده شده است. برای جمع‌آوری داده‌ها نیز از اطلاعات مستند و داده‌های ادارات کل راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران (ادارات کل موثر بر عوامل تاخیر) استفاده شده است. همچنین در این زمینه از سیستم بی‌آی شرکت راه‌آهن ج.ا.ا. اطلاعات زیادی پیرامون تاخیر قطارها دریافت شد. سپس داده‌های گردآوری شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و با توجه به ارتباطی که با یکدیگر دارند مدلی شماتیک ایجاد می‌گردد. این مدل بیانگر اثرگذاری پارامترها بر تاخیر قطارها بوده و بیانگر ارتباط و تاثیر عوامل و زیر عامل‌های تاخیر بر هزینه‌های تحمیل شده به شرکت راه‌آهن ج.ا.ا. می‌باشد. از دیدگاه تحلیل و ارزیابی سیستم‌ها نیز این مدل حلقه‌های علت و معلولی جهت ارزیابی عوامل موثر بر تاخیر را ایجاد می‌کند. پس از ارایه این مدل، مستندات و پارامترهای مرتبط با هزینه‌یابی تاخیر قطارها ارایه و مدلی ریاضی جهت هزینه‌یابی تاخیر قطارها ارایه می‌شود.

عوامل موثر بر تاخیر قطارها

از سال ۱۳۹۴ در شرکت راه‌آهن ج.ا.ا. یازده عامل زیر به عنوان عوامل اصلی موثر بر تاخیر قطارها در نظر گرفته شدند:

۱. عوامل مرتبط با سیر و حرکت،
۲. عوامل مرتبط با خدمات مسافری،
۳. عوامل مرتبط با ارتباط و علائم،
۴. عوامل مرتبط با نیروی کشش
۵. عوامل مرتبط با سالن و خود کشش،
۶. عوامل

غیر از این مطالعه اکثر تحقیقات و مطالعات انجام شده پیرامون تاخیر قطارها به پیش‌بینی تاخیر و پتانسیل‌های موجود در جهت کاهش تاخیرها می‌پردازد و در مطالعاتی بسیار کم و محدود نحوه زمانبندی و تخصیص منابع جهت کاهش تاخیرها مد نظر قرار گرفته است. مهم‌ترین نکته برای درک و پی بردن به اهمیت تاخیر قطارها، آگاهی از خسارات و هزینه‌های ناشی از تاخیر قطارها است که برای یافتن میزان خسارتی که هر دقیقه تاخیر به وجود می‌آورد باید به بررسی جامع و دقیق عوامل تاخیر پرداخت و نحوه ارتباط عوامل مختلف تاخیر و تبعات مالی آن‌ها را بررسی نمود (Markovich et al, 2015).

با توجه به زبان‌های فراوان مالی تاخیرها، هزینه‌یابی عوامل مختلف موثر بر تاخیر قطارها ضمن ارایه اطلاعات و گزارش‌های دقیق، بستری جهت برنامه‌ریزی بهینه برای به حداقل رساندن تاخیرها و هزینه‌های ناشی از آن‌ها را فراهم می‌سازد تا در جهت کاهش هزینه تاخیرها و برنامه‌ریزی برای بودجه در دسترس سازمان رویکرد و برنامه‌ریزی بهتری داشته باشند (Hansen and Goverde, 2010).

۴- روش و نوع پژوهش

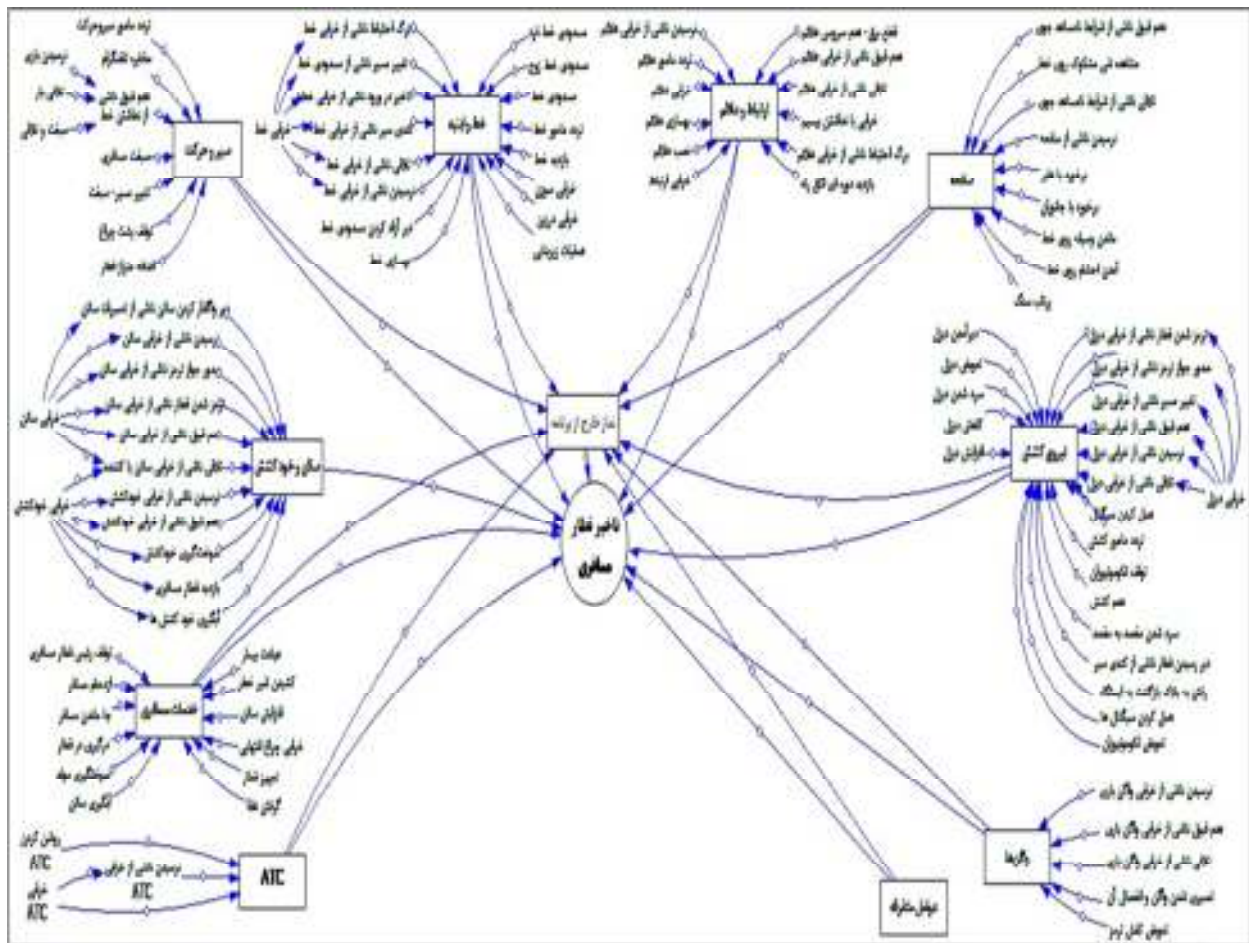
در این پژوهش کاربردی ابتدا هزینه‌هایی که ناشی از تاخیر قطارها است و به شرکت راه‌آهن ج.ا.ا. تحمیل می‌شود بررسی می‌گردد و سپس با ارایه مدلی شماتیک عوامل، زیر عامل‌های تاخیر مشخص می‌شوند و هزینه‌یابی تاخیر قطارها انجام می‌شود.

