شبیه‌سازی تردد عابران‌پیاده در تسهیلات پیاده‌روی شهر تهران

حمید یزدان پناه، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
نوید کلانتری، دکتری برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران
مهدی عابدینی، کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات
امیر رافع*، کارشناس ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، آزمایشگاه ترافیک دانشگاه علم و صنعت ایران
Amir.rafe@aol.com

تاریخ ارسال مقاله: فروردین ۹۳ تاریخ پذیرش: تیر ۹۳

چکیده

امروزه پیاده‌روی به عنوان یکی از شیوه‌های حمل و نقل که اثرات قابل توجهی در بهبود شاخص‌های ترافیکی و سلامت کلان شهرها دارد در کانون توجه مسئولان شهری قرار گرفته است. طرح‌های توسعه سرانه پیاده‌روی، طراحی تسهیلات ترافیکی که با جریان عابرپیاده تداخل دارند و هر گونه ساماندهی در این حوزه مستلزم شناخت رفتار، تخمین و برآورد حرکت‌های آتی و شبیه‌سازی تردد عابر پیاده است. از این‌رو در مطالعه پیش رو متناسب با مدل ساخته شده برای تردد عابران پیاده در شهر تهران، شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارPtv.Viswalk صورت گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از پارامترهای پایه نرم‌افزار، پارامترهای بهینه شده تهران و پارامترهای شبیه‌سازی خبره بر اساس معیارهای کارآیی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. تحلیل حساسیت پارامترهای مدل نیروی اجتماعی یکی دیگر از مواردی است که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. نتایج تحقیق پیش رو حاکی از آن است که خروجی شبیه‌سازی وابستگی شدیدی به برخی از پارامترهای مدل دارد که می‌بایست با حساسیت بالا تغییر یابند.

کلید واژه: عابرپیاده، شبیه‌سازی، مدل نیروی اجتماعی

۱- مقدمه

حمل و نقل غیر موتوری یکی از مدهای حمل و نقلی متکی بر نیروی فردی است که عمدتاً دارای دو هدف تفریحی و جا به جایی (دسترسی به کالاها و فعالیت‌ها) یا ترکیبی از هر دو است که پیاده‌روی یکی از گونه‌های رایج در این حوزه می‌باشد. امروزه اغلب این احساس به وجود می‌آید که عابر پیاده در اجرای عملیات ساخت و سازی که ناشی از یک برنامه‌ریزی بر مبنای حرکت سواره است، نقش فرعی و بی اهمیتی را ایفا می‌کند. وجود این شرایط، در تخصیص سطوح کاربری‌های عمومی، واقعیت‌ها را غیر از آن چه که هست نشان می‌دهد.

دلایل بسیار زیادی برای انجام سفرهای درون شهری از طریق مد پیاده‌روی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان کم هزینه بودن این مد نسبت به سایر مدهای حمل و نقلی، لذت بخش بودن آن، امکان دید و توجه بیشتر به محیط اطراف و البته مهم‌تر از همه به ارتقای سطح سلامت عمومی جامعه اشاره نمود. همچنین این مد حمل و نقلی به دلیل انعطاف‌پذیری بالا نسبت به سایر مدهای حمل و نقلی، می‌تواند سهم به سزایی در انتقال سفرها به عنوان یکی از سیستم‌های جا به جایی مسافر داشته باشد که از نتایج این امر می‌توان به کاهش تراکم ترافیکی، بهبود سطح سرویس معابر شهری و همچنین کاهش آلودگی‌های زیست محیطی مانند آلودگی هوا و صوت اشاره کرد. معمولاً و بر اساس سوابق مطالعات موضوع، تردد عابران‌پیاده از دو منظر ایمنی و دسترسی مورد بحث قرار می‌گیرد. از این رو شبیه‌سازی تردد عابران‌پیاده می‌تواند در زمینه طراحی و تغییر تسهیلات پیاده‌روی مورد استفاده قرار گیرد. از این رو در این مطالعه سعی بر آن است تا با استفاده از مدل ساخته شده برای تردد عابران پیاده در مطالعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی عابران‌پیاده شهر تهران، روند شبیه‌سازی عابران‌پیاده در نرم‌افزار شبیه‌ساز تشریح و جزئیات تحلیل‌های وابسته به این موضوع بیان گردد.

