فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و یکم، شماره ۸۵ تابستان ۱۴۰۰، ص. ۲۰-۱۱

انتخاب مدل ظرفیت مناسب برای میدان‌های ایران مبتنی بر مدل‌های بین‌المللی

امید عباسی، کارشناس ارشد راه و ترابری دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

بهروز شیرگیر (مسئول مکاتبات)، دکترای راه و ترابری، استادیار گروه عمران دانشکده فنی مهندسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

روزبه ابراهیمی گلشن‌آبادی، دانشجوی کارشناس ارشد راه و ترابری دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

E-mail: Shirgir@khu.ac.ir

چکیده

میدان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای شبکه راه قابل‌توجه‌ترین تأثیرها را بر کاربران تحمیل می‌کنند، ازاین‌رو شناخت ظرفیت و معیارهای عملکرد (تأخیر و طول صف) در میدان‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها ضروری قلمداد می‌شود. محققان از سال‌های پیش به بررسی و پژوهش در این زمینه پرداخته‌اند و روش‌های مختلفی برای برآورد ظرفیت و معیارهای عملکرد ارائه کرده‌اند. در این پژوهش مروری جامع بر ارزیابی مدل‌ها و روش‌های مختلف موجود در دنیا برای تخمین ظرفیت میدان پرداخته شده و نتایج آن با داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۶ رویکرد میدان در استان البرز مقایسه شده است. همچنین یک مقایسه بین مدل‌های ظرفیت بین‌المللی و داده‌های ظرفیت رویکردهای مختلف میدان به عمل آمده است. به‌عنوان یک نتیجه کلی مدل‌های بین‌المللی ظرفیت ورودی رویکردهای انتخاب‌شده را کم‌تر تخمین زده و این پیش‌بینی‌ها برای خط راست ورودی در مقایسه با خط چپ ورودی کم‌تر نیز بوده است. پیش‌بینی‌ها به‌طورمعمول برای خط چپ نسبت به خط راست مناسب‌تر بوده است. از بین تمام مدل‌های بین‌المللی مدل HCM۲۰۱۶ تخمین‌های بهتری فقط برای حالت یک خط گردشی داشته و مدل نمایی NCHRP ۵۷۲ ظرفیت خط بحرانی از ورودی‌های چند خطه که با یک خط گردشی در تداخل است را بهتر پیش‌بینی کرده است.

واژه‌های کلیدی: میدان‌های مدرن، میدان نرمال، تقاطع‌های هم‌سطح، ظرفیت میدان

۱. مقدمه

امروزه به دلیل گسترش شهرها، افزایش جمعیت و توسعه شبکه حمل‌ونقل شهری، مشکلات و معضلات ترافیکی زیادی گریبان گیر شهرها شده است. وجود گره‌های ترافیکی، هوای آلوده، تأخیر زمان سفر، آلودگی صوتی و زیست‌محیطی و وجود تصادف‌ها ازجمله معضلات ترافیکی به شمار می‌آید. تسهیلات موجود در شبکه حمل‌ونقل ازلحاظ ترافیک به دودسته کلی جریان منقطع[۱] و غیر منقطع[۲] تقسیم‌بندی شده است. از تسهیلات جریان منقطع می‌توان به تقاطع‌های هم‌سطح اشاره کرد. تقاطع‌ها پیچیده‌ترین جزء هر سیستم راه و بزرگ‌راه محسوب می‌شوند. تقاطع‌ها را می‌توان بر اساس شکل ظاهری به تقاطع‌های سه‌راهی (T شکل)، چهارراهی، چندراهی و میدان تقسیم‌بندی نمود. میدان‌ها، تقاطع‌های به شکل کلی دایره‌ای هستند که در آن یک جداسازی مؤثر به‌واسطه جزیره مرکزی ایجادشده است. به‌طورکلی میدان‌ها نرخ کل تصادفات اعم از جرحی و خسارتی و به‌طور خاص نرخ تصادفات جرحی را در یک محدوده وسیع از شهری، حومه شهری و برون‌شهری را در مقایسه با سایر روش‌های قبلی کنترل ترافیک، بهبود داده و علاوه بر این، میدان‌های تک خطه دارای عملکرد ایمنی بهتری نسبت به میدان‌های چند خطه گزارش شده است. تعداد میدان‌های مدرن در آمریکا در دهه گذشته افزایش قابل‌توجهی داشته است. عملکرد مناسب ترافیکی ایمنی میدان‌ها در اروپا و استرالیا، منجر به افزایش استفاده از آن‌ها به‌عنوان یک جایگزین ارجح نسبت به تقاطع کنترل شده است.

