بررسی نقش پارامترهای مکانی در تعیین ظرفیت راه آهن درGIS

(مطالعه موردی: ایران)

نوع مقاله پژوهشی

بهرام مرادی سلوشی[۱]، سمیرا بلوری[۲]*، محمدصادق زنگنه[۳]، اکرم کرامت[۴]

تعداد صفحات:۶۳-۴۵

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۰۳/۰۶

چکیده

حمل و نقل ریلی به عنوان یک صنعت ایده‌آل در جهان توسعه یافته در نظر گرفته می‌شود. راه‌آهن در بسیاری از کشورها همچنان در تلاش است تا از نظر تجاری کارآمدتر و با دوام باشد. این روش حمل و نقل ایمن، کارآمد و سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می شود. این صنعت با ارائه خدمات قابل اعتماد و مقرون به صرفه باعث رشد اقتصادی می‌شود و نقش مهمی در زندگی انسان ایفا می‌کند. این تحقیق از طریق رگرسیون خطی ظرفیت راه‌آهن را در یک مطالعه موردی برای مسیرهای منتخب تعیین و بلوک‌های بحرانی را مشخص می‌کند تا تأثیر پارامترهای مکانی در تعیین ظرفیت شبکه ریلی مورد بحث قرار گیرد. از طریق داده‌های موجود مربوط به سال ۲۰۱۷، پیش‌بینی ظرفیت سال ۲۰۱۸ در محیط GIS انجام شد و سپس از طریق پارامترهای آماری RMSE ، R^2 و MAE صحت پیش‌بینی ظرفیت برای داده‌های موجود سال ۲۰۱۸ انجام شد. نتایج نشان داد که ظرفیت استفاده از مسیرهای انتخابی برای قطارهای باری ۸۲ درصد، قطارهای مسافری در مسیر رفت ۵۶ درصد، در مسیر برگشت ۶۲ درصد و در مسیرهای ترکیبی ۷۹ درصد بوده است. همچنین پیش‌بینی دقت قطارهای باری ۳۵ درصد بهتر از قطارهای مسافری بود. در مسیر مسافری، قطارهای مسافری دقت بیشتری داشتند (تقریباً ۴۵ درصد). به همین ترتیب در مسیر باری ظرفیت قطارهای باری از دقت بالاتری (نزدیک به ۴۵ درصد) برخوردار بود.

واژگان کلیدی: راه آهن، پارامترهای مکانی، GIS.

۱ . دکترای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ایران.

۲ . دکترای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ایران (نویسنده مسئول)*.

۳ . کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۴ . گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

مقدمه

شرکت‌های راه‌آهن در زیر ساخت‌های خود برای دستیابی به ظرفیت بهینه راه‌آهن سرمایه‌گذاری زیادی می‌کنند که منجر به حداکثر رشد اقتصادی می‌شود. مفهوم ظرفیت راه آهن به عنوان یک معیار حیاتی در صنعت ریلی در نظر گرفته می‌شود (Jamili, ۲۰۱۸). اگرچه می‌توان آن را به عنوان افزودن قطارهای بیشتر به سیستم راه‌آهن موجود (Burdett & Kozan, ۲۰۰۹) یا تاسیس زیر ساخت‌های ریلی جدید (Burdett, ۲۰۱۶) تعریف کرد، اما تعریف عملی‌تر آن ضروری است. این به معنای شناسایی ضرورت مدیریت ظرفیت مازاد یا افزودن ظرفیت بیشتر به شبکه ریلی است. با توجه به نیاز به توافق در مورد تعریف ظرفیت راه آهن، اتحادیه بین المللی راه آهن (UIC) یک جزوه در سال ۲۰۰۴ منتشر کرد. قابل توجه است که بروشور ظرفیت UIC۴۰۶ اعلام کرد که نمی‌تواند یک مفهوم مشخص باشد (Riejos et al., ۲۰۱۶). با این حال UIC ظرفیت راه آهن را به عنوان تعداد کل مسیرهای ممکن در یک پنجره زمانی از پیش تعریف شده با در نظر گرفتن ترکیب واقعی مسیرها یا پیشرفت‌ها در نظر گرفته است (Landex et al., ۲۰۰۸).

براساس تعریف UIC ٤١٦ بسیاری از جنبه‌های مختلف از ظرفیت راه آهن را نشان داد. برای مثال، ظرفیت راه‌آهن را می‌توان به‌عنوان اندازه‌گیری پتانسیل برای جابه‌جایی مقدار معینی از ترافیک روی یک خط راه‌آهن تعریف‌شده با مجموعه‌ای از منابع تعریف کرد. یا به‌عنوان حداکثر تعداد قطارهایی که می‌توانند از کل راه‌آهن در یک دوره معین عبور کنند در نظر گرفته شود (Mussone, & Calvo, ۲۰۱۳; Li et al., ۲۰۱۷).

شایان ذکر است که ظرفیت نقش مهمی در دستیابی به رشد اقتصادی مطلوب در صنعت ریلی دارد. سپس باید به عنوان یک موضوع حیاتی در انواع سیستم‌های ریلی از نظر کمیت ریل و حمل بار یا مسافر تلقی شود. به عنوان مثال، ظرفیت سیستم‌های راه‌آهن دو یا چند خطه در مقایسه با راه‌آهن‌های یک خطه بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال راه‌آهن‌های تک خطه نیز نقش‌های مهم حمل و نقلی را در بسیاری از کشورها ایفا می‌کنند (Landex et al., ۲۰۰٦).

به طور کلی ظرفیت در یک شبکه ریلی یک موضوع در دسترس براساس واقعیت‌های سخت مانند پیکربندی زیرساخت و برنامه زمان‌بندی است. بنابراین باید به عنوان ابزاری مفید برای مدیران و مسئولان راه آهن در نظر گرفته شود (Armstrong & Preston, ۲۰۱۷). از نقطه نظر عملیاتی ظرفیت یک راه آهن اساساً به ویژگی‌های فیزیکی و زیرساخت‌های سیستم‌های راه آهن بستگی دارد. به عنوان مثال تعداد راه‌آهن‌ها، ایستگاه‌ها، وجود خطوط کمکی و خطوط فرعی و همچنین سیستم‌های سیگنالینگ (Goverde et al., ۲۰۱۳). سایر عوامل مهم در ظرفیت عبارتند از ترکیب قطارها، سرعت‌های مختلف حرکت و اولویت‌های خدمات خاص در استفاده از زیرساخت. چهار نوع ظرفیت راه آهن شامل ظرفیت های نظری، ظرفیت‌های عملی، استفاده شده و ظرفیت‌های موجود می باشد (Abril et al., ۲۰۰۸).

مدیران و سهامداران صنعت راه آهن به دنبال افزایش ظرفیت عملی هستند و اینکه در عین حال تفاوت بین شیوه‌های معقول و موجود را به حداقل برسانند. براساس جنبه‌های مختلف ظرفیت در موقعیت‌های

مختلف، درک نابرابری بین مصرف ظرفیت و بهره برداری، ضروری است. به طور کلی مصرف ظرفیت و استفاده از ظرفیت مفاهیمی متمایز و ضروری هستند.

ظرفیت مصرفی با فشرده‌سازی نمودارهای جدول زمانی، اندازه‌گیری می‌شود. در حالی که استفاده از ظرفیت را می‌توان با بررسی تعداد قطارها، سرعت متوسط، ناهمگنی و پایداری ارزیابی کرد. برای داشتن دانش کامل در مورد ظرفیت راه آهن، دانستن ظرفیت مصرفی و نحوه استفاده از ظرفیت ضروری است. به عبارت دیگر، از آنجایی که ظرفیت راه آهن را نمی‌توان با مصرف ظرفیت یا استفاده از ظرفیت نشان داد، توصیف هر دوی آنها ضروری است (Landex, ۲۰۰۷). تخمین ظرفیت، هسته مرکزی برخی از مطالعات را تشکیل داده است که بر به حداکثر رساندن عملکرد شبکه راه آهن متمرکز شده اند (Jensen et al., ۲۰۱۷; Lindfeldt, ۲۰۱۵; Sameni et l., ۲۰۱۱). علاوه بر این، با توجه به اهمیت ظرفیت در بهره برداری از راه آهن، مطالعات مختلف تلاش کرده‌اند تا رابطه بین ظرفیت و پارامترهای مفید را در نظر بگیرند و مدل کنند (Odolinski & Boysen, ۲۰۱۹; Kaleybar et al., ۲۰۱۸; Li et al., ۲۰۱۷; Jamili, ۲۰۱۸; Lindfeldt, ۲۰۱۵; Dicembre & Ricci, ۲۰۱۱; Harrod, ۲۰۰۹). از طرفی تحقیقاتی برای پیگیری گسترش ظرفیت موجود شبکه‌های راه‌آهن در مطالعات موردی انجام شده است (Sharma et al., ۲۰۲۳; Feng et al., ۲۰۲۳; Do et al., ۲۰۲۱; Zhao et al., ۲۰۱۸; Yi, ۲۰۱۷; Burdett, ۲۰۱۶; Riejos et al., ۲۰۱۶; Suyabatmaz & Şahin, ۲۰۱۵; Zheng et al., ۲۰۱۱).

