

## ارزیابی عملکرد ترافیکی تغییر خط وسایل نقلیه قبل و پس از گردش به راست در تقاطع‌های چراغدار

### مقاله پژوهشی

امیرمسعود رحیمی\*، دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
محمود اکبرزاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
احمد اکبرزاده، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
آرش مظاهری، دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amrahimi@znu.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۳/۱۲ - پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۰

صفحه ۹۵-۱۱۰

### چکیده

عملکردهای ترافیکی در بخش‌های متراکم جاده‌ها بسیار پیچیده هستند و یک تحلیل جامع از فعل و انفعالات بین وسایل نقلیه جهت درک رویدادها در گلوگاه‌های ترافیکی و توصیه راه‌حل‌هایی برای آن ضروری است. این مسئله، توسعه تئوری‌های ترافیکی برای توضیح رفتار راننده در سطح خردتر را نیاز دارد که یکی از عناصر اصلی آن، رفتار تغییر خط است. در این تحقیق، اثرات عملکردی تغییر خط وسایل نقلیه قبل از گردش به راست جهت خروج از تقاطع و پس از گردش به راست جهت ادغام به مسیر بعدی، در درصد‌های مختلف حجم ترافیکی گردش به راست در مجاورت سه تقاطع چراغدار "فلزی-ملت، سیمین و شیخ صدوق" در شهر اصفهان با استفاده از نرم‌افزار ایمنان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. ابتدا در ساعت اوج از شرایط میدانی سه تقاطع مذکور فیلمبرداری صورت گرفت. سپس با انجام بازدید میدانی و همچنین مشاهده فیلم‌های برداشت شده، مشخصات هندسی و ترافیکی تقاطع‌ها استخراج و با اطلاعات دریافتی از شهرداری اصفهان تکمیل شد. در ادامه دو پارامتر اصلی مدل تغییر خط ایمنان شامل فاصله ناحیه ۱ و فاصله ناحیه ۲، با مقادیر پیشنهادی برآورد شدند. در نهایت برای بهینه‌سازی چراغ ترافیکی سه تقاطع تحت سناریوهای مختلف از نرم‌افزار سینکرو استفاده شد و حاصل بهینه‌سازی سیکل آن تقاطع‌ها جهت شبیه‌سازی وارد نرم‌افزار ایمنان شد. نتایج شبیه‌سازی تقاطع‌ها در نرم‌افزار ایمنان نشان داد استفاده از مقادیر پیشنهادی به جای مقادیر پیش فرض نرم‌افزار برای فاصله ناحیه ۱ و ۲، شاخص عملکردی زمان سفر را در سه تقاطع فلزی-ملت، سیمین و شیخ صدوق به ترتیب (+۱) تا (-۹)، (۰) تا (-۱۵)، و (۰) تا (-۵) درصد تغییر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر خط، نرم‌افزار ایمنان، فاصله ناحیه ۱، فاصله ناحیه ۲

### ۱- مقدمه

متفاوت به طور متفاوتی رفتار می‌کنند. به‌طور مشابه، همان راننده می‌تواند با تغییر شرایط ترافیک و شرایط کنترل، رفتار متفاوتی داشته باشد. از این‌رو، جهت درک فعل و انفعالات گلوگاه‌ها و ارائه راه‌حل‌هایی برای پاسخ دادن به مشکلات

تراکم ترافیکی در نواحی شهری در سراسر جهان یک مشکل بزرگ است. عملکردهای ترافیکی در این بخش‌های متراکم خیلی پیچیده است؛ زیرا رانندگان تحت شرایط ترافیکی متفاوت، طرح هندسی متفاوت، و شرایط زیست‌محیطی

نتیجه در نظر گرفتن سه فاکتور است: آیا از نظر فیزیکی ایمنی امکان تغییر خط وجود دارد (ایمنی)؟، آیا انجام تغییر خط لازم است (ضرورت)؟، و آیا انجام تغییر خط مطلوب است (مطلوبیت)؟. فرآیند تغییر خط در مدل گیپس می‌تواند به عنوان یک درخت تصمیم با مجموعه‌ای از شرایط ثابت برای شریانی‌های شهری خلاصه شود. از این رو، چندین شبیه‌ساز خردنگر رفتارهای تغییر خط را بر اساس مدل گیپس اجرا می‌کنند (Gipps, 1986). وی و همکاران در سال ۲۰۰۰ یک ساختار ابتکاری برای قواعد یک مدل تغییر خط استنتاج کردند که روندی اساسی را برای یک مدل تغییر خط شریانی بهتر و واقعی‌تر تشکیل شده، شکل خواهد داد. علاوه بر تغییر خط اجباری (PLC) و تغییر خط بصیرتی (DLC)، یک نوع جدید تغییر خط به نام تغییر خط انحصاری<sup>۵</sup> (PLC) نیز تعریف کردند که در آن اگر فواصل قابل قبول در دسترس باشند، وسیله نقلیه تغییر خط دادن به خط مطلوب را بررسی می‌کند. در این حالت هدف برای یک گردش فوری نیست، اما از طریق تقاطع بعدی اقدام می‌شود. مدل‌های نشان داده شده در تحقیق آن‌ها پیشرفت قابل توجهی در مدل کردن شبیه‌سازی خردنگر هستند که پایه خوبی برای تحقیقات آینده در خیابان‌های شهری فراهم می‌کند (Wei et al., 2000). هیداس در سال ۲۰۰۲ با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از ثبت ویدئویی، دریافت که اکثر رانندگان شهری باید راهشان را به خط مقصد در شرایط متراکم به رانندگان تحمیل کنند که این مورد به صورت مؤثر توسط الگوریتم‌های تغییر خط گذشته مدل‌بندی نشده بود. در آرت‌میس<sup>۶</sup> هیداس تکنیک عامل مستقل را توسعه داد تا فعل و انفعالات رانندگان را در یک فرآیند تصمیم‌گیری پیچیده‌تر مدل کند. نتایج نشان داد که تنها مدل‌های تغییر خط همیارانه<sup>۷</sup> و تحمیلی<sup>۸</sup> می‌توانند روابط سرعت-جریان واقعی را در طول شرایط ترافیکی متراکم تولید کنند (Hidas, 2002).

هیداس در سال ۲۰۰۵ یک مدل جدید تغییر خط با ترکیب کردن مدل واضحی از فعل و انفعالات وسیله نقلیه با استفاده از مفاهیم عامل هوشمند توسعه داد و آن را در آرت‌میس اجرا کرد. نتایج نشان داد که مدل قادر است تا رفتار مشاهده شده از وسایل نقلیه شخصی را در انواع مختلفی از تغییر خط بازتولید کند. از این رو، می‌تواند شرایط جریان متراکم را تا حد بالایی برای هر دوی شبکه‌های آزادراهی و شریانی‌های شهری چراغدار به یک شیوه واقعی شبیه‌سازی کند (Hidas, 2005).

تراکم، یک تحلیل جامع از فعل و انفعالات بین وسایل نقلیه ضروری است. این مسئله، توسعه تئوری‌های ترافیکی برای توضیح رفتار راننده در سطح خردنگر را نیاز دارد که یکی از عناصر اصلی آن، تغییر خط است (Ahmed, 1999; Gurupackiam and Jones, 2011). تغییر خط به عنوان مانور رانندگان با هدف رسیدن به خط مقصد (تغییر خط اجباری)<sup>۱</sup> و یا به عنوان مانوری توسط راننده برای جستجوی یک محیط رانندگی بهتر (تغییر خط بصیرتی)<sup>۲</sup> تعریف می‌شود. رفتار رانندگی در طول مانورهای تغییر خط، اثر مهمی بر روی پدیده جریان ترافیکی دارد. تحقیقات نشان داده است که افزایش تراکم ناشی از کاهش خط در گلوگاه‌ها، عمدتاً مربوط به مانورهای تغییر خط هستند. به علاوه، زمانی که یک وسیله نقلیه از خط موجود به خط هدف حرکت می‌کند، این چنین مانور تغییر خطی به عنوان انسدادهای حرکتی عمل می‌کند که نهایتاً ظرفیت، کارایی جریان و ایمنی راه‌ها را کاهش می‌دهد (Rahman et al., 2013; Gong and Du, 2016).