مدل‌های ظرفیت برای میدان‌های مدرن در سال ۱۹۷۰ به‌طورمعمول از طریق تنوع رویکردهای تجربی و نیمه تجربی از تئوری‌های مربوط به اصول پذیرش فاصله یا شبیه‌سازی میکروسکوپیک تبعیت می‌کنند. برخی از این مدل‌ها، معادله‌ها را بیش از دقت داده‌شده آن‌ها در تکامل تدریجی طرح‌های میدان (مثال زده‌شده به‌واسطه معرفی میدان‌های فشرده و توربو)، مشخصات وسیله نقلیه و رفتار احتمالی راننده افزایش داده است. علاوه بر این مدل‌های ظرفیت اصلی بین‌المللی بر اساس رفتار رانندگان و تنوع وسایل نقلیه توسعه داده شده‌است؛ بنابراین مدل‌های بین‌المللی نسبت به داده‌های جمع‌آوری‌شده در هر منطقه، برای شرایط همان منطقه یا کشور توسعه‌یافته است. با توجه به محدودیت‌های موجود این پژوهش تنها به ۳ تقاطع میدان (٦ رویکرد ورودی) در استان البرز تمرکز شده است. به‌منظور جمع‌آوری داده‌های ترافیک و نبود دوربین‌های فیلم‌برداری نظارت راهنمایی و رانندگی و یا در دسترس نبودن این فیلم‌ها، طرح جمع‌آوری داده‌های ترافیک (جریان ورودی و گردشی میدان) با استفاده از دوربین به‌صورت فردی در چندین گروه در طول ساعت‌های اوج از رویکردهای مذکور انجام شد. از دیگر محدودیت‌های موجود در این مطالعه نبود میدان‌ها مطابق با استانداردها است، به‌گونه‌ای که در کل استان البرز تعداد میدان‌های مطابق با استانداردهای طراحی حداکثر به ۱۰ میدان می‌رسد.

۲. ادبیات پژوهش

میدان‌ها تقاطع‌های با شکل کلی دایره‌ای هستند که تحت حرکت‌های عملکردی ورودی و گردشی قرارگرفته است، در کشور آمریکا و همچنین ایران حرکت‌های گردشی به‌صورت پادساعت‌گرد است و حرکت‌های گردشی به دور یک جزیره مرکزی صورت می‌گیرد. میدان‌ها برای *FHWA* به دلیل ثابت شدن توانایی‌ها برای کاهش تصادف‌های شدید به‌طور میانگین ۸۰ درصد کاهش در اولویت باقی‌مانده‌اند، میدان‌ها به‌عنوان یکسری اقدام‌های ایمنی ثابت‌شده در تقاطع‌ها در نظر گرفته‌شده است. تعداد میدان‌های مدرن در کشور آمریکا در دهه گذشته افزایش قابل‌توجهی داشته است. موفقیت‌های بسیار، برای میدان‌ها در اروپا و استرالیا منجر به پذیرفتن میدان به‌عنوان یک جایگزین ارجح نسبت به کنترل تقاطع شده است.

ظرفیت در یک تقاطع به‌عنوان حداکثر تعداد وسایل نقلیه‌ای که در یک دوره زمانی داده‌شده در حالت‌های مختلف ترافیک و شرایط آب و هوایی عبور کند، تعریف‌شده است. همچنین

ظرفیت ذخیره تفاوت بین ظرفیت تقاطع و مقدار حجم ترافیک واقعی و بیان‌شده به‌واسطه تعداد وسایل نقلیه است. ظرفیت در تقاطع‌های میدان بیش‌تر از ظرفیت تقاطع‌های کنترل‌شده با چراغ در رویکردهای دوخطه و سه خطه برای هر درصد از ترافیک گردش چپ است.

اگرچه محدودیت‌های عملی در جمع‌آوری داده، طراحی رگرسیون و نمونه‌گیری تا حدودی از تنوع ذاتی صف‌ها، جریان‌ها، رفتار وسایل نقلیه و راننده نشات گرفته است. مراکز مختلفی برای توسعه در مدل‌سازی ظرفیت میدان موجود است؛ بنابراین چندین مدل ظرفیت قابل‌اعتماد در سراسر جهان توسعه‌یافته است که می‌تواند به‌واسطه سه روش مقدماتی طبقه‌بندی شود.

۱- مدل‌های رگرسیون بر اساس روابط بین هندسه و ظرفیت‌های واقعی اندازه‌گیری شده

۲- مدل‌های پذیرش فاصله بر اساس فهم رفتار راننده

۳- مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپیک بر اساس مدل‌سازی تعاملات و سینماتیک وسیله نقلیه

مدل‌های رگرسیون روابط بین نرخ جریان گردشی و ظرفیت را با استفاده از ظرفیت به‌عنوان یک متغیر وابسته و نرخ جریان گردشی به‌عنوان یک متغیر مستقل در هر یک از رویکردها توسعه خواهد داد. پارامترهای مدل رگرسیون با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده جریان ترافیک از میدان‌های واقعی تخمین زده‌شده‌اند. یک نرم‌افزاری RODEL که به‌واسطه انگلستان توسعه‌یافته، نماینده یک نوع مدل رگرسیون برای تخمین زدن ظرفیت در میدان‌ها است. این موضوع فرض شده که حداکثر نرخ جریان مجاز برای یک میدان نرخی است که وسایل نقلیه به‌طور پیوسته در رویکرد موردبررسی در صف هستند. در چنین مواردی جریان ورودی برای اشباع شدن موردتوجه است و ورودی‌های جریان میدان در طول یک دوره خاص (۱ دقیقه یا ۱۵ دقیقه و درنهایت ۱ ساعت) استخراج‌شده و به‌عنوان ظرفیت ورودی برای میدان تلقی خواهد شد. نقص اصلی برای این رویکرد این موضوع است که این رویکرد به‌اندازه زیادی بر داده‌های استفاده‌شده در ساخت مدل‌ها وابسته است و این ممکن برای برخی از داده‌ها محدود باشد.

