

## بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر افزایش ظرفیت خطوط ریلی (مطالعه موردی محور مشهد - تهران و محور دورود - اندیمشک)

### مقاله علمی - پژوهشی

محسن عموزاده عمرانی\*، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران  
ابراهیم هادیزاده رئیسی، دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران  
میلاذ طاهریان، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m\_amouzadeh@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹ - پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

صفحه ۸۰-۷۱

### چکیده

با توجه به تقاضای روزافزون حمل و نقل ریلی، یکی از مشکلات اصلی سیستم حمل و نقل ریلی در اکثر شبکه های راه آهن دنیا، کمبود ظرفیت مسیرهای ریلی است، که به پارامترهای زیرساخت، ناوگان و بهره برداری وابسته است. ظرفیت واقعی یک خط، عبارت است از حداکثر قطارهایی که در مدت ۲۴ ساعت می توانند از یک محور عبور نمایند و به عواملی نظیر زمان سیر قطارها در بلاک، میزان تاخیر تلافی و کیفیت بهره برداری از خط بستگی دارد. در این مقاله، محورهای مشهد - تهران و دورود - اندیمشک که دارای محدودیت‌هایی جهت سیر روان قطارها بوده‌اند، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پس از بررسی‌های انجام شده، مشخص گردید که می‌توان با بهبودها و تکنیک‌های فنی و زیربنایی مانند دو خطه نمودن، اصلاح قوس‌ها، افزایش سکوها و خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری، افزایش طول مفید خطوط ایستگاه‌ها و ارتقای سیستم سیگنالینگ به منظور کاهش زمان قبول و اعزام قطارها، ظرفیت خط را افزایش داد. از نتایج مشاهده شده حاصل از اجرای این اقدامات می‌توان به مواردی از جمله ترافیک روان‌تر نسبت به قبل، افزایش جابجایی مسافر، افزایش سرعت بازرگانی و حمل بار، کاهش مصرف سوخت و کاهش ساعات کار مامورین اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های حمل و نقل ریلی، راه آهن، ظرفیت خط، زیر ساخت

### ۱-مقدمه

فعالیت‌های تولیدی و خدماتی آن کشور از جمله حمل و نقل مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس در این مقاله استفاده بهینه از ظرفیت خطوط در مجموعه حمل و نقل و ریلی به عنوان یکی از مهم‌ترین زیر بخش‌های حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که هزینه احداث خطوط جدید هزینه‌بردار می‌باشد، باید از خطوط موجود حداکثر بهره‌برداری صورت پذیرد و در صورت نیاز به ایجاد زیر ساختارهای جدید این خطوط در مکان‌های مناسب ایجاد گردد (حیدری و رحمت نژاد، ۱۳۹۷). برنامه‌ریزی حمل و نقل ریلی شامل برنامه‌ریزی منابع ریلی با در نظر گرفتن ملاحظات مختلفی مانند ایمنی،

شبکه‌های ریلی، بخش مهمی از سیستم‌های حمل و نقل دنیا هستند که به دلیل ایمنی بالا و آلودگی زیست محیطی کمتر، اهمیت ویژه‌ای نسبت به سایر سیستم‌های حمل و نقل دارد و می‌تواند از طریق حمل بارهای بین‌المللی عامل توسعه اقتصادی شود. دو شاخص عمده در بررسی عملکرد، کارایی و ایمنی شبکه‌های ریلی فاصله زمانی اعزام قطارها و ظرفیت خطوط می‌باشد که به طور مستقیم در تعامل با سرعت قطارها، زمان سیر قطارها و میزان بار جابه‌جا شده توسط کل سیستم می‌باشد. لازمه رشد و شکوفایی هر کشور، استفاده بهینه از منابع گوناگون آن کشور است، این امر باید در هر یک از

صرفاً یک نقطه‌ی اتصالی است که در آن قطار می‌تواند از یک خط به خطی دیگر برود. برخی از گره‌ها ایستگاه‌ها را تشکیل می‌دهند که در آن‌ها عملیات سبقت، تلاقی یا تغییر جهت قطارها انجام می‌گیرد (اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها، ۲۰۰۴). ایستگاه محوطه‌ای است محدود به مجموعه‌ای از سوزن‌ها و خطوط به هم پیوسته که در آن ساختمان‌های اداری و مسکونی و سکوه‌های بار و مسافر و سایر تاسیسات قرار دارد و محل توقف، تنظیم، قبول، اعزام و عملیات مانور و سبقت و تلاقی قطارها و سایر وسایط نقلیه راه آهن می‌باشد و همچنین در آن امور مربوط به قبول و تحویل بار و توشه و سوار و پیاده شدن مسافران انجام می‌گیرد که برحسب موقعیت و میزان فعالیت درجه‌بندی گردیده است و دارای محدوده مشخص و معینی می‌باشد. ایستگاه‌ها کوچکترین واحدهای خدماتی در راه آهن هستند که جریان حرکت بار و مسافر از آن‌ها شروع شده و به آن‌ها ختم می‌شود و به این دلیل که تاسیسات عمده و گران‌بهای راه آهن مانند دپو و تعمیرگاه‌ها در آن قرار دارند از اهمیت ویژه‌ای در راه آهن برخوردارند. رشد تقاضا در استفاده از حمل‌ونقل ریلی موجب شده که طراحی بهره‌وری ایستگاه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار باشد به طوری که تعیین تعداد و نوع خطوط ایستگاه‌ها و استفاده بهینه از این سرمایه و بهره‌برداری مناسب از آن با توجه به هزینه‌های بالای احداث زیرساخت‌های لازم برای بهره‌برداری و همچنین هزینه‌های سنگین اصلاح و افزایش ظرفیت این زیرساخت، همواره از چالش‌های اساسی راه‌آهن‌های دنیا می‌باشد.

