راستی‌آزمایی نتایج مطالعات کلان‌نگر ترافیک در سطح خرد (مطالعه موردی: شبکه معابر بزرگراهی کلانشهر تهران)

مقاله پژوهشی

کیوان آقابیک*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
مهرداد غلامی‌شه‌بندی، دانش آموخته دکتری، مهندسین مشاور آتیه‌ساز شرق، تهران، ایران
رضا گلشن خواص، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: kayvan.aghabayk@ut.ac.ir

دریافت: ٩٩/٠١/٢٩- پذیرش: ٩٩/٠٧/٢٥
صفحه ٧٤-٦١

چکیده

امروزه رشد روزافزون جمعیت در کلان‌شهرها سبب افزایش تقاضای حمل‌ونقل شده است. به همین دلیل توسعه متداوم و متناسب زیرساخت‌های حمل‌ونقل یکی از الزامات مدیریت شبکه‌های حمل‌ونقل درون‌شهری می‌باشد. ارزیابی فنی-اقتصادی طرح‌های متعدد گامی اساسی در راستای تحقق این هدف است. همواره به منظور اثرسنجی طرح‌های کلان توسعه شبکه معابر، خصوصاً معابر و اتصالات بزرگراهی، از نرم‌افزارهای ترافیکی کلان‌نگر مدل‌سازی تقاضا استفاده می‌شود. این نرم‌افزارها قابلیت پیش‌بینی توزیع تقاضا در شبکه‌های بزرگ مقیاس را داشته و با توجه به مدل‌های ریاضی به کار رفته، توانایی و دقت قابل قبولی در این حوزه دارند. این نرم‌افزارها که به نرم‌افزارهای استاتیکی نیز معروف هستند، در پیش‌بینی وضعیت تردد جریان ترافیک در مقیاس‌های کوچک و در شرایط وجود تداخلات شدید جریان ترافیک با خطا همراه هستند. لذا، ارزیابی طرح‌های توسعه شبکه معابر بزرگراهی صرفاً بر اساس نتایج مدل‌سازی کلان‌نگر، ممکن است سبب انتخاب طرحی شود که منافع پیش‌بینی شده از آن در عمل تحقق نیابد. در این مقاله، به منظور راستی‌آزمایی نتایج حاصله از نرم‌افزارهای کلان نگر، رویکردی ترکیبی از مدل‌سازی کلان‌نگر و خردنگر پیشنهاد شده است. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، طرح تکمیل اتصالات در تقاطع بزرگراه‌های شهید اشرفی اصفهانی و شهید همت در شهر تهران مورد ارزیابی قرار گرفته است و نشان داده شده است که به دلیل خصوصیات مدل‌سازی در نرم‌افزارهای کلان‌نگر، بکارگیری رویکرد ترکیبی پیشنهادی جهت تضمین موفقیت طرح‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است.

واژه‌های کلیدی: تداخل ترافیک، نرم‌افزار شبیه‌ساز، توسعه شبکه معابر، راستی‌آزمایی، مدل‌سازی کلان‌نگر

١- مقدمه

با افزایش مالکیت خودرو و رشد تعداد سفر در کلان‌شهرها، مدیریت ترافیک به یکی از ملزومات مدیریت شهری تبدیل شده است. توسعه، ساماندهی و بهسازی ترافیک معابر یکی از ابزارهای مهم مدیریت ترافیک به شمار می‌آید که می‌تواند با استفاده از پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های موجود و افزایش بهره‌وری سیستم‌ها، موجب کاهش تأخیر و تراکم ترافیک در شهرها شود. استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی ترافیک برای ارزیابی دقیق طرح‌های توسعه شبکه معابر ضروری است. هدف از بکارگیری این نرم‌افزارها، پیش‌بینی نحوه توزیع جریان ترافیک در صورت اجرای طرح مورد بررسی است. این نرم‌افزارها با حل مسئله تخصیص ترافیک[1] این هدف را محقق می‌سازند. به طور کلی نرم‌افزارهای مدل‌سازی ترافیک با توجه به رویکرد و مدل‌های ریاضی به کار رفته در آن‌ها به دو دسته کلان‌نگر[2] و خردنگر[3] قابل دسته‌بندی هستند. رویکرد مدل‌سازی تقاضا در نرم‌افزارهای کلان‌نگر بر اساس مدل‌های ریاضی استاتیک استوار است که میزان جریان (تقاضا) در معابر را در یک بازه زمانی تحلیل مشخص (عموماً یک‌ساعته) به دست می‌دهد. این مدل ها مسئله تخصیص ترافیک را بر اساس اصل واردراپ و