از این رو در این تحقیق، عملکرد ترافیکی تغییر خط وسایل نقلیه قبل و پس از گردش به راست در تقاطع‌های چراغدار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه این مقاله، به تحقیقات گذشته اشاره می‌شود. در بخش سوم، به محدوده مورد مطالعه و نحوه جمع‌آوری داده‌ها پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، پارامترهای مدل تغییر خط ایمنسان و نحوه کالیبراسیون آن‌ها تشریح می‌شود. در بخش پنجم، سناریوهای تعریف شده بیان می‌شود. در بخش ششم به مدل‌سازی و شبیه‌سازی تقاطع‌ها در دو نرم‌افزار سینکرو<sup>۳</sup> و ایمنسان<sup>۴</sup> اشاره می‌شود، و بر روی خروجی‌ها و نتایج نرم‌افزار ایمنسان بحث می‌شود. در بخش هفتم، اعتبارسنجی نتایج انجام می‌شود. در بخش آخر نیز نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق ذکر می‌شود.

## ۲- پیشینه تحقیق

اولین مدل تغییر خط برای ابزارهای شبیه‌ساز خردنگر، توسط گیپس در سال ۱۹۸۶ معرفی شد. گیپس یک چارچوب از تصمیمات تغییر خط و اجرای تغییر خط ارائه داد. این چارچوب برای توضیح تصمیمات تغییر خط در آزادراه‌ها و همچنین خیابان‌های شهری جایی که چراغ‌های راهنمایی، موانع و وسایل نقلیه سنگین بر روی تصمیم راننده اثر می‌گذارند، مفید است. در مدل او، تصمیم راننده برای اجرای یک تغییر خط،

2006). کوده‌ری و همکاران در سال ۲۰۰۷ مدل تغییرخط یکپارچه تولدو و همکاران (۲۰۰۳) را توسعه دادند که قبلاً در مدل انتخاب خط در آزادراه، در پایگاه داده NGSIM استفاده شده بود و به ارزیابی همزمان از ملاحظات تغییرخط اجباری و احتیاطی اجازه انجام می‌داد. مدل آن‌ها نیز در آزمایشگاه میت‌سیم اجرا شد و در مقابل با مدل پایه اعتبارسنجی شد. مقایسه‌های آماری نشان داد که در مدل توسعه‌یافته جدید، همه اندازه‌گیری‌های استفاده‌شده برای اعتبارسنجی از قبیل جریان ترافیکی خط، سرعت‌های خط، و تعداد تغییرخط‌ها دارای فاصله، توسعه‌هایی را در قابلیت‌های شبیه‌سازی بوجود می‌آورد (Choudhury et al., 2007). سان در سال ۲۰۰۹ از مطالعه تمرکز گروهی<sup>۱۳</sup> برای دخیل کردن مشخصه‌های رفتاری راننده در مدل کردن رفتار تغییرخط رانندگان در محیط‌های شهری استفاده کرد. در واقع در تحقیق او، اثر مشخصه‌های راننده در مدل کردن هر دوی دلایل مختلف پذیرش تغییرخط بصیرتی و روند پذیرش فاصله درون مانور تغییرخط ترکیب شده است. مدل تغییرخط پیشنهادی او در شبیه‌ساز ترافیک خردنگر کورسیم توسعه و اجرا شد. نتایج نشان داد که مدل تغییرخط جدید او به نسبت مدل تغییرخط اصلی در کورسیم، ترافیک مشاهده‌شده تحت سطوح مختلف تراکم را بهتر منعکس می‌کند (Sun, 2009; Sun and Elefteriadou, 2011).

مریدپور و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک مدل تصمیم تغییرخط انحصاری با دو و سه مجموعه‌ی فازی برای رانندگان وسایل نقلیه سنگین در آزادراه‌ها ارائه کردند که مدل آن‌ها در ویسیم<sup>۱۴</sup> اجرا شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل آن‌ها توانست تصمیمات تغییرخط مشاهده شده از رانندگان وسیله نقلیه سنگین را به نسبت مدل‌های تغییرخط فعلی بهتر منعکس کند. به‌علاوه، استفاده از مدل تصمیم تغییرخط انحصاری وسیله نقلیه سنگین توانست صحت نرم‌افزارهای شبیه‌ساز خردنگر ترافیکی را در تخمین اندازه‌های جریان کلان‌نگر ترافیکی افزایش دهد (Moridpour et al., 2012). دمویا و همکاران در سال ۲۰۰۹ عامل‌های عصبی راننده<sup>۱۵</sup> (NDAs) را برای مدل کردن مانورهای تغییرخط توسعه دادند که در شبیه‌ساز رانندگی آزمایشگاه تحقیقات حمل و نقل<sup>۱۶</sup> (TRL) اجرا شد. نتایج نشان داد که رفتارهای تغییرخط معقولانه و عامل عصبی راننده پیشنهاد می‌کند که عامل عصبی راننده یک ابزار امیدبخش است تا یک دامنه وسیعی از رفتارهای تغییرخط را منعکس کند (مثل

کیتا در سال ۱۹۹۹، و کیتا و همکاران در سال ۲۰۰۲ رفتار تغییرخط را در بخش ادغام رمپ ورودی آزادراه بر اساس تئوری بازی<sup>۹</sup> مدل کردند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهاد شده این قابلیت را دارد تا احتمالات انتخاب موازنه از هر دوی بازیکنان را تخمین بزند. مدل می‌تواند رفتار ترافیکی را در مقاطع ادغام رمپ ورودی راه، بخصوص فعل و انفعالات بین وسیله نقلیه ادغام کننده و وسیله نقلیه عقبی خط اصلی در طول مانور تغییرخط توصیف کند (Kita, 1999; Kita, 2002). احمد در سال ۱۹۹۹ یک چارچوب کلی برای در نظر گرفتن رفتار تغییرخط تحت موقعیت‌های اجباری و احتیاطی، و یک مفهوم انتخاب مجزا برای مدل کردن مشخصه‌های راننده، اثر محیط ترافیکی پیرامون و پیکربندی خط توسعه داد. مدل او در میت‌سیم<sup>۱۱</sup> اجرا شد. مدل تصمیم تغییرخط او یک چارچوب مفصل را برای تحقیق رفتار تغییرخط فراهم می‌کند و نیز تفاوت‌های بین تصمیم‌های تغییرخط رانندگان را در وضعیت‌های اجباری، بصیرتی و ادغام تحمیلی<sup>۱۱</sup> در نظر می‌گیرد (Ahmed, 1999). تولدو در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۹ یک مدل تصمیم تغییرخط احتمالی یکپارچه را ارائه داد که به راننده این اجازه را می‌دهد هر دو حالت تغییرخط اجباری و بصیرتی را به صورت هم‌زمان در نظر بگیرد. او از یک ساختار انتخاب مجزا برای مدل‌سازی تصمیم‌های تغییرخط فنی و اجرایی رانندگان استفاده کرد. او مدل یکپارچه تغییرخط خود را در میت‌سیم اجرا کرد و مقادیر تخمین زده‌شده را با نتایج استفاده جدا از مدل‌های تغییرخط اجباری و بصیرتی در میت‌سیم و با مشاهدات در داده‌های میدانی مقایسه کرد. نتایج نشان داد که هر دوی مدل‌ها، عملکرد مشابهی در زمان‌های سفر و توزیع وسایل نقلیه در بین خطوط، حجم ترافیک و متوسط سرعت از خود نشان دادند (Toledo, 2003; Toledo, Koutsopoulos, and Ben-Akiva, 2009). بن‌اکیوا و همکاران در سال ۲۰۰۶ یک مدل ادغام تحمیلی و همیارانه را برای تغییرخط اجباری در پایگاه داده NGSIM پیشنهاد دادند. مدل آن‌ها در آزمایشگاه میت‌سیم<sup>۱۲</sup> اجرا شد. نتایج تخمین و اعتبارسنجی مطالعات موردی، توسعه‌های قابل توجهی در قابلیت مدل‌های افزوده شده تغییرخط را نشان داد که رفتار و الگوهای ترافیکی مشاهده‌شده را در مقایسه با مدل‌های عمومی کلی منعکس می‌کند (Ben-Akiva, Choudhury, and Toledo, 2009).