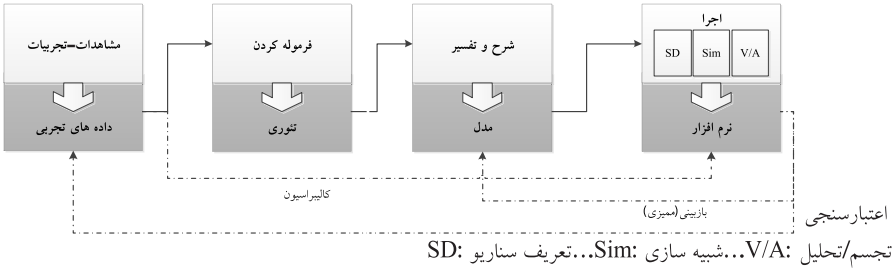
۲- مروری بر ساختار عملکردی ابزارهای شبیه‌ساز عابرپیاده

رفتار عابران پیاده در محیط‌های مختلف متأثر از عوامل گوناگونی است که تحلیل و بررسی اثرات آن، نیازمند شبیه‌سازی عابران پیاده در محیط های مختلف می‌باشد. امروزه به‌منظور بررسی رفتار عابران پیاده و تحلیل اطلاعات

جمع‌آوری شده در شرایط مختلف، از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز استفاده می‌شود که عابران‌پیاده را در دو موقعیت عادی و تخلیه شبیه‌سازی می‌کنند. نرم‌افزارهای شبیه ساز عابر پیاده معمولاً از سه زیر سیستم مطابق شکل ۱ تشکیل شده‌اند:

شکل ۱: ساختار عملکردی کلی نرم‌افزارهای شبیه ساز عابرپیاده

همچنین شکل ۲ خلاصه‌ای از روند عملکرد نرم‌افزارهای شبیه‌ساز را نشان می‌دهد. در این فرآیند داده‌های تجربی به وسیله آزمایش‌های کنترل، مشاهدات علمی، دستگاه‌های شمارشگر خودکار، اندازه‌گیری به وسیله GPS، پرسشنامه و یا تحلیل‌های ویدیویی به دست می‌آید. براساس این اطلاعات، تئوری ساخت یافته و پارامترهای تأثیرگذار و ارتباط میان آن‌ها، جنبه‌های مختلف رفتار عابران‌پیاده مشخص می‌شود. در گام بعدی مدل ریاضی بیان شده و شبیه‌سازی براساس آن بسط داده می‌شود. در انتها نیز شبیه‌سازی طبق شکل ۲ توسط برنامه کامپیوتری اجرا می‌شود [۱].



شکل ۲: روند گسترش نرم افزارهای شبیه سازی

نرم‌افزارهای شبیه ساز عابر پیاده در همانند سازی رفتار و حرکت عابرپیاده به‌صورت کارآ، از مدل‌های خاصی بهره می‌برند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۲-۱- مدل رفتاری[1]: این مدل مبتنی بر رفتار عابران‌پیاده همراه با روند تصمیم‌گیری است که نیل به سوی هدفی خاص (همانند روند تخلیه و خروج) را بررسی می‌کند.

۲-۲- مدل رفتاری با قابلیت‌های ارزیابی ریسک: در این مدل عابران پیاده قادر به تحلیل شرایط پیش رو می‌باشند.

1. Behavioral model

به‌گونه‌ای که عابران‌پیاده نسبت به اتفاق‌هایی که در مسیر خواهد افتاد آگاهی نسبی دارند و رفتارشان با توجه به آگاهی‌های خود نسبت به مسیر و خطرات پیش رو تغییر می‌کند.

۲-۳- مدل رفتاری جزیی[1]: در این مدل عکس‌العمل‌های رفتاری و تصمیم‌گیری‌ها صریحاً شبیه‌سازی نمی‌شود بلکه به یک سری رفتارهای جزیی به عنوان مثال اثر دود و آتش بر رفتار عابران‌پیاده و از این قبیل موارد پرداخته می‌شود.

۲-۴- مدل حرکتی[2]: در این حالت عابران پیاده از یک نقطه در محدوده مورد نظر به نقطه دیگر(معمولاً مقطع خروجی) بدون در نظر گرفتن رفتارهای آن‌ها شبیه‌سازی می‌شوند. این حالت برای نمایش صف، گلوگاه‌ها و غیره در محدوده شبیه‌سازی شده بسیار مفید است.

۵. مدل حرکت با هدف بهینه‌سازی زمان تخلیه

در بخش بررسی ویژگی‌های رفتاری عابران‌پیاده در هریک از نرم‌افزارها چهار حالت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۵-۱- رفتار شرطی (یا مبتنی بر قاعده)[3]: در این حالت رفتار افراد و یا گروهی از عابران پیاده بر اساس موقعیت عملکرد آن‌ها یا شرایط محیط، مورد بررسی قرار می‌گیرد (که می‌تواند مشروط و یا مبتنی بر قاعده خاصی باشد).

۵-۲- احتمالاتی[4]: در این حالت نخست بر اساس آمار برداشت شده از جامعه توزیع آماری متناسب با رفتار عابران پیاده تعیین شده و سپس شبیه‌سازی بر اساس نتایج توزیع آماری به دست آمده انجام می‌شود.

۵-۳- هوش مصنوعی[5]: در این حالت تلاش می‌شود رفتار عابران پیاده در موقعیت تخلیه مبتنی بر هوش انسانی در نظر گرفته شود.

۵-۴- رفتار ضمنی[6]: در این حالت به بررسی اثر خصوصیات عابران پیاده بر روی حرکت علی‌الخصوص در هنگام تخلیه پرداخته می‌شود.