تحقق تعادل استفاده‌کننده[٤] در شبکه حل می‌کنند. ساختار ریاضی این مدل‌ها امکان حل مسئله برای شبکه‌های بزرگ مقیاس را در نرم‌افزارهای کلان‌نگر فراهم آورده است. در سوی مقابل نرم‌افزارهای خردنگر دینامیکی قرار دارند که با شبیه‌سازی تردد خودروها، امکان بررسی دینامیک جریان ترافیک در مقیاس خرد را فراهم می‌آوردند و قابلیت مدل‌سازی تغییرات نرخ جریان در بازه های زمانی متوالی را دارا هستند. در نظرگیری تداخلات بین وسایل نقلیه، شکل گیری صف و موج شوک به کمک مدل‌های تعقیب وسیله نقلیه[٥] و تغییر خط[٦] از قابلیت‌های این نرم‌افزارها می‌باشد. ساختار ریاضیاتی مدل‌های خردنگر به مراتب پیچیدگی‌های محاسباتی بالاتری نسبت به مدل‌های استاتیکی دارند. ساخت یک مدل دقیق دینامیکی پایدار در سطح یک شهر و کالیبراسیون آن در عمل بسیار سخت و شاید غیرممکن است و به همین دلیل از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز خردنگر بیشتر در مقیاس محلی و طرح‌های موضعی استفاده می‌شود. مدل‌های میان‌نگر[٧] نیز دسته دیگری از مدل‌های ترافیکی هستند که بخشی از قابلیت‌های مدل‌های کلان‌نگر و خردنگر را در سطحی میانی ارائه می‌کنند. از میان طرح‌های توسعه شبکه معابر، توسعه شبکه‌های بزرگراهی جزو مهم‌ترین طرح‌ها به شمار می‌روند. به دلیل حوزه نفوذ و میزان اثرگذاری، این طرح‌ها عموماً با استفاده از مدل‌های مطالعات جامع حمل‌ونقل و ترافیک و به کمک نرم‌افزارهای کلان‌نگر استاتیکی مورد بررسی قرار می‌گیرند. بکارگیری مدل‌های استاتیکی سبب خواهد شد تا در بخش‌هایی از شبکه معابر که تراکم جریان ترافیک زیاد است و تداخلات شدید در تردد وسایل نقلیه رخ می‌دهد، خروجی‌های به دست آمده با خطا همراه باشند. این موضوع سبب شده است تا در سالیان اخیر محققان بررسی‌های تکمیلی در خصوص صحت نتایج مطالعات کلان‌نگر در سطح محلی را انجام داده و به منظور رفع اشکالات، فرآیندهایی را نیز پیشنهاد نمایند. مونترو و همکاران (١٩٩٨) بیان می‌کنند که درنظرگیری نرخ جریان میانگین یک‌ساعته در معابر در نرم‌افزارهای کلان‌نگر با خطا همراه بوده و تغییرات نرخ جریان در بازه‌های زمانی کوچک‌تر می‌تواند باعث ایجاد تراکم‌های شدید جریان ترافیک شود که در رویکرد استاتیکی درنظر گرفته نمی‌شوند. بر همین اساس مدلی هیبرید جهت ارزیابی طرح‌های تغییر در شبکه معابر بر مبنای نرم‌افزار کلان‌نگر EMME و خردنگر AIMSUN ارائه می‌دهند که قابلیت مدل‌سازی جریان ترافیک بر اساس تغییرات نرخ جریان را دارا است. روش پیشنهادی آن‌ها از مدل کلان‌نگر در سطحی وسیع و از مدل خردنگر در مقیاسی موضعی بهره می‌برد. بوها و همکاران (٢٠١٥) با اشاره به تفاوت در دقت رویکردهای مختلف، مدلی ترکیبی و چند سطحی ارائه می دهند که بر اساس نیاز در بخش‌های مختلف شبکه معابر می‌تواند از مدل‌های خردنگر یا کلان‌نگر استفاده نماید. در این روش پیشنهادی کل محدوده به صورت یک مدل استاتیکی در نظر گرفته شده و در برخی مقاطع محلی، از مدل شبیه‌ساز استفاده می‌شود. میتساکیس و همکاران (٢٠١٤) به طور هم‌زمان از نرم‌افزار استاتیکی VISUM و مدل دینامیکی VISTA (زیلیاسکوپولوس و والر، ٢٠٠٠) برای ارزیابی طرح‌های ارتقای شبکه معابر شهر نیکوزیا در کشور قبرس استفاده کردند. مدل کلان‌نگر جهت پیش‌بینی سهم طریقه‌های حمل‌ونقل و جریان ترافیک؛ و مدل خردنگر به منظور تدقیق نتایج و ارزیابی زمان سفر و میزان تأخیر مورد استفاده قرار گرفتند. ین و کیو (٢٠١١) نتایج نرم‌افزار کلان‌نگر SIDRA و نرم‌افزار خردنگر VISSIM را در پیش‌بینی نحوه توزیع جریان در یک میدان واقع در شهر آلبرتا در کشور کانادا، مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص گردید که تراکم و طول صف به دست آمده در مدل شبیه‌ساز بیشتر از مدل استاتیکی بوده است. فلترود و ناجل (٢٠٠٧) مدلی ترکیبی ارائه می‌دهند که در سطح شبکه رویکردی کلان‌نگر داشته و در مقیاس معابر شبکه از مدل دینامیکی بهره می‌برد. آن‌ها رویکرد پیشنهادی را برای شبکه معابر شهر برلین بکار برده و نتایج مناسبی به دست می‌آورند. لکلرک (٢٠٠٧) و چابرل و همکاران (٢٠٠٦) از جمله دیگر محققانی هستند که مدلی ریاضی برای حل مسئله توزیع جریان ترافیک با رویکردی هیبرید از مدل کلان‌نگر و خردنگر ارائه می‌کنند.

٢-پیشینه تحقیق

یکی از مسائل اصلی در مدیریت شبکه‌های حمل‌ونقل در شهرهای بزرگ، انتخاب میان راهکارهای مختلف جهت توسعه بهینه شبکه معابر بزرگراهی می‌باشد. این فرآیند مطالعاتی در حال حاضر با بکارگیری نرم‌افزارهای کلان‌نگر استاتیکی و اولویت‌بندی راهکارها انجام می‌گردد. با درنظرگیری تفاوت

میان رویکردهای استاتیکی و دینامیکی، نقاط ضعف مدل‌های کلان‌نگر ترافیکی به شرح پیوست قابل بیان می‌باشد.

-عدم درنظرگرفتن تداخل جریان‌های ترافیک و تأثیرات آن

-عدم توانایی درنظرگیری تشکیل صف

-عدم توانایی درنظرگیری موج شوک و پس‌زدگی صف

با توجه به مورد فوق، بکارگیری مدل های استاتیکی در ارزیابی طرح های توسعه شبکه معابر بزرگراهی، خصوصاً در مقاطع تبادلی و تقاطعی، با خطا همراه خواهد بود. در مدل‌های استاتیک، هزینه سفر برای یک زوج مبدأ و مقصد برابر با جمع هزینه سفر در هر یک از کمان‌های تشکیل‌دهنده مسیر مورد استفاده آن می‌باشد[٨]. هزینه سفر در هر کمان نیز تنها تابعی از حجم عبوری از آن خواهد بود و در بهترین حالت، میزان و شدت تداخلات با استفاده از ضرایبی جهت محدود نمودن ظرفیت قابل درنظرگیری است. ولی مشکل اصلی از آنجا ناشی می‌شود که به دلیل عدم توانایی درنظرگیری صف؛ هر حجمی، هرچند زیاد، از کمان مورد نظر گذر کرده و هیچ تأثیری بر زمان سفر کمان‌های بالادستی خود ندارد. این موضوع سبب می‌گردد تا پیش‌بینی مدل‌های کلان‌نگر استاتیک از توزیع جریان در شبکه و شاخص‌های جریان ترافیک با خطا همراه باشد. این موضوع در محدوده‌های متراکم که پدیده‌هایی نظیر صف و موج شوک وجود دارند به شدت تشدید می‌گردد. از سوی دیگر با توجه به وسعت حوزه نفوذ چنین طرح‌هایی، امکان استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز دینامیکی وجود ندارد. بدین ترتیب موضوع مهم مورد بررسی در این مقاله، پذیرش و یا عدم پذیرش خطای ذاتی این مدل‌های کلان‌نگر می‌باشد. به منظور پاسخگویی به این سوأل، روشی ترکیبی از مدل‌های کلان‌نگر و خردنگر جهت ارزیابی دقیق‌تر طرح‌های توسعه شبکه معابر پیشنهاد خواهد شد. نرم‌افزارهای EMME (کلان نگر) و AIMSUN (خردنگر) به دلیل تعدد استفاده در مطالعات ترافیک کشور به عنوان ابزارهای پایه در توسعه روش پیشنهادی جهت راستی‌آزمایی نتایج مدل‌های کلان‌نگر مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

٣-متدولوژی

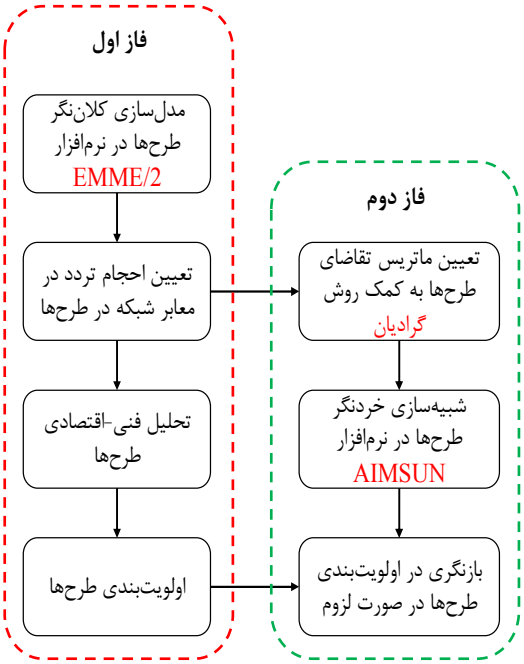
همان‌طور که در بالا بدان اشاره شد، مسئله فنی مورد بررسی اولویت‌بندی میان راهکارهای مختلف در توسعه شبکه معابر می‌باشد. بر اساس مسئله مورد بررسی و ساختار مطالعات ترافیک رایج در کشور، روشی ترکیبی از رویکردهای کلان‌نگر و خردنگر به منظور راستی‌آزمایی مدل‌های کلان‌نگر ارائه می‌گردد. روش پیشنهادی در این مقاله بر اساس ترکیب مدل‌سازی کلان‌نگر و خردنگر در دو فاز متوالی به شرح پیوست است.