شکل ۱. نمایی از فیلمبرداری در تقاطع فلزی-ملت



شکل ۲. احجام ترافیکی تقاطع فلزی-ملت  
(وسیله نقلیه در ساعت)



شکل ۳. نمایی از فیلمبرداری در تقاطع سیمین

رانندگان خشن، خسته، الکلی، و آموزش دیده) (Dumbuya et al., 2009). تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اکثر تحقیقات بر روی رفتار تغییرخط در آزادراه‌ها به نسبت شریانی‌های شهری انجام شده است که علت آن می‌تواند دلایل زیر باشد:

۱- تراکم آزادراه به طور مکرر موجب نوسانات شدید شبکه‌های حمل و نقلی در چندین بخش از جهان شده است؛ به موجب آن، تحقیقات زیادی صورت گرفته‌اند تا آن‌ها را بهبود دهند؛ ۲- در دسترس بودن داده‌های قابل مشاهده پر جزئیات برای ترافیک آزادراه که توسعه و تخمین مدل‌های رانندگی را تسهیل می‌کند؛ و ۳- عملکردهای ترافیکی در خیابان‌های شهری به علت وجود چراغ‌های ترافیکی و کمبود مدیریت دسترسی مناسب، پیچیده‌تر از آزادراه‌ها هستند. از این رو در این مقاله هدف این است که با بررسی اثر تغییرخط وسایل نقلیه قبل از گردش به راست جهت خروج از مسیر و پس از گردش به راست جهت ورود به مسیر بعدی بر روی عملکرد تقاطع‌های چراغدار در ترافیک شهری، به این جای خالی در تحقیقات پیشین که تاکنون مورد توجه قرار نگرفته، پاسخ داده شود.

### ۳- مشخصات محدوده مورد مطالعه

دو تقاطع "فلزی-ملت و سیمین" در شهر اصفهان به عنوان تقاطع‌های مورد مطالعه انتخاب شدند که در پی آن از بالای ساختمان‌های واقع در اطراف این دو تقاطع فیلمبرداری در اردیبهشت ماه ۱۳۹۶ صورت گرفت. نمایی از فیلمبرداری صورت گرفته از تقاطع‌های موصوف در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. احجام ترافیکی رویکردهای دو تقاطع به تفکیک وسایل نقلیه بدست آمد که برای این کار از فیلم‌های مربوطه، شمارش احجام به تفکیک وسایل نقلیه برای هر حرکت گردش در تمامی رویکردها صورت گرفت. سپس برای بدست آوردن احجام معادل سواری، از ضرایب معادل سواری پیشنهادی توسط شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک شهر تهران استفاده شد. در شکل‌های ۳ و ۴ احجام معادل سواری مربوط به دو تقاطع آورده شده است. ضریب ساعت اوج تمامی حرکات گردش برای تقاطع‌های فلزی-ملت و سیمین به ترتیب ۰٫۸۲ و ۰٫۸۷ بدست آمد.

زمان زرد در هر فاز از هر تقاطع مذکور برای ۱۵ چرخه زمان بندی برداشت و با میانگین گرفتن از مقادیر ۱۵ چرخه زمان بندی، مقدار هر یک از پارامترها بدست آمد. زمان تمام فرمز این دو تقاطع به صورت میدانی برای هر فاز در طول یک سیکل برداشت شد. مقادیر طول سیکل چراغ ترافیکی دو تقاطع در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۴. احجام ترافیکی تقاطع سیمین (وسیله نقلیه در ساعت)

جدول ۱. سرعت محاسبه شده و طول چرخه چراغ

تقاطع	رویکرد	سرعت محاسبه شده (کیلومتر بر ساعت)	طول چرخه (ثانیه)
فلازی-ملت	پل فلزی	۴۲	۱۰۰
	ملت	۴۴	
	سعدي	۴۵	
	حكيم نظامي	۴۵	
سیمین	جانبازان	۱۸	۹۰
	سهروردی	۲۱	
	كشاورز شرقی	۲۰	
	كشاورز غربی	۲۲	

#### ۴- پارامترهای مدل تغییرخط ایمنان

دو پارامتر اصلی مدل تغییرخط ایمنان که در مجاورت تقاطع‌های چراغدار بر روی رفتار تغییرخط رانندگان شبیه‌سازی شده تأثیر می‌گذارد، عبارتند از فاصله تا ناحیه ۱<sup>۸۱</sup> و فاصله تا ناحیه ۲<sup>۱۸۲</sup>. در نرم‌افزار ایمنان به منظور بدست آوردن یک نمایش دقیق‌تر از رفتار راننده در فرآیند تصمیم‌گیری، خط، ۳ ناحیه مختلف درون یک بخش در نظر گرفته شده که هر یک از نواحی بیانگر دلیل و اشتیاق متفاوت در تغییرخطها هستند. این سه ناحیه بر اساس فاصله تا نقطه گردش تقاطع توصیف شده و در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نقطه گردشی راننده، مطابق شکل ۵، این سه ناحیه به عنوان نواحی نزدیک، میانی و دور در نظر گرفته می‌شود. ناحیه دور (Zone1)- در صورتی که راننده در ناحیه دور قرار داشته باشد، نقطه گردشی راننده بر روی رفتار تغییرخط راننده تأثیر نداشته و راننده تنها تغییرخط را به منظور کسب مزیت نظیر افزایش سرعت یا فرار از قرار گرفتن در پشت وسایل نقلیه سنگین انجام می‌دهد.

ناحیه میانی (Zone2)- در صورتی که راننده در فاصله میانی از نقطه گردشی خود قرار داشته باشد، نقطه گردشی

از برداشت میدانی جهت بدست آوردن سرعت وسایل نقلیه در آبان ماه ۱۳۹۶ استفاده شد؛ در هر رویکرد قبل از تقاطع دو نقطه مشخص و فاصله بین ۲ نقطه اندازه‌گیری شد. سپس مدت زمان عبور ۱۰۰ وسایل نقلیه اندازه‌گیری شد. از تقسیم فاصله بین ۲ نقطه بر مدت زمان عبور هر وسیله نقلیه، سرعت هر وسیله نقلیه حاصل شد. در ادامه با استفاده از اطلاعات بدست آمده، سرعت ۸۵ درصد وسایل نقلیه در هر رویکرد از دو تقاطع بدست آمد و سرعت مجاز مورد نیاز در نرم‌افزارها مطابق با آئین‌نامه ۴۱۵ طرح هندسی راه (Manual 415, in Persian)، همان سرعت عملکردی ۸۵ درصد در نظر گرفته شد. سرعت مجاز در هر ۲ نرم‌افزار سینکرو و ایمنان مورد نیاز است. در جدول ۱ مقادیر سرعت مجاز در رویکردهای دو تقاطع آورده شده است. لازم به ذکر است سرعت وسایل نقلیه برای حرکات دوربرگردان، گردش به چپ، و گردش به راست در تقاطع‌ها به ترتیب ۲۵، ۲۰ و ۱۵ کیلومتر بر ساعت براساس شرایط محلی شهر اصفهان در نظر گرفته شد.