در دهه‌های اخیر، به دنبال روند رو به رشد فناوری اطلاعات (IT)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یک پیامد رایج از دسته‌بندی‌ها و تحلیل‌های اطلاعات و مسائل مختلف مکانی و غیر مکانی در همه مقیاس‌ها پدیدار شده است. پتانسیل GIS و تجزیه و تحلیل فضایی آن به عنوان بستری قابل اعتماد در برنامه ریزی و مدیریت حمل و نقل استفاده شده است (Farooq et al., ۲۰۱۸; Blainey & Preston, ۲۰۱۳).

در دهه‌های اخیر GIS به عنوان مجموعه‌ای از ابزارهای تحلیلی ضروری برای برنامه ریزی و مدیریت منابع و زیرساخت توسعه یافته است. قابلیت‌های GIS برای دریافت، ذخیره، بازیابی، تجزیه و تحلیل، مدل‌سازی و نقشه‌برداری مناطق بزرگ با حجم وسیعی از مجموعه داده‌های فضایی که می‌توانند به مجموعه داده‌های غیرمکانی مرتبط شوند، منجر به گسترش فوق‌العاده برنامه‌ها شده است (El-Bakry et al., ۲۰۱۰). ماهیت فضایی شبکه‌ها و زیرساخت‌های راه‌آهن را می‌توان به‌عنوان ویژگی‌های دینامیکی برای تحلیل، مدل‌سازی و تجسم هوشمندانه ویژگی‌های مختلف شبکه‌های راه‌آهن در نظر گرفت. بنابراین تحلیل‌های فضایی و عملکرد GIS نیز می‌تواند برای سهولت ارتباط بین جنبه‌های مختلف ظرفیت راه‌آهن مورد استفاده قرار گیرد (Blainey & Preston, ۲۰۱۳; Kotavaara et al., ۲۰۱۱). وضعیت فعلی آرایش فضایی زیرساخت‌ها در امتداد شبکه‌های راه آهن می‌تواند کمیت و کیفیت ظرفیت راه آهن را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این تأثیر برخی از ویژگی‌های هندسی راه‌آهن بر ظرفیت را می‌توان مهم دانست. بنابراین این مقاله نشان می‌دهد که چگونه ظرفیت راه‌آهن می‌تواند تحت‌تاثیر پیکربندی زیرساخت، عوامل هندسی و محدودیت‌های سرعت قطارها و موقعیت‌های

ایمنی در هر بلوک در امتداد راه‌آهن‌های انتخابی مورد مطالعه قرار گیرد. برای این مطالعه سه مسیر شامل مسیر مسافربری دو خطه، مسیر باری تک خطه و مسیر ترکیبی تک خطه در شبکه راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران به منظور اندازه‌گیری و مدل‌سازی درجه اثربخشی خاص پارامترها و عوامل زیر سوال بر ظرفیت راه آهن در این مسیرها انتخاب شد. این روش مبتنی بر توسعه یک رگرسیون چند متغیره معتبر (CVMVR) در میان مقادیر ظرفیت در موقعیت‌های خاص، عوامل مهم و پیکربندی‌های زیرساخت در امتداد راه‌آهن‌های مطالعه نشده است. منابع اولیه داده‌ها از پایگاه‌های مختلف فضایی و GIS شبکه راه آهن ایران بوده است. از این رو پژوهش حاضر با وجود تعیین ظرفیت شبکه ریلی در مسیرهای انتخاب شده راهکارهایی را برای رفع تنگناها و افزایش ظرفیت مسیرها با دیدگاه مکان‌گرا پیشنهاد می‌کند. قابل ذکر است که این یک نوآوری تحقیقاتی است که قبلاً انجام نشده است.

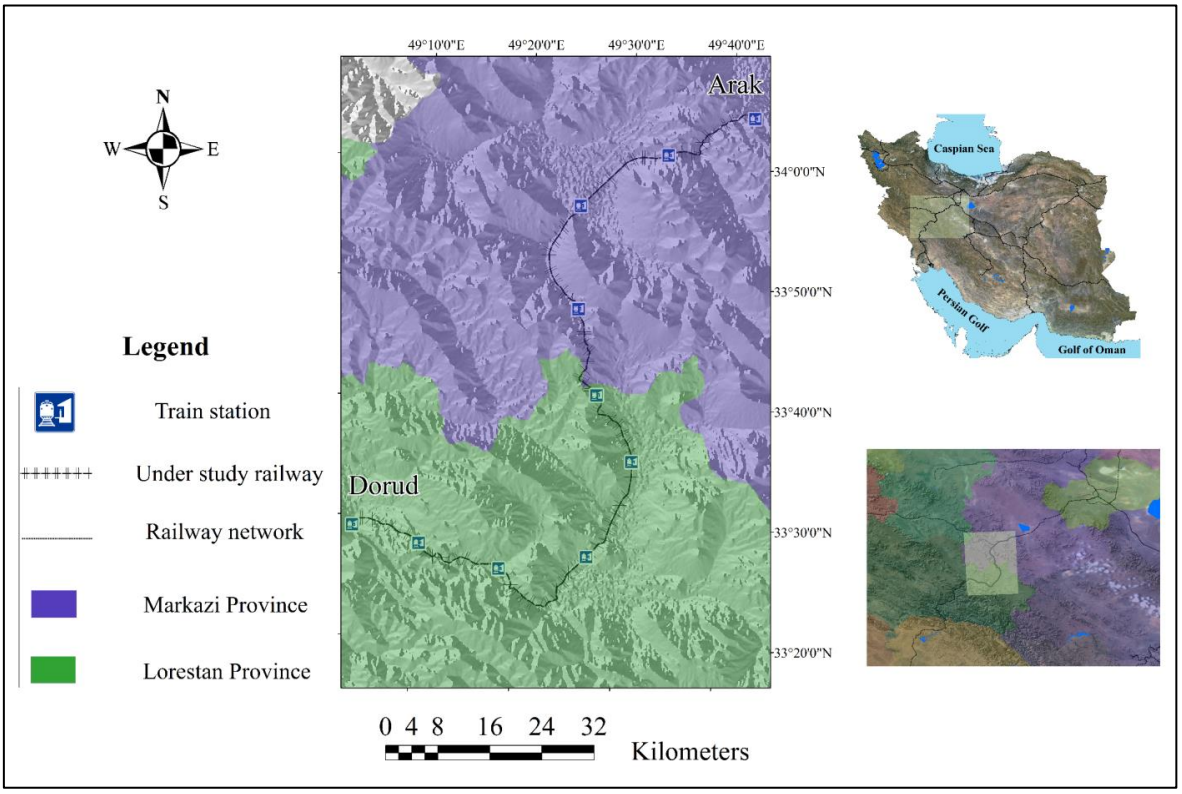
برای این مطالعه، برخی ویژگی‌های زیرساختی و فضایی سه خط راه‌آهن شامل مسیر ترکیبی یک‌طرفه اراک به دورود (شکل ۱)، مسیر اصلی مسافربری دو خطه از سمنان به شاهرود (شکل ۲) و یک مسیر اصلی تک خطه یزد به بافق (شکل ۳) در شبکه راه آهن ایران برای ارزیابی میزان اثربخشی عوامل مطالعه نشده بر مقادیر ظرفیت راه آهن انتخاب شد. مهم‌ترین دلیل انتخاب این مسیرها تعداد قطارهای باری و مسافری، ویژگی‌ها و عملکردهای متفاوت و پارامترهای فضایی خاص بود. تمایزات از نظر نوع قطار (قطار مسافری یا باری)، نوع راه‌آهن (مسیر تک خطه یا دو خطه) و توزیع‌های فضایی مختلف راه‌آهن‌های انتخابی در شبکه راه‌آهن ایران منعکس شد. سایر ویژگی‌های مختلف راه آهن انتخابی شامل تعداد ایستگاه‌ها، بلوک‌ها، سیستم‌های سیگنالینگ و پیکربندی زیرساخت‌ها در طول هر راه آهن می‌باشد. ویژگی‌های اساسی سه راه آهن انتخابی از IRSDI استخراج شده و در جدول ۱ فهرست شده است.

