

## بررسی مدل‌های برآورد نرخ تغییرباند؛ مطالعه موردی: مقطع تداخلی شیب‌راهه در اصفهان

میثم اکبرزاده<sup>۱</sup>، احمد مهاجری<sup>۲</sup>

۱- استادیار، دانشکده مهندسی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- کارشناس ارشد مهندسی راه و ترابری و همکار پژوهشکده حمل و نقل دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

### چکیده

مقاطع تداخلی در مکان‌هایی تشکیل می‌گردند که دو جریان ترافیکی اصلی مسیر یکدیگر را در طول مشخصی از راه و در یک سطح قطع می‌نمایند. تغییر باندهای ناشی از مانورهای تداخلی در این نواحی، سطحی از آشفتگی را در جریان ترافیکی ایجاد می‌نماید که منجر به تغییرات شدید سرعت، کاهش سطح سرویس و ایمنی در این نواحی می‌گردد. بدین سبب، این پژوهش درصدد است تا با استفاده از نرخ حقیقی تغییرباند به ارزیابی عملکرد مدل ارائه شده در ویرایش پنجم راهنمای ظرفیت راه‌ها (HCM ۲۰۱۰) و مدل کالیبره شده آن بر مبنای شرایط بزرگراه‌های تهران، بپردازد. در این راستا، اقدام به گردآوری داده‌های میدانی با استفاده از تکنیک مشاهده غیرعلنی از یک مقطع تداخلی شیب‌راهه واقع در یک آزادراه در شهر اصفهان، شامل هفت بازه زمانی پانزده دقیقه‌ای تصویربرداری در ساعات مختلف یک روز کاری، نموده است. نتایج این تحقیق بیانگر ضعف مدل HCM ۲۰۱۰ در برآورد نرخ تغییرباند (خصوصاً جریان غیرتداخلی) است. به نحوی که در تمامی موارد برآوردی دست‌پایین ارائه می‌نماید و کالیبراسیون آن تنها توانسته است تا حدی این ناتوانی را در برآورد نرخ تغییرباند جریان غیرتداخلی تعدیل نماید. حتی مدل کالیبره شده در برآورد نرخ تغییرباند جریان‌های تداخلی با اثر منفی همراه است.

**واژگان کلیدی:** تغییرباند، مقاطع تداخلی، راهنمای ظرفیت راه‌ها، کالیبراسیون، اصفهان

### ۱- مقدمه

مقاطع تداخلی می‌شود. به نحوی که در آزادراه‌های با جریان‌های شدید تداخلی رانندگان با راهبندان‌های طولانی مدت، تاخیرهای قابل توجه، گاه به گاه موقعیت‌های توقف کامل و تغییرات قابل توجه در سرعت که به وقوع پیوستن تصادفات از عقب و پهلو کمک می‌کند، مواجه هستند [۵]

بروز این راهبندان‌ها در جریان ترافیکی اثرات منفی اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به همراه دارد [۶]. چنانچه گزارش تحرک شهری در سال ۲۰۱۲ میلادی، هزینه‌های ناشی از این راهبندان‌ها و ازدحام‌های ترافیکی را از نظر تاخیر و هدر رفت سوخت در مناطق شهری ایالات متحد آمریکا برای سال ۲۰۱۱، حدود ۱۲۱ میلیارد دلار برآورد نموده است. [۷].

راهنمای ظرفیت راه‌های ایالات متحده، HCM، مرجع اصلی برای تجزیه و تحلیل عملیات ترافیکی در ایالات متحده و همچنین بسیاری از کشورهای جهان است. HCM مجموعه‌ای از

مقاطع تداخلی در آزادراه‌های درون شهری جزء عناصر بحرانی سیستم بشمار می‌آیند که می‌بایست با دقت مورد ارزیابی قرار گیرند [۱]. این مقاطع در مکان‌هایی به وجود می‌آیند که جریان‌های ترافیکی یک‌طرفه با مانورهای همگرا و واگرا تلاقی پیدا می‌کند [۲]. و از عناصر مشترک و اصلی طراحی آزادراه‌ها و امکاناتی چون شیب‌راهه‌ها و رابط‌های آزادراهی بشمار می‌آیند [۳].

نرخ کاهش و افزایش شتاب وسایل نقلیه غالباً جزء پارامترهای بحرانی در طراحی راه‌ها است [۲] ازسویی هندسه و چیدمان باندهای مقاطع تداخلی به نحوی است که نوعی تضاد و تلاقی مابین رانندگانی که در حال پیوستن به جریان اصلی (افزایش شتاب) هستند با رانندگانی که در حال جدا شدن از جریان اصلی (کاهش شتاب) هستند، بوجود می‌آورد. این امر باعث افزایش احتمال وقوع تصادفات [۴] و کاهش توان عبوردهی

نواحی تداخلی است. مدلی که توسط لئیش و نورمن<sup>۱</sup> برای تحلیل تمام پیکربندی‌های تداخلی در انواع تسهیلات توسعه داده شده و در فصل هفتم این راهنما قرار گرفته است [۱۴]. و دو مدل دیگر که در فصل هشتم این راهنما برای تحلیل پیکربندی شیب‌راهه ارائه شده است. مدلی که برای تحلیل این پیکربندی تحت شرایط جریان آزاد (سطوح سرویس A تا C) توسط هس<sup>۲</sup> توسعه داده شده است و مدلی که در کالیفرنیا توسط موسکوویتز و نیومن<sup>۳</sup> برای تحلیل این نوع مقاطع تداخلی تحت شرایط سنگین ترافیکی توسعه داده شده است (روش سطح D) [۱۶].