مدل عوامل موثر بر تاخیر قطارها

در این مدل که با استفاده از نرم افزار Vensim PLE تهیه شده است تمام عامل‌ها و زیر عامل‌های موثر بر تاخیر قطارهای مسافری با نحوه ارتباط و پیوستگی آن‌ها با یکدیگر نمایش داده شده است.

مرتبط با خط و ابنیه، ۷. عوامل مرتبط با نماز خارج از برنامه، ۸. عوامل مرتبط با واگن‌ها
 ۹. عوامل مرتبط با سانه، ۱۰. عوامل مرتبط با ATC، ۱۱. عوامل متفرقه.

شکل ۳. عامل‌ها و زیر عامل‌های موثر بر تاخیر قطارها در شرکت راه آهن ج.ا.ا.



عوامل تحمیل کننده هزینه به شرکت راه آهن ج.ا.ا. ناشی از تاخیر قطارها

ت) وضعیت سلامت و فرسودگی ناوگان

ث) کیفیت سوخت مصرفی

ج) میزان نیروی کشش لکوموتیوها

چ) مدت زمان سیر و توقف

در این مطالعه برای بدست آوردن میزان سوخت هدر رفته بازاری هر دقیقه توقف، میانگین سوخت مصرفی در هر محور که خود دربرگیرنده تمام موارد فوق الذکر است محاسبه و سپس با تقسیم شدن بر میانگین مدت زمان سفر (بدون توقف) میزان سوخت مصرفی بازاری هر دقیقه بدست می‌آید. برای مثال محور تهران-مشهد دارای ۹۲۶ کیلومتر مسافت است، با توجه به اینکه قطار با چه سرعتی حرکت کند، پیمودن مسیر حدود ۹ الی ۱۱ ساعت زمان می‌برد. در حالت معمول قطارهای مسافری با سرعت ۱۰۰ الی ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کنند و قطارهای جدیدتر این مسیر با سرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت حرکت می‌کنند که سبب شاهد کاهش حدود ۲ ساعت در زمان سفر می‌شود که متأسفانه تعداد این قطارها در حال حاضر محدود می‌باشد. در حال حاضر اکثراً از لکوموتیوهای زیمنس برای قطارهای مسافری در کشور استفاده می‌شود و میزان مصرف سوخت در مسیر تهران-مشهد برای لکوموتیوهای زیمنس با توجه به میزان شاخص‌های مصرف سوخت بین ۲۸۰۰ الی ۳۴۰۰ لیتر می‌باشد در نتیجه می‌توان مدعی شد میانگین مصرف سوخت ۳۱۰۰ لیتر در مسیر تهران-مشهد است که با احتساب زمان سفر ۵۴۰ دقیقه برای طی نمودن مسیر در هر دقیقه ۵,۷ لیتر گازوییل در هر دقیقه مصرف می‌شود.

هزینه پرداخت خسارت به مسافران

تأخیر را می‌توان به اشکال مختلفی دسته‌بندی نمود که در مبحث هزینه پرداخت خسارت به مسافران از دسته بندی تأخیرهای اولیه (تأخیر از مبدا) و تأخیرهای ثانویه (تأخیر قطار در طول مسیر) استفاده شده است و نحوه محاسبه و پرداخت آن در ادامه شرح داده شده است.

تأخیر از مبدا

الف) حالت اول: اگر تأخیر از مبدا کمتر از یک ساعت باشد. برای این موضوع خسارتی در نظر گرفته نشده است ولیکن با سایر تأخیرهای احتمالی در طول مسیر جمع می‌شود و در مجموع تأخیر نهایی قطار تأثیرگذار است.

الف) حالت دوم: اگر تأخیر از مبدا بیش‌تر از یک ساعت باشد. اگر تأخیر قطار از مبدا بیشتر از یک ساعت باشد مسافرها در

وقتی در حوزه حمل و نقل ریلی تأخیر اتفاق می‌افتد هزینه‌های مختلف به جامعه و شرکت‌های ارایه دهنده خدمات تحمیل می‌شود. در این تحقیق هدف محاسبه هزینه‌های قابل محاسبه‌ای است که در اثر تأخیر قطارهای مسافری به شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌شود و لذا از بررسی عواملی مانند هزینه زمان از دست رفته مسافران، کاهش اعتبار شرکت ارایه دهنده خدمات و... صرف نظر می‌شود. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته عمده هزینه‌هایی که به علت تأخیر قطارهای مسافری به شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌شود به شرح زیر می‌باشد.

۱. هزینه اضافه کاری پرسنل قطار، ۲. هزینه سوخت هدر رفته، ۳. هزینه پرداخت خسارت به مسافران، ۴. عدم دریافت مبلغ مازاد بابت اجاره لکوموتیو به سایر شرکت‌های مسافربری، ۵. هزینه استهلاک دیزل، ۶. هزینه فرصت ظرفیت (باری-مسافری) شبکه

هزینه اضافه کاری پرسنل قطارها

به طور کلی پرسنل داخل قطار را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم نمود. در دسته اول رئیس قطار، در دسته دوم لکوموتیوران، در دسته سوم ماموران فنی و در دسته چهارم مهمانداران قرار می‌گیرند. اضافه کاری رئیس قطار، لکوموتیوران و ماموران فنی (مامور فنی و مامور برق) بر اساس کیلومتر محاسبه می‌شود به این صورت که هر یک ساعت تأخیر یا توقف معادل شصت کیلومتر محاسبه می‌شود و برای هر کدام از سه دسته مذکور مبلغ مشخصی بازاری هر کیلومتر تعلق می‌گیرد به نحوی که در قبال هر کیلومتر مبلغ ریال برای رئیس قطار، مبلغ ۹۰۰ ریال برای لکوموتیوران پایه یکم و مبلغ ریال برای مامور فنی و برق محاسبه و پرداخت می‌شود. یعنی بازاری ۱ ساعت تأخیر ۵۴۰۰۰ ریال به لکوموتیوران پایه ۱ تعلق می‌گیرد. همچنین در حال حاضر برای تأخیرها مبلغی به عنوان اضافه کاری برای مهمانداران در نظر گرفته نمی‌شود.