مواد

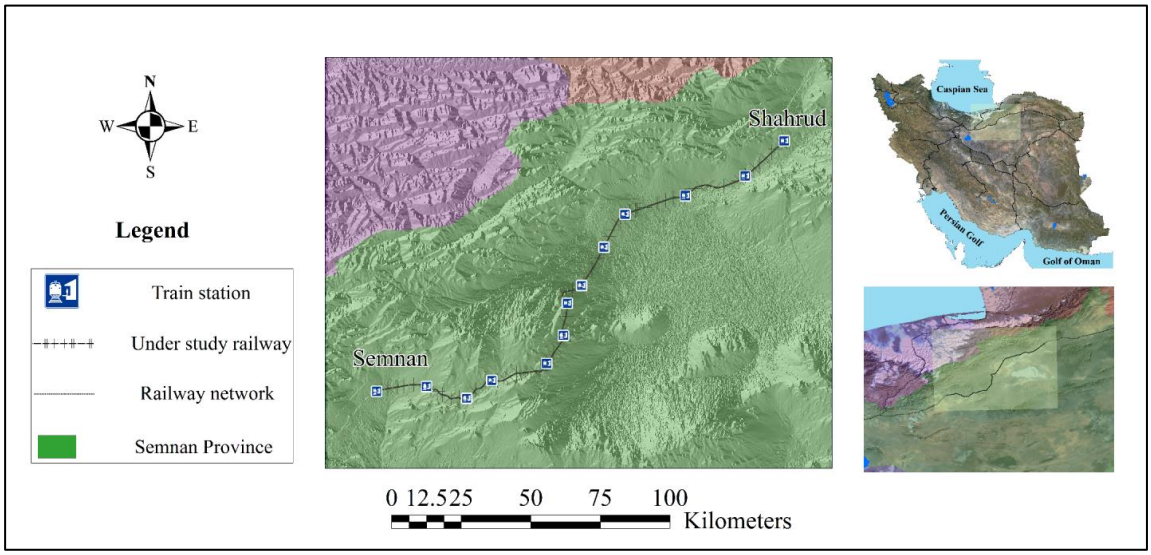
راه آهن انتخابی

جدول ۱. ویژگی‌های اصلی انتخابی راه آهن (IRIR) (منبع IRSDI).

مسیر راه آهن	نوع خط	طول	سیستم سیگنال	قطار	تعداد بلاک
اراک-دورود	تک خطه	۱۴۶.۵ km	unsignaled	ترکیبی	۹
سمنان-شاهرود	دو خطه	۱۹۹.۹ km	CTC	مسافری	۱۲
یزد-بافق	تک خطه	۱۱۷.۹ km	unsignaled	باری	۷



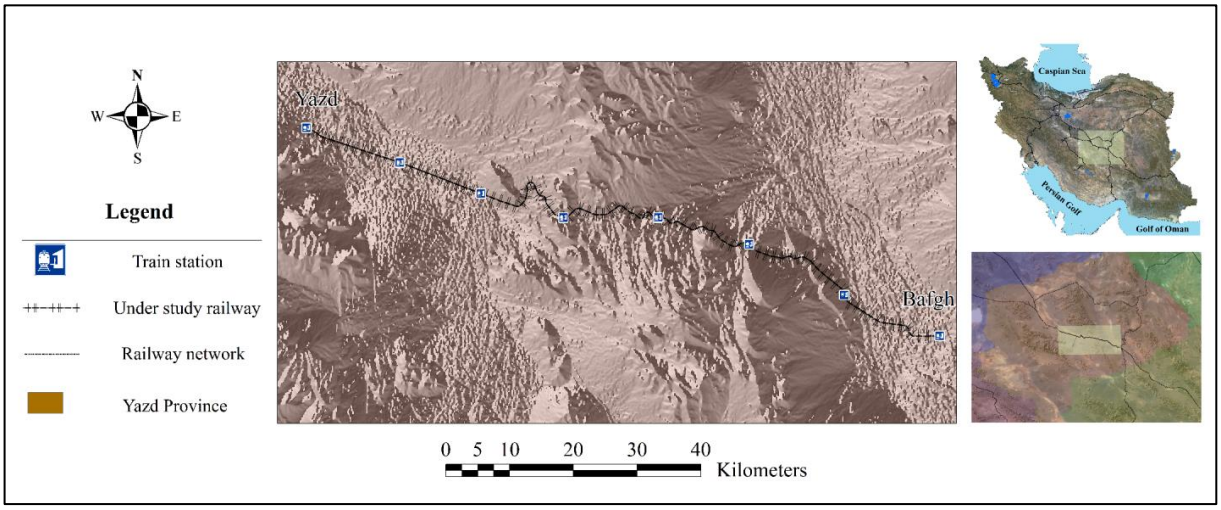
شکل ۱: موقعیت مکانی راه آهن انتخابی مسافری دو خطه اراک-درود.



شکل ۲: موقعیت مکانی راه آهن انتخابی مسافری دو خطه سمنان-شاهرود.

خط ریلی اراک – دورود در نیمه غرب ایران قرار گرفته و از دو استان مرکزی و لرستان می‌گذرد و دارای ۱۰ ایستگاه و ۹ بلوک می‌باشد.

مسیر دو خطه سمنان-شاهرود در شمال شرق ایران قرار دارد. این مسیر از استان سمنان گذر کرده و ۱۳ ایستگاه و ۱۲ بلوک دارد. در سال‌های اخیر این راه آهن به کنترل متمرکز ترافیک (CTC) مجهز شده است. این امر منجر به ایجاد بلوک‌های میانی و در نتیجه گسترش ظرفیت برای آن شده است.



شکل ۳: موقعیت مکانی راه آهن تک خطه باری انتخابی یزد – بافق.

مسیر باری یزد - بافق در مناطق مرکزی ایران قرار دارد. از استان یزد عبور کرده و دارای ۸ ایستگاه و ۱۲۷ بلوک می‌باشد. این خط آهن نقش اساسی در حمل و نقل مواد و محصولات از معادن و واحدهای صنعتی دارد.

داده‌ها

منابع داده‌های به‌دست‌آمده از برخی پایگاه‌های اطلاعاتی مکانی و انبار داده (IRSDI) تهیه شده است. جدول ۲ مشخصات داده‌های اولیه سه خط آهن انتخابی را نشان می دهد. داده‌های جمع‌آوری شده دارای فرمت‌های مختلف بود. در برخی موارد به دلیل فیلدها و سوابق اضافی و تکراری، خلاصه سازی داده های اولیه اجباری بود. بنابراین عملیات آماده‌سازی داده‌های اولیه قبل از انجام مدل‌سازی رگرسیون چندگانه انجام شد. داده‌های اصلاح شده براساس نقش آنها در مدل سازی به دو گروه تست و تمرین طبقه‌بندی شدند. داده‌های ظرفیت به عنوان تست شامل میانگین زمان رفت و برگشت سفر (دقیقه) و تعداد قطارهای رفت و برگشت، همگی برای قطارهای مسافری و باری بوده در حالی که مقادیر تمرینی شامل میانگین سرعت قطار (کیلومتر در ساعت)، حوادث رخ داده، مقادیر شیب مثبت و منفی (درجه)، طول و قوس بلوک‌ها و تعداد گذرگاه‌ها، تونل‌ها و ترانشه‌ها به همراه بلوک‌ها است. دوره زمانی داده‌های تست متعلق به سال ۲۰۱۶ تا پایان سال ۲۰۱۸ می باشد. از لحاظ زمانی همه داده‌های تست روزانه بوده است. داده‌ها از جمله میانگین سرعت قطارها نیز روزانه از سال ۲۰۱۶ تا

۲۰۱۸ بوده است. داده های سوانح شامل حوادث غیرمترقبه رخ داده و ثبت شده از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸ است که با خسارات جانی و مالی همراه بوده و باعث تاخیر قابل توجه در ورود قطارها شده است (جدول ۲). در هر فرآیند مدل‌سازی، رابطه بین یکی از تست‌ها و همه مجموعه داده‌های تمرینی ارزیابی شد. نکته مهم دیگر در مورد داده‌های ورودی این است که اگرچه همه تمرینی‌ها وارد مدل رگرسیون چندگانه شدند، پس از مقایسه بین نتایج در موقعیت‌های مختلف و با توجه به همبستگی‌های برآورد شده برای همه تمرینی‌ها در قطارهای مسافری/باری و قطار رفت‌وآمد، مدل‌سازی چند رگرسیونی نهایی انجام شد. با استفاده از داده های تمرینی قوی و ثابت، ورود داده انجام می شود.

جدول ۲. ویژگی های داده های مورد استفاده.

نقش در مدل	رزولوشن زمانی	منبع داد	داده
تست	روزانه	IRSDI	متوسط زمان رفت (دقیقه)
			تعداد قطارهای رفت
			متوسط زمان برگشت (دقیقه)
			تعداد قطارهای برگشت
تمرین		IRSDI	متوسط سرعت قطار
			سوانح
		داده‌های نقطه‌ای GPS	مقادیر مثبت و منفی شیب
			قوس بلاک
		IRSDI	طول بلاک
		IRSDI	گذرگاه
		IRSDI	تونل
		IRSDI	ترانشه
		IRSDI	پل

روش‌شناسی

پس از تعمیم و تهیه تست و داده‌های تمرینی برای سه راه‌آهن انتخابی، اطلاعات میانگین ظرفیت، داده‌های پیکربندی زیرساخت و ویژگی‌های مکانی برای همه بلوک‌ها آماده شد.