هرچند در مدل لئیش و نورمن از ساختار مفهومی مدل HCM ۱۹۵۰ پیروی شده اما تغییراتی هم نسبت به این مدل داشته است. از جمله این تغییرها معرفی معیار سطح سرویس (LOS) است. همچنین داده‌هایی که در توسعه این مدل از آن‌ها بهره‌گرفته شده است، طیف وسیع‌تری از طول و احجام تداخل را نسبت به مدل HCM ۱۹۵۰ در برداشته است. بدین سبب در این مدل گرافیکی حداکثر طول مقاطع تداخلی از ۳۶۰۰ فوت به ۸۰۰۰ فوت و کل حجم تداخل از ۳۶۰۰ veh/h به ۴۰۰۰ veh/h افزایش یافته است [۱۴].

در اواسط دهه ۶۰ میلادی نواحی تداخلی به معضلی مهم در آزادراه‌های درون‌شهری تبدیل گردیدند. از این‌رو تداخل به موقعیت مناسبی برای آغاز روند توسعه و پیرایش سوم این راهنما مبدل شد.

همزمان با آغاز این روند، رویکردهای جدیدی در تحلیل مقاطع تداخلی آغاز بکار نمودند که نتیجه آن‌ها دو مفهوم پیکربندی و نوع عملیات در مقاطع تداخلی است. این مفاهیم اولین بار در مدل توسعه داده شده در پروژه ۳-۱۵ NCHRP Project که توسط موسسه پلی‌تکنیک نیویورک (PINY) در بین سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۱ انجام شده است، معرفی گردید [۱۴].

مطالعات انجام شده در فاصله زمانی تقریباً ۲۰ ساله تا انتشار مدل HCM ۱۹۸۵ به قدری مهم و تاثیرگذار بودند که در سال ۱۹۸۴ کمیته‌ی ظرفیت و کیفیت سرویس راه‌ها در روند تحریر فصل مربوط به نواحی جریان تداخلی HCM با سه گزینه مواجه شد: (الف) روش توسعه داده شده توسط PINY در سال ۱۹۷۹ که اصلاحیه‌ای بر مدل ارائه شده در پروژه ۳-۱۵ NCHRP است،

مفاهیم و روش‌ها برای راهنمایی تحلیل‌گران ترافیکی است [۸]. در این راهنما مقاطع تداخلی به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء ظرفیت آزادراه‌ها و تجزیه و تحلیل‌های مربوط به تعیین سطح سرویس (LOS) در نظر گرفته شده است [۹]. ویرایش پنجم این راهنما (HCM ۲۰۱۰) برای اولین بار مدلی برای پیش‌بینی نرخ تغییر باند وسایل نقلیه ارائه نموده است و از آن در تعیین سرعت وسایل نقلیه بهره‌گرفته است [۱۰]. از سویی بسیاری از جنبه‌ها و خصوصیات روابط و روش‌های کنونی مربوط به نواحی تداخلی تا حدودی بر مبنای قضاوت و تشخیص فردی است که در اکثر موارد به دلیل سختی و هزینه‌های زیاد جمع‌آوری داده‌های جامع و کارآمد از عملیات تداخلی است [۱۱]. تحقیقات نشان می‌دهند که عملکرد سیستم‌های ترافیکی تحت تاثیر جنبه‌های مختلفی از خصوصیات و رفتار انسان است [۱۲] و رفتار و عملکرد اجزاء این سیستم‌ها به عواملی چون ویژگی‌های محلی و شرایط فرهنگی و اجتماعی بستگی دارد [۴]. یکی از متداول‌ترین و کارآمدترین راهکارها برای حل این مشکل، کالیبراسیون مدل‌های ترافیکی بر حسب شرایط و ویژگی‌های منطقه‌ی مورد نظر است. کالیبراسیون فرآیندی است که در آن تحلیل‌گر به اصلاح پارامترهای مدل می‌پردازد تا خروجی مدل بهترین تخمین از شرایط میدانی ترافیک محلی باشد [۱۰].

از این‌رو هدف این مطالعه ارزیابی عملکرد مدل HCM ۲۰۱۰ در برآورد نرخ تغییرباند وسایل نقلیه در مقاطع تداخلی در مقایسه با مدل کالیبره شده آن بر مبنای شرایط بزرگراه‌های شهر تهران است.

## ۲- بررسی اجمالی مدل‌های HCM

اولین بار در HCM ۱۹۵۰ روشی برای تحلیل و طراحی نواحی تداخلی ارائه گردید [۱۳] این روش نسبتاً ساده و کلی، اساساً رویکردی منطقی مبتنی بر چند اصل قضاوتی است که در توسعه آن از داده‌های محدود بدست آمده از چند بزرگراه چند بانده و اندک آزادراه‌های موجود در آن زمان، مدد گرفته شده [۱۴] و نتیجه آن مدلی گرافیکی با قابلیت پیش‌بینی سرعت عملیاتی و ظرفیت مقاطع تداخلی است [۱۵]. در طراحی با این روش، دوبرابر شدن حجم ترافیک طول مورد نیاز مقطع را سه برابر و تعداد باندهای مورد نیاز وسایل نقلیه‌ی تداخلی را دوبرابر می‌گرداند [۱۳].

HCM ۱۹۶۵ در اصل در بردارنده سه مدل مجزا برای تحلیل

1 Leisch and Normann.

2 Hess.

3 Moskowitz and Newman.

صفحه‌ای برای تعیین ظرفیت مقطع تداخلی است.

علیرغم تغییرات مفید، این مدل همچنان با کاستی‌هایی روبرو است. بدین نحو که همچنان طبقه‌بندی سه‌گانه مقاطع تداخلی بر مبنای پیکربندی در این مدل حفظ شده است و از پایگاه داده‌ی کوچکی، شامل ۱۰ مقطع تداخلی و با استفاده از نرخ‌های ساعتی، برای توسعه آن بهره‌گرفته شده است [۱۴].