1. Partial behavior models
2. Movement models
3. Conditional (or rule-based)
4. Probabilistic
5. Artificial Intelligence
6. Implicit behavior

در بخش نحوه انتخاب مسیر عابران پیاده در هر یک از نرم‌افزارها چهار حالت زیر بیان شده است:

۱- کوتاه‌ترین مسیر: در این حالت عابر پیاده کوتاه‌ترین مسیر را از بُعد فاصله انتخاب می‌کند.
۲- تعریف توسط کاربر: در این حالت مسیرها و انتخاب آن‌ها توسط کاربر مشخص می‌شود.
۳- شرطی: در این حالت مسیرها و انتخاب آن‌ها با توجه به شرایط محدوده مورد نظر مشخص می‌شود.
۴- بهینه: در این حالت عابران پیاده از سریع‌ترین مسیر حرکت می‌کنند (به عبارت دیگر مسیری که دارای کوتاه‌ترین فاصله زمانی جهت پیمودن آن است)[۲].

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی رفتار عابران پیاده از نرم‌افزار Ptv.Viswalk استفاده شده است. با توجه به مطالب فوق این نرم‌افزار از مدل‌های رفتاری، حرکتی، حرکت با هدف بهینه سازی زمان تخلیه و مدل رفتاری جزیی تبعیت و در بخش ویژگی‌های رفتاری از حالت‌های رفتار ضمنی، رفتار شرطی (یا مبتنی بر قاعده)، احتمالاتی پیروی می‌کند. همچنین تمامی حالت‌های ممکن یاد شده برای انتخاب مسیر عابران‌پیاده در این نرم‌افزار وجود دارد. علاوه بر موارد فوق هر نرم‌افزار شبیه‌ساز عابرپیاده یک مدل خاص فیزیکی را برای تخمین حرکت‌های عابرپیاده به‌کار می‌گیرد که نرم‌افزار مذکور برای این منظور از مدل نیروی اجتماعی[1] استفاده می‌نماید.

۳- شبیه سازی تردد عابران‌پیاده

۳-۱- تعیین معیارهای کارآیی بررسی شبیه‌سازی تردد عابران‌پیاده توسط نرم‌افزار

در این مطالعه شبیه‌سازی تردد عابران‌پیاده در شش نوع تسهیلات صورت گرفته است. ابتدا تسهیلاتی که جریان عابر پیاده با وسایل نقلیه تداخل دارند و سپس تسهیلاتی که عابر پیاده بدون هیچ گونه تداخلی در مسیر پیاده‌روی به حرکت خود ادامه می‌دهد. با توجه به ویژگی‌های نرم‌افزار منتخب، بررسی خروجی‌های شبیه‌سازی نیازمند تعیین معیارهای کارآیی است. با توجه به مرور ادبیات و خروجی‌های نرم‌افزار Ptv.Viswalk دو معیار زمان سفر و متوسط چگالی برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. زمان سفر عابران پیاده شامل محاسبه فاصله زمانی حرکت عابر پیاده بین دو شاخص در بازه‌های زمانی مشخص (۵ یا ۱۵ دقیقه‌ای) و نحوه اندازه‌گیری چگالی برابر است با تقسیم تعداد عابران پیاده در یک شاخص چند وجهی بر مساحت چندوجهی مورد نظر در بازه‌های زمانی مشخص.

1. Social force model

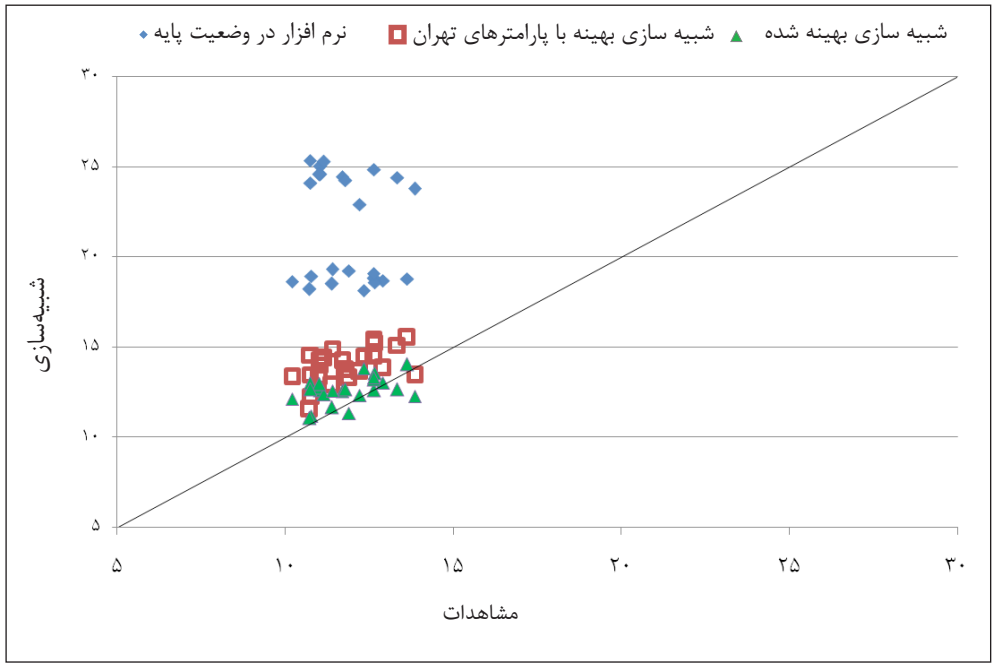
۳-۲- شبیه‌سازی رفتار عابران‌پیاده در تسهیلات پیاده‌روی