مدل‌های رگرسیون از طریق تجزیه‌وتحلیل رگرسیون چند متغیره آماری برای روابط ریاضی مناسب بین ظرفیت ورودی اندازه‌گیری شده Q_e، جریان‌های گردشی Q_c و متغیرهای وابسته دیگر که اثر قابل‌توجهی بر ظرفیت ورودی دارند، ایجادشده است. رابطه بین Q_e و Q_c به‌طورمعمول به حالت خطی $(Q_e = \alpha - \beta Q_c)$ یا نمایی $(Q_e = \alpha e^{-\beta Q_c})$ فرض شده است. ظرفیت ورودی می‌تواند به‌طور مستقیم از مشاهده‌های جریان ورودی در طول حالت‌های صف‌بندی در ورودی اندازه‌گیری شود که به‌طورمعمول با جریان‌های گردشی متناظر در طول فاصله‌های زمانی از ۰/۵، ۱ دقیقه یا بیش‌تر ثبت‌شده‌اند. مدل‌های رگرسیون که با استفاده از داده‌های میدانی ازنظر آماری توسعه‌یافته‌اند، از روابط بین ویژگی‌های هندسی و معیارهای عملکردی مانند: ظرفیت مانندر نشأت گرفته است. مدل‌های رگرسیون به‌طورمعمول درزمانی که درک از ویژگی‌های رفتار رانندگان ناقص است، مورداستفاده قرارگرفته است. روش‌های ارائه‌شده در راهنمایی ظرفیت راه‌ها در فصل میدان یک ترکیب از رگرسیون‌های ساده و مدل‌های پذیرش فاصله برای هر دو میدان تک خطه و دوخطه است.

۱۳ میدان در بحرین برای توسعه مدل‌ها و مقایسه اهداف بین تنوع روش‌های آزمایش‌شده استفاده‌شده بودند. داده‌های هندسی از طرح‌های واقعی، عکس‌های هوایی مقیاس شده و از میدان جمع‌آوری‌شده بودند. داده‌های ترافیکی موردنیاز نیز در طول دوره‌های اوج جمع‌آوری‌شده بودند. این ۱۳ میدان آرایش‌های با دو تا سه خط ورودی و گردشی را پوشش می‌دهد. مدل‌ها بر اساس حداکثر جریان ورودی، توسعه‌یافته‌اند. مورد اول استفاده خواهد شد به‌عنوان متغیر وابسته درحالی‌که بعدی به‌عنوان یک متغیر مستقل است. داده‌ها در طول ساعت‌های اوج برای اطمینان از جریان بالا اشباع که ضروری

است برای توسعه مدل‌های ظرفیت جمع‌آوری‌شده بودند. علاوه بر این، این نوع داده‌ها یک اساس بهتر برای مقایسه با مدل‌های دیگر را فراهم می‌کنند. حداقل مربع مدل‌های رگرسیون برای توسعه مدل‌ها استفاده‌شده بودند. داده‌ها بر اساس روش‌های خطی، لگاریتمی، چندجمله‌ای، نمایی قدرتمند رگرسیون شده بودند. مدل‌ها با بهترین اصطلاح از بیش‌ترین مقدارهای R^2 برای نشان دادن داده‌ها انتخاب خواهند شد. این مدل‌ها چهار نوع اصلی بعدی را پوشش می‌دهند که شامل: مدل‌های خطی، لگاریتمی، نمایی و رگرسیون قوی است. مدل نمایی برای داده‌های آزمایش‌شده از سه خط ورودی و سه خط گردشی مناسب است، این مدل بهترین تا زمانی که با مدل‌های دیگر مقایسه شده، مدل‌ها هرچند کافی نبودند، آن‌ها برای چنین پراکندگی از طبیعت داده‌ها خوب به نظر می‌رسند. اگرچه مدل لگاریتمی برای داده‌ها با دو خط ورودی و سه خط گردشی به‌طور معقول خوب است، این مدل دارای مقدار R^2 برابر با ۰/۸۱ است.

یک مطالعه نیز در سال ۲۰۱۵ در آمریکا صورت گرفته که بر اساس آن نشان داده مدل‌های ظرفیت نسبت به داده‌های جمع‌آوری‌شده جدید در همین سال دارای عملکرد مناسب نیستند؛ بنابراین این مطالعه شامل ٢٤ سایت تک خطه و ۳۷ سایت چند خطه در مقابل ۱۸ سایت تک خطه و ۷ سایت چند خطه در مطالعه سال ۲۰۱۰ بوده است. مطالعه نتیجه‌گیری کرده که مدل‌های ظرفیت راه ۲۰۱۰ به‌طور عمومی ظرفیت‌ها را بر اساس مجموع داده‌های جدید در سال ۲۰۱۵ کم‌تر پیش‌بینی کرده است؛ بنابراین یک مجموع جدید از مدل‌ها برای ظرفیت راه توصیه‌شده است. مدل‌های رگرسیون نمایی با یک ره‌گیری متصل به میانگین زمان‌های تعقیب توسعه‌یافته است.