HCM ۲۰۱۰ مدلی برای تحلیل مقاطع تداخلی ارائه نمود که توسط روتز و همکارانش در قالب یک مطالعه گسترده توسعه داده شده است. این مطالعه در سال ۲۰۰۶ با حمایت NCHRP آغاز بکار نموده. مبنای تحلیل این مدل، متغیرهای هندسی تاثیرگذار (طول، عرض و چیدمان باندها)، سرعت سیر آزاد (FFS) و نرخ جریان تقاضا است [۱۴، ۱۰].

در قیاس با مدل HCM ۲۰۰۰، این مدل با تغییرات عمده‌ای چون: (الف) حذف طبقه‌بندی سه‌گانه مقاطع بر مبنای پیکربندی و دوگانه آن بر مبنای نوع عملیات، (ب) بازتعریف روش محاسبه طول مقاطع تداخلی و ارائه مفاهیم متفاوتی به منظور برآورد نرخ تغییر باند، (ج) تغییر در الگوریتم پیش‌بینی سرعت، (د) ارائه مدل نوینی برای محاسبه ظرفیت و (ه) تعیین روشی ریاضی برای مشخص نمودن حداکثر طول تداخل ( $L_{MAX}$ ) بر مبنای نسبت حجم (VR) و نحوه چیدمان باندها، همراه بوده است.

در این مطالعه با هدف ارائه مدلی برای پیش‌بینی نرخ تغییر باند، از داده‌هایی بهره‌گرفته شده است که بتوان تعداد تغییر باندهای جریان‌های جزئی در مقطع تداخل را مشاهده نمود. این داده‌ها از هفت شهر متفاوت در شش ایالت مختلف ایالات متحده بدست آمده‌اند. در این پایگاه داده انواع پیکربندی‌های مقاطع تداخلی به طول‌های ۵۴۰ تا ۲۸۲۰ فوت و عرض سه تا شش باند، در نظر گرفته شده است [۱۴].

### ۳- گردآوری داده‌های میدانی و استخراج داده‌ها

داده‌های میدانی با استفاده از تکنیک مشاهده غیرعلنی از یک مقطع تداخلی شیب‌راهه واقع در بخش فرورفته<sup>۳</sup> آزادراه درون شهری شهید آقابابایی شهر اصفهان بدست آمده است. این مقطع تداخلی در بخش آزادراهی دارای سه باند به عرض ۳/۶ متر و شانه‌ای، سمت راست، به عرض ۱/۵ متر در بالادست است. علائم راهنمایی و رانندگی این آزادراه تردد کامیون‌ها و

(ب) روش توسعه داده شده توسط لئیش در سال ۱۹۸۳ و (ج) روش رایلی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۴. در نهایت این کمیته تصمیم گرفت که قالب الگوریتم توسعه داده شده توسط رایلی و همکاران انتخاب شود و به منظور انعکاس تاثیر تیپ پیکربندی مقاطع (در روش PINY و لئیش این اثر در نظر گرفته شده است) و مسئله‌ی درگیر و غیردرگیر بودن عملیات (این موضوع در روش PINY در نظر گرفته شده است) توسط روتز<sup>۲</sup> مجدداً کالیبره و اصلاح گردد [۱۷، ۱۶].

حاصل آن شش رابطه برای پیش‌بینی سرعت جریان تداخلی و شش رابطه برای پیش‌بینی سرعت جریان غیر تداخلی است. این روابط شش‌گانه به منظور پیش‌بینی سرعت در تیپ‌های سه‌گانه‌ی پیکربندی مقاطع و شرایط عملیات درگیر در برابر عملیات غیردرگیر استفاده می‌شوند [۱۸]. در کالیبراسیون اولیه از روش رگرسیون شده است و از آنجایی که پایگاه داده مورد استفاده از نظر آماری برای پشتیبانی از چنین توسعه‌ای (۶ رابطه متفاوت برای هر جریان) ناکافی بود، نتایج آن رضایت‌بخش نبود [۱۶، ۱۵]. از این رو به منظور دستیابی به نتایج بهتر و سطح قابل قبولی از حساسیت، روابط دوازده‌گانه این مدل با استفاده از روش سعی و خطا اصلاح گردیده‌اند [۱۶].

در ویرایش چهارم HCM مدلی برای تحلیل نواحی تداخلی ارائه گردید که مطالعات گذشته در توسعه‌ی آن نقش مهمی ایفا نموده‌اند. در حقیقت شکل‌گیری این مدل بر مبنای (الف) قالب الگوریتم پیش‌بینی سرعت در مدل رایلی، (ب) مفاهیم پیکربندی و نوع عملیات در مدل NCHRP ۳-۱۵ (۱۹۷۵) و اصلاحیه آن در اواخر دهه‌ی ۷۰ میلادی، (ج) مدل تجدید نظر شده HCM ۱۹۸۵ (۱۹۹۷)، و (د) مطالعات لئیش و فازیو در اواخر دهه‌ی ۸۰ میلادی، صورت پذیرفته است [۱۹].

در این مدل سعی شده است با رفع کاستی‌ها و نقاط ضعف روش‌های گذشته، میان مدل‌های مربوط به مقاطع آزادراهی در HCM یکپارچگی و انسجام برقرار گردد. این اصلاحات شامل (الف) کالیبراسیون مجدد ثابت‌ها به منظور انعکاس تغییرات انجام شده در روش‌های دیگر مربوط به مقاطع آزادراهی و (ب) تعیین LOS بر مبنای چگالی مقطع و حذف عمل تعیین LOS برای وسایل نقلیه‌ی تداخلی و غیر تداخلی بصورت مجزا است [۱۷]. از دیگر تغییرهای مهم HCM ۲۰۰۰، ارائه جدولی چند

1 Reilly.

2 Roess.

3 Depressed.

سال ۲۰۰۶ با حمایت برنامه تحقیقات ملی مشترک راه آغاز بکار نمود؛ توسعه داده شده است [۱۰].

