فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۲، شماره ۳، بهار ۱۴۰۰، ص. ۴۹۳-۵۱۱

مقاله پژوهشی

توسعه مدلهای پیش بینی ظرفیت بزرگراه های چهارخطه بین شهری ایران

مهدی فلاح تفتی (مسئول مکاتبات)، دانشیار ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد؛ ایران

آرمان قدوسی، دانش آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

E-mail: fallah.tafti@yazd.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۴

چکیده

بزرگراه‌های چهار خطه بخش عمده‌ای از شبکه راه‌های برون شهری ایران را شامل می شوندو ظرفیت یک پارامتر مهم در بررسی شرایط و وضعیت ترافیکی آنها بویژه با در نظر گرفتن شرایط و رفتار رانندگی حاکم بر آنها در این کشور می باشد. هدف از این تحقیق، مقایسه عملکرد مدلهای برآورد ظرفیت ارائه شده توسط آئین نامه های تعدادی از کشورهای دیگر که برای تحلیل ظرفیت بزرگراههای ایران نیز کم و بیش مورد استفاده قرار گرفته اند، توسعه مدلهای جدید برای پیش بینی ظرفیت در صورت لزوم و بالاخره، شناسائی پارامترهای مؤثر بر ظرفیت این نوع راهها بوده است. برای این منظور در یک مطالعه تجربی، اطلاعات ترافیکی، هندسی و محیطی مربوط به ۳۲ سایت مناسب از بزرگراه‌های چهار خطه کشور جمع‌آوری و در تحلیل ظرفیت این نوع راهها مورد استفاده قرار گرفتند. بررسی و مقایسه نتایج حاصله با داده های میدانی نشان داد که نتایج حاصله از آیین‌نامه‌های کشورهای آمریکا، آلمان و اندونزی از دقت کمی برخوردار است. نتایج بدست آمده از توسعه دو مدل پیش بینی ظرفیت شبکه عصبی و رگرسیون خطی نشان داد که این دو مدل به ترتیب نتایج دقیق تری را نسبت به این آئین نامه ها ارائه می دهند همچنین نتایج حاصله از تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده نشان داد که عرض سواره‌رو ، اصطکاک جانبی ناشی از فعالیتهای مجاور راه و میزان تند و طولانی بودن شیب طولی، تأثیرگذارترین عوامل بر ظرفیت این نوع راه‌ها می‌باشند. از مدلهای ساخته شده، برای تحلیل ظرفیت بزرگراه‌های چهار خطه برون شهری ایران می توان استفاده نمود.

واژه های کلیدی: ظرفیت راهها، ظرفیت بزرگراههای چهار خطه، مدلهای پیش بینی ظرفیت، مدل رگرسیونی خطی چندگانه ، مدل شبکه عصبی

۱. مقدمه

اطلاع از ظرفیت بالقوه راهها در کنار پیش بینی تقاضـــای آتی، به مهندســین ترافیک اجازه می‌دهد که طراحی‌ها و برنامه ریزی‌های تسهیلات جاده ای را به نحو مناسبی انجام دهند. در صورتی که برآورد مهندســین از ظرفیت تســهیلات جاده ای کمتر از مقدار واقعی آنها باشد، ظرفیت تسهیلات فراهم شده بیشتر از حد مورد نیاز خواهد بود که موجب اتلاف ســرمایه‌ها و منابع می‌شــود. از ســوی دیگر، برآورد اضــافی ظرفیت راهها ســبب می‌شــود که تســهیلات طراحی شــده جوابگوی تقاضــای ترافیک نباشــند. در شــبکه راههای شــریانی و اصــلی بین شــهری کشــور ایران، بزرگراه‌های چهار خطه بخش عمده‌ای از این شبکه را شامل می شوند. بنابراین، برآورد ظرفیت این نوع بزرگراه‌ها با در نظر گرفتن شــرایط و رفتار رانندگی حاکم بر آنها در کشــور ایران به منظور برنامه‌ریزی احداث بزرگراه های جدید و مدیریت بزرگراههای موجود لازم است.

تا کنون مطالعه ای در رابطه با بررســی ظرفیت بزرگراههای بین شــهری در ایران گزارش نشــده اســت. از این روســت که در بسیاری از مسائل مرتبط با طراحی و تحلیل ظرفیت این نوع راهها در ایران، عموما نتایج و روشهای ارائه شده در **آیین** نامه‌های دیگر کشــورها مورد اســتفاده قرار می گیرد. این در حالی اســت که در بسیاری از مطالعات انجام‌گرفته در خصوص ظرفیت راهها در پاره ای از کشورهای دیگر مانند چین، اندونزی و تایلند، این واقعیت مشخص شده است که تحلیل ظرفیت، بدون داشتن شناختی از رفتار رانندگان هر کشــور، منجر به ارائه نتایجی غیرواقعی و نامناسب خواهد شد [Bang and Heshen, 2000]. بنابراین در بررســی وضــعیت ترافیکی بزرگراه‌ها و ظرفیت آن ها، در نظر گرفتن رفتار رانندگان بسیار مهم است .

با توجه به متفاوت بودن رفتار رانندگان، شرایط فیزیکی و محیطی بزرگراههای جدا شــده بین شــهری کشــور ایران با بزرگراه‌های موجود درکشورهای دیگر منجمله کشور آمریکا که آئین نامه آن بطور گســترده ای در ایران مورد اســتفاده قرار می گیرد، ارزیابی میزان دقت آئین نامه ســایر کشــورها برای شــرایط بزرگراهی کشــور ایران، شــناســائی عوامل موثر بر ظرفیت بزرگراههای ایران و در صــورت لزوم، توســعه مدلهای پیش بینی ظرفیت برای بزرگراههای ایران ضروری به نظر می‌رسد که در این مقاله به آنها پرداخته شده است.

۲. مرور ادبیات مرتبط با این تحقیق

تعدادی از تحقیقات گذشــته به بررســی تاثیر رفتار رانندگی بر ظرفیت بزرگراهها پرداخته اند. به عنوان نمونه، روتوانزین و چوچرکول (۲۰۰۵) پس از بررســی برخی بزرگراه‌های شــهر بانکوک تایلند، این‌گونه نتیجه گرفت که برای طراحی و تحلیل بزرگراه‌های این شــهر، اســتفاده مســتقیم از روابط و نتایج آیین‌نامه‌های کشــورهای غربی نتایج نامناســبی در پی خواهد داشت، چراکه تسهیلات جاده‌ای با شرایط هندسی مشابه، در کشورهای مختلف ممکن است دارای ظرفیت‌های متفاوتی باشند [Rotwannasin and Choocharukul, 2005] . اکچلیک (۲۰۰۸) نیز در بررسی رابطه بین رفتار رانندگی و ظرفیت راهها، نحوه رفتار رانندگان را مهم‌ترین پارامتر تعیین‌کننده ظرفیت ذکر کرده است [Akcelik, 2008].

تعداد دیگری از محققین نیز در مطالعات خود به بررسی تاثیر پارامترهای ترافیکی و مشخصات هندسی راههای بین شهری بر ظرفیت آنها پرداخته اند. در این میان، آرســن و آرکتکار (۲۰۱۱)، با بررســی اثرات ترکیب ترافیک، عرض راه، میزان و طول شــیب در کشــور هند، به این نتیجه رســیدند که ظرفیت بزرگراه به طور مشخص با تغییر ترکیب ترافیک ، عرض راه و میزان شیب طولی تغییر می‌کند[Arasan and Arkatkar, 2011]. بهارادواج و

همکاران (۲۰۱۸) نیز در یک مطالعه موردی بر روی بزرگراه بین شهری مهاتما گاندی در مسیر احمدآباد – ودودارا در کشور هند به این نتیجه رسیدند که عرض شانه های روسازی شده کناره راه در صورتی که به عنوان یک خط عبور اضطراری قابل استفاده باشند و نیز ترکیب ترافیک تا حد زیادی ظرفیت این نوع راهها را تحت تاثیر قرار می دهند [Bharadwaj, et al. 2018].

تاثیر فعالیتها و کاربریهای پیرامون مسیر راههای شهری و بین شهری بر ظرفیت آنها نیز مورد توجه تعدادی از محققین بویژه در کشورهای در حال توسعه قرار گرفته است. به عنوان نمونه، رائو و همکاران (۲۰۱٦) در تحقیقات خود تاثیر اصطکاکی فعالیتها و عوامل کنار جاده ای مانند پارک خودروها، حضور عابرین پیاده و برقراری ارتباط بین کاربریهای مجاور راه با ترافیک راه را مورد بررسی قرار دادند. آنها ضمن توجه به اینکه این فاکتور در راهنمای ظرفیت کشورهای توسعه یافته مورد توجه قرار نگرفته است، نشان دادند که این فاکتور بر ظرفیت راه و سرعت ترافیک در آن تاثیر منفی دارد [Rao et al. 2016].