معمولاً ایستگاه‌ها در دو طرف پاره‌خط بلاک قرار دارند و بلاک قطعه خطی است بین دو نقطه که برای تنظیم فاصله زمانی سیر قطارها مشخص می‌شود؛ به عبارت دیگر، بلاک مقدار فاصله‌ای است که قطاری طی می‌نماید تا به قطار بعدی اجازه حرکت داده شود. نقاط جدایی می‌توانند شامل ایستگاه‌ها، چراغ‌های راهنما، ایستگاه‌های اضطراری و غیره باشند. قطار عبارت است از یک یا چند لکوموتیو متصل به هم یا متصل به یک و یا چند واگن و این نام موقعی به آن اطلاق می‌شود که کارکنان مربوطه آن را تحویل گرفته و به علامت مخصوص انتهایی قطار مجهز گردد. به نحوی که در روز و شب به خوبی از سمت لکوموتیوران قابل رویت بوده و در جایگاه خود مستحکم گردد. مسیر نیز، مجموعه گره‌ها و خطوط پشت سر هم بین مبدا و مقصد مشخص است (مقررات عمومی سیر و

سرعت، ظرفیت، هزینه، تقاضای سفر، محیط زیست و سایر موارد است. منظور از منابع ریلی نیز کلیه تجهیزات، زیرساخت و نیروی انسانی به کارگرفته شده در سیستم‌های حمل‌ونقل ریلی است. اهداف اساسی در برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل و نقل ریلی شامل کاهش هزینه‌های حمل بار و مسافر، بیشترین استفاده از ظرفیت موجود و بهبود سطح خدمت از طریق ارتقای شاخص قابلیت اطمینان، کاهش تاخیرات، افزایش ایمنی و افزایش ظرفیت حمل‌ونقل می‌باشد. در امور بهره‌برداری از خطوط و شبکه‌های موجود در راه آهن، گاهی نرخ بهره‌برداری از خطوط با توجه به سرمایه گذاری کلان در بخش زیرساخت، بسیار اندک است و از طرف دیگر در برخی موارد با توجه به حجم بالای ترافیک، نیاز به توسعه بخش‌های زیرساختی احساس می‌شود. از آنجا که هزینه احداث خطوط جدید بخش عظیمی از هزینه‌ها را در برمی‌گیرد، باید سعی شود تا از خطوط موجود، بهره‌برداری مناسب به عمل آمده باشد. آشکار است که ظرفیت هر یک از اجزا، در تعیین ظرفیت کل سیستم موثر است. در حال حاضر، برخی از مسیرهای ریلی به عنوان یکی از تنگناهای ظرفیتی کشور محسوب می‌شوند که با توجه به این مسئله و نیز تقاضای روزافزون حمل و نقل ریلی، نیاز به افزایش ظرفیت در این بخش از شبکه ریلی کشور، امری محسوس است که باید با به کارگیری تمهیدات لازم، مشکل ظرفیتی این مسیرهای ریلی بر طرف گردد. ظرفیت شبکه ریلی بستگی به زیرساخت، ناوگان و برنامه زمان‌بندی حرکت قطارها دارد و بنابراین محاسبه ظرفیت در راه آهن، پیچیده‌تر از محاسبه ظرفیت‌های سایر روش‌های حمل‌ونقلی است (یقینی و همکاران، ۱۳۹۰).

## ۲- افزایش ظرفیت خطوط

آنچه به عنوان ظرفیت شناخته می‌شود در اصل توانایی یک مسیر در عبور دادن تعداد مشخصی از وسیله حمل و نقل ریلی است. ظرفیتی که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود، ظرفیت عملی یا به عبارت دیگر ظرفیتی است که تحت شرایط واقعی بهره‌برداری حاصل می‌شود که قبل از پرداختن به آن، لازم است به چند اصطلاح و تشریح زیر توجه گردد. یک شبکه ریلی در اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC) شامل مجموعه‌ای گره است، که به وسیله مجموعه‌ای پیوند، به هم مرتبط شده‌اند و به آن خط نیز گفته می‌شود. در ساده‌ترین شکل، یک گره

۵- ارزیابی فنی- اقتصادی احداث خطوط جدید با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

#### ۲-۱- روش نموداری در تعیین ظرفیت خط

در این روش یک نمودار کنترلی اصلی تهیه می‌گردد. بر روی این نمودار، ابتدا سیر قطارهای مسافری رسم می‌شود و به عبارت دیگر کارشناسان مربوطه با توجه به دانش و تجربه شان نسبت به شرایط حاکم و با توجه به محدودیت عبور قطارها از کنار یکدیگر، تلافی‌ها در مسیر حرکت قطارها را بررسی و رفع می‌کنند و پس از آن در زمانهای باقیمانده تا حد امکان قطارهای باری رسم می‌گردند. پس از خاتمه رسم نمودار، ظرفیت خط از مجموع قطارهای مسافری و باری مسیر استخراج می‌شود که بسیار وقت گیر نیز می‌باشد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲).