در این قسمت با استفاده از نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل نیروی اجتماعی در مطالعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی عابران پیاده در شهر تهران، شبیه‌سازی در شش تسهیلات پیاده‌روی (تقاطع بدون چراغ و چراغ‌دار، گذرگاه عرضی، پیاده‌رو، پیاده‌راه و پلکان شهری) در نرم‌افزار Ptv.Viswalk صورت گرفته که برای نمونه جزئیات شبیه‌سازی یک نمونه تسهیلات بیان و در انتها نتایج شبیه‌سازی سایر تسهیلات در قالب یک جدول کلی نشان داده شده است. خروجی‌های ارائه شده در این بخش بر اساس میانگین ۵ بار تکرار شبیه‌سازی در هر تسهیلات بوده است. زمان آماده‌سازی در کلیه شبیه‌سازی‌ها برابر با ۱۰ دقیقه منظور گردیده است.

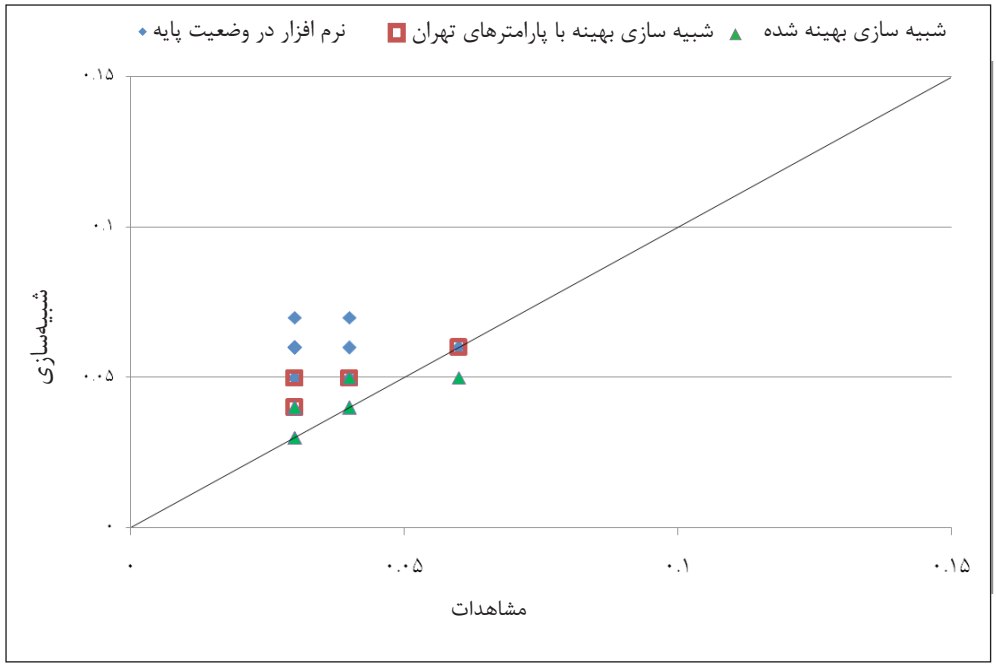
شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در سه مرحله انجام شده و نتایج هر سه مرحله گزارش شده است. در مرحله اول شبیه‌سازی بر اساس وضعیت پیش‌فرض نرم‌افزار، مرحله دوم مقادیر ضرایب مدل نیروی اجتماعی که در مطالعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی عابران پیاده شهر تهران تخمین زده شده است، وارد نرم‌افزار شده و شبیه‌سازی بر اساس این پارامترها انجام شده است. در آخرین مرحله فقط همان پارامترهای مدل نیروی اجتماعی در محدوده کوچکی اصلاح شده‌اند که با توجه به این که برای شبیه‌سازی عابران پیاده Ptv.Viswalk دارای ۱۶ پارامتر است و فقط چهار مورد آن‌ها مربوط به مدل نیروی اجتماعی است. تغییرات جزئی پارامترهای مدل نیروی اجتماعی را می‌توان در واقع کالیبراسیون خود نرم‌افزار به حساب آورد. برای ارزیابی میزان دقت نتایج از دو مقیاس آماری تایل و جذر مربع مجموع خطاهای نرمال استفاده شده است. در مورد آماره تایل، مقادیر زیر ۰/۲ نتایج بسیار خوبی ارزیابی شده و هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج بهتر است. مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۵ مقادیری ارزیابی می‌شوند که می‌توان آن‌ها را قبول کرد و امکان بهبود آن‌ها وجود دارد. مقادیر بالاتر از ۰/۵ نیز به عنوان نتایج ضعیف و غیر قابل قبول ارزیابی می‌شوند. در خصوص مقیاس جذر مربع مجموع خطاهای نرمال باید گفت که این مقیاس حالت اصلاح شده‌ای از مفهوم درصد خطا است لذا هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. در خصوص شبیه‌سازی عابران پیاده و به خصوص در مورد معیار سنجش چگالی با توجه به کم بودن چگالی در محل‌های شبیه‌سازی شده، حتی تا مقدار ٪ ۲۵ خطا را می‌توان بسیار خوب ارزیابی کرد. در مورد معیار متوسط زمان سفر مقادیر کمتر از ٪۱۵ خطا خوب ارزیابی می‌شود[۳].