کتاب راهنمای ظرفیت راهها یا HCM[1] (۲۰۱٦) که در کشور آمریکا به‌عنوان مرجع اصلی و در در مقیاس وسیعی در سایر کشورهای دنیا به عنوان یکی از مراجع مهم تحلیل ظرفیت راهها مورداستفاده قرار می‌گیرد، عوامل هندسی و ترافیکی متعددی چون عرض خط و شانه، شیب طولی، تعداد خطوط راه و سرعت آزاد[2] را به‌عنوان پارامترهای مؤثر در ظرفیت تسهیلات جاده‌ای به کار برده است. در این راهنما، سرعت آزاد خود تابعی از عرض خط، تراکم دسترسی راههای جانبی و فواصل آزاد جانبی می باشد[TRB, 2010]. سمیدا (۲۰۱۳) در مطالعات خود، ٤٥ سایت مختلف در راه‌های کشور مصر را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه، پارامترهای هندسی شامل عرض خط، عرض باند سواره، عرض میانه، فواصل آزاد جانبی، تعداد خطوط در هر جهت و وجود دسترسی جانبی در هر مقطع مورد توجه قرار گرفتند. وی همچنین اطلاعات ترافیکی شامل سرعت جریان آزاد[6] را استخراج و برای حذف تاثیر شرایط جوی، شرایط آب وهوایی را خوب و فاقد بارندگی در نظر گرفت. وی در فرآیند ساخت مدلهای رگرسیون پیش بینی ظرفیت خود، دو پارامتر عرض باند سواره و تعداد خطوط را به دلیل همبستگی کم حذف نمود و در پایان، پارامترهای عرض خط، فواصل آزاد جانبی ، عرض میانه، وجود دسترسی جانبی ، درصد وسایل نقلیه سنگین به عنوان پارامترهای تأثیر گذار برای مدل نهائی در نظر گرفته شدند [Semida, 2013]. مدل کلی ظرفیت حاصله در مطالعه وی به شرح رابطه (۱) می باشد.

$$C = 818.17 - 358.2 \times SA + 371.1 \times LW \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق: SA= وجود دسترسی جانبی(۱ در صورت وجود، صفر بدون دسترسی) و LW= عرض هر خط عبور (متر) می باشند. سمیدا همچنین با بررسی مدل های شبکه عصبی در رابطه با ظرفیت راه‌های بین‌شهری مصر به این نتیجه رسید که مدل‌های شبکه عصبی نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های رگرسیون در تخمین ظرفیت ارائه می دهند [Semida, 2013].

یانگ و ژانگ (۲۰۰۵) با بررسی گسترده میدانی جریانهای ترافیکی شبکه راههای شهر پکن در چین، تاثیر تعداد خطوط راهها بر ظرفیت آنها را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در راههای با جریان ترافیکی پیوسته، میانگین ظرفیت هر خط با افزایش تعداد خطوط کمی کاهش می یابد و پیشنهاد نمودند که این موضوع در تحلیل ظرفیت راهها مورد توجه قرار گیرد [Yang and Zhang, 2013].

ابطحی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های کلان و خرد ترافیکی (نرخ تردد، سرعت متوسط مکانی، سرفاصله زمانی وسایل نقلیه) ظرفیت خطوط بزرگراهی تحت شرایط جریان ترافیکی پیوسته را محاسبه و با مقدار ظرفیت پیشنهادی راهنمای

ظرفیت راههای آمریکا مقایسه کرد.ند نتایج تحقیقات آنها نشان داد که درصد بسیار بالایی از رانندگان ایران در حین فرآیند دنباله‌روی، حداقل سرفاصله زمانی ۲ ثانیه را رعایت نمی‌کنند که این امر نشانگر رفتار ریسک‌پذیر بخش عظیمی از جامعه رانندگان ایرانی است. این رفتار هرچند ظرفیت خطوط را افزایش می دهد ولی درعین‌حال سبب کاهش ایمنی و افزایش احتمال خطر تصادف می شود[Abtahi, et al. 2010]

از میان آئین نامه های مهم دیگر محا سبه ظرفیت راهها که در ایران تا حدودی شناخته شده اند، می توان به آیین نامه اندونزی و آیین نامه آلمان اشاره کرد. در آیین نامه اندونزی ظرفیت با در نظر گرفتن پارامترهای عرض خط، نوع همواری منطقه،عرض شانه و اصطکاک جانبی راه محاسبه می گردد. در این آئین نامه، پارامتر اصطکاک جانبی به منظور انعکاس وضعیت پیرامونی راهها از حیث نوع کاربری و فعالیتی آنها و اصطکاک جانبی ناشی از آن تعریف شده است [Indonesian Directorate General of Highways, 1997]. در آیین نامه آلمان، ظرفیت با در نظر گرفتن پارامتر های تعداد خطوط هر باند بزرگراه، محدودیت سرعت، در صد و سایل نقلیه سنگین در ترکیب ترافیک، طول و درصد شیب راه محاسبه می گردد [FGSV, 2015].

بر مبنای مرور ادبیات ارائه شده در این بخش می توان نتیجه گرفت که یک پیش بینی مناسب از ظرفیت بزرگراههای چهار خطه برون شهری ایران بایستی با در نظر گرفتن عوامل رفتار رانندگی، پارامترهای هند سی و م شخ صات ترافیکی م سیر انجام شود. در این رابطه لازم است که در ابتدا بررسی شود که آیا میزان دقت آئین نامه های شناخته شده کشورهای دیگر مانند آئین نامه های آمریکا، آلمان و اندونزی صرف نظر از تفاوت رفتار رانندگی آنها با کشور ایران همچنان دارای دقت قابل قبولی هستند یا خیر. همچنین ضرورت توسعه مدلهای مناسب که ترکیب عوامل یاد شده را در بر گرفته باشند و ارزیابی عملکرد آنها احساس می شود. بالاخره لازم است که از در چارچوب فرآیند این مدل‌سازیها، پارامترهای دارای اهمیت و تاثیر بیشتر بر ظرفیت بزرگراههای ایران شناسائی شوند. در این مقاله سعی شده است که به موارد فوق پرداخته شود.

۳. روش تحقیق

۳-۱ مقدمه

در این مطالعه، ابتدا داده های مربوط به پارامترهای هندسی، ترافیکی و محیطی از ۳۲ سایت منتخب بزرگراهی ٤ خطه کشور به شرح زیر جمع آوری شدند. سپس، مدلی برای پیش‌بینی ظرفیت برای بزرگراههای دوبانده چهارخطه بین شهری بر اساس پارامترهای هندسی، ترافیکی و محیطی آنها ارائه‌شده است. با بررسی اطلاعات تردد و سرعت متوسط در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای ساعت اوج، تعدادی از مقاطع این نوع راهها در سطح کشور که وضعیت ترافیکی آن‌ها به سطح سرویس E و F می‌رسید، انتخاب‌شدند. با بررسی روند تغییرات سرعت – تردد در کل مقاطع موردمطالعه، ظرفیت راه برابر با حداکثر نرخ جریان در مرز سطوح سرویس E و F مشخص شده است. سپس، اطلاعات جمع‌آوری شده برای بررسی ارتباط بین ظرفیت راه به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای هندسی، ترافیکی و محیطی به عنوان متغیرهای مستقل بکار رفته‌اند و درنهایت مدل مناسب برای پیش‌بینی ظرفیت این نوع راه‌ها ارائه‌شده است.

۳-۲ جمع آوری داده ها و اطلاعات مورد نیاز

۳-۲-۱ اطلاعات ترافیکی

با استفاده از سامانه تردد شماری برخط وزارت راه و شهرسازی محورهای بزرگراهی ٤ خطه در تمام استان‌های کشور شناسائی شدند. این اطلاعات با جستجوی محورهای ٤ خطه در هر استان در نرم افزار این سامانه بدست آمد. با توجه به قابلیت های این نرم افزار، ساعات اوج ترافیک نیز در این محورها استخراج

گردید. با مشخص شدن ساعت اوج هر سایت و به منظور بررسی جزیی تر، وضـــعیت ترافیکی آن ســـایت در بازه های زمانی ۱۵ دقیقه ای ببه تفکیک برای وســـایل نقلیه مختلف و نیز باندهای رفت و برگشـــت اســـتخراج گردید. در بررســـی جزیی داده های آماری این محورها به منظور شـــناســـائی ســـایتهائی که به نقطه ظرفیت می ر سند، شرایط آب و هوایی، شرایط مکانی و خطای تردد شـــماری آنها نیز مورد توجه قرار گرفت و درنهایت یک نمونه ۳۲ تائی از ســـایتهای مناســـب از بین کل محورهای بزرگراهی٤ خطه کشور شناسائی و انتخاب شدند، موقعیت مکانی این سایت‌ها و کد محل اختصاص داده شده به آنها برای تحلیل های بعدی در جدول ۱ ارائه شده است.

۳-۲-۲ اطلاعات هندسی و محیطی

با مشخص شدن سایتهای انتخابی، اطلاعات هندسی و محیطی آنها شـامل عرض سـواره رو، فواصـل آزاد جانبی، طول شـیب، درصـد شـیب و شـرایط محیطی پیرامون راه در آنها اسـتخراج گردید.

اطلاعات هندسی هر سایت شامل عرض سواره رو و فواصل آزاد جانبی عمدتا از طریق تماس با ادارات راه و ترابری استانها و نیز تماس با شرکت های نصب کننده سیستم تردد شماری سایت مربوطه اخذ شدند.

