روشی برای برآورد ضرایب ماتریس تقاضای سفر در مدل‌های بهینه‌سازی کنترل رمپ

امیررضا ممدوحی، استادیار گروه برنامه‌ریزی حمل و نقل دانشگاه تربیت مدرس، ایران
علیرضا بازرگانی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، ایران
محمود صفارزاده، استاد گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس، ایران
*Alireza_bazargani2002@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: آبان ۹۰ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۹۲

چکیده

کنترل رمپ در بزرگراه‌های شهری یکی از سیاست‌های کنترل ترافیک کارا است که می‌تواند وضعیت ازدحام در بزرگراه را با محدود کردن تعداد خودروهای ورودی به بزرگراه بهبود بخشیده و باعث روانی ترافیک شود. یکی از رویکردهای مؤثر در اجرای این سیاست، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در تعدیل جریان ورودی به بزرگراه از رمپ‌های ورودی است. از جمله داده‌های لازم برای این مدل‌ها، ضرایب ماتریس تقاضای سفر است که خود نیازمند مطالعه میدانی و گران قیمت است. در این مقاله یک روش جایگزین و کم هزینه برای تخمین ضرایب ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد در بزرگراه‌های شهری به عنوان یکی از ورودی‌های مدل بهینه سازی پیشنهاد و ارائه می‌شود که مبتنی بر داده‌هایی است که به دست آوردن آن‌ها چندان مشکل نیست. همچنین با استفاده از روابط ساده ریاضی و اهمیت دادن به محل ورود خودروها در تعیین محل خروج آن‌ها از سیستم، هزینه‌های اجرای این سیاست کاهش یافته و ورودی‌های مدل برای اجرا در شرایط روی - خط و زمان - واقعی تأمین گردد. برای بررسی چالش‌ها و ویژگی‌های روش پیشنهادی، این روش برای یک نمونه موردی در بزرگراه همت پیاده‌سازی و اجرا می‌شود. مقایسه ضرایب ماتریس مبدأ- مقصد به دست آمده از این روش با ماتریس حاصل از مشاهدات میدانی نشان‌دهنده دقت ۹۰ درصدی این روش در برآورد الگوی تقاضای سفر در بزرگراه است.

کلید واژه: : الگوی تقاضای سفر، روش پیشنهادی، کنترل رمپ، بهینه سازی، ماتریس مبدأ- مقصد

۱ – مقدمه

تاکنون الگوریتم های فراوانی برای اعمال کنترل رمپ در شرایط اجرایی توسعه داده شده‌اند[۱و۲]. پس از استفاده در شهر شیکاگو در اوایل دهه ۱۹۶۰، طی دهه های اخیر، سیاست کنترل رمپ در بسیاری از مناطق شهری در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است. نکته جالب توجه این است که هر یک از این شهرها الگوریتم مخصوص به خود را اعمال می‌کند که برخی از آن‌ها در مطالعات بوگن برگر[1](۱۹۹۹) تشریح شده اند [۳].

یکی از نکات مهم در سیاست کنترل رمپ، نحوه تعامل محققان و مجریان شهری در اجرای این سیاست است که از دو جنبه قابل بررسی است. اول این که فاصله‌ای بین شرایط اجرایی و شرایط تحقیقاتی دیده می‌شود که نمی‌توان گفت کدام گروه عقب تر است. در حالی که محققان بر روی مسأله بهینه‌سازی از دیدگاه تفصیلی نظر دارند و فرض می کنند که داده های مورد نیاز در دسترس باشند (لذا مطالعات خود را بر مدل های پیچیده ریاضی معطوف می‌کنند)، مجریان شهری بیشتر با در نظر گرفتن یک بعد مهم، به عملیاتی بودن روش توجه می‌کنند. به عنوان مثال، مجریان شهری از الگوریتم‌هایی استفاده می‌کنند که تنها باعث کاهش ازدحام می‌شوند، و دارای ویژگی عملیاتی بودن هستند. در بسیاری از موارد، الگوریتم‌هایی که دارای مراحل پیچیده ریاضی بوده و به دست آوردن داده‌های مورد نیاز آن‌ها مشکل است، از طرف مجریان شهری با اقبال مواجه نمی‌شوند. بسیاری از افرادی که با سیستم‌های کنترل در دنیای واقعی سر و کار دارند به این نتیجه رسیده‌اند که مهم‌ترین تصمیم برای مجریان شهری در استفاده از کنترل رمپ، اجرای این سیاست است و نه پیچیده کردن الگوریتم‌ها [۴].

