

مقایسه دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون

شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ویزیم

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

حمیدرضا کردی‌زاده زواره، کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

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

چکیده

امروزه مدل‌های شبیه‌ساز ترافیکی به منظور ارزیابی شرایط ترافیکی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها زمانی کارآمد هستند که کالیبره شده و مورد اعتبارسنجی قرار گرفته باشند. در این مطالعه، علاوه بر ارائه روشی برای کالیبراسیون جریان ترافیک ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از مدل‌سازی در نرم‌افزار ویزیم، به مقایسه دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور انجام آنالیز حساسیت در فرآیند کالیبراسیون اینگونه مدل‌ها پرداخته شده است. برای این منظور، خیابان کاشانی شهر یزد که دارای شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم بود انتخاب و داده‌های هندسی و ترافیکی محور مورد نظر برداشت گردید. در ادامه، دو روش آنالیز حساسیت ذکر شده به منظور یافتن پارامترهای حساس استفاده و سپس بوسیله الگوریتم ژنتیک، مقادیر بهینه پارامترهای انتخابی از هر روش تعیین گردید. نتایج حاصل از کالیبراسیون نشان داد که خطای میانگین قدر مطلق اختلاف شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده طول صف در تقاطعات مورد نظر محور مورد بررسی با استفاده از پارامترهای انتخابی از روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به ترتیب ۱۹/۳۱ و ۱۹/۱۸ درصد بود. در پایان، اعتبارسنجی با استفاده از زمان سفر رفت و برگشت محور شبیه‌سازی شده انجام و میانگین قدر مطلق خطای بدست آمده از روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به ترتیب ۹/۳۵ و ۸/۲۱ درصد بود. نتایج حاصله نشان داد که هر دو روش دقت لازم برای کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم را دارا بوده و روش طرح عاملی کسری با صرف زمان کمتری به دقت مورد نظر دست می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، طرح عاملی کسری، خطسیر شبه‌بهینه، کالیبراسیون مدل، ترافیک بی‌نظم و ناهمگن

۱. مقدمه

مطالعه خصوصیات مختلف ترافیکی راه‌ها جهت برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری از تسهیلات جاده‌ای و همچنین تنظیم و کنترل ترافیک ضروری است. شبیه‌سازهای ترافیکی ابزار مفیدی برای طراحی، ارزیابی و بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقلی می‌باشند. به طور کلی، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیک بر مبنای شرایط ترافیکی کشورهای توسعه‌یافته اند. بر این اساس، هر وسیله نقلیه در محور میانی خط حرکت کرده و فاصله طولی و جانبی مناسبی را با وسایل نقلیه جلویی و کناری در نظر می‌گیرد. این موضوع در کنار رفتار ترافیکی منضبط‌تر رانندگان در این کشورها باعث می‌شود که کالیبراسیون نرم‌افزارهای ترافیکی برای شرایط ترافیکی مذکور نسبتاً ساده بوده و گاهی حتی در طی یک فرآیند سعی و خطا انجام می‌گیرد. در کشورهای در حال توسعه، نادیده گرفتن حرکت در خطوط عبور تعریف شده توسط رانندگان امری عادی است. به عبارت دیگر، هر خودرو می‌تواند بدون اینکه محدود به حرکت در قسمت مشخصی از جاده باشد، آزادانه در کل مسیر حرکت کند که این امر منجر به مقدار قابل توجهی بی‌نظمی در حرکت‌های عرضی وسایل نقلیه در حریم راه می‌شود. در شرایطی که ترافیک ناهمگن و بی‌نظم است، این فرضیه که خودروها در یک مسیر همدیگر را دنبال می‌کنند، قابل قبول نیست. همچنین، صف‌های یک بعدی در ترافیک منظم و همگن، به صف‌های حجیمی در ترافیک ناهمگن تبدیل می‌شود که عملکردی دوبعدی دارند.

در کشورهای در حال توسعه همچون کشور ما ایران، به دلیل وجود ناهنجاری‌ها و نابسامانی‌های مختلف از قبیل: نبود خط-کشی و علائم رانندگی کافی و مناسب، وجود وسایل نقلیه متنوع در جریان ترافیک، عدم رعایت استانداردهای رانندگی و غیره، شاهد جریان ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم هستیم. به دلیل این مشکلات، در مدل‌سازی این نوع جریان ترافیک در نرم‌افزار ریزسنج شبیه‌سازی، نیاز بیشتری به کالیبراسیون جریان ترافیک می‌باشد.

۲. تعریف مسأله و اهداف تحقیق

امروزه استفاده از شبیه‌سازهای ترافیکی به منظور ابزاری برای برنامه‌ریزی و طراحی شبکه‌های حمل و نقلی رو به گسترده‌گی است. با این حال، این نرم‌افزارها برای بازتولید دقیق شرایط واقعی، بایستی در طی یک فرآیند مدل‌سازی معتبر استفاده شوند. به عنوان نمونه، این مدل‌ها باید به خوبی کالیبره شده باشند. ویزیم^۱ یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی خردنگر قدرتمند و پرکاربرد است که دارای پارامترهای ورودی زیادی می‌باشد. هرچه تعداد این پارامترها زیاد باشد فرآیند کالیبراسیون سخت‌تر و از نظر زمانی پرهزینه‌تر خواهد بود. به منظور کاهش فضای جستجو نیاز به استفاده از یک روش تحلیل حساسیت می‌باشد تا بتوان پارامترهای تاثیرگذار بر خروجی مدل را شناسایی و فقط آن‌ها را وارد فرآیند کالیبراسیون کرد. از این رو، شناسایی یک روش سریع و دقیق برای شناسایی پارامترهای ورودی به فرآیند کالیبراسیون ضروری است. در این مقاله، کاربرد روش‌های خط-سیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون مدل‌های ساخته شده با نرم‌افزارهای ترافیکی و به طور خاص نرم‌افزار ویزیم مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