۳. ارزیابی مدل‌های موجود

با توجه به تفاوت در انواع مدل‌های بین‌المللی ارائه‌شده ازنظر متغیرهای ورودی موردنیاز، اولین گام، ارزیابی توانایی مدل‌های ظرفیت موجود برای پیش‌بینی ظرفیت خطوط ورودی در رویکردهای موجود است. با استفاده از مقایسه مدل‌های موجود و داده‌های جمع‌آوری‌شده، در مرحله اول می‌توان به مورد زیر را مشخص کرد:

۱- آیا مدل‌های بین‌المللی قابل‌استفاده برای وضع موجود هستند یا خیر و ۲- با مقایسه انواع مدل‌های ذکرشده می‌توان یک پیش‌نیاز برای درک بهتر از مدل‌سازی ظرفیت مبتنی بر همان داده به دست آورد. لذا مدل‌های استفاده‌شده شامل موارد زیر است:

۱- مدل‌های خطی، نمایی و نمایی قدرتمند بحرین که ظرفیت هر خط را پیش‌بینی کرده است.

۲- مدل NCHRP ۵۷۲ که ظرفیت خط بحرانی از هر رویکرد چند خطه را پیش‌بینی کرده است.

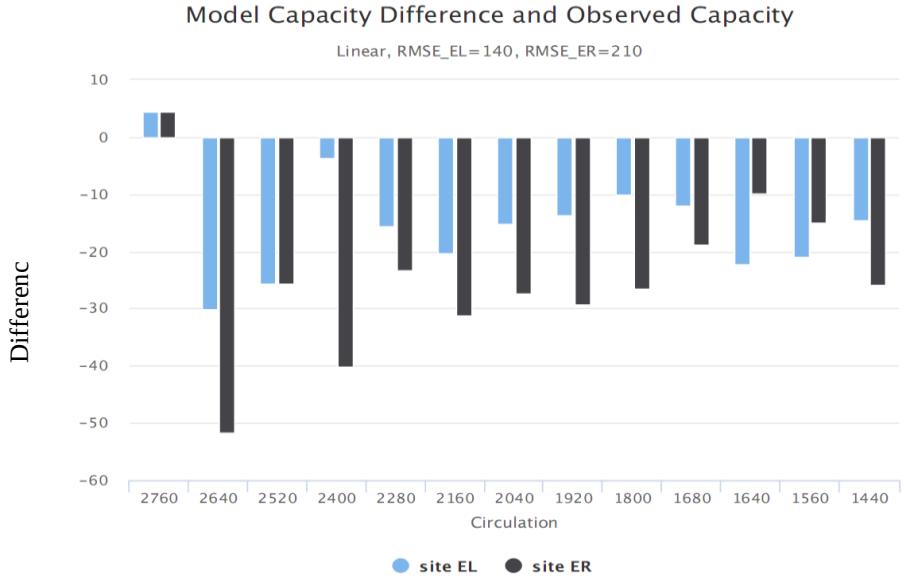
۳- مدل HCM۲۰۱٦ که ظرفیت را برای هر آرایش خط خاص پیش‌بینی کرده است.

٤- معادله SR٤٥/SIDRA که بدون هیچ اصلاحی از O/D استفاده می‌شود.

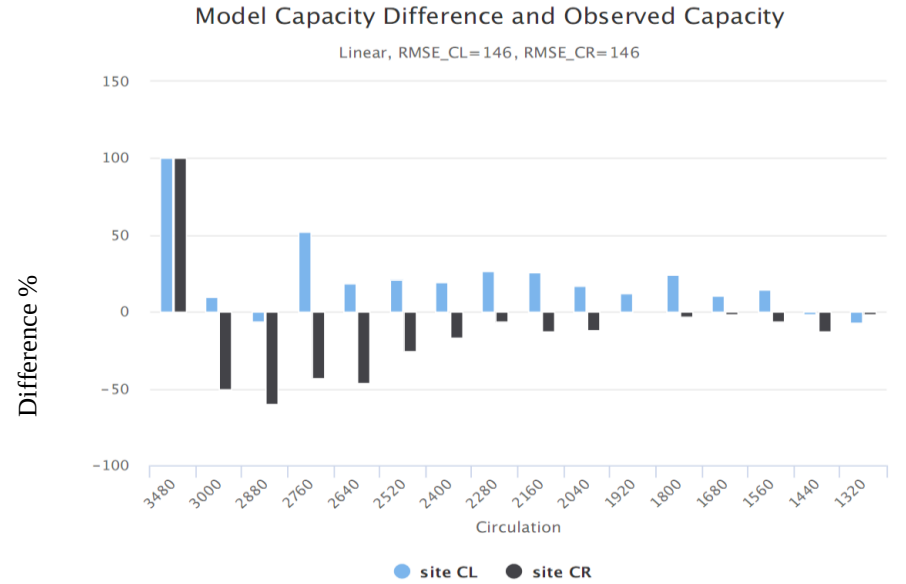
در فرآیند مقایسه مدل‌های بین‌المللی و ظرفیت‌های مشاهده‌شده مقدار ظرفیت پیش‌بینی‌شده از هر مدل برای هر رویکرد خاص از مقدار ظرفیت مشاهده‌شده کسر شده و درصد اختلاف نسبت به مقدار پیش‌بینی‌شده محاسبه‌شده و در نمودار میله‌ای مربوط به آن همراه با مقدارهای ریشه نسبی میانگین خطای مربع (RMSE) در مجموعه شکل‌های ۲ تا ۷ نشان داده‌شده است. علاوه بر این مقایسه این مدل‌ها بر اساس شاخص RMSE در جدول ۲ نشان داده‌شده است. پارامتر مربع R (R^2) یک اندازه‌گیری نسبی برای تناسب و خوبی مدل در پیش‌بینی است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان می‌دهد که مدل توانایی بیش‌تری در پیش‌بینی داشته و نسبت به داده‌های واقعی پیش‌بینی قابل‌قبولی ارائه می‌دهد. مقدار RMSE یک اندازه‌گیری مطلق از تناسب است که به‌عنوان ریشه مربع از یک واریانس معرفی‌شده است. RMSE می‌تواند همچنین به‌عنوان انحراف استاندارد از واریانس غیرقابل توضیح