هزینه سوخت هدر رفته

در زمان توقف و تأخیر قطارها مصرف سوخت لکوموتیو ادامه دارد و مقدار زیادی سوخت به هدر می‌رود که میزان سوخت مصرفی با توجه به موارد زیر می‌تواند متفاوت باشد.

الف) شرایط محیط (آب و هوا)

ب) نحوه راهبری قطار (پروفیل سرعت و بار سیر)

پ) پروفیل طولی و عرضی مسیر

نقلیه دوم) شود و این تاخیر منجر به اقامت در شب شود، هزینه اقامت و غذا به عهده عامل ایجاد تاخیر (شرکت راه آهن ج.ا.ا. و یا شرکت حمل و نقل ریلی مسافری) می‌باشد. در صورتی که قطار مسافری از مرز زمان منجر به پرداخت خسارت تاخیر عبور نماید و ورود برنامه‌ای آن به مقصد قبل از ساعت‌های هشت صبح، سیزده عصر و بیست شب باشد، این قطار در صورت ورود واقعی به مقصد پس از ساعت‌های هشت صبح، سیزده عصر و بیست (شب) باشد به ترتیب مشمول یک وعده پذیرایی رایگان (صبحانه یا نهار یا شام) خواهد شد. هزینه عدم دریافت مبلغ مازاد بابت اجاره لوکوموتیو به سایر شرکت‌های مسافری در حالت کلی قراردادهای واگذاری دیزل شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران با شرکت‌های مالک قطارهای مسافری به دو دسته قراردادهای سیری و درصدی تقسیم می‌شوند. قراردادهای سیری در قراردادهای سیری فارغ از این که ظرفیت قطار مسافری تکمیل شود یا دارای مسافر کمتر از ظرفیت قطار باشد، میزان بهای دیزل ثابت است و تنها بر اساس تعداد سیر محاسبه می‌شود. این مبلغ برای هر مسیر با توجه به شرایط خاص آن مسیر متفاوت است.

قراردادهای درصدی

در قراردادهای درصدی شرکت راه آهن ج.ا.ا. با توجه به قراردادهای شرکت مسافری درصدی از سهم فروش بر مبنای بهای بلیط پایه را دریافت می‌کند. عموماً این قراردادها در مدت ۱۰، ۹، ۱۵ و ۳۰ ساله منعقد می‌شوند و با توجه به نوع مسیر و انعقاد قرارداد، درصد فروش تعیین و توافق می‌گردد. در حال حاضر قراردادهایی مانند قرارداد بیست و دو درصد سهم فروش وجود دارد ولیکن بیشترین بهای دیزل دارای سی درصد سهم فروش است. در این تحقیق برای محاسبه هزینه عدم دریافت مبلغ مازاد بابت اجاره لوکوموتیو به سایر شرکت‌های مسافری، در هر مسیر بازای هر قطار فارغ از نوع قراردادهای منعقد شده، متوسط بهای اجاره دیزل در محاسبه می‌شود و سپس بهای هر دقیقه اجاره دیزل در آن مسیر مشخص می‌گردد. لازم به ذکر است بهای دیزل از زمان تخصیص لوکوموتیو به واگن‌های شرکت مسافری در سکوی مبدا حرکت تا زمان رسیدن قطار به مقصد و انفصال و اعزام به دپو ایستگاه مقصد محاسبه می‌شود و با توجه به این که حدود هشتاد درصد برق قطارهای کل شبکه

صورت تمایل می‌تواند قبل از حرکت قطار سفر خود را لغو نمایند و کل مبلغ پرداختی بابت بلیط را از ایستگاه دریافت نمایند. همچنین اگر علاقه‌مند به سفر با وجود تاخیر پیش آمده باشند، تاخیر از مبدا به وجود به تاخیر نهایی قطار تا زمان رسیدن به مقصد اضافه خواهد شد. لازم به ذکر است که رئیس قطار مسافری مسئول تأیید و اعلام دقیق میزان تاخیر در مبادی حرکت می‌باشد تا پس از اعلام به اداره کل اقدامات مورد نیاز صورت پذیرد.

تاخیر ثانویه

چنانچه مجموع زمان تاخیر قطار از زمان مشخصی تجاوز نماید راه آهن یا شرکت حمل و نقل ریلی مسافری موظف به پرداخت خسارت به مسافران مطابق با جدول ۲: مرز پرداخت خسارت برای هر محور (www.raja.ir) می‌باشد به نحوی که اگر مجموع تاخیر از ستون مرز ۵۰٪ عبور نماید می‌بایست ۵۰٪ مبلغ بلیط خریداری شده به مسافر بازگردانده شود و اگر از ستون مرز ۱۰۰٪ عبور نماید می‌بایست کل مبلغ پرداختی مسافر بابت بلیط به وی بازگردانده شود. لازم بذکر است مبلغ خسارت از محل تهاتر مبلغ لوکوموتیو پرداخت می‌شود یعنی شرکت راه‌آهن هزینه خسارت وارد شده را از هزینه اجاره لوکوموتیو شرکت‌های مالک مسافری کاسته و شرکت مسافری هزینه خسارت را به مسافران پرداخت می‌کند. در مقوله پرداخت خسارت ناشی از تاخیر به مسافران موارد دیگری نیز وجود دارد که در ادامه شرح داده شده است ولیکن با توجه به عدم امکان لحاظ آن‌ها در هزینه‌یابی تاخیر قطارها در محاسبات نادیده گرفته می‌شود. در صورتی که موارد تاخیر ناشی از حوادث و موارد غیر مترقبه باشد، هیچ خسارتی به مسافران پرداخت نخواهد شد. در صورت مسدودی خط و یا مشکل فنی قطار که امکان اعزام قطار از مبدا و یا ادامه مسیر از بین راه تا مقصد میسر نباشد و مسافری، بخشی از مسیر را بوسیله اتوبوس جابجا شوند پنجاه درصد (۵۰٪) بهای بلیط به مسافری مسترد شده و هزینه تامین وسیله نقلیه جایگزین، به منظور جابجایی مسافری خسارت دیده، به عهده عامل تاخیر (شرکت راه آهن یا شرکت حمل و نقل ریلی مسافری) خواهد بود. در صورت تاخیر بیش از زمان معین که منجر به جا ماندن مسافر از قطار (با رعایت فاصله زمانی سه ساعت بین زمان مقرر ورود قطار اول به مقصد و زمان مقرر حرکت قطار دوم)، یا وسیله نقلیه بعدی (با رعایت فاصله زمانی چهار ساعت بین زمان مقرر حرکت قطار و زمان حرکت وسیله

لوکوموتیو، می بایست کرایه لوکوموتیو را بر میانگین زمان سفر به علاوه ۹۰ دقیقه (زمان حضور دیزل قبل از حرکت قطار) تقسیم نمود.

