ارائه مدلی برای پیش‌بینی تعداد تغییرخط‌های تداخلی و غیرتداخلی در مقاطع تداخلی بزرگراهی شهر تهران

سیدابراهیم عبدالمنافی[1]، امیرهوشنگ مرادپور[2]، مهدی عابدینی[3]، آرش محمدی[4]
۱- دانشجوی دکتری مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم‌وصنعت ایران
۲- کارشناس‌ارشد مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه علم‌وصنعت ایران
۳- کارشناس‌ارشد راه و ترابری دانشگاه آزاد اسلامی
۴- کارشناس‌ارشد مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

در نواحی تداخلی به دلیل نیاز شدید به مانورهای تغییرخط، نوعی آشفتگی در ترافیک ایجاد می‌شود که باعث بوجود آمدن خلل در عملکرد ترافیک و کاهش ظرفیت می‌گردد. بنابراین بررسی مقاطع تداخلی دارای اهمیت بالایی می‌باشد. اما به دلیل نبود آئین‌نامه برای نواحی تداخلی بزرگراه‌های شهری، کالیبراسیون مدل‌های ارائه شده برای معابر درون‌شهری کشور ضروری است. یکی از مدل‌های موجود برای بررسی وضعیت مقاطع تداخلی، مدل پیش‌بینی تعداد تغییرخط تداخلی و غیرتداخلی می‌باشد، که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود. بدین منظور از ۹ بزرگراه شهر تهران استفاده شده و داده‌های مربوط به تغییرخط و جریان ترافیک استخراج گردیده است. آنگاه با بررسی مدل‌های مختلف، دو مدل برای تعداد تغییرخط تداخلی و غیرتداخلی توسعه داده شده است. ارزیابی مدل‌ها نشان از دقت مناسب مدل‌ها برای پیش‌بینی دارند. بررسی مدل تغییرخط تداخلی نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مقطع (طول و تعداد خطوط)، نسبت حجم تداخلی به کل حجم و تراکم تبادل و تقاطعات، تعداد تغییرخط تداخلی افزایش می‌یابد. همچنین بررسی مدل تغییرخط غیرتداخلی نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مقطع و حجم غیرتداخلی، افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مقایسه مدل‌های پردازش شده با HCM ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که مدل‌های توسعه داده شده، مقادیر بیشتری را برای تغییر خط برآورد می‌نمایند.

کلید واژه: تعداد تغییرخط تداخلی، تعداد تغییرخط غیرتداخلی، مقطع تداخلی، بزرگراه‌های درون‌شهری.

۱- مقدمه

مقطع تداخلی به معنی تقاطع دو یا چند جریان ترافیکی است که در یک جهت کلی، در طول قابل توجهی از مسیر بدون کمک وسایل کنترل ترافیک در حرکت هستند. نواحی تداخلی زمانی بوجود می‌آیند که یک ناحیه همگرایی در نزدیکی یک ناحیه واگرایی قرار می‌گیرد، یا زمانی که یک شیبراهه ورودی در مجاورت یک شیبراهه خروجی، که هر دو با یک خط اضافی به یکدیگر متصل شده‌اند، واقع می‌شود. در نواحی تداخلی نیاز شدیدی به مانورهای تغییرخط است، زیرا رانندگان برای رسیدن به خروجی مورد نظر باید به خط عبور مربوطه دسترسی پیدا کنند. بنابراین در نواحی تداخلی، برخلاف قسمت‌های اصلی بزرگراه‌ها، نوعی آشفتگی در ترافیک ایجاد می‌شود که باعث بوجود آمدن مسائل خاصی در عملکرد ترافیک و کاهش ظرفیت می‌گردد. لذا بررسی مقاطع تداخلی دارای اهمیت بالایی می‌باشد.

از طرفی منابع موجود برای بررسی مقاطع تداخلی، مربوط به سایر کشورها است و آئین‌نامه منسجمی برای کشور ما وجود ندارد. واضح است که رفتار ترافیکی افراد از یک کشور به کشور دیگر متفاوت بوده و متاثر از بسیاری پارامترهای فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشد. بنابراین استفاده از آئین‌نامه کشورهای دیگر ممکن است منجر به نتایج نادرست گردد. از طرف دیگر، آئین‌نامه موجود یعنی HCM ۲۰۱۰ است، مربوط به مقاطع تداخلی در آزادراه‌ها می‌باشد، که دارای رفتار متفاوتی نسبت به بزرگراه‌های درون شهری می‌باشد. بنابراین استفاده از آنها برای بزرگراه‌های درون شهری منجر به نتایج غیرواقعی خواهد شد. با توجه به موارد بیان شده، کالیبراسیون مدل‌های موجود و بکارگیری آن برای مهندسان حمل‌ونقل لازم و ضروری می‌باشد. یکی از مدل‌هایی که می‌بایست کالیبره گردد، پیش‌بینی تعداد تغییرخط تداخلی و غیرتداخلی است، که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود.