۳. مرور مطالعات پیشین

روش‌های مختلفی برای کالیبراسیون نرم‌افزارهای ترافیکی ارائه شده است که بیشتر آن‌ها به صورت مسئله کمینه‌سازی اختلاف میان نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌های میدانی با یک روش جستجوی ابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک می‌باشد. با توجه به این‌که این روش‌ها برای بدست آوردن پاسخ نیازمند زمان طولانی هستند، برای دستیابی به پاسخ صحیح در زمان کمتر باید فضای جستجوی آن‌ها را کاهش داد و فقط پارامترهای تاثیرگذار بر خروجی مدل را وارد فرآیند کالیبراسیون کرد. برای تعیین این پارامترها باید از آنالیز حساسیت استفاده کرد. دو معیار اصلی برای انتخاب روش آنالیز حساسیت، دقت و زمان اجرای الگوریتم مورد استفاده می‌باشد. در این بخش به بیان مروری بر

مقایسه دو روش خط‌سیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از نرم-

افزار شبیه‌سازی ویزیم

عامل در هر مرحله زمانی استفاده کردند. به منظور بهینه‌سازی پارامترهای انتخاب شده از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. مقادیر خطای بدست آمده از کالیبراسیون در محدوده قابل قبول بود. اعتبارسنجی این مدل با استفاده از داده‌های ترافیکی مربوط به بازه زمانی متفاوت نسبت به داده استفاده شده در کالیبراسیون انجام گرفت و نشان داد که هم در حالت تقاطع تکی و هم در حالت کالیبراسیون کلی تقاطعات (به جز یک مورد) نتایج قابل قبول است. نتایج حاصل از این روش کالیبراسیون پیشنهادی نشان داد که این روش قابلیت مدل‌سازی تقاطعات ناهمگن را به نحوی منطقی دارا می‌باشد.

منجوناتا^۱ و همکاران (۲۰۱۳)، تقاطعات کنترل شده با چراغ راهنمایی در شهر مومبای هند را مورد مطالعه قرار دادند و در نرم‌افزار ویزیم شبیه‌سازی کردند. آن‌ها از آنالیز واریانس ۲ عامله به عنوان آنالیز حساسیت استفاده کردند. تاخیر کنترلی را به عنوان شاخص ارزیابی انتخاب کرده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مقدار بهینه پارامترهای موثر را پیدا کردند. قدرمطلق اختلاف میانگین تاخیر بدست آمده از شبیه‌سازی و مشاهده شده به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روش پیشنهادی توانایی کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن را داراست.

سیدهارت و رامادورای^۲ (۲۰۱۳)، یک تقاطع با ترافیک ناهمگن در شهر چنای هند را مورد مطالعه قرار دادند. محدوده مورد مطالعه دارای طیف وسیع وسایل نقلیه با مشخصات دینامیکی و استاتیکی متفاوت و همچنین بی‌نظمی در خطوط عبوری بود. آن‌ها برای شناسایی پارامترهای موثر نرم‌افزار ویزیم از آنالیز واریانس یک طرفه و روش اثرات ابتدایی به عنوان آنالیز حساسیت استفاده کردند. به منظور نمونه‌برداری در روش تحلیل واریانس، از روش ابر مکعب لاتین استفاده شده است. برای بهینه‌سازی پارامترها از الگوریتم ژنتیک استفاده شد. میانگین قدرمطلق درصد خطاها (MAPE^۳) به عنوان تابع هدف انتخاب شد و جریان ترافیک را به عنوان شاخص اندازه‌گیری انتخاب

مطالعات پیشین انجام شده در زمینه آنالیز حساسیت، کالیبراسیون و اعتبارسنجی نرم‌افزارهای مختلف ترافیکی پرداخته شده است. پارک و اشنیرگر^۴ (۲۰۰۳)، روشی را برای کالیبراسیون یک خیابان شریانی با ۱۲ تقاطع هوشمند با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ویزیم ارائه دادند. میانگین زمان سفر به عنوان شاخص کالیبراسیون و حداکثر طول صف بین دو تقاطع مشخص را به عنوان شاخص اعتبارسنجی انتخاب کردند. ۸ پارامتر نرم‌افزار برای کالیبراسیون انتخاب شدند و دامنه تغییرات قابل قبول آن‌ها مشخص شد. سپس، با استفاده از روش نمونه‌گیری ابر مکعب لاتین^۵، تعداد ترکیبات پارامترها برای کالیبراسیون را از ۳۹۰۶۲۵ به ۱۲۴ کاهش دادند. در ادامه، یک مدل رگرسیون خطی با استفاده از پارامترهای کالیبراسیون به عنوان متغیرهای وابسته و زمان سفر بدست آمده از ویزیم به عنوان پارامتر مستقل ایجاد کردند. مقدار متغیر وابسته را برابر با زمان سفر اندازه‌گیری شده از محل قرار داده و با استفاده از نرم‌افزار اکسل، ۸ دسته پارامتر که در معادله رگرسیون صدق می‌کرد را انتخاب کردند. با اجرای ۵۰ تکرار برای هر ترکیب و انجام آزمون t، مقایسه‌ای بین توزیع زمان سفر بدست آمده از نرم‌افزار و محل انجام گرفت. سپس بازمینی بصری انجام گرفت و دو ترکیب به دلیل متفاوت بودن با شرایط میدانی حذف شدند. در نهایت یکی از ترکیب‌ها که بر اساس توزیع زمان سفر، آزمون t و بازمینی بصری بهترین عملکرد را داشت انتخاب گردید. در انتها نیز اعتبارسنجی با مقایسه طول صف بدست آمده از محل با توزیع طول صف بدست آمده از اجرای نرم‌افزار انجام گرفت و صحت کالیبراسیون را تایید کرد.