وضـعیت پسـتی و بلندی و شـیب طولی سـایتهای انتخابی بزرگراهی، با بررسی درصد و طول شیب قبل و بعد از تردد شمار در آن سایت مشخص گردید. محاسبه شیب طولی در سایتهای انتخابی با استفاده از نرم افزار گوگل ارث [۳] و انتخاب گزینه ترسیم پروفیل طولی و بردا شت شیب صورت گرفت. با ضرب نمودن طول شیب بر حسب متر در درصد شیب طولی در هر سایت (با منظور نمودن علامـت مثبـت برای ســـرازیری و منفی برای ســـربالائی)، پارامتر میزان تند و طویل بودن شـــیب طولی در آن سایت بر حسب درصد–متر محاسبه گردید.

جدول ۱. مختصات مکانی و جغرافیایی ۳۲ کد محل نهایی

کد محل	نام محور	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	شهرضا- اصفهان	٥۱/۸٤٤۲	۳۲/۲۰۰۸
۲	اصفهان- شهرضا	٥۱/۸٤٤۲	۳۲/۲۰۰۸
۳	رشت- خمام (رو به روی تعاونی مصرف کارکنان امکان)	٤۹/٦۱٦۹	۳۷/۳۳۳٤
٤	خمام-رشت (رو به روی تعاونی مصرف کارکنان امکان)	٤۹/٦۱٦۹	۳۷/۳۳۳٤
٥	کوچصفهان-رشت (رشت آباد)	٤۹/۷۳۳۳	۳۷/۲٦٦۸
٦	رودسر- لنگرود (روستای چینی جان)	٥۰/۱۳۱۷	۳۷/۱۸۸٤
۷	رشت-فومن (کیلومتر ٥، ملاسرا)	٤۹/٤٥۱۲	۳۷/۲٦۷۸
۸	آمل-محمودآباد (کیلومتر ۳ محمودآباد به بابل)	٥۲/۲٦۹۰	۳٦/٦۰۷۷
۹	فریدون کنار- محمود آباد (کیلومتر ۱۰ محمودآباد به فریدون کنار)	٥۲/٤۷۲۷	۳٦/٦۷٦٥
۱۰	فریدون کنار- بابلسر (کیلومتر ٥ بابلسر به فریدون کنار، خزرشهر)	٥۲/٦۲۷۹	۳٦/٦۹٦۲
۱۱	صوفیان- تبریز	٤٦/۱۳۳۰	۳۸/۱٥۱۰
۱۲	ارومیه-سلماس(کیلومتر ۱۱ جاده سلماس)	٤٥/۰٤۷٥	۳۷/٦۷۱۳
۱۳	سرو-ارومیه (کیلومتر ۲ ارومیه)	٤٥/۰٥۱۷	۳۷/٥۸٥۹
۱٤	همدان- صالح آباد (کیلومتر ۱٥ همدان)	٤۸/٤۰٦۹	۳٤/۸۸٦۰
۱٥	بیستون-سه راهی هرسین (کیلومتر ۷ بیستون)	٤۷/۳٦۱۹	۳٤/۳٦۱۹

کد محل	نام محور	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱۶	سه راهی بیستون–هرسین (کیلومتر ۷ بیستون)	٤٥/٠٤٧٥	۳۷/٦۷۱۳
۱۷	سپیدان– شیراز (۲کیومتر بعد از گویم)	٥۲/۳۸۲۷	۲۹/۸۳۸۰
۱۸	شیراز–سپیدان (۲ کیلومتر بعد از گویم)	٥۲/۳۸۲۷	۲۹/۸۳۸۰
۱۹	شیراز–کازرون(کیلومتر ۱۵ شیراز)	٥۲/۲۹۷۷	۲۹/٦۱۸۹
۲۰	کازرون– شیراز (کیلومتر ۱۵ شیراز)	٥۲/۲۹۷۷	۲۹/٦۱۸۹
۲۱	تفت – ابرکوه	٥٤/۱۲٦۱	۳۱/۷۳۰٥
۲۲	سریندان–آب سرد (۱۰۰ متر مانده به روستای جابان)	٥۲/۲٤۷۲	۳٥/٦۳۹۸
۲۳	قزوین–کرج (کمال شهر)	٥۰/۸٤۷۲	۳٥/۸۷٥۸
۲٤	دماوند– رودهن	٥۱/۹۳٥٥	۳٥/۷۲۲۷
۲٥	قم–سلفچگان (طرلاب)	٥۰/٦۳۷۰	۳٤/٥٥۲۰
۲٦	سلفچگان– قم (سنبل آباد)	٥۰/٦۳۷۰	۳٤/٥٥۲۰
۲۷	اراک–سلفچگان (۳۰ کیلومتری اراک)	٤۹/۹٦٥۱	۳٤/۱۳۳۷
۲۸	قزانچی–کرمانشاه (کیلومتر ۱۵ کرمانشاه)	٤۷/۰۲۰۲	۳٤/٤۳۸۸
۲۹	کرمانشاه–قزانچی (کیلومتر ۱۵ کرمانشاه)	٤۷/۰۲۰۲	۳٤/٤۳۸۸
۳۰	یزد–تفت (۳/٦ کیلومتر بعد از پل تقوی به سمت تفت)	٥٤/۲۷٥۳	۳۱/۸۲۷۲
۳۱	یزد–مهریز (کیلومتر ۱٤یزد)	٥٤/٤٦۰٦	۳۱/٦٥۰۲
۳۲	یزد–مهریز (کیلومتر ۱٤ یزد)	٥٤/٤٦۰٦	۳۱/٦٥۰۲

برای برر سی منطقه از نظر تعداد راه‌های د ستر سی و تعداد دوربرگردان، محدوده ۱ کیلومتر قبل و بعد از تردد شمار برر سی گردید. همچنین، وضعیت شرایط محیطی پیرامونی هر سایت اعم از توسعه نیافته، مسکونی، روستایی وحومه شهری و همچنین بررسی میزان فعالیت در کنار راه اعم از حمل ونقل محلی و فعالیت‌های تجاری بررسی گردید. خلاصه اطلاعات هندسی و محیطی مربوط به ۳۲ محل انتخابی نهائی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. خلاصه اطلاعات هندسی و محیطی ۳۲ سایت انتخابی

پارامترهای هندسی	حداکثر	حداقل
عرض سواره‌رو	۸ متر	٦/٥ متر
مجموع فواصل آزاد جانبی آسفالتی	۳/٥ متر	۰
مجموع فواصل آزاد جانبی آسفالتی و خاکی	٦ متر	۲ متر
اصطکاک جانبی راه	خیلی زیاد (٥)	خیلی کم (۱)
درصد شیب	شیب سربالائی (فراز) ٦/٥ درصد	شیب سرازیری ٦ درصد

۳-۳ تحلیل داده های میدانی

۳-۳-۱ تعیین ظرفیت ترافیک در هرسایت

با توجه به آمار سامانه تردد شماری، حدود ساعات اوج ترافیک سایتهای مورد بررسی طی سالهای ۱۳۸۹ الی ۱۳۹٤ شناسائی شد. سپس ضمن بررسی تردد، سرعت متوسط و درصد وسایل نقلیه سنگین در ساعات اوج، داده‌های پرت و غیر منطقی که نا شی از وجود اشکال در کارکرد دستگاه تردد شمار در پاره ای از بازه های زمانی بودند، حدف شدند. پس از م شخص شدن ساعات اوج در تمامی محورها، محورهای با تردد جهتی بیشتر از ۲۰۰۰ و سیله نقلیه در ساعت، برای برر سی بیشتر انتخاب شدند. دلیل انتخاب چنین آستانه پایین برای نرخ تردد این بود که در برخی از

محورها، نوسانات تردد در طی ساعت اوج زیاد بوده و تنها در بخشی از آن تردد راه به حد ظرفیت رسیده بود.

از آنجا که در این مطالعه، بررسی ظرفیت در شرایط جوی مساعد مد نظر بود، برای جلوگیری از تاثیر شرایط جوی مانند باران و رطوبت که بر ظرفیت راهها تاثیر گذارند [Broujerdian et al. 2016] ، تمامی داده‌های مورد ا ستفاده در روزهای کاملاً صاف و آفتابی ا ستخراج گردید. پس از م شخص شدن ساعات اوج، با مراجعه به پایگاه جهانی هوا شنا سی[4]، شرایط جوی مقاطع بزرگراهی در تاریخهای مورد نظر بررسی گردید. بدین ترتیب داده‌هایی که مربوط به روزهای غیر آفتابی و بارانی بودند، حذف شدند.

برای جلوگیری از وارد شدن اثرات ترافیکی غیر عادی در نواحی خاصی چون رابطها، راه دسترسی، دوربرگردان و یا ایستگاه پلیس راه، سایتهائی که محل تردد شمار در نزدیکی چنین نواحی قرار داشتند، حذف شدند. به عنوان نمونه، برای جلوگیری از اثرات کاهش سرعت وسایل نقلیه قبل از رسیدن به پلیس راه و بعد از آن، سایتهائی که تردد شمار در فا صله ۱۰۰۰ متری قبل و بعد از پلیس راه قرار داشتند حذف شدند.

