



نسخ از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 2, Summer 2021

93-118

Application of GIS in Predicting Rail Network Capacity through Linear Regression

Bahram Moradi Solooshi.¹, Alireza Vafaeinejad.², Hossein Aghamohammadi Zanjirabad.^{3*}, Ali asghar ale sheikh.⁴

1. Ph.D. Candidate, Dep. of GIS/RS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Associate Prof., Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
3. Assistant Prof., Dep. of GIS/RS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
4. Prof. of Dep. of Geospatial Information Systems, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

The rail transport system consists of the interaction of a set of equipment and operations that determine the capability and capacity of a rail system in freight and passenger transport. For this purpose, it is important to calculate the capacity and predict how it will change, and knowing it will be of great help in improving the level of operation of the railway network. There are several methods for calculating capacity that can be used depending on the type of network and how it is used. To calculate the capacity, the capabilities of spatial information systems are used and with the help of a web-based spatial information system, the operational capacity of the rail network is determined in a new way and with more efficiency than conventional methods. For this purpose, a GIS-based environment that is connected to various databases of the Railway Company of the Islamic Republic of Iran, including the travel database, is used and while observing the current capacity of the network, through multivariate linear regression, the capacity of the rail network in It determines the future. The present study, through linear regression, predicts railway capacity in a case study in Iran for the three selected routes and identifies important blocks for investigating the effect of spatial parameters in determining the capacity of the railway network. Slowly Based on the available data of 1996 (extracted from the Railway Spatial Web Service), capacity forecasting was performed in 1997 in the GIS environment. The results showed that the capacity utilization of the selected routes for freight trains was 82%, passenger routes 56%, 62% return and 79% combined routes. Also, the accuracy of model prediction for freight trains is 35% better than passenger trains, which is due to the difference in speed change and maximum speed allowed for these two types of trains, and modeling accuracy is directly related to the type of part. Route (passenger, freight and combined), so in the passenger route, the modeling capacity of passenger trains was approximately 45% more accurate. Similarly, on the freight route, the estimation of the capacity of freight trains was associated with approximately 45% higher accuracy than that of passenger trains.

Keywords: Railway, Network capacity, Linear regression, GIS.

* Correspondence Address: Dep. of GIS/RS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran. Tel: 989126134318

Email: aghamohammadi@srbiau.ac.ir

<https://doi.org/10.52547/gisj.13.2.93>



سجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران | سال سیزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰
Vol.13, No. 2, Summer 2021 | Iranian Remote Sensing & GIS

۹۳-۱۱۸

مقاله پژوهشی

کاربرد GIS در پیش‌بینی ظرفیت شبکه ریلی از طریق رگرسیون خطی

پهرام مرادی سلوشی^۱، علیرضا وفايي نژاد^۲، حسين آقامحمدی زنجیرآباد^{۳*}، علی اصغر آل شیخ^۴

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، گروه سنجش از دور و GIS، تهران، ایران

۲. دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، گروه سنجش از دور و GIS، تهران، ایران

۴. استاد دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶

چکیده

سیستم حمل‌ونقل ریلی از تعامل مجموعه‌ای از تجهیزات و عملیات تشکیل شده است که توانایی و ظرفیت یک سیستم ریلی در حمل‌ونقل بار و مسافر را تعیین می‌کند. بدین‌منظور، محاسبه ظرفیت و پیش‌بینی نحوه تغییرات آن مهم است و شناخت آن کمک شایانی به ارتقای سطح بهره‌برداری شبکه ریلی می‌کند. روش‌های گوناگونی برای محاسبه ظرفیت وجود دارد که با توجه به نوع شبکه و شیوه استفاده از این روش‌ها، می‌توان از آنها بهره گرفت. برای محاسبه ظرفیت، از توانمندی‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی استفاده می‌شود و با کمک یک سیستم اطلاعات مکانی تحت وب، وضعیت ظرفیتی عملیاتی شبکه ریلی به‌صورتی نوین و با کارایی بیشتر از روش‌های متداول تعیین می‌شود. برای این کار، از محیطی GIS مینا استفاده شده که به پایگاه داده‌های گوناگون شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، از جمله پایگاه سیر و حرکت، متصل شده است و ضمن مشاهده وضعیت فعلی ظرفیتی شبکه، از طریق رگرسیون خطی چندمتغیره، ظرفیت شبکه ریلی را در آینده تعیین می‌کند. تحقیق حاضر با استفاده از رگرسیون خطی، ظرفیت راه‌آهن را طی مطالعه‌ای موردی در ایران، برای سه مسیر انتخاب‌شده پیش‌بینی می‌کند و بلاک‌های مهم را برای بررسی تأثیر پارامترهای مکانی در تعیین ظرفیت شبکه راه‌آهن، مشخص می‌کند. با استفاده از داده‌های سال ۹۶ (استخراج‌شده از وب سرویس مکانی راه‌آهن)، پیش‌بینی ظرفیت در سال ۹۷ در محیط GIS انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از ظرفیت مسیرهای انتخابی برای مسیر قطارهای باری ۸۲٪، مسیرهای مسافری ۵۶٪ رفت و ۶۲٪ بازگشت و برای مسیرهای ترکیبی نیز ۷۹٪ بود. همچنین، دقت پیش‌بینی مدل برای قطارهای باری ۳۵٪ بهتر از قطارهای مسافری است که این به‌دلیل تفاوت در تغییر سرعت و حداکثر سرعت مجاز در مورد این دو نوع قطار است. دقت مدل‌سازی با نوع قطعه ارتباط مستقیم دارد؛ بنابراین، در مسیر مسافری، ظرفیت مدل‌سازی قطارهای مسافری تقریباً ۴۵٪ دقیق‌تر بوده است. به همین ترتیب، در مسیر باری، دقت تخمین ظرفیت این قطارها بیشتر از قطارهای مسافری و تقریباً ۴۵٪ بوده است.

کلید واژه‌ها: راه‌آهن، ظرفیت شبکه، رگرسیون خطی، GIS.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، انتهای بزرگراه شهید ستاری، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست. تلفن:

۰۹۱۲۶۱۳۴۳۱۸

۱- مقدمه

حمل و نقل ریلی در مقایسه با دیگر شیوه‌های حمل و نقلی، به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی چون ایمنی بسیار بالا، امکان حمل بار با تناژ بالا در یک مسیر رفت و برگشت، آلودگی کمتر محیط زیست، مقرون به صرفه بودن، مصرف کمتر سوخت و انرژی و استهلاک کمتر آن جایگاه ویژه‌ای در سطح ملی و بین‌المللی دارد. در تدوین برنامه‌های توسعه کشور، همواره بخش ریلی اهمیت خاصی داشته و تصویب قوانین متعدد در حمایت از توسعه حمل و نقل ریلی خود گواه این مدعاست. این سیستم حمل و نقل از تعامل مجموعه‌ای از تجهیزات و عملیات تشکیل شده است که توانایی و ظرفیت^۱ یک سیستم ریلی در حمل و نقل بار و مسافر را تعیین می‌کند؛ به همین علت، تعریف و محاسبه ظرفیت سیستم ریلی همواره از موضوعات مطرح در عرصه حمل و نقل ریلی است.

آنچه به منزله ظرفیت شناخته می‌شود، در اصل، توانایی مسیری در عبور دادن تعداد مشخصی از وسایل حمل و نقل است که در روش‌های متفاوت حمل و نقلی، به گونه‌های متفاوتی محاسبه می‌شود (Landex et al., 2006). ظرفیت شبکه ریلی در حمل بار یا مسافر اهمیت بسیار دارد زیرا تعیین کننده میزان جابه‌جایی بار یا مسافر در خطوط گوناگون است. بنابراین، محاسبه ظرفیت و تحلیل نحوه تغییرات تمامی عوامل مؤثر در آن نیز مهم است و شناخت آنها کمک شایانی به ارتقای سطح بهره‌برداری این شبکه می‌کند. ظرفیت خطوط ریلی موجود باید به دقت محاسبه و بررسی شود و تا حد ممکن از ظرفیت‌های کنونی در یک خط استفاده بهینه شود زیرا ایجاد خطوط ریلی جدید بسیار زمان‌بر است و هزینه زیادی می‌طلبد. ظرفیت شبکه ریلی به پارامترهای مکانی و برنامه‌زمان‌بندی حرکت قطارها وابسته است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۸). در زمینه ظرفیت شبکه ریلی، تا کنون تحقیقاتی انجام شده است. اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن (UIC)، به دلیل الزام

توافق بر سر تعریف ظرفیت راه‌آهن، در سال ۲۰۰۴ جزوه‌ای منتشر کرده است. در این آیین‌نامه به اسم UIC 406 اعلام شده است که ظرفیت نمی‌تواند مفهومی مشخص باشد (Riejos et al., 2016). با وجود این، UIC ظرفیت راه‌آهن را به صورت تعداد کل مسیرهای ممکن در پنجره زمانی از پیش تعیین شده‌ای، با در نظر گرفتن ترکیب واقعی مسیر یا تحولات شناخته شده نشان داد (Landex, 2007; Landex et al., 2008; Sameni et al., 2011).

ظرفیت نقش مهمی در دستیابی به رشد اقتصادی مطلوب در صنعت راه‌آهن دارد و باید به صورت مسئله مهمی در انواع سیستم‌های ریلی، از نظر مقدار ریل‌ها و حمل بار یا مسافر، در نظر گرفته شود. برای نمونه، ظرفیت سیستم راه‌آهن دو خطه یا چندمسیره، در مقایسه با راه‌آهن تک خطه بیشتر مطالعه شده است؛ باین حال راه‌آهن‌های تک‌مسیره نیز، در بسیاری از کشورها در حمل و نقل نقش پررنگی دارند (Landex et al., 2006; Li et al., 2017; Lindner, 2011).

تخمین ظرفیت در برخی از مطالعات، که بر به حداکثر رساندن عملکرد شبکه راه‌آهن متمرکز شده‌اند، هسته اصلی است (Armstrong & Preston, 2017; Burdett, 2015; 2016; Burdett & Kozan, 2006; Jensen et al., 2017; Landex, 2007; Landex et al., 2008; Mussone & Calvo, 2013; Sameni et al., 2011). علاوه بر این، به دلیل اهمیت ظرفیت در بهره‌برداری از راه‌آهن، در مطالعات گوناگون سعی شده است رابطه بین ظرفیت و پارامترهای مفید مد نظر قرار گیرد و مدل‌سازی شود (Dicembre & Ricci, 2011; Harrod, 2009; Jamili, 2018; Kaleybar et al., 2018; Krueger, 1999; Li et al., 2017; Odolinski, 2016; Boysen, 2019; Riejos et al., 2016). از سویی، تحقیقات بسیاری برای گسترش ظرفیت فعلی

1. Capacity

مسیرهای منتخب پیش‌بینی کند و مدلی را بر مبنای رگرسیون خطی توسعه دهد که به خوبی بتواند ظرفیت را در هر مسیر دلخواه تعیین کند. پس از آن، دقت پیش‌بینی این مدل را تعیین کند تا صحت مدل ایجاد شده را نشان دهد. بنابراین، تحقیق پیش رو از ابزار GIS برای محاسبه ظرفیت بهره می‌برد. نوآوری این مقاله را می‌توان استفاده از محیط GIS در تعیین ظرفیت شبکه ریلی و پیش‌بینی ظرفیت در شبکه ریلی مطرح کرد.