1-abdolmanafi@iust.ac.ir.
2- a.h.moradpour@gmail.com.
3- abedinim63@yahoo.com.
4- arashmohammadi221@gmail.com

۲- مروری بر مطالعات گذشته

آغاز مطالعات در زمینه مقاطع تداخلی که منجر به مدل ارائه شده در HCM ۱۹۶۵ شده است، اولین مطالعه‌ای بوده است که در آن به طور خاص به رفتار تداخلی پرداخته شده است. در واقع در این مطالعات دو رویکرد برای مقاطع تداخلی در آزادراه‌ها در نظر گرفته است، که به عنوان بخشی از یک مدل، تلاش داشت طول تداخلی بر روی همه انواع تسهیلات را بیان نماید. مدل اولیه بوسیله لیچ[1] و نورمن[2] توسعه داده شده است، که مشتمل بر چند منحنی بوده که در آنها حجم تداخلی در مقابل طول تداخلی ترسیم شده است [۱]. در مدل HCM ۱۹۶۵ از حجم معادل غیرتداخلی یا نرخ جریان ترافیک استفاده نمی‌شود و تنها در آن از الگوریتمی استفاده می‌شود تا تعداد خطوط مورد نیاز در مقطع تداخلی را برآورد نماید.

مرکز تحقیقات حمل‌ونقلی (TRB) در قالب برنامه NCHRP در مطالعات عملکردی ترافیک در مقطع تداخلی، که در دانشگاه پلی‌تکنیک در اوایل دهه ۱۹۷۰ انجام شد، تلاش گسترده‌ای نمود تا منحنی‌های ارائه شده در HCM۱۹۶۵ را کالیبره نماید [۲].

اولین مطالعه مهم درباره مقطع تداخلی بعد از مطالعه HCM۱۹۶۵، پروژه NCHRP بوده است. این اولین تلاش مشترک NCHRP و FHWA برای توسعه مدل ارائه شده در HCM۱۹۸۵ بوده است. نتایج مطالعات مقطع تداخلی در قالب یک گزارش توسط NCHRP منتشر شده است [۳]. در این مدل بحث ترکیب تداخل معرفی شد، که مدل، دربرگیرنده تکرارهای پیچیده بوده است. سپس مدل به عنوان بخشی از مطالعه آنالیز ظرفیت آزادراه در اواخر دهه ۱۹۷۰ مجدداً بوسیله راس و مک‌شین تغییر شکل داده و در TRB منتشر گردید [۴]. این مدل پیچیده‌تر و دارای فرآیند تکراری بود، اما مدل اصلی به گام‌های گسسته تقسیم گردید که قابل تشریح‌تر و قابل اجراتر باشد. همچنین در مدل آنها مفهوم جریان پیوسته و ناپیوسته مطرح گردید.

در حالیکه مطالعات NCHRP و FHWA در حال انجام بود، لیچ مستقلاً مدلی در شکل و مفهوم مشابه مدل HCM۱۹۶۵ توسعه داد، اما FHWA بر روی مستندسازی راس سرمایه‌گذاری نمود و به عنوان بخشی از آیین‌نامه TRB ۲۱۲ منتشر نمود [۵]. بنابراین از سال ۱۹۸۰ همزمان با انتشار HCM۱۹۸۵، متدولوژی‌های مختلفی برای تحلیل مقاطع تداخلی استفاده می‌شدند، که عبارتند از: دو مدل از HCM۱۹۸۵، روش راس- مک‌شین و روش لیچ. نتایج بدست آمده از مدل لیچ اساساً متفاوت از مدل راس[3] و مک‌شین[4] بود، اگرچه هر دو مدل با داده‌های یکسانی کالیبره شده بودند.

1-Leisch
2- Normann
3-Roess
4- Mcshane

در سال ۱۹۸۱، تحقیق دیگری درباره مقطع تداخلی صورت گرفت تا به این سؤال پاسخ دهد که کدام یک از مدل‌ها یعنی مدل راس و مک‌شین یا مدل لیچ می‌بایست برای نسخه بعدی HCM یعنی HCM۱۹۸۵ انتخاب گردند. این مطالعه توسط جی‌اچ‌کی[1] و همکارانش انجام گرفت. این مطالعه با جمع‌آوری داده‌های جدید صورت گرفت و مدل سومی برای استفاده در HCM پیشنهاد گردید. این مدل بوسیله ریلی[2] و همکاران توسعه داده شد و در نتیجه شکل الگوریتمی که امروزه در HCM۲۰۰۰ استفاده می‌شود، ارائه گردید، اما با این تفاوت که در آن ترکیب و انواع تداخل مطرح نگردید [۶].