#### ۲-۲- روش مرسوم در ایران برای تعیین ظرفیت خط

در سیستم ریلی کشور به منظور تعیین ظرفیت خط از فرمول خاصی که به فرمول ظرفیت عملی مشهور است استفاده می‌شود. برای تعیین ظرفیت هر خط در این روش باید مدت سیر قطارها در بلاک بحرانی و همچنین مدتی که به صورت عادی بین ورودی و خروجی دو قطار در موقع تلافی طول می‌کشد را در نظر گرفت (حسین‌زاده، گروسی و یادگاری، ۱۳۹۲). فرمول ظرفیت عملی متداول به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$N = \frac{1440 - 60d}{T_1 + T_2 + \Delta t} - K(np + nd)$$

که در آن:

N: تعداد زوج قطارهای باری که می‌توانند در یک شبانه‌روز بین دو ایستگاه سیر کنند (یا در یک محور)

1440: تعداد دقیق در یک شبانه روز

d: میزان ساعتی که جهت مسدودی خط در نظر گرفته می‌شود

$T_1 + T_2$ : مدت زمان رفت و برگشت در بلاک بحرانی (یا بین دو ایستگاه)

$\Delta t$ : زمان‌های تلف شده بین ورود یک قطار و حرکت قطار بعدی

K: ضریبی بزرگتر از واحد که ضریب تردد نامیده می‌شود. علت کاربرد این ضریب این است که قطارهای مسافری باعث برهم زدن نظم قطارها شده و موجب کاهش ظرفیت می‌شود این ضریب برای خطوط ریلی ایران ۲ است.

np: تعداد قطارهای مسافری خط (بر حسب زوج قطار)

حرکت، ۱۳۹۲). ظرفیت خط در یک بلاک عبارت است از حداکثر تعداد زوج قطاری که در ۲۴ ساعت می‌تواند از بلاک مورد نظر عبور نماید. برای محاسبه ظرفیت خط در یک محور، ظرفیت بلاک بحرانی آن مد نظر قرار می‌گیرد. عملاً ظرفیت خطی که به صورت تنوری محاسبه می‌شود قابل دست‌یابی نبوده و عوامل و پارامترهای مختلفی در کاهش ظرفیت خط موثر می‌باشد. بنابراین به جای آن از مفهوم حداکثر ظرفیت بهره‌برداری بهینه (حداکثر تعداد قطارهایی که می‌توانند با سطحی از تاخیر یا کیفیت بهره‌برداری قابل قبول از خطوط راه‌آهن بگذرند) استفاده می‌شود. این تاخیرها می‌توانند به علت توقف‌های برنامه‌ای شامل بازدید، آبگیری، پیاده و سوار شدن مسافر، تخلیه یا بارگیری کالا، نماز و یا توقف‌های اجباری ناشی از انجام عملیات تلافی در ایستگاه‌ها، خصوصاً در خطوط یک خطه به علت محدودیت وجود تنها یک قطار در یک بلاک به وجود آید. ظرفیت واقعی یک خط، تعداد قطارهای سیر نموده در خط را شامل می‌شود که به صورت درصدی از ظرفیت بهره‌برداری تعریف می‌شود. تحلیل ظرفیت خطوط از چند جهت حائز اهمیت می‌باشد:

- ۱- ارزیابی وضعیت فعلی خطوط ریلی موجود با توجه به حجم تقاضا و برآورد نرخ بهره‌وری ظرفیت
  - ۲- برنامه‌ریزی در جهت ساخت خطوط جدید با توجه به روند رو به رشد تقاضا و ظرفیت فعلی مسیر
  - ۳- تحلیل قابلیت اطمینان سرویس‌های قطار و جدول زمانبندی با توجه به نرخ فعلی بهره‌وری ظرفیت
  - ۴- شناسایی بلاک‌های بحرانی مسیر و ضرورت نیاز به راهکارهای جدید جهت افزایش ظرفیت
- (۱)

nd: تعداد قطارهای عملیاتی خط (بر حسب زوج قطار)

با توجه به این فرمول می‌توان با کاهش زمان سیر قطارها در بلاک بحرانی و کاهش زمان مسدودی خط، ظرفیت خط را افزایش داد.

## ۲-۳- پارامترهای تاثیرگذار بر افزایش ظرفیت خط

ظرفیت خط راه‌آهن به عواملی نظیر زمان سیر قطارها در بلاک، میزان تأخیر تلاقی و کیفیت بهره‌برداری از خط بستگی دارد که جهت افزایش ظرفیت خط می‌توان موارد زیر را بر شمرد:

۱- عملیات اجرایی و عمرانی جدید

احداث خطوط جدید در شبکه

• دوخطه نمودن

• ایجاد ایستگاه‌های اضافی

• تفکیک کاربری ایستگاه‌های بزرگ (باری، مسافری)

• نصب خطوط فرعی

• ارتقای سامانه علائم

• احداث مسیرهای موازی

• حذف تقاطع‌های هم سطح

۲- ارتقا ویژگی‌ها و بهبود فنی خطوط

• بهسازی

• بازسازی

• افزایش طول مفید ایستگاه‌ها

• اصلاح شیب‌های تند

• بروز نمودن سامانه‌های نگهداری و تعمیر

• اصلاح قوس‌ها

۳- بهبود کیفیت بهره‌برداری

• اعزام قطارهای طویل

• افزایش سرعت قطارها

• استاندارد نمودن سرعت واگن‌ها

• کاهش زمان توقف قطارها در ایستگاه‌ها

۴- بهبود فنی و ارتقا سامانه‌های علائم و ارتباط

• به کارگیری سامانه‌های علائم و ارتباط (با توجه به وجود فیبر نوری در کلیه ایستگاه‌ها)