-فاز اول – مدل کلان‌نگر: در فاز اول روش پیشنهادی، مشابه با فرآیند مرسوم در ارزیابی طرح‌های کلان، از نرم‌افزار کلان‌نگر EMME استفاده می‌شود. این نرم‌افزار قابلیت پیش‌بینی تغییرات توزیع جریان متناسب با تقاضای شبکه را در صورت اجرای طرح‌ها در سطح وسیعی از شبکه دارا می‌باشد.

-فاز دوم – مدل خردنگر: پس از بکارگیری نرم‌افزار استاتیک در فاز اول و اولویت‌بندی طرح‌های مورد بررسی، در فاز دوم روش پیشنهادی، وضعیت جریان ترافیک در بخش‌هایی از شبکه که با توجه به ساختار و شرایط با تداخلات و گره‌های ترافیک روبرو است به کمک نرم‌افزار خردنگر AIMSUN مورد بررسی تکمیلی قرار خواهد گرفت. هدف از اجرای فاز دوم در فرآیند پیشنهادی، بررسی تحقق‌پذیری توزیع جریان بر اساس پیش‌بینی مدل استاتیک است. در واقع مبنای سنجش منافع طرح‌ها همچنان بر اساس نتایج مدل کلان‌نگر بوده و در فاز دوم امکان توزیع جریان پیش‌بینی شده در مدل کلان‌نگر بررسی می‌گردد. در صورتی که نتایج فاز دوم پیشنهادی، خروجی‌های فاز اول را تأیید کنند، می‌توان بیان داشت که خطای مدل‌های کلان‌نگر قابل پذیرش می‌باشد. در غیر اینصورت لزوم بکارگیری توأمان مدل‌های کلان‌نگر و خردنگر به عنوان امری اجتناب‌ناپذیر قابل نتیجه‌گیری خواهد بود.

بر اساس ساختار دو مرحله‌ای پیشنهادی، پیش‌بینی نرم‌افزار کلان‌نگر EMME از احجام تردد در معابر به عنوان ورودی (تقاضا) در نرم‌افزار AIMSUN مورد استفاده قرار خواهد گرفت. الگوریتم پیاده‌سازی شده جهت حل مسئله تعادل استفاده‌کننده و یا تخصیص ترافیک در نرم‌افزار EMME/2، الگوریتم فرانک- ولف[٩] (لبلانک و همکاران، ١٩٧٥) می‌باشد. این الگوریتم، الگوریتمی بر پایه کمان بوده و جریان‌های تعادلی را در فضای جریان در کمان به دست می‌دهد. از این‌رو، خروجی استاندارد این نرم‌افزار حجم در کمان‌ها خواهد بود. از سوی دیگر برای بارگذاری شبکه در نرم‌افزار AIMSUN نیاز است تا ماتریس تقاضا در محدوده مشخص باشد. در اینصورت پیش‌بینی احجام تداخلی بر مبنای حجم

مسیرها و یا تغییر در مسیرهای مورد استفاده ممکن خواهد بود. بنابراین به منظور برآورد ماتریس تقاضا، از احجام معابر در نرم‌افزار کلان‌نگر EMME/2 استفاده می‌گردد. در این فرآیند فرض می‌گردد که احجام خروجی نرم‌افزار کلان‌نگر برای افق طرح، همان حجم ترددی است که در صورت اجرای هر کدام از سناریوها از شبکه معابر جدید عبور خواهد کرد. هرچند این فرآیند به طور طبیعی با خطا همراه است، لیکن بهترین روش جهت دستیابی به ماتریس تقاضای طرح‌ها است. در این مقاله از روش گرادیان برای تعیین ماتریس تقاضا استفاده خواهد شد. شکل ١ فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ١. فلوچارت فرآیند پیشنهادی جهت به منظور راستی‌آزمایی مدل‌های کلان‌نگر (تلفیق مدل‌سازی کلان‌نگر و خردنگر ترافیک)

٤- تخمین ماتریس تقاضا

یکی از الزامات اجرای فرآیند پیشنهادی، حل "مسئله تخمین ماتریس تقاضا بر اساس حجم در کمان‌ها" می‌باشد. روش‌های متعددی در ادبیات موضوعی برای حل این مسئله به کمک حجم‌های مشاهداتی پیشنهاد شده است. این روش‌ها به طور کلی در دو دسته روش‌های غیرمستقیم و روش‌های مستقیم قابل درنظرگیری هستند. روش‌های غیرمستقیم، اطلاعات شمارش حجم کمان‌ها را برای پرداخت مدل تقاضا به کار می‌گیرند و از طریق آن ماتریس مبدأ- مقصد را تعیین می‌کنند. این مدل‌ها نیاز به اطلاعات احجام تردد در سطح نواحی ترافیکی دارند که به سختی به دست می‌آیند و در صورت تغییر در کاربری زمین غیر قابل استفاده می‌شوند.

روش‌های مستقیم به مراتب آسان‌تر بوده و امروزه به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها خود به سه دسته مختلف تقسیم می‌شوند:

- روش‌های آماری
- روش‌های بر پایه بیشینه آنتروپی
- روش‌های بر پایه تعادل در شبکه

مدل‌های بر پایه تعادل، برای اولین بار توسط نگوین (١٩٧٧) مطرح شدند و پرکاربردترین روش در حل مسئله مورد بررسی هستند. رویکرد حل این مسئله غالباً طرح مدلی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی (مدل‌سازی دو سطحی[١٠] و یا روش‌های تکراری[١١]) می‌باشد. در این روش‌ها حل مسئله از یک ماتریس اولیه به عنوان یک ماتریس تقریبی شروع می‌شود. در هر تکرار، ماتریس مفروض به شبکه تخصیص داده شده و با قیاس احجام به دست آمده و احجام مشاهداتی و با بکارگیری یک الگوریتم بهینه‌سازی، ماتریس تقاضا اصلاح می‌شود. این فرآیند تا مرحله‌ای که فاصله میان احجام مشاهداتی و برآورد شده به میزان قابل قبولی برسد ادامه می‌یابد. این مسئله دو خصوصیت عمده دارد: اول آنکه تابع هدف آن نامحدب است و دوم آنکه مسئله جواب یگانه‌ای ندارد. در واقع ماتریس‌های متعددی وجود دارند که می‌توانند مقدار تابع هدف را کمینه (و یا بیشینه) کنند. ولی تنها یکی از این ماتریس‌ها، جواب اصلی مسئله است. از این‌رو اهمیت نقطه شروع حل مسئله دوچندان می‌شود. از میان این روش‌های موجود بر پایه تعادل، روش گرادیان متداول‌ترین روش به شمار می‌رود. این متد که اولین بار توسط اشپیز (١٩٩٠) در سال ١٩٩٠ میلادی معرفی شده است، در مطالعات زیادی مورد بررسی قرار گرفته و مشخص گردیده که از عملکرد نسبتاً خوبی برخوردار است. از این‌رو این الگوریتم به عنوان روش مورد استفاده در این مقاله انتخاب شده است.