از سال ۱۹۸۵ مطالعات دیگری درباره مقطع تداخلی صورت گرفته است. همه این مطالعات بوسیله داده‌های اندک صورت گرفته است، اما مفاهیم جالبی بیان گردیده است. فازیو[3] با تغییر رویکرد، مدلی را براساس الگوریتم ریلی توسعه داد و به الگوریتم وی پارامتر تغییر خط را اضافه نمود. فازیو به دلیل داده‌های اندک، مجبور گردید تا رفتار توزیع خط وسایل‌نقلیه تداخلی را فرض نماید تا تعداد تغییرخط را برآورد کند [۷].

دپارتمان حمل‌ونقل و دانشگاه کالیفرنیا در برکلی تعدادی مطالعات درباره مقطع تداخلی را در دهه ۱۹۸۰ و اوایل ۱۹۹۰ انجام دادند که مطالعه آنها بر روی کالیبره مجدد مدلی شبیه به رویکرد ماسکووتیز[4] و نیومن[5] ارائه شده در HCM۲۰۰۰ متمرکز بوده است [۸، ۹، ۱۰ و ۱۱].

در طی این سال‌ها تحقیقات متعددی برای کالیبره کردن مدل بوسیله دپارتمان حمل‌ونقل کالیفرنیا صورت گرفته است. همه این متدولوژی‌های ارائه شده دارای هم نقاط قوت و ضعف بوده‌اند. همه ساختارها و شکل‌های مورد مطالعه در تحقیقات کالیفرنیا را می‌توان به عنوان مقاطع تداخلی یک طرفه دسته‌بندی نمود.

بطور کلی هسته الگوریتم در آنالیز تعیین ظرفیت و سطح سرویس در مقاطع تداخلی، پیش‌بینی متوسط سرعت از سال ۱۹۸۵ بوده است. در HCM۱۹۸۵ و به‌هنگام سازی بعدی آن در ۱۹۹۴، سرعت بطور مستقیم به سطح سرویس وابسته بوده است. در به‌هنگام سازی سال ۱۹۹۷ و در HCM۲۰۰۰ سرعت پیش‌بینی شده و به چگالی تبدیل شده و بر اساس چگالی، سطح سرویس محاسبه می‌شده است. اما در HCM۲۰۱۰، متدولوژی تغییر کرده است؛ یعنی ابتدا تعداد تغییرخط پیش‌بینی شده و بر اساس آن سرعت محاسبه گردیده و به چگالی تبدیل شده و بر اساس آن، سطح سرویس مقطع تداخلی تعیین می‌شود. مفاهیم بکار رفته برای توسعه مدل پیش‌بینی تعداد تغییرخط در HCM۲۰۱۰، پایه و اساس مدل‌سازی در این مقاله می‌باشد.

1-JHK
2 - Reilly
3- Fazio
4-Moskowitz
5- Newman

۳- جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

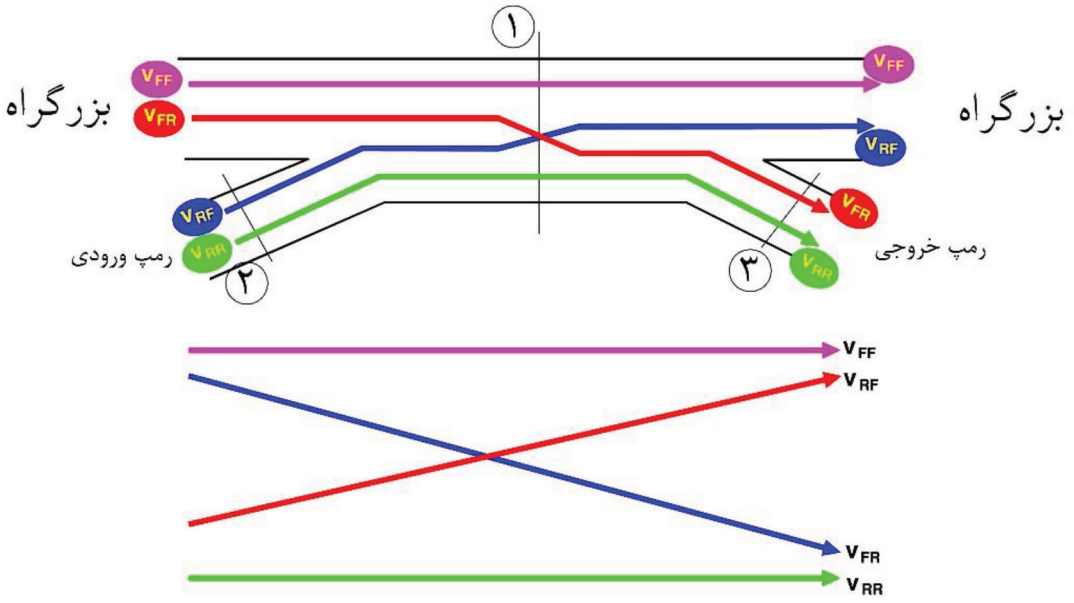
برای پردازش مدل پیش‌بینی تغییرخط‌های تداخلی و غیرتداخلی در مقاطع تداخلی بزرگراهی از ۹ مقطع تداخلی در بزرگراه‌های شهر تهران جهت برداشت داده‌ها و اطلاعات استفاده گردیده است. اطلاعات مربوط به تغییرخط و جریان ترافیکی در مقاطع مورد نظر در طی ۴ ساعت و در بازه‌های ۵ دقیقه‌ای برداشت شده است. مقاطع مورد نظر به همراه مشخصات هندسی و نوع ترکیب تداخل مربوطه در جدول ۱ آورده شده است [۱۳].