از جمله تمهیدات انجام شده بر روی داده‌ها: ۱- تبدیل نقاط برداشت شده با گیرنده GPS به اطلاعات شیب، طول و انحنای بلوک‌ها ۲- جداسازی و خلاصه سازی داده‌های زیرساخت (شیب، طول، اختلاف ارتفاع) و انحنای بلوک‌ها، تعداد تقاطع‌ها در هر بلوک و سرعت مجاز قطار در هر بلوک) و سوابق موثر بر ظرفیت راه آهن (برنامه روزانه قطار) را نام برد. عملیات آماده‌سازی داده‌ها برای ورود به سیستم اطلاعات جغرافیایی برای هر یک از راه‌آهن‌های منتخب به طور جداگانه انجام شد. امروزه فناوری GIS در سراسر جهان پذیرفته شده و در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Bolouri et al., ۲۰۱۸; ۲۰۲۰).

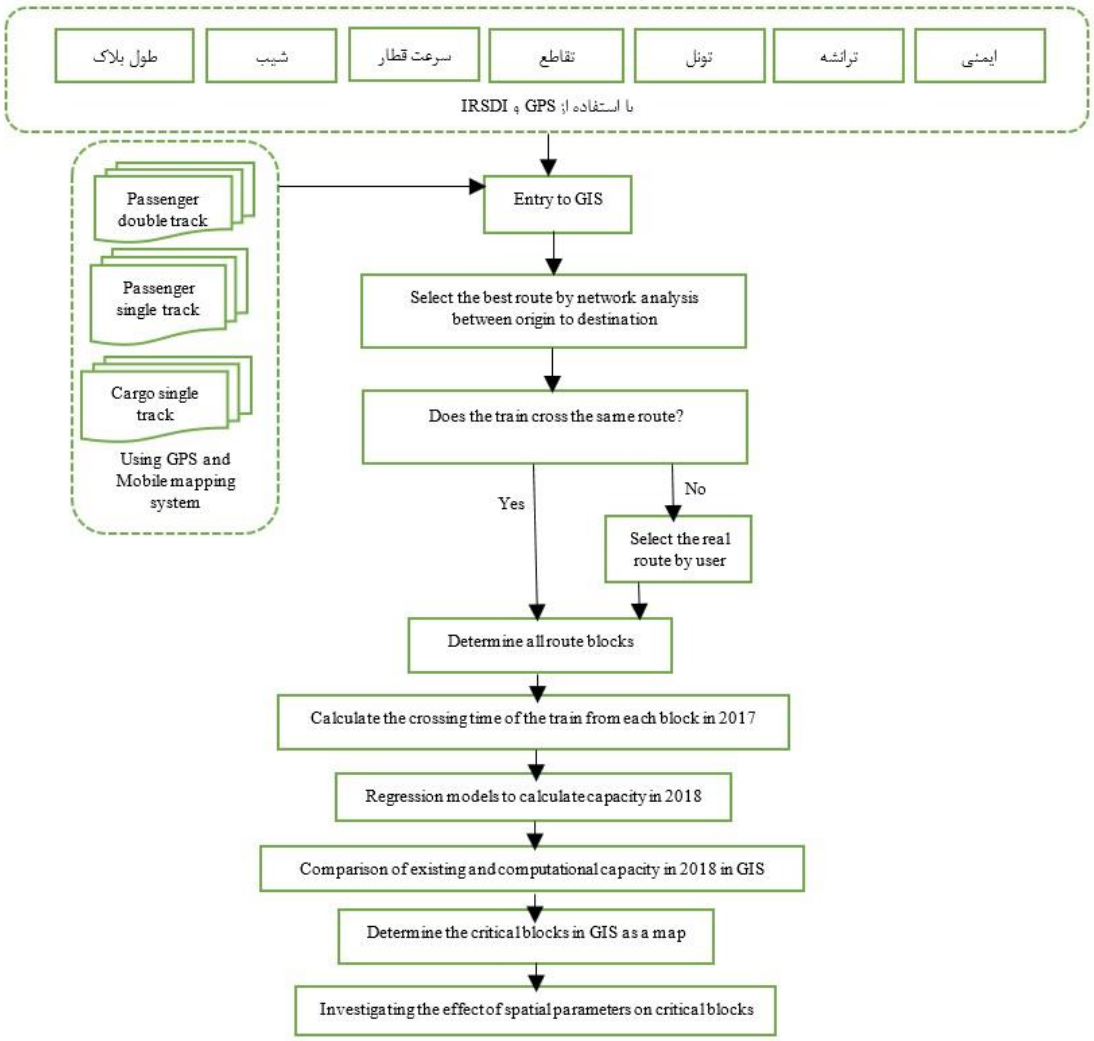
در مرحله دوم داده‌ها جداگانه وارد فرآیند مدل‌سازی شدند. از تحلیل شبکه برای محاسبه کوتاه ترین مسیر بین دو ایستگاه مبدا و مقصد استفاده می شود. در صورت انتخاب مسیر عملیاتی مرحله بعدی و در غیر این صورت، مسیر عملیاتی انتخاب شده و سپس اجرا می‌شود. سپس میانگین زمان عبور هر قطار در هر بلوک برای داده‌های سال ۲۰۱۷ محاسبه و مدل‌سازی می‌شود. مدل ایجاد شده برای محاسبه ظرفیت هر قطار در سال ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این مطالعه، از یک الگوریتم رگرسیون خطی چند متغیره برای مدل‌سازی عوامل معنی‌دار (متغیرهای تمرینی) بر روی مقدار ظرفیت راه‌آهن (متغیر تست) در سه مسیر منتخب استفاده شده است. مسیرها با برنامه نویسی در محیط پایتون در GIS نمایه شده است. هدف اولیه از اجرای این روش‌ها ساخت مدل‌هایی برای اندازه‌گیری رابطه بین عوامل موثر بر ظرفیت بهینه راه آهن و ظرفیت ثبت شده مسیرهای راه آهن انتخابی است.

بنابراین از داده های ظرفیت روزانه و زمان ثبت شده در سال ۱۳۹۶ و ورودی‌های تهیه شده بر این اساس برای تشکیل مدل استفاده می‌شود و بدین وسیله خروجی‌ها، مدل ظرفیت بهینه روزانه سال ۲۰۱۸ را تعیین می‌کنند. لازم به ذکر است که از ظرفیت موجود سال ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی استفاده می‌شود. پیش بینی های به دست آمده از مدل‌ها، مدل‌سازی ظرفیت براساس اجرای الگوریتم رگرسیون، یادگیری ماشین برای هر یک از متغیرهای میانگین زمان عبور روزانه در هر بلوک، تعداد قطارهای عبوری از هر بلوک به طور جداگانه برای قطارهای مسافری، باری و رفت و برگشت انجام شده است. مسیرهای راه آهن انتخاب و خروجی‌های مدل به GIS وارد شد و نتایج با جداول ظرفیت موجود مقایسه خواهد می‌شود. خروجی‌های GIS به عنوان جدول ظرفیت و محل بلوک‌های بحرانی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین برای هر مسیر ۸ مدل و در مجموع ۲۴ مدل برای تمامی مسیرهای در نظر گرفته شد و برای این مطالعه پیاده سازی گردید. سپس از مدل‌های تعیین ظرفیت بر اساس داده‌های سال ۲۰۱۷ برای پیش‌بینی ظرفیت‌های ثبت‌شده در سال ۲۰۱۸ جهت ارزیابی قابلیت مدل‌سازی استفاده شد. پس از به دست آوردن دقت مورد انتظار خروجی‌های پیش بینی شده مدل (مقادیر ظرفیت مسیرهای راه آهن انتخابی)، تأثیر هر عامل به طور جداگانه برآورد می‌شود. لازم به ذکر است که ظرفیت شبکه ریلی از طریق فرمول ۱ محاسبه می شود. جدول ۳ مراحل کلی تحقیق را نشان می‌دهد.