متو و رادهاکریشن^۶ (۲۰۱۰)، شبیه‌سازی شرایط ترافیکی ناهمگن و دارای بی‌نظمی در خطوط عبوری را برای سه تقاطع چراغ‌دار در نرم‌افزار ویزیم انجام دادند. این مطالعه جزو اولین مواردی بود که شرایط ترافیکی با وسایل نقلیه متنوع، تغییر در ترکیب ترافیک و بی‌نظمی در خطوط عبوری را در بر می‌گرفت. برای شناسایی پارامترهای کالیبراسیون از روش OAT^۷ یا یک

نظیر تقاطعات انجام گرفته است. دلیل این امر می‌تواند دشواری دست یافتن به خطاهای مجاز در فرآیند کالیبراسیون شرایط ترافیکی بی‌نظم و ناهمگن باشد. از این رو، در این مطالعه از محدوده‌ای بزرگتر نسبت به مطالعات قبلی استفاده شده است که شامل یک خیابان شهری به همراه تعدادی تقاطع چراغ‌دار می‌باشد.

۴. روش تحقیق

به فرآیندی که طی آن نتایج شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار به نتایج میدانی مشاهده شده نظیر آن نزدیک می‌شود و به مقدار قابل قبولی می‌رسد، کالیبراسیون می‌گویند. این کار از طریق تنظیم پارامترهای شبیه‌سازی که در نرم‌افزار موجود است انجام می‌گیرد. در این بخش، ضمن معرفی محور مورد مطالعه، به فرآیندی که طی آن کالیبراسیون انجام می‌گیرد پرداخته شده است.

۴-۱ جمع‌آوری آمار

خیابان کاشانی شهر یزد که در این مطالعه استفاده شده است یکی از خیابان‌های مرکزی شهر یزد با نقش عملکردی جمع و پخش‌کننده می‌باشد که دارای ۴ تقاطع با چراغ راهنمایی هوشمند می‌باشد. شکل ۱ نمایی از این محور را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از محور مورد مطالعه

اطلاعات آماری این تقاطع که شامل احجام ترافیک ساعت اوج، ترکیب ترافیک، درصد حرکات گردش و توزیع سرعت مطلوب می‌شود در روز یکشنبه ۱۳۹۴/۳/۱۷ و با استفاده از فیلم‌های ضبط

کردند. نتایج حاصل از این مطالعه کارایی روش مورد استفاده برای کالیبراسیون ترافیک ناهمگن را نشان داد.

شریعت و همکاران (۱۳۹۲)، یک روش تحلیل حساسیت مبتنی بر روش طراحی آزمایش چند عاملی کسری دو سطحی را ارائه دادند. این روش برای تحلیل حساسیت مدل یک گلوگاه آزادراهی در تهران در نرم‌افزار شبیه‌ساز ویزیم به کار گرفته شد و تاثیر ۲۶ پارامتر منتخب ویزیم و ۳۲۵ اندرکنش دو طرفه آن‌ها بر ظرفیت جریان مدل و طول صف آن بررسی گردید. به این صورت با اجرای طرح $2^{(16-26)}$ (۱۰۲۴ ترکیب)، تعداد ۱۱ اثر اصلی و ۱۳ اندرکنش موثر بر ظرفیت جریان و ۵ اثر اصلی و ۱۰ اندرکنش موثر بر طول صف شناخته شدند که پارامترهای دخیل در آن‌ها می‌توانند در کالیبراسیون این مدل و مدل‌های مشابه تنظیم گردند.

بدین ترتیب، مرور مطالعات پیشین در این رابطه نشان می‌دهد که مطالعات زیادی در دهه اخیر در رابطه با مدل‌سازی و کالیبراسیون جریان‌های ترافیکی انجام شده است. اکثر این مطالعات بر روی جریان ترافیکی همگن و دارای نظم انجام گرفته است اما اخیراً جریان ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم نیز مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات انجام شده برای مدل‌سازی شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم عموماً بر روی محدوده‌های کوچک

اطلاعات هندسی جمع‌آوری شده شامل تعداد خطوط عبوری، موقعیت تقاطعات و موقعیت رویکردها می‌باشد. این اطلاعات با استفاده از بازدید میدانی و عکس‌های هوایی برداشت گردید.

مقایسه دو روش خط‌سیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از نرم-

افزار شبیه‌سازی ویزیم

استفاده کرده‌اند. در این تحقیق، با توجه به قابلیت نرم‌افزار ویزیم برای عبور چند خودرو در یک خط، مدل‌سازی در حالت بدون خط انجام گرفت.

پس از مدل‌سازی با عیب‌یابی بصری اشکالات احتمالی مدل مانند تشکیل صف در بعضی گردش به راست‌ها بر طرف شد. قسمتی از محور مدل شده در نرم‌افزار ویزیم در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. قسمتی از محور مدل شده در شبیه‌ساز ویزیم

شده توسط دوربین‌های نظارتی شهرداری و همچنین یک تیم آمارگیری در بازه‌های ۵ دقیقه‌ای به تفکیک سواری، موتورسیکلت و وسیله نقلیه سنگین برداشت گردید. تعداد خودروهای در صف در لحظه سبز شدن چراغ رویکرد به عنوان شاخص کالیبراسیون در طول دوره آمارگیری برداشت گردید. همچنین، زمان‌بندی چراغ راهنمایی با همکاری معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری یزد تهیه گردید.