دوره زمانی متداول برای تحلیل ظرفیت راه معمولاً ۱۵ دقیقه ا ست [TRB, 2010].با م شخص شدن ساعات اوج برای هر محور، سرعت متو سط، تردد و سایل نقلیه و در صد و سایل نقلیه سنگین در بازه‌های ۱۵ دقیقه ای مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به نمودار تیپ تغییرات سرعت – تردد ، با افزایش تردد، سرعت متوسط تا رسیدن به نقطه ظرفیت کاهش پیدا می‌کند. پس از آن با رسیدن به نقطه ظرفیت و افزایش حجم تقاضا، کاهش سرعت با کاهش تردد همراه خواهد بود. بنابراین با بررسی بازه‌های ۱۵ دقیقه ای متوالی در ساعات اوج محورها، محورهایی که به سطح سرویس E و F رسیده بودند، انتخاب شدند.

۳-۳-۲ تبدیل احجام وسایل نقلیه به معادل سواری

برای تخمین ظرفیت در هر سایت، ضریب معادل سواری برای انواع وسایل نقلیه مورد نیاز می باشد. این ضریب با تغییر شیب و مشخصات هندسی بزرگراه تغییر می‌کند . در این تحقیق ابتدا مقدار ظرفیت بزرگراه در هر سایت با استفاده از منحنی های تردد– سرعت آن سایت بر حسب و سله نقلیه در ساعت تخمین زده شد. سپس با ا ستفاده از ضرائب معادل سواری محاسبه شده برای آن سایت، بر مبنای ضوابط آیین نامه طرح هندسی راهها (نشریه ش ٤١٥)، به معادل سواری بر ساعت تبدیل گردید. ضریب هم ارزی برای محورهایی که شیب خیلی طولانی و یا خیلی تند ندارند، از جدول۷–۲۳ نشریه ٤١٥ و برای سربالایی‌های با شیب های خیلی طولانی و با خیلی تند از جدول۷–٢٤ این نشریه تعیین شده است. این ضریب، برای سرپایینی‌های با شیب خیلی طولانی و یا خیلی تند نیز از جدول ۷–٢٦ نشریه ٤١٥ تعیین شده است [MPORG, 2012].

۳-۳-۳ محاسبه ظرفیت بر حسب معادل سواری بر ساعت

ظرفیت راه (در مرز سطوح سرویس E و F) بر حسب حداکثر تعداد وسایل نقلیه ای که از یک نقطه از راه را در یک زمان مشخص عبور می‌کنند، بیان می‌شود. با تبدیل حجم ترافیک وسایل نقلیه در بازه‌های ۱۵ دقیقه ای به واحد معادل سواری، حداکثر حجم ترافیک معادل سواری برای تمامی محورها مشخص گردید و سپس به معادل ساعتی تبدیل شد تا نرخ تردد یا شدت جریان حداکثر که متناظر با ظرفیت بزرگراه در آن شرایط می باشد بدست آید . بدین ترتیب ظرفیت یک باند دوخطه بر حسب معادل سواری بر ساعت در تمامی سایتهای انتخابی مشخص گردید .نتایج برآورد ظرفیت برای ۳۲ سایت بزرگراهای انتخابی در جدول ۳ ارائه شده است.

۳-۳-٤ محاسبه سرعت جریان آزاد

سرعت جریان آزاد، سرعت متوسط وسایل نقلیه سبک در شدت جریان کمتر از ۱۳۰۰ وسیله نقلیه سبک در ساعت در خط است . سرعت جریان آزاد اندازه گیری شده میدانی، به ضرایب اصلاحی نیاز ندارد [MPORG , 2012] در این تحقیق، با رسم نموگرام سرعت – تردد اندازه گیری شده میدانی در هر کدام از سایتهای مورد بررسی، سرعت آزاد در ۳۲ سایت مورد مطالعه مشخص گردید. این نتایج در جدول ۳ نشان داده شده اند.

جدول ۳ . ظرفیت و سرعت آزاد برآورد شده برای سایتهای انتخابی

کد محل	تعداد وسیله نقلیه سبک	تعداد وسیله نقلیه سنگین	ضریب هم ارزی وسیله	ظرفیت یک خط در یک جهت	سرعت آزاد (کیلومتر بر
۱	٦٨٧	٥٥	١/٥	٣٠٤٢	١٠٠
٢	٦٦٧	٥٠	١/٥	٢٩٠٤	٩٤
٣	٩١٣	٣٦	١/٥	٣٨٦٠	٨٥
٤	٨٨٣	٢١	١/٥	٣٦٥٨	٨٧
٥	٨٥٦	١٧٧	١/٥	٤٤٨٦	٨٤
٦	٧٥٩	٢٣	١/٥	٣١٧٤	٨٨
٧	٧١٧	٣٨	١/٥	٣٠٩٦	٨٠
٨	٩٩١	٧٤	١/٥	٤٤٠٨	٩١
٩	٩٨٧	٥٨	١/٥	٤٢٩٦	٩١
١٠	٧٣١	١٨	١/٥	٣٠٣٢	٩٢
١١	٩٣٨	٢٧	١/٥	٣٩١٤	٩٢
١٢	٩٠٣	٢٤	١/٥	٣٧٥٦	٨٨
١٣	٨٧٣	٣٩	١/٥	٣٧١٤	٩٧
١٤	٨١٦	٥٥	١/٥	٣٥٩٤	٩٨
١٥	٧١٥	٣٤	١/٥	٣٠٦٤	٩٠
١٦	٨٧٠	٤٢	١/٥	٣٧٣٢	٨٨
١٧	٨٤٠	٨٥	١/٥	٣٨٧٠	٩٥
١٨	٩٣١	٢٧	١/٥	٣٨٨٦	٩١
١٩	٥٩٥	٤٨	٣/٧٥	٣١٠٠	٧٨
٢٠	١٠٠٤	٤٠	١/٥	٤٢٥٦	٨٩
٢١	٨٣٦	١٣	٢/٥	٣٤٧٤	٩٠
٢٢	٨٤٦	٤٩	١/٥	٣٦٧٨	٩٦
٢٣	٩٠٨	٢٤	١/٥	٣٧٧٦	٨٨
٢٤	١١٨٨	٤٠	١/٥	٤٧٩٢	٩٤
٢٥	٩٢١	٢٨	١/٥	٣٨٥٥	٩٠
٢٦	٨٣٦	١٨	١/٥	٣٤٥٠	١٠٠
٢٧	٩٤٤	١٨	١/٥	٣٨٨٢	١٠٠
٢٨	٩٦٠	٦٠	١/٥	٤٢٠٠	٩٠
٢٩	٩٧٩	١٠٢	١/٥	٤٥٢٨	٩٢
٣٠	٩٢١	١٩	٢/٥	٣٨٧٤	٩٣
٣١	٩١٧	٢٥	١/٥	٣٨١٨	١٠٠
٣٢	١٠٦١	٢٢	١/٥	٤٣٧٦	١٠٠

۳-۳-۵ اصطکاک جانبی راه

با توجه به اینکه در مجاورت تعدادی از بزرگراههای کشور بویژه در نواحی حومه شهری و در بزرگراههای شمال کشور، کاربری هائی شـــکل گرفته اند که بر عملکرد ترافیکی آنها تاثیر گذار هستند، تشخیص داده شد که شاخص تراکم تقاطعها به تنهائی شاخص مناسبی برای نشان دادن اصطکاک جانبی با محیط اطراف راه نیست و بهتر است از رویکردی مشابه با آئین نامه اندونزی در این رابطه اســـتفاده گردد. در آئین نامه کشـــور اندونزی، مطابق با جدول ٤، پنج نوع درجه بندی برای انعکاس وضـــعیت پیرامونی راهها و اصـــطکاک جانبی ناشـــی از آن تعریف شـــده اســـت [Indonesian Directorate General of Highways, 1997].

جدول ٤. درجه بندی اصطکاک جانبی راه بر اساس شرایط پیرامونی راه

[Indonesian Directorate General of Highways, 1997]

شرایط پیرامونی راه	درجه اصطکاک
بدون دسترسی و یا دسترسی خیلی کم، توسعه‌نیافته، بدون فعالیت در کنار جاده	خیلی کم
مناطق با دسترسی‌های کم، چندین ساختمان کنار هم	کم
مناطق روستایی، فعالیت کم کنار جاده و حمل‌ونقل محلی	متوسط
مناطق روستایی و فعالیت‌های تجاری در اطراف راه و تعداد دسترسی‌های زیاد	زیاد
تقریباً شهری، مناطق روستایی، یا حومه شهری، فعالیت زیاد در کنار جاده، دسترسی‌های زیاد	خیلی زیاد

٤. ساخت مدلهای پیش بینی ظرفیت

٤-١ مدل رگرسیون

قبل از آغاز فرآیند مدلسازی داده ها با استفاده از آنالیز رگرسیون لازم است که از نرمال بودن داده های مورد استفاده اطمینان حاصل شود. برای این منظور از معیارهای چولگی، کشیدگی و نیز آزمون شاپیرو-ولک[٥] استفاده شد. چولگی معیاری از تقارن یا عدم تقارن تابع توزیع است. برای یک توزیع کاملاً متقارن، چولگی برابر صفر و برای یک توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بیشتر از میانگین، چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر کوچکتر از میانگین، مقدار چولگی منفی است. در حالت کلی چنانچه چولگی و کشیدگی در بازه (٢ ، ٢-) نباشند داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار نیستند. با استفاده از نرم افزار SPSS میزان چولگی و کشیدگی متغیرها بررسی گردید. این مقادیر در جدول ٥ ارائه شده است. این نتایج نشان می دهد که مقادیر چولگی و کشیدگی برای تمامی متغیرها در بازه (٢ ، ٢-) قرار دارد و بنابراین توزیع متغیرها از توزیع نرمال تبعیت می کند.