• نصب علائم هشدار دهنده برای مسیر

• کاهش زمان قبول و اعزام قطارها با استفاده از تجهیزات علائمی

• به کارگیری و توسعه‌ی سامانه‌های پیشرفته کنترل قطارها

۵- بهبود فنی و ارتقای نیروی کشش

• استفاده از نیروی کشش الکتریکی

• افزایش توان کششی لکوموتیوهای موجود با بازسازی و تعمیرات اساسی

• افزایش بار محوری با استفاده از واگن‌های شش‌محوره (کارخانه فولاد مبارکه)

### ۳- پیشینه تحقیق

در این راستا، در تحقیقاتی که تاکنون برای ظرفیت‌سنجی صورت پذیرفته، تنها تعیین بهترین روش برای محاسبه ظرفیت و یا افزایش ظرفیت در گلوگاه‌های شبکه ریلی مد نظر واقع شده‌اند. به عنوان مثال برای محور لرستان که باری است، تعریف UIC405 نتایج بهتر و نزدیکتر به واقعیت را در مقایسه با فرمول راه‌آهن ارایه می‌نماید (دالوند، ۱۳۸۷).

لیباردو و همکاران به مدل‌سازی و محاسبه ظرفیت در چندراهی‌ها و تقاطعات راه‌آهن پرداخته و جانمایی چندراهی و برنامه زمان‌بندی از پیش تعریف شده، به‌عنوان محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. این مدل بر اساس تعریف UIC406 میزان استفاده از ظرفیت را با در نظر گرفتن تعداد قطارها به عنوان ورودی، محاسبه کرده است (لیباردو و همکاران، ۲۰۱۱). مهرآذرین و همکاران مسائل فنی و بهره‌برداری را در استفاده بهینه از خطوط تک خطه راه‌آهن با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی دینامیکی حرکت قطارها، به بررسی وضعیت سیر و حرکت، ظرفیت مسیر، نیروی کشش مناسب، تأثیر تعداد ایستگاه‌ها و بهره‌برداری بهینه از مسیر مورد مطالعه اصفهان پرداخته و به این نتیجه دست یافتند در کل شبکه ریلی می‌توان به افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از شبکه خطوط راه‌آهن رسید (مهرآذرین و همکاران، ۱۳۸۲).

یقینی و همکاران در سال ۹۱ در مسیر بادرود- اردکان روشی جهت بررسی راهکارهای افزایش ظرفیت مسیرهای ریلی با استفاده از روش بهینه‌سازی ارایه دادند و نتایج مدل آنان نشان داد که بر اساس درصد افزایش ظرفیت، احداث دو نقطه جدایی جدید با دو خط پهلوگیری ما بین هر دو ایستگاه موجود بهترین گزینه محسوب می‌شود (یقینی و همکاران، ۱۳۹۰).

مرل و همکاران به محاسبه ظرفیت با در نظر گرفتن تعداد قطارها به عنوان ورودی، در مهم‌ترین چندراهی راه‌آهن فرانسه پرداخته‌اند. در این مقاله، مدل خطی جدیدی برای این مسئله ارایه و از الگوریتمی ابتکاری برای حل این مدل استفاده شده است. هرود، با بررسی ۴۴ ترکیب مختلف شبکه خطوط و سرعت‌های متفاوت قطارها به بررسی و مقایسه ظرفیت در این حالات پرداخته است (مرل و همکاران، ۲۰۰۹). نیکولا و همکاران به ارزیابی ظرفیت شبکه‌های راه‌آهن و تعیین ضریب

اشغال آن به منظور تضمین پایداری شبکه پرداخته‌اند (نیکولا و همکاران، ۲۰۱۸). ماستون نیز به بررسی رابطه بین تاخیر قطارها و ظرفیت خطوط راه‌آهن پرداخته‌اند (ماتسون، ۲۰۰۸). آندرس نیز به تجزیه و تحلیل ظرفیت شبکه با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی و ارزیابی جداول زمانی اعزام قطارها، تاخیرات و زیر ساخت‌ها پرداخته است (آندرس، ۲۰۱۵). آنا و همکاران به بررسی فرآیند تصمیم‌گیری در موارد عدم وجود ظرفیت کافی خط پرداخته‌اند (آنا و همکاران، ۲۰۲۰). جوزف و همکاران نیز تحقیقی پیرامون رابطه بین زیرساخت‌های ریلی و شاخص‌های عملکردی انجام داده‌اند (جوزف و همکاران، ۲۰۲۱).

### ۴-۱- معرفی محور مشهد - تهران

عملیات اجرایی خط راه‌آهن تهران - مشهد به طول ۹۲۶ کیلومتر در سال ۱۳۱۶ آغاز و در سال ۱۳۳۶ به طور رسمی افتتاح گردید. حوزه استحفاظی اداره کل راه‌آهن خراسان از ایستگاه مشهد تا ایستگاه نقاب به طول ۲۷۲ کیلومتر (دو خطه رفت و برگشت ۵۴۴ کیلومتر) و از ایستگاه فریمان تا ایستگاه سرخس بطول ۱۵۹ کیلومتر و تا مرز ۱۶۵ کیلومتر می‌باشد. طول خطوط اصلی اداره کل راه آهن خراسان ۷۳۹ کیلومتر و طول خطوط فرعی و صنعتی این اداره کل ۲۸۳ کیلومتر می‌باشد که در مجموع کل خطوط ریلی حوزه استحفاظی راه آهن خراسان ۱۰۲۲ کیلومتر می‌باشد.