روئز و همکارانش در این مطالعه فرصت یافتند تا تعریف مربوط به طول ناحیه تداخلی را بررسی مجدد نمایند. در حقیقت تعریف بکاربرده شده در مطالعات گذشته متکی بر مجموعه داده‌هایی مربوط به سال ۱۹۶۳ میلادی بود. همچنین، مستندات مناسبی برای منطق و مبنای این تعریف وجود نداشت [۱۳]. از این رو، در مدل جدید دو تعریف جدید برای طول بیان شده است: طول پایه ( $L_B$ ) که برابر است با فاصله بین نواحی سه‌گوش<sup>۲</sup> همگرا و واگراست (نواحی که در اثر تلاقی لبه سمت چپ شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی با لبه سمت راست باندهای عبوری آزادراه، تشکیل می‌گردند). طول کوتاه ( $L_S$ ) که برابرست با فاصله بین خطکشی‌های ممتد که تغییر باند را منع می‌سازد. هر چند  $L_B$  توانایی تغییر باند وسایل نقلیه تداخلی را بیشتر محدود می‌سازد، اما در بیشتر روابط مدل HCM ۲۰۱۰ از  $L_S$  استفاده شده است و این بدان معنا نیست که تمام تغییرباندها در این طول رخ می‌دهند. بلکه، تحقیقات نشان می‌دهد که  $L_S$  خصوصیات عملیاتی این مقاطع را نسبت به  $L_B$  و حتی طول تعریف شده در HCM ۲۰۰۰ و ویرایش‌های پیشین آن، بهتر پیش‌بینی می‌نماید [۱۰].

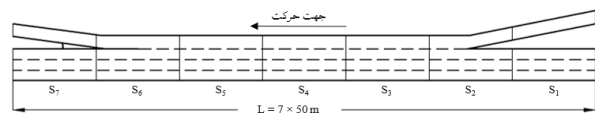
در این مطالعه با هدف ارائه مدلی برای پیش‌بینی نرخ تغییرباند وسایل نقلیه، از داده‌هایی بهره‌گرفته شده است که بتوان تعداد تغییرباندهای هریک از جریان‌های چهارگانه در مقطع تداخل را مشاهده نمود. این داده‌ها از هفت شهر متفاوت در شش ایالت مختلف ایالات متحده آمریکا بدست آمده‌اند. در این پایگاه داده انواع پیکربندی‌های مقاطع تداخلی (A, B, C) با ۵۴۰ تا ۲۸۲۰ فوت و عرض سه تا شش باند، در نظر گرفته شده است [۱۳].

در این راهنما تغییرباندهای که ممکن است در مقاطع تداخلی رخ دهد به سه نوع تقسیم‌بندی شده‌اند:

الف) تغییرباندهای اجباری که توسط وسایل نقلیه تداخلی انجام داده می‌شود ( $LC_{MIN}$ ): این تغییرباندها با ایستی انجام شوند تا یک مانور تداخلی کامل شود و محدود به فیزیک ناحیه تداخلی هستند.

ب) تغییرباندهای اختیاری که توسط وسایل نقلیه تداخلی انجام داده می‌شود: این تغییرباندها وقتی انجام می‌شوند که وسایل

موتورسیکلت‌ها را ممنوع و حداکثر سرعت مجاز وسایل نقلیه را ۷۰ کیلومتر بر ساعت، تعیین نموده است. مقطع تداخلی مورد مطالعه به هفت قسمت ۵۰ متری تقسیم شده است (شکل (۱))، تا بتوان نرخ تغییر باند وسایل نقلیه در مقطع تداخل را ثبت نمود. در این تقسیم‌بندی سعی گردید طول قابل توجهی از قسمت پایه آزادراهی در بالادست و پایین دست مقطع در نظر گرفته شود.



شکل ۱: نمایش مقطع بندی فرضی ناحیه مورد مطالعه

گردآوری داده در طی یک روز کاری (سه‌شنبه) با استقرار دوربین تصویربرداری بر فراز یک ساختمان مرتفع در مجاورت ناحیه‌ی مورد مطالعه، طی هفت بازه پانزده دقیقه‌ای در ساعات مختلف صورت گرفته است. و سعی شده است که حداکثر اطلاعات ممکن از تصاویر تهیه شده استخراج گردد. بدین نحو که در هر بازه نرخ تغییر باند و نرخ تردد هر یک از جریان‌های جزئی برحسب نوع وسیله نقلیه در کاربرگ‌های از پیش طراحی شده، ثبت گردیده است. با توجه به تعاریف طول مقاطع تداخلی ( $L_S = mY/197$ ) و ( $L_B = mY/216$ )، فرآیند استخراج داده‌ها از ابتدای مقطع دوم تا انتهای مقطع ششم صورت پذیرفته است (شکل (۱)). بدین نحو که مسیر حرکت تمامی وسایل نقلیه از لحظه ورود به مقطع دوم تا لحظه خروج از مقطع ششم ثبت گردیده است. اطلاعات بدست آمده شامل ثبت تردد ۸۸۲۹ وسیله‌ی نقلیه و ۵۸۴۶ تغییر باند است.