همچنین با توجه به محدود بودن سایز نمونه داده ها و برای حصول اطمینان بیشتر از نرمال بودن توزیع داده ها، آزمون شاپیرو- ولک نیز بر روی داده ها انجام گرفت. چنانچه سطح معناداری در این آزمون بیشتر از ٠/٠٥ باشد می توان داده‌ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد. در جدول ٦ نتایج حاصله از آزمون شاپیرو- ولک بر روی داده ها ارائه شده است. همانگونه که از این جدول ملاحظه می شود، نتایج آزمون شاپیرو-ولک برای دو تا از متغیرها ارضاء نشده است. لکن مقدار سطح معناداری این دو متغیر تنها کمی کمتر از سطح بحرانی شده و از طرف دیگر مقادیر دو شاخص دیگر یعنی چولگی و کشیدگی برای همه متغیرها در دامنه قابل قبول (٢و٢-) قرار گرفته اند. بنابر این، با در نظر گرفتن مجموعه نتایج این آزمونها می توان نتیجه گرفت که توزیع داده های مربوط به متغیرهای مورد استفاده نرمال و یا نزدیک به نرمال می باشد.

مدلسازی ظرفیت در این روش با کمک نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای بررسی ارتباط بین ظرفیت به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای هندسی ، محیطی و ترافیکی به‌عنوان متغیرهای مستقل در یک مدل رگرسیون خطی به کار رفتند. در مدل رگرسیون خطی، پارامترهای عرض خط، طول شیب، اصطکاک جانبی، مجموع فواصل آزاد جانبی (آسفالتی)، مجموع فواصل آزاد جانبی (خاکی و آسفالتی) و سرعت آزاد به‌عنوان متغیر مستقل و ظرفیت به‌عنوان متغیر وابسته به نرم‌افزار معرفی گردید. در این تحقیق از روش همزمان برای مدلسازی رگرسیون خطی پیش بینی ظرفیت استفاده شده و ٣ مدل رگرسیونی به شرح زیر ساخته شدند.

در مدل اول، از بین دو متغیر مجموع فواصل آزاد جانبی (آسفالتی) و مجموع فواصل آزاد جانبی (خاکی و آسفالتی) که کاملا از هم مستقل نیستند، تنها متغیر مجموع فواصل آزاد جانبی (خاکی و آسفالتی) در نظرگرفته شد. نتایج تحلیل آماری این مدل، سطع معنی داری بسیار پایینی را برای دو متغیر مجموع عرض فواصل آزاد جانبی (خاکی و آسفالتی) و متغیر ثابت مدلسازی نشان داد.

جدول ۵. نتایج تحلیل آماری داده ها

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار داده ها	چولگی	کشیدگی
ظرفیت	۳۷۷۳,۳	۲۹۰٤,۰	٤۹۹۲,۰	۵۰٦,۹۱	۰,۱۸۷.	-۰,۲۱٦
عرض خط	۷,۳٤	٦,۵	۸,۵	۰,٤۷۸	۰,٦۳۱	-۰,۰۹۹
عرض شانه آسفالتی	۲,۰۷۵	۰,۰	٤,۵	۱,۱۸	-۰,۳۰۲	-۰,۵۹٦
اصطکاک جانبی	۲,٤۷	۱,۰	۵,۰	۱,۳۲	۰,۹۲٦	-۰,۱۵٦
قدر مطلق میزان تند و طولانی بودن شیب طولی	۱٤۸۲,٤	۰,۰	۷۰۰۰,۰	۱۹۵۸,۹	۱,۵٤٦	۱,۵۸۳

جدول ٦. نتایج آزمون شاپیرو-ولک بر روی داده ها

متغیر	Sig.	Df
ظرفیت	۰,۲٤٤	۳۲
عرض خط	۰,۰٤۱	۳۲
عرض شانه آسفالتی	۰,۰۷٦	۳۲
اصطکاک جانبی	۰,۰۵۸	۳۲
میزان تند و طولانی بودن شیب طولی	۰,۰۲۳	۳۲

بنابراین، این دو متغیر در مدل دوم حذف گردیدند. در مدل دوم که با استفاده از متغیرهای مستقل باقیمانده ساخته شد، سطع معنی داری پایینی برای متغیر سرعت آزاد بدست آمد. لذا در مدل سوم، این متغیر نیز حذف گردید. مدل رگرسیونی سوم یا مدل نهایی انتخابی شامل ٤ متغیر عرض خط، میزان تند و طولانی بودن شیب طولی، اصطکاک جانبی و مجموع عرض فواصل آزاد جانبی آسفالتی است. جزئیات نتایج تحلیل آماری این ۳ مدل در جدول ۷ ارائه شده است. در این جدول از آماره های برازش مدل رگرسیونی ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین(R^2)، ضریب تعیین تعدیل شده (R^2 تعدیل شده) و خطای استاندارد استفاده شده است. مقادیر بالاتر بدست آمده برای ضریب همبستگی، ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدل شده و نیز خطای استاندارد پائین تر حاصله برای مدل ۳ نسبت به دو مدل دیگر حاکی از همبستگی قویتر بین مقادیر ظرفیت مشاهده شده و پیش بینی شده از این مدل و نیز قابلیت پیش بینی دقیق تر ظرفیت توسط این مدل نسبت به دو مدل دیگر می باشد.

بر مبنای نتایج تحلیل آماری مدل نهایی پیش بینی ظرفیت، ارائه شده در جدول ۸، معادله ریا ضی پیش بینی ظرفیت در مدل نهائی انتخابی به شرح رابطه (۲) زیر می باشد.

$$C=524.4W+.09S-182.486F+191.925W_S \quad (2)$$

که در رابطه فوق:

C : ظرفیت باند دو خطه مورد نظر (معادل سواری بر ساعت)

W : عرض کل سواره رو (متر)

S : میزان تند و طولانی بودن شیب طولی مسیر (متر – درصد شیب طولی، شیب سربالایی (فراز) علامت منفی و شیب سرپایینی علامت مثبت)

F : درجه اصطکاک جانبی (۱خیلی کم، ۵ خیلی زیاد)

W_S : مجموع فوا صل آزاد جانبی آ سفالتی طرفین باند سواره رو (متر)

جدول ۷ . نتایج تحلیل آماری سه مدل رگرسیون پیش بینی ظرفیت

مدل	R	R^2	R^2 تعدیل شده	خطای استاندارد مدل (veh/h)
۱	۰/۸۳۵	۰/٦۹۷	۰/٦۳۱	۳۲۵/۰۷
۲	/۹۱۰	۰/۸۲۸	۰/۸۰۲	۲۲۷/٦۲
۳	۰/۹۱۱	۰/۸۲۹	۰/۸۰٤	۲۱۵/۵۹

جدول ۸ نتایج تحلیل آماری مدل نهایی پیش بینی ظرفیت

	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد		Sig
	خطای استاندارد	B	Beta	t value	
عرض	۱۳/۱۵٦	۵۲٤/٤۱۹	۱/۰۱۷	۳۹/۸٦۰	۰/۰۰
میزان تند و طولانی بودن شیب طولی	۰/۰۱٦	۰/۰۹۰	۰/۰۵۸	۵/٦۱۳	۰/۰۰
اصطکاک جانبی	۳۰/۹۵٦	-۱۸۲/٤۸٦	-۰/۱۳٤	-۵/۸۹۵	۰/۰۰
مجموع عرض فواصل آزاد جانبی آسفالتی	۳۹/۰۷۹	۱۹۱/۹۲۵	۰/۱۱۵	٤/۹۱۱	۰/۰۰

٤-١-١ درصد اهمیت هر یک از پارامترها

با اســـتفاده از نتایج تحلیل داده ها در نرم افزار SPSS ، درصـد اهمیت هر یک از متغیرهای مسـتقل در مدل نهائی شـامل میزان تند و طولانی بودن شـیب طولی، اصـطکاک جانبی، عرض سواره رو و مجموع فواصل آزاد جانبی در ظرفیت پیش بینی شده محا سبه گردید. این ضرایب به ترتیب ۲۹، ۲۹، ۳۲ و ۱۰ در صد بدست آمدند (شکل ۱).