هزینه استهلاک دیزل

همانطور که دیزل در زمان تاخیر نیز در شبکه مشغول می باشد و هزینه هایی مانند مصرف سوخت و عدم دریافت هزینه مازاد بابت اجاره لوکوموتیو از سایر شرکت های مسافری به شرکت راه آهن ج.ا.ا. تحمیل می نماید هزینه دیگری نیز در این موضوع نهفته است که آن هزینه استهلاک دیزل است. در این تحقیق هزینه استهلاک دیزل به روش خطی مستقیم محاسبه می شود به نحوی که بهای تمام شده خرید دیزل از ارزش اسقاط آن کاسته شده و تقسیم بر عمر مفید دیزل می گردد.

هزینه فرصت ظرفیت (باری-مسافری) شبکه

در اثر تاخیر قطار فرصت استفاده از شبکه علی الخصوص جهت حمل و نقل بار از دست می رود که اصطلاحاً به این فرصت از دست رفته، هزینه فرصت ظرفیت شبکه گفته می شود. هزینه فرصت در محورهای مختلف متفاوت است و باید برای هر محور این هزینه به طور مجزا محاسبه گردد. در این محاسبات اطلاعات موجود بر مبنای تناژ بار جا به جا شده و درآمد حاصل از جا به جایی بار در آن محور می باشد. در این زمینه پنج محور به عنوان محورهای اصلی در نظر گرفته شده است که به شرح زیر می باشد.

توسط دیزل تامین می شود لذا حضور دیزل یک ساعت و نیم قبل از حرکت قطار الزامی می باشد. با توجه به این موضوع در زمان تاخیرهای پیش آمده دیزل مشغول می باشد ولیکن هزینه ای بابت آن به شرکت راه آهن ج.ا.ا. پرداخت نمی شود.

با توجه به اطلاعات بدست آمده از شرکت راه آهن ج.ا.ا. در قراردادهای سیری بهای هر ساعت سیر حدوداً ۸/۰۰۰/۰۰۰ ریال می باشد میانگین مبلغ قرارداد برای مسیر تهران-مشهد است که مبلغ آن ۷۲/۰۰۰/۰۰۰ ریال به ازای هر سیر می باشد. در قراردادهای درصدی بیشترین بهای دیزل با ۳۰ درصد سهم فروش می باشد که در زمان پیک ۱۵۰۰۰۰۰۰۰ ریال می باشد. از انواع قراردادهای دیگر می توان به ۲۲,۵ درصد سهم فروش نیز اشاره نمود که به طور متوسط مبلغ آن ۱۳۵۰۰۰۰۰۰ ریال می شود. با توجه به بررسی و برآورد صورت گرفته بیش از ۷۰ درصد قراردادهای شرکت راه آهن قراردادهای سیری می باشد لذا مبنای محاسبات در این تحقیق قراردادهای سیری قرار می گیرد. در محاسبات، بهای دیزل از زمان تخصیص لوکوموتیو به واگن های شرکت مسافری در سکوی مبدا حرکت تا زمان رسیدن قطار به مقصد و انفعال و اعزام به دپو ایستگاه مقصد محاسبه می شود زیرا حدود ۸۰ درصد برق قطارهای کل شبکه توسط دیزل تامین می گردد و به همین علت حضور دیزل یک ساعت و نیم قبل از حرکت قطار الزامی است. در محاسبات هزینه یابی تاخیر قطارها نکته دارای اهمیت این است که اگر به هر دلیلی اعم از خرابی خط، علائم، ترافیک خط و ... در مسیر توقف و تاخیری وجود داشته باشد، این زمان برای نیروی کشش دارای هزینه است. ولی عملاً هزینه ای بابت آن به شرکت راه آهن پرداخت نمی شود. حال برای محاسبه هزینه هر دقیقه تاخیر محور اول:

خراسان : تهران - شمال شرق - خراسان

محور دوم :

آذربایجان : تهران - شمال غرب - تبریز

محور سوم :

شرق : تهران - قم - اصفهان - یزد - کرمان

محور چهارم :

جنوب شرق : تهران - قم - اصفهان - یزد - کرمان - جنوب شرق

محور پنجم :

جنوب : تهران - قم - یزد - هرمزگان

محور ششم:

جنوب غرب: تهران - قم - اراک - لرستان - زاگرس - جنوب

در محاسبات این پژوهش هزینه توقف و تاخیر در محور با توجه به شرایط خاص آن محور محاسبه می شود و سپس با توجه به اینکه قطار کدام محور را مسدود نموده است هزینه فرصت شبکه برای آن منطقه محاسبه می شود. همچنین با توجه به بررسی سوابق موجود و اطلاعات بدست آمده از اداره کل سیر و حرکت به طور میانگین ۷۱ درصد برنامه قطارها اجرایی می شود حدود ۲۹ درصد اجرایی نمی گردد که این ۲۹ درصد ناشی از عوامل زیر می باشد:

الف) نداشتن واگن، ب) نبود بار، پ) نداشتن دیزل، ت) مسدودی خط، ث) مشکلات تخلیه و بارگیری، ج) عدم برنامه ریزی ناحیه در موارد فوق به طور عمده نداشتن دیزل و مسدودی خط می تواند ناشی از توقف و تاخیر سایر قطارها باشد که به طور میانگین این عوامل در ۲۷ درصد مواقع سبب عدم اجرای برنامه و از دست رفتن فرصت ظرفیت می شود. در نتیجه می توان مدعی شد ۸ درصد (۲۷*۰،۲۹) ظرفیت ناخالص شبکه به علت توقف یا تاخیر قطارها هدر می رود.

متغیرها و پارامترهای مدل

Z: مجموع هزینه تاخیر قطارها

۱X: مجموع هزینه اضافه کاری پرسنل

۲X: مجموع هزینه سوخت هدر رفته

۳X: مجموع هزینه پرداخت خسارت به مسافران

۴X: هزینه عدم دریافت مبلغ مازاد بابت اجاره لوکوموتیو به سایر شرکت های مسافری

۵X: هزینه استهلاک دیزل

۶X: هزینه فرصت ظرفیت (باری-مسافری) شبکه

۱۱X: هزینه دستمزد رییس قطار بازای هر دقیقه

۱۲X: هزینه دستمزد لوکوموتیوران بازای هر دقیقه

۱۳X: هزینه دستمزد مامورین فنی قطار بازای هر دقیقه

۱۴X: هزینه دستمزد مهمانداران بازای هر دقیقه

۲۱X: میانگین میزان سوخت مصرفی در محور مدنظر

۲۲X: میانگین زمان سفر در محور مدنظر

۳۱X: مبلغ خسارت پرداختی بازای هر مسافر (این مبلغ می تواند ۵۰٪ یا ۱۰۰٪ مبلغ بلیط خریداری شده توسط مسافر باشد).