### ۴-۱-۱- تحلیل محور مشهد - تهران و تعریف پروژه‌های بهبود

اداره کل راه آهن خراسان در مسیر محور مشهد - تهران دارای محدودیت‌هایی جهت سیر روان قطارها بوده که در راستای افزایش ظرفیت خط و جابجایی بار و مسافر پروژه‌هایی به منظور بهبود صورت پذیرفته است. بررسی راهکارهای افزایش ظرفیت شبکه در مطالعه موردی اداره کل راه آهن خراسان و نتایج حاصله از آن نشان داد که می‌توان با بهبودهای فنی و زیر بنایی مانند دو خطه نمودن، اصلاح قوس‌ها، افزایش سکوها و خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری، افزایش طول مفید خطوط ایستگاه‌ها، ارتقای سیستم سیگنالینگ به منظور کاهش زمان قبول و اعزام قطارها، ظرفیت خط را در این اداره کل افزایش داد، ظرفیت شبکه را افزایش و

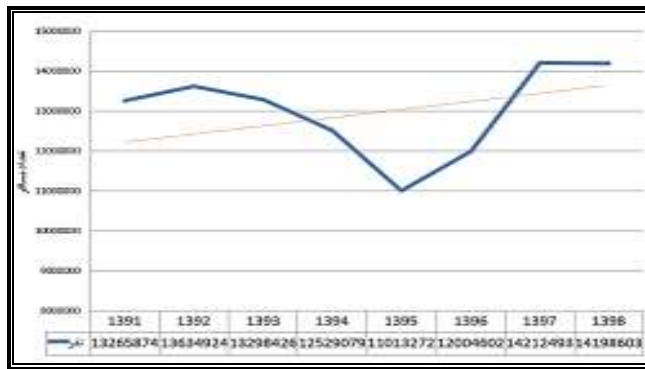
افزایش پیدا کرد. در جدول شماره یک پروژه های بهبود صورت گرفته در راستای افزایش ظرفیت خطوط در محور خراسان نمایش داده شده است.

پس از اجرای پروژه های بهبود به منظور افزایش ظرفیت خط، ترافیک نسبت به قبل روان تر، جابجایی مسافر، حمل بار و سرعت بازرگانی افزایش یافته است و سرعت بازرگانی نیز افزایش یافته است که نتایج حاصل از آن در شکل های شماره ۱ الی ۳ نشان داده شده است. شکل ۱ میزان جابجایی مسافر را نشان می دهد. لازم به ذکر است کاهش مسافر طی سال های ۹۴ الی ۹۵ به دلیل حذف قطارهای درجه ۲ و اتوبوسی و جایگزینی قطارهای درجه ۱ و همچنین عملیات عمرانی صورت گرفته در ایستگاه ها می باشد و پس از آن روند جابجایی مسافر افزایشی شده است که ناشی از پروژه های بهبود و استفاده بهینه از ظرفیت خطوط می باشد. شکل های ۲ و ۳ نیز به ترتیب بیانگر افزایش روند میزان حمل بار داخلی و تن کیلومتر در محور خراسان می باشد.

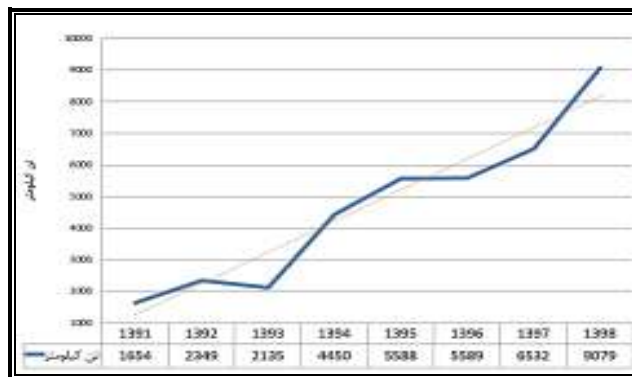
میزان تاخیر قطارها را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داد. در سال ۱۳۷۳ عملیات روسازی خط دوم (زوج) محور تهران-مشهد آغاز و در سال ۱۳۸۱ به بهره برداری رسید که ۲۷۲ کیلومتر از این مسیر در ناحیه خراسان واقع شده است. سیستم سیگنالینگ محور مشهد- تهران در سال ۱۳۸۵ و محور سرخس نیز در سال ۱۳۹۲ تکمیل شده اند. در سال ۱۳۸۱ عملیات احداث ایستگاه باری مشهد و تفکیک ترافیک و استقرار قطارهای مسافری از باری انجام گردید. در طول سالهای ۷۷ تا ۸۱ عملیات افزایش سکوها و خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری ایستگاه راه آهن مشهد با احداث ۲ سکوی مسافری، تعداد سکوها مسافری از ۲ به ۴ سکو و تعداد خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری از ۳ خط به ۷ خط افزایش پیدا کرد. در سال ۱۳۹۴ عملیات افزایش سکوها و خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری ایستگاه راه آهن مشهد با احداث ۳ سکوی مسافری تعداد سکوها از ۴ به ۷ سکو و تعداد خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری از ۷ به ۱۳ خط