دومین جنبه در راه کارهای کنترل بهینه رمپ از نقطه نظر تئوری این است که محققان تمایل به استفاده از ماتریس های مبدأ - مقصد به صورت پویا دارند. یا به عبارتی، از ماتریس‌هایی استفاده می کنند که با تغییر الگوی تقاضا تغییر کنند. از طرفی، در شرایط عملیاتی، سیاست های کنترلی مورد استفاده قرار می گیرند که نیاز به کم‌ترین داده های ورودی هزینه بر، از جمله ماتریس های مبدأ - مقصد، داشته باشند. از این رو، باید روش جایگزین وجود داشته باشد که قادر به تخمین الگوی تقاضای مبدأ - مقصد باشد تا بتوان بهینه‌سازی کنترل رمپ را به شرایط عملیاتی نزدیک‌تر کرد.

با توجه به هزینه زیاد مطالعات میدانی، در این مقاله ابتدا روشی برای تخمین ضرایب ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد در بزرگراه‌های شهری به عنوان یکی از ورودی‌های مدل بهینه‌سازی پیشنهاد و ارائه می‌شود که مبتنی بر داده‌هایی است که به دست آوردن آن‌ها چندان مشکل نیست. سپس، سعی می‌شود با انجام

1- Bogenberger

یک مطالعه موردی در بزرگراه همت، چالش های این روش در عمل مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت مقایسه‌ای بین نتایج واقعی و برآورد روش پیشنهادی انجام می گیرد.

۲ - ادبیات تحقیق

اولین تلاش ها برای بهینه سازی در سیاست کنترل رمپ در سطح سیستم به مطالعات واتل ورت[۲](۱۹۶۳ و ۱۹۶۷) مربوط می شود[۵ و۶]. مدل برنامه ریزی خطی مورد استفاده در این مطالعات و همین طور مطالعات پس از آن به منظور بهینه سازی و با هدف به حداقل رساندن زمان سفر کل توسعه داده شده اند[۷]. برخی از فرض‌های این مدل‌ها عبارتند از:

وجود یک محدودیت برای اطمینان از عملکرد بزرگراه در شرایط جریان آزاد. بنا بر این از وجود تغییرات در مسیر اصلی در طول زمان صرف نظر شده است.

فرض شده است که اطلاعات مربوط به تقاضای مبدأ- مقصد که با زمان تغییر می کنند در دسترس است.

فرض شده است هیچ تغییرمسیری از بزرگراه به خیابان‌های شریانی شهری وجود ندارد.

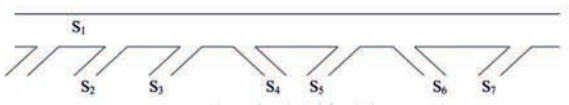
در مطالعات لاول[۳] تلاش شد حالت ثابت مدل واتل ورت، تغییرات در طول زمان را نیز در بر گیرد که منجر به ارایه یک روش پیشنهادی کارا گردید. البته این روش پیشنهادی تنها برای شبکه‌های با مقیاس کوچک قابل استفاده است و اطلاعات مبدأ- مقصد هنوز هم از ورودی‌های مورد نیاز محسوب می‌شوند. در این مقاله سعی شده با جلوگیری از تشکیل صف داخلی در یک شبکه آزادراهی، دسترسی در رمپ‌های ورودی تنظیم شود. ایده اصلی این تحقیق سرویس دهی به کوچک ترین اجزای جریان ترافیک با حداقل تأخیر ممکن است، به طوری که صف‌های مورد انتظار سیستم به نقاط ورودی شبکه محدود شده و از ایجاد تداخل با جریان مسیر اصلی جلوگیری شود[۸].