٤-١-٢ مقایسه نتایج مدل رگرسیون با مقادیر واقعی

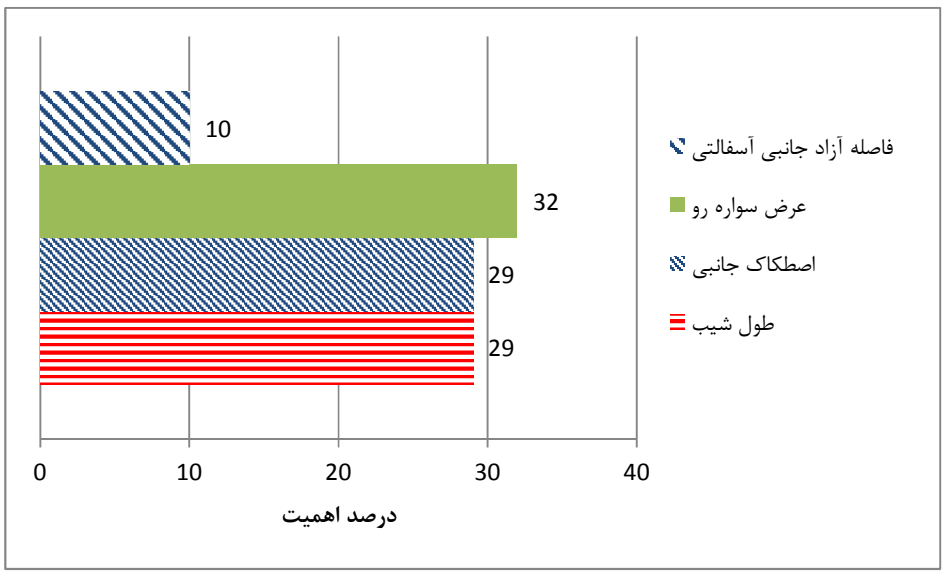
در شـکل ۲ مقادیر پیش بینی شـده ظرفیت با مقادیر واقعی مشـاهده شـده در شـرایط متناظر مقایسـه شـده‌اند . محور افقی ظرفیت پیش بینی شـده مدل رگرسـیون و محور قائم، ظرفیت مشـاهده شـده را نشـان می دهد. بر مبنای نتایج ارائه شـده در جدول ۷، خطای اسـتاندارد در مدل نهایی پیش بینی ظرفیت برابر با ۲۱۵ معادل سواری در ساعت می باشد.

٤-٢ ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی

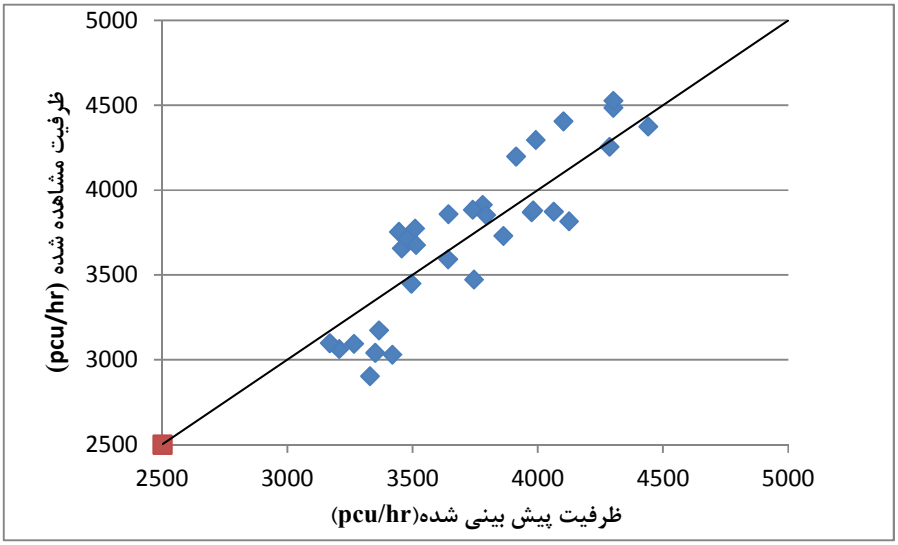
٤-٢-١ فرآیند مدلسازی

در ابتدای فرایند مدلسازی، مدلهای شبکه عصبی پیشرو پس انتشار[٦] با تعداد نورون های متفاوت در لایه پنهان ساخته شده و بهترین آرایش سـاختاری مدل مشـخص گردید و سـپس، مدل سـازی نهایی با تعداد نورون تعیین شـده برای لایه پنهان انجام گردید.

فرآیند آموزش شـبکه با اسـتفاده از الگوریتم لنبرگ–مارکودرات[٧] انجام گرفت. این الگوریتم توسط نرم افزار متلب[٨] به عنوان گزینه اول پیشـنهادی، به دلیل داشـتن قدرت و دقت بالا پیشـنهاد گردیده اسـت. بنابراین با توجه مبانی الگوریتم لنبرگ–مارکودرات، عملکرد شـبکه نیز با اسـتفاده از شـاخص میانگین مجذور خطا[٩] (MSE) ویا جذر میانگین مجذور خطا[١٠] (RMSE) بررسی گردید.



شکل ۱. درصد اهمیت متغیرهای نهایی مدل پیش بینی ظرفیت



شکل ۲. نمودار مقایسه ظرفیت پیش بینی شده با ظرفیت مشاهده شده در مدل رگرسیون

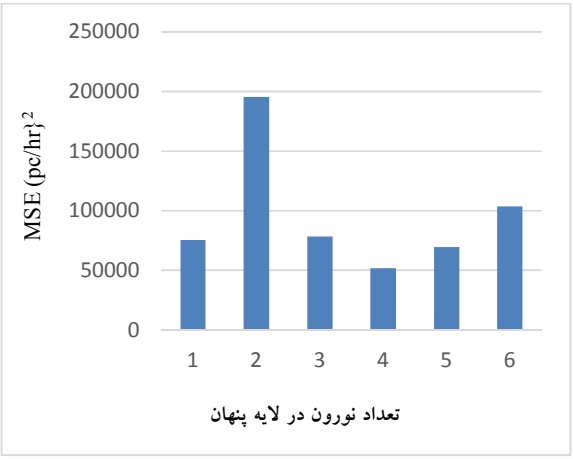
در فاز آموزش شبکه ع صبی ، ۷۰ در صد از داده ها بعنوان داده‌های آموزش، ۱۵ درصد دیگر به عنوان داده تست و ۱۵ درصد باقیمانده به عنوان داده‌های اعتبار سنجی در نظر گرفته شدند. این نسبت به عنوان پیش فرض نرم افزار متلب جهت آموزش، تست و اعتبارسنجی شبکه عصبی پیشنهاد شده است [MathWorks, 2014]

در فرآیند آموزش، چون مقدار دهی اولیه وزن‌های شبکه ت صادفی ا ست، عملیات آموزش شبکه ۱۵ بار تکرار شد تا تاثیر مقادیر وزن اولیه ناچیز گردد. برر سیهای اولیه ن شان داد که مقادیر وزن شبکه پس از این تعداد تکرار به یکدیگر نزدیک شده و دیگر نیازی به تکرار شدن بیشتر نیست، بدین ترتیب، به ازای هر تعداد نورون فرض شده برای لایه پنهان ، ۱۵ بار آموزش شبکه انجام گرفت و نتایج حاصله میانگین گیری شد. به عنوان یک قاعده سرانگشتی پیشنهاد شده است که تعداد نورون بهینه در لایه میانی یا لایه پنهان بین کمترین و بیشترین تعداد متغیر ورودی در نظر گرفته شود [Heaton, 2010]. بنابراین، تعداد نورون ها برای لایه میانی از ۱ تا ٦ نورون مورد بررسی قرار گرفت.

بر این ا ساس، مدلهای شبکه ع صبی با ٦ حالت متفاوت از تعداد نورون های لایه پنهان تست گردیدند و به ازای هر کدام از این حالات، ۱۵ بار شبکه آموزش داده شده و نتایج آن میانگین گیری گردید.