جدول ۱. پروژه های بهبود صورت گرفته در راستای افزایش ظرفیت خطوط در محور خراسان

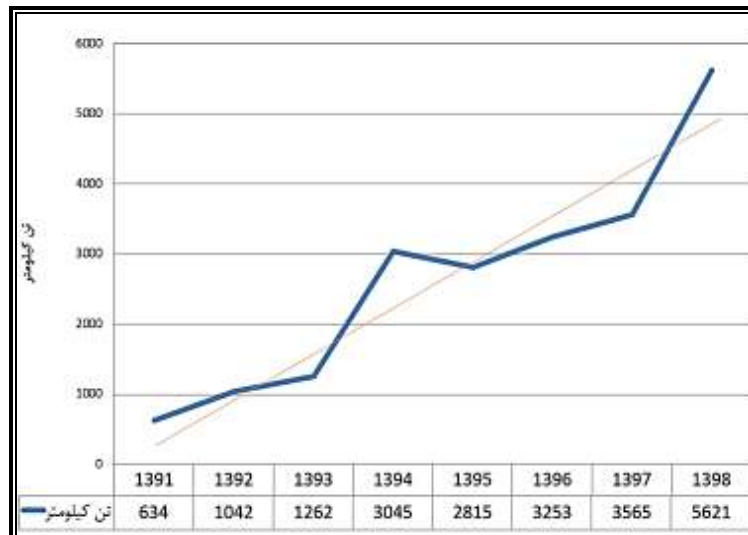
نوع عملیات	پروژه بهبود
عملیات اجرایی و عمرانی جدید	دو خطه نمودن
	احداث ایستگاه باری مشهد و تفکیک ترافیک و استقرار قطارهای مسافری از باری (تفکیک کاربری ایستگاه های بزرگ (باری، مسافری))
	افزایش سکوها و خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری ایستگاه راه آهن مشهد با احداث ۳ سکوی مسافری ((تعداد سکوها از ۴ به ۷ سکو و تعداد خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری از ۷ به ۱۳ خط))
بهبود فنی و ارتقا سامانه های علائم و ارتباط	بازسازی و بهسازی ایستگاه ها و احداث نمازخانه ها و سرویس های بهداشتی در کلیه ایستگاه ها
	به کارگیری سامانه های علائم و ارتباط (با توجه به وجود فیبر نوری در کلیه ایستگاه ها)
ارتقا ویژگی ها و بهبود فنی خطوط	کاهش زمان قبول و اعزام قطارها با استفاده از تجهیزات علائمی
	اصلاح قوس ها
بهبود کیفیت بهره برداری	کاهش زمان توقف قطارها در ایستگاه ها



شکل ۱. میزان جابجایی مسافر محور خراسان



شکل ۲. میزان حمل بار داخلی محور خراسان



شکل ۳. مجموع تن کیلومتر مبدا - مقصد محور خراسان

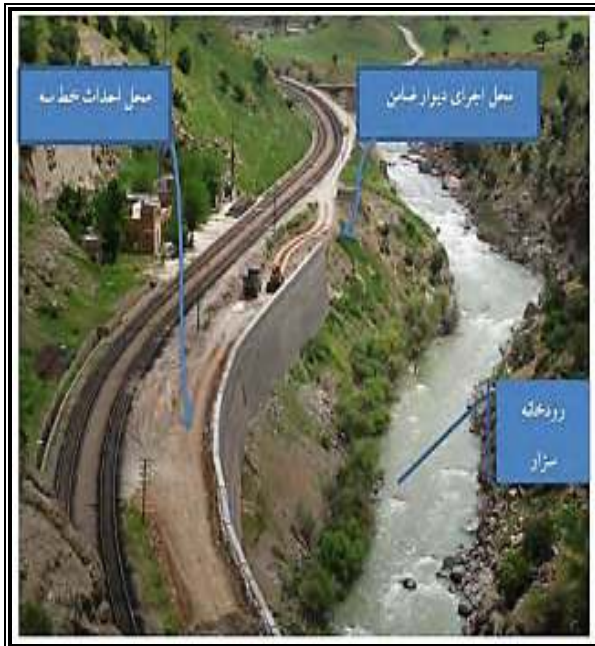
#### ۴-۲- معرفی محور دورود - اندیمشک

قرارداد به دلیل احداث تونل، پل‌ها و سازه‌های فنی متعدد دشوارترین و پرهزینه‌ترین مسیر راه آهن سراسری ایران بوده است. این ناحیه به دلیل پیچیدگی هندسی خاص در منطقه‌ای پر پیچ و خم و دشوار ساخته شده که به خاطر این ویژگی‌های

راه آهن لرستان که همزمان با راه آهن سراسری شمال به جنوب از سال ۱۳۰۶ تا ۱۳۱۷ احداث شده است، از دورود به سمت جنوب وارد رشته کوه‌های زاگرس شده که از دره‌های تنگ و در جوار رودخانه‌ی سزار (دز) به مسیر خود ادامه می‌دهد. این مسیر کوهستانی که به موازات رودخانه سزار

آن مورد بهره‌برداری قرار گیرد که در شکل ۶ نمایش داده شده است.