نام بزرگراه	رمپ ورودی	رمپ خروجی	تعداد خطوط	نوع ترکیب تداخل	حداقل تغییرخط	
					از رمپ به بزرگراه	از بزرگراه به رمپ
شهید همت	شریعتی	حقانی	۵	الف	۱	۱
حکیم	چمران	شیخ بهایی	۴	الف	۱	۱
امام علی (ع)	جانبازان	رسالت	۴	الف	۱	۱
صدر	کامرانیه	نیایش	۴	الف	۱	۱
آیت‌اله مدرس	آرش غربی	دستگردی	۳	الف	۱	۱
نیایش	چمران	سئول	۴	ب	۱	۰
نیایش	یادگار	اشرفی اصفهانی	۴	ب	۱	۰
یادگار	حکیم	مرزداران	۵	ج	۰	۲
کمربندی شهرری	کریمی شیرازی	سلمان فارسی	۴	ب	۱	۰

جدول ۱: مقاطع بزرگراهی برای برداشت داده‌ها و اطلاعات

۳-۱- جمع‌آوری داده‌های جریان ترافیکی در مقطع تداخلی

در مقطع تداخلی چهار نوع جریان ترافیکی وجود دارد (شکل ۱). چهار نوع جریان شامل جریان ترافیکی از بزرگراه به بزرگراه (V_{FF})، جریان ترافیک از رمپ به رمپ (V_{RR})، جریان ترافیک از رمپ به بزرگراه (V_{RF}) و جریان ترافیک از بزرگراه به رمپ (V_{FR}) می‌باشند. طبق تعریف، جریان‌های ترافیکی از بزرگراه به بزرگراه و از رمپ به رمپ از نوع جریان‌های غیرتداخلی و جریان‌های ترافیکی از بزرگراه به رمپ و از رمپ به بزرگراه از نوع جریان‌های تداخلی در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۱: انوع جریان‌های ترافیکی در یک مقطع تداخلی

برای دستیابی به حجم‌های تردد بیان شده با در نظر گرفتن حداقل هزینه‌های جمع‌آوری آمار از ترکیب دو روش استفاده گردیده است، که عبارتند از [۱۳]:

۱. شمارش حجم تردد تمام وسایل‌نقلیه در ۳ مقطع ۱، ۲ و ۳ (شکل ۱).

۲. ثبت پلاک تمام وسایل‌نقلیه در مقاطع ۲ و ۳ (شکل ۱).

در واقع با استفاده از این دو آمارگیری، با دارا بودن اطلاعات پلاک در مقاطع ۲و ۳ و بررسی آنها، ۳ نوع جریان‌های ترافیکی یعنی از بزرگراه به رمپ، از رمپ به بزرگراه و از رمپ به رمپ مشخص می‌گردد. سپس با دارا بودن حجم تردد در مقطع (۱) یعنی مقطع اصلی تداخلی و بر اساس رابطه ۱، جریان ترافیکی چهارم یعنی از بزرگراه به بزرگراه تعیین می‌گردد.

$$V_{FF} = (\text{حجم در مقطع ۱}) - V_{RR} - V_{RF} - V_{FR} \qquad (۱)$$

۳-۲- جمع‌آوری داده‌های تغییرخط در مقطع تداخلی

در مقطع تداخلی مشابه جریان‌های ترافیکی، چهار نوع تغییرخط از بزرگراه به بزرگراه (LC_{FF})، از رمپ به بزرگراه (LC_{RF})، از بزرگراه به رمپ (LC_{FR}) و از رمپ به رمپ (LC_{RR}) وجود دارند. بنابراین تمامی حرکات جریان‌های ترافیکی، اعم از بدون تغییر (صفر تغییر خط)، یک، دو، سه و چهار یا بیشتر تغییرخط می‌بایست برداشت گردند. تغییرخط‌های مربوط به جریان‌های ترافیکی از بزرگراه به رمپ و از رمپ به بزرگراه جز تغییرخط‌های تداخلی، تغییرخط‌های مربوط به جریان‌های ترافیکی از بزرگراه به بزرگراه و از رمپ به رمپ جزء تغییرخط‌های غیرتداخلی در نظر گرفته می‌شوند.