ممدوحی و همکاران طی مطالعه‌ای با استفاده از یک مدل برنامه ریزی خطی برای بهینه سازی حجم تردد در بزرگراه و رمپ های آن اقدام به مطالعه بخشی از بزرگراه آیت ا... صدر نمودند. تابع هدف این مدل بیشینه سازی حجم جریان عبوری با محدودیت بقای جریان در مقاطع مختلف مسیر اصلی است. جهت برآورد ضرایب A_{ij} (سهمی از وسایل نقلیه ورودی از رمپ i و عبوری از مقطع j)، روش پلاک خوانی دستی در بخش های ورودی و خروجی بزرگراه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به حجم بالای وسایل نقلیه عبوری از محدوده و عدم امکان پلاک خوانی دستی تمام وسایل نقلیه، اقدام به نمونه گیری و انتخاب خودروی پراید (با سهم ۱۷ درصد از کل خودروها) به عنوان وسیله شاخص گردید. نتایج اجرای مدل این مطالعه حاکی از بهبود ۶ درصدی در جریان عبوری در اثر اعمال کنترل رمپ بود [۹].

محمودآبادی برای حل مسأله برآورد ماتریس مبدأ - مقصد از روی حجم جریان در کمان‌های شبکه از الگوریتم گرادیان ارائه شده توسط اسپایس استفاده نمود. روش گرادیان یک روش کارا با قابلیت پیاده‌سازی و اجرا در شرایط واقعی و در مقیاس بزرگ است. این روش تکراری با شروع از یک ماتریس مبدأ- مقصد اولیه، در هر تکرار سعی بر بازسازی بهتر ماتریس حجم جریان مشاهده شده در کمان‌های شبکه را دارد. در این پژوهش، الگوریتم گرادیان اسپایس برای برآورد ماتریس مبدأ - مقصد هم سنگ‌سواری و شبکه اتوبوسرانی در شهر مشهد استفاده شده است [۱۰].

۳ - روش پیشنهادی

شکل ۱ محدوده‌ای از یک بزرگراه با چند رمپ ورودی و خروجی را نشان می دهد. هدف تعیین سهم جریان رمپ های ورودی بالادست یک رمپ خروجی در حجم جریان مقاطع مورد نظر است. به طور مثال در شکل ۱، سهم رمپ‌های ورودی مختلف (مانند S۱، S۲ و S۳) در حجم جریان رمپ خروجی (S۴) مد نظر است. در مرحله بعد، این ضرایب بر اساس حجم خروجی رمپ-ها و اطلاعات فیزیکی مسیر تصحیح می شوند. لازم به ذکر است که این ضرایب یکی از ورودی های مدل برنامه‌ریزی ریاضی کنترل رمپ در یک محدوده از بزرگراه است که پیشنهاد برای تخمین آن، با توجه به موارد زیر از اهمیت خاصی برخوردار است.



شکل۱: محدوده‌ای از بزرگراه با ترکیبی از رمپ های ورودی و خروجی

محاسبه ضرایب Aij در عمل بر اساس مطالعه میدانی و از طریق قرائت پلاک خودروها امکان‌پذیر است که با توجه به نیاز به دوربین‌های مخصوص و سامانه پردازش‌گر تصویر جهت تطبیق خودروهای ورودی و خروجی، دارای هزینه بالایی است. اما در روش پیشنهادی، با در دست داشتن حجم عبوری خودروها می‌توان این ضرایب را برآورد کرد که هزینه برداشت داده‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

جهت استفاده از این روش برای اجرای مدل به صورت روی خط، بایستی ضرایب در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شده و در بازه زمانی بعدی مورد استفاده قرار گیرد. به دلیل هزینه زیاد برداشت این ضرایب در روش پلاک خوانی در طول بازه‌های زمانی متوالی، با توجه به در دسترس بودن داده های حجمی، استفاده از این روش تا حدود زیادی مشکل را تسهیل می کند.

این روش دارای الگوریتم ریاضی ساده‌ای است.

با توجه به آن که در روش پلاک‌خوانی، حتی در صورت قرائت تمامی خودروهای ورودی و خروجی، باز هم ضرایب به دست آمده با احجام حاصل از قانون پایداری جریان مطابقت ندارند، می توان گفت دقت روش پیشنهادی تفاوت چندانی با روش پلاک خوانی ندارد.