T: مدت زمان تاخیر

G: قیمت هر لیتر گازوییل

Q: میانگین تعداد مسافران در هر قطار محور مدنظر

a: متوسط هزینه اجاره دیزل بازای هر دقیقه از مسیر

c: بهای تمام شده خرید دیزل

s: ارزش اسقاط

n: عمر مفید دیزل

b: درآمد حاصل از حمل کالا در محور مدنظر

e: متوسط درصد ظرفیت از دست رفته ناشی از مسدودی مسیر یا نبود دیزل

f: زمان در دسترس سالانه

Y: متوسط هزینه اجاره دیزل

t: متوسط زمان سفر

v: ۵۰ درصد مبلغ بلیط خریداری شده

v': مبلغ بلیط خریداری شده که به مشتری بازگردانده می شود.

W: حد زمانی پرداخت غرامت ۵۰ درصدی

W': حد زمانی پرداخت غرامت ۱۰۰ درصدی

مدل هزینه یابی تاخیرها

$$Z = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \quad (1)$$

$$x_1 = (x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14}) * T \quad (2)$$

$$x_2 = \left(\frac{x_{21}}{x_{22}} \right) * T * G \quad (3)$$

$$x_3 = x_{31} * Q \quad (4)$$

$$x_4 = T * a \quad (5)$$

$$x_5 = \frac{c - s}{n} \quad (6)$$

$$x_6 = \left(\frac{b * e}{365 * 24 * 60} \right) * T \quad (7)$$

$$a = Y / (t + 90) \quad (8)$$

$$Q = V \quad T > W \quad (9)$$

$$Q = V' \quad T > W' \quad (10)$$

$$Q = 0 \quad T < W \quad (11)$$

مسدودی خط یا دیر رسیدن دیزل می شود و فرصت حمل بار از شبکه گرفته می شود. برای محاسبه این هزینه حاصل از حمل بار در محور مد نظر تقسیم بر ظرفیت زمانی در دسترس می شود و نشان می دهد که هر دقیقه ارزش شبکه در آن محور چقدر ارزش دارد. معادله (۸) محاسبه هزینه عدم دریافت مبلغ مازاد بابت اجاره لوکوموتیو به سایر شرکت های مسافری با لحاظ حضور دیزل ۹۰ دقیقه قبل از حرکت است. معادلات (۹، ۱۰ و ۱۱) بیانگر حد پرداختی غرامت به مسافران است.

معادله (۱) به عنوان تابع هدف بیانگر مجموع هزینه تاخیر قطارها می باشد. معادله (۲) بیانگر مجموع هزینه اضافه کاری پرسنل به علت تاخیر قطار می باشد. معادله (۳) بیانگر هزینه سوخت هدر رفته به علت تاخیر قطار می باشد. معادله (۴) متوسط غرامت پرداختی به مسافران به علت تاخیر است. معادله (۵) هزینه عدم دریافت مبلغ مازاد بابت اجاره لوکوموتیو به سایر شرکت های مسافری با توجه به میزان تاخیر است. معادله (۶) هزینه استهلاك دیزل به ازای هر دقیقه است که به روش خطی مستقیم است که حاصل از بهای تمام شده منحنی قیمت اسقاط تقسیم بر عمر مفید دیزل است. معادله (۷) هزینه فرصت ظرفیت (باری-مسافری) شبکه به این مفهوم است که تاخیر قطار سبب

داده‌های مسئله

همانطور که در تعریف مسئله و فصل سوم تشریح گردید برای این پژوهش شش هزینه اصلی تعریف شده است که داده‌های جمع آوری شده زیر کمک به محاسبه هزینه‌ها با استفاده از مدل اراده شده می‌کند. جدول ۲: هزینه اضافه کاری پرسنل است که برای پرسنل تمام محورها یکسان می‌باشد. جدول ۳: میزان مصرف سوخت برای محورهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲. هزینه اضافه کاری پرسنل

هزینه اضافه کاری		
رئیس قطار	لوکوموتیوران	مامور فنی و مهمانداران
	۵۴۰۰ تومان بازای هر ساعت	هزینه ای پرداخت نمی شود

جدول ۳. میزان مصرف سوخت برای محورهای مختلف

مصرف سوخت		نام محور
مصرف سوخت	میانگین زمان سفر	
۳۱۰۰ لیتر	۵۴۰ دقیقه	تهران - مشهد
۲۹۰۰ لیتر	۴۲۰ دقیقه	تهران - تبریز
۳۵۰۰ لیتر	۵۴۰ دقیقه	تهران - کرمان
۵۹۰۰ لیتر	۸۷۰ دقیقه	تهران - زاهدان
۶۰۳۰ لیتر	۷۸۰ دقیقه	تهران - بندر عباس
۳۰۰۰ لیتر	۴۸۰ دقیقه	تهران - اهواز

جدول ۴ قیمت دیزل به همراه عمر مفید آن را نشان می‌دهد و لازم بذکر است که طبق اطلاعات حاصل شده ارزش اسقاط ۲۰ درصد قیمت کل می‌باشد. جدول ۵ خسارت پرداختی بابت تاخیر برای هر محور را نشان می‌دهد.

جدول ۴. قیمت دیزل به همراه عمر مفید آن

دیزل	
عمر مفید	قیمت دیزل
۳۰ سال	۴,۵ میلیون یورو

جدول ۵. خسارت پرداختی بابت تاخیر برای هر محور

خسارت به مسافران			نام مسیر
مرز خسارت ۱۰۰ درصدی	مرز خسارت ۵۰ درصدی	میانگین قیمت بلیط	
۳۶۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۰۰۰۰۰۰ ریال	تهران - مشهد
۳۰۰ دقیقه	۱۵۰ دقیقه	۷۰۰۰۰۰ ریال	تهران - تبریز
۳۶۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۵۰۰۰۰۰ ریال	تهران - کرمان
۴۸۰ دقیقه	۲۴۰ دقیقه	۱۹۳۰۰۰۰ ریال	تهران - زاهدان
۴۸۰ دقیقه	۲۴۰ دقیقه	۲۲۰۰۰۰۰ ریال	تهران - بندر عباس
۳۶۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	۱۴۵۰۰۰۰ ریال	تهران - اهواز