تعبیر شود. مقدار RMSE درواقع بیان‌گر انحراف استاندارد خطاهای پیش‌بینی است. خطاهای پیش‌بینی یک اندازه‌گیری از مقدار فاصله نقاط داده نسبت به خط مدل هستند. به‌عبارت‌دیگر RMSE یک اندازه‌گیری از میزان پراکندگی داده است که بیان می‌کند تمرکز داده‌ها در اطراف خط مدل به چه میزان است؛ بنابراین هر چه مقدار RMSE کم‌تر باشد مدل توانایی بهتری برای پیش‌بینی داده‌ها دارد.

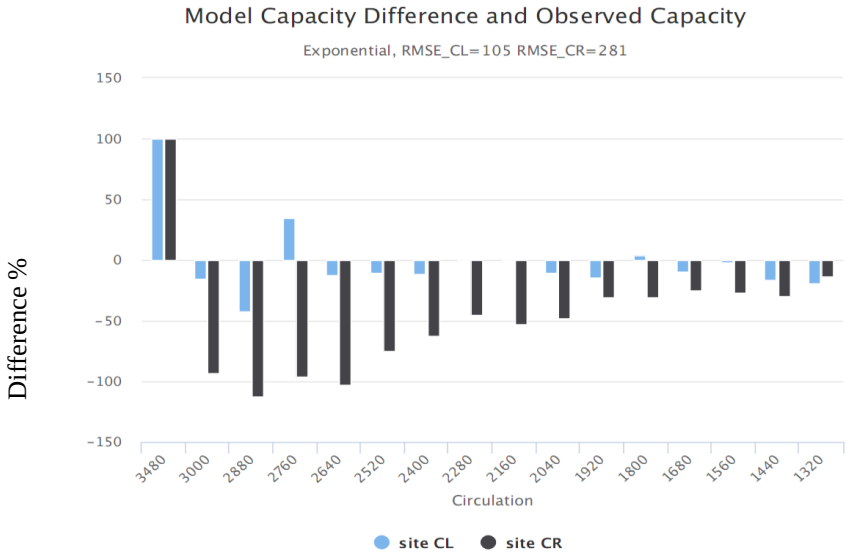
اولین مدل مقایسه شده ظرفیت‌های پیش‌بینی‌شده و ظرفیت‌های واقعی مشاهده‌شده مدل‌های خطی، نمایی و نمایی قدرتمند بحرین است. با توجه به شکل ۱ تا ۳ این مدل‌ها نیز در پیش‌بینی ظرفیت ورودی خط چپ به‌طور نسبی دارای عملکرد بهتری بوده‌اند. به‌عنوان یک نتیجه کلی این مدل نیز ظرفیت‌ها را کم‌تر تخمین زده به‌خصوص برای خط راست و در جریان‌های گردشی پایین نیز دارای عملکرد بهتری بوده است.