در بخش نخست این پژوهش، ادبیات و پیشینه موضوع مرور می‌شود. روش‌شناسی تحقیق در بخش دوم، تجزیه و تحلیل ظرفیت مسیرهای ریلی منتخب در بخش سوم و نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مطالب در بخش چهارم می‌آید.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، پس از گردآوری داده‌های مورد نیاز ورودی و خروجی، محاسبه ظرفیت به روش تحلیلی و در محیط GIS انجام می‌شود. در روش تحلیلی، بر اساس روابط محاسباتی و با استفاده از داده‌های خط و برنامه حرکت قطارها، ظرفیت محاسبه می‌شود. روش‌های تحلیلی، با محاسبه حداقل سرفاصله زمانی قطارها، ظرفیت مسیر را تعیین می‌کنند. با به کار بردن مدل‌های تحلیلی می‌توان ظرفیت را در مدت زمان اندکی محاسبه کرد. مدل‌های تحلیلی روش‌های متنوعی دارند که در جدول ۱ به آنها اشاره شده است.

یکی از روش‌های تحلیلی در فیش UIC406 روشی است که در آن به پارامترهای متفاوتی نیاز است. ابتدا باید، با مطالعاتی، این پارامترها طبق شرایط راه‌آهن کشور تعیین و صحت استفاده از آنها مشخص شود.

۱. در روش UIC406 نیز همانند روش UIC405، بر اساس ترافیک و سرفاصله زمانی، میانگین ظرفیت بر مبنای درصد اشغال تعیین می‌شود و خروجی آن درصد اشغالی است.

شبکه‌های راه‌آهن در مطالعات موردی انجام شده است (Burdett, 2016; Riejos et al., 2016; Suyabatmaz & Şahin, 2015; Yi, 2018; Zhao et al., 2018; Zheng et al., 2011). برای نمونه، یقینی و لسان (۱۳۸۹) با استفاده از مدل بهینه‌سازی بر مبنای جریان چندکالایی، به مدل‌سازی شبکه ریلی پرداخته‌اند و برای محاسبه ظرفیت و ایجاد جدول زمان‌بندی حرکت قطارها به صورت هم‌زمان در شبکه راه‌آهن، مدلی ارائه نموده‌اند.

یقینی و همکاران (۱۳۹۱) نحوه تعیین نقاط فشرده‌سازی برنامه حرکت قطارها در راه‌آهن ایران را بررسی کرده‌اند. آنها در مطالعه‌ای موردی، ظرفیت استفاده شده و بهینه در مسیر تهران-مشهد را محاسبه و نتایج را ارائه کردند. در این پژوهش، روشی برای بررسی راهکارهای مناسب به منظور افزایش ظرفیت گلوگاه‌های ریلی بیان شده است. همچنین، مدل بهینه‌سازی جدیدی بر پایه جریان چندکالایی، برای مدل‌سازی شبکه ریلی ارائه شده است که ورودی‌های مدل ویژگی‌های شبکه ریلی و نوع قطارها محسوب می‌شوند. عراقی (۱۳۹۱) روش تلفیقی تعیین ظرفیت خط در سیستم حمل‌ونقل ریلی را مطرح کرد. در این مقاله، مدلی بر اساس تلفیق روش UIC405 و UIC406^۱ ارائه شده است. آوریل^۲ و همکارانش (۲۰۰۸)، در بخش سیستم‌های اطلاعات و محاسبات دانشگاه فنی والنسیا، روش‌های اصلی تجزیه و تحلیل ظرفیت و عوامل اصلی مؤثر در ظرفیت راه‌آهن را بررسی کردند و نشان دادند که چگونه ظرفیت، با تغییر این عوامل، تغییر خواهد کرد. امروزه GIS، به‌منزله دانش و ابزاری قوی و نیز تصمیم‌گیرنده، می‌تواند در بسیاری از کاربردها و از جمله در تعیین ظرفیت شبکه ریلی به کار برود. تکنولوژی GIS در دنیا مورد قبول است (Vafaeinejad, 2018) و در بسیاری از موارد استفاده شده است (Vafaeinejad, 2017; Vafaeinezhad et al., 2010;) (Bolouri et al., 2018). بنابراین تحقیق حاضر قصد دارد برای محاسبه ظرفیت شبکه ریلی، رویکردهای سرویس‌گرا را مد نظر قرار دهد، سپس ظرفیت را در

که ظرفیت عملی نام دارد. این مدل، در اصل، همان مدل ظرفیت پایه است و تمامی پارامترهای یادشده در مدل زیر براساس همان مدل ظرفیت پایه شکل گرفته است.

$$N_C = \left[\frac{1440 - n \times 60}{T} \right] \times 0.85 - 1/15 \times N_p \quad (1) \text{ رابطه}$$

N_C = ظرفیت زوج قطارهای باری (تعداد)؛

T = پیرو، مدت زمان بیشینه سیر رفت و برگشت بین دو ایستگاه؛

n = میزان ساعت مسدودی خط در طول روز (ساعت)؛

N_p = تعداد زوج قطار مسافری روزانه.

ضریب تعدیل قطارهای مسافری $1 < \epsilon < 2$ (مرادی و دیگران، ۱۳۹۸).

برای محاسبه ظرفیت هر محور، ابتدا باید زمان سیر سیرگاه‌های تشکیل دهنده هر محور، براساس شبیه‌سازی رایانه‌ای و یا برنامه حرکت قطار محاسبه و زمان سیر در سیرگاه بحرانی تعیین و در مدل جای گذاری شود. با استفاده از مدل مورد نظر می‌توان

برای نمونه، اداره راه آهن ملی سوئد در سال ۲۰۰۵ تحقیقاتی را در این زمینه انجام داده و با تحلیل ظرفیت بخشی از شبکه راه آهن این کشور با روش UIC و شبیه‌سازی، این نتایج را با یکدیگر مقایسه و روش یادشده را برای استفاده در کشور سوئد بررسی کرده است.

روش UIC405، با محاسبه مقدار میانگین سرفاصله زمانی، با در نظر گرفتن احتمال روی دادن چهار نوع سرفاصله زمانی و نیز محاسبه مقادیر زمان حائل و زمان اضافی، عددی نزدیک به واقعیت را نشان می‌دهد زیرا تعداد عوامل مؤثر بیشتری دخالت داده شده‌اند.

در بین این روش‌ها، در ایران برای محاسبه ظرفیت بیشتر، از رابطه اسکات استفاده می‌شود. پس از آماده‌سازی داده‌های مورد نیاز به منظور محاسبه ظرفیت، مدل‌سازی از طریق رگرسیون خطی برای داده‌های سال ۹۶ انجام می‌گیرد. سپس مدل ایجادشده برای پیش‌بینی ظرفیت در سال ۹۷ به کار می‌رود و در نهایت، دقت مدل بررسی می‌شود. در شبکه ریلی ایران برای تعیین ظرفیت خط، از رابطه (۱) استفاده می‌شود

جدول ۱. روش‌های تحلیلی محاسبه ظرفیت مسیر

نام روش	رابطه	پارامترها
رابطه اسکات	$N = \frac{1440 - W}{T + t} \times K$	N تعداد کل قطار. W زمان مسدودی، T زمان سیر کمترین قطار و t ضریب توقف قطار
رابطه اسکات اصلاح‌شده	$C = \frac{1440 - W}{(\sum T_p \cdot N_p) + (\sum T_f \cdot N_f)}$	C ظرفیت خط، T_p و N_p به ترتیب زمان سیر و تعداد قطار مسافری، T_f و N_f به ترتیب زمان سیر و تعداد قطار باری و W زمان مسدودی
رابطه آمریکایی	$N = \frac{1440}{T + T^0 + 2t}$	N تعداد قطارها، $T + T^0$ زمان سیر کندترین قطار از هر دو سمت
رابطه GIP	$NG = \frac{1440 - \sum T_p}{T_g + t}$	NG تعداد قطار باری عبوری، T_p زمان سیر قطار مسافری، T_g زمان سیر قطار باری و t زمان تاخیرات
رابطه اشتین‌بک	$C = \frac{1440}{t_a + t_b + O + W} * Y$	C ظرفیت خط، $t_a + t_b$ زمان سیر دو قطاری تلافی، O مجموع زمان‌های توقف دو قطار، W زمان انتظار قطار دوم،

نمایش گرافیکی یادشده این امکان را به مدیران مجموعه می‌دهد که از ظرفیت موجود به بهترین شکل بهره ببرند و راهکارهایی برای افزایش ظرفیت و رفع گلوگاه‌های ظرفیتی شبکه در محیط GIS تعیین کنند (مرادی و دیگران، ۱۳۸۹).

آنالیز کوتاه‌ترین مسیر

یکی از آنالیزهای مهم و کاربردی در محیط GIS همین تحلیل است که برای محاسبه کوتاه‌ترین مسیر بین نقاط مبدأ و مقصد معرفی شده به کار می‌رود. پس از تعیین نقاط شروع و پایانی مسیر، براساس وزن هر مسیر، کوتاه‌ترین فاصله تعیین می‌شود. در صورتی که مسیر انتخابی همان مسیر حرکت قطارها باشد، آن مسیر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، روی سامانه سیر و حرکت قطارها، مسیر واقعی قطارها جایگزین مسیر انتخابی می‌شود. پس از این مرحله، مطابق با رابطه (۱) ظرفیت محاسبه می‌شود.