٤-١- الگوریتم گرادیان

روش گرادیان یک مدل ریاضی دوسطحی است که سطح پایین آن عملیات تخصیص ترافیک و سطح بالای آن الگوریتم بهینه‌ساز بر پایه روش تندترین نزول[12] می‌باشد. در حل مسئله، هدف آن است که اختلاف بین حجم جریان‌های حاصل از تخصیص ترافیک و حجم‌های مشاهده شده (خروجی‌های EMME/2 در طرح حاضر) کمینه شود. فرض کنید $a \in A$ نشان‌دهنده یک کمان از مجموعه کمان‌های A، $i \in I$ یک زوج مبدأ- مقصد متعلق به مجموعه زوج‌های مبدأ- مقصد I، $k \in K_i$ یک مسیر بین زوج مبدأ- مقصد i متعلق به مجموعه مسیرهای K_i و h_k جریان مسیر k باشد. این مدل دو سطحی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\min Z(g) = \frac{1}{2}\sum_{a \in \hat{A}} (v_a - \hat{v_a})^2 \qquad (١)$$

$$s.t.$$

$$v = \text{assign}(g) \qquad (٢)$$

که در آن:

$\hat{A}$: مجموعه کمان‌هایی از شبکه که اطلاعات جریان در آن‌ها مشاهده شده است،

$\hat{V} = \{\hat{v_a}\}$: بردار حجم جریان‌های مشاهده شده در کمان‌های شبکه،

g: ماتریس تقاضای مبدأ-مقصد تخمین زده شده،

$\text{assign}(g)$ یک مدل تخصیص ترافیک بر پایه تعادل،

V: بردار حجم جریان در کمان‌های شبکه، به دست آمده از تخصیص تقاضای g.

بکارگیری روش گرادیان برای حل مسئله اولین بار توسط اشپیز پیشنهاد شده است. او برای تصحیح ماتریس تقاضا رابطه زیر را ارائه می‌کند:

$$g_i^{l+1} = \begin{cases} \hat{g}_i & l = 0 \\ g_i^l \left(1 - \lambda^l \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}\right]_{g_i^l}\right) & l = 1,2,3,... \end{cases} \qquad (٣)$$

با استفاده از رابطه (٣) تغییرات به صورتی نسبتی از تقاضای اولیه تغییر می‌کند و درایه‌های صفر در ماتریس تقاضای اولیه صفر باقی می مانند. مزیت دیگر استفاده از این رابطه آن است که فرم و ساختار ماتریس تخمین زده شده را نزدیک ماتریس اولیه نگاه می‌دارد.

قبل از محاسبه $\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}$ باید حجم جریان در کمان‌ها بر حسب حجم جریان در مسیرها نوشته شود. این رابطه به صورت زیر است:

$$v_a = \sum_{i \in I}\sum_{k \in K_i} \delta_{ak} h_k \qquad a \in A, \qquad (٤)$$

اگر به جای جریان در مسیر (h_k) از کمیت احتمال مسیر[13] به صورت زیر استفاده شود:

$$P_k = \frac{h_k}{g_i} \qquad k \in K_i, i \in I, \qquad (٥)$$

در این صورت می‌توان رابطه (٤) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$v_a = \sum_{i \in I} g_i \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k \qquad a \in A, \qquad (٦)$$

اکنون می‌توان مشتق تابع هدف رابطه (٣) را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{a \in \hat{A}} \frac{\partial v_a}{\partial g_i}(v_a - \hat{v}_a) \quad i \in I, \qquad (٧)$$

با فرض اینکه احتمال مسیرها ثابت هستند از رابطه (٦) داریم:

$$\frac{\partial v_a}{\partial g_i} = \sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k \qquad a \in A, i \in I \qquad (٨)$$

با جایگذاری رابطه (٨) در (٧) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{a \in A}\sum_{k \in K_i} \delta_{ak} p_k (v_a - \hat{v_a})$$

$$= \sum_{k \in K_i} p_k \sum_{k \in K_i} \delta_{ak}(v_a - \hat{v_a}) \quad i \in I \qquad (٩)$$

به منظور پیاده‌سازی روش گرادیان و محاسبه رابطه (٣)، طول گام حرکت، λ^l، نیز باید محاسبه شود. انتخاب مقادیر کوچک این مزیت را دارد که در پروسه حل مسئله مسیر گرادیان بهینه‌ای انتخاب می‌شود، ولی تعداد گام‌های بیشتری مورد نیاز

است. از طرف دیگر، انتخاب مقادیر بزرگ برای طول گام حرکت، مقدار تابع هدف $Z(g)$ افزایش می‌یابد و همگرایی الگوریتم از بین می‌رود. بر همین اساس اشپیز مقدار بهینه طول گام حرکت را برای ماتریس تقاضای g از طریق حل زیرمسئله تک متغیره زیر پیشنهاد می‌کند:

$$Min\ Z\left(\left(g_i(1-\lambda\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i})\right)\right) \qquad (۱۰)$$

$s.t.$

$$\lambda\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}\le 1 \qquad g_i>0 \quad \text{با} \quad i\in I \quad \text{برای تمام}$$

اکنون می‌توان مقدار λ^* را از طریق صفر قرار دادن مشتق تابع تک متغیره $Z(\lambda)$ به صورت زیر به دست آورد:

$$\frac{\partial Z(\lambda)}{\partial\lambda}=0$$

به دلیل اینکه تابع هدف Z در فضای جریان در کمان‌ها نوشته شده است، چگونگی تغییر آن در طول جهت گرادیان باید مشخص شود. با استفاده از قاعده زنجیره‌ای برای رابطه (۸) خواهیم داشت:

$$v'_a=\frac{dv_a}{d\lambda}=\sum_{i\in I}\frac{dg_i}{d\lambda}.\frac{\partial v_a}{\partial g_i} \qquad (۱۱)$$

با مشتق‌گیری از رابطه (۳) و استفاده از رابطه (۸) داریم:

$$v'_a=\sum_{i\in I}(-g_i\frac{\partial Z}{\partial g_i})(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}\,p_k) \qquad (۱۲)$$

و با جایگذاری رابطه (۹) در آن خواهیم داشت:

$$v'_a=-\sum_{i\in I}g_i(\sum_{k\in K_i}p_k\sum_{\hat{a}\in\hat{A}}\delta_{ak}(v_{\hat{a}}-\hat{v}_{\hat{a}}))\cdot(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}\,p_k) \qquad (۱۳)$$

برای حل مسئله کمینه‌سازی (۱۰) ابتدا آن را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$Min\ \ Z(\lambda)=\frac{1}{2}\sum_{a\in\hat{A}}(u_a-\hat{v}_a)^2 \qquad (۱۴)$$

$s.t.$

$$u=assign\left((g_i(1-\lambda\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}))\right)$$

$$\lambda\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}\le 1 \qquad g_i>0 \quad \text{با} \quad i\in I \quad \text{برای تمام}$$

با فرض ثابت بودن p_k ها، مقدار جریان در کمان‌ها به صورت زیر خواهند بود:

$$u_a=\sum_{i\in I}(g_i(1-\lambda\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}))\cdot(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}\,p_k) \qquad (۱۵)$$

یا،

$$u_a=\sum_{i\in I}g_i(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}\,P_k)+\lambda(-\sum_{i\in I}g_i\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i})\cdot(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}\,P_k) \qquad (۱۶)$$