پس از آمارگیری و انجام محاسبات، ساعت اوج تقاطع ۱۹:۱۵ تا ۲۰:۱۵ بدست آمد. سایر محاسبات بر روی آمار و داده‌ها بر اساس این ساعت انجام گرفت. آمار زمان سفر در این محور نیز برداشت شد. اطلاعات مربوط به مشخصات خودروهای سواری از کتابچه‌های راهنمای مربوط به کالیبراسیون نرم‌افزارهای ترافیکی سازمان حمل و نقل شهرداری تهران استخراج گردیده و در شبیه‌سازی محور مورد نظر استفاده شده است.

۳-۴ کالیبراسیون

به منظور کالیبراسیون در این تحقیق، که شامل دو بخش آنالیز حساسیت و بهینه‌سازی می‌باشد، در ابتدا پارامترهای وارد شده به این فرآیند مشخص و محدوده قابل تنظیم هر یک از آنها تعیین گردید. انتخاب این پارامترها و تعیین محدوده آنها بر اساس مطالعات پیشین و همچنین قضاوت مهندسی انجام گرفت. پارامترهای وارد شده به مرحله کالیبراسیون و محدوده آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

۲-۴ مدل‌سازی

پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز ویزیم، محور مورد نظر مدل‌سازی شد. از نسخه ۱۱ نرم‌افزار ویزیم به دلیل اینکه امکان تهیه نسخه اصلی آن توسط شرکت سازنده وجود داشت و در نتیجه نتایج قابل اطمینانی را ارائه می‌کرد استفاده شد. در مطالعات پیشین، اکثر در مدل‌سازی جریان ترافیک بی‌نظم به جای استفاده از خطوط موجود، از تعداد خطوط موثر استفاده شده توسط رانندگان

جدول ۱. پارامترهای انتخابی و محدوده آنها به منظور انجام فرآیند کالیبراسیون

نام اختصاری	پارامتر (واحد)	محدوده
X1	متوسط فاصله بین خودروهای ساکن ^۹ (متر)	[۰/۵-۲/۵]
X2	ضریب افزایشنده در فرمول فاصله ایمن ^{۱۰}	[۰-۴]
X3	ضریب تشدید کننده در فرمول فاصله ایمن ^{۱۱}	[۰-۴]
X4	بیشینه فاصله دید در جلو ^{۱۲} (متر)	[۲۵۰-۴۰۰]
X5	حداقل فاصله جانبی بین خودروهای ساکن ^{۱۳} (متر)	[۰/۱-۰/۶]
X6	حداقل فاصله جانبی بین خودروها در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت ^{۱۴} (متر)	[۰/۶-۱/۲]
X7	فاصله تغییر خط ^{۱۵} (متر)	[۱۵۰-۴۰۰]

۴-۳-۱ آنالیز حساسیت

منظور از آنالیز حساسیت، روشی برای تغییر در متغیرهای ورودی به منظور پیش‌بینی کردن تاثیر این تغییرات بر روی خروجی مدل می‌باشد. نرم‌افزار ویزیم دارای پارامترهای ورودی بسیاری است و وارد کردن تمام این پارامترها در فرآیند بهینه‌سازی نیاز به صرف زمان بسیار زیادی دارد و در بعضی موارد عملاً غیر ممکن است. در این مطالعه، به منظور شناسایی پارامترهای حساس، از دو روش خط‌سیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور تعیین حساسیت پارامترهای انتخابی بر خروجی مدل استفاده شده است.

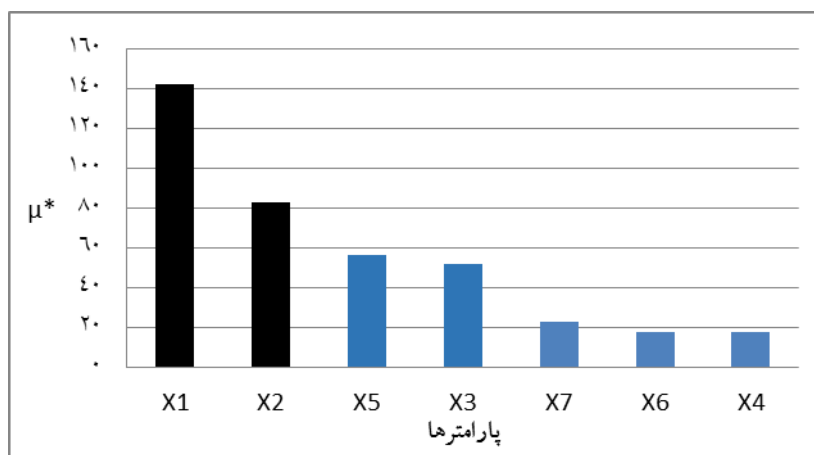
• روش خط‌سیر شبه‌بهینه

روش خط‌سیر شبه‌بهینه روشی بر پایه اثرات ابتدایی^{۱۶} است. این روش در گروه روش‌های OAT یا یک عامل در هر مرحله زمانی دسته‌بندی می‌شود. کد مربوط به آنالیز حساسیت در محیط

متلب نوشته شد. پس از اجرای این کد، ۸۰ دسته پارامتر برای ورود به نرم‌افزار مشخص شدند. به منظور کاهش اثر احتمالاتی نرم‌افزار شبیه‌ساز، هر دسته پارامتر ۵ بار با اعداد تصادفی^{۱۷} مختلف اجرا گردید و میانگین این ۵ اجرا به عنوان خروجی دسته پارامتر مشخص شد. در مجموع ۴۰۰ اجرای نرم‌افزار انجام گرفت.

پس از انجام آنالیز حساسیت، با استفاده از نتایج بدست آمده مقدار μ^* محاسبه شد. مقدار بیشتر μ^* نشان‌گر حساسیت بیشتر پارامتر نرم‌افزار به شاخص کالیبراسیون (در اینجا طول صف) است.

بر اساس شکل ۳، پارامترهای X1 و X2 حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها دارند و باید حتماً برای مرحله کالیبراسیون انتخاب شوند.