روش رگرسیون خطی

رگرسیون خطی روش مناسبی برای مدل‌سازی پدیده‌ها و پیش‌بینی آنها محسوب می‌شود. در این روش، رابطه خطی بین متغیرهای مستقل x_1 ، x_2 و ... و x_n و متغیر Y به شرح زیر است:

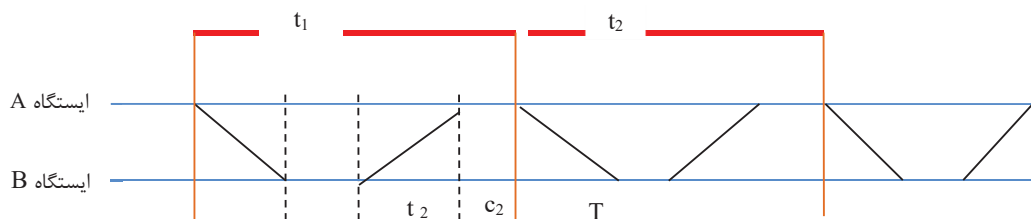
$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + e$$

رابطه (۲)

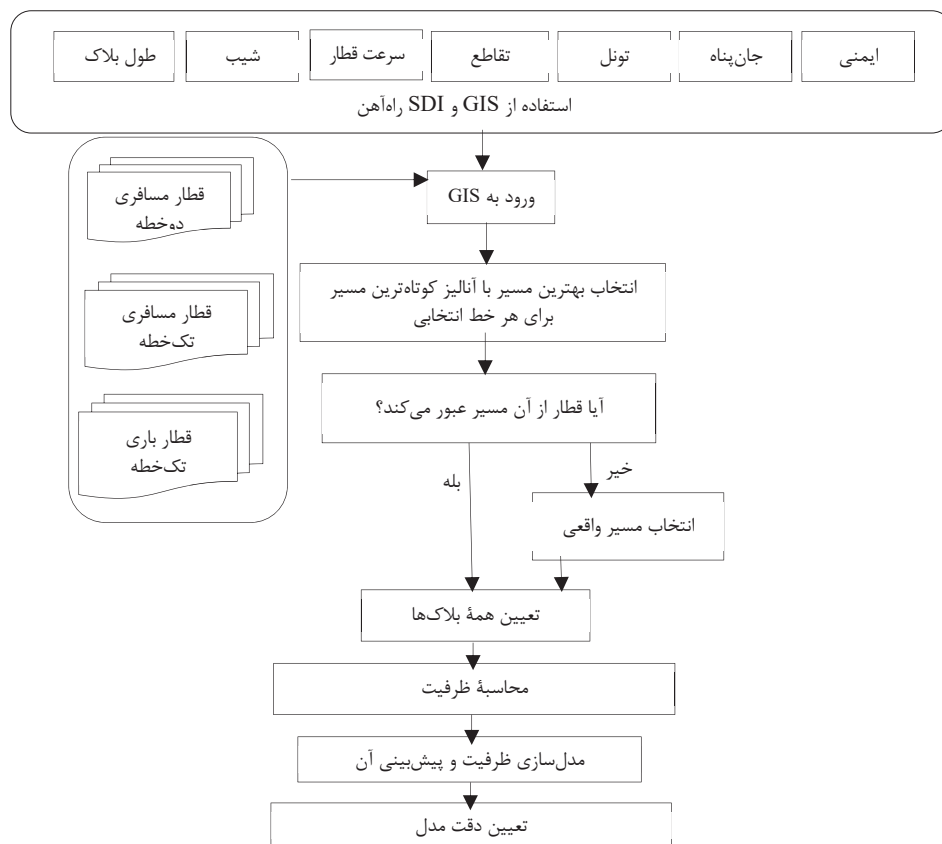
ظرفیت مسیر براساس تناژ بار قابل حمل، مسافر عبوری و یا زمان سیر هر قطار در سیرگاه را محاسبه کرد. با به‌دست‌آوردن ظرفیت مسیر، حداکثر تناژ عبوری بار از هر مسیر مشخص می‌شود. پریود واقعی حرکت قطارها (دقیقه)، که بر پایه شبیه‌سازی رایانه‌ای و یا برنامه بهره‌برداری قطارها محاسبه می‌شود، به زمان سیر در سیرگاه مرتبط است و معادل بیشترین زمان سیر در سیرگاه‌ها، با افزودن زمان حاشیه‌ای است. شکل ۱ گراف دوره تناوب حرکت قطارها را نشان می‌دهد.

ضریب تعدیل قطارهای مسافری در ایران ۱.۵ در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که بخواهیم ظرفیت خط را برای مسیر دوخطه محاسبه کنیم، به جای ضریب ۰.۸۵، از ضریب ۰.۹٪ استفاده می‌کنیم. تعداد ناوگان مورد نیاز در طول ساعات اوج ترافیک محاسبه می‌شود. خروجی این رابطه تعداد زوج قطارهای باری است که در یک شبانه‌روز می‌توانند از سیرگاه بحرانی عبور کنند. شکل ۲ روش کلی تحقیق را نشان می‌دهد.

بنا بر نیازهای عملیاتی شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، نرم‌افزار «سامانه ظرفیت»، با هدف مکانیزه کردن فرایندها، در بستر تحت وب و مکان مینا راه‌اندازی شد. در این سامانه، امکان نمایش اطلاعات ظرفیتی شبکه در کنار اطلاعات مکانی شبکه ریلی وجود دارد و براین اساس، اطلاعات ظرفیتی شبکه با رنگ‌ها و نمادهای مشخص، روی نقشه نمایش داده می‌شود.



شکل ۱. گراف دوره تناوب حرکت قطارها



شکل ۲. روش کلی تحقیق

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}, \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

با حل رابطه (۳) برحسب β ، خواهیم داشت:

$$\beta = (X' * X)^{-1} * (X' * Y) \quad \text{رابطه (۴)}$$

X' ترانزاده ماتریس X است. برای محاسبه معکوس ماتریس $X'X$ ، دترمینان عبارت بالا نباید صفر شود (خداشناس و همکاران ۱۳۸۷؛ نوری و همکاران، ۱۳۸۷).

۳- مطالعه موردی

در این پژوهش، خطوط ریلی پرتردد منتخب اراک - دورود، یزد- بافق و سمنان- شاهرود بررسی می‌شوند.

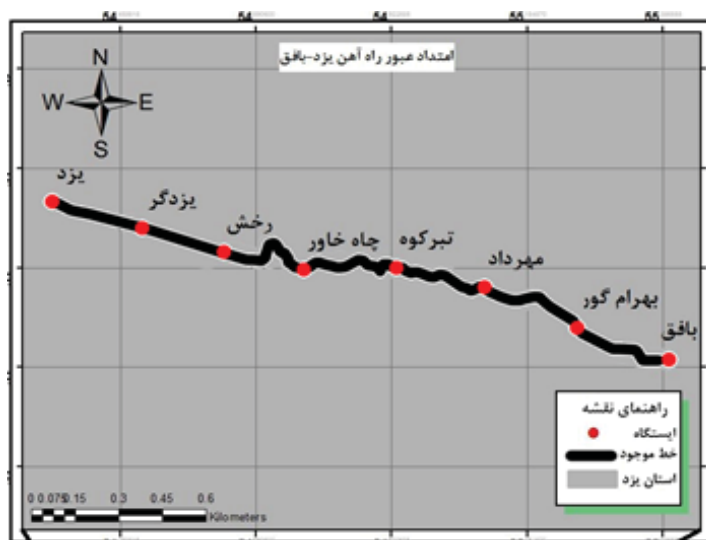
a_0 عرض مبدأ و a_1 تا a_n ضرایب رگرسیون خطی‌اند (Balan et al., 1995) و e مقدار خطای برازش است. در این مدل‌سازی، متغیرهای مستقل پارامترهای ورودی مدل‌اند؛ مانند زمان سفر، زمان انسداد بلاک و تعداد قطارها. متغیر پاسخ نیز همان ظرفیت مسیر است. همچنین مدل در فرم ماتریسی بدین صورت نوشته می‌شود:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، β بردار ضرایب رگرسیون $(P+1*1)$ ، ε ماتریس خطای برازش $(n*1)$ ، Y بردار نظیر متغیر وابسته، X ماتریس متغیرهای مستقل $(n*P+1)$ ، n تعداد داده‌ها و P تعداد متغیرها هستند که چنین تعریف می‌شوند (جعفری، اسدی و دین‌پژوه، ۱۳۹۴):

باری در این محور، تعداد قطارهای مسافری زیادی هم از آن عبور می‌کند. طول این مسیر ۱۴۷ کیلومتر است. علت انتخاب محور سمنان- شاهرود (شکل ۵) آن است که نوع غالب قطارهای عبوری از آن مسافری است. در این محور، تعداد قطارهای باری زیاد نیست و طول این مسیر ۲۰۱ کیلومتر است.

علت انتخاب محور یزد- بافق (شکل ۳) این است که تعداد و وزن بار عبوری قطارهای باری این مسیر زیاد است و در مسیر مبدأ- مقصدهای مهم بار قرار دارد ولی تعداد قطارهای مسافری آن چندان نیست. طول این مسیر ۱۱۷ کیلومتر است. علت انتخاب محور اراک- دورود (شکل ۴) این است که در عین زیادبودن تعداد و وزن بار عبوری قطارهای



شکل ۳. مسیر ریلی یزد- بافق



شکل ۴. مسیر ریلی دورود- اراک



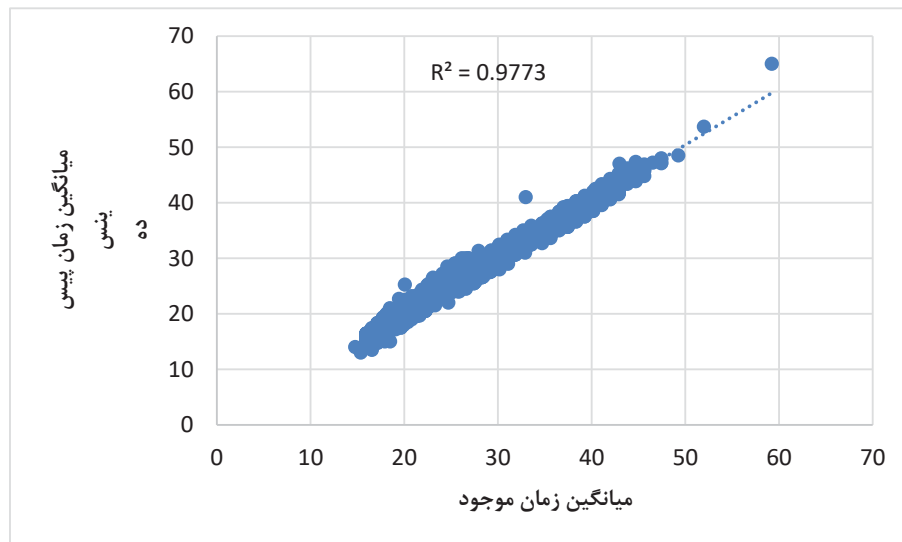
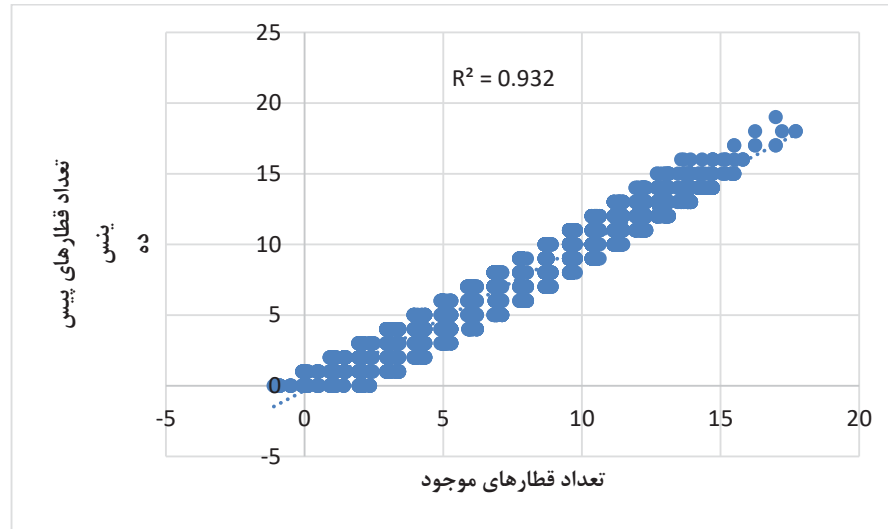
شکل ۵. مسیر ریلی سمنان-شاهروود