۳-۳- شبیه‌سازی تقاطع بدون چراغ خیابان سعدی- خیابان امیر کبیر

احجام تردد عابران پیاده و خودروها در این تسهیلات به ترتیب ۵۷۲ عابرپیاده در ساعت و ۲۰۹۰ وسیله نقلیه در ساعت است. در تمامی مقاطع، پارامترهای کنترلی مورد نظر شامل متوسط زمان سفر عابران پیاده در عبور از مقطع مورد نظر و چگالی عابران پیاده‌روی مقطع مورد نظر، تعیین شده است. نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴ کنترل نتایج شبیه‌سازی را بر اساس خط ۴۵ درجه به ترتیب برای پارامتر کنترلی متوسط زمان سفر عابران و چگالی عابران‌پیاده نشان می‌دهد. ارزیابی میزان دقت نتایج به کمک دو معیار آماری تایل و جذر نرمال مربع متوسط خطاها در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین شکل ۵ نیز تصویری از محیط شبیه‌سازی را نشان می‌دهند.



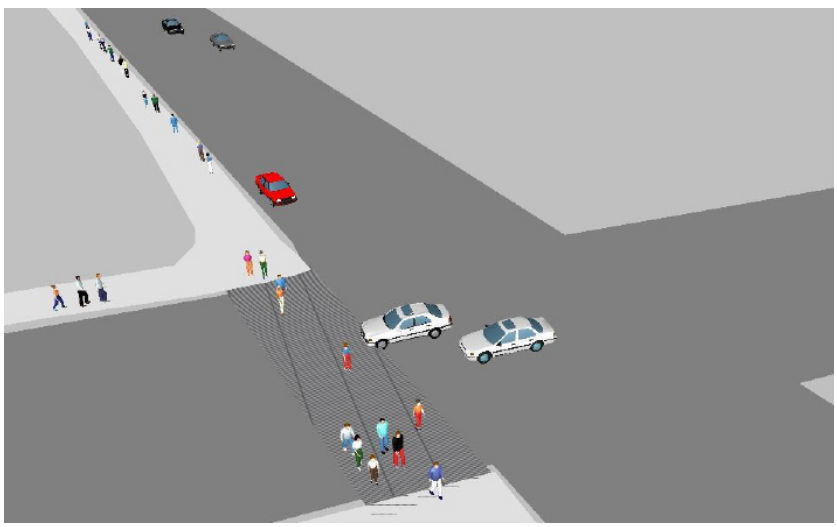
شکل ۳. مقایسه نتایج شبیه‌سازی



شکل ۴. مقایسه نتایج شبیه‌سازی تقاطع بدون‌چراغ بر اساس معیار چگالی

	شبیه‌سازی بر اساس پارامترهای پایه		شبیه‌سازی بر اساس پارامترهای کالیبره شده		شبیه‌سازی بهینه شده	
معیار سنجش	چگالی	زمان سفر	چگالی	زمان سفر	چگالی	زمان سفر
جذر نرمال مربع متوسط خطاها	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۰۹
تایل	۰/۶۱	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۴

جدول ۱. سنجش آماری خطای شبیه‌سازی با پارامترهای پایه و تهران در تقاطع بدون‌چراغ



شکل ۵. نمایی از محیط شبیه‌سازی تقاطع بدون‌چراغ خیابان سعدی- خیابان امیرکبیر

بر اساس هر دو پارامتر چگالی و زمان سفر، کالیبراسیون مدل نیروی اجتماعی و استفاده از پارامترهای کالیبره شده در نرم‌افزار Ptv.Viswalk موجب بهبود نتایج شبیه‌سازی و کاهش میزان خطا بر اساس هر دو معیار کنترلی شده است. در مرحله دوم که شبیه‌سازی توسط فرد خبره مورد بازبینی و اصلاح کارشناسانه قرار گرفته، با تنظیم دقیق‌تر پارامترهای عابران پیاده نتایج باز هم بهتر شده است تا جایی که خطای شبیه‌سازی بر مبنای معیار زمان سفر عابران‌پیاده به مقدار کم ۰/۰۹ رسیده است. نتیجه در خصوص پارامتر چگالی البته به این کیفیت نیست و مقدار ۰/۰۱۵ به دست آمده است، که با توجه به این که زمان سفر معکوس سرعت پیاده‌روی است و حجم جریان، سرعت و چگالی با هم در ارتباط‌اند و در صورت ثابت بودن حجم نسبت سرعت و چگالی معکوس خواهد بود، لذا بهبود در یکی از این دو پارامتر تا اندازه‌ای بهبود پارامتر دیگر را به همراه دارد و نمی‌توان هر دوی این پارامترهای را هم زمان به بهترین مقادیر رسانید.