$$(۱): N = \frac{۱٤٤۰-٦۰*n}{T+t} - \varepsilon(N_p + N_d)$$

در این رابطه، N تعداد قطارهای باری زوجی است که در یک روز از بلوک بحرانی عبور می‌کنند. عدد ۱۴۴۰ نشان دهنده تعداد دقیقه در روز است. همچنین n تعداد ساعاتی است که خط برای استفاده در عملیات تعمیر و نگهداری و سایر عملیات پشتیبانی مورد نیاز مسدود شده است. اگر بازده ۷۵٪ در نظر گرفته شود، n = ٦ به دست می‌آید. T نشان دهنده زمان سفر (دقیقه) رفت و برگشت بین دو ایستگاه و t زمان مورد نیاز (دقیقه) است که قطار در ایستگاه برای انجام عملیاتی مانند تعویض واگن، لوکوموتیو، خدمه قطار و سبقت گرفتن می‌گذراند. € ضریب بیشتر از واحد است که به آن ضریب تعدیل قطارهای مسافری می گویند. استفاده از این ضریب به این دلیل است که سفر قطارهای مسافربری (با بیشترین اولویت) نظم قطارها را مختل کرده و ظرفیت را کاهش می دهد. مقدار ضریب تعدیل برای خطوط راه آهن برابر با ۱.۵ در نظر گرفته شده است. در این مطالعه، € نسبت میانگین تعداد قطارهای مسافری به حداکثر تعداد آنها در نظر گرفته شده است. N_p تعداد قطارهای مسافربری و N_d تعداد قطارهای فعال در خط را نشان می‌دهد. طبق این فرمول، هرچه سرعت قطار بیشتر باشد، زمان سفر بین دو ایستگاه کوتاهتر و سپس ظرفیت (تعداد جفت قطارهایی که در یک روز می توانند عبور کنند) بیشتر می شود.

مؤلفه‌های اصلی این مطالعه ورودی‌ها، مدل‌سازی، اعتبارسنجی و خروجی‌ها بودند. ورودی‌ها شامل داده‌های تهیه‌شده از تأسیسات و زیرساخت‌های راه‌آهن انتخابی بود که عمدتاً در محیط GIS پیش پردازش شده بودند. مؤلفه مدل‌سازی شامل یک الگوریتم رگرسیون برای مدل‌سازی و ارزیابی درجه اثربخشی خاص پارامترهای مورد سؤال بر ظرفیت بود. مؤلفه اعتبارسنجی برای برخی از مقادیر ظرفیت استفاده نشده، به منظور ارزیابی دقت مدل توسعه‌یافته به کار رفته است. مولفه خروجی بر اساس نتایج معتبر مدل بود.



شکل ۴: فلوچارت مراحل کلی تحقیق.

بحث

رگرسیون خطی چند متغیره

رگرسیون خطی روشی مناسب برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌ها است. در این روش رابطه خطی بین متغیرهای مستقل x_1، x_2 و .... x_n و متغیر Y به صورت زیر است:

$$(۲) \boldsymbol{Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots .. + a_n x_n + e}$$

جایی که $\boldsymbol{a_0}$ عرض مبدا و $\boldsymbol{a_1}$ تا $\boldsymbol{a_n}$ ضرایب رگرسیون خطی است (Balan et al. ۱۹۹۵) و e مقدار خطای برازش است. در این مدلسازی منظور از متغیرهای مستقل پارامترهای ورودی مدل مانند زمان سفر، زمان انسداد بلوک، تعداد قطار و غیره است. معنای متغیر تست همان ظرفیت مسیر است.

داده‌ها از منابع مختلفی مانند پایگاه داده SDI راه آهن جمهوری اسلامی ایران، GPS و سیستم‌های نقشه برداری سیار تهیه شده است. داده‌ها با فرمت مناسب

وارد محیط GIS شدند. این داده‌ها شامل شبکه ریلی در محورهای مذکور شامل مسیر سمنان-شاهرود با تردد قطارهای مسافری زیاد، مسیر یزد- بافق با تردد قطارهای پربار و مسیر اراک- دورود با بار بالا و تردد قطارهای مسافری و موقعیت بلوک‌ها می باشد. سایر پارامترهای فضایی از جمله قوس، پل، تونل و ... اطلاعات توصیفی این مسیرها شامل تعداد قطارهای عبوری، ظرفیت هر بلوک و ... با توجه به قابلیت هایی که در محیط GIS وجود دارد، از طریق تحلیل شبکه می باشد. کوتاه‌ترین مسیر برای سه مسیر انتخابی به دست آمد، نتایج آن متناسب با مسیر واقعی قطار عبوری از محورها بوده است. زمان عبور هر قطار از هر بلوک برای سال ۱۳۹۶ محاسبه شد و بنابراین ظرفیت نیز محاسبه گردید. با استفاده از پایتون در GIS، مدل‌سازی برای محاسبه ظرفیت با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره با کمک داده‌های سال ۲۰۱۷ برای داده‌های ۲۰۱۸ انجام شد. پارامترهای مورد استفاده برای سه محور انتخاب شده در جدول ۴ نشان داده شده است. جدول ۵ نتایج ظرفیت پیش بینی شده را برای سه مسیر انتخاب شده و بلوک‌های بحرانی که با رنگ زرد مشخص شده اند نشان می‌دهد (این بلوک‌ها کمترین ظرفیت را دارند). با مقایسه ظرفیت موجود و بهینه، میزان خطای RMSE، MAE و R^2 به دست آمد. جدول ۶ نتایج اندازه‌گیری دقت را بر اساس نوع قطار و مسیر نشان می‌دهد. معیارهای آماری R^2 برای تعیین همبستگی بین مقادیر واقعی و تخمینی و RMSE و MAE برای تعیین مقادیر خطای برآورد شده استفاده شد. رابطه آنها به شرح زیر است:

$$(۳)\ R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(X_i - X)*(Y_i - Y)\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{n}(X_i - X)^2 * (Y_i - Y)^2\right)}$$

$$(٤)\ RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$(٥)\ MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i|}{n}$$

در این رابطه X_i و Y_i داده های واقعی و تخمینی، X و Y میانگین داده‌های واقعی و تخمینی و n تعداد نمونه‌های ارزیابی هستند. مقادیر بالای R^2 و مقادیر کم RMSE و MAE نشان دهنده مناسب بودن روش مورد استفاده است.

جدول۳: پارامترهای محاسبه ظرفیت مسیرها.

Daily passenger couple train	Blocked time	Average return time	Average went time	Sum of cargo went time	ع	Block length	Block name	
٦	١٨٠	٢٢,٢	٢١,٤	٤٣,٦	٠,٦٣	١٥	Yazd-Yazdgerd	Yazd-Bafgh
٦	١٨٠	١٧,٤	١٧,٦	٣٥	٠,٦٣	١٤	Yazdgerd-Rakhsh	
٦	١٨٠	٢٤,٥	٣٠,٥	٥٥	٠,٦٣	١٩	Rakhsh-Chah Khavar	
٦	١٨٠	٣١	٢١,٤	٥٢,٤	٠,٦٣	١٨	Chah Khavar-Tabar Kuh	
٦	١٨٠	٣١,٤	٢١,١.	٥٢,٥	٠,٦٣	١٦	Tabar Kuh-Mehrdad	
٦	١٨٠	٣٤,٢	٢١,٦	٥٥,٧	٠,٦٣	١٨	Mehrdad-Bahrame Gour	
٦	١٨٠	٢٥,٣	٢٥,٥	٥٠,٨	٠,٦٣	١٧	Bahrame Gour-Bafgh	
٤,٨	٢٤٠	٢٣,١	٢٨,٧	٥١,٨	٠,٦١	١٧	Arak-Samangan	Arak-Doroud
٣,٨	٢٤٠	٢٣	٢٢,١	٤٥,١	٠,٦١	١٧	Samangan-Shazand	
٣,٨	٢٤٠	٢٤,٨	٣٨,٢	٦٣	٠,٦١	١٨	Shazand-Nourabad	
٣,٨	٢٤٠	٢٥,٧	٢٣,٤	٤٩,١	٠,٦١	١٧	Nourabad-Somaye	
٣,٨	٢٤٠	٢١,٩	١٨,٥	٤٠,٤	٠,٦١	١٣	Somaye-Mamoon	
٣,٨	٢٤٠	٢٠,٩	٢١,٣	٤٢,٢	٠,٦١	١٧	Mamoon-Azna	
٣,٨	٢٤٠	٢٨,٧	٢٦,٨	٥٥,٥	٠,٦١	٢١	Azna-Darband	
٣,٨	٢٤٠	٢١,٤	١٨,٩	٤٠,٣	٠,٦١	١٥	Darband-Roodak	
٣,٨	٢٤٠	١٨,٨	١٧,٢	٣٥,٩	٠,٦١	١٢	Roodak-Doroud	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٣١	٣١	٠,٦١	١٨	Semnan-Miyandare	Semnan-Shahroud
٣٤,٧	١٨٠	٠	٢٩	٢٩	٠,٦١	١٦	Miyandare-Abgarm	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٢٤	٢٤	٠,٦١	١٤	Abgarm-Gerdab	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٣٤,٣	٣٤,٣	٠,٦١	٢١	Gerdab-Haftkhan	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٢٠	٢٠	٠,٦١	١٣	Haftkhan-Larestan	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٣١	٣١	٠,٦١	٢٣	Larestan-Amrvan	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٢٢	٢٢	٠,٦١	١٦	Amrvan-Sorkhdeh	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٢٢	٢٢	٠,٦١	١٥	Sorkhdeh-Damqan	
٣٤,٧	١٨٠	٠	٣٠	٣٠	٠,٦١	٢٢	Damqan-Zarin	