برای دستیابی به تعداد تغییرخط به تفکیک چهار نوع جریان ترافیکی، از فیلم‌برداری در مقاطع تداخلی استفاده گردیده است. آنگاه با مشاهده فیلم برداشت شده، تغییرخط‌ها به تفکیک بدون تغییرخط (صفر)، یک تغییرخط، دو تغییرخط، سه تغییرخط و چهار یا بیشتر تغییرخط در بازه ۵ دقیقه‌ای استخراج شده است [۱۳].

۴- پردازش مدل تعداد تغییرخط در مقطع تداخلی

۴-۱- جمع‌آوری داده‌های جریان ترافیکی در مقطع تداخلی

الف- معرفی متغیرهای مهم و کلیدی

تعداد تغییرخط‌های تداخلی شامل دو بخش می‌باشد. بخش اول تغییرخط تداخلی ضروری است که کاملاً به نوع ترکیب و ساختار تداخل وابسته است که با متغیری به نام LCMIN بیان می‌گردد. بخش دوم تغییرخط تداخلی اختیاری[1] است که متاثر از نوع ترکیب و ساختار تداخل نیست. به عبارت دیگر در مقطع تداخلی متناسب با نوع و ترکیب تداخل، بخشی از تغییرخط لازم بوده اما بقیه آنها ضروری نبوده ولی انجام می‌شوند. بخش اول تغییرخط، یعنی LCMIN مشخص است. بنابراین مهم یافتن رابطه‌ای است که بخش دوم مدل را تکمیل نماید. واضح است که بخش دوم یعنی تعداد تغییرخط‌های اختیاری به پارامترهایی چون طول مقطع تداخلی (L_B) و تعداد خطوط (N) وابسته است، چراکه با افزایش ابعاد مقطع تداخلی (طول و عرض)، قطعاً تعداد تغییرخط‌ها افزایش خواهد یافت [۱۲].

1-Optional

همچنین مطالعات انجام شده در تهران نشان می‌دهد که علاوه بر متغیرهای مورد اشاره، متغیرها نسبت حجم تداخلی به حجم کل مقطع (VR) نیز تاثیرگذار است. چراکه به نظر می‌رسد با افزایش حجم تداخلی در مقطع، تعداد تغییرخط‌های اختیاری افزایش می‌یابد و به همین دلیل این متغیر نیز به مدل اضافه گردیده است. علاوه بر این، یکی از متغیرهای مهم دیگری که در مدل جدید شهر تهران اضافه گردیده است، نسبت تراکم تقاطعات و تبادلات در فاصله یک کیلومتری از طرفین مقطع تداخلی است. البته این متغیر شبیه آن چیزی است که در مطالعات آیین‌نامه‌های جدید به نام تراکم تبادلات[1] معرفی گردیده است [۱۲]. تفاوت اصلی متغیر تعریف شده در شهر تهران، در فاصله و موارد مورد بررسی است. از آنجائیکه این مطالعات مربوط به بزرگراه است، لذا به جای فاصله ۳ مایلی (۴/۸ کیلومتر)، بعد از بررسی فواصل متعدد (شامل ۵۰۰ متر، یک کیلومتر، ۱/۵ کیلومتر)، از فاصله یک کیلومتر استفاده گردیده است. از طرفی چون در بزرگراه‌ها امکان احداث تقاطعات همسطح وجود دارد، علاوه بر تبادل‌ها، تقاطعات همسطح نیز برای محاسبه تراکم در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر شاخص مورد استفاده، تراکم تبادل‌ها و تقاطعات در مجاورت مقطع تداخلی می‌باشد.

ب- مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی تعداد تغییرخط تداخلی

در نهایت با بررسی انواع مدل‌های مختلف و روابط متفاوت، مدل پیشنهادی برای تغییرخط‌های تداخلی اختیاری به شکل رابطه ۲ ارائه می‌گردد.

$$LC_{optional} = a\left[L_B^b N^c (1+VR)^d (1+IID)^e\right] \quad (۲)$$

لذا تعداد تغییرخط تداخلی در مقطع تداخلی از رابطه‌ای به شکل رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

$$LC_w = LC_{MIN} + LC_{optional} = LC_{MIN} + a\left[L_B^b N^c (1+VR)^d (1+IID)^e\right] \quad (۳)$$

که در آن:

LC_{MIN} : حداقل تغییرخط‌های تداخلی در مقطع تداخلی با توجه به نوع و ترکیب تداخل (lc/hr)،

L_B : طول مقطع تداخلی (متر)،

N :تعداد خطوط در مقطع تداخلی،

VR : نسبت حجم تداخلی به کل حجم در مقطع تداخلی،

IID :تراکم تبادل‌ها و تقاطع‌ها در مجاورت مقطع تداخلی، که برای محاسبه آن از رابطه ۴ استفاده می‌شود.

$$IID = \frac{N_{II}+1}{2+L_B} \quad (۴)$$

که در آن:

IID: تراکم تبادلات و تقاطعات در مجاورت مقطع تداخلی،

N_{II}: تعداد تبادلات و تقاطعات در فاصله ۱ کیلومتری از مقطع در بالادست و پایین‌دست.