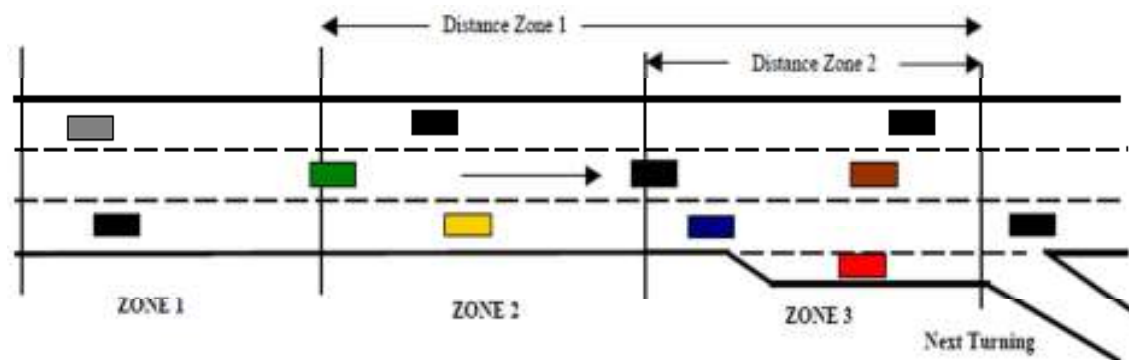
پارامترهای چراغ ترافیکی دو تقاطع مذکور نیز از فیلم‌ها و برداشت میدانی تهیه شدند. برای این کار، چراغ ترافیکی تقاطع پل فلزی-ملت که دارای زمان بندی ثابت بود، از فیلم‌ها طول چرخه، زمان سبز حقیقی، و زمان زرد در هر فاز در طول یک چرخه زمان بندی آن برداشت و تعیین شد. چراغ ترافیکی تقاطع سیمین که دارای زمان بندی نیمه‌هوشمند و هوشمند بود، برای تبدیل زمان بندی هوشمند آن به زمان بندی ثابت، از میانگین مقادیر ۱۵ چرخه زمان بندی در ساعت اوج استفاده شد که از فیلم‌های فیلمبرداری شده، طول چرخه، زمان سبز حقیقی، و

و آن‌ها را مجبور به کاهش سرعت و حتی توقف نماید. برای تعیین این سه ناحیه در نرم‌افزار ایمنسان، دو پارامتر فاصله تا ناحیه ۱ و فاصله تا ناحیه ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل ۵ نشان داده شده است. این دو پارامتر می‌بایست برحسب ثانیه در نرم‌افزار تعریف شود. فاصله تا ناحیه ۱ (Distance Zone 1) - این فاصله در واقع فاصله زمانی از انتهای ناحیه ۱ تا نقطه گردش مورد نظر راننده است. این فاصله بر اساس سرعت مجاز مقطع و سرعت هر وسیله نقلیه در حال حرکت در مقطع بر اساس معادله (۱) به طول بر حسب متر تبدیل می‌شود.

$$D_m = D_t \cdot S_{limit}(s) \cdot \left[ \frac{S_{limit}(s)}{v_{max}(t,s)} \right] \quad (1)$$

که  $D_m$ ، فاصله به متر؛  $D_t$ ، فاصله به ثانیه؛  $S_{limit}(s)$ ، محدودیت سرعت مقطع (متر بر ثانیه)؛ و  $v_{max}(t,s)$ ، سرعت وسیله نقلیه  $i$  (متر بر ثانیه) در مقطع یا گردش است.

راننده به تدریج بر روی رفتار تغییرخط راننده تأثیر می‌گذارد که در این ناحیه، راننده تلاش می‌نماید تا به خط عبوری صحیحی که او را به نقطه گردشی خود متصل می‌نماید، تغییرخط داده و از تغییرخط دادن به خطوط دیگر اجتناب می‌نماید. در این ناحیه، راننده تغییرخط خویش را بدون تأثیرگذاری بر وسیله نقلیه عقبی در خط هدف و مجبور نمودن او به توقف و یا کاهش سرعت انجام می‌دهد. ناحیه نزدیک (Zone3) - در این ناحیه در صورتی که وسیله نقلیه در خط عبوری صحیح خود قرار نداشته باشد، راننده از هر فرصتی جهت قرار گرفتن در خط عبوری صحیح استفاده می‌نماید. در صورتی که تراکم ترافیک زیاد باشد و راننده فرصت مناسب جهت اجرای مانور تغییرخط را پیدا نکند، به تدریج سرعت وسیله نقلیه را کاهش داده و توقف می‌نماید. در این شرایط راننده ممکن است وسایل نقلیه پیرو در خط هدف را به منظور ایجاد فرصت جهت اجرای مانور تغییرخط تحت تأثیر قرار داده



شکل ۵. نواحی مدل تغییرخط در نرم‌افزار ایمنسان

واقع با تعیین فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ برای قبل از گردش به راست رویکردها، هم ناحیه ۲ (ناحیه میانی) که در آن تغییرخط‌های ضروری از نوع تغییرخط‌های آزاد اتفاق می‌افتد، مشخص می‌شود و هم ناحیه ۳ (ناحیه نزدیک) که در آن تغییرخط‌های ضروری از نوع تغییرخط‌های همیارانه/ رقابتی اجرا می‌شود، مشخص می‌شود و نیز با تعیین فاصله تا ناحیه ۱ برای بعد از گردش به راست رویکردها، ناحیه ۱ (ناحیه دور) که در آن تغییرخط‌های بصیرتی صورت می‌گیرد مشخص می‌شود. برای تعیین و برآورد دو پارامتر مذکور در رویکردهای مورد نظر از معادله (۱) استفاده شد که برای این کار به ازای

فاصله تا ناحیه ۲ (Distance Zone 2) - این فاصله در واقع فاصله زمانی از انتهای ناحیه ۲ تا نقطه گردش مورد نظر راننده در نظر گرفته می‌شود. سپس این فاصله براساس محدودیت سرعت مقطع و سرعت مطلوب هر وسیله نقلیه در مقطع در حال حرکت بر اساس معادله (۱) به طول بر حسب متر تبدیل می‌شود (Manual, A.U.s. 2009 6.1: Microsimulator and Mesosimulator in AIMSUN). در این تحقیق برای قبل از گردش به راست رویکردها، فاصله تا ناحیه ۱ و ۲، و برای بعد از گردش به راست رویکردها، فاصله تا ناحیه ۱ مدنظر قرار گرفته است. در

۳,۱۷	۱۲,۶۸	ملت	ملت
۳,۰۵	۱۲,۲۰	سعدی	
۴,۹۳	۱۹,۷۱	حکیم نظامی	
۱۲,۵۶	۵۰,۲۶	جانبازان	
۸,۷۴	۳۴,۹۷	سهروردی	
۱۰,۵۸	۴۲,۳۴	کشاورز شرقی	سیمین
۱۰,۴۲	۴۱,۶۸	کشاورز غربی	

لازم به ذکر است برای اینکه مدل حرکتی وسایل نقلیه به حالت میدانی نزدیک‌تر شود، از مقادیر دو پارامتر مدل تعقیب خودرو شامل زمان عکس‌العمل و زمان عکس‌العمل در توقف که (در تحقیق دیگری از نویسنده مسئول مقاله حاضر) در شهر اصفهان انجام شد و برای آن‌ها به ترتیب مقادیر ۰,۵ و ۰,۶۵ بدست آمد (Salehi, 2018, in persian). در نرم‌افزار ایمنسان استفاده شد.

#### ۵- طراحی سناریوها

برای بررسی و ارزیابی اثر تغییر خط وسایل نقلیه در قبل از گردش به راست جهت خروج از تقاطع و پس از گردش به راست جهت ادغام به مسیر بعدی، دامنه وسیعی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردهای متهی به تقاطع‌های مذکور به صورت سناریوهای مختلف تعریف شد که از این سناریوها برای شبیه‌سازی تقاطع‌ها در نرم‌افزار سینکرو و ایمنسان استفاده شد. سناریوهای تعریف شده به صورت زیر هستند:

۱. سناریوی اول (پایه): شرایط موجود (میدانی)
۲. سناریوی دوم: افزایش ۱۰ درصدی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردها
۳. سناریوی سوم: افزایش ۲۰ درصدی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردها
۴. سناریوی چهارم: افزایش ۳۰ درصدی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردها
۵. سناریوی پنجم: کاهش ۱۰ درصدی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردها
۶. سناریوی ششم: کاهش ۲۰ درصدی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردها
۷. سناریوی هفتم: کاهش ۳۰ درصدی از احجام گردش به راست در تمامی رویکردها

$S_{limit}(s)$ ، سرعت ۸۵ درصد وسایل نقلیه و به ازای  $V_{max(i,s)}$ ، سرعت هر یک از وسایل نقلیه در همان رویکردها که هر یک به صورت میدانی در اصفهان اندازه‌گیری شد و در بخش ۲ به آن اشاره شد، مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، از معادله (۲) که برای هر وسیله نقلیه نوشته شد، میانگین گرفته می‌شود.

$$S_{limit}(s) \cdot \left[ \frac{S_{limit}(s)}{V_{max(i,s)}} \right] \quad (2)$$

در نهایت برای فاصله تا ناحیه ۱، یک معادله و دو مجهول تشکیل شد و با همین روند، برای فاصله تا ناحیه ۲ نیز یک معادله و دو مجهول بوجود آمد. با توجه به اینکه در این تحقیق قصد بر این است تا میزان تأثیرگذاری پارامترهای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ بر روی رفتار تغییرخط رانندگان در مجاورت تقاطع‌های چراغدار ارزیابی شود، از این‌رو برای تعیین میزان تأثیرگذاری این دو پارامتر (مجهولات مذکور در معادلات)، برآورد آن‌ها در دو حالت زیر انجام شد:

حالت اول) استفاده از مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲- مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب ۲۰ و ۳ ثانیه است.