٤-۲-۲ بهترین تعداد نورون عملکرد شبکه عصبی در حالت آموزش

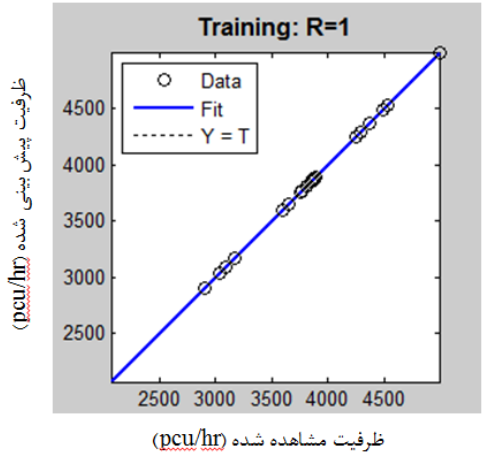
با بررسی مدلهای ساخته شده با تعداد ۱ الی ٦ نورون در لایه پنهان، مدل شبکه عصبی با بهترین عملکرد در حالت آموزش مشخص گردید. طبق شکل ۳، بهترین حالت عملکرد شبکه عصبی با ٤ نورون بدست آمد که در آن مقدار میانگین مجذور خطا برابر با ۵۲۰۳۱ مجذور معادل سواری در ساعت و جذر میانگین مجذور خطا برابر با ۲۲۸ معادل سواری در ساعت است



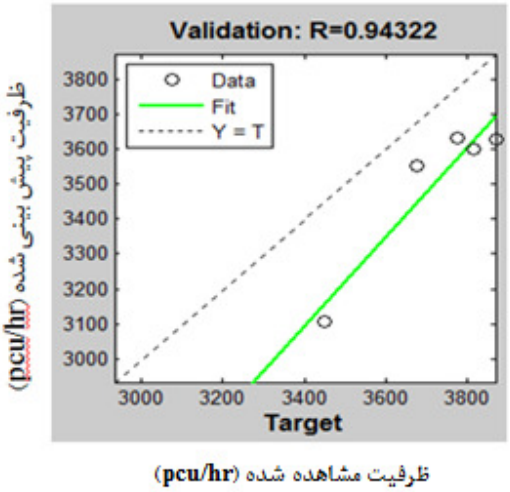
شکل۳ . عملکرد شبکه در حالت آموزش و با تعداد نورون‌های متفاوت در لایه پنهان

٤-٢-٣ ارزیابی شبکه

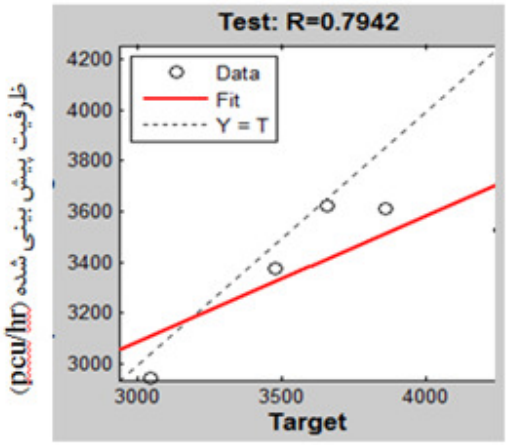
در این مرحله، عملکرد مدل شبکه عصبی در ۳ حالت آموزش، تست، ارزیابی و نیز در حالت کلی مورد بررسی قرار گرفت. شکلهای ٤ الی ٦ میزان انطباق مقادیر ظرفیت مشاهده شده با ظرفیت پیش بینی شده متناظر در هرکدام از این حالات را نشان می دهد. همانگونه که در این شکلها نشان داده شده است، پارامتر R برای سه حالت آموزش،تست و اعتبارسنجی به ترتیب ۱، ۰/۷۹ و ۰/۹٤ اندازه گیری شده است.



شکل ٤. پیش بینی ظرفیت در حالت آموزش



شکل ٥. پیش بینی ظرفیت در حالت اعتبار سنجی

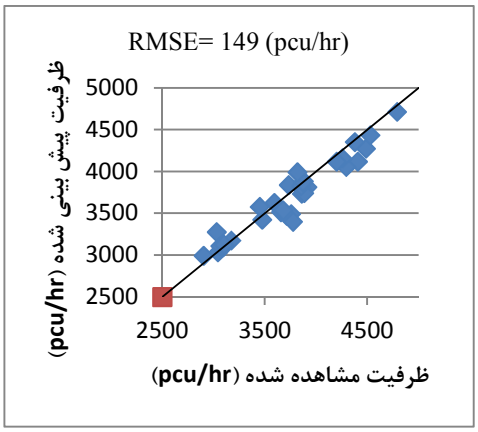


شکل ٦ . پیش بینی ظرفیت در حالت تست

٤-٢- ٤ مقایسه نتایج مدل شبکه عصبی با مقادیر واقعی

در شکل ۷ مقادیر پیش بینی شده ظرفیت با مقادیر واقعی برای کل داده های موجود مقایسه شده‌اند و مقدار اختلاف ظرفیت واقعی با ظرفیت پیش بینی شده توسط مدل شبکه عصبی محاسبه گردیده است. ضریب R^2 در این حالت ۰/۹۳ و ضریب R^2 تصحیح یافته ۰/۸۳و میزان جذر میانگین مربعات خطای مشاهده

شده یا RMSE برابر با ۱۴۹ معادل سواری می باشد. مقایسه این نتایج با نتایج شاخصهای مشابه حاصله برای مدل رگرسیون خطی (جدول ۷) حاکی از عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی نسبت به مدل رگرسیون خطی است.



شکل ۷ . مقایسه ظرفیت حاصله از مدل شبکه عصبی با ظرفیت واقعی در حالت کلی به ازای همه داده ها

٤-۳ مقایسه نتایج حاصله از مدلهای ساخته شده با روشهای آئین نامه ای

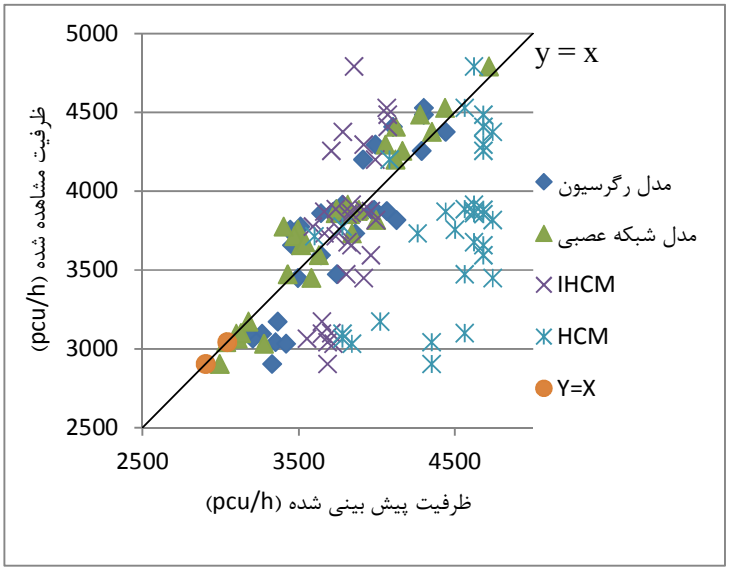
در این بخش، مقادیر محاسبه شده ظرفیت در ۳۲ کدمحل مورد مطالعه با مقادیر پیشنهادی توسط سه آیین نامه ظرفیت بزرگراه‌های اندونزی (IHCM) ، آلمان و توسط آیین نامه های آمریکا (HCM) در این شرایط مقایسه شده است.

در آیین نامه اندونزی ظرفیت بر اساس پارامترهای عرض خط، نوع همواری منطقه،عرض شانه و اصطکاک جانبی راه محاسبه می گردد.

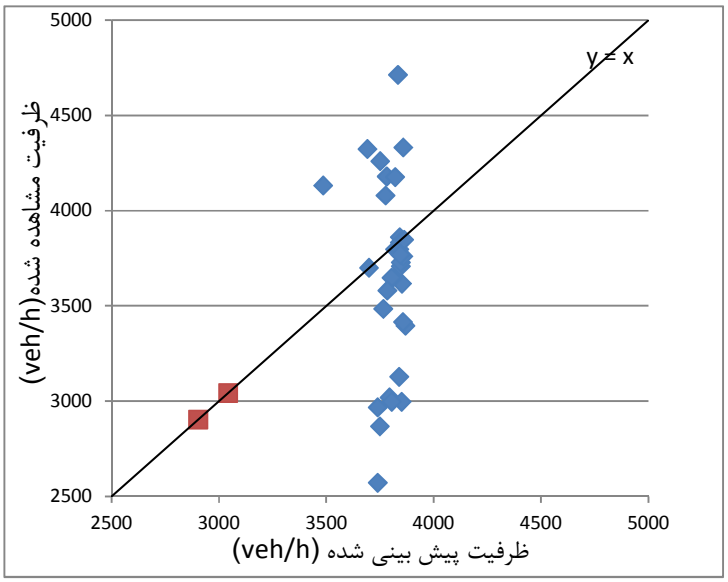
مقایسه مقادیر ظرفیت پیش بینی شده توسط آیین نامه های آمریکا و اندونزی و همچنین مدلهای رگرسیون و شبکه عصبی توسعه یافته در این مطالعه با مقادیر مشاهده شده میدانی در شرایط مشابه در شکل ۸ نشان داده شده است. همچنین، مقایسه مقادیر ظرفیت پیش بینی شده آیین نامه آلمان با مقادیر مشاهده شده میدانی در شرایط مشابه در شکل ۹ نشان داده شده است. دلیل ارائه جداگانه نتایج مربوط به آئین نامه آلمان این است که برخلاف رو شهای دیگر، نتایج حاصله از این آئین نامه برحسب وسیله نقلیه برساعت ارائه شده است. خطای RMSE نتایج مقایسه هر یک از آیین نامه ها و مدل های پیش بینی ارائه شده در این مطالعه در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۹ نشان می دهد که دقت مدل های شبکه عصبی و مدل رگرسیون در پیش بینی ظرفیت این سایتها خیلی بیشتر از مدل های پیشنهادی آئین نامه های کشورهای دیگر است.