در مجموع نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در تمامی تسهیلات در جدول ۲ خلاصه شده است. در این جدول در ستون‌های مربوط به درصد خطای شبیه‌سازی، فقط مقادیر مربوط به آزمون جذر مربع متوسط خطای نرمال گزارش شده و ستون‌های دارای شماره یک، خطای شبیه‌سازی بر اساس پارامترهای تهران و ستون‌های دارای شماره دو، خطای شبیه‌سازی بر اساس پارامترهای تنظیم شده در شبیه‌سازی خبره را نشان می‌دهند. (رنگ‌ها صرفاً جهت ایجاد تفاوت میان گروه مختلف داده‌ها و سادگی تشخیص آن‌هاست و معنی خاصی ندارد.)

تسهیلات شبیه سازی شده	درصد خطا				پارامترهای تهران				پارامترهای شبیه سازی خبره				درصد اختلاف پارامترها				متوسط اختلاف پارامترها
	زمان سفر		چگالی		tau	Lambda	A	B	tau	Lambda	A	B	Tau	Lambda	A	B	
	۱	۲	۱	۲													
تقاطع چراغ دار	۱۶	۱۳	۱۱	۴	۰/۶۲	۰/۶۲	۱/۸۵	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۶۰	۱/۸۲	۰/۲۵	۶/۴۵	۳/۲۳	۱/۶۲	۷/۴۱	۴/۶۸
تقاطع بدون چراغ	۳۰	۱۵	۱۶	۹	۰/۶۲	۰/۶۲	۱/۸۵	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۵۹	۱/۸۱	۰/۲۴	۶/۴۵	۴/۸۴	۲/۱۶	۱۱/۱۱	۶/۱۴
گذر عرضی میانی	۲۱	۱۱	۷	۴	۰/۶۲	۰/۶۲	۱/۸۵	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۶۰	۱/۸۱	۰/۲۴	۶/۴۵	۳/۲۳	۲/۱۶	۱۱/۱۱	۵/۷۴
پیاده رو	۱۸	۱۲	۵	۴	۰/۸۸	۰/۹۸	۲/۹۹	۰/۲۳	۰/۹۱	۰/۸۱	۲/۵۵	۰/۲۵	۳/۴۱	۱۷/۳۵	۱۴/۷۲	۸/۷	۱۱/۰۵
پیاده راه	۲۶	۱۵	۷	۲	۰/۸۸	۰/۹۸	۲/۹۹	۰/۲۳	۰/۸۹	۰/۸۸	۲/۵۵	۰/۲۵	۱/۱۴	۱۰/۲	۱۴/۷۲	۸/۷	۸/۶۹
پله	۲۳	۷	۶	۴	۰/۸۸	۰/۹۸	۲/۹۹	۰/۲۳	۰/۹۰	۰/۸۰	۲/۴۵	۰/۲۵	۲/۲۷	۱۸/۳۷	۱۸/۰۶	۸/۷	۱۱/۸۵

جدول ۲. خلاصه نتایج شبیه‌سازی

همان‌گونه که جدول۲ نشان می‌دهد اگرچه تلاش‌های انجام شده در مرحله شبیه‌سازی خبره به میزان قابل توجهی به خصوص بر اساس معیار چگالی نتایج را بهبود بخشیده، با این وجود به طور متوسط میزان تغییر در پارامترهای مدل نیروی اجتماعی در حرکت از مقادیر تهران به سمت مقادیر به کار گرفته شده در شبیه‌سازی خبره کمتر از ۱۰٪ بوده و آن را هم می‌توان به تفاوت‌های موجود میان نرم‌افزار Ptv.Viswalk و مدل نیروی اجتماعی مربوط دانست. از جمله مهم‌ترین و اثرگذارترین این تفاوت‌ها آن است که مدل نیروی اجتماعی دارای پنج پارامتر است که چهار مورد آن‌ها در نرم‌افزار استفاده شده و به جز این چهار پارامتر مدل شبیه‌ساز رفتار عابران‌پیاده در نرم‌افزار دارای دوازده پارامتر دیگر نیز هست که هیچ کدام آن‌ها در روند کالیبراسیون دیده نشده‌اند. لذا به منظور جبران اثر این تفاوت، تغییرات جزئی انجام شده در مقادیر پارامترهای مدل نیروی اجتماعی برای حصول نتایج بهتر گریزناپذیر است.