حالت دوم) استفاده از مقادیر پیشنهادی برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲- با استناد به راهنمای ظرفیت راه<sup>۱۹</sup> (HCM)، مسافت تحت تأثیر قرار گرفته توسط تقاطع برابر با ۷۵ متر در طول رویکردهای متهی به آن ارائه شده است (Manual, H.C. 2010 HCM2010). از این‌رو، فاصله تا ناحیه ۲ برابر با ۷۵ متر قبل از نقطه گردش موجود در تقاطع پایین دست انتخاب شد. همچنین برای فاصله تا ناحیه ۱ مقدار ۳۰۰ متر فرض شد. در ادامه با استفاده از معادله (۱)، مقادیر فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ (ثانیه) برای رویکردهای دو تقاطع مربوطه بدست آمد. مقادیر برآورد شده برای فاصله تا ناحیه ۱ (ثانیه) و فاصله در رویکردهای دو تقاطع در جدول ۲ آورده شده است.

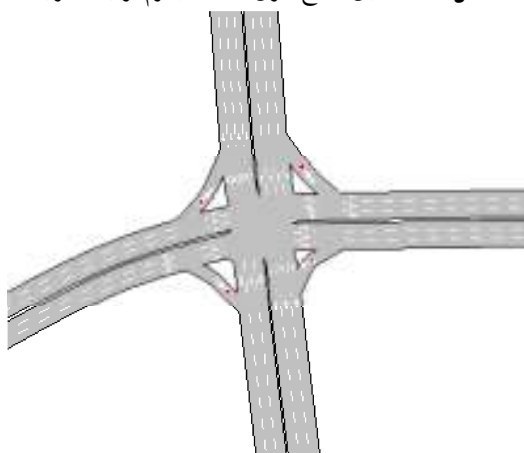
جدول ۲. مقادیر برآورد شده در حالت پیشنهادی برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲

تقاطع	رویکرد	فاصله تا ناحیه ۱ (ثانیه)	فاصله تا ناحیه ۲ (ثانیه)
فلزی-	پل فلزی	۲۰,۵۲	۵,۱۳

۱ و ۲ در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض را بر روی پنج شاخص عملکردی تقاطع نشان می‌دهد.



شکل ۶. مدلسازی تقاطع فلزی-ملت در نرم‌افزار سینکرو



شکل ۷. مدلسازی تقاطع فلزی-ملت در نرم‌افزار ایمسان

نتایج نشان می‌دهد زمان سفر در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض، در پنج سناریو ۱ تا ۹ درصد کاهش می‌یابد و در دو سناریوی پایه و ۱۰- درصد تا ۱ درصد افزایش می‌یابد. شکل ۸ نشان می‌دهد که زمان سفر در سناریوهای افزایش و کاهش حجم گردش به راست نسبت به سناریوی پایه، برای دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض روند افزایشی پیدا می‌کند که بیانگر تأثیر تغییرات حجم گردش به راست بر عملکرد تقاطع است. زمان تأخیر در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض، در پنج سناریو ۱ تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد و در دو سناریوی پایه و ۱۰- تا ۲ درصد افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۹، تأخیر نیز روندی مشابه با زمان سفر دارد. جریان در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض در شش سناریو ۵ تا ۳۹ درصد کاهش و در سناریوی پایه تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. به دلیل اینکه زمان سفر در سناریوی پایه برای هر دو حالت کمترین مقدار را دارد، از این‌رو در این سناریو میزان جریان عبوری از تقاطع بیشترین مقدار را به خود

## ۶- شبیه‌سازی، نتایج و بحث

### ۶-۱- نرم‌افزار سینکرو

از نرم‌افزار سینکرو تنها به عنوان وسیله‌ای برای بهینه‌سازی چراغ ترافیکی دو تقاطع تحت سناریوهای مختلف استفاده شد. لازم به ذکر است در این نرم‌افزار برای سناریوی پایه همان زمان بندی چراغ ترافیکی تقاطع‌ها استفاده شد (بهینه‌سازی انجام نشد) و برای ۶ سناریوی دیگر عمل بهینه‌سازی صورت گرفت و خروجی این بهینه‌سازی‌ها در نرم‌افزار ایمسان مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۳ مقادیر بهینه شده طول چرخه زمان بندی دو تقاطع آورده شده است. شکل ۶ نیز نمونه‌ای از مدل ساخته شده در نرم‌افزار سینکرو را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مقادیر بهینه شده طول چرخه چراغ در نرم‌افزار سینکرو

تقاطع	سناریو	طول چرخه بهینه شده (ثانیه)
فلزی-ملت	۲ (+۱۰)	۵۰
	۳ (+۲۰)	۵۰
	۴ (+۳۰)	۵۰
	۵ (-۱۰)	۵۰
	۶ (-۲۰)	۵۰
	۷ (-۳۰)	۵۰
	سیمین	۲ (+۱۰)
۳ (+۲۰)		۷۰
۴ (+۳۰)		۷۰
۵ (-۱۰)		۱۵۰
۶ (-۲۰)		۱۵۰
۷ (-۳۰)		۱۵۰

### ۶-۲- نرم‌افزار ایمسان

تمرکز اصلی این تحقیق بر روی بررسی اثرات عملکردی تغییر خط و سایل نقلیه قبل از گردش به راست جهت خروج از تقاطع و پس از گردش به راست جهت ورود به مسیر بعدی در تقاطع‌های چراغدار تحت سناریوهای تعریف شده مذکور با استفاده از نرم‌افزار ایمسان است. از این‌رو پس از انتقال نتایج بهینه‌سازی‌های انجام شده در نرم‌افزار سینکرو به نرم‌افزار ایمسان، با برآورد مقادیر پارامترهای مدل تغییر خط، مدل‌سازی و شبیه‌سازی دو تقاطع انجام شد که در شکل ۷ نمونه‌ای از مدل ساخته شده را می‌توان مشاهده کرد.

### ۶-۲-۱- تقاطع فلزی-ملت

نتایج شبیه‌سازی ایمسان برای این تقاطع در شکل‌های ۸ تا ۱۲ آورده شده است که این شکل‌ها میزان تأثیر فاصله تا ناحیه

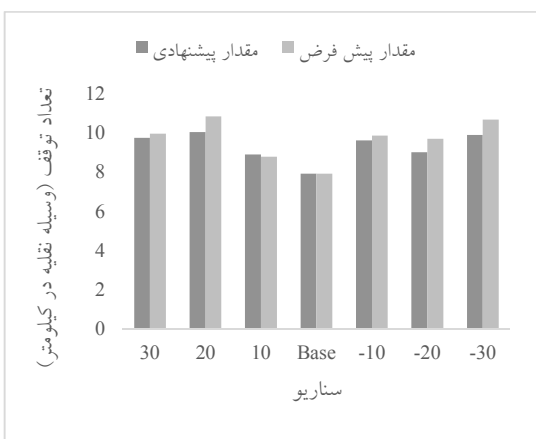




شکل ۱۰. جریان در تقاطع فلزی-ملت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض



شکل ۱۱. سرعت در تقاطع فلزی-ملت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض



شکل ۱۲. تعداد توقف در تقاطع فلزی-ملت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض

اختصاص می‌دهد که شکل ۱۰ بیانگر این موضوع است. روند کاهش و افزایش جریان برای هر دو حالت در تمامی سناریوها مشابه است. سرعت در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض، در سه سناریوی +۲۰، -۲۰ و -۳۰ تا ۳ تا ۱۸ درصد افزایش می‌یابد و در چهار سناریوی دیگر ۱ تا ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۱، روند نوسانی برای کاهش و افزایش سرعت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض وجود دارد. تعداد توقف در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض، در پنج سناریو ۲ تا ۷ درصد کاهش می‌یابد و در دو سناریوی پایه و +۱۰ تا ۱ درصد افزایش می‌یابد. شکل ۱۲ نشان می‌دهد روند افزایش و کاهش تعداد توقف برای دو حالت پیشنهادی و پیش فرض مشابه است که سناریوی پایه کمترین تعداد توقف را دارد.