	Zarrin-Kalatkhan	۲٤	۰,٦۱	۳۱	۳۱	۰	۱۸۰	۳٤,۷
	Kalathkan-Shahroud	۱۹	۰,٦۱	۳۱	۳۱	۰	۱۸۰	۳٤,۷
Semnan-Shahroud	Semnan-Miyandare	۱۸	۰,٥	۲۹	۰	۲۹	۱۸۰	۳٤,۷
	Miyandare-Abgarm	۱٦	۰,٥	۲۳	۰	۲۳	۱۸۰	۳٤,۷
	Abgarm-Gerdab	۱٤	۰,٥	۲۰	۰	۲۰	۱۸۰	۳٤,۷
	Gerdab-Haftkhan	۲۱	۰,٥	۳۲,۱	۰	۳۲,۱	۱۸۰	۳٤,۷
	Haftkhan-Larestan	۱۳	۰,٥	۲۲	۰	۲۲	۱۸۰	۳٤,۷
	Larestan-Amrvan	۲۳	۰,٥	۳۸,٦	۰	۳۸,٦	۱۸۰	۳٤,۷
	Amrvan-Sorkhdeh	۱٦	۰,٥	۲۳	۰	۲۳	۱۸۰	۳٤,۷
	Sorkhdeh-Damqan	۱٥	۰,٥	۲۱	۰	۲۱	۱۸۰	۳٤,۷
	Damqan-Zarin	۲۲	۰,٥	۳۰	۰	۳۰	۱۸۰	۳٤,۷
	Zarrin-Kalatkhan	۲٤	۰,٥	۲۹	۰	۲۹	۱۸۰	۳٤,۷
	Kalathkan-Shahroud	۱۹	۰,٥	۲۷	۰	۲۷	۱۸۰	۳٤,۷

جدول ۴: محاسبه ظرفیت در GIS و بلوک های بحرانی به رنگ زرد.

نام بلاک	ظرفیت به زوج قطار (باری و مسافری)	ظرفیت به زوج قطار باری (بلاک)	ظرفیت به زوج قطار باری (مسیر)
یزد_یزدگرد	۲۸	۱۹.۹	۱۳.۶
یزدگرد_رخش	۳۶	۲۷.۰	
رخش_چاه خاور	۲۲	۱۳.۹	
چاه خاور_تبرکوه	۲۴	۱۵.۱	
تبرکوه_مهرداد	۲۴	۱۵.۰	
مهرداد_بهرام گور	۲۲	۱۳.۶	
بهرام گور_بافق	۲۴	۱۵.۸	
اراک_سمنگان	۲۳	۱۵.۴	
سمنگان_شازند	۲۶	۲۰.۳	
شازند_نوراباد	۱۹	۱۲.۷	۱۲.۷
نوراباد_سمیه	۲۴	۱۸.۱	
سمیه_مامون	۲۹	۲۳.۴	
مامون_ازنا	۲۸	۲۲.۱	

ازنا_دربند	۲۱	۱۵.۱	
دربند_رودک	۲۹	۲۳.۵	
رودک_دورود	۳۳	۲۷.۲	
سمنان_میاندره	۵۲	۷.۷	
میاندره_ابگرم	۵۶	۱۱.۳	
ابگرم_گرداب	۶۸	۲۳.۲	
گرداب_هفتخوان	۴۷	۲.۶	۲.۶
هفتخوان_لارستان	۸۲	۳۷.۰	
لارستان_امروان	۵۲	۷.۷	
امروان_سرخده	۷۴	۲۹.۳	
سرخده_دامغان	۷۴	۲۹.۲	
دامغان_زرین	۵۴	۹.۳	
زرین_کلاتخوان	۵۲	۷.۸	
کلاتخوان_شاهرود	۵۲	۷.۸	
سمنان_میاندره	۵۶	۱۷.۰	
میاندره_ابگرم	۷۱	۳۱.۷	
ابگرم_گرداب	۸۱	۴۲.۲	
گرداب_هفتخوان	۵۱	۱۱.۶	
هفتخوان_لارستان	۷۴	۳۴.۹	
لارستان_امروان	۴۲	۲.۸۸	۲.۹
امروان_سرخده	۷۱	۳۱.۸	
سرخده_دامغان	۷۷	۳۸.۴	
دامغان_زرین	۵۴	۱۵.۰	
زرین_کلاتخوان	۵۶	۱۶.۹	
کلاتخوان_شاهرود	۶۰	۲۱.۱	

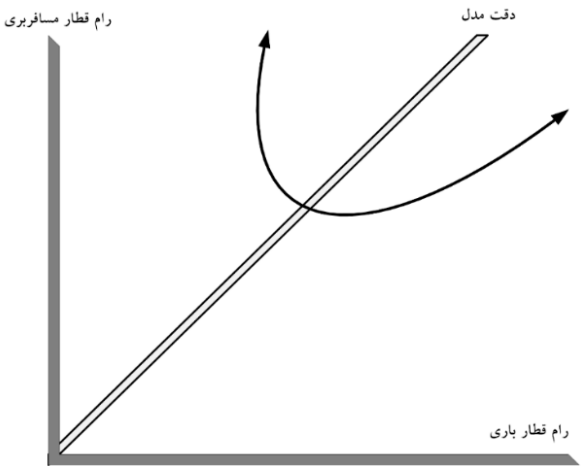
جدول ۵: نتایج دقت مدل سازی ظرفیت در سه مسیر راه آهن منتخب برای سال ۲۰۱۸.

			MAE		R^2		RMSE	
مسیر	**نوع قطار**	**جهت مسیر**	Passing time	Train counts	Passing time	Train counts	Passing time (min)	Train counts
اراک-دورود	مسافری	رفت	۲,۲	۰,٦٤	۰,٤٤	۰,۸۷	۲,۸	۰,۸٥
		برگشت	۱,۳	۰,۷٤	۰,۷٦	۰,۸٤	۱,٦۷	۰,۹٤
	باری	رفت	۰,۸	۰,۹۱	۰,۹۷	۰,۹۳	۱,۰	۱,۱
		برگشت	۱,۱۷	۰,۸٦	۰,۸۹	۰,۹٤	۱,٤۷	۱,۰۳
سمنان-شاهرود	مسافری	رفت	۰,٥۱	۰,٦۷	۰,۹٥	۰,۹۱	۰,۷۱	۰,۷۹
		برگشت	۰,٤۸	۰,٦۷	۰,۹٦	۰,۸۹	۰,٦٥	۰,۷۸
	باری	رفت	۰,۸۰	۰,٦۸	۰,۹۷	۰,٦۹	۰,۸٤	۰,۸۱
		برگشت	۰,٦۹	۰,٥٦	۰,۹۷	۰. ٦٤	۰,۸۱	۰,٦۷
یزد-بافق	مسافری	رفت	۰,٥۱	۰,٥۷	۰,۹۰	۰,٦۳	۰,٦٥	۰,٦۹
		برگشت	۰,٥٥	۰,٤٦	۰,۹۱	۰,٤٥	۰,۷۰	۰,٥۸
	باری	رفت	۰,۳٦	۰,٦٥	۰,۹۷	۰,۸۷	۰,٤٥	۰,۷٦

۰,۷۹	۰,۶۹	۰,۸۷	۰,۹۸	۰,۶۷	۰,۳۷	برگشت	

در مسیر ترکیبی اراک-دورود که سهم قطارهای مسافری و باری به طور کلی به یکدیگر نزدیک است، دقت بالاتری برای قطارهای باری برآورد شده است که می‌تواند ناشی از دامنه تغییرات سرعت کمتر این قطارها باشد. در مسیر سمنان-شاهرود که سهم قطارهای مسافری بیش از قطارهای باری است، دقت برآورد شده برای قطارهای مسافری به میزان قابل توجهی بیشتر است که شاید به دلیل اختصاص سهم بیشتر از این مسیر به این نوع قطارها باشد. در مقابل در جاده یزد-بافق، راه آهن عمدتاً به قطارهای باری اختصاص دارد و دقت پیش‌بینی ظرفیت این نوع قطارها بیشتر از دقت قطارهای مسافری محاسبه می شود.