در نتیجه تابع هدف مسئله بالا به صورت زیر خواهد شد:

$$Z(\lambda)=\frac{1}{2}\sum_{a\in A}\sum_{i\in I}g_i(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}.P_k)+\lambda(\sum_{i\in I}g_i\cdot\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i})\cdot(\sum_{k\in K_i}\delta_{ak}.P_k-\hat{v_a})^2 \qquad (۱۷)$$

با استفاده از روابط (۶) و (۱۲) و جایگزینی آن‌ها در تابع بالا خواهیم داشت:

$$Z(\lambda)=\frac{1}{2}\sum_{a\in\hat{A}}(v_a+\lambda v'_a-\hat{v}_a)^2 \qquad (۱۸)$$

حال اگر محدودیت آخر مسئله (۱۴) به صورت ضمنی در نظر گرفته شود جواب بهینه این مسئله با قرار دادن مشتق $Z(\lambda)$ برابر صفر به دست خواهد آمد. یعنی :

$$\frac{dZ(\lambda)}{d\lambda}=\sum_{a\in\hat{A}}v'_a(v_a+\lambda v'_a-\hat{v}_a)=0 \qquad (۱۹)$$

بنابراین مقدار بهینه طول گام حرکت (λ^*)از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$\lambda^*=\frac{\sum_{a\in\hat{A}}v'_a(\hat{v}_a-v_a)}{\sum_{a\in\hat{A}}v'^2_a} \qquad (۲۰)$$

و شرط امکان‌پذیری نیز به این صورت خواهد بود.

برای $i \in I$ با $g_i > 0$ $\lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \le 1$

تمام بر اساس روابط فوق، الگوریتم گرادیان برای حل مسئله برآورد ماتریس تقاضا از روی اطلاعات حجم در کمان‌های شبکه به صورت زیر قابل بیان است:

گام ١: قرار دهید $l = 0$ و $g_i = \hat{g}_i$ برای $i \in I$.

گام ٢: ماتریس $\mathbf{g}$ را به شبکه تخصیص دهید و حجم ترافیک روی کمان‌های شبکه (v_a) را به دست آورید.

گام ٣: حجم جریان در مسیرها برای هر زوج مبدأ-مقصد را محاسبه کرده و مقادیر $\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}$ و λ^l را طبق روابط زیر محاسبه کنید:

$$P_k = \frac{h_k}{g_i} \qquad (٢١)$$

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{k \in K_i} p_k \sum_{a \in \hat{A}} \delta_{ak} (v_a - \hat{v}_a) \qquad (٢٢)$$

$$v'_a = -\sum_{i \in I} g_i \left(\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}\right) \cdot \left(\sum_{k \in K_i} \delta_{ak}\, p_k\right) \qquad (٢٣)$$

$$\lambda^l = \frac{\sum_{a \in \hat{A}} v'_a (\hat{v}_a - v_a)}{\sum_{a \in \hat{A}} v'^2_a} \qquad (٢٤)$$

گام ٤: در صورت برقرار نبودن شرط امکان‌پذیری $\lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \le 1$، مقدار طول گام را به صورت زیر تصحیح کنید:

(٢٥)

$$\lambda^l = \begin{cases} 1 \Big/ \underset{i \in I}{Max} \left\{ \left| \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right| g_i > 0, \lambda^l \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} > 1 \right\} & \lambda^l > 0 \\ 1 \Big/ \underset{i \in I}{Min} \left\{ \left| \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right| g_i > 0, \lambda^l \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} > 1 \right\} & \lambda^l < 0 \end{cases}$$

گام ٥: مقادیر جدید ماتریس تقاضا g_i را از رابطه زیر محاسبه کنید

$$g_i^{l+1} = \begin{cases} \hat{g}_i & l = 0 \\ g_i^l \left(1 - \lambda^l \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^l} \right) & l = 1,2,3,... \end{cases} \qquad (٢٦)$$

گام ٦: قرار دهید $l = l+1$ و $g_i = g_i^l$.

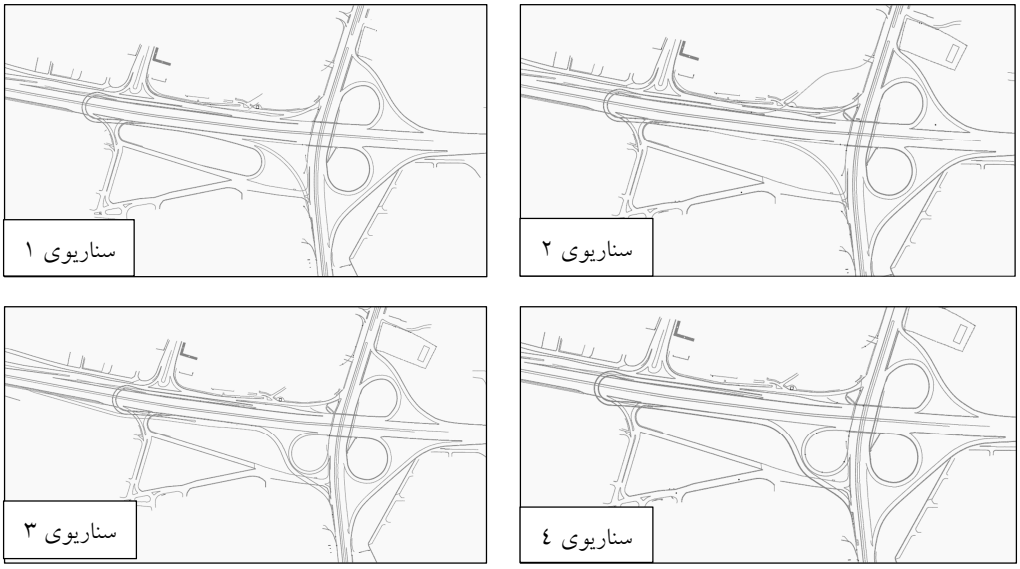
گام ٧: در صورت برقرار نبودن معیار توقف به گام ٢ بروید، در غیر اینصورت پایان. ماتریس اولیه در گام ابتدایی این الگوریتم معمولاً ماتریس قدیمی مربوط به شبکه مورد بررسی بوده و یا توسط کارشناس با بررسی اولیه احجام تردد تعیین می‌شود. شرط توقف در روش گرادیان معمولاً بر اساس تعداد تکرارهای الگوریتم تعریف می‌گردد. لیکن شروط توقف دیگری نظیر حداکثر زمان حل مسئله، عدم بهبود قابل ملاحظه تابع هدف در دو تکرار متوالی، رسیدن به حد مشخصی از مقدار تابع هدف و ... نیز برای این روش قابل درنظرگیری است. در این مقاله تعداد تکرار به عنوان شرط توقف الگوریتم درنظر گرفته شده است. سطوح بالا و پایین الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله تعیین ماتریس تقاضا در محیط برنامه‌نویسی MATLAB پیاده‌سازی شده است.

٥- مطالعه موردی

به منظور ارزیابی و تحلیل نتایج حاصل از رویکرد ترکیبی پیشنهادی در راستی‌آزمایی مدل‌های کلان‌نگر، از این روش در مطالعات "تأمین دسترسی‌های ضلع غربی بزرگراه‌های شهید اشرفی اصفهانی و شهید همت" در شهر تهران استفاده شده است. دسترسی‌های ضلع غربی این تقاطع در حل حاضر فاقد اتصالات و تبادلات بزرگراهی بوده و این موضوع سبب افزایش بار معابر محلی محدوده شده است. همچنین با توجه به قرارگیری ساختمان‌های مسکونی در محدوده شمال غربی تقاطع، امکان اجرای تقاطع شبدری کامل، مطابق با طرح تفصیلی، وجود ندارد. شکل ٢ تصویر هوایی از وضع موجود معابر در این تقاطع را نشان می‌دهد.