شکل ۱. مقایسه ظرفیت پیش‌بینی‌شده از مدل خطی بحرین و ظرفیت مشاهده‌شده از رویکرد E

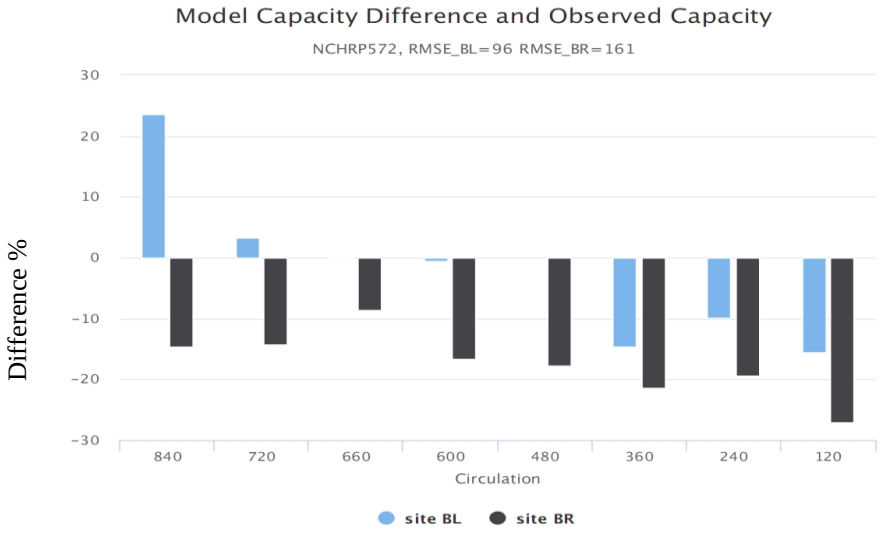


شکل ۲. مقایسه ظرفیت پیش‌بینی‌شده از مدل خطی بحرین و ظرفیت مشاهده‌شده از رویکرد C



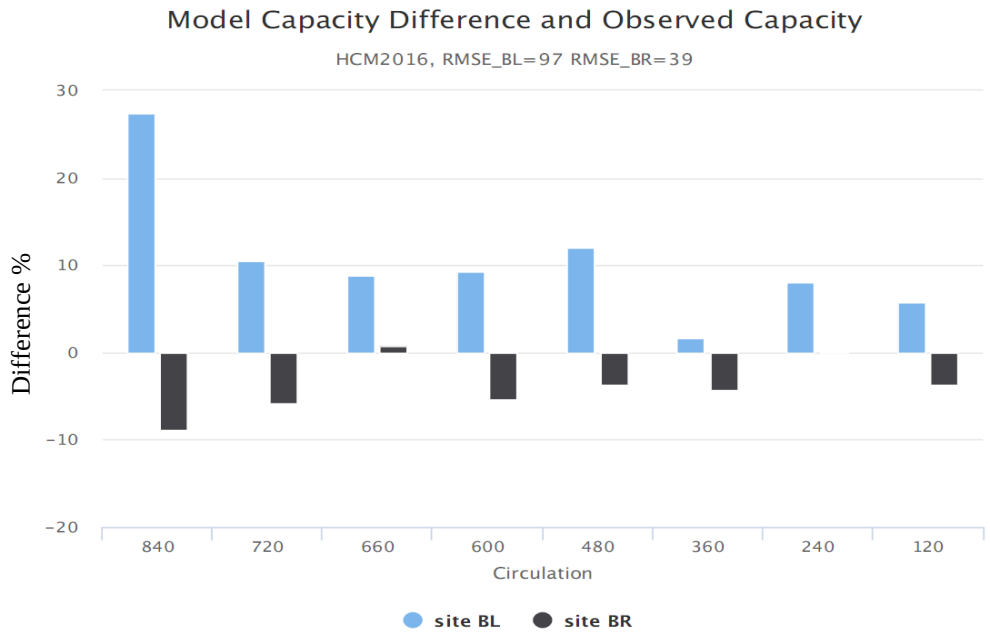
شکل ۳. مقایسه ظرفیت پیش‌بینی‌شده از مدل نمایی بحرین و ظرفیت مشاهده‌شده از رویکرد C

مدل‌های تحلیلی ارائه‌شده در گزارش NCHRP ۵۷۲ شامل یک مدل نمایی برای میدان‌های تک خطه (تک خط ورودی و تک خط گردشی) و یک مدل نمایی برای میدان‌های چند خطه است که درواقع ظرفیت از خط بحرانی هر سایت را پیش‌بینی می‌کند. این مدل تحلیلی توانایی پیش‌بینی تمام رویکردهای معرفی‌شده را داشته است، اما همان‌طور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود پیش‌بینی بهتری برای رویکرد B به‌ویژه برای خط چپ ورودی ارائه می‌کند. این مدل نیز به‌طورمعمول ظرفیت‌های خط راست را نسبت به خط چپ کم‌تر پیش‌بینی کرده و در جریان‌های گردشی ٤٨٠ تا ٦٦٠ دارای عملکرد بهتری برای خط چپ بوده است. مدل تحلیلی استفاده‌شده در ظرفیت راه ۲۰۱۰۰ فقط برای میدان‌های تک خطه که جریان گردشی آن بیش‌تر از ۱۲۰۰ وسیله نقلیه سواری نباشد کاربرد داشته، مدل تحلیلی بعدی مدل ارائه‌شده در گزارش ۵۷۲ بوده که این مدل دارای یک فرم کلی است و ضرایب استفاده‌شده در آن با توجه به رفتار راننده محلی (سرفاصله بحرانی و تعقیب) کالیبره خواهد شد.