فرض های منطقی جهت سادگی و سازگاری مسیر اصلی با رمپ ها به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

۱ - مطابق شکل ۱ مسیر اصلی در ابتدای محدوده (S1) نیز

2- Wattleworth
3- Lovell

به دلیل سازگاری با سایر رمپ های ورودی به عنوان یک رمپ ورودی در نظر گرفته می‌شود.

۲ - فرض می شود خودروهای ورودی از یک رمپ پس از مدتی به طور یکنواخت در خطوط مختلف مسیر اصلی توزیع شده، و خودروهای مسیر اصلی حرکت با توزیع یکنواخت از یک رمپ خارج شده یا در مسیر اصلی ادامه مسیر می‌دهند. به عبارتی سهم خروج هر یک از رمپ‌های ورودی واقع در بالادست یک رمپ خروجـــی متناسب با حجم رمپ ورودی مذکور به حجم کلیه رمپ‌های بالادست رمپ خروجی می‌باشد (رابطه۱).

$$B_{14} = \frac{V_1}{V_1+V_2+V_3} * V_4 \qquad (۱)$$

در رابطه فوق:

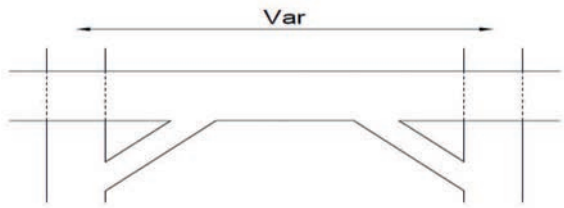
B ۱۴: حجمی خودروهای ورودی از رمپ ۱ و خروجی از رمپ ۴

V۴: حجم رمپ خروجی

V۱، V۲ و V۳: حجم رمپ های ورودی بالادست رمپ خروجی V۴

۳ - فرض می‌شود که احتمال خروج از رمپ‌ها نسبت مستقیم با فاصله آن رمپ دارد (یعنی رمپ‌های نزدیک‌تر حجم خروجی کمتری دارند)

۴ - جهت تعیین فاصله بین دو رمپ از فواصل محل تقاطع بزرگراه‌های فرعی با بزرگراه اصلی استفاده شده است (شکل ۲). لازم به ذکر است که در مطالعه موردی این فواصل با استفاده از نرم‌افزار Google earth استخراج شده‌اند.



شکل۲: فاصله بین محل تولید تقاضای دو رمپ

در فرآیند مدل‌سازی از نمادهای زیر استفاده شده است:

Di : تقاضای ساعتی رمپ i

Vj : حجم عبوری مسیر اصلی در بالادست رمپ خروجی j (جمع جبری رمپ‌های ورودی و خروجی بالا دست)

Aij: سهمی (درصدی) از خودروها که از رمپ i وارد و از رمپ j خارج می شوند

Lij: فاصله بین محل تولید تقاضای رمپ i تا رمپ j

X i: مرکز ثقل حجم رمپ‌های خروجی برای رمپ i

Bij: حجمی از خودروها که از رمپ i وارد و از رمپ j خارج می‌شوند

Bij: مقادیر حجم‌های تخصیص داده شده پس از یک مرحله تصحیح

B im: مقادیر حجم‌های تخصیص داده شده نهایی

i: شمارنده رمپ‌های ورودی

m: رمپ خروجی مورد بررسی

j: شمارنده رمپ‌های خروجی

h: تعداد کل رمپ‌های خروجی

مراحل محاسباتی و اجرایی روش پیشنهادی در قالب یک الگوریتم ریاضی به شرح زیر است [۱۱].