شکل ٢. عکس هوایی از تقاطع بزرگراهی مورد مطالعه

به منظور تأمین دسترسی‌های مورد نظر، ٤ سناریو با هندسه و شرایط مختلف در این تقاطع طرح گردیدند. شکل ٣ این سناریوها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می شود، سناریوهای ٣ و ٤ شامل یک لوپ در جنوب غربی تقاطع بوده و سناریوهای ١ و ٢ فاقد آن هستند. در ادامه نتایج حاصله از اجرای دو فاز (کلان‌نگر و خردنگر) در روش پیشنهادی ارائه می‌شود.



شکل ۳. طرح شماتیک سناریوهای طرح شده

۵-۱- فاز اول روش پیشنهادی

در فاز اول از رویکرد پیشنهادی، سناریوهای طرح شده بر روی شبکه شهر تهران در محیط نرم‌افزار کلان‌نگر EMME/2 پیاده‌سازی شدند. در ادامه و با کمک مدل‌های مطالعات جامع حمل ونقل و ترافیک شهر تهران، بارگذاری تقاضا بر روی شبکه‌های متناسب با هر سناریو انجام شد و مقدار شاخص‌های عملکردی هر سناریو برای ساعت اوج صبح افق سال ١٤٠٤ تعیین شدند. جدول ١ نتایج حاصله در محدوده مفروض را نشان می‌دهد. خاطرنشان می‌گردد این محدوده شامل بزرگراه‌های یادگار امام، شهید اشرفی اصفهانی، شهید ستاری، شهید حکیم، شهید همت و شهید آبشناسان بوده و وسعتی معادل ١٧٠٠ هکتار دارد. پس از تعیین نتایج مدل‌سازی تقاضا در سناریوها، تحلیل فنی-اقتصادی گزینه‌ها بر اساس دوره بهره‌برداری ٢٥ ساله انجام شد. در این تحلیل منافع حاصله از اجرای سناریوها بر مبنای میزان کاهش زمان سفر، کاهش مصرف سوخت و ارزش اسقاط در سال پایانی طرح تعریف گردید. هزینه‌ها نیز شامل هزینه‌های تملک اراضی، ساخت و تعمیر و نگهداری سالانه در نظر گرفته شد. نتیجه نهایی این تحلیل فنی-اقتصادی در جدول ٢ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ٢ مشاهده می‌شد، سناریوی ٤ در شاخص ارزش خالص فعلی با اختلاف قابل ملاحظه‌ای برتر از سایر سناریوها بوده و در شاخص B/C و نرخ بازده داخلی نیز نتایج بهتری را به دست داده است. سناریوی ٢ پس از این سناریو بهترین نتایج را به دست داده و در دو شاخص B/C و نرخ بازده داخلی به سناریوی چهارم بسیار نزدیک است. در فرآیند متداول ارزیابی طرح‌ها و تصمیم‌گیری، سناریوی ٤ به عنوان سناریوی برتر انتخاب شده و در فاز اجرایی قرار می‌گیرد.

جدول ١. شاخص‌های عملکردی شبکه در محدوده در یک ساعت اوج صبح سال ١٤٠٤

شاخص	شبکه پایه	سناریو ١	سناریو ٢	سناریو ٣	سناریو ٤
مسافت طی شده (وسیله- کیلومتر)	٢٩٩٠٣٤	٢٩٩٦٣٩	٢٩٩٢٧٥	٣٠٠٢٧٠	٢٩٩٤٦٦
متوسط سرعت (کیلومتر بر ساعت)	٣٥,٥٣	٣٥,٤٩	٣٥,٤٢	٣٥,٧٢	٣٥,٨
کل زمان سفر (وسیله- ساعت)	٨٤١٧	٨٤٤٣	٨٤٤٩	٨٤٠٧	٨٣٦٤
درصد تأخیر از کل زمان سفر	٤٥,٨	٤٥,٧	٤٥,٩	٤٥,٣	٤٥,٢
درصد شبکه کند و بحرانی	٤٠	٤٠	٤٠,١	٣٧,٦	٣٧,٥
درصد ظرفیت بیش از ٩٥٪	١٤,٤	١٤,٨	١٤,٩	١٤,٥	١٤,٨
مصرف سوخت بنزین و گازوییل (لیتر)	٤٤٥٥٦	٤٤٦٥٨	٤٤٦٣٩	٤٤٦٣١	٤٤٤٧٥
تولید آلاینده‌ها (کیلوگرم)	١٥٨٦١	١٥٩٣٢	١٥٩٣٣	١٥٨٨٠	١٥٨٠٤

جدول ٢. چکیده نتایج تحلیل فنی- اقتصادی سناریوها حاصل از مدل‌سازی کلان‌نگر

شاخص	سناریو ١	سناریو ٢	سناریو ٣	سناریو ٤
ارزش خالص فعلی[14]	١٠/٣٩	٤٠/٨٤	٣٥/٣١	١٨٩/٨٧
نسبت منفعت به هزینه (B/C)	١/٢٩	٢/٩٦	١/٣٦	٣/١٣
نرخ بازده داخلی[15]	٪١٥	٪٢٧	٪١٦	٪٢٧

٥-٢- فاز دوم روش پیشنهادی

در فاز دوم فرآیند پیشنهادی، مطالعات خردنگر ترافیکی جهت ارزیابی تحقق‌پذیری عملکرد سناریوها بر اساس مدل کلان‌نگر انجام می‌گیرد. در این مرحله در ابتدا ماتریس تقاضای حوزه نفوذ مستقیم تقاطع مورد بررسی در سناریوها بر اساس احجام به دست آمده در نرم‌افزار EMME/2 با بکارگیری الگوریتم گرادیان تعیین می‌شود. در ادامه نیز شبکه معابر حوزه نفوذ مستقیم تقاطع در سناریوها در نرم‌افزار AIMSUN 7.0 پیاده‌سازی خواهد شد و بدین ترتیب تحقق‌پذیری سناریوها کنترل می‌گردد.

٥-٢-١- تعیین ماتریس تقاضای سناریوها

پس از بارگذاری تقاضا در نرم‌افزار کلان‌نگر، احجام تردد در معابر در تمامی سناریوها برای افق ١٤٠٤ به دست آمده است. با درنظرگیری این احجام به عنوان احجام مشاهداتی، امکان تخمین ماتریس تقاضا با کمک الگوریتم گرادیان وجود دارد. بر همین اساس مدل دوسطحی مربوطه در محیط برنامه‌نویسی MATLAB پیاده‌سازی شد و برای تمامی سناریوها مورد اجرا قرار گرفت و ماتریس تقاضای سفر در حوزه نفوذ تقاطع در تمامی سناریوها تعیین شد. در اجرای الگوریتم گرادیان حداکثر تعداد تکرار الگوریتم برابر با ٤٠ و دقت حل مسئله تخصیص ترافیک برای رسیدن به معیار شکاف نسبی[16] معادل 10^{-6} تنظیم گردید. در صورت اجرای صحیح الگوریتم مذکور انتظار این بود که احجام حاصله از تخصیص تقاضای برآورد شده (احجام تخصیص یافته)، احجام مشاهداتی (خروجی نرم‌افزار EMME/2) را بازتولید نماید. جدول ٣ اطلاعات معادله خطوط برازش شده در برآورد این ماتریس‌ها را نشان می‌دهد. متغیر y در این جدول نشان‌دهنده احجام تخصیص یافته و متغیر x نشان‌دهنده احجام مشاهداتی است. شیب خط نزدیک به ١ و عرض از مبدأ نزدیک به صفر نشان دهنده صحت نتایج به دست آمده است.