محاسبه و تحلیل نتایج

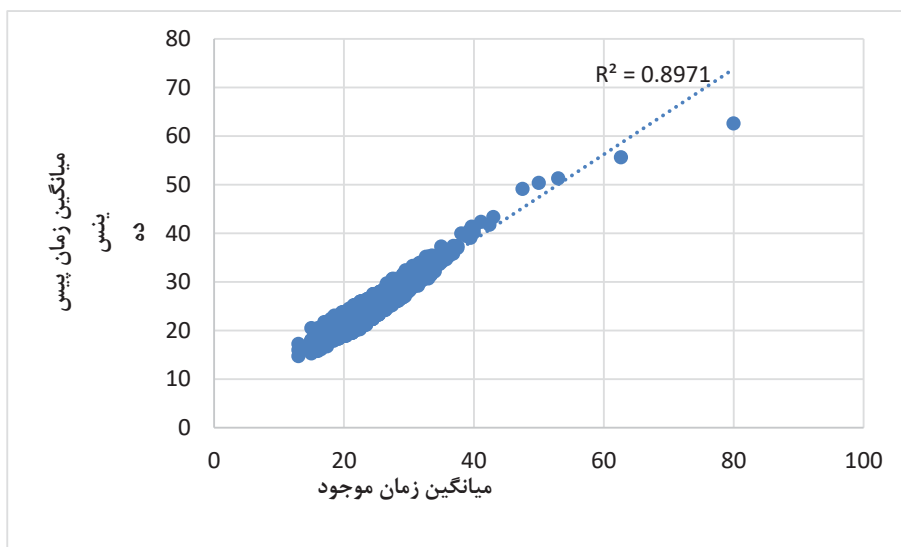
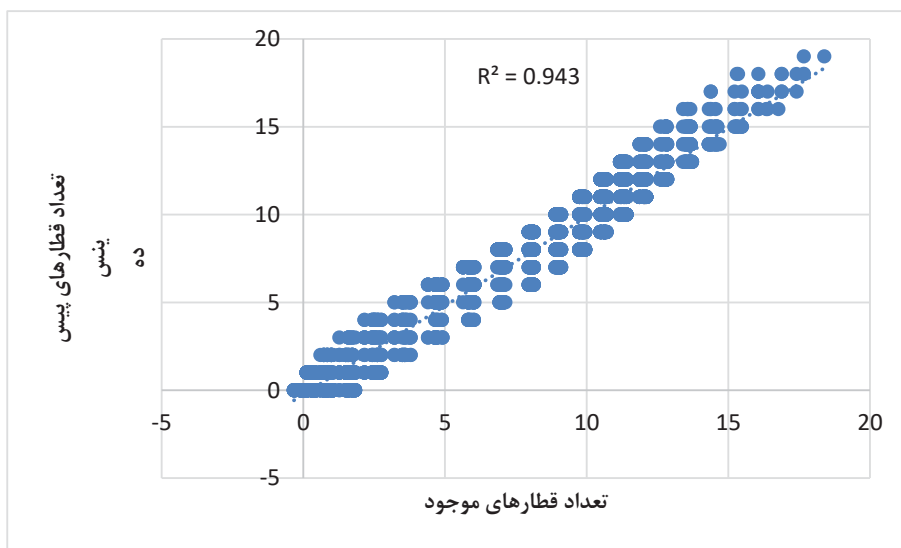
پس از تهیه داده‌ها از منابع گوناگونی مانند راه‌آهن SDI جمهوری اسلامی ایران، GPS و سیستم‌های نقشه‌برداری موبایل تهیه شد و داده‌ها در قالب مناسب به محیط GIS وارد شدند. این داده‌ها شامل شبکه ریلی در محورهای اشاره‌شده، از جمله مسیر سمنان-شاهروود با تردد قطار مسافری زیاد، مسیر یزد- بافق با ترافیک قطار باری بالا و مسیر اراک- دورود با بار و تردد قطار مسافری زیاد، محل بلاک‌ها و دیگر پارامترهای فضایی همچون قوس، پل‌ها، تونل‌ها می‌شدند. اطلاعات توصیفی این مسیرها نیز شامل تعداد قطارهای عبوری، ظرفیت هر بلاک و مواردی دیگر می‌شد. کوتاه‌ترین مسیر برای سه مسیر انتخاب‌شده به دست آمد که نتایج آن متناسب با مسیر واقعی قطار عبوری از محورها بود. سپس، برای سال ۹۶، زمان ترانزیت هر قطار از هر بلاک محاسبه شد و ظرفیت نیز با استفاده از زبان پایتون نمایه‌شده در GIS به دست آمد. مدل‌سازی برای

پیش‌بینی ظرفیت با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره، مورد اشاره در بخش‌های پیش، با کمک داده‌های سال ۹۶ انجام گرفت و سپس در مورد داده‌های سال ۹۷ پیش‌بینی ظرفیت انجام شد. شکل ۶ تا ۱۷ نتایج رگرسیون را برای محورهای منتخب در سال ۹۶ نشان می‌دهد. جدول ۲ نتایج ظرفیت پیش‌بینی‌شده برای سه مسیر انتخابی و بلاک‌های بحرانی را نشان می‌دهد که با رنگ زرد مشخص شده‌اند (این بلاک‌ها کمترین ظرفیت را دارند). با مقایسه ظرفیت موجود و بهینه، میزان خطاهای MAE، RMSE و R^2 به دست می‌آید. جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری دقت را براساس نوع قطار و مسیر نشان می‌دهد. معیارهای آماری R^2 برای تعیین همبستگی بین مقادیر واقعی و برآوردشده و RMSE و MAE نیز برای تعیین مقادیر خطای برآوردشده به کار رفت.

کاربرد GIS در پیش‌بینی ظرفیت شبکه ریلی از طریق رگرسیون خطی

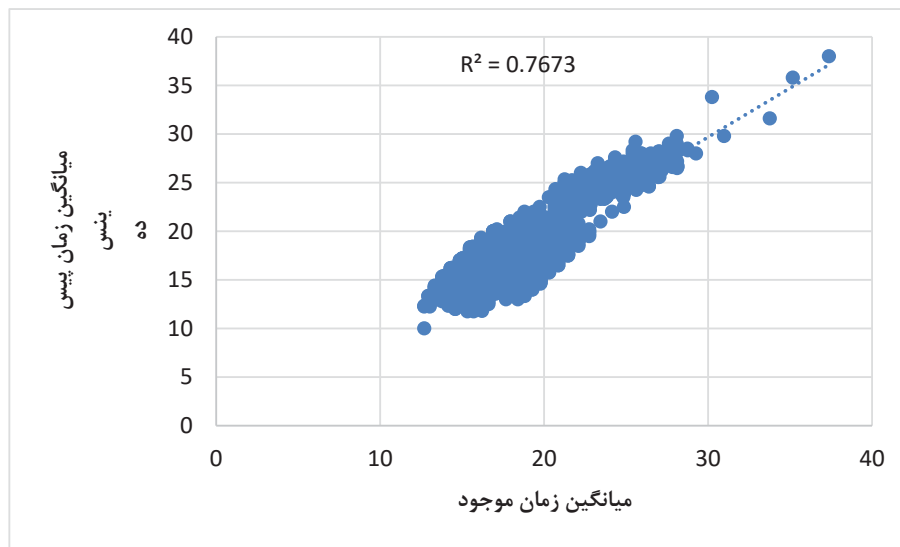
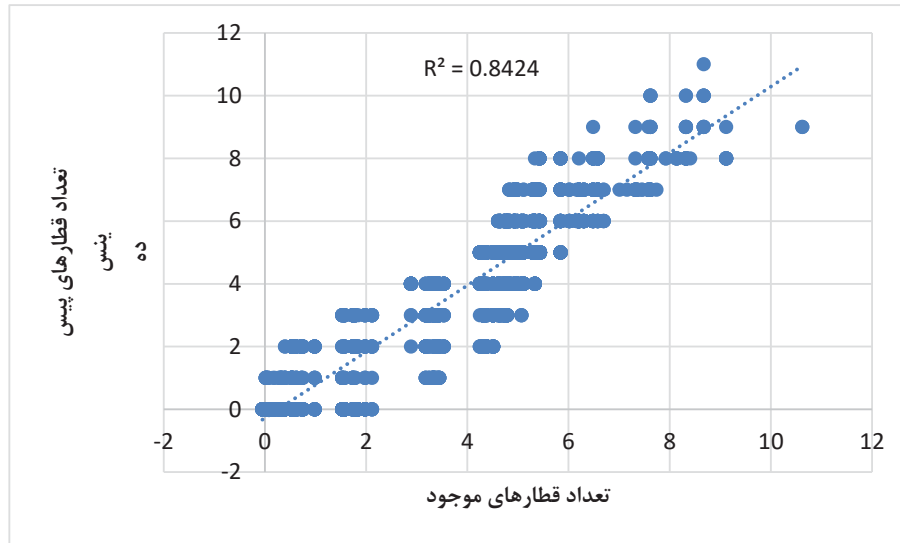


شکل ۶. رگرسیون خطی محور اراک- دورود برای قطارهای باری مسیر رفت

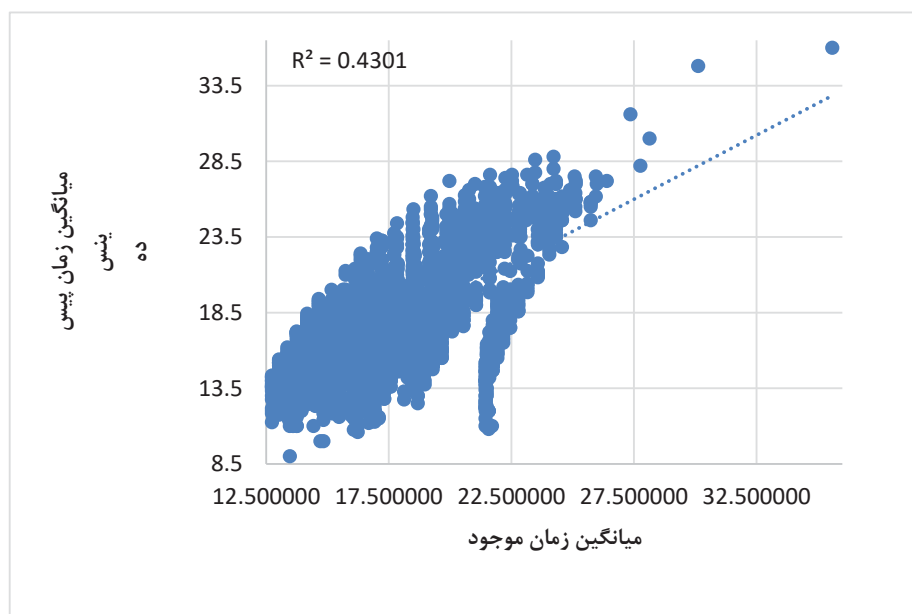
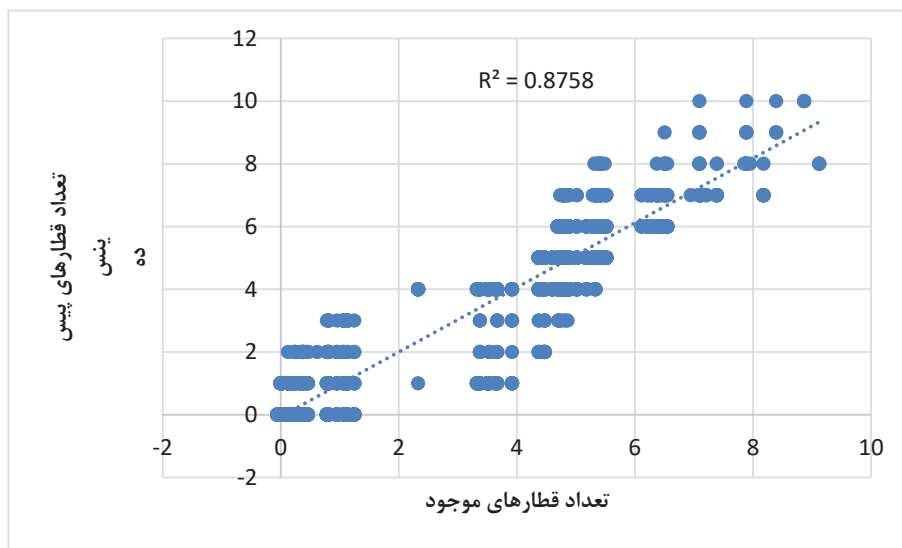