جدول ۶. هزینه اجاره لوکوموتیو

قیمت تمام شده لوکوموتیو	متوسط زمان سیر (ساعت)	طول مسیر (کیلومتر)	مسیر
۷۲۰۰۰۰۰۰ ریال	۹	۹۲۶	تهران - مشهد
۵۶۰۰۰۰۰۰ ریال	۷	۷۳۶	تهران - تبریز
۷۲۰۰۰۰۰۰ ریال	۹	۹۳۸	تهران - کرمان
۱۶۰۰۰۰۰۰ ریال	۱۴,۵	۱۴۸۷	تهران - زاهدان
۱۰۴۰۰۰۰۰۰ ریال	۱۳	۱۳۲۱	تهران - بندر عباس
۶۴۰۰۰۰۰۰ ریال	۸	۸۱۵	تهران - اهواز

تهران ۱۸۸۴۲۱۲ تن بارگیری انجام شده است و درآمد حاصل از آن ۷۷۸۱۶۶ میلیون ریال شده است که در نتیجه درآمد این محور به ازای هر تن بار ۰,۴۱ میلیون ریال شده است. با توجه به اطلاعات فوق و اینکه هدف از این پژوهش آرایه مدلی کلی برای محاسبه در هر مسیر است و مشخص نیست در کدام قسمت از مسیر قطار متوقف شود با فرض احتمال توقف برابر در هر محور با تقسیم مجموع درآمد این مسیر بر مجموع تناژ بار حمل شده در این مسیر میانگین درآمد هر تن حمل بار در این مسیر بدست می‌آید (۹۴۲۰۰۰ ریال) می‌باشد. جدول ۷: محاسبه

برای محاسبه هزینه فرصت مسیر تهران - مشهد باید تناژ بارگیری شده در این مسیر و همچنین میزان درآمد محورها را محاسبه نمود. میزان تناژ بارگیری شده در محور خراسان در سال ۱۳۹۷ معادل ۲۱۶۵۸۲۹ بوده است و درآمد حاصل از این بار در محور خراسان معادل ۳۲۰۸۴۱۶ میلیون ریال است و در نتیجه می‌توان گفت به ازای هر تن بار ۱,۴ میلیون ریال درآمدزایی شده است. در محور شمال شرق ۳۵۶۹۴۰ تن بار حمل شده است و درآمد حاصل از آن ۱۶۴۴۰۶ میلیون ریال شده است که در نتیجه ۰,۴۶ میلیون ریال به ازای هر تن بار حاصل شده است. در محور

هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - مشهد (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال) را نمایش می‌دهد. جدول ۸ محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - تبریز (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال) را نشان می‌دهد.

جدول ۷. محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - مشهد (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال)

شرح	تناژ بار بارگیری شده	درآمد کل حمل بار (میلیون ریال)	درآمد هر تن حمل بار (میلیون ریال)	میانگین کل (میلیون ریال)
محور خراسان	۲۱۶۵۸۲۹	۳۲۰۸۴۱۶	۱,۴	۰,۹۴۲
محور شمال شرق	۳۵۶۹۴۰	۱۶۴۴۰۶	۰,۴۶	
محور تهران	۱۸۸۴۲۱۲	۷۷۸۱۶۶	۰,۴۱	
مجموع	۴۴۰۶۹۸۱	۴۱۵۰۹۸۸	-----	

جدول ۸. محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - تبریز (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال)

شرح	تناژ بار بارگیری شده	درآمد کل حمل بار (میلیون ریال)	درآمد هر تن حمل بار (میلیون ریال)	میانگین کل (میلیون ریال)
محور آذربایجان	۱۳۶۴۴۵۵	۶۳۰۱۳۶	۰,۴۶	۰,۲۹۷
محور شمال غرب	۱۸۴۳۷۲۷	۱۰۶۶۹۷	۰,۰۶	
محور تهران	۱۸۸۴۲۱۲	۷۷۸۱۶۶	۰,۴۱	
مجموع	۵۰۹۲۳۹۴	۱۵۱۴۹۹۹	-----	

جدول ۹ محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - کرمان (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال) را نشان می‌دهد. برای محاسبه هزینه فرصت شبکه در این مسیر با توجه به مبلغ بسیار کم بارنامه در محور قم و مد نظر داشتن این نکته که طول مسیر محور قم نسبت به سایر محورهای این مسیر بسیار کوتاه است در گرفتن میانگین کل محور قم از محاسبات حذف شده و صرفاً میانگین سایر محورها لحاظ شده است.

جدول ۹ محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - کرمان (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال) را نشان می‌دهد. برای محاسبه هزینه فرصت شبکه در این مسیر با توجه به مبلغ

جدول ۹. محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - کرمان (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال)

شرح	تناژ بار بارگیری شده	درآمد کل حمل بار (میلیون ریال)	درآمد هر تن حمل بار (میلیون ریال)	میانگین کل (میلیون ریال)
محور کرمان	۱۴۰۰۳۳۳	۳۹۰۱۸۵	۰,۲۸	۰,۲۸۸
محور یزد	۱۷۶۷۵۹۰۲	۳۲۶۰۳۰۳	۱,۸۵	
محور اصفهان	۳۷۸۰۹۶۳	۲۷۴۷۳۸۶	۰,۷۳	
محور قم	۲۸۶۶۲۶	۳۹۶۹۶	۰,۱۴	
محور تهران	۱۸۸۴۲۱۲	۷۷۸۱۶۶	۰,۴۱	
مجموع	۲۵۰۲۸۰۳۶	۷۲۱۵۷۳۶	----	

جدول ۱۰. محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - زاهدان (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال)

شرح	تناژ بار بارگیری شده	درآمد کل حمل بار (میلیون ریال)	درآمد هر تن حمل بار (میلیون ریال)	میانگین کل (میلیون ریال)
محور جنوب شرق	۶۸۵۳۸	۱۳۰۵۰۶	۱,۹	۰,۲۹۳
محور کرمان	۱۴۰۰۳۳۳	۳۹۰۱۸۵	۰,۲۸	
محور یزد	۱۷۶۷۵۹۰۲	۳۲۶۰۳۰۳	۰,۱۸	
محور اصفهان	۳۷۸۰۹۶۳	۲۷۴۷۳۸۶	۰,۷۳	
محور قم	۲۸۶۶۲۶	۳۹۶۹۶	۰,۱۴	
محور تهران	۱۸۸۴۲۱۲	۷۷۸۱۶۶	۰,۴۱	
مجموع	۲۵۰۹۶۵۷۴	۷۳۴۶۲۴۲	----	

جدول ۱۱. محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - بندرعباس (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال)