شکل ۸. زمان سفر در تقاطع فلزی-ملت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض



شکل ۹. زمان تأخیر در تقاطع فلزی-ملت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض

### ۶-۲-۲- تقاطع سیمین

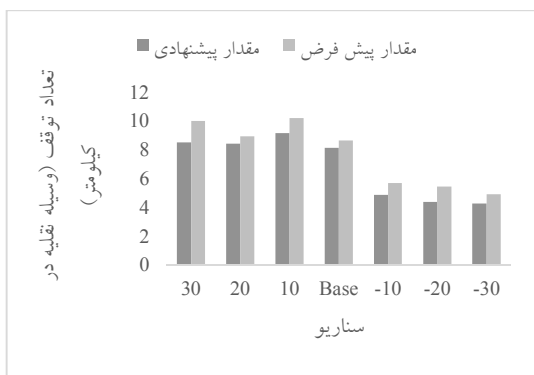
نتایج شبیه‌سازی ایمنان برای این تقاطع در شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ آورده شده است که این شکل‌ها میزان تأثیر فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض را بر روی پنج شاخص عملکردی تقاطع نشان می‌دهد.



شکل ۱۶. سرعت در تقاطع سیمین در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض



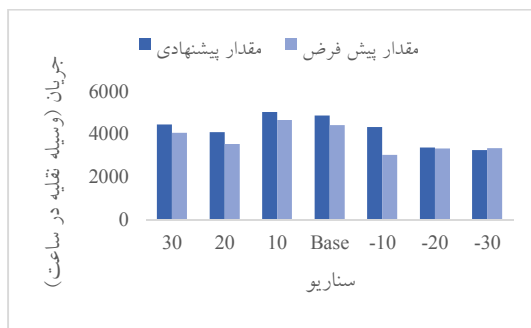
شکل ۱۳. زمان سفر در تقاطع سیمین در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض



شکل ۱۷. تعداد توقف در تقاطع سیمین در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض



شکل ۱۴. زمان تأخیر در تقاطع سیمین در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض



شکل ۱۵. جریان در تقاطع سیمین در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض

نتایج نشان می‌دهد که زمان سفر در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۱۳ بیانگر این موضوع است که در هر دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض با افزایش حجم گردش به راست، نمودار زمان سفر روندی افزایشی پیدا می‌کند و کاهش حجم گردش به راست (به غیر از سناریوی ۲۰+)، موجب نزولی شدن نمودار زمان سفر می‌شود. زمان تأخیر در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض تا ۱۷ درصد کاهش می‌یابد. مطابق شکل ۱۴، روند صعودی و نزولی بودن زمان تأخیر در سناریوهای مختلف دقیقاً مشابه با زمان سفر است. جریان در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض در شش سناریو ۱ تا ۴۳ درصد افزایش و در سناریوی ۳۰-، ۳ درصد کاهش می‌یابد. کمتر بودن میزان زمان سفر حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش‌فرض در تمامی سناریوها، باعث افزایش میزان جریان عبوری از تقاطع در استفاده از حالت پیشنهادی به جای حالت پیش‌فرض شده است.

## ۷- اعتبارسنجی

تقاطع شیخ صدوق در شهر اصفهان به عنوان تقاطع مورد نظر جهت اعتبارسنجی انتخاب شد. این تقاطع از نظر دارا بودن چراغ ترافیکی، نقش جابجایی و نیز درون شهری بودن آن، مشابه با دو تقاطع فلزی-ملت و سیمین است. البته مشخصات ترافیکی و هندسی این تقاطع با دو تقاطع قبلی تفاوت دارد ولی از آنجایی که هدف این تحقیق ارزیابی اثر تغییرخط وسایل نقلیه در مجاورت چند تقاطع و تحت سناریوهای مختلف هست، بنابراین تقاطع شیخ صدوق می‌تواند تقاطع مناسبی برای اعتبارسنجی دو تقاطع دیگر باشد. نمایی از فیلمبرداری صورت گرفته از این تقاطع در شکل ۱۸ نشان داده شده است. احجام معادل سواری این تقاطع همانند دو تقاطع قبلی برداشت شد که در شکل ۱۹ آورده شده است. ضریب ساعت اوج حاصل از تمامی حرکات گردشی برای این تقاطع ۰,۷۹ بدست آمد. سرعت وسایل نقلیه در رویکردهای منتهی به این تقاطع نیز به صورت میدانی برداشت شد که در جدول ۴ آورده شده است (با توجه به آیین‌نامه ۴۱۵، سرعت مجاز همان سرعت ۸۵ درصد در نظر گرفته شد (Manual, A.U.S. 2009 6.1: Microsimulator and Mesosimulator in AIMSUN). پارامترهای چراغ ترافیکی این تقاطع نیز از فیلم‌ها و برداشت میدانی تهیه شد که در جدول ۴ مقدار طول چرخه زمان‌بندی چراغ بیان شده است. در این تقاطع نیز مقادیر پیشنهادی برای پارامترهای فاصله تا ناحیه ۱ و فاصله تا ناحیه ۲، مشابه با روند ذکر شده در بخش ۳ برآورد شد که در جدول ۵ مقادیر فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ آورده شده است. در ادامه همانند دو تقاطع قبلی، چراغ ترافیکی این تقاطع نیز تحت سناریوهای مختلف (به غیر از سناریوی پایه) در نرم‌افزار سینکرو بهینه‌سازی شد و خروجی این بهینه‌سازی‌ها در نرم‌افزار ایمسان مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۶ مقادیر بهینه شده طول چرخه زمان‌بندی این تقاطع آورده شده است.