#### ۴- مدل مورد بررسی

با توجه به مقبولیت جهانی HCM و همچنین استفاده آیین‌نامه‌های ایرانی از مدل‌های ارائه شده در این راهنما برای تحلیل نواحی تداخلی، در این پژوهش مدل ارائه شده در HCM ۲۰۱۰ (به عنوان تنها راهنمایی که مدلی برای پیش‌بینی نرخ تغییر باند وسایل نقلیه ارائه نموده است) انتخاب و عملکرد آن نسبت به مدل کالیبره شده آن بر مبنای شرایط بزرگراه‌های شهر تهران، سنجیده شده است.

HCM ۲۰۱۰ مدلی برای تحلیل مقاطع تداخلی ارائه نمود که توسط روئز و همکارانش در قالب یک مطالعه گسترده که در

1 The National Cooperative Highway Research Program, NCHRP.

2 Gore area.

برای پیش‌بینی نرخ تغییر باند وسایل نقلیه غیرتداخلی ( $LC_{NW}$ ) در این مدل سه رابطه توسعه داده شده است و با توجه به اینکه مقدار عددی شاخص وسایل نقلیه غیرتداخلی یکی از این روابط سه‌گانه انتخاب می‌گردد (جدول (۱)). خروجی نهایی این مدل، کل نرخ تغییرباندی ( $LC_{ALL}$ ) است که توسط وسایل نقلیه در مقطع تداخل رخ می‌دهد.

عبدالمنافی و همکارانش برای کالیبراسیون این مدل از داده‌هایی بهره‌گرفته‌اند که از ۹ مقطع تداخلی در بزرگراه‌های درون‌شهری شهر تهران بدست آمده‌اند. در این پایگاه داده که از بازه‌های پنج دقیقه‌ای بدست آمده است انواع پیکربندی‌های مقاطع تداخلی (A, B, C) با عرض سه تا پنج باند، در نظر گرفته شده است [۱۹].

خروجی نهایی این مطالعه دو رابطه برای پیش‌بینی نرخ تغییرباند وسایل نقلیه تداخلی و غیرتداخلی است (روابط (۳) تا (۵)).

$$LC_W = LC_{MIN} + 0.315 \left[ L_B^{.49} N^{1.956} (1 + IID)^{1.125} (1 + VR)^{.349} \right] \quad (3)$$

$$IID = \frac{N_{II} + 1}{2 + L_B} \quad (4)$$

$$LC_{NW} = 0.784 L_B + 38.895 N + 0.26 V_{NW} \quad (5)$$

در این روابط IID تراکم تبادل‌ها و تقاطع‌ها در مجاورت مقطع تداخلی و  $N_{II}$  تعداد تبادل‌ها در فاصله یک کیلومتری از مقطع در بالادست و پایین دست است.

عبدالمنافی و همکارانش علاوه بر کالیبراسیون ضرایب، تغییراتی در روابط پیشنهادی ۲۰۱۰ HCM اعمال نموده‌اند. این تغییراتی

نقلیه تداخلی در نزدیک‌ترین باند نسبت به مقصد مورد نظرشان وارد مقطع نشوند یا از نزدیک‌ترین باند نسبت به مقصد مورد نظرشان مقطع را ترک ننمایند. این تغییرباندها اختیاری‌اند و به انتخاب رانندگان بستگی دارد.

ج) تغییرباندهای اختیاری که توسط وسایل نقلیه غیرتداخلی انجام داده می‌شود: این تغییرباندها عموماً به منظور اجتناب از آشفته‌گی‌های ناشی از تداخل انجام می‌شوند و همواره به انتخاب رانندگان بستگی دارد.

مدل ارائه شده برای پیش‌بینی نرخ تغییر باند نیز از همین دسته‌بندی تبعیت می‌نماید. بدین نحو که ابتدا حداقل نرخ تغییر باند وسایل نقلیه تداخلی ( $LC_{MIN}$ ) را برآورد (رابطه (۱)) و سپس نرخ تغییر باند اختیاری وسایل نقلیه تداخلی را برآورد می‌نماید. حاصل جمع این دو مقدار برابر است با نرخ تغییر باند وسایل نقلیه تداخلی ( $LC_W$ ) (رابطه (۲)).

$$LC_{MIN} = (LC_{RF} \times v_{RF}) + (LC_{FR} \times v_{FR}) \quad (1)$$

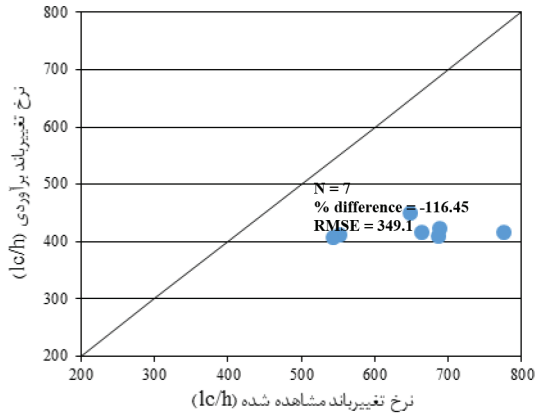
$$LC_W = LC_{MIN} + 0.39 \left[ (L_S - 300)^{.5} N^2 (1 + ID)^{.8} \right] \quad (2)$$

در این روابط  $LC_W$  نرخ تغییر باند وسایل نقلیه تداخلی (l/h)،  $LC_{MIN}$  حداقل نرخ تغییر باند وسایل نقلیه تداخلی (l/h)، N تعداد باندهای ناحیه تداخل و ID تراکم تبادل ( $LC_{RF}$ ، int/mi)،  $LC_{FR}$  حداقل تعداد تغییرباند لازم برای ورود به راه اصلی از شیب‌راهه، اصلی،  $v_{RF}$  نرخ جریان تقاضا شیب‌راهه به راه اصلی (Pc/h) و  $v_{FR}$  نرخ جریان تقاضا راه اصلی به شیب‌راهه است.