در نهایت بعد از کالیبراسون مدل پیشنهادی برای تغییرخط تداخلی، ضرایب مدل پیشنهادی استخراج و در جدول ۲ آورده شده است [۱۳].

ضرایب	مقدار ضریب	مقدار آماره t	مقدار آماره R^2
a	۰/۳۱۵	-۰/۴۸۹	۰/۸۰۱
b	۰/۴۹	۱/۸۲۶	
c	۱/۹۵۶	۱/۹۸۴	
d	۵/۳۴۹	۵/۳۷۹	
e	۱/۱۳۵	۱/۳۲۲	

جدول ۲: مقادیر ضرایب و شاخص‌های آماری مدل پیشنهادی برای تغییرخط‌های تداخلی

1-Interchange Density (ID)

۴-۲- پردازش مدل تعداد تغییرخط غیرتداخلی

الف- معرفی متغیرهای مهم و کلیدی

تعداد تغییرخط‌های غیرتداخلی در مقطع تداخلی از تئوری بیان شده در مدل تغییرخط‌های تداخلی پیروی نمی‌کند. مسلماً تغییرخط‌های غیرتداخلی تماماً از نوع تغییرخط‌های اختیاری می‌باشند و لذا تنها جزء دوم در این بخش معتبر خواهد بود. مطالعات انجام شده در شهر تهران و مطالعات پیشین، نشان می‌دهد که تعداد تغییرخط‌های غیرتداخلی به سه متغیر اصلی شامل طول مقطع تداخلی (L_B)، تعداد خطوط (N) و حجم جریان غیرتداخلی (V_{NW}) وابسته است. چراکه با افزایش ابعاد مقطع تداخلی (عرض و طول)، تعداد تغییرخط‌های تداخلی افزایش می‌یابد. از طرفی اگر تعداد وسایل‌نقلیه غیرتداخلی در مقطع تداخلی افزایش یابد، به همان ترتیب تعداد تغییرخط‌ها نیز افزایش خواهد یافت [۱۲].

ب- مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی تعداد تغییرخط غیرتداخلی

در نهایت با بررسی مدل‌ها و روابط مختلف، مدل نهایی برای تعداد تغییرخط‌های غیرتداخلی به شکل رابطه ۵ ارائه می‌گردد.

$$LC_{NW} = aL_B + bN + cV_{NW} \quad (۵)$$

که در آن:

L_B : طول مقطع تداخلی (متر)،

N : تعداد خطوط در مقطع تداخلی،

V_{NW} : حجم جریان غیرتداخلی در مقطع تداخلی (pc/hr).

در نهایت بعد از کالیبراسیون مدل پیشنهادی برای تغییرخط غیرتداخلی، ضرایب مدل پیشنهادی استخراج و در جدول ۳ آورده شده است [۱۳].

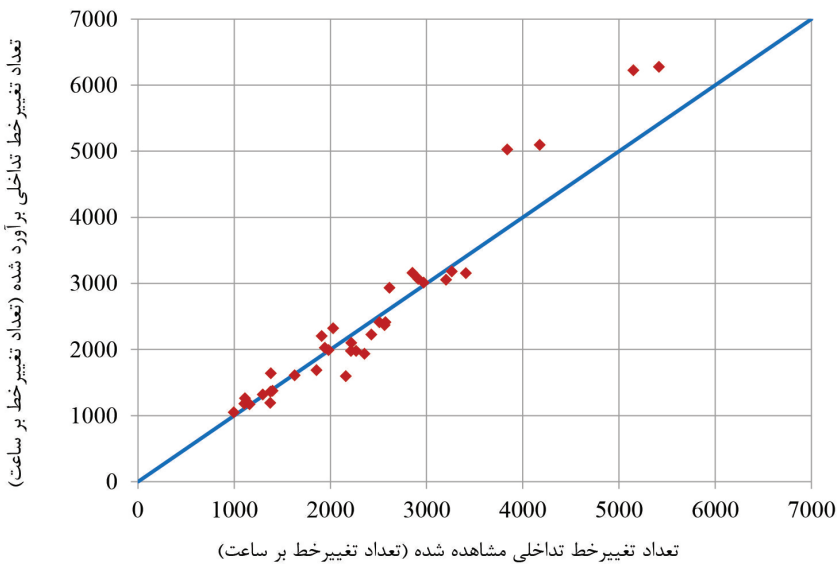
ضرایب	مقدار ضریب	مقدار آماره t	مقدار آماره R^2
a	۰/۷۸۴	۳/۴۸۵	۰/۹۵۱
b	۳۸/۸۹۵	۲/۲۱۴	
c	۰/۰۲۶	۱/۸۰۷	