شکل ۷. رگرسیون خطی محور اراک- دورود برای قطارهای باری برگشت

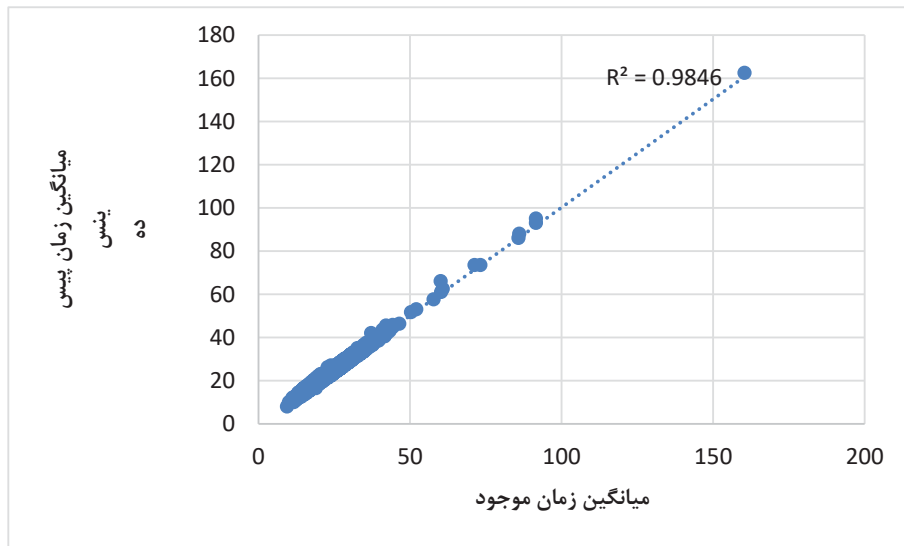
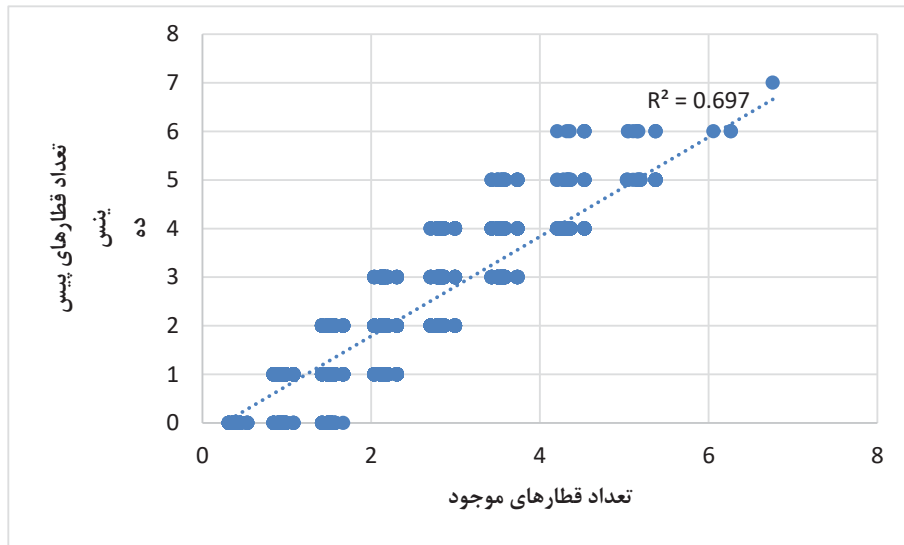
کاربرد GIS در پیش‌بینی ظرفیت شبکه ریلی از طریق رگرسیون خطی



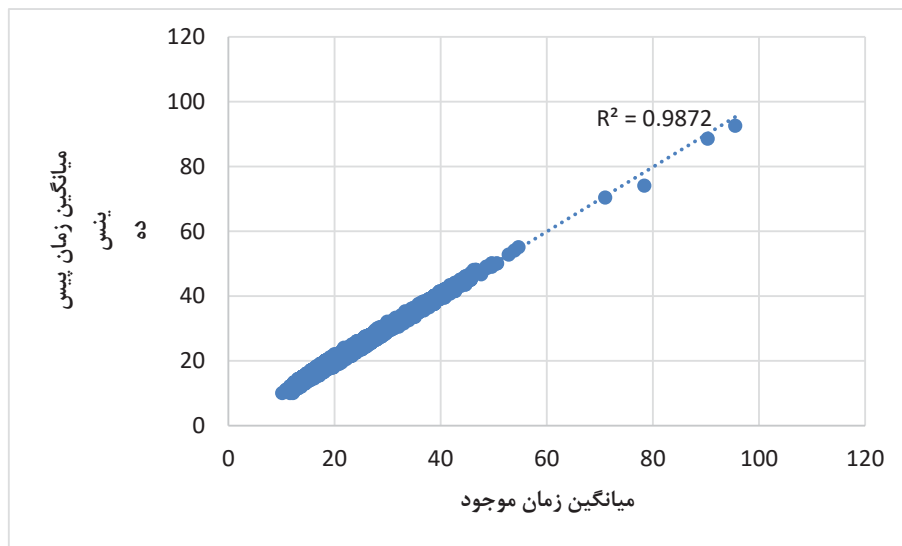
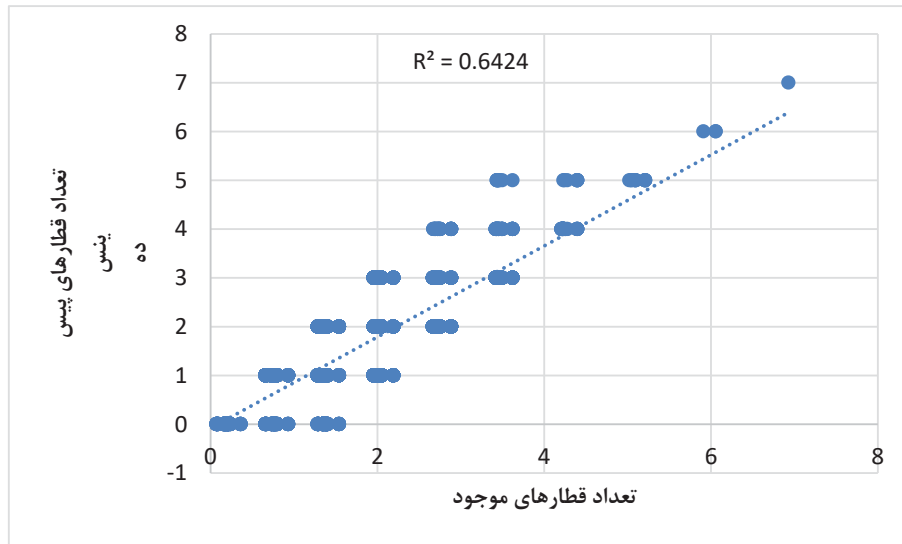
شکل ۸. رگرسیون خطی محور اراک- دورود برای قطارهای مسافری برگشت



شکل ۹. رگرسیون خطی محور اراک- دورود برای قطارهای مسافری مسیر رفت

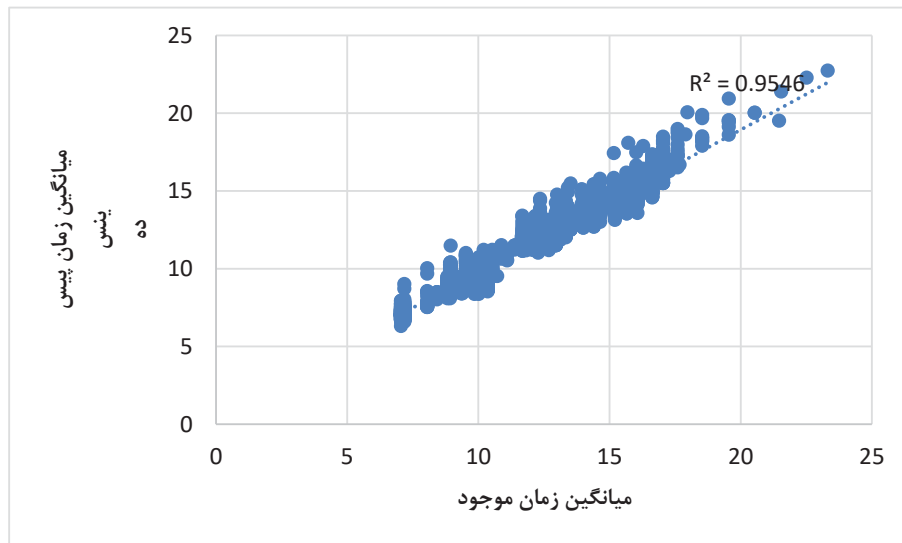
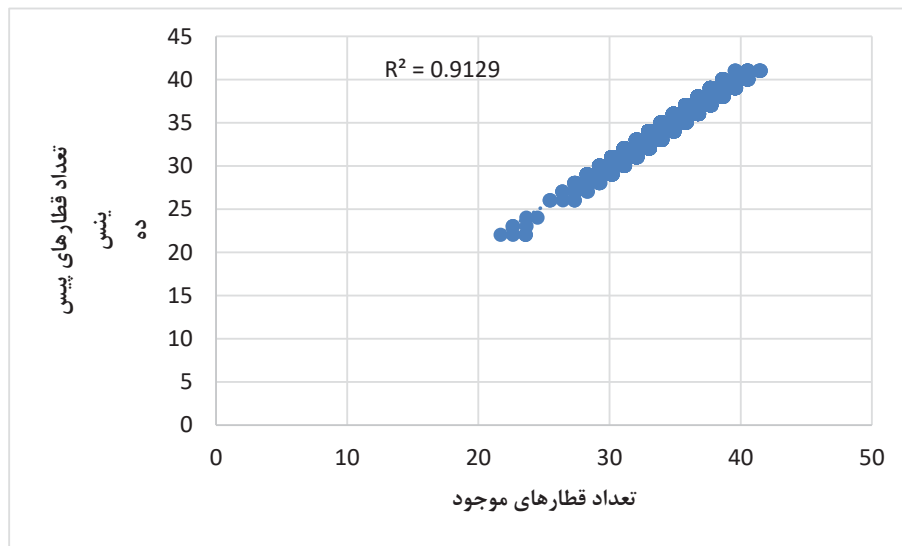