خاص به دانشگاه راه‌آهن معروف است و یکی از گلوگاه‌های اصلی راه‌آهن ایران اداره کل راه‌آهن لرستان است.



شکل ۶. محل احداث خط سوم ایستگاه قارون

پس از احداث این پروژه و افزایش ظرفیت خط، ترافیک نسبت به قبل روان‌تر، سرعت بازرگانی و حمل بار افزایش، مصرف سوخت و ساعات کار مامورین کاهش یافته که نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۲ آمده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از احداث خط سوم ایستگاه قارون

و افزایش ظرفیت خط

عنوان شاخص	واحد اندازه‌گیری	قبل از پروژه	بعد از اجرا
افزایش سرعت بازرگانی	کیلومتر بر ساعت	۱۰٫۵	۱۲
کاهش مصرف سوخت	لیتر (شبنانه روز)	۶۵۵۲۰	۵۷۶۰۰
افزایش حمل بار	تن کیلومتر (خالص)	۲۵۶۰۹۶۸	۳۶۴۰۱۷۴
کاهش ساعت کار مامورین	ساعت (شبنانه روز)	۸	۷٫۳

#### ۴-۲-۱- تحلیل محور دورود - اندیمشک و تعریف پروژه‌های بهبود

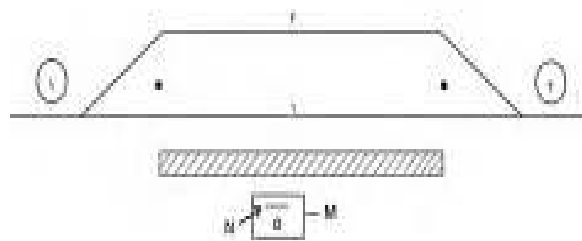
اداره کل راه‌آهن لرستان در مسیر محور جنوب شبکه راه‌آهن دارای محدودیت‌هایی جهت سیر روان قطارها بوده که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به ایستگاه دو خطه قارون اشاره نمود که در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

معایب ایستگاه‌های دوخطه عبارت است از:

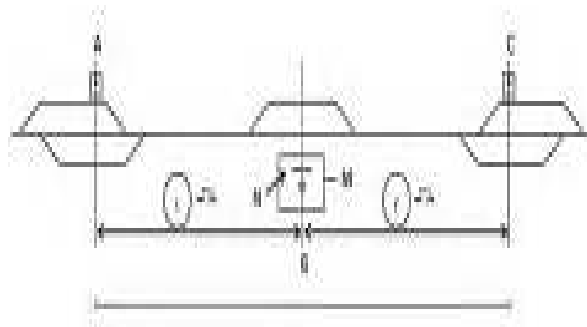
- دو قطار به طور هم‌زمان نمی‌توانند وارد ایستگاه شوند.

- عملیات سبقت و تلاقی قطارها را به دلیل نبودن خط عبوری خالی نمی‌توان به صورت هم‌زمان انجام داد.

- در موارد انسداد یکی از خطوط ایستگاه جهت تعمیر و یا اشغال آن توسط واگن‌های تعمیراتی و ...، ایستگاه اهمیت خود را از دست می‌دهد و دو بلاک کوچک مجاور تبدیل به یک بلاک بزرگ شده و تردد قطارها را کند می‌کنند و تعداد قطارهای پیش‌بینی شده در برنامه حرکت قطارهای مسیر را کاهش می‌دهند.



شکل ۴. نمایی از ایستگاه دو خطه قارون قبل از احداث خط سوم



شکل ۵. نمایی از ایستگاه‌های سه خطه A و C

طرفین ایستگاه دو خطه B

برای رفع مشکلات مذکور، ایده احداث خط سوم ایستگاه قارون مطرح گردید، ولی به دلیل فضای کم آن ایستگاه به ناچار باید دیواری ضامنی طراحی و احداث گردد تا خط جدید روی



## ۵- نتایج

کوتاه (مطالعه موردی اداره کل راه آهن لرستان)، دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری با تاکید بر اشتغال زایی در صنعت ساختمان.

- دالوند، ر.، (۱۳۸۷)، "افزایش ظرفیت محور لرستان با بهبود تکنیک‌های سیگنالینگ"، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی راه آهن.

- "مقررات عمومی سیر و حرکت راه آهن"، (۱۳۹۲)، مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن گروه سیر و حرکت.

- مهرآذین، ه. معظمی، د.، (۱۳۸۲)، "استفاده بهینه از خطوط راه آهن یک خطه" ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اردیبهشت، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- یقینی، م. نیکو، ن. و تمنایی، م.، (۱۳۹۰)، "ارایه روشی جهت بررسی راهکارهای افزایش ظرفیت مسیرهای ریلی با استفاده از روش بهینه سازی همراه با مطالعه موردی مسیر بادرود- اردکان"، مهندسی حمل و نقل، سال دوم، شماره دوم، زمستان، ص. ۱۵۹-۱۷۳.

-Anders, L., (2015), "Railway capacity analysis: methods for simulation and evaluation of timetables T delays and infrastructure", critical infrastructure.

- Anna, D., Vladislav, Z and Lenka, C., (2020), "Decision mailing process in the case of insufficient rail capacity "Sustainable railway system.

-Libardo, A., and Salerno, G., (2011), "Capacity in railway junctions and optimal route management", RAILROME.