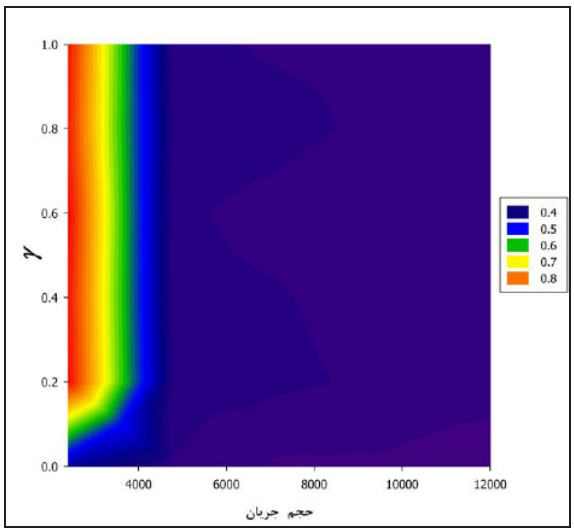
۴- تحلیل نتایج شبیه‌سازی و شناسایی پارامترهای حائز اهمیت

تحلیل حساسیت را می‌توان به صورت ارزیابی اثر تغییرات متغیرهای مؤثر بر یک عکس‌العمل تعریف نمود. با بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پارامترهای اثرگذار بر حرکت عابر پیاده در مدل نیروی اجتماعی دو پارامتر Lambda و tau از سایر پارامترهای اثر بیشتری بر روی نوسانات حرکتی عابران پیاده دارند. از این رو در ادامه به تحلیل حساسیت این دو پارامتر در نرم‌افزار Ptv.Viswalk پرداخته شده است. در روند ارزیابی حساسیت مدل نیروی اجتماعی نسبت به تغییرات این دو پارامتر، نسبت سرعت واقعی عابران پیاده به سرعت مطلوب آن‌ها که عددی بین صفر و یک است به عنوان معیار تعیین حساسیت انتخاب شده است. این پارامتر از این جهت مهم است که هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد نشان از بیشتر شدن فشار بر عابران پیاده و سخت‌تر شدن پیاده‌روی برای آن‌ها است.

۴-۱- تحلیل حساسیت پارامتر شدت اثرات زاویه‌ای (Lambda)

این پارامتر در مدل نیروی اجتماعی با نماد γ نشان داده می‌شود و بیان کننده اثرات غیرایزوتروپیک و زاویه‌ای نیروها است. اثرات نیروهای عابران‌پیاده‌ای که پشت سر عابر مورد نظر واقع شده‌اند با اثرات نیرویی وارده از سوی عابران‌پیاده‌ای که جلوی عابر مورد نظر قرار دارند، با توجه به زاویه قرارگیری آن‌ها متفاوت است. هرچه میزان این پارامتر کمتر از یک باشد، به این معناست که اثرات عابرین پیاده‌ای که جلوی عابرپیاده مورد نظر قرار دارند. بیشتر از عابرین پیاده‌ای است که پشت سر عابر پیاده مورد نظر قرار گرفته‌اند [۴]. این پارامتر عددی بین صفر و یک است و مقدار پیش فرض آن در نرم‌افزار Ptv.Viswalk برابر ۰/۳ می‌باشد. تغییرات و تعیین این پارامتر بستگی به تعیین قدرت و بازه تعاملات میان عابران‌پیاده دارد.

به منظور تحلیل حساسیت این پارامتر در احجام مختلف، تغییرات حجم جریان از بیست درصد حداکثر ممکن تا صد درصد این مقدار به صورت همزمان با تغییر پارامتر شدت اثرات زاویه‌ای از مقدار صفر تا مقدار یک، صورت گرفته است. شکل۶ اثر تغییرات هم زمان حجم جریان و پارامتر شدت اثرات زاویه‌ای را بر پارامتر کنترلی نسبت سرعت پیاده‌روی به سرعت مطلوب به صورت یک نمودار کانتور نمایش می‌دهد.



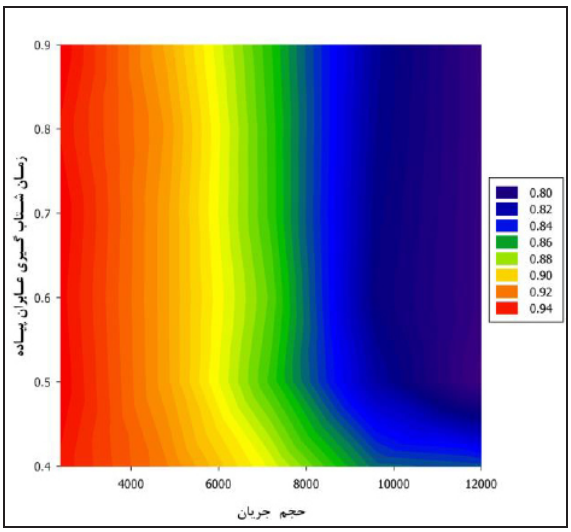
شکل ۶. تحلیل حساسیت هم زمان اثر حجم جریان پارامتر شدت اثرات زاویه‌ای بر نسبت سرعت واقعی به سرعت مطلوب عابران‌پیاده

نمودار اخیر نشان می‌دهد، نتایج شبیه‌سازی بیش از هر چیز متأثر از پارامتر شدت اثرات زاویه‌ای است. کاهش این پارامتر در تمام احجام با کاهش شدید در معیار کنترلی مورد نظر همراه بوده است. به علاوه در صورت کاهش مقدار این پارامتر به کمتر از ۰/۲، حتی در کمترین احجام نسبت سرعت واقعی پیاده‌روی به سرعت مطلوب عابران‌پیاده به شدت کاهش می‌یابد.