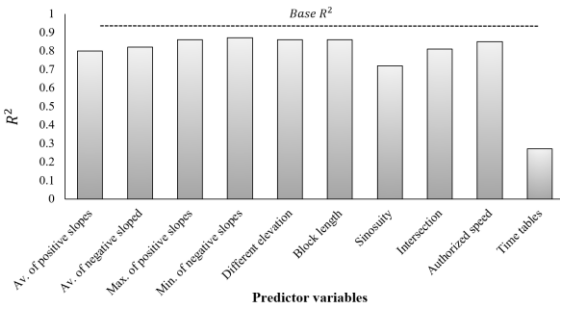
با مقایسه دقت تخمین زده شده برای سه مسیر انتخاب شده می‌توان دریافت که به طور کلی دقت مدل‌های قطار باری بیشتر از قطارهای مسافری است. که به دلیل تفاوت در دامنه تغییرات سرعت و حداکثر سرعت مجاز برای این دو نوع قطار است. معمولا حداکثر سرعت مجاز قطارهای باری در تمامی بلوک ها و مسیرها یکسان و حدود ۵۵ کیلومتر بر ساعت است اما حداکثر سرعت مجاز قطارهای مسافری بسته به بلوک و مسیر متفاوت است. دقت مدلسازی با نوع مسیر (مسافری، باری و ترکیبی) ارتباط مستقیم دارد. بنابراین در مسیر مسافری سمنان-شاهرود مدل‌سازی ظرفیت قطارهای مسافری دقت بیشتری داشته است. در حالی که در مسیر یزد-بافق برآورد ظرفیت قطارهای باری با دقت بالاتری نسبت به برآورد ظرفیت قطارهای مسافری همراه بوده است. قطارهای مسافربری شکل ۵ رابطه مفهومی بین سهم قطار (مسافری و باری) در ریل و دقت مدل‌سازی ظرفیت برای این مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵: رابطه مفهومی بین سهم قطار (مسافری و باری) در مسیر ریلی و دقت مدلسازی ظرفیت.

با توجه به نقش ورودی‌ها که عمدتاً به دو دسته ورودی‌های دینامیک (برنامه روزانه قطار) و ورودی‌های استاتیک (ورودی‌های شیب، ارتفاع، انحنا و طول بلوک، تعداد تقاطع‌ها و سرعت مجاز در هر بلوک) طبقه‌بندی می‌شوند، برآورد تأثیر آنها بر مدل سازی ظرفیت ضروری است. بنابراین ارزیابی اهمیت هر یک از ورودی‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی ظرفیت با حذف گام به گام هر یک از متغیرهای پیش بینی‌کننده برآورد ظرفیت براساس ورودی‌های باقی مانده و سپس اعتبارسنجی مقادیر ظرفیت پیش‌بینی شده برای همه بلوک‌ها اجرا می‌شوند. بدیهی است حذف ورودی موثرتر باعث کاهش بیشتر دقت ظرفیت های پیش‌بینی شده خواهد شد. شکل ۵ نتایج تحلیل حساسیت لایه‌های ورودی را به منظور تخمین ظرفیت نشان می‌دهد.

متغیر جداول زمانی با اختلاف زیاد، مهمترین و تأثیرگذارترین متغیر در فرآیند مدل‌سازی ظرفیت در نظر گرفته شد. به طوری که R^2 حاصل از دقت ظرفیت‌های برآورد شده بدون در نظر گرفتن برنامه‌های سفر قطار در حدود ۰.۱۹ بود. در همان زمان، مقدار R^2 مقدار ۰.۹۳ را در موردی که همه ورودی ها استفاده می‌شود نشان می‌دهد. دلیل اهمیت جدول زمانی که منعکس کننده تنوع و پویایی است این بوده که توسط مدیران و برنامه‌ریزان راه آهن برای استفاده بهینه از پتانسیل شبکه ریلی تدوین و اجرا می‌شود. با این حال به دلیل حوادث غیرمترقبه و تاخیر در سفرهای قطار که اجتناب ناپذیر است همیشه بین ظرفیت بالقوه و برنامه طراحی شده برای دستیابی به این ظرفیت فاصله وجود دارد. در میان داده‌های استاتیک متغیر انحنای بلوک نقش گسترده‌تری در تعیین ظرفیت دارد. بنابراین توجه به آستانه‌های انحنای مناسب در طراحی راه آهن می‌تواند نقش کاهنده این متغیر را در ظرفیت شبکه ریلی کاهش دهد.



شکل ۶: نتایج تحلیل حساسیت اهمیت داده‌های ورودی در مدل‌سازی ظرفیت مسیرهای ریلی انتخابی.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با تعیین ظرفیت شبکه ریلی ایران در سه مسیر منتخب که دارای تردد مسافر و بار هستند، تأثیر پارامترهای مکانی را بر ظرفیت شبکه ریلی نشان می‌دهد. بدین منظور از قابلیت های GIS برای ارزیابی وضعیت ظرفیت موجود، استفاده شده، باقیمانده و گلوگاه و استفاده بهینه از ظرفیت موجود استفاده شد. داده‌های موجود برای شبکه ریلی سه مسیر منتخب شامل مسیر مسافری دو خطه سمنان-شاهرود، مسیر باری تک خطی یزد- بافق و مسیر ترکیبی تک خطی اراک- دورود از طریق وب سرویس راه آهن ایران استخراج شد. پس از آماده‌سازی وارد محیط GIS شدند. پس از تعیین کوتاه‌ترین مسیر برای شبکه‌های منتخب، از طریق مدل‌سازی رگرسیون خطی چند متغیره برای داده‌های سال ۲۰۱۷، نتایج سال ۲۰۱۸ محاسبه و با نتایج ظرفیت موجود مقایسه شد.

براساس تحلیل انجام شده ظرفیت در مسیرهای منتخب مسافری (سمنان- شاهرود)، باری تک بانده (یزد- بافق) و مسیر ترکیبی تک مسیر (اراک- دورود)، ۲.۶ و ۲.۹ محاسبه شد. همچنین میزان بهره برداری از ظرفیت مسیرهای بار انتخابی ۸۲ درصد، مسافر (۵۶ درصد رفت و ۶۲ درصد برگشت) و ۷۹ درصد ترکیبی بوده است. با توجه به مقایسه نتایج با داده‌های روزانه عملکرد قطار باری، میزان ظرفیت باقیمانده در مسیر اراک - دورود ۲۱ درصد، در مسیر یزد - بافق ۱۸ درصد، در مسیر سمنان - شاهرود ۴۴ درصد است. در روش دستی علاوه بر مشکل زمانبر محاسبه ظرفیت، در

صورت نیاز به تغییر اطلاعات اولیه، نیروی انسانی باید تمامی مراحل را بررسی کند. در برخی موارد حتی خطای نیروی انسانی وارد محاسبات شده که باعث نتایج نادرست می‌شود. با روش مکانیزه محاسبه ظرفیت در هر بلوک، بر روی نقشه شبکه ریلی ایران، امکان محاسبه، و نمایش ظرفیت عملیاتی با استفاده از اتصال به بانک اطلاعاتی راه آهن GIS وجود دارد.

پس از تعیین ظرفیت شبکه ریلی در سه مسیر مذکور و مقایسه نتایج با داده‌های ظرفیت سال ۲۰۱۸، بررسی‌ها نشان داده که مدل‌سازی دارای دقت خوب و مقادیر بالای R^2 بوده و عمچنین مقدار RMSE و MAE پایین بوده است. پس از آن دقت بلوک‌های بحرانی تعیین شدند. تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مکانی استاتیک و پارامتر زمان دینامیکی انجام و نتایج نشان داد که پس از پارامتر زمانی، پارامترهای مکانی و مهمترین پارامتر مکانی، انحنای مسیر، می‌توانند نقش اساسی در افزایش ظرفیت شبکه ریلی داشته باشند. به جای صرف زمان و هزینه زیاد برای احداث خطوط جدید می‌توان با تبدیل تقاطع همسطح به تقاطع غیر همسطح گلوگاه های ظرفیت را تغییر داد و ظرفیت را در شبکه افزایش داد و یک گونه برای تبدیل قوس‌ها به تقاطع غیر همسطح ایجاد کرد. پیشنهاد می‌شود که سایر محققین نقش تبدیل تقاطع همسطح به تقاطع غیر همسطح و همچنین پارامتر اساسی اثر شیب مثبت بین پارامترهای فضایی را برای افزایش ظرفیت شبکه ریلی بررسی کنند. آنها همچنین می‌توانند از الگوریتم های شبکه عصبی برای ارزیابی و پیش بینی ظرفیت استفاده کنند.

منابع

-Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M. A., Tormos, P., & Lova, A. (۲۰۰۸). An assessment of railway capacity. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ٤٤(٥), ٧٧٤-٨٠٦.

-Armstrong, J., & Preston, J. (۲۰۱۷). Capacity utilisation and performance at railway stations. Journal of rail transport planning & management, ٧(٣), ١٨٧-٢٠٥.