- Mattsson, L., (2008), "Railway capacity and train delay.

-Jozef, G., Simon, S., Mariusz, K. Maria, B. Renata, C and zdenek, R., (2021), "Raresearch on the relationship between transport infrastructure and performance in rail and road freight transport – A case study of Japan and selected European countries "Sustainable railway system relationships", critical infrastructure.

- Merel, A., Gandibleux, X., Demasse, S. and Lusby, R., (2009), "An improved upper bound for the railway infrastructure capacity problem on the Pierrefitte- Gonesse Junction", In Dixi`eme congr`es de la Soci`et`e Franc,aise de Recherche Op`erationnelle et d'Aide `a la D`ecision, Proceedings of the ROADEF pp. 62-76.

-Nikola, B., and Rob Mp, G., (2018), "capacity assessment in railway networks ", handbook of optimization in the railway insudtry.

- "UIC Leaflet 406 Capacity", (2004), International Union of Railways.

یکی از اهداف اساسی در برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل و نقل ریلی کاهش هزینه‌های حمل بار و مسافر، بیشترین استفاده از ظرفیت موجود و بهبود سطح خدمت از طریق ارتقای شاخص قابلیت اطمینان، کاهش تاخیرات، افزایش ایمنی و افزایش ظرفیت حمل و نقل می‌باشد. با توجه به تقاضای روزافزون حمل و نقل ریلی، یکی از مشکلات اصلی سیستم حمل و نقل ریلی در اکثر شبکه‌های راه آهن دنیا، کمبود ظرفیت مسیرهای ریلی است که به پارامترهای زیرساخت، ناوگان و بهره برداری وابسته است. به این منظور، پس از مطالعه دو محور مشهد - تهران و دورود - اندیمشک مشخص گردید که با تعریف و اجرای پروژه‌های بهبود مانند دو خطه نمودن، اصلاح قوس‌ها، افزایش سکوها و خطوط قبول و اعزام قطارهای مسافری، افزایش طول مفید خطوط ایستگاه‌ها، ارتقای سیستم سیگنالینگ می‌توان به منظور کاهش زمان قبول و اعزام قطارها، ظرفیت خط را افزایش داد و ترافیک روان‌تری را نسبت به قبل ایجاد نمود و در کنار آن نتایج حاصل گردد:

-میزان جابه‌جایی مسافر با توجه به افزایش ظرفیت خط و کاهش فاصله زمانی اعزام قطارها افزایش یابد.

-تناژ بار حمل شده در بخش واردات، صادرات و ترانزیت با توجه به استفاده بهینه از ظرفیت خطوط افزایش یابد و به دنبال آن سرعت بازرگانی بهبود یابد.

-با توجه به افزایش بهره‌وری، ساعت کار ماموران کاهش می‌یابد.

-میزان مصرف سوخت با توجه به آزاد بودن مسیر و عدم توقفات اضافی کاهش می‌یابد.

## ۶- سپاسگزاری

از همکاری ادارات کل راه آهن خراسان و لرستان و نگرش ارزنده مدیران و کارشناسان این ادارات به دلیل استفاده از پارامترهای تاثیرگذار در افزایش ظرفیت بار و مسافر در این نواحی و همچنین در اختیار قراردادن مستندات مربوط به پروژه‌های بهبود و نتایج حاصل از آن، قدردانی می‌گردد.

## ۷- مراجع

- حسین‌زاده، ب. و گروسی، خ. و یادگاری، ح.، (۱۳۹۲)، "برنامه‌ریزی حرکت قطارها"، مرکز تحقیقات و آموزش راه آهن گروه سیر و حرکت.

- حیدری، م. ع. و رحمت‌نژاد، ر.، (۱۳۹۷)، "راهکارهای افزایش ظرفیت شبکه برای راه آهن یک خطه در مدت زمان

# **Investigation of Parameters Affecting the Increase of Railway Capacity (Case Study: Mashhad-Tehran and Doroud-Andimeshk Lines)**

*Mohsen Amouzadeh Omrani, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,  
Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.*

*Ebrahim Hadizadeh, Ph.D., Candidate, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli  
Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.*

*Milad Taherian, Ph.D., Candidate, Faculty of Electrical and Computer Engineering,  
Semnan University, Semnan, Iran.*

*E-mail: m\_amouzadeh@yahoo.com*

Received: September 2022- Accepted: February 2023

## **ABSTRACT**

Due to the growing demand for rail transport, one of the main problems of the rail transport system in most of the world's railway networks is the lack of capacity of railways, which depends on the parameters of infrastructure, fleet and operation. The actual capacity of a line is the maximum number of trains that can cross an axis in 24 hours and depends on factors such as the travel time of trains on the block, the amount of intersection delay and the quality of operation of the line. In this paper, the Mashhad-Tehran and Doroud-Andimeshk tracks, which have limitations for the smooth running of trains, have been studied. After the studies, it was found that it is possible to increase the useful length of station lines with improvements and technical and infrastructural techniques such as dividing two lanes, correcting curves, increasing platforms and acceptance lines and sending passenger trains, and upgrading the signaling system to reduce the time of arrival and departure of trains, increased the capacity of the line. From the observed results of the implementation of these measures, we can mention such things as smoother traffic than before, increased passenger traffic, increased commercial and freight speed, reduced fuel consumption and reduced working hours of officers.

**Keywords:** Rail Transport Systems, Railway, Line Capacity, Infrastructure