جدول ۳: مقادیر ضرایب و شاخص‌های آماری مدل پیشنهادی برای تغییرخط غیرتداخلی

۵- ارزیابی مدل تعداد تغییرخط در مقاطع تداخلی

۵-۱- ارزیابی مدل تعداد تغییرخط تداخلی

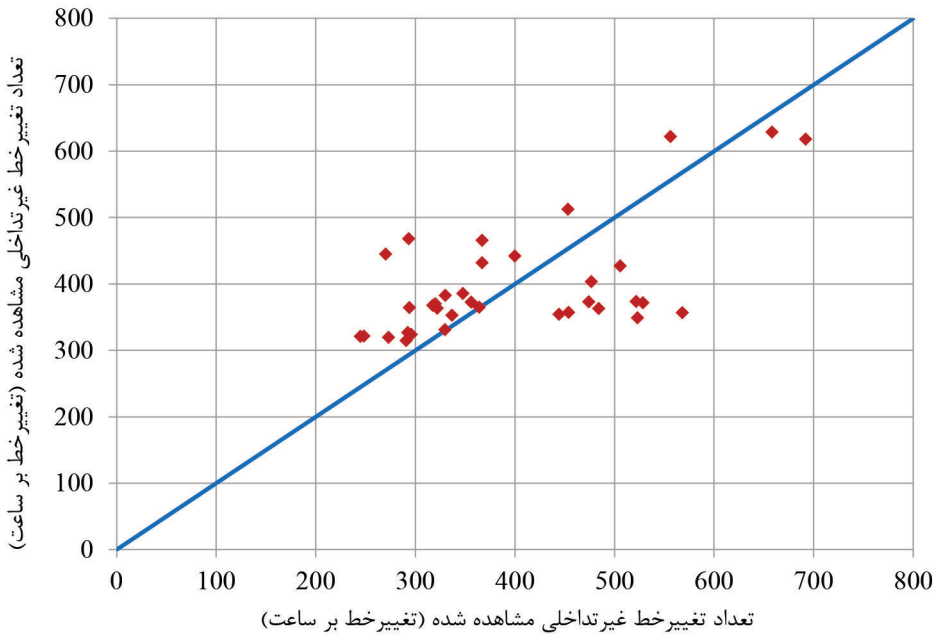
برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از همان داده‌های اولیه استفاده گردیده است. در مطالعات جدید نیز برای ارزیابی همان داده‌های اولیه استفاده شده است که یکی از دلایل آن تعداد کم داده‌های برداشت شده در مطالعات ترافیکی می‌باشد. مقادیر مشاهده شده و برآورد شده تعداد تغییرخط تداخلی در شکل ۲ آورده شده است. مقدار آماره برای تطابق مقادیر مشاهده شده و برآورد شده برابر ۰/۹۴ حاصل شده است که قابل قبول است. همچنین مقدار انحراف استاندارد اختلاف بین مقادیر برآورد شده و مشاهده شده برابر ۳۹۴ تغییرخط در ساعت است، که به مقادیر مشابه در مدل‌های جدید نزدیک است.



شکل ۲: مقادیر مشاهده شده تغییرخط تداخلی در برابر مقادیر برآورد شده تغییرخط تداخلی

۵-۲- ارزیابی مدل تعداد تغییرخط غیرتداخلی

برای ارزیابی مدل‌های پیشنهادی نیز از کل داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی استفاده می‌گردد. در شکل ۳ مقادیر مشاهده شده تغییرخط غیرتداخلی در برابر مقادیر برآورد شده تغییرخط غیرتداخلی نشان داده شده است. مقدار شاخص آماری برای تطابق مقادیر مشاهده شده و برآورد شده برابر ۰/۴ حاصل شده است. همچنین مقدار انحراف استاندارد مقادیر برآورد شده و مشاهده شده تعداد تغییرخط غیرتداخلی برابر ۸۴ تغییرخط بر ساعت است، که به مقادیر مشابه در مدل‌های جدید نزدیک است.



شکل ۳: مقادیر مشاهده شده تغییرخط غیرتداخلی در برابر مقادیر برآورد شده تغییرخط غیرتداخلی.

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بررسی مقاطع تداخلی به دلیل ایجاد نوعی آشفتگی در جریان ترافیک و در نتیجه کاهش سرعت و ظرفیت از اهمیت فراوانی برخوردار است. از یک طرف، منابع موجود برای بررسی مقاطع تداخلی مربوط به سایر کشورها است و آئین‌نامه منسجمی برای کشور ما وجود ندارد. این در صورتی است که تفاوت رفتار ترافیکی افراد از یک کشور به کشور دیگر واضح است. از طرف دیگر، آئین‌نامه موجود یعنی HCM ۲۰۱۰، مربوط به مقاطع تداخلی در آزادراه‌ها است، که دارای رفتار متفاوتی نسبت به بزرگراه‌های درون‌شهری می‌باشد. بنابراین استفاده از سایر منابع برای بزرگراه‌های درون‌شهری منجر به نتایج غیرواقعی خواهد شد. با توجه به موارد بیان شده، کالیبراسیون مدل‌های موجود لازم و ضروری می‌باشد. یکی از مدل‌هایی که می‌بایست کالیبره گردد، پیش‌بینی تعداد تغییرخط تداخلی و غیرتداخلی است.