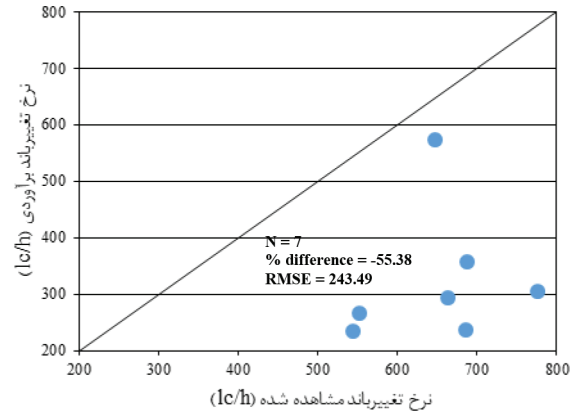
جدول ۱: روابط تعیین نرخ تغییر باند وسایل نقلیه غیرتداخلی ( $LC_{NW}$ )

شاخص وسایل نقلیه غیرتداخلی ( $I_{NW}$ )	شرط	رابطه
$\frac{L_S \times ID \times v_{NW}}{10000}$	$\geq I_{NW} 1300$	$= (N6/192) - (L_S 542/0) + (v_{NW} 206/0) LC_{NW} = LC_{NW1}$
	$\leq I_{NW} 1950$	$= (2000 - v_{NW}) 223/0 + 135/2 LC_{NW} = LC_{NW2}$
	$I_{NW} < 1300 < 1950$	$LC_{NW} = LC_{NW3}$ $= LC_{NW1} + (LC_{NW2} - LC_{NW1}) \left( \frac{I_{NW} - 1300}{650} \right)$
	$LC_{NW1} \geq LC_{NW2}$	$LC_{NW} = LC_{NW2}$

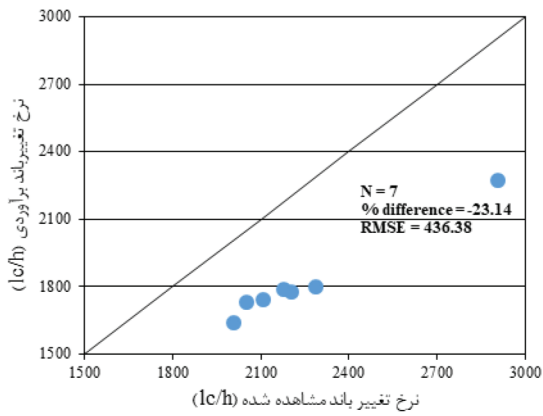
توجه: در این جدول،  $v_{NW}$  برابر است با مجموع نرخ جریان غیرتداخلی در مقطع تداخلی (pc/h).



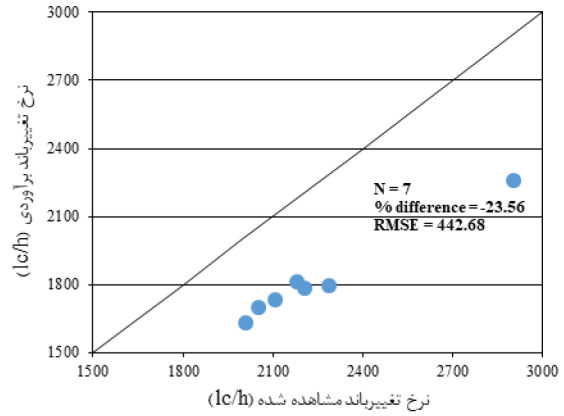
(ب)



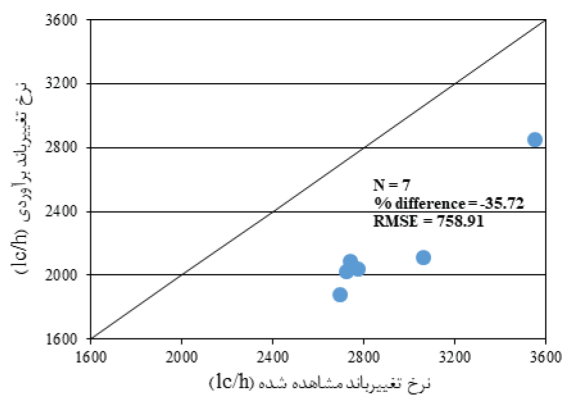
(الف)

 شکل ۲: مقادیر در برابر مقادیر برآوردی به‌ازای  $LC_{NW}$ : مدل ۲۰۱۰ HCM و (ب) مدل عبدالمنافی و همکاران


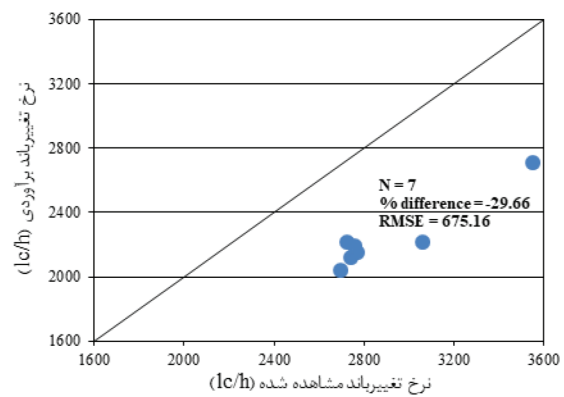
(ب)



(الف)

 شکل ۳: مقادیر در برابر مقادیر برآوردی به‌ازای  $LCW$ : مدل ۲۰۱۰ HCM و (ب) مدل عبدالمنافی و همکاران


(ب)



(الف)

 شکل ۴: مقادیر در برابر مقادیر برآوردی به‌ازای  $LCALL$ : مدل ۲۰۱۰ HCM و (ب) مدل عبدالمنافی و همکاران

و متوسط این اختلاف در شرایط عادی روز به‌ازای مجموع نرخ تغییر باند  $۳۵/۷۲$  درصد است و RMSE آن برابر است با  $۷۸۵/۹۱$  تغییر باند بر ساعت.