شکل ۱۸. نمایی از فیلمبرداری در تقاطع شیخ صدوق

با توجه به شکل ۱۵، روند کاهش و افزایش جریان هر دو حالت (به غیر از سناریوی ۳۰-) مشابه است. سرعت در شرایط پیشنهادی نسبت به شرایط پیش‌فرض در شش سناریو ۲ تا ۱۵ درصد افزایش می‌یابد و در سناریوی ۳۰+، ۸ درصد کاهش می‌یابد که شکل ۱۶ نشان می‌دهد هر دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض، روند مشابهی را در تمامی سناریوها (به غیر از سناریوی ۳۰+) طی می‌کنند. تعداد توقف در شرایط پیشنهادی نسبت به شرایط پیش‌فرض، ۶ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. شکل ۱۷ بیانگر این موضوع است که با کاهش میزان حجم گردش به راست، تعداد توقف روند کاهش به خود گرفته است. دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض در نمودار تعداد توقف، روند کاملاً مشابه دارند. دلیل تغییر شاخص‌های عملکردی دو تقاطع در استفاده از حالت پیشنهادی به جای استفاده از حالت پیش‌فرض نرم‌افزار را می‌توان به این صورت بیان کرد که در حالت پیشنهادی برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲، فاصله زمانی از شروع تصمیم به تغییرخط تا تکمیل مانور تغییرخط (فاصله زمانی فرآیند تغییرخط) وابسته به سرعت وسایل نقلیه در رویکردهای منتهی به تقاطع است. به این صورت که با افزایش سرعت وسایل نقلیه، طول فاصله زمانی برای فرآیند تغییرخط افزایش می‌یابد و بالعکس با کاهش سرعت وسایل نقلیه، طول فاصله زمانی برای فرآیند تغییرخط کاهش می‌یابد. این نتیجه بدین مفهوم است از آنجایی که وسایل نقلیه‌ای که سرعت بالایی دارند، زودتر به نقطه گردشی تقاطع پایین دست می‌رسند، از این‌رو با عبور از آستانه‌های فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ نیاز دارند تا زودتر تصمیم به تغییرخط بگیرند و بالعکس. بنابراین با استفاده از حالت پیشنهادی، فرصتی (طول فاصله زمانی فرآیند تغییرخط) به راننده‌های شبیه‌سازی شده متناسب با سرعتشان داده می‌شود که به شرایط دنیای واقعی نزدیک است. در حالیکه در حالت پیش‌فرض نرم‌افزار، فاصله زمانی از شروع تصمیم به تغییرخط تا تکمیل مانور تغییرخط (فاصله زمانی فرآیند تغییرخط) برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب برابر با ۲۰ و ۳ ثانیه است که این مقادیر ثابت و مستقل از سرعت وسایل نقلیه هستند که به دور از شرایط دنیای واقعی است. از این‌رو نتایج شبیه‌سازی در استفاده از حالت پیشنهادی به جای حالت پیش‌فرض، تغییر مشخصه‌های عملکردی دو تقاطع را نشان می‌دهد.

در نهایت، شبیه‌سازی در نرم‌افزار ایمنان صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی ایمنان برای این تقاطع در شکل‌های ۲۰ تا ۲۴ آورده شده است که این شکل‌ها میزان تأثیر فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ در دو حالت پیشنهادی و پیش‌فرض را بر روی پنج شاخص عملکردی تقاطع نشان می‌دهد.



شکل ۱۹. احجام ترافیکی تقاطع شیخ صدوق (وسیله نقلیه در ساعت)

جدول ۴. سرعت محاسبه شده و طول چرخه چراغ

تقاطع	رویکرد	سرعت محاسبه شده (کیلومتر بر ساعت)	طول چرخه (ثانیه)
شیخ صدوق	صدوق شمالی	۳۷	۱۰۰
	صدوق جنوبی	۳۹	
	سعادت‌آباد شرقی	۲۳	
	سعادت‌آباد غربی	۲۱	

جدول ۵. مقادیر برآورد شده در حالت پیشنهادی برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲

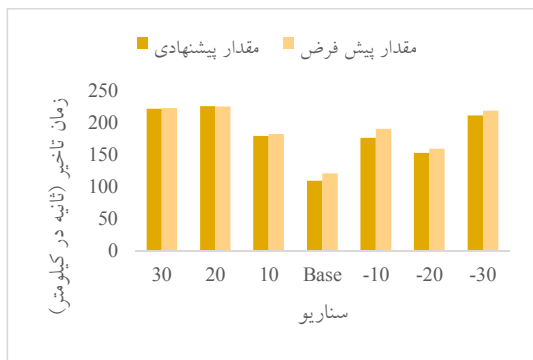
تقاطع	رویکرد	فاصله تا ناحیه ۱ (ثانیه)	فاصله تا ناحیه ۲ (ثانیه)
شیخ صدوق	صدوق شمالی	۲۴,۶۲	۶,۱۵
	صدوق جنوبی	۲۵,۶۸	۶,۴۲
	سعادت‌آباد شرقی	۴۵,۴۴	۱۱,۳۶
	سعادت‌آباد غربی	۴۴,۸۵	۱۱,۲۱

جدول ۶. مقادیر بهینه شده طول چرخه چراغ در نرم‌افزار سینکرو

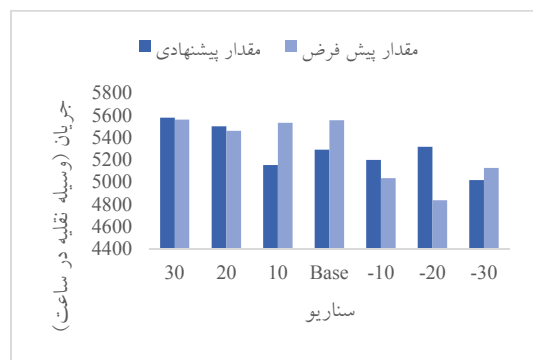
تقاطع	سناریو	طول چرخه بهینه شده (ثانیه)
شیخ صدوق	۲ (+۱۰)	۱۰۰
	۳ (+۲۰)	۱۱۰
	۴ (+۳۰)	۱۱۰
	۵ (-۱۰)	۱۰۰
	۶ (-۲۰)	۱۰۰
	۷ (-۳۰)	۱۲۰



شکل ۲۰. زمان سفر در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض



شکل ۲۱. زمان تأخیر در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض



شکل ۲۲. جریان در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض

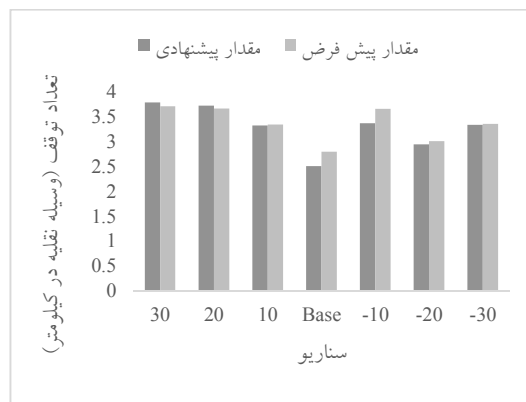
به شکل ۲۲، روند مشخصی برای کاهش و افزایش سرعت در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض وجود ندارد (روند نوسانی وجود دارد). سرعت در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض در شش سناریو تا ۳ درصد افزایش می یابد و در سناریوی +۲۰، +۱۹، درصد کاهش می یابد. شکل ۲۳ نشان می دهد روند افزایش و کاهش سرعت برای دو حالت پیشنهادی و پیش فرض مشابه است که در آن سناریوی پایه بیشترین مقدار سرعت را دارد. تعداد توقف در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض در پنج سناریو ۱ تا ۱۰ درصد کاهش می یابد و در دو سناریوی +۲۰ و +۳۰ تا ۲ درصد افزایش می یابد. مطابق شکل ۲۴، دو حالت پیشنهادی و پیش فرض روند صعود و نزول مشابهی دارند که سناریوی پایه دارای کمترین مقدار تعداد توقف است. نتایج بدست آمده از تقاطع شیخ صدوق، نتایج حاصل از دو تقاطع دیگر را تأیید می کند که می توان نتیجه گرفت استفاده از حالت پیشنهادی برای تعیین فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ به جای حالت پیش فرض نرم افزار، عملکرد تقاطع ها را تغییر می دهد؛ به طوری که شاخص هایی از قبیل زمان سفر، زمان تأخیر و تعداد توقف را کاهش و سرعت شبکه را افزایش می دهد. اختلاف درصد تغییرات بدست آمده در هر تقاطع می تواند ناشی از تفاوت های موجود در طرح هندسی و احجام هریک از تقاطع ها باشد.