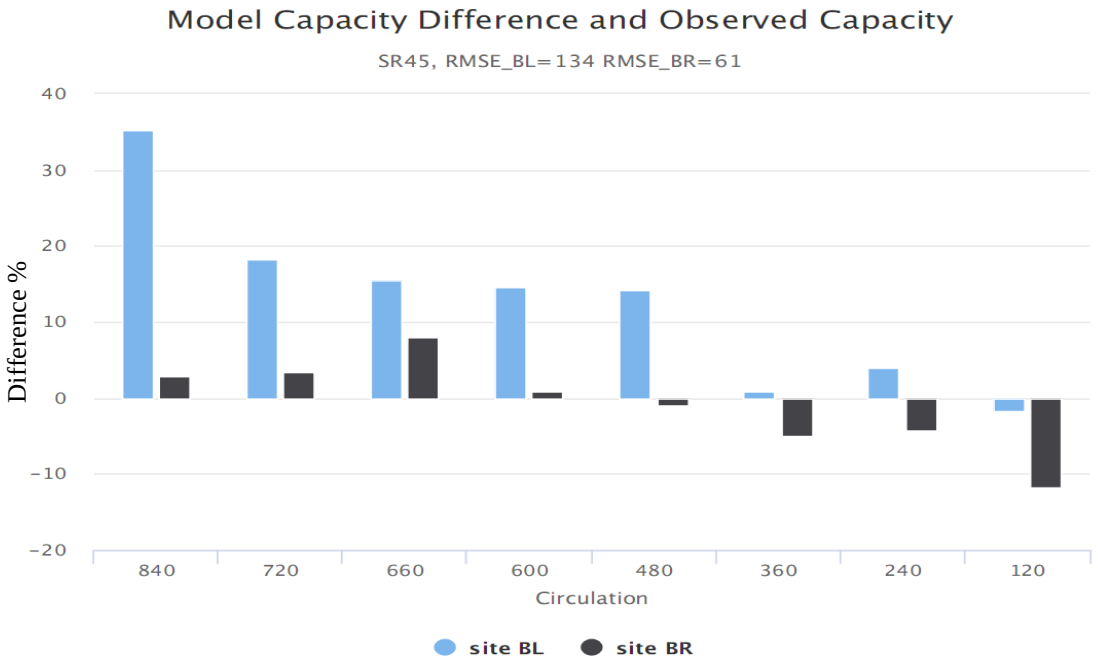
شکل ٤. مقایسه ظرفیت پیش‌بینی‌شده از مدل NCHRP ۵۷۲ و ظرفیت مشاهده‌شده از رویکرد B

مدل تحلیلی ظرفیت راه ۲۰۱۶ درواقع بر اساس همان مدل کلی ارائه‌شده در گزارش ۵۷۲ هستند که بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده جدید توسعه پیداکرده است. علاوه بر این، مدل‌های ذکرشده بر اساس آرایش خطوط مختلف دارای ضرایب مختلف هستند. همچنین این مدل‌ها آرایش خطوط دو خط ورودی در مقابل سه خط گردشی را پوشش نمی‌دهد. با توجه به شکل ۵ مدل‌های ذکرشده در این مقایسه دارای پیش‌بینی بهتری برای رویکرد B بوده و این نکته قابل‌توجه که مدل ظرفیت راه ۲۰۱۶ نسبت به مدل ظرفیت راه ۲۰۱۰ برای رویکرد B دارای عملکرد بهتری داشته است. مدل ظرفیت راه ۲۰۱۶ بهترین عملکرد در مقایسه با دیگر مدل‌ها برای رویکرد B را دارد، زیرا ظرفیت‌های پیش‌بینی‌شده این مدل از تمام مدل‌های مربوط به این رویکرد در سراسر جریان گردشی بیش‌تر بوده و به همین دلیل به ظرفیت‌های مشاهده‌شده از این رویکرد نزدیک‌تر هستند.



شکل ۵. مقایسه ظرفیت پیش‌بینی‌شده از مدل HCM ۲۰۱۶ و ظرفیت مشاهده‌شده از رویکرد B

آخرین مدل استفاده‌شده در مقایسه، مدل SR٤٥ است که درواقع به‌عنوان بهترین مدل پذیرش فاصله در میان تمام روش‌های ارائه‌شده در این تحقیق معرفی‌شده است. این مدل فقط برای میدان‌های با یک خط گردش، کاربرد دارد؛ بنابراین این مدل فقط رویکرد B را پوشش می‌دهد و نتایج این مدل نسبت به مدل‌های دیگر برای رویکرد ثابت و مشخص، متفاوت به‌دست‌آمده است، به‌نحوی‌که این مدل ظرفیت خط راست ورودی را با مقدار خطا کم‌تری پیش‌بینی کرده و در طرف مقابل ظرفیت خط چپ را بیش‌تر پیش‌بینی می‌کند. همچنین در جریان‌های گردشی بالا نیز عملکرد ضعیف‌تری داشته است.



شکل ٦. مقایسه ظرفیت پیش‌بینی‌شده از مدل SR٤٥ و ظرفیت مشاهده‌شده از رویکرد B

جدول ١. مقدار RMSE برای هر سایت

B	C	E	D	G	H	مدل
BL=٩٦ BR=١٦١	CL=٤٠٦ CR=٥٩٣	EL=٦٦٤ ER=٧٣١	DL=٣١٣ DR=٤٦٦	GL=٣٧٢ GR=٥٥٤	HL=٤٠٠ HR=٣٢١	NCHRP٥٧٢
BL=٩٧ BR=٣٩	NA	NA	DL=٣٢٤ DR=٤٢١	GL=٤٠٥ GR=٥٢٣	HL=٤٢٩ HR=٢٨٠	HCM٢٠١٦
NA	CL=١٤٦ CR=١٤٦	EL=١٤٠ ER=٢١٠	NA	NA	NA	Linear Bahrain
NA	CL=١٠٥ CR=٢٨١	EL=٣٠٩ ER=٣٨١	NA	NA	NA	ExponentialBahrain
NA	CL=٢٥٠ CR=٤١٤	EL=٤٧٨ ER=٥٤٤	NA	NA	NA	Strong Exponential Bahrain
BL=١٣٤ BR=٦١	NA	NA	NA	NA	NA	٤٥SR