جدول ٣. معادلات خطوط رگرسیون مابین احجام مشاهداتی و تخمین‌زده شده برای سناریوها

سناریو	معادله خط برازش شده	ضریب همبستگی R^2
١	$y = 1{,}0005x - 7{,}3251$	٠،٩٩٩٩
٢	$y = 0{,}9993x + 0{,}3305$	١
٣	$y = 1{,}0001x - 3{,}2518$	١
٤	$y = 1{,}0009x - 15{,}6$	٠،٩٩٩٩

٥-٢-٢- شبیه‌سازی خردنگر سناریوها

پس از تعیین ماتریس تقاضای سفر در سناریوها، شبکه معابر متناسب با هر سناریو در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز ترافیک AIMSUN 7.0 پیاده‌سازی شد و مورد بارگذاری قرار گرفت. جدول ٤ نتایج تحقق‌پذیری سناریوهای پیشنهادی بر مبنای مقایسه مجموع تقاضای تخصیص یافته به کل تقاضای گذر کرده از شبکه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در سناریوهای ١ و ٢ کل تقاضای تخصیص داده شده از شبکه عبور کرده است، ولی در سناریوهای ٣ و ٤ بخشی از تقاضا امکان گذر از شبکه معابر را نداشته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد، شبکه‌های مفروض در این دو سناریو در نرم‌افزار کلان‌نگر در صورت اجرا و مواجهه با تقاضای پیش‌بینی شده، توانایی سرویس‌دهی به تقاضا را نخواهند داشت و انسداد جریان ترافیک در آن‌ها رخ خواهد داد. بر اساس شبیه‌سازی خردنگر مشخص گردید که این انسداد به دلیل وقوع یک تداخل در فاصله دو لوپ جنوبی (لوپ شمال به شرق و لوپ غرب به شمال) ایجاد شده است. خاطرنشان می‌گردد این پدیده در مدل‌های کلان‌نگر قابل پیش‌بینی نیست. بر اساس مقادیر تقاضا در محدوده و مسیرهای مورد استفاده در این دو سناریو، احجام تداخلی برابر با ٢٧٩٨ و ٢٧٤٥ وسیله نقلیه در ساعت اوج در طولی کوتاه معادل ١٤٠ متر شکل می‌گیرد. این تداخل جریان ترافیک در

نرم‌افزار EMME/2 به دلیل ماهیت نرم‌افزار و مدل‌های استفاده شده در آن در نظر گرفته نمی‌شود و به همین دلیل نتایج مناسبی برای سناریوی ٤ به دست آمده است. تداخل مذکور سبب کاهش شدید نرخ تخلیه لوپ جنوب غربی می‌گردد، به نحوی که صف ایجاد شده در این لوپ به بزرگراه شهید اشرفی اصفهانی رسیده و باعث ایجاد ترافیک و انسداد جریان ترافیک در این بزرگراه شده و صف ناشی از آن تا مرز شمالی محدوده مورد بررسی (به طول تقریبی ۹۰۰ متر) امتداد می‌یابد. نمایی از وضعیت جریان ترافیک و صف ایجاد شده در نرم‌افزار AIMSUN برای سناریوهای ۳ و ٤ به ترتیب در شکل‌های ٤ و ٥ نشان داده شده است.

جدول ٤. نتایج تحقق‌پذیری سناریوها در فاز دوم فرآیند پیشنهادی

سناریو	کل تقاضای تخصیص داده شده	کل تقاضای گذر کرده از شبکه	درصد تقاضای پوشش داده شده
سناریوی ۱	۲۰۹۱۹	۲۰۷۳۱	۹۹/۱
سناریوی ۲	۲۰٦۷۱	۲۰۵۷۰	۹۹/۵
سناریوی ۳	۲۱۵۲٤	۱۸۵۹۲	۸٦/٤
سناریوی ٤	۲۱٤۰۵	۱۷۹۱٤	۸۳/۷

شکل ٤. وقوع انسداد ترافیک در سناریوی ۳ به دلیل تداخل شدید حد فاصل دو لوپ جنوبی تقاطع

شکل ٥. وقوع انسداد ترافیک در سناریوی ٤ به دلیل تداخل شدید حد فاصل دو لوپ جنوبی تقاطع

نتیجه بررسی تحقق‌پذیری سناریوها حاکی از آن است که احجام پیش‌بینی شده در معابر شبکه بر اساس نرم‌افزار کلان‌نگر در سناریوهای ۳ و ٤، به دلیل پدیده تداخل جریان ترافیک امکان عبور از شبکه را در واقعیت نخواهند داشت. لذا منافع حاصله از توزیع تقاضا بر اساس این نتایج معتبر نخواهند بود. در واقع با اجرای سناریوهای ۳ و ٤ وضعیت شبکه نه تنها بهبود نخواهد یافت، بلکه به دلیل انسدادهای ناشی از اجرای این دو سناریو، پارامترهای عملکرد شبکه نسبت به وضع موجود تنزل نیز خواهند نمود. بر همین اساس، اولویت‌بندی سناریوها مورد بازنگری قرار گرفت و سناریوهای ۳ و ٤ از مجموعه گزینه‌ها حذف شدند. بدین ترتیب سناریوی ۲ به عنوان سناریوی برتر انتخاب می‌شود. این سناریو در مدل‌سازی کلان‌نگر و شبیه‌سازی خردنگر نتایج قابل قبولی به دست داده است و موفقیت اجرای آن از منظر فنی مورد انتظار می‌باشد. نتایج به دست آمده در راستی‌آزمایی انجام شده نشان می‌دهند فرآیند تصمیم‌گیری در توسعه شبکه معابر در سطح کلان صرفاً بر مبنای مدل‌های کلان‌نگر از نظر فنی با اشکال روبرو است و بدین ترتیب الزام بکارگیری مدل‌های خردنگر به عنوان نتیجه این تحقیق قابل بیان می‌باشد.