در نگاه کلی مدل کالیبره شده توسط عبدالمنافی و همکاران نیز عملکردی مشابه با مدل HCM ۲۰۱۰ دارد و برآورد آن به‌ازای هر سه نرخ تغییر باند، برآوردی دست‌پایین است. اما در مقایسه جز به جز، مدل کالیبره شده توانسته است دقت مدل HCM ۲۰۱۰ را به‌ازای  $LC_{NW}$  بیش از  $۵۰\%$  بهبود ببخشد. بلعکس در برآورد نرخ تغییر باند وسایل نقلیه تداخلی این فرآیند کالیبراسیون نه تنها اثر مثبتی بر عملکرد مدل نداشته است بلکه تا حدودی منجر به افزایش اختلاف میان مقادیر مشاهده شده با مقادیر برآوردی مدل شده است. از آنجا که  $LC_{ALL}$  برابر است با مجموع نرخ تغییر باند وسایل نقلیه و غیرتداخلی، مدل کالیبره شده توانسته است به میزان اندکی توانایی مدل را در برآورد صحیح این نرخ افزایش دهد (حدود شش درصد).

عملکرد ضعیف مدل HCM ۲۰۱۰ در برآورد نرخ تغییر باند (خصوصاً جریان‌های غیرتداخلی) می‌تواند ناشی از اختلاف‌های مابین دو جامعه باشد. به زبان دیگر، خصوصیات آزادراه‌ها، وسایل نقلیه و همچنین شرایط حاکم بر جامعه کشور ایالات متحده به‌نحوی است که منجر به رفتار محتاطانه‌تر و قانونمدارانه‌تر رانندگان آن نسبت رانندگان جامعه ناحیه مورد مطالعه است. براین اساس که تعداد تغییرباندهای اختیاری مشاهده شده به‌ازای وسایل نقلیه غیرتداخلی بسیار بیشتر از آن مقداری است که مدل پیشنهادی HCM برآورد نموده است. این اختلاف تحت شرایط عادی روز برابر است با  $۱۱۶/۴۵$  درصد (بیش از  $۳۴۰$  تغییرباند بر ساعت). حتی کالیبراسیون آن بر مبنای شرایط بزرگراه‌های شهر تهران تنها توانسته است تا حدودی خروجی نهایی مدل را به شرایط و ویژگی‌های منطقه‌ی مورد نظر نزدیک نماید. ناتوانی مدل کالیبره شده در برآورد صحیح نرخ تغییر باند (علیرغم عملکرد قابل قبول آن تحت شرایط بزرگراه‌های تهران) و خصوصاً اثر منفی آن در برآورد  $LC_{W}$  ناشی از عوامل مختلفی چون تفاوت ساختاری جوامع ایران و آمریکا (خصوصاً رفتار رانندگان) و همچنین اختلاف مابین رفتار رانندگان شهرهای اصفهان و تهران است. بر این مبنای که تعداد تغییرباندهای غیرتداخلی ثبت شده در شهر اصفهان در این مطالعه (بر خلاف تفاوت شرایط آزادراه‌ها با بزرگراه‌ها) بسیار بیشتر از مقادیر ثبت شده در شهر تهران توسط عبدالمنافی و همکارانش است.

عبارتند از:

(الف) افزودن پارامتر نسبت حجم به الگوریتم پیش‌بینی نرخ تغییرباند وسایل نقلیه تداخلی؛

(ب) تغییر در تعریف متغیر تراکم تبادل؛

(ج) استفاده از  $L_B$  در روابط پیش‌بینی نرخ تغییر باند بر خلاف مدل HCM.

محققین در این مطالعه تنها یکی از روابط پیش‌بینی  $LC_{NW}$  را کالیبره نموده‌اند (رابطه دوم در جدول (۱)). تفاوت مهم رابطه کالیبره شده نسبت به رابطه اصلی، مثبت بودن ضریب عرض مقطع است.

## ۵- نتایج

پس از ثبت نرخ تردد هریک از جریان‌های جزئی، طبق تعریف HCM ۲۰۱۰ وسایل نقلیه به دو گروه وسایل نقلیه سبک و سنگین تقسیم‌بندی گردیده‌اند. نتایج بیانگر آن است که  $۹۵/۹۵\%$  وسایل نقلیه مشاهده شده در گروه وسایل نقلیه سبک قرار می‌گیرند و مابقی جز وسایل نقلیه گروه سنگین هستند. در نهایت نرخ هر یک از جریان‌ها بر حسب معادل سواری تعیین و سپس با استفاده از روابط پیشنهادی مدل‌ها نرخ تغییرباند هریک از جریان‌های تداخلی و غیرتداخلی برای بازه‌های هفتگانه تعیین گردیده است. در گام بعد این مقادیر برآوردی با مقادیر بدست آمده از مشاهدات مقایسه گردیده است (شکل‌های (۲) تا (۴)). در این قیاس از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE^1$ ) و میانگین درصد اختلاف مقادیر برآوردی نسبت به مقادیر حقیقی، بهره گرفته شده است.