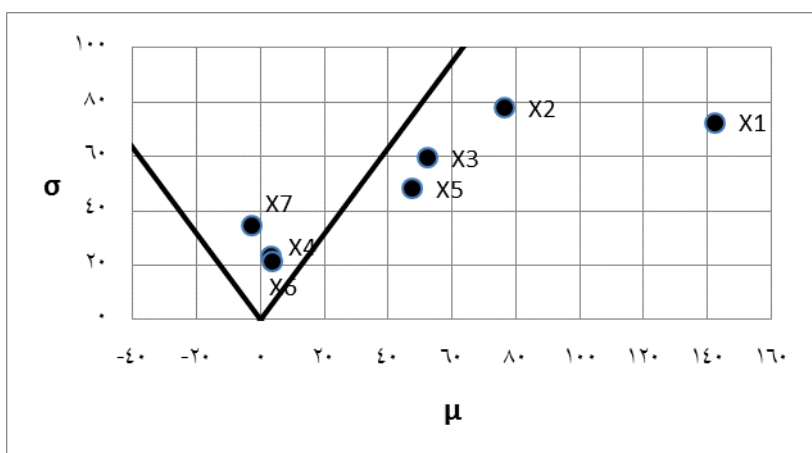
شکل ۳. رده‌بندی حساسیت پارامترها به میانگین طول صف برای تمامی رویکردها

حساسیت) می‌باشد. تغییرات پارامترهایی که خارج از این دو خط واقع شوند، قطعاً بر روی خروجی تاثیرگذار است. این نمودار در شکل ۴ نشان داده شده است.

در ادامه، برای بررسی سایر پارامترها، یک گوه با استفاده از دو خط متناظر با $\mu = \pm 2 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ در نمودار $\mu - \sigma$ رسم گردید که در اینجا n برابر با ۱۰ (تعداد خط سیرهای انتخابی در ابتدای آنالیز

مقایسه دو روش خط‌سیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از نرم-

افزار شبیه‌سازی ویزیم



شکل ۴. نمایش μ در برابر σ

اثرهای اصلی همه عوامل و اندرکنش‌های هم‌زمان بین پارامترهای کمتر را با دقت کافی و در زمان مناسب بدست می‌دهند. در این روش فرض می‌شود که اندرکنش‌های هم‌زمان بین پارامترهای بیشتر، اثر کم و احیاناً قابل‌نظر بر مقدار تابع هدف دارند.

در این مطالعه، از نرم‌افزار مینی‌تب به منظور طراحی آزمایش عاملی کسری استفاده گردید. با ایجاد طرح کسری $2^{(7-1)}$ ، ۶۴ دسته پارامتر برای ورود به نرم‌افزار با رزولوشن ۷ تولید شد. $G=ABCDEF$ به عنوان مولد طرح در نظر گرفته شد.

به منظور کاهش اثر احتمالاتی نرم‌افزار شبیه‌ساز، هر دسته پارامتر ۵ بار با اعداد تصادفی مختلف اجرا شد و میانگین نتایج این ۵ اجرا به عنوان خروجی در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۲۰ اجرای نرم‌افزار انجام گرفت. خروجی این اجراها، میانگین طول صف در تمامی رویکردها برای بازه زمانی مورد بررسی بود.

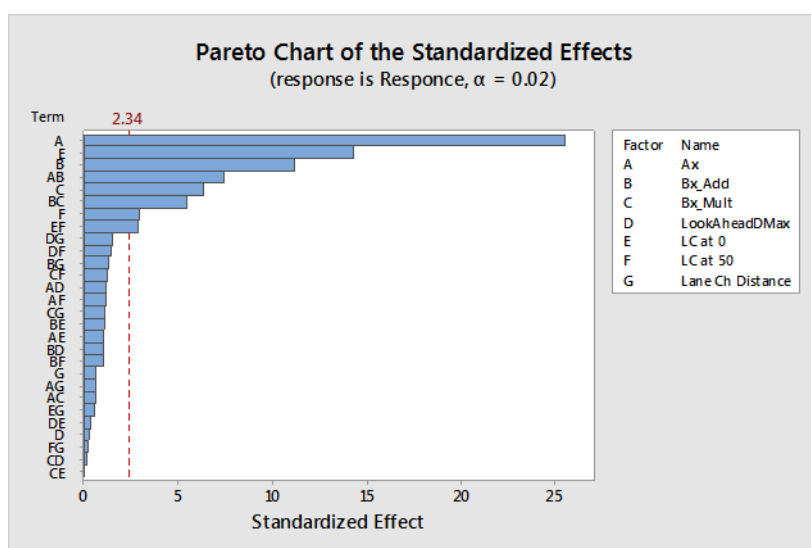
پس از انجام آنالیز حساسیت، با استفاده از تحلیل واریانس بر روی نتایج بدست آمده، پارامترهای حساس تعیین گردیدند. بر اساس این نتایج، با توجه به شکل ۵ و درجه اطمینان ۹۵٪، پارامترهای $X1, X2, X3, X5$ و $X6$ و همچنین اندرکنش‌های $X1*X2, X2*X3, X5*X6$ و $X2*X3$ تاثیرگذار شناخته شدند.