٦-نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با مروری بر نقاط ضعف و قوت روش‌های مدل‌سازی ترافیک، به منظور راستی‌آزمایی نتایج مدل‌های کلان‌نگر، فرآیندی ترکیبی از مدل‌سازی کلان‌نگر و شبیه‌سازی خردنگر برای ارزیابی طرح‌های کلان توسعه شبکه معابر پیشنهاد شده است. این رویکرد پیشنهادی به صورت دو فاز متوالی در نظر گرفته شده است. فاز اول مشابه با روش مرسوم بر مبنای ارزیابی طرح‌ها به کمک نرم‌افزار کلان‌نگر EMME/2 طراحی شده است. فاز دوم رویکرد پیشنهادی نیز خود شامل دو مرحله است: در مرحله اول مسئله تخمین ماتریس تقاضا به کمک الگوریتم گرادیان حل می‌شود. در این مرحله احجام ترافیک به دست آمده در فاز یک به عنوان احجام مشاهداتی به الگوریتم گرادیان وارد شده و مسئله حل می‌شود. این مدل دو سطحی در نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB پیاده‌سازی شده است. با تعیین ماتریس تقاضا در محدوده‌های مورد نظر، مرحله بعدی آغاز می‌گردد. در این مرحله به کمک شبیه‌سازی خردنگر سناریوها بر مبنای ماتریس به دست آمده و بکارگیری نرم‌افزار AIMSUN، تحقق‌پذیری سناریوها کنترل می‌شود. راستی‌آزمایی نتایج مدل کلان‌نگر در این مرحله قابل بررسی می‌باشد. در صورتی که پدیده‌های ترافیکی نظیر شکل‌گیری صف و موج شوک و بروز تداخلات جریان ترافیک سبب انسداد در شبکه گردند، سناریوی مربوطه از میان گزینه‌ها حذف خواهد شد (عدم پذیرش مستقیم نتایج مطالعات کلان‌نگر). به منظور ارزیابی عملکرد و نتایج این رویکرد، فرآیند پیشنهادی در مطالعات "تأمین دسترسی‌های ضلع غربی بزرگراه‌های شهید اشرفی اصفهانی و شهید همت" مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده در راستی‌آزمایی نتایج مدل کلان‌نگر نشان می‌دهند روش متداول سنتی به انتخاب گزینه‌ای می‌انجامد که در عمل با مشکلات ترافیک مواجه شده و منافع پیش‌بینی شده برای آن محقق نخواهد شد. این موضوع با بکارگیری رویکرد پیشنهادی مشخص گردید و امکان اصلاح در اولویت‌بندی گزینه‌ها فراهم می‌گردد. فاز دوم رویکرد پیشنهادی با درنظرگیری پدیده‌های دینامیکی جریان ترافیک، نتایج فاز یک (روش سنتی) را تدقیق نموده و سبب انتخاب گزینه بهتری شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که خطای ذاتی مدل‌های کلان‌نگر فراتر از محدوده قابل پذیرش بوده و اولویت‌بندی طرح‌ها بر اساس آن با اشکال مواجه است. این مقاله و نتایج آن لزوم طرح و بکارگیری فرآیندهای ترکیبی مدل‌سازی و شبیه‌سازی در مطالعات حمل‌ونقل درون‌شهری را آشکار می‌سازند. شایان‌ذکر است این تحقیق بر اساس مطالعات انجام شده در سازمان مشاور فنی و مهندسی شهرداری تهران تدوین شده است و فرآیند پیشنهادی برای اولین بار در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این مطالعات در کمیته‌های تخصصی سازمان مذکور و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری تهران به تصویب رسیده است و طرح تفصیلی شهر تهران نیز بر اساس آن مورد بازنگری قرار گرفته است.

٧-سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند تا از سازمان مشاور فنی و مهندسی شهرداری تهران به دلیل فراهم آوردن شرایط انجام این تحقیق و حمایت‌های فنی و معنوی در راستای انجام آن تشکر و قدردانی خود را اعلام دارند.

٨- پی‌نوشت‌ها

1. Traffic Assignment Problem
2. Macroscopic
3. Microscopic
4. User Equilibrium
5. Car Following Models
6. Lane Changing Models
7. Mesoscopic
8. تأخیر در تقاطعات نیز به صورت روابط ریاضی در هزینه سفر در نظر گرفته می‌شود.
9. Frank-Wolf algorithm
10. Bi-Level Programming
11. Iterative Algorithms
12. Steepest Descend
13. Path Probabilities
14. Net Present Value
15. Internal Rate of Return
16. Relative Gap

٩-مراجع

-Bouha, N., Morvan, G., Abouaissa, H., Kubera, Y. (2015) "a first step towards dynamic hybrid traffic modeling" proceedings 29th European Conference on Modeling and Simulation,
pp. 1-8.

-Chabrol, M., Sarramia, D., Tchernev, N., (2006), "Urban traffic systems modeling

approaches for transportation planning and design of road networks:, arrb transport research ltd conference, 19th, Sydney, new south wales, australia, pp. 93-108.

-Nguyen S., (1977), "Estimation an OD matrix from network data: A network equilibrium approach", University of Montreal Publication, No. 60.

- Spiess, H., (1990), "A gradient approach for the OD matrix adjustment problem".

-Yin, D., Qiu, T.Z., (2011), "Comparison of Macroscopic and Microscopic Simulation Models in Modern Roundabout Analysis", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2265(1), pp. 244-252. DOI: 10.3141/2265-27.

- Ziliaskopoulos, A.K.; Waller, S.T., (2000), "An Internet based geographic information system that integrates data, models and users for transportation application", Transportation Research Part C: Emerging Technologies. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0968 090X(00)00027-9, 8(1-6), pp. 427-444.

-Cheng, V., Wang, H., (2013), "Modeling User Equilibrium in Microscopic Transportation Simulation", Journal of the Transportation Research Forum, 52(2), pp. 85-102.

methodology", Int. J. Production Economics, 99, pp. 156-176.

-Flotterod, G., Nagel, K., (2007), "High Speed Combined Micro/Macro Simulation of Traffic Flow" Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Seattle, WA, USA.

- LeBlanc, L. J., E. K. Morlok, and W. P. Pierskalla, (1975), "An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem" Transportation Research, 9(5), pp. 309–318.

- Lecrecq, L., (2007), "Hybrid approaches to the solutions of the ''Lighthill–Whitham–Richards'' model", Transportation Research Part B, 41, pp. 701–709.

- MATLAB Software. R2018b. Version (9.5.0.94444) for Windows, Math Works Inc.

- Mitsakis, E., Aifadopoulou, G., Salanova, J.M., Chrysohoou, E, Morfoulaki. M. (2014) "Combination of Macroscopic and Microscopic Transport Simulation Models: Use Case in Cyprus", International Journal for Traffic and Transport Engineering, 4(2), pp. 220 – 233.

-Montero, L., Codina, E., Barcelo, J., (1998), "Combining macroscopic and microscopic

Reliability of Traffic Marco Modeling Results at Micro Level (Case Study: Tehran Expressway Network)

Keyvan Aghabayk , Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Tehran, Iran.

Mehrdad Gholami Shahbandi, Ph.D., Grad., Atieh Saz Shargh Consulting Engineers, Tehran, Iran.

Reza Golshan Khavas, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.

E-mail: kayvan.aghabayk@ut.ac.ir

Received: March 2020-Accepted: December 2020

ABSTRACT

Rapid growth of population in metropolitan areas has led to an increase in transportation demand. Accordingly, development of transportation infrastructures is a necessity in management of urban transportation networks. Economic analysis of multiple projects is a major step toward achieving this goal. In order to evaluate the effects of network development plans, especially for the expressways and their interchanges, macroscopic traffic modeling software is usually applied. The software is capable of anticipating the traffic flow distribution in large scale networks and has acceptable accuracy according to their mathematical modeling approach. Also known as static tools, these software encounter severe level of errors in forecasting the traffic situations in small scale areas where interactions between traffic flows exist. Hence, using these tools to evaluate the plans of expanding the expressway network may lead to select a project which would not generate the expected benefits if implemented. In this paper, a hybrid modeling approach based on macroscopic and microscopic paradigms is proposed to verify the results of static software. In order to assess the proposed method, a real case design for completing the interchanges of an intersection between two major expressways in Tehran is studied. It is shown that applying the hybrid scheme is a necessity to guarantee the success of projects due to the characteristics of static software.

Keywords: Traffic Interactions, Simulation Software, Network Development, Verification, Macroscopic Modeling