بدین منظور از ۹ بزرگراه درون‌شهری شهر تهران استفاده شده است و آمار و اطلاعات مورد نیاز شامل تعداد تغییرخط جریان‌های ترافیکی مختلف و حجم تردد مربوط به هر یک از جریان‌های ترافیکی برداشت گردیده است. در نهایت ۲ مدل، یک مدل توانی برای پیش‌بینی تعداد تغییرخط تداخلی و یک مدل خطی برای پیش‌بینی تعداد تغییرخط غیرتداخلی برازش داده شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی مدل تغییرخط تداخلی نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مقطع (طول و تعداد خطوط)، نسبت حجم تداخلی به کل حجم و تراکم تبادل و تقاطعات، تعداد تغییرخط تداخلی افزایش می‌یابد. همچنین بررسی مدل تغییرخط غیرتداخلی نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد مقطع (طول و تعداد خطوط) و حجم غیرتداخلی، تعداد تغییرخط غیرتداخلی افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مقایسه نتایج دو مدل با مدل‌های ارائه شده در HCM ۲۰۱۰، برای شرایط یکسان نشان می‌دهد که تعداد تغییرخط برآورد شده در مدل برازش شده بیشتر از مدل HCM ۲۰۱۰ می‌باشد. علاوه بر این مدل ارائه شده دارای دو تفاوت اساسی می‌باشد:

۱- در مدل پیش‌بینی تعداد تغییرخط تداخلی، علاوه بر متغیرهایی چون تعداد خطوط و طول مقطع تداخلی، دو متغیر دیگر یعنی نسبت حجم تداخلی به کل حجم و تراکم تبادل و تقاطع به مدل اضافه گردیده است.

۲- در مدل پیش‌بینی تعداد تغییرخط غیرتداخلی، برخلاف مدل HCM ۲۰۱۰ که ضریب تعداد خطوط را منفی در نظر گرفته است، که موجب تعجب آنها نیز بوده است، در مدل برازش شده ضریب آن مثبت شده است که منطقی‌تر می‌باشد.

۷- مراجع

1- O.K. Normann, 1957, Operation of Weaving Areas, Highway Research Bulletin 167, Transportation Research Board, Washington DC.

2- Pignataro, et al, 1973, Weaving Area Operations Study, Final Report, NCHRP Project 3-15, Polytechnic Institute of New York, Brooklyn NY.

3- L.J. Pignataro, W.R. McShane, and R.P. Roess, 1975, Weaving Areas- Design and Analysis, National Cooperative Highway Research Report 159, Transportation Research Board, Washington DC.

4- Interim Materials on Highway Capacity, Circular 212, 1980, Transportation Research Board, Washington DC.

5- J. Leisch, 1983, Completion of Procedures for Analysis of and Design of Traffic Weaving Areas, Final Report, Vols 1 and 2, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC.

6- W. Reilly, J. Kell, and P. Johnson, 1984, Weaving Analysis Procedures for the New Highway Capacity Manual, Technical Report, Contract No. DOT-FH-61-83-C-00029, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC.

7- J. Fazio, 1985, Development and Testing of a Weaving Operational Design and Analysis Procedures, M.S. Thesis, University of Illinois at Chicago Circle, Chicago IL.

8- M. Cassidy, P. Chan, B. Robinson, and A.D. May, 1990, A Proposed Technique for the Design and Analysis of Major Freeway Weaving Sections, Research Report UCB-ITS-RR-90-16, Institute of Transportation Studies, University of California – Berkeley, Berkeley CA.

9- M. Cassidy and A.D. May, 1991, Proposed Analytic Technique for Estimating Capacity and Level of Service of Major Freeway Weaving Sections, Transportation Research Record 1320, Transportation Research Board, Washington DC.

10- J. Windover and A.D. May, 1995, Revisions to Level D Methodology of Analyzing Freeway Ramp-Weaving Sections, Transportation Research Record 1457, Transportation Research Board, Washington DC.

11- B. Ostrom, L. Lannon, and A.D. May, 1994, Suggested Procedures for Analyzing Freeway Weaving Sections," Transportation Research Record 1398, Transportation Research Board, Washington DC.

12- TRB (2010). Highway Capacity Manual 2010. Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce.

۱۳- شرکت مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک تهران، ۱۳۹۲، تدوین ضوابط مدیریت دسترسی و تعیین طول‌های تداخلی در معابر شهری، گزارش ۵۴۰-ت.