مشاهده می‌شود که علاوه بر دو پارامتر قبلی، پارامترهای $X3$ و $X5$ را نیز می‌توان به عنوان پارامتر تاثیرگذار انتخاب کرد. بر این اساس، ۴ پارامتر که بیشترین تاثیر را بر خروجی مدل داشتند برای ورود به مرحله بهینه‌سازی انتخاب شدند. این پارامترها عبارت‌اند از:

- ۱- متوسط فاصله بین خودروهای ساکن ($X1$)
- ۲- ضریب افزایشنده در فرمول فاصله ایمن ($X2$)
- ۳- ضریب تشدیدکننده در فرمول فاصله ایمن ($X3$)
- ۴- حداقل فاصله جانبی بین خودروها در حالت ساکن ($X5$)

• روش طرح عاملی کسری

بسیاری از آزمایش‌ها، شامل مطالعه‌ی اثرهای دو یا بیشتر از دو عامل‌اند. به طور کلی، استفاده از طرح‌های عاملی برای این نوع آزمایش‌ها موثر است. منظور از یک طرح عاملی، بررسی تمام ترکیب‌های ممکن سطوح عامل‌ها در یک آزمون کامل است. طرح‌های عاملی، تنها روشی است که اندرکنش بین پارامترها را در نظر می‌گیرد. از آنجا که تعداد پارامترهای نرم‌افزار ویزیم زیاد است، انجام آزمایش کامل از نظر زمانی بسیار پرهزینه خواهد بود. در نتیجه از روش‌های چندعاملی کسری استفاده می‌شود که



شکل ۵. نمودار میزان تاثیر پارامترها بر خروجی مدل

حتی با رسیدن به جواب‌های مناسب نیز نمی‌توان اطمینان یافت که جواب‌های بدست آمده، بهینه‌ترین آن‌ها هستند. بنابراین، بهترین راه برای یافتن مقادیر بهینه پارامترها، استفاده از یک روش بهینه‌سازی می‌باشد. در این مقاله، از الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی پارامترهای مدل استفاده شد.

به منظور ایجاد ارتباط زنده بین نرم‌افزارهای متلب و ویزیم و انجام فرآیند تکراری فراخوانی داده‌ها در ویزیم، اجرای شبیه‌سازی، محاسبه تابع هدف و انتقال خروجی به متلب از رابط COM^{۱۹} نرم‌افزار ویزیم استفاده شد.

کد الگوریتم ژنتیک و رابط COM در محیط متلب نوشته شد. در این الگوریتم، از عملگر تقاطع به روش تکثیر میانی با نرخ ۰/۸ و عملگر جهش یکنواخت با نرخ ۰/۰۲ استفاده شد. انتخاب کروموزوم‌ها بر اساس روش رتبه‌بندی انجام گرفت. جمعیت اولیه برابر با ۱۰ و تعداد نسل‌های الگوریتم برابر ۳۰ انتخاب شد. همچنین، میانگین خطای مطلق نرمال‌شده طول صف ۷ رویکرد محور مورد بررسی به عنوان تابع هدف انتخاب شد. نتایج بهترین کروموزوم‌های هر نسل الگوریتم به تفکیک روش آنالیز حساسیت در شکل ۶ و شکل ۷ نشان داده شده است.

پارامترهای زیر برای ورود به مرحله بهینه‌سازی انتخاب شدند:

- ۱- ضریب افزایشنده در فرمول فاصله ایمن (X1)
- ۲- متوسط فاصله بین خودروهای ساکن (X2)
- ۳- ضریب تشدید کننده در فرمول فاصله ایمن (X3)
- ۴- حداقل فاصله جانبی بین خودروها در حالت ساکن (X5)
- ۵- حداقل فاصله جانبی بین خودروها در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت (X6)

میانگین وزن‌دار طول صف ۷ رویکرد از ۱۳ رویکرد محور مورد بررسی به عنوان شاخص کالیبراسیون انتخاب شد. به منظور مقایسه مدل و واقعیت از تابع میانگین خطای مطلق نرمال‌شده^{۱۸} (MANE) که در تحقیقات بسیاری به کار رفته بود استفاده شد.

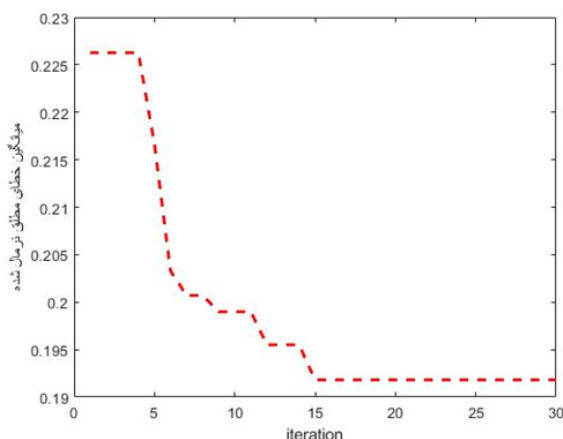
۴-۳-۲ بهینه‌سازی مقادیر پارامترهای منتخب برای

کالیبراسیون

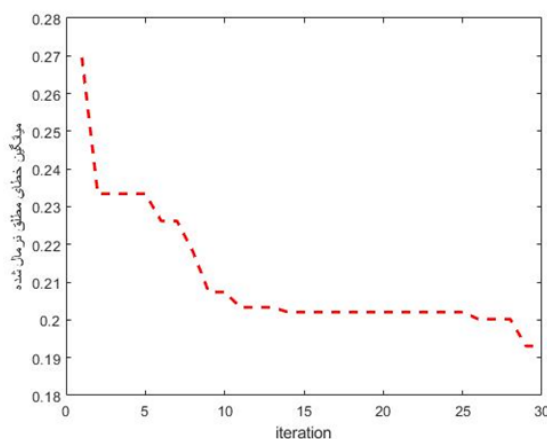
هدف از این مرحله، بهینه کردن مقادیر پارامترهای انتخابی از مرحله آنالیز حساسیت می‌باشد. تغییر پارامترها به صورت دستی به منظور یافتن مقدار بهینه آن‌ها، نیازمند زمان زیادی برای آزمایش ترکیبات مختلفی از پارامترها می‌باشد. در این صورت،

مقایسه دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از نرم-

افزار شبیه‌سازی ویزیم



شکل ۶. نتایج بهترین کروموزوم‌های هر نسل با استفاده از روش خطسیر شبه‌بهینه



شکل ۷. نتایج بهترین کروموزوم‌های هر نسل با استفاده از روش طرح عاملی کسری

تحقیق، بهینه‌سازی پارامترها با در نظر گرفتن معیار طول صف به صورت هم‌زمان برای چند رویکرد از تقاطع‌های واقع در یک خیابان شهری با طول نسبتاً قابل توجه انجام گرفته است، می‌توان خطای بدست آمده را قابل قبول دانست. مقادیر بهینه پارامترهای بدست آمده از الگوریتم ژنتیک نیز به تفکیک روش آنالیز حساسیت مورد استفاده در جدول ۲ و جدول ۳ نشان داده شده است.