درواقع می‌توان به‌طورکلی چنین نتیجه‌گیری کرد که بیش‌تر مدل‌ها برای پیش‌بینی ظرفیت ورودی خط چپ دارای مناسب ارزیابی می‌شوند. از طرف دیگر، پیش‌بینی‌های دقیقی برای ورودی‌های خط راست برای میدان‌های انتخاب‌شده در این پژوهش، ارائه نشده است. البته با یک نگاه کلی به تمام مدل‌ها و داده‌های جمع‌آوری‌شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ظرفیت خط راست ورودی از میدان‌های انتخاب‌شده نسبت به مدل‌های بین‌المللی بیش‌تر بوده است و به‌طورمعمول مدل‌ها برای خط راست ورودی دارای پیش‌بینی‌های کم‌تری بوده‌اند. البته یک نکته قابل‌توجه است که مدل HCM ٢٠١٦ برای سایت B که

دارای دو خط ورودی و یک خط گردشی بوده نسبت به تمام مدل‌های مقایسه شده دارای پیش‌بینی بهتری از ظرفیت ورودی بوده است و مدل SR٤٥ نیز برای رویکرد B دارای تخمین‌های بهتری بوده فقط با این تفاوت که عملکرد این مدل برای خط راست ورودی نیز بهتر بوده است.

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به روش‌های ارائه‌شده تخمین ظرفیت خطوط ورودی میدان در فصل دوم و با تکیه بر روش‌های جمع‌آوری داده‌های ظرفیت از فصل سوم، در ابتدا یک مقایسه بین ظرفیت‌های پیش‌بینی‌شده از مدل‌های ارائه‌شده توسط سایر محققان و مشاهده میدانی از ظرفیت رویکردها، به‌عمل آمده است. به‌عنوان یک نتیجه کلی مدل‌های ارائه‌شده توسط سایر پژوهش‌ها، ظرفیت ورودی رویکردهای انتخاب‌شده را کم‌تر تخمین زده و این پیش‌بینی‌ها برای خط راست ورودی در مقایسه با خط چپ ورودی کم‌تر نیز بوده است. به‌عبارتی‌دیگر پیش‌بینی‌ها به‌طورمعمول برای خط چپ نسبت به راست مناسب‌تر بوده است. از بین تمام مدل‌های سایر محققان مدل HCM٢٠١٦ دارای تخمین‌های بهتری فقط برای رویکرد B (دو خط ورودی در مقابل یک خط گردشی) بوده، به‌گونه‌ای که مقدار RMSE از این مدل برای خط راست برابر با ٣٩ و برای خط چپ برابر با ٩٧ حاصل‌شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که این مدل نسبت به سایر مدل‌های دیگر تا حدودی قابل‌استفاده برای شرایط رانندگی در میدان‌های ایران است. مدل نمایی گزارش NCHRP٥٧٢ که درواقع یک فرم کلی از مدل‌های ظرفیت راه‌های آمریکا در سال‌های ٢٠١٠ و ٢٠١٦ بوده و با استفاده از پارامترهای سرفاصله (سرفاصله زمانی بحرانی و تعقیب) و با استفاده از مدل‌های رگرسیون روش ٤٥ SR کالیبره شده، در رتبه بعدی کارایی پیش‌بینی ظرفیت را از خود نشان داد. با توجه به آرایش خطوط مختلف میدان‌های انتخاب‌شده و آرایش خطوط تأییدشده از مدل NCHRP ٥٧٢ و با توجه به محدوده کاربرد روش‌های رگرسیون SR٤٥ انجام کالیبراسیون مدل فقط برای میدان‌ها با دو خط ورودی و تک خط گردشی امکان‌پذیر بوده است.

٥. پی‌نوشت‌ها

1. Interrupted
2. Uninterrupted

٦. مراجع

- AASHTO. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2011.
- Transportation Research Board. "Roundabouts in the United States." National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 572. Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academies, 2007.
- Schroeder, B. J., Cunningham, C. M., Findley, D. J., Hummer, J. E. & Foyle, R. S. Manual of Transportation Engineering Studies. 2nd Edition. Washington D.C.: Institute of Transportation Engineers, 2010.
- Yap, Yok Hoe. Modelling Roundabout Capacities. Doctoral Thesis, University of Southampton, Faculty of Engineering and the Environment, 2015, 218.
- Xuanwn Chen, Ming S. Lee. "A Case Study on Multi-lane Roundabouts under Congestion; Comparing Software Capacity and delay estimates with field data." Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014: 154-165.
- Flannery, A., Kharoufeh, J. P., Gautam, N. & Elefteriadou, L. "Queuing Delay Models for Single-lane Roundabouts." Civil Engineering and Environmental Systems. doi: 10.1080/10286600500279949, 2005. 133-150.
- Gandhi G. Sofia, Abdulhaq H. Al-Haddad, Israa Saeed Al-Haydari. "Development of Delay Models for Roundabouts." Journal of engineering and development Vol 16, no. 1 (2012).

- Mauro, Raffaele. Calculation of Roundabouts. Vol. XII, in Capacity, Waiting Phenomena and Reliability, 155. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- Al-Madani, M. Saad. "Analysis of roundabout capacity under high demand flows." WIT Transactions on The Built Environment. Bahrain: doi:10.2495/UT090211, 2009.