شکل ۱۰. رگرسیون خطی محور سمنان-شاهرود برای قطارهای باری مسیر رفت

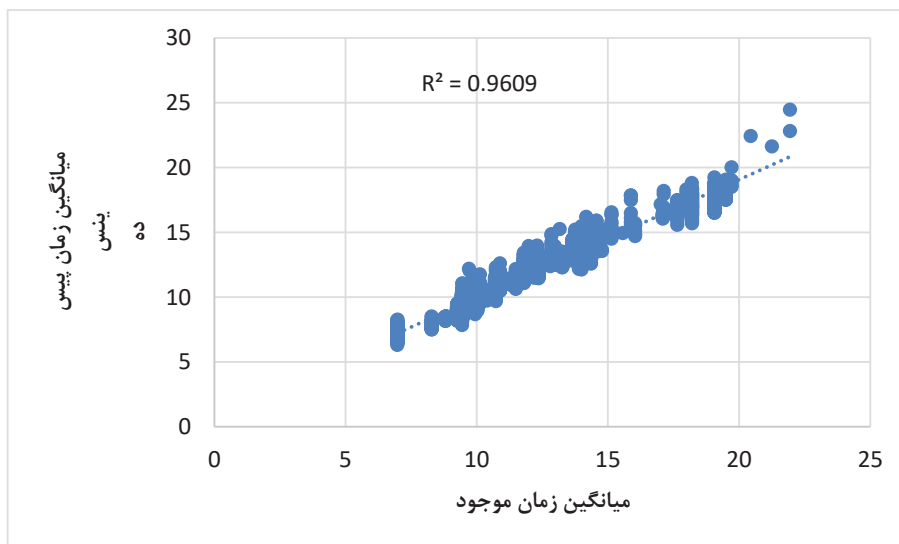
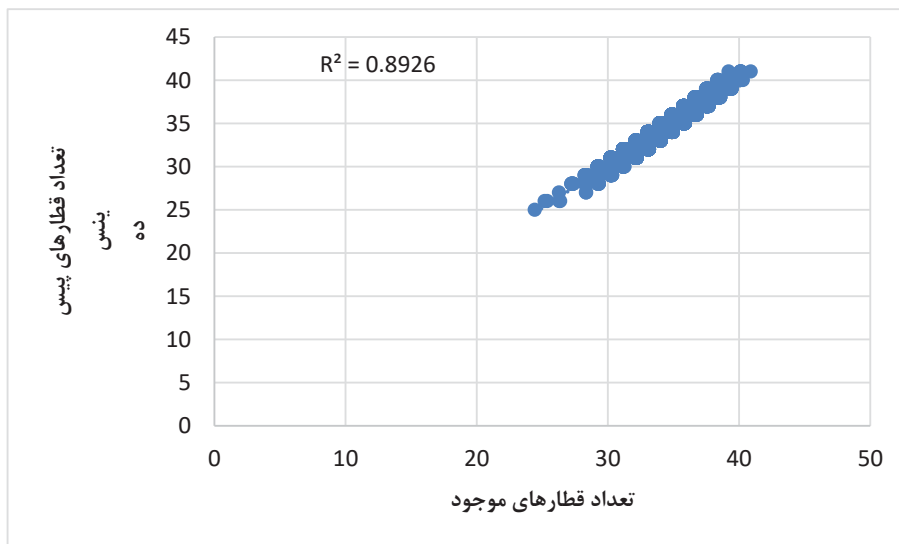


شکل ۱۱. رگرسیون خطی محور سمنان- شاهرود برای قطارهای باری برگشت

کاربرد GIS در پیش‌بینی ظرفیت شبکه ریلی از طریق رگرسیون خطی

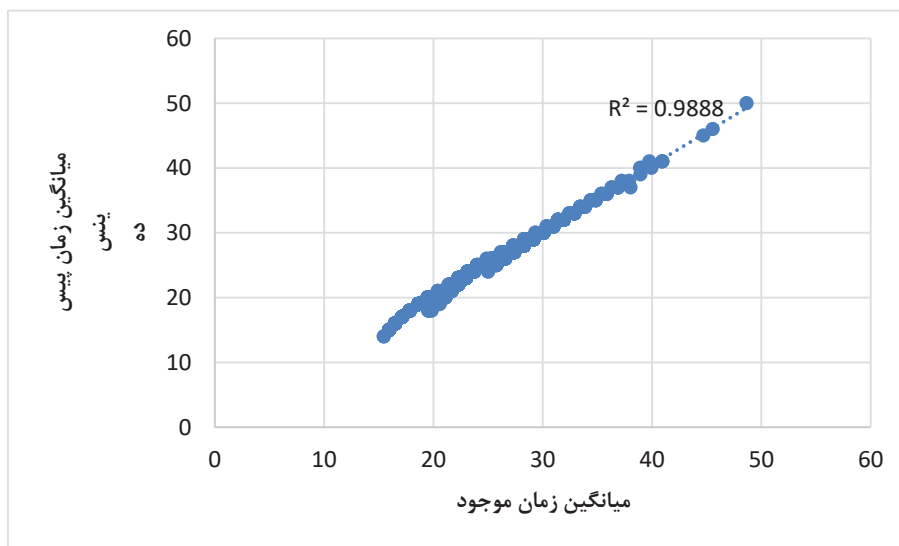
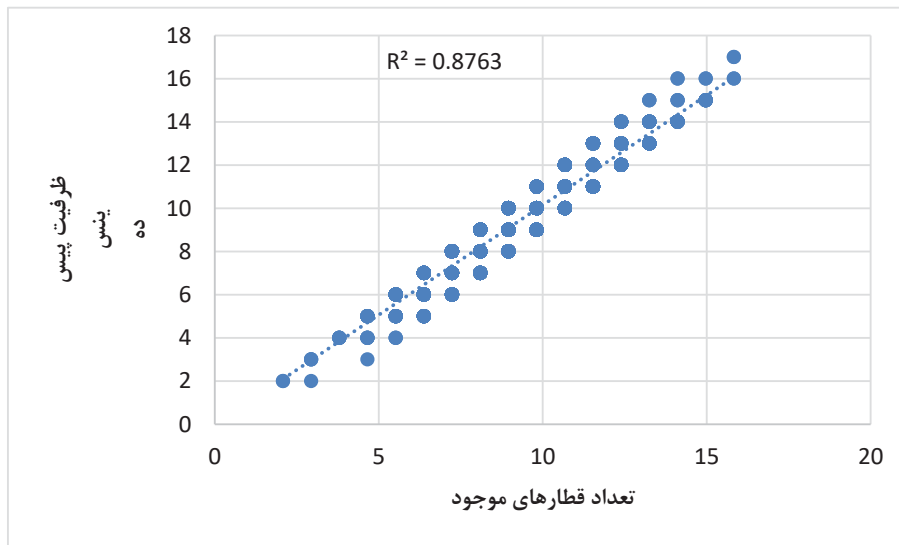


شکل ۱۲. رگرسیون خطی محور سمنان- شاهرود برای قطارهای مسافری مسیر رفت

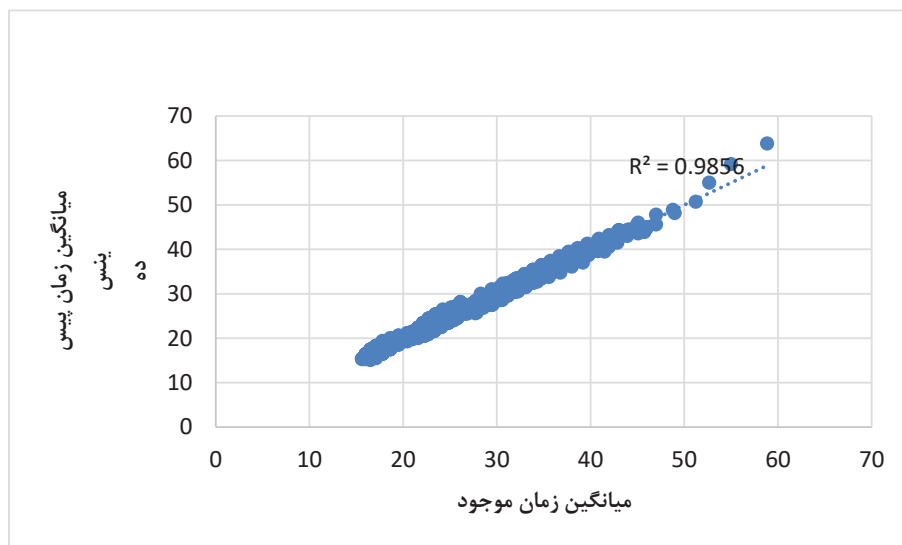
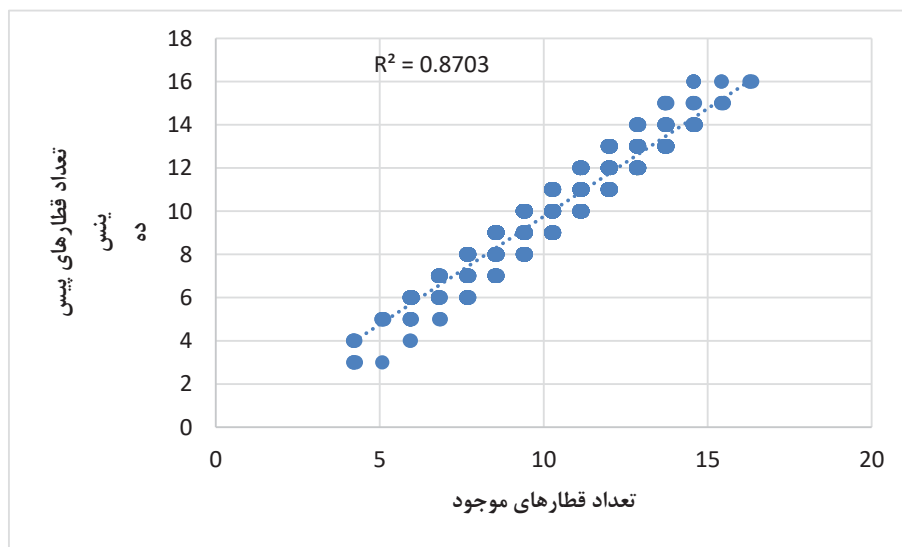