در این شکل‌ها، محور افقی شماره نسل و محور عمودی درصد خطای بدست آمده برای بهترین کروموزوم هر نسل را نشان می‌دهد. مقدار تابع خطا برای بهترین کروموزوم در نسل سی‌ام با استفاده از روش خطسیر شبه‌بهینه برابر با ۱۹/۳۱ درصد و با استفاده از روش طرح عاملی کسری برابر با ۱۹/۱۸ درصد می‌باشد. در مطالعات مختلف معیار مشخصی برای مقدار قابل قبول خطای طول صف ارائه نشده است. با توجه به اینکه در این

جدول ۲. مقادیر بهینه پارامترها در روش خطسیر شبه‌بهینه

مقدار بهینه	پارامتر
۰/۷۵۲۶	متوسط فاصله بین خودروهای ساکن
۰/۲۱۵۱	ضریب افزایشنده در فرمول فاصله ایمن
۰/۹۰۹۹	ضریب تشدید کننده در فرمول فاصله ایمن

پارامتر	مقدار بهینه
حداقل فاصله جانبی بین خودروهای حالت ساکن	۰/۳۰۷۴

جدول ۳. مقادیر بهینه پارامترها در روش طرح عاملی کسری

پارامتر	مقدار بهینه
متوسط فاصله بین خودروهای ساکن	۰/۷۲۵۳
ضریب افزایش در فرمول فاصله ایمن	۰/۴۳۱۸
ضریب تشدید کننده در فرمول فاصله ایمن	۱/۶۳۶۷
حداقل فاصله جانبی بین خودروهای حالت ساکن	۰/۱۴۷۱
حداقل فاصله جانبی بین خودروها در سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت	۱/۰۴۰۴

بدست آورد. اما با استفاده از روش طرح عاملی کسری که بر پایه آنالیز واریانس است می‌توان علاوه بر اثرات اصلی، اندرکنش‌های میان پارامترها را نیز بدست آورد. علاوه بر آن، هنوز یک روش کمی برای تفسیر نتایج حاصل از روش خط‌سیر شبه‌بهینه ارائه نشده است و این نتایج بایستی به صورت کیفی ارزیابی شده و پارامترهای تاثیرگذار انتخاب گردند. اما در روش طرح عاملی کسری این تحلیل به صورت کمی و با انجام آزمایشات آماری صورت می‌پذیرد. از مشکلات روش‌های مبتنی بر واریانس، تعداد اجرای زیاد آن‌ها است که با توجه به محدودیت‌های نرم‌افزاری و زمانی برای محققین می‌تواند مشکل‌ساز باشد. اما روش‌های کسری با کاهش مقدار اجراهای این مشکل را حل کرده است. تعداد اجراهای مدل در روش طرح عاملی کسری ۳۲۰ اجرا بود که نسبت به یک طرح عاملی کامل که نیاز به ۶۴۰ (۲^۷×۵) اجرا دارد، میزان اجرای نرم‌افزار را به مقدار ۵۰ درصد کاهش داد. این تعداد برای روش خط‌سیر شبه‌بهینه نیز ۴۰۰ اجرا بود. نتایج حاصله نشان داد که هر دو روش دقت کافی در یافتن پارامترهای حساس را دارا بوده‌اند. بعلاوه، با استفاده از روش طرح عاملی کسری دوسطحی، اندرکنش میان پارامترها نیز مورد توجه قرار گرفته است. این نتایج به صورت خلاصه در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است.

۴-۴ اعتبارسنجی مدل‌ها و مقایسه عملکرد روش‌های

کالیبراسیون مورد استفاده

پس از انجام کالیبراسیون و بدست آوردن مقادیر بهینه پارامترها، مدل‌های کالیبره شده با مقادیر بهینه بدست آمده برای آن‌ها با شاخص عملکردی متفاوت و همچنین بازه زمانی متفاوت نسبت به مرحله کالیبراسیون اعتبارسنجی شدند تا مشخص شود که مدل‌های کالیبره شده تا چه اندازه در بازتولید شرایط واقعی موفق بوده‌اند. برای این منظور، زمان سفر مسیر رفت و برگشت محور مورد بررسی برداشت و با استفاده از تابع میانگین خطای مطلق نرمال‌شده، نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های میدانی مقایسه گردید. میانگین زمان سفر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای روش خط‌سیر شبه‌بهینه در مسیر رفت به ترتیب ۵:۴۰ و ۵:۲۰ دقیقه و در مسیر برگشت به ترتیب ۵:۴۰ و ۵:۵۰ دقیقه بود. مقدار خطا نیز برای مسیر رفت و برگشت به ترتیب برابر با ۸/۶۵ و ۱۰/۰۵ درصد بدست آمد. همچنین برای روش طرح عاملی کسری، میانگین زمان سفر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در مسیر رفت به ترتیب ۵:۴۰ و ۵:۳۸ دقیقه و در مسیر برگشت به ترتیب ۵:۴۰ و ۵:۱۳ دقیقه بود. مقدار خطا نیز برای مسیر رفت و برگشت به ترتیب برابر با ۷/۹۹ و ۸/۵۲ درصد بدست آمد. روش خط‌سیر شبه‌بهینه در دسته روش‌های یک عامل در هر مرحله زمانی قرار دارد و نمی‌تواند اندرکنش میان پارامترها را