-Balan, B., Mohaghegh, S., & Ameri, S. (١٩٩٥, September). State-of-the-art in permeability determination from well log data: Part ١-A comparative study, model development. In SPE Eastern Regional Meeting (pp. SPE-٣٠٩٧٨). SPE.

-Blainey, S. P., & Preston, J. M. (۲۰۱۳). A GIS-based appraisal framework for new local railway stations and services. Transport Policy, ٢٥, ٤١-٥١.

-Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A. A., & Aghamohammadi, H. (۲۰۱۸). The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. ISPRS International Journal of Geo-Information, ٧(٢), ٤٤.

-Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A., & Aghamohammadi, H. (۲۰۲۰). Minimizing response time to accidents in big cities: a two ranked level model for allocating fire stations. Arabian Journal of Geosciences, ١٣(١٦), ٧٥٨.

-Burdett, R. L. (۲۰۱٦). Optimisation models for expanding a railway's theoretical capacity. European Journal of Operational Research, ٢٥١(٣), ٧٨٣-٧٩٧.

rail transport planning & management, ۳(۳), ۷۸-۹٤.

-Harrod, S. (۲۰۰۹). Capacity factors of a mixed speed railway network. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ٤٥(٥), ۸۳۰-۸٤۱.

-Jamili, A. (۲۰۱۸). Computation of practical capacity in single-track railway lines based on computing the minimum buffer times. Journal of Rail Transport Planning & Management, ۸(۲), ۹۱-۱۰۲.

-Jensen, L. W., Landex, A., Nielsen, O. A., Kroon, L. G., & Schmidt, M. (۲۰۱۷). Strategic assessment of capacity consumption in railway networks: Framework and model. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, ۷٤, ۱۲٦-۱٤۹.

-Kaleybar, H. J., Kojabadi, H. M., Fazel, S. S., & Foiadelli, F. (۲۰۱۸). An intelligent control method for capacity reduction of power flow controller in electrical railway grids. Electric Power Systems Research, ۱٦٥, ۱٥۷-۱٦٦.

-Kotavaara, O., Antikainen, H., & Rusanen, J. (۲۰۱۱). Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland ۱۹۷۰–۲۰۰۷. Journal of Transport Geography, ۱۹(٤), ۹۲٦-۹۳٥.

-Landex, A. (۲۰۰۷, December). Capacity statement for railways. In Selected Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University (Vol. ۲, No. ۱).

-Landex, A., Kaas, A. H., Schittenhelm, B., & Schneider-Tilli, J. (۲۰۰٦). Practical use of the UIC ٤۰٦ capacity leaflet by including timetable tools in the investigations. WIT Transactions on the Built Environment, ۸۸.

-Burdett, R. L., & Kozan, E. (۲۰۰٦). Techniques for absolute capacity determination in railways. Transportation Research Part B: Methodological, ٤۰(۸), ٦۱٦-٦۳۲.

-Do, W., Rouhani, O. M., Geddes, R. R., & Beheshtian, A. (۲۰۲۱). Social impact analysis of various road capacity expansion options: a case of managed highway lanes. Journal of transportation engineering, Part A: Systems, ۱٤۷(۷), ۰٤۰۲۱۰۳۳.

-Dicembre, A., & Ricci, S. (۲۰۱۱). Railway traffic on high density urban corridors: capacity, signalling and timetable. Journal of Rail Transport Planning & Management, ۱(۲), ٥۹-٦۸.

-El-Bakry, H. M., & Awad, W. A. (۲۰۱۰, November). Geographic information system for railway management. In Proceedings of the ۳rd WSEAS international conference on Visualization, imaging and simulation (pp. ۱٤۹-۱٦۳).

-Farooq, A., Xie, M., Stoilova, S., Ahmad, F., Guo, M., Williams, E. J., ... & Mahamat Issa, A. (۲۰۱۸). Transportation planning through GIS and multicriteria analysis: Case study of Beijing and XiongAn. Journal of Advanced Transportation, ۲۰۱۸.

-Feng, T., Lusby, R. M., Zhang, Y., Peng, Q., Shang, P., & Tao, S. (۲۰۲۳). An ADMM-based dual decomposition mechanism for integrating crew scheduling and rostering in an urban rail transit line. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, ۱٤۹, ۱۰٤۰۸۱.

-Goverde, R. M., Corman, F., & D'Ariano, A. (۲۰۱۳). Railway line capacity consumption of different railway signalling systems under scheduled and disturbed conditions. Journal of

-Landex, A., Schittenhelm, B., Kaas, A. H., & Schneider-Tilli, J. (۲۰۰۸, August). Capacity measurement with the UIC ٤٠٦ capacity method. In Proceedings of the ١١th International Conference on Computers in Railways (p. ٥٥).

-Li, F., Gao, Z., Wang, D. Z., Liu, R., Tang, T., Wu, J., & Yang, L. (۲۰۱۷). A subjective capacity evaluation model for single-track railway system with δ-balanced traffic and λ-tolerance level. Transportation Research Part B: Methodological, ١٠٥, ٤٣-٦٦.

-Lindfeldt, A. (۲۰۱٥). Railway capacity analysis: Methods for simulation and evaluation of timetables, delays and infrastructure (Doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology).

-Mussone, L., & Calvo, R. W. (۲۰۱۳). An analytical approach to calculate the capacity of a railway system. European Journal of Operational Research, ۲۲۸(١), ١١-٢٣.

-Odolinski, K., & Boysen, H. E. (۲۰۱۹). Railway line capacity utilisation and its impact on maintenance costs. Journal of Rail Transport Planning & Management, ٩, ٢٢-٣٣.

-Riejos, F. A. O., Barrena, E., Ortiz, J. D. C., & Laporte, G. (۲۰۱٦). Analyzing the theoretical capacity of railway networks with a radial-backbone topology. Transportation Research Part A: Policy and Practice, ٨٤, ٨٣-٩٢.

-Sameni, M. K., Landex, A., & Preston, J. (۲۰۱۱). Developing the UIC ٤٠٦ method for capacity analysis. In ٤th international seminar on railway operations research. Italy Rome.

-Sharma, B., Pellegrini, P., Rodriguez, J., & Chaudhary, N. (۲۰۲۳). A review of passenger-oriented railway rescheduling approaches. European Transport Research Review, ١٥(١), ١٤.

-Suyabatmaz, A. Ç., & Şahin, G. (۲۰۱٥). Railway crew capacity planning problem with connectivity of schedules. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ٨٤, ٨٨-١٠٠.

-Yi, S. (۲۰۱۷). Principles of railway location and design. Academic Press.

-Zhao, L., Zhao, Y., Hu, Q., Li, H., & Stoeter, J. (۲۰۱۸). Evaluation of consolidation center cargo capacity and loctions for China railway express. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ١١٧, ٥٨-٨١.

-Zheng, Y., Zhang, X., Bin, X. U., & Linli, W. A. N. G. (۲۰۱۱). Carrying capacity reliability of railway networks. Journal of transportation systems engineering and information technology, ١١(٤), ١٦-٢١.

Investigating the role of spatial parameters in determining the capacity of the railway in GIS (Case Study: Iran)

Bahram Moradi Solooshi[۵], Samira Bolouri[۶], Mohammad Sadegh Zangeneh[۷], Akram Keramat[۸]

Abstract

Railway transport is considered a mature industry in the developed world. Railways in many countries are still struggling to become more commercially efficient and sustainable. This method of transportation is considered safe, efficient and environmentally friendly. By providing reliable and affordable services, this industry causes economic growth and plays an important role in human life. This research, through the linear regression, determines the capacity of the railway in a case study in Iran for the selected routes and pinpoints the critical blocks to discuss the effect of spatial parameters in determining the capacity of the railway network. Through the existing ۲۰۱۷-related data, the capacity forecast of ۲۰۱۸ was done in GIS environment, and then via the RMSE, R^2, and MAE statistical parameters, the accuracy of the capacity forecast for the extant data of ۲۰۱۸ was performed. The results showed that the capacity of utilizing the selected routes was ۸۲٪ for cargo trains, ۵۶٪ for passenger trains on the road, ۶۲٪ on the way back and ۷۹٪ on the combined routes. Also, the accuracy prediction of cargo trains was ۳۵٪ better than that of passenger trains. In the passenger route, the passenger trains were more accurate (approximately ٤٥٪). Similarly, in the cargo route, the capacity of cargo trains was of higher accuracy (nearly ٤٥٪).

Keyword: Railway, Spatial Parameters, GIS.

۵ . Ph.D of Remote Sensing and GIS, Railway of the islamic republic of iran, Iran.
۶ . Ph.D of Remote Sensing and GIS, Railway of the islamic republic of iran, Iran (corresponding author)*.
۷ . Master of Sceince in Remote Sensing and GIS, Dezful branch, Islamic Azad university, Dezful, Iran.
۸ . Department of Rs & Gis, Dezful branch, Islamic Azad university, Dezful, Iran.