## ۶- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که مدل HCM ۲۰۱۰ تنها مدلی است که الگوریتمی برای پیش‌بینی نرخ تغییرباند ارائه و از آن در تحلیل و طراحی نواحی تداخلی بهره‌گرفته است. از این رو با استفاده از داده‌های میدانی دقت مدل ارائه شده در این راهنما در برآورد نرخ تغییرباند هر یک از جریان‌ها، مورد سنجش قرار گرفته است. نتایج این تحلیل بیانگر ضعف این مدل در برآورد این نرخ‌ها، خصوصاً در جریان‌های غیرتداخلی است. بدین نحو که در تمامی موارد نرخ تغییرباند را دست‌پایین برآورد می‌نماید

1 Root Mean Square Error, RMSE.

- 10- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010, Published by the National Research Council, Washington D.C., U.S.A.
- 11- Traffic Engineering, 2011, Roess, R.P. Prassas, E.S. McShane, and W. R., Prentice Hall, 734p.
- 12- Yi, L. Lu, J. and Ma Y., 2011, Analysis of freeway weaving section: A review and assessment of methods, Third International Conference on Transportation Engineering, Chengdu, China, July 23-25, pp. 2631-2636.
- 13- The highway capacity manual: A conceptual and research history, 2014, Roess, R.P. Prassas, E.S., Springer International Publishing, 470p.
- 14- Zhang, Y., 2005, Capacity modeling of freeway weaving section, PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, U.S.A.
- 15- Analysis of Freeway Weaving Sections, 2008, NCHRP Project 3-75 Final Report. Transportation Research Institute, Polytechnic University Brooklyn, N.Y., and Kittelson & Associates, Oregon, U.S.A.
- 16- Skabardonis, A. and Kim, A., Weaving Analysis, Evaluation and Refinement, 2010, California PATH Research Report, Institute of Transportation Studies, Berkeley, Report No: CA10-0982, California, U.S.A.
- 17- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 1985, Published by the National Research Council, Washington D.C., U.S.A.
- 18- Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2000, Published by the National Research Council, Washington D.C., U.S.A.
- ۱۹- عبدالمنافی، س. الف.، مرادپور، الف. ه.، عابدینی، م. و محمدی، آ.، ارائه مدلی برای پیش بینی تعداد تغییرخط‌های تداخلی و غیرتداخلی در مقاطع تداخلی بزرگراهی شهر تهران، چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران، ص. ۱۴-۱.

در نگاه کلان نتایج این پژوهش بیانگر اختلاف معناداری مابین مقادیر مشاهده شده نرخ تغییرباند با مقادیر برآوردی مدل HCM ۲۰۱۰ است. اختلافی که حتی کالیبراسیون آن بر مبنای بزرگراه‌های شهر تهران نیز نتوانسته است آن را برطرف نماید و درموردی باعث افزایش این اختلاف نیز گردیده است. از این رو توسعه‌ی یک مدل ترافیکی مبتنی بر شرایط و خصوصیات فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی کشور ایران امری اجتناب‌ناپذیر است که می‌بایست در سطحی گسترده و با استفاده از تجارب موفق دیگر کشورها صورت پذیرد تا مدل‌های جامع و کارآمدی برای تحلیل اجزاء ترافیکی همانند نرخ تغییرباند وسایل نقلیه در مقاطع تداخلی ارائه گردد.

#### ۷- منابع

- 1- Traffic Engineering Handbook, 2016, Pande, A. and Wolshon, B., John Wiley & Sons Inc, 1104p.
- 2- AASHTO, 2011, a Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C., U.S.A.
- 3- Transportation Research Record, 2015, Evaluation of methodologies for analyzing freeway ramp weaving, Vol. 2483, pp. 130-139.
- 4- AASHTO, 2010, Highway Safety Manual, Washington, D.C., U.S.A.
- 5- Pesti, G. Chu, C.L. Fitzpatrick, K. Porter, R.J. and Le, T., Simulation of Weaving Traffic between Freeway Ramps, 2011, 90th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 1-16.
- 6- Kandala, S.S., 2014, Analysis of freeway bottlenecks, PhD thesis, Arizona State University, U.S.A.
- 7- Schrank, D. Eisele, B. and Lomax, T., 2012, Urban Mobility Report. Texas A&M Transportation Institute, Texas, U.S.A.
- 8- Highway Engineering Planning, Design, and Operations, 2016, Findley, D. J. Schroeder, B. J. Cunningham, C. M. and Brown T. H., Elsevier Inc., 714p.
- 9- Transportation Research Record, 2012, Quantifying Cross-Weave Impact on Capacity Reduction for Freeway Facilities with Managed Lanes, Vol. 2278, pp. 171-179.

## The Study of Methodologies for Estimation of Lane-Changing Rates; A Case Study: A ramp-Weaving Segment in Isfahan

Meisam Akbarzadeh<sup>1</sup>, Ahmad Mohajeri<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Department of Transportation Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- M.Sc. of Civil Engineering, Graduate Research Assistant, Transportation Research Center, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

### Abstract

Weaving segments exist where two significant traffic streams cross each other's path at grade over a length of highway. The weaving maneuvers intending to perform lane changes in these segments cause a level of turbulence in the traffic flow. The turbulence leads to extensive speed changes, the reduction of the level of service and the safety in these segments. Therefore, this study, which has used the actual lane-changing rate, attempts to evaluate the performance of the model that was proposed in the fifth edition of Highway Capacity Manual (HCM 2010) and its calibrated model based on Tehran highways. Thereby, the field-data was collected on the ramp-weaving segment of a freeway in Isfahan, using a closed circuit observation technique. The procedure was of 7 fifteen-minute time steps of recording at different hours of a working day. The findings in this study show the weakness of the HCM 2010 in the lane-changing rate estimation (especially non-weaving flow) in the way that it under-predicts the rates in all cases and the calibrated model could only adjust it in prediction of non-weaving lane-changing rate. Even the calibrated model has negatively affected the HCM 2010 in estimation of weaving lane-changing rate.

**Keywords:** Lane change, Weaving segments, Highway capacity manual, Calibration, Isfahan.