جدول ۹. مقایسه خطای RMSE برای نتایج آیین نامه های مختلف و مدل های پیش بینی توسعه یافته

مدل پیشبینی / آیین نامه	RMSE (pcu/hr)
مدل رگرسیون (pcu/hr)	۲۳۳
مدل شبکه عصبی(pcu/hr)	۱٤۹
آیین نامه اندونزی (pcu/hr)	٤۱٥
آیین نامه آلمان (veh/hr)	٤۹۷
آیین نامه آمریکا (pcu/hr)	۷۹٦



شکل ۸ . مقایسه نتایج ظرفیت آیین نامه های مختلف و مدل های پیش بینی با ظرفیت واقعی



شکل ۹. مقایسه نتایج ظرفیت حاصله از آیین نامه آلمان با ظرفیت واقعی

مقایسه مقادیر ظرفیت واقعی در ۳۲ کدمحل مورد مطالعه و مقادیر به دست آمده از سه آیین نامه نشان می‌دهد که ظرفیت بزرگراهی بین شهری در ایران تفاوت چشمگیری با ظرفیت به دست آمده از آیین نامه‌های مورد بررسی دارد. همان طور که از شکل ۸ مشخص است، آیین نامه HCM آمریکا، غالباً ظرفیت‌های خیلی بیشتری از مقدار واقعی ظرفیت بزرگراهی در ایران را نشان می‌دهد.

در آیین نامه اندونزی، مقادیر ظرفیت سایتهای مورد بررسی در دامنه ۳۵٦۲ تا ٤۰٦۸ معادل سواری در ساعت پیش بینی شده اند. این در حالی است که که ظرفیت بسیاری از مقاطع بزرگراهی در ایران کمتر از ۳۵۰۰ و یا بیش از ٤۱۰۰ معادل سواری در ساعت است. در مقایسه نتایج حاصل از این آئین نامه با دو آئین نامه دیگر، خطای کلی پیش بینی های ظرفیتهای حاصله از این آئین نامه نسبت به مقادیر متناظر مشاهده شده کمتر است.

ظرفیت به دست آمده از آئین نامه آلمان نیز تفاوت چشم گیری با مقادیر ظرفیت بزرگراهی ایران دارد.مقادیر ظرفیت‌های به دست آمده طبق این آیین نامه در دامنه ۳۰۰۰ تا ٤۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت است. نتایج ارائه شده در شکل ۹ نشان می دهد که این آئین نامه نیز، ظرفیتها را در دامنه محدودتری نسبت به مقادیر مشاهده شده میدانی در بزرگراههای ایران پیش بینی می نماید.

شایان ذکر است که مدلهای پیشنهادی در این تحقیق، ظرفیت را برحسب وسایل نقلیه معادل سواری برآورد می کنند و تاثیر وسایل نقلیه سنگین را می توان با استفاده از ضرائب معادل سواری پیشنهاد شده در آئین نامه ایران که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته اند، منظور نمود. همچنین در این تحقیق به علت در دسترس نبودن داده های مربوط به نوع رانندگان (تفریحی یا کاری روزمره) از تاثیر این فاکتور صرفنظر شده است که در تحقیقات آتی می تواند مورد توجه قرار گیرد.

۵. نتیجه گیری

بررسی و مقایسه نتایج حاصله با داده های میدانی نشان می دهد که میزان جذر میانگین خطای (RMSE) حاصله از بکارگیری آئین نامه های اندونزی، آلمان و آمریکا در مقایسه با مدل رگرسیون توسعه یافته در این مطالعه به ترتیب ۷۸٪، ۱۱۳٪ و ۲٤۲٪ بیشتر بوده است. همچنین میزان جذر میانگین خطای حاصله از بکارگیری آئین نامه های اندونزی، آلمان و آمریکا در مقایسه با مدل شبکه عصبی توسعه یافته به ترتیب ۱۷۸٪، ۲۳۳٪ و ٤۳٤٪ بیشتر بوده است. این نتایج نشان می دهد که آیین‌نامه‌های این کشورها را نبایستی عینا برای محاسبه ظرفیت در مقاطع بزرگراهی ایران به کاربرد زیرا نتایج این آیین نامه ها در محاسبه ظرفیت، از دقت کمی برخوردار اند. این نتایج، اهمیت توسعه مدلهای ملی برای تحلیل ظرفیت راههای کشور را نشان می‌دهد.

در مقایسه بین دو مدل توسعه یافته در این مطالعه، مدل شبکه عصبی، با ٥٦٪ جذر میانگین خطای کمتر، نتایج بهتری را نسبت به مدل رگرسیون چندگانه خطی نشان داد و به عنوان مدل برتر شناسائی گردید.

همچنین نتایج حاصله از تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده نشان داد که عرض سواره‌رو ، اصطکاک جانبی ناشی از فعالیتهای مجاور راه و میزان تند و طولانی بودن شیب طولی، تأثیرگذارترین عوامل بر ظرفیت راههای بزرگراهی ایران می‌باشند.

٦. پی نوشتها

1- Highway Capacity Manual
2- Free Flow Speed
3- Google Earth
4- www.weathear.org
5- Shapiro-Wilk Test
6- Feedforward-Backpropogation
7- Levenberg-Marquadrat
8- MATLAB
9- Mean Square Error (MSE)
10- Root Mean Square Error (RMSE)

۷. مراجع

- Akcelik, R. (2008) "The relationship between capacity and driver behavior", TRB National Roundabout Conference, Kansas City, U.S.A.

- Arasan, V. T. and Arkatkar, S. S. (2011) “Derivation of capacity standards for intercity roads carrying heterogeneous traffic using computer simulation”, Procedia 16, pp.218–229.

- Bang, K. L. and Heshen, A. (2000) "Development of capacity guidelines for road links and intersections for Henan and Hebei Provinces, PRC", in Proceeding of 4th International Symposium on Highway Capacity, Hwaii, USA, pp. 287-298.

- Bharadwaj, N., Mathew, S., Pani, A., Arkatkar, S., Joshi, G. and Ravinder, K. (2018) “Effect of traffic composition and emergency lane on capacity: a case study of intercity expressway in India”, Journal of Transportation Letters, Vol. 10, No. 6, pp. 316-332.

- FGSV (2015) “Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)”, Edition 2015, (German Highway Capacity Manual). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Road and Transport Association), Cologne.

- Heaton, J. (2008) “Introduction to Neural Networks with Java”, 2nd Ed., Heaton Research, Inc.

- Indonesian Directorate General of Highways (1997) “Indonesian Highway Capacity Manual”, Department of Public Works, Directorate General Highways, Jakarta, Indonesia.

- MathWorks Inc. (2014) “MATLAB. Neural Network Toolbox”, MathWorks Inc, Natick, MA, USA.

- Rao, A. M., Velmurugan, S. and Lakshmi, K. M. V. N. (2017) “Evaluation of influence of roadside frictions on the capacity of roads in Delhi, India”, Transportation Research Procedia 25C, pp. 4775–4786.

- Rotwannasin, P. and Choocharukul, K. (2005) “Transferability of HCM to Asian Countries: An exploratory evidence from Bangkok’s multilane highways”, Proceedings of the 3rd International SIIV Congress, Bari, Italy.

- Semida, A. (2013) “New models to evaluate the level of service and capacity for rural multi-lane highways in Egypt”, Alexandria Engineering Journal, Vol. 52, No. 3, pp. 455-466.

- Transportation Research Board. (2010) "Highway capacity manual", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A.

- Yang, X. and Zhang, N. (2005) “The marginal decrease of lane capacity with the number of lanes on highway”, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp. 739 – 749.

- ابطحی، سید مهدی ، تمنایی، مجید، و کرمانشاهی، شهاب‌الدین (۱۳۸۹) "تحلیل ظرفیت مقاطع پایه بزرگراهی"، پژوهشنامه حمل‌ونقل، سال هفتم، شماره سوم. ص. ۲۰۵-۲۱۴.

- بروجردیان، امین میرزا، ابراهیمی، مسعود (۱۳۹٦) "بررسی تاثیر شرایط جوی و بارندگی بر سرعت جریان آزاد و ظرفیت تردد در آزادراهها: (مطالعه موردی آزادراه تهران – قم)"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی حمل و نقل، سال هشتم، شماره جهارم، ۵۰۱-٤۸۵.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۹۱) "آیین‌نامه طرح هندسی راه‌های ایران"، نشریه شماره ٤۱۵، معاونت نظارت راهبردی، امور نظام فنی، تهران، ایران.

مهدی فلاح تفتی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳٦۸ از دانشگاه علم و صنعت ایران و درجه کارشناسی ارشد در رشته عمران-راه و ترابری را در سال ۱۳۷۰ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۷۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی ترافیک از دانشگاه ولز-کاردیف انگلستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان شبیه سازی ترافیک، سیستمهای هوشمند حمل و نقلی، ایمنی ترافیک، کاربرد تکنیکهای هوش مصنوعی در حمل و نقل، روشهای مدیریت ترافیک و سیستمهای حمل و نقل عمومی بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه دانشیار در دانشگاه یزد است.

آرمان قدوسی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه خلیج فارس و درجه کارشناسی ارشد در رشته راه و ترابری در سال ۱۳۹۵ را از دانشگاه یزد اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان بررسی رفتار ترافیک در بزرگراهها و توسعه مدلهای پیش بینی ظرفیت راهها می باشد.