۴-۲- تحلیل حساسیت پارامتر زمان شتاب‌گیری عابران‌پیاده (tau)

این پارامتر در مدل نیروی اجتماعی با نماد τ نشان داده می‌شود. این پارامتر از جنس زمان و معادل بازه زمانی است که عابرپیاده از سرعت واقعی خود به سرعت مطلوب دست پیدا می‌کند. این پارامتر معمولاً در شرایط آزمایشگاهی برداشت می‌شود یا در فرآیند بهینه‌سازی مدل نیروی اجتماعی مانند سایر پارامترهای این مدل کالیبره می‌شود. این پارامتر در اغلب مطالعات برابر ۰/۵ ثانیه در نظر گرفته می‌شود [۴].

به منظور تحلیل حساسیت این پارامتر در احجام مختلف، تغییرات حجم جریان از بیست درصد حداکثر ممکن تا صد درصد این مقدار به صورت هم زمان با تغییر پارامتر زمان شتاب‌گیری از مقدار ۰/۴ تا مقدار ۰/۹، صورت گرفته است. شکل ۷ اثر تغییرات هم زمان حجم جریان و پارامتر زمان شتاب‌گیری عابران پیاده را بر پارامتر کنترلی نسبت سرعت پیاده‌روی به سرعت مطلوب به صورت یک نمودار کانتور نمایش می‌دهد.



شکل ۷. تحلیل حساسیت هم زمان اثر حجم جریان پارامتر زمان شتاب‌گیری عابران‌پیاده بر نسبت سرعت واقعی به سرعت مطلوب عابران پیاده

تحلیل حساسیت پارامتر زمان شتاب‌گیری نشان می‌دهد تغییرات نسبت سرعت واقعی به سرعت مطلوب تأثیرپذیری کمی از پارامتر زمان شتاب‌گیری دارد و تغییرات نمودار در امتداد هر خط حجم جریان نسبتاً محدود است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مطالعه پس از بررسی مدل‌های حاکم بر نرم‌افزارهای شبیه‌ساز فرآیند شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Ptv.Viswalk بیان گردید. نرم‌افزار مذکور از یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های عابرپیاده یعنی مدل نیروی اجتماعی برای شبیه‌سازی استفاده می‌نماید. این مدل شامل پارامترهایی است که در مطالعه پیش‌رو از مقادیر تخمین زده شده در مطالعات مدل‌سازی و شبیه‌سازی شهر تهران برای شبیه‌سازی استفاده شده است. نرم‌افزار .Ptv Viswalk علاوه بر چهار پارامتر مدل نیروی اجتماعی، ۱۲ پارامتر دیگر نیز برای شبیه‌سازی عابران‌پیاده استفاده می‌نماید که به‌منظور دست‌یابی به یک شبیه‌سازی کارا می‌بایست کالیبره شوند. از این‌رو در این مطالعه مقایسه‌ای میان پارامترهای پایه نرم‌افزار، پارامترهای شهر تهران و پارامترهای شبیه‌سازی خبره صورت گرفته که در اغلب تسهیلات به‌دلیل کالیبره نمودن ۱۶ پارامتر موجود در نرم‌افزار نتایج بهتری حاصل شده است. یکی دیگر از موارد اثرگذار در شبیه‌سازی آگاهی نسبت به نقش پارامترهای دخیل در شبیه‌سازی و بررسی اثرات تغییرات آن‌هاست.

در بخش آخر این مطالعه، تحلیل حساسیت دو پارامتر مهم شدت اثرات زاویه‌ای و زمان شتاب‌گیری حاکی از آن است که تغییرات بسیار اندک پارامتر γ اثرات قابل توجهی بر روی نتایج شبیه‌سازی دارد و از این‌رو تغییر این پارامتر در نرم‌افزار می‌بایست با حساسیت فراوان و با دیدگاه کارشناسی صورت پذیرد.

۶- مراجع

1. Daamen, W. (2004). Modelling passenger flows in public transport facilities. Netherlands TRAIL Research School.

2. Kuligowski, E. D., & Peacock, R. D. (2005). A review of building evacuation models. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.

3. Kretz, T. (2012). The Effect of Integrating Travel Time. arXiv preprint arXiv:1204.5100.

4. Helbing, D., & Molnar, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics.Physical review E, 51(5), 4282.