مقایسه دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری به منظور کالیبراسیون شرایط ترافیکی ناهمگن و بی‌نظم با استفاده از نرم-

افزار شبیه‌سازی ویزیم

جدول ۴. مقایسه عملکرد دو روش از حیث خطا و تعداد اجراهای مورد نیاز مدل

خطسیر شبه‌بهینه	طرح کسری عاملی	
۴۰۰	۳۲۰	تعداد اجرا
۱۹/۳۱	۱۹/۱۸	خطای کالیبراسیون (درصد)
۹/۳۵	۸/۲۱	خطای اعتبارسنجی (درصد) (میانگین مسیر رفت و برگشت)

۵. نتیجه‌گیری

نتایج تابع خطای طول صف حاصله در پی بهینه‌سازی مقادیر پارامترهای منتخب در فرآیند کالیبراسیون مدل با استفاده از پارامترهای بدست آمده از هر دو روش آنالیز حساسیت تقریباً یکسان و مشابه بدست آمد. این نتایج نشان داد که هر دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری در پیدا کردن پارامترهایی که تاثیر زیادی بر روی خروجی مدل دارند موفق عمل کرده‌اند.

با توجه به کم و مشابه بودن اختلاف میانگین‌های نتایج شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده زمان سفر در فرآیند اعتبارسنجی مدل‌ها و به عبارت دیگر مقادیر پایین تابع خطای زمان سفر در مسیرهای رفت و برگشت محور مورد بررسی، می‌توان گفت که این مدل‌ها دارای اعتبار قابل قبولی بوده و توانایی بازتولید شرایط واقعی را دارا هستند. لذا بر مبنای نتایج حاصله از مرحله اعتبارسنجی نیز می‌توان ادعا نمود که هر دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری دارای عملکرد مشابه و قابل قبولی بوده‌اند.

تعداد اجرای برنامه در هر دو روش خطسیر شبه‌بهینه و طرح عاملی کسری در مقایسه با روش‌های معمول دیگر مانند تحلیل واریانس و نیز طرح عاملی کامل تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد که این موضوع از حیث تسریع در فرآیند کالیبراسیون مدل‌های شبیه‌سازی حائز اهمیت می‌باشد. همچنین، روش طرح عاملی کسری با صرف زمان کمتری نسبت به روش خطسیر شبه‌بهینه به دقت مورد نظر دست می‌یابد.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. VISSIM
2. Park and Schneeberger
3. Latin Hypercube Sampling
4. Mathew and Radhakrishnan
5. Once At a Time
6. Manjunatha
7. Siddharth and Ramadurai
8. Mean Absolute Percentage Error
9. Average Standstill Distance
10. Additive Part of Safety Distance
11. Multiplicative Part of Safety Distance
12. Look Ahead Distance / Max
13. Lateral Minimum Distance at 0 Km/h
14. Lateral Minimum Distance at 50 Km/h
15. Lane Change Distance
16. Elementary Effects
17. Random Seed
18. Mean Absolute Normalized Error
19. Component Object Model

۷. مراجع

- رئوفی، م و شریعت مهیمنی، ا، ارائه روشی برای تحلیل حساسیت پارامترهای شبیه‌سازهای ترافیکی، *مطالعات پژوهشی راهور*، ۱۳۹۲، شماره ۵.

- معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران، ۱۳۹۱، جلد سوم.

- G. Tiwari, 2000, Traffic flow and safety: need for new models for heterogeneous traffic, Inj.

- simulation models, *Int. J. Transp.*, vol. 2, no. 2, pp. 49–64.
- D. C. Montgomery, 2012, *Design and analysis of experiments*, Eight edition.
 - K.-O. Kim and L. Rilett, 2003, Simplex-based calibration of traffic microsimulation models with intelligent transportation systems data, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, no. 1855, pp. 80–89.
 - S.-J. Kim, W. Kim, and L. Rilett, 2005, Calibration of microsimulation models using nonparametric statistical techniques, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, no. 1935, pp. 111–119.
 - E. Merritt, 2004, Calibration and validation of CORSIM for Swedish road traffic conditions, in *Proceedings of the 83rd TRB annual meeting*, Washington, DC.
 - T. Ma and B. Abdulhai, 2002, Genetic Algorithm-Based Optimization Approach and Generic Tool for Calibrating Traffic Microscopic Simulation Parameters, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1800, no. 6–15.
 - Prev. Control, vol. 72, pp. 71–88.
 - B. Park and J. Schneeberger, 2003, Microscopic Simulation Model Calibration and Validation: Case Study of VISSIM Simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System, *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1856, no. 03, pp. 185–192.
 - T. V Mathew and P. Radhakrishnan, 2010, Calibration of microsimulation models for nonlane-based heterogeneous traffic at signalized intersections, *J. Urban Plan. Dev.*, vol. 136, no. 1, pp. 59–66.
 - P. Manjunatha, P. Vortisch, and T. V Mathew, 2013, Methodology for the Calibration of VISSIM in Mixed Traffic,” *Transp. Res. board 92nd Annu. Meet.*, no. 13–3677, p. 93.
 - S. M. P. Siddharth and G. Ramadurai, 2013, Calibration of VISSIM for Indian heterogeneous traffic conditions,” *Procedia-Social Behav. Sci.*, vol. 104, pp. 380–389.
 - M. D. Morris, 1991, Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments, *Technometrics*, vol. 33, no. 2, pp. 161–174.
 - Q. Ge and M. Menendez, 2014, An efficient sensitivity analysis approach for computationally expensive microscopic traffic