#### ۸- نتیجه گیری

هدف این تحقیق ارزیابی اثرات عملکردی تغییرخط وسایل نقلیه قبل از گردش به راست جهت خروج از مسیر و پس از گردش به راست جهت ورود به مسیر بعدی در مجاورت تقاطع های چراغدار بود. با توجه به اینکه در تحقیقات گذشته، رفتار تغییرخط در آزادراه ها (بجای شریانی های شهری) مورد مطالعه قرار گرفته است، از این رو در این تحقیق سعی شد تا رفتار و اثر تغییرخط در مجاورت تقاطع های چراغدار درون شهری "فلزی-ملت، سیمین و شیخ صدوق" شهر اصفهان مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد که قبلاً در هیچ تحقیق دیگری انجام نشده است. بنابراین ابتدا در نرم افزار سینکرو بهینه سازی چراغ ترافیکی تقاطع های مذکور انجام گرفت و حاصل بهینه سازی آنها به نرم افزار ایمسان انتقال یافت. در ادامه دو پارامتر اصلی مدل تغییرخط ایمسان شامل فاصله تا ناحیه ۱ و



شکل ۲۳. سرعت در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض



شکل ۲۴. تعداد توقف در تقاطع شیخ صدوق در دو حالت پیشنهادی و پیش فرض

نتایج نشان می دهد که زمان سفر در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض در شش سناریو تا ۵ درصد کاهش می یابد و در سناریوی +۲۰، +۱۲، درصد افزایش می یابد. شکل ۲۰ بیانگر این موضوع است که برای هر دو حالت پیشنهادی و پیش فرض، زمان سفر در سناریوهای افزایش و کاهش حجم گردش به راست نسبت به سناریوی پایه روند افزایشی پیدا می کند. زمان تأخیر در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض در شش سناریو تا ۹ درصد کاهش می یابد و در سناریوی +۲۰، +۲۳، درصد افزایش می یابد. تأخیر نیز دقیقاً روندی مشابه با زمان سفر دارد که در شکل ۲۱ مشاهده می شود. جریان در حالت پیشنهادی نسبت به حالت پیش فرض در سه سناریوی پایه، +۱۰ و -۳۰، ۲ تا ۷ درصد کاهش می یابد و در چهار سناریوی دیگر تا ۱۰ درصد افزایش می یابد. با توجه

14. Vissim
15. Neural Driver Agents
16. Transport Research Laboratory
17. Distance Zone 1
18. Distance Zone 2
19. Highway Capacity Manual

فاصله تا ناحیه ۲ با استفاده از مقادیر پیشنهادی برآورد شدند (مقادیر پیش فرض نرم افزار برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب ۲۰ و ۳ ثانیه است) که برای هر یک از تقاطع‌ها، مقادیر میانگین فاصله تا ناحیه ۱ و ۲ به ترتیب از راست به چپ به صورت زیر حاصل شد:

تقاطع فلزی- ملت: ۱۶,۲۸ و ۴,۰۷ ثانیه

تقاطع سیمین: ۴۲,۳۱ و ۱۰,۵۸ ثانیه

تقاطع شیخ صدوق: ۳۵,۱۵ و ۸,۷۹ ثانیه

نتایج شبیه سازی تقاطع‌ها در نرم افزار ایمنسان نشان داد استفاده از مقادیر پیشنهادی به جای مقادیر پیش فرض نرم افزار برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲، شاخص‌های عملکردی تقاطع‌ها را بهبود می دهد که میزان بهبود شاخص‌های مدنظر برای هر یک از تقاطع‌ها به صورت زیر است:

در تقاطع فلزی- ملت به صورت میانگین زمان سفر ۳,۵۷ درصد، زمان تأخیر ۳,۸۶ درصد، سرعت ۲,۵۷ درصد، و تعداد توقف ۳,۵۷ درصد بهبود می یابد.

در تقاطع سیمین به صورت میانگین زمان سفر ۶,۸۶ درصد، زمان تأخیر ۹ درصد، سرعت ۶,۱۴ درصد، و تعداد توقف ۱۲ درصد بهبود می یابد.

در تقاطع شیخ صدوق به صورت میانگین زمان سفر ۲ درصد، زمان تأخیر ۳,۵۷ درصد، سرعت ۱,۷۱ درصد، و تعداد توقف ۲,۵۷ درصد بهبود می یابد. در مجموع می توان بیان نمود که استفاده از مقادیر پیشنهادی حاصل از این تحقیق به جای مقادیر پیش فرض نرم افزار ایمنسان برای فاصله تا ناحیه ۱ و ۲، شاخص‌های عملکردی تقاطع‌ها را بصورت رضایت بخشی بهبود می دهد.

#### ۹- پی نوشت‌ها

#### ۱۰- مراجع

- صالحی، ا. (۱۳۹۶)، "کالیبره کردن مدل تعقیب خودرو و تاثیر آن بر پارامترهای ترافیکی خیابان‌های شریانی"، استاد راهنما: امیرمسعود رحیمی، زنجان: دانشکده مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان.

- آئین نامه طرح هندسی راه‌های ایران، نشریه شماره ۴۱۵، (۱۳۹۱)، معاونت نظام راهبردی، امور نظام فنی.

- Ahmed, K.I., (1999), "Modeling drivers' acceleration and lane changing behavior", Thesis, Massachusetts Institute of Technology.

- Gurupackiam, S., & Jones, S.L., (2011), "Empirical study of lane changing in urban streets under varying traffic conditions", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 16: pp.259-269.

- Rahman, M., Chowdhury, M., Xie, Y., & He, Y., (2013), "Review of microscopic lane-changing models and future research opportunities", *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 14(4): pp.1942-1956.

- Gong, S., & Du, L., (2016), "Optimal location of advance warning for mandatory lane change near a two-lane highway off-ramp", *Transportation research part B: methodological*, 84: pp.1-30.

- Gipps, P.G., (1986), "A model for the structure of lane-changing decisions", *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(5): pp.403-414.

- Wei, H., Lee, J., Li, Q., & Li, C., (2000), "Observation-based Lane-vehicle assignment hierarchy: microscopic simulation on urban street network", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1710): pp.96-103.

1. Mandatory Lane Changing
2. Discretionary Lane Changing
3. Synchro
4. Aimsun
5. Preemptive Lane Changing
6. Artemis
7. Cooperative Lane Changing
8. Forced Lane Changing
9. Game Theory
10. Mitsim
11. Forced Merging
12. MITSIMLab
13. Focus Group-Based Study

- Draft final report", Cambridge Systematics, Inc.
- Sun, D.J., (2009), "A lane-changing model for urban arterial streets", Thesis, University of Florida.
- Sun, D.J., & Elefteriadou, L. (2011), "Lane-changing behavior on urban streets: A focus group-based study", *Applied ergonomics*, 42(5): pp.682-691.
- Moridpour, S., Sarvi, M., Rose, G., & Mazlami, E., (2012), "Lane-changing decision models for heavy vehicles drivers", *J. Intell. Transp. Syst., Technol., Plann., Oper.*, 16(1): pp.24-35.
- Dumbuya, A., Booth, A., Reed, N., Kirkham, A., Philpott, T., Zhao, J., & Wood, R., (2009) "Complexity of traffic interactions: Improving behavioural intelligence in driving simulation scenarios", in *Complex Systems and Selforganization Modelling*. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 201-209.
- Manual, A.U.s., (2009), 6.1: Microsimulator and Mesosimulator in AIMSUN. Transport Simulation Systems. Barcelona, Spain.
- Manual, H.C., (2010), HCM2010, "Transportation Research Board", National Research Council, Washington, DC.
- Hidas, P., (2002), "Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10(5-6): pp.351-371.
- Hidas, P., (2005), "Modelling vehicle interactions in microscopic simulation of merging and weaving", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13(1): pp.37-62.
- Kita, H., (1999), "A merging-give-way interaction model of cars in a merging section: A game theoretic analysis", *Transportation Research Part A*, 33(3/4): pp.305-312.
- Kita, H., Tanimoto, K., & Fukuyama, K., (2002), "A game theoretic analysis of merging giveway interaction: A joint estimation model", In: Taylor, M.A.P. (Ed.), *Transportation and Traffic Theory in the 21st Century*, Pergamon, Oxford, pp.503-518.
- Toledo, T., (2003), "Integrated driving behavior modeling", Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, MIT.
- Toledo, T., Koutsopoulos, H.N., & Ben-Akiva, M. (2009), "Estimation of an integrated driving behavior model", *Transportation Research C*, 17(4): pp.365-380.
- Ben-Akiva, M.E., Choudhury, C., & Toledo, T., (2006), "Lane changing models", in *Proceedings of the International Symposium of Transport Simulation*.
- Choudhury, C., Ramanujam, V., Rathi, V., Toledo, T., & Ben-Akiva, M.E., (2007), "NGISM—Arterial-lane selection model—