شکل ۱۳. رگرسیون خطی محور سمنان- شاهرود برای قطارهای مسافری برگشت

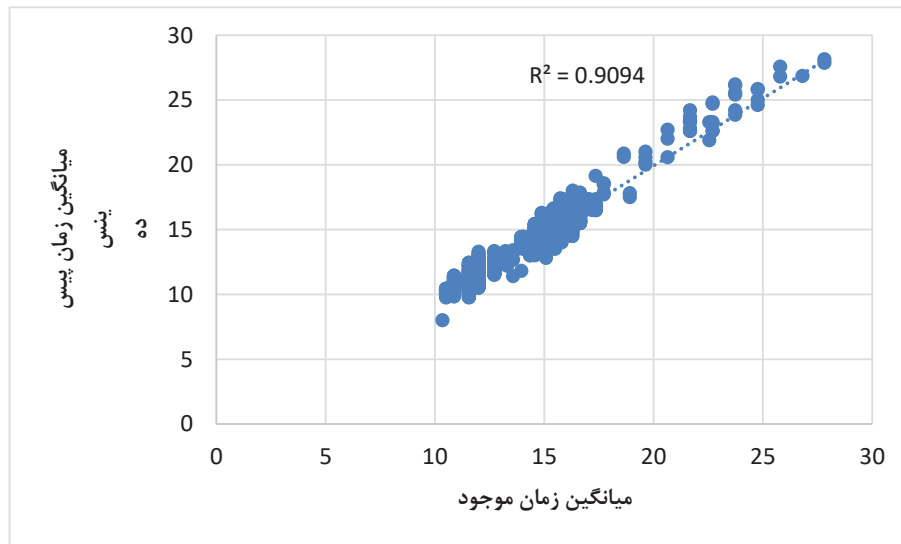
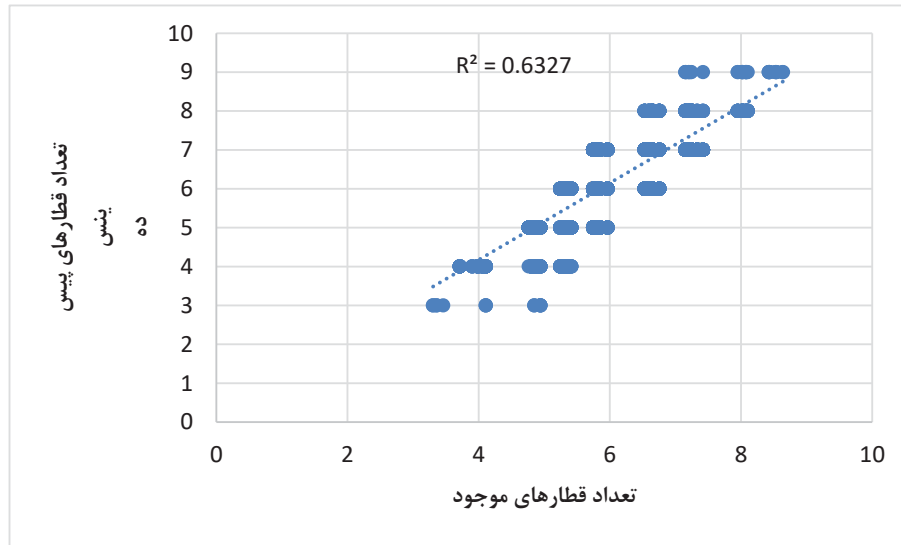
کاربرد GIS در پیش‌بینی ظرفیت شبکه ریلی از طریق رگرسیون خطی



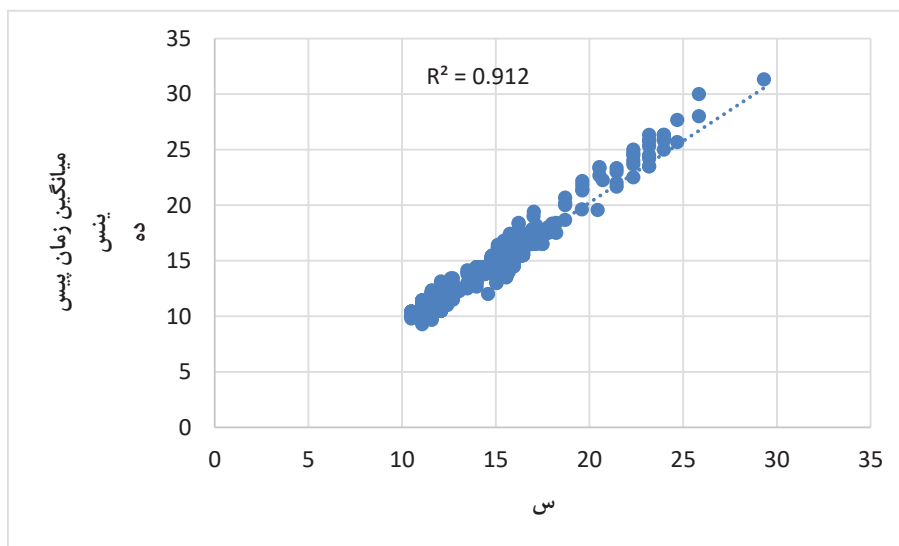
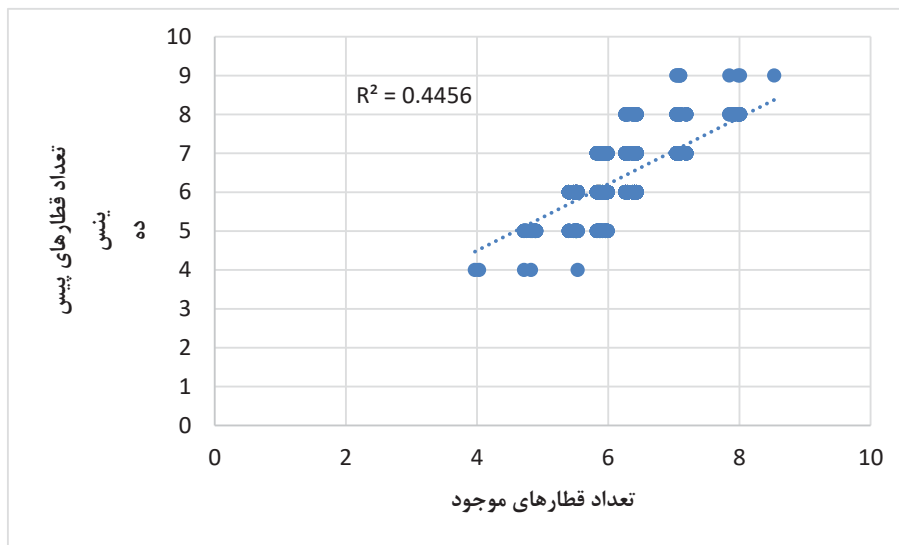
شکل ۱۴. رگرسیون خطی محور یزد- بافق برای قطارهای باری مسیر رفت



شکل ۱۵. رگرسیون خطی محور یزد- بافق برای قطارهای باری برگشت



شکل ۱۶. رگرسیون خطی محور یزد- بافق برای قطارهای مسافری مسیر رفت



شکل ۱۷. رگرسیون خطی محور یزد- بافق برای قطارهای مسافری برگشت

کاربرد GIS در پیش‌بینی ظرفیت شبکه ریلی از طریق رگرسیون خطی

جدول ۲. محاسبه ظرفیت با روش عملی در GIS و نمایش بلاک‌های بحرانی

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- نورآباد	۱۹	۱۲.۷	
نورآباد- سمیه	۲۴	۱۸.۱	۱۲.۷
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	۲.۶
میاندره- آبگرم	۵۶	۱۱.۳	
آبگرم- گرداب	۶۸	۲۳.۲	
گرداب- هفتخوان	۴۷	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- کلانخوان	۵۲	۷.۸	
کلانخوان- شاهرود	۵۲	۷.۸	
سمنان- میاندره	۵۶	۱۷.۰	۲.۹
میاندره- آبگرم	۷۱	۳۱.۷	
آبگرم- گرداب	۸۱	۴۲.۲	
گرداب- هفتخوان	۵۱	۱۱.۶	
هفتخوان- لارستان	۷۴	۳۴.۹	
لارستان- امروان	۴۲	۲.۸۸	
امروان- سرخده	۷۱	۳۱.۸	
سرخده- دامغان	۷۷	۳۸.۴	
دامغان- زرین	۵۴	۱۵.۰	
زرین- کلانخوان	۵۶	۱۶.۹	
کلانخوان- شاهرود	۶۰	۲۱.۱	

جدول ۳. دقت نتایج مدل‌سازی ظرفیت در سه مسیر منتخب برای سال ۹۷

مسیر	نوع قطار	جهت سیر	RMSE		R ²		MAE	
			تعداد قطار	زمان عبور (دقیقه)	تعداد قطار	زمان عبور	تعداد قطار	زمان عبور
اراک- دورود	مسافری	رفت	۰.۸۵	۲.۸	۰.۸۷	۰.۴۴	۰.۶۴	۲.۲
		برگشت	۰.۹۴	۱.۶۷	۰.۸۴	۰.۷۶	۰.۷۴	۱.۳
	باری	رفت	۱.۱	۱.۰	۰.۹۳	۰.۹۷	۰.۹۱	۰.۸
		برگشت	۱.۰۳	۱.۴۷	۰.۹۴	۰.۸۹	۰.۸۶	۱.۱۷
سمنان- شاهرود	مسافری	رفت	۰.۷۹	۰.۷۱	۰.۹۱	۰.۹۵	۰.۶۷	۰.۵۱
		برگشت	۰.۷۸	۰.۶۵	۰.۸۹	۰.۹۶	۰.۶۷	۰.۴۸
	باری	رفت	۰.۸۱	۰.۸۴	۰.۶۹	۰.۹۷	۰.۶۸	۰.۸۰
		برگشت	۰.۶۷	۰.۸۱	۰.۶۴	۰.۹۷	۰.۵۶	۰.۶۹
یزد- بافق	مسافری	رفت	۰.۶۹	۰.۶۵	۰.۶۳	۰.۹۰	۰.۵۷	۰.۵۱
		برگشت	۰.۵۸	۷۰.	۰.۴۵	۰.۹۱	۰.۴۶	۰.۵۵
	باری	رفت	۰.۷۶	۰.۴۵	۰.۸۷	۰.۹۷	۰.۶۵	۰.۳۶
		برگشت	۰.۷۹	۰.۸۲	۰.۸۷	۰.۹۸	۰.۶۷	۰.۶۷

و حداکثر سرعت مجاز برای این دو نوع قطار متفاوت است. معمولاً حداکثر سرعت مجاز، برای تمامی قطارهای باری، در همهٔ بلاک‌ها و مسیرها یکسان و حدود ۵۵ کیلومتر در ساعت است اما حداکثر سرعت مجاز برای قطارهای مسافری، با توجه به بلاک و مسیر، متفاوت است؛

۲. دقت مدل‌سازی با نوع مسیر (مسافری، باری و ترکیبی) ارتباط مستقیم دارد؛ در مسیر مسافری (سمنان- شاهرود)، ظرفیت قطارها دقیق‌تر بوده است اما در مسیر باری (یزد- بافق)، برآورد ظرفیت قطارها با دقتی بالاتر از قطارهای مسافری همراه بوده است.

۴- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

همان‌طور که گفته شد، ظرفیت در شبکه‌های ریلی اهمیت بسیاری دارد. نتایج به‌کارگیری رگرسیون خطی برای مدل‌سازی ظرفیت نشان داد که مدل به‌خوبی می‌تواند مسئلهٔ مورد نظر را نشان دهد. در این تحقیق، با

در مسیر ترکیبی اراک- دورود که سهم قطارهای مسافری و باری به یکدیگر نزدیک است، به‌طور کلی دقت بالاتری برای قطارهای باری برآورد شده که ممکن است دلیل آن دامنهٔ تغییرات سرعت پایین این قطارها باشد. در مسیر سمنان - شاهرود که سهم قطارهای مسافری بیشتر از قطارهای باری است، دقت تخمینی برای قطارهای مسافری به‌طور چشمگیری بیشتر است. علت آن هم چه بسا اختصاص سهم بیشتری از این مسیر به این نوع قطارها باشد. در مقابل، در یزد- بافق که خط ریلی اغلب به قطارهای باری اختصاص یافته است، دقت پیش‌بینی ظرفیت این نوع قطارها بیشتر از دقت قطارهای مسافری محاسبه می‌شود.