شرح	تناژ بار بارگیری شده	درآمد کل حمل بار (میلیون ریال)	درآمد هر تن حمل بار (میلیون ریال)	میانگین کل (میلیون ریال)
محور هرمزگان	۷۵۱۶۴۵۶	۳۲۰۳۹۶۳	۰,۴۳	۰,۲۶۶
محور یزد	۱۷۶۷۵۹۰۲	۳۲۶۰۳۰۳	۰,۱۸	
محور قم	۲۸۶۶۲۶	۳۹۶۹۶	۰,۱۴	
محور تهران	۱۸۸۴۲۱۲	۷۷۸۱۶۶	۰,۴۱	
مجموع	۲۷۳۶۳۱۹۶	۷۲۸۲۱۲۸	----	

جدول ۱۲. محاسبه هزینه فرصت شبکه در مسیر تهران - اهواز (اداره کل سیر و حرکت، اداره کل مالی و اموال)

شرح	تناژ بار بارگیری شده	درآمد کل حمل بار (میلیون ریال)	درآمد هر تن حمل بار (میلیون ریال)	میانگین کل (میلیون ریال)
محور جنوب	۳۶۳۶۳۳۸	۱۵۰۱۰۶۲	۰,۴۱	۰,۳۸
محور زاگرس	۳۱۲۳۸۹	۴۹۹۸۳	۰,۱۶	
محور لرستان	۲۶۹۸۹۹	۴۷۱۸۳	۰,۱۷	
محور اراک	۹۱۴۵۳۰	۳۳۱۹۴۰	۰,۳۶	
محور قم	۲۸۶۶۲۶	۳۹۶۹۶	۰,۱۴	
محور تهران	۱۸۸۴۲۱۲	۷۷۸۱۶۶	۰,۴۱	
مجموع	۷۳۰۳۹۹۴	۲۷۴۸۰۳۰	----	

حل مدل و مقایسه هزینه تاخیر در محورهای مختلف

و محورهای مختلف با یکدیگر مورد مقایسه قرار می گیرند. بدیهی است که زمان یک دقیقه‌ای شامل هزینه خسارت به مسافران نمی‌شود و این هزینه با توجه به مدت زمان تاخیر و اطلاعات ذکر شده در بند ۴,۲ زمانی در محاسبات لحاظ می‌گردد که مدت زمان تاخیر بیشتر از حد مجاز باشد. با بررسی هزینه عوامل مختلف به سادگی قابل استنتاج است که هزینه

برای مدلسازی و حل مدل از نرم افزار اکسل استفاده می‌شود. نحوه محاسبات به صورتی است که با وارد نمودن مدت زمان توقف و انتخاب محور اعزامی قطار، تمام محاسبات انجام شده و مجموع هزینه تاخیر محاسبه می‌شود. در این محاسبات ابتدا هزینه یک دقیقه تاخیر برای هر مسیر با لحاظ این نکته که توقف در کدام قسمت مسیر اتفاق افتاده است محاسبه می‌شود و مسیرها

جمهوری اسلامی ایران متوسط تاخیر سالیانه ۱۸۰۰۰ ساعت و متوسط توقفات سالیانه ۹۲۵ ساعت می‌باشد در نتیجه می‌توان مدعی شد سالیانه حداقل ۲۵ میلیارد تومان، حداکثر ۸۰ میلیارد تومان و به طور میانگین ۵۳ میلیارد تومان هزینه به شرکت راه آهن ج.ا.ا. تحمیل می‌شود.

پ) هزینه فرصت از دست رفته شبکه مهم ترین عامل هزینه زا علی‌الخصوص در مسیرهای پر تردد می‌باشد و بعد از آن درآمد از دست رفته اجاره لوکوموتیو بیش‌ترین هزینه را به شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نماید و پس از این دو عامل، هزینه استهلاک دیزل بیش‌ترین هزینه را به شرکت راه آهن ج.ا.ا. تحمیل می‌کند. پیرامون هزینه فرصت شبکه لازم بذکر است که محورهای یزد، خراسان، هرمزگان و سپس اصفهان به ترتیب دارای بیش‌ترین ارزش شبکه می‌باشند و هر گونه مسدودی مسیر در محورهای مذکور بیش‌ترین هزینه را به راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نماید.

ت) با توجه به این موضوع که هزینه فرصت ظرفیت شبکه مهم ترین عامل هزینه زا می‌باشد و بیش‌ترین خسارت را به شرکت راه آهن ج.ا.ا. تحمیل می‌نماید می‌توان مدعی شد که زیر ساخت ها نقشی بسیار اساسی در کاهش هزینه تاخیر قطارها دارد و با سرمایه‌گذاری بیش‌تر در مسیرهای پر تردد که در آن محورها ارزش شبکه بسیار زیاد است می‌توان به میزان قابل توجهی از هدر رفت سرمایه پیشگیری کرد.

ج) با توجه به اینکه مدل قابلیت محاسبه آنی هزینه تاخیرها را دارد می‌توان برای تمامی توقفات و تاخیرها هزینه وارد شده به شرکت راه آهن را محاسبه نمود و حتی اساسی ترین نقاط جهت سرمایه‌گذاری را شناسایی کرده و بهبود بخشید.

با توجه به اینکه محورهای یزد، خراسان، هرمزگان و سپس اصفهان به ترتیب دارای بیش‌ترین ارزش شبکه می‌باشند و هر گونه مسدودی مسیر در محورهای مذکور بیش‌ترین هزینه را به راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نماید می‌توان با بهبود زیر ساخت‌ها در مسیرهای مذکور و دولایه کردن مسیرهای تک لایه از هدر رفت بسیار زیاد سرمایه‌های مادی و معنوی در این مسیرها جلوگیری نمود و با این کار می‌توان مدعی شد که علاوه بر کاهش هزینه اصلی فرصت ظرفیت شبکه سایر عوامل نیز به نحو محسوسی کاهش می‌یابد.

فرصت از دست رفته شبکه مهم‌ترین عامل هزینه زا علی‌الخصوص در مسیرهای پر تردد می‌باشد و بعد از آن درآمد از دست رفته اجاره لوکوموتیو بیش‌ترین هزینه را به شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نماید و پس از این دو عامل هزینه استهلاک دیزل بیش‌ترین هزینه را به شرکت ر.ج.ا تحمیل می‌کند. محورهای یزد، خراسان، هرمزگان و سپس اصفهان به ترتیب دارای بیش‌ترین ارزش شبکه می‌باشند و هر گونه مسدودی مسیر در محورهای مذکور بیش‌ترین هزینه را به راه آهن جمهوری اسلامی ایران تحمیل می‌نماید. هزینه اضافه کاری پرسنل و همچنین هزینه استهلاک دیزل در مدت توقف قطار برای تمامی مسیرها ثابت و یکسان است و هزینه سوخت نیز تقریباً یکسان می‌باشد. پیرامون هزینه اجاره لوکوموتیو نیز با توجه به اینکه مبنای ابتدایی محاسبات بر اساس طول پیمایش بوده است می‌توان مدعی شد که درآمد از دست رفته بابت اجاره لوکوموتیو در مسیرهای مختلف تقریباً یکسان است. با توجه به موارد فوق الذکر و بررسی محاسبات انجام شده می‌توان مدعی شد هزینه تاخیر قطارها از تابع یکنواخت با شیب ثابت تا نقطه پرداخت خسارت پنجاه درصدی به مسافران حرکت می‌کند، در این نقطه با توجه به میزان تاخیر سپری شده دارای یک جهش است و سپس مجدداً هزینه‌ها با شیب یکنواخت شروع به افزایش می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به پرسش‌های در نظر گرفته شده برای این پژوهش و همچنین اهداف از پیش تعیین شده، انجام این پژوهش علمی نتایج زیر را به همراه داشته است:

الف) با توجه به هزینه‌یابی صورت گرفته علاوه بر مشخص شدن هزینه هر دقیقه تاخیر، مهم‌ترین خسارات و هزینه‌های ناشی از تاخیر قطارها مشخص گردید که این موضوع نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری و تمرکز بیش‌تر بر کدام موضوعات از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

ب) با توجه به اینکه حداقل هزینه تاخیر به ازای هر دقیقه معادل ۲۳۵۵۵ تومان و حداکثر هزینه تاخیر هر دقیقه مبلغ ۷۳۸۹۳ تومان است و با توجه به مستندات موجود در سیستم بی‌آی راه آهن

- Meng, L., & Zhou, X., (2014), "Simultaneous train rerouting and rescheduling on an N-track network: A model reformulation with network-based cumulative flow variables", *Transportation Research Part B: Methodological*, 67, pp.208-234.
- Lovett, A. H., Dick, C. T., & Barkan, C. P., (2015), "Determining freight train delay costs on railroad lines in North America", *Proceedings of Rail Tokyo*.
- Marković, N., Milinković, S., Tikhonov, K. S., & Schonfeld, P., (2015), "Analyzing passenger train arrival delays with support vector regression", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, pp.251-262.
- National Audit Office, (2008), "Reducing passenger rail delays by better management of incidents", HC 308 Session 2007-2008, Report by the Comptroller and Auditor General.
- Schafer, D. H., (2008), "Effect of train length on railroad accidents and a quantitative analysis of factors affecting broken rails", (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).
- Schafer, D. H., & Barkan, C. P., (2008, September). A prediction model for broken rails and an analysis of their economic impact. In *Proc., American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA) Annual Conference*.
- USDOT (United States Department of Transportation), (2014), "TIGER Benefit-Cost Analysis (BCA) Resource Guide", Available at: <http://www.dot.gov/policy-initiatives/tiger/tiger-bca-resource-guide-2014> [Accessed July 8, 2014].
- Zoeteman, A., (2004), "Optimizing the performance of railway systems: life cycle costing for rail infrastructure managers", In 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583), IEEE, Vol. 5, pp. 4159-4164.

از طرف دیگر با توجه به اینکه موضوعات مرتبط با عوامل کشش و سیر و حرکت، بیشترین تاخیرها را ایجاد می‌نماید می‌توان با سرمایه گذاری بیش‌تر و هدفمندتر و همچنین تعمیر و نگهداری بهتر علی‌الخصوص در حوزه دیزل می‌توان تاخیر قطارها و به دنبال آن هزینه‌های مادی و معنوی که به شرکت راه‌آهن و آحاد جامعه تحمیل می‌شود را کاهش داد.

برای پژوهش‌های آتی می‌توان به موارد زیر پرداخت:

- بررسی جزئیات توقف قطارها شامل بررسی هزینه قطعات مصرفی که در اثر توقف مصرف می‌شوند.
- بررسی توجیه پذیری و نرخ بازگشت سرمایه با سرمایه گذاری در محورهای مختلف جهت کاهش تاخیر قطارها
- بررسی هزینه تاخیر قطارها که به آحاد جامعه تحمیل می‌شود.

۶- مراجع

- Barron, A., Melo, P. C., Cohen, J. M., & Anderson, R. J., (2013), "Passenger-focused management approach to measurement of train delay impacts", *Transportation Research Record*, 2351(1), pp.46-53.
- Carey, M., & Kwieciński, A., (1995), "Properties of expected costs and performance measures in stochastic models of scheduled transport", *European Journal of Operational Research*, 83(1), pp.182-199.
- Corman, F., D'Ariano, A., Pacciarelli, D., & Pranzo, M., (2014), "Dispatching and coordination in multi-area railway traffic management", *Computers & Operations Research*, 44, pp.146-160.
- Dingler, M. H., (2010), "Understanding the impact of operations and new technologies on railroad capacity", *Civil Engineering*.
- Hansen, I.A., Goverde, R.M.P., van der Meer, D.J., (2010), "Online train delay recognition and running time prediction", In: 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 1783-1788.
- Hansen, I.A., Pachl, J., (2008), "Railway Timetable & Traffic: Analysis, Modelling, Simulation, Eurailpress.

Modeling and Costing of Passenger Train Delays

*Farshad Sadeqian Yekta, M.Sc., Grad., Faculty of Industrial engineering,
Ershad- Damavand University, Tehran, Iran.*

*Hamid Alipoursobhi, M.Sc., Grad., Faculty of Management, Islamic Azad University,
Yadegar Emam Branch, Tehran, Iran.*

*Farzaneh Nazarizadeh, Ph.D., Student, Faculty of Management and Accounting, Shahid
Beheshti University, Tehran, Iran.*

E-mail: farzaneh.nazarizadeh@yahoo.com

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

Delay is one of the most important problems of railway transportation systems, which has a lot of material and spiritual costs. Loss of passenger trust, waste of passengers' time, blockage in the one-lane system, depreciation of diesel, compensation to passengers, loss of fuel, etc. are just some of the costs incurred in the rail transportation system. No studies have been conducted in Iran on the cost of train delays. In the railway company of the Islamic Republic of Iran, billions of Tomans are imposed annually due to train delays, the amount of which are currently unknown and cannot be calculated. It is also possible to have a better sensitivity and understanding of delays when the amount of damage imposed on the system is clear and measurable. Therefore, in this research, first all the factors and sub-factors of delay are identified and then the separation and classification of all factors and sub-factors of delay along with their relationships are given in a schematic model and then using scientific and accurate costing, the amount of damage Each of the factors of delay in the passenger trains of the railways of the Islamic Republic of Iran, it should be specified that using this costing can be ranked different factors, the amount of damage to the railway company in different time periods and with Attention to the sensitivity that arises to the types of delays in order to improve, reduce and eliminate delays, as well as optimal investment management.

Keywords: Delay, Delay Costing, Passenger Trains, Railways of the Islamic Republic of Iran