با مقایسهٔ دقت تخمین‌خورده برای سه مسیر انتخابی، می‌توان دریافت:

۱. در مجموع، دقت مدل‌ها برای قطارهای باری بیشتر از قطارهای مسافری است زیرا دامنهٔ تغییرات سرعت

مدیریت ظرفیت شبکه ریلی بر مبنای پارامترهای تأثیرگذار مکانی و عملیاتی با رویکرد سرویس‌گرا، دوره ۱۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۹۷-۱۱۲.

<http://dx.doi.org/10.52547/gisj.11.3.97>

جعفری، مجید و دین پزوه، یعقوب و اسدی،

اسماعیل، ۱۳۹۴، آشنایی با رگرسیون خطی چندگانه و استفاده از آن در شبیه‌سازی مقادیر تبخیر روزانه تشت، دوفصلنامه آب و توسعه پایدار، دوره ۲، شماره ۲.

خداشناس، س.ر.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، ناظریان،

ح.، ۱۳۸۷، ارائه مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره برآورد رسوب در حوضه‌های شمال استان خراسان، مجله آب و خاک، دوره بیست‌ودوم، شماره ۲، صص. ۱۶۴-۱۵۰.

عراقی، م.، ۱۳۹۱، بررسی مقایسه‌ای روشهای

تعیین ظرفیت خط در سیستم حمل‌ونقل ریلی و ارائه روش تلفیقی، چهاردهمین همایش بین‌المللی حمل‌ونقل ریلی، آبان ۱۳۹۱.

نوری، ر.ا.، ارشفی، خ.، اژدرپور، ا.، ۱۳۸۷، مقایسه

کاربرد روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای پیش‌بینی غلظت میانگین روزانه کربن مونوکسید: بررسی موردی شهر تهران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره سی‌وچهارم، شماره ۱، صص ۱۵۲-۱۳۵.

یقینی، م.، لسان، ج.، ۱۳۹۱، برنامه‌ریزی عملیات

حمل‌ونقل ریلی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

یقینی، م.، مفاخری، ز.، نیکو، ن.، ۱۳۹۱، محاسبه

ظرفیت استفاده‌شده در راه‌آهن ایران بر اساس روش UIC406. مطالعه موردی: مسیر

تهران-مشهد، پژوهشنامه حمل‌ونقل، دوره نهم، شماره ۴ (پیاپی ۳۳)، صص. ۴۳۵-۴۱۹.

استفاده از قابلیت‌های GIS، ظرفیت عملکردی راه‌آهن برای بررسی وضعیت شبکه ریلی از لحاظ ظرفیت موجود، ظرفیت مورد استفاده، ظرفیت باقی‌مانده، گلوگاه‌ها و استفاده بهینه از شبکه موجود به منظور تعهد تقاضا به صاحبان بار محاسبه شد. به عبارت بهتر، GIS از مرحله ورود داده‌ها تا انجام‌شدن آنالیز کوتاه‌ترین مسیر و انتخاب مسیر بهینه نقش دارد. سپس ظرفیت، تحت محیط GIS محاسبه شد و در نهایت، ظرفیت برای سال‌های آتی نیز تحت همین محیط، با مدل رگرسیون، پیش‌بینی شد. استفاده از این مدل در محیط GIS به نمایش مکانی بلاک‌های بحرانی کمک کرد و موقعیت بلاک‌های دارای کمترین ظرفیت را نشان داد. به‌علاوه، دقت پیش‌بینی مدل نشان داد که دقت مدل رگرسیونی در مورد قطارهای باری ۳۵٪ بهتر از قطارهای مسافری است. دلیل این نکته تفاوت در تغییر سرعت و حداکثر سرعت مجاز برای این دو نوع قطار است و دقت مدل‌سازی با نوع قطعه ارتباط مستقیم دارد. بنابراین، در بین مسیرها (مسافری، باری و ترکیبی)، ظرفیت مدل‌سازی قطارهای مسافری تقریباً ۴۵٪ دقیق‌تر بوده است. به همین ترتیب، در مسیر باری، تخمین ظرفیت قطارهای باری با دقتی بیشتر از قطارهای مسافری و تقریباً ۴۵٪ همراه بوده است. پیشنهاد نویسندگان برای سایر محققان این است که از دیگر الگوریتم‌ها، مانند الگوریتم شبکه عصبی، در پیش‌بینی ظرفیت بهره ببرند و میزان دقت آن الگوریتم را نیز بررسی کنند.

۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، که در انجام‌شدن این تحقیق کمک‌های فراوانی کردند و مرکز سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی تشکر و قدردانی می‌کنند.

۶- منابع

بهرام مرادی سلوشی؛ علیرضا وفایی نژاد؛ حسین آقامحمدی زنجیرآباد؛ علی اصغر آل شیخ،

- Abril, M.F., Barber, L., Ingolotti, M., Salido, P.T. & Lova, A., 2008, **An Assessment of Railway Capacity**, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(5), PP. 774-806.
- Armstrong, J. & Preston, J., 2017, **Capacity Utilisation and Performance at Railway Stations**, Journal of Rail Transport Planning & Management, 7(3), PP. 187-205.
- Balan, B., Mohaghegh, S. & Ameri, S., 1995, **State of Art in Permeability Determination from Well Log Data: Part 1- a Comparative Study**, Model Development SPE, 30978-17 P. 25.
- Bolouri, S., Vafaeinejad, A., Alesheikh, A. & Aghamohammadi, H., 2018, **The Ordered Capacitated Multi Objective Location-Allocation Problem for Fire Stations**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(2), P. 44.
- Burdett, R.L., 2015, **Multi-Objective Models and Techniques for Analysing the Absolute Capacity of Railway Networks**, European Journal of Operational Research, 245(2), PP. 489-505.
- Burdett, R.L., 2016, **Optimisation Models for Expanding a Railway's Theoretical Capacity**, European Journal of Operational Research, 251(3), PP. 783-797.
- Burdett, R.L. & Kozan, E., 2006, **Techniques for Absolute Capacity Determination in Railways**, Transportation Research Part B: Methodological, 40(8), PP. 616-632.
- Dicembre, A. & Ricci, S., 2011, **Railway Traffic on High Density Urban Corridors: Capacity, Signalling and Timetable**, Journal of Rail Transport Planning & Management, 1(2), PP. 59-68.
- Harrod, S., 2009, **Capacity Factors of a Mixed Speed Railway Network**, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 45(5), PP. 830-841.
- Jamili, A., 2018, **Computation of Practical Capacity in Single-Track Railway Lines Based on Computing the Minimum Buffer Times**, Journal of Rail Transport Planning & Management, 8(2), PP. 91-102.
- Jensen, L.W., Landex, A., Nielsen, O.A., Kroon, L.G. & Schmidt, M., 2017, **Strategic Assessment of Capacity Consumption in Railway Networks: Framework and Model**, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 74. PP. 126-149.
- Kaleybar, H.J., Kojabadi, H.M., Fazel, S.S. & Foiadelli, F., 2018, **An Intelligent Control Method for Capacity Reduction of Power Flow Controller in Electrical Railway Grids**, Electric Power Systems Research, 165, PP. 157-166.
- Krueger, H., 1999, **Parametric Modeling in Rail Capacity Planning**, Paper Presented At The WSC'99. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings, Simulation-A Bridge To The Future (Cat. No. 99CH37038).
- Landex, A., 2007, **Capacity Statement for Railways**, Paper presented at the 2007 Annual Transport Conference at Aalborg University.
- Landex, A., Kaas, A.H. & Nielsen, O.A., 2008, **Methods to Estimate Railway Capacity and Passenger Delays**, Technical University of Denmark (DTU).
- Landex, A., Kaas, A.H., Schittenhelm, B. & Schneider-Tilli, J., 2006, **Practical Use of the UIC 406 Capacity Leaflet by Including Timetable Tools in the Investigations**, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 88.
- Li, F., Gao, Z., Wang, D.Z., Liu, R., Tang, T., Wu, J., & Yang, L., 2017, **A Subjective Capacity Evaluation Model for Single-Track Railway System with δ -Balanced Traffic and λ -Tolerance Level**, Transportation Research Part B: Methodological, 105, PP. 43-66.
- Lindner, T., 2011, **Applicability of the Analytical UIC Code 406 Compression Method for Evaluating Line and Station Capacity**, Journal of Rail Transport Planning & Management, 1(1). PP. 49-57.
- Mussone, L. & Calvo, R.W., 2013, **An Analytical Approach to Calculate the Capacity of a Railway System**, European

- Journal of Operational Research, 228(1), PP. 11-23.
- Odolinski, K. & Boysen, H.E., 2019, **Railway Line Capacity Utilisation and Its Impact on Maintenance Costs**, Journal Of Rail Transport Planning and Management, 9, PP. 22-33.
- Riejos, F.A.O., Barrena, E., Ortiz, J.D.C. & Laporte, G., 2016, **Analyzing the Theoretical Capacity of Railway Networks with a Radial-Backbone Topology**, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 84, PP. 83-92.
- Sameni, M.K., Landex, A. & Preston, J., 2011, **Developing the uic 406 Method for Capacity Analysis**, Paper Presented At The 4th International Seminar On Railway Operations Research.
- Suyabatmaz, A.Ç. & Şahin, G., 2015, **Railway Crew Capacity Planning Problem with Connectivity of Schedules**, Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review, 84, PP. 88-100.
- UIC Leaflet 406, Capacity**, 2004, International Union of Railways.
- Vafaiejad, A., 2017, **Dynamic Guidance of an Autonomous Vehicle with Spatio-Temporal GIS**, Lecture Notes in Computer Science, PP. 502-511.
- Vafaiejad, A., 2018, **Design and Implementation of a Dynamic GIS with Emphasis on Navigation Purpose in Urban Area**, Computational Science and Its Applications- ICCSA, PP. 667-675.
- Vafaiezhad, A.R., Alesheikh, A. & Nouri, J., 2010, **Developing a Spatio-Temporal Model of Risk Management for Earthquake Life Detection Rescue Team**, International Journal of Environmental Science and Technology, 7(2), PP. 243-250.
- Yi, S., 2018, **Strengthening of the Railway Transport Capacity**, In S. Yi (Ed.), Principles Of Railway Location And Design (PP. 473-534), Academic Press.
- Zhao, L., Zhao, Y., Hu, Q., Li, H. & Stoeter, J., 2018, **Evaluation of Consolidation Center Cargo Capacity and Locations for China Railway Express**, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 117, PP. 58-81.
- Zheng, Y., Zhang, X., Bin, X. & Linli, W., 2011, **Carrying Capacity Reliability of Railway Networks**, Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 11(4), PP. 16-21.