مرحله ۱ : محـــاسبه حجمی از رمپ i که از رمپ j خارج می‌شوند:

$$B_{im} = \frac{D_i - \sum_{j=1}^{m} B_{ij}}{V_m} * D_m \qquad (۲)$$

مرحله ۲ : محاسبه ضرایب تصحیح برای B_ij های به دست آمده در مرحله قبل با توجه به فاصله رمپ i از رمپ های خروجی پایین دست

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=i}^{h}(L_{ij} * D_j)}{\sum_{j=i}^{h} D_j} \qquad (۳)$$

$$\bar{B}_{im} = \frac{L_{im}}{\bar{X}_i} * B_{im} \qquad (۴)$$

مرحله۳ : در این مرحله مقادیر به دست آمده برای B ij با توجـــه به تقـــاضای رمپ خروجی مشاهده شده دوباره اصلاح می‌شوند:

$$\bar{\bar{B}}_{im} = \frac{D_m}{\sum_{i=1}^{m} B_{im}} * \bar{B}_{im} \qquad (۵)$$

مرحله ۴ : محاسبه ضرایب A_ij

$$A_{ij} = \frac{\bar{\bar{B}}_{ij}}{D_i} \qquad (۶)$$

٤ - مطالعه موردی

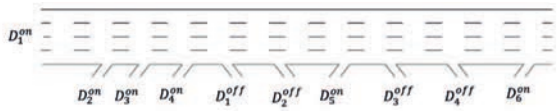
هدف در این بخش از مقاله، اجرا و پیاده‌سازی عملی روش پیشنهادی برای داده‌های واقعی در تخمین ماتریس مبدأ - مقصد است. به منظور انجام مطالعه موردی در یک محدوده مشخص اقـــدام به برداشت فیلم از ایستگاه های مختلف شده است. ایستگاه‌ها به گونه ای انتخاب شده اند که از فیلم‌ها دو نوع اطلاع قابل استخراج باشد:

- حجم عبوری خودروها در هر یک از ایستگاه‌ها
- مشخصات خودروها اعم از پلاک،نوع، رنگ و سایر مشخصاتی که به شناسایی یک خودروی خاص کمک می کنند.

در این بخش ابتدا نتایج مطالعه موردی جهت تعیین ماتریس مبدأ - مقصد (ضرایب A_ij) ارایه شده‌اند و سپس با استفاده از روش تخصیص فوق و همچنین داده های حجم مطالعه موردی اقدام به تعیین همین ضرایب به صورت تخمینی شده است.

۴ - ۱ - نمونه موردی

در انتخاب مسیر مورد مطالعه توجه به طرح هندسی مسیر دارای اهمیت است. به عبارت دیگر وجود رمپ‌های با طرح هندسی غیر یکنواخت و همین طور وجود خطوط کمکی مسیر اصلی که در طول زیادی از مسیر اصلی کشیده شده‌اند باعث پیچیدگی محاسبات و احتمالاً عدم رسیدن به جواب منطقی خواهد شد (شکل۳).



شکل۳: تصویر شماتیک از موقعیت رمپ‌های ورودی و خروجی محدوده مورد مطالعه

همچنین محدوده مورد مطالعه باید دارای وسعت کافی بوده تا نتایج حاصل از مطالعه موردی به دور از واقعیت نباشد و همچنین وسعت بسیار زیاد محدوده منجر به عدم لحاظ شدن جزئیات خواهد شد. با توجه به توضیحات فوق و مشاهدات میدانی انجام شده بزرگراه همت رویکرد شرق به غرب حد فاصل بزرگراه مدرس تا خروجی بزرگراه شهید چمران به عنوان محدوده مطالعه موردی انتخاب شده است (شکل۴).

۴ - ۲ - آمارگیری

جهت گردآوری داده‌های تحقیق برای انجام مطالعه موردی لازم است زمان مناسبی برای گردآوری داده‌ها که منعکس کننده الگوی تقاضای مبدأ - مقصد باشد، انتخاب شود. برای این کار روز و ساعت برداشت از اهمیت قابل توجهی برخوردار است، چرا که برداشت در ساعت اوج ترافیک منجر به تشکیل صف و در نتیجه ایجاد وقفه بین زمان ورود و خروج خودروها به محدوده خواهد شد. لازم به ذکر است روزهای تعطیل و پایان هفته که ممکن است به دلیل وجود مسافر و یا مناسبت‌ها دارای تقاضای غیر قابل پیش‌بینی باشند، از روزهای هفته حذف شده‌اند. بنابراین با توجه به مشاهدات در محل بعد از ظهر روز چهار شنبه به عنوان زمان برداشت داده انتخاب شده است [۱۱].

جهت انجام مقایسه بین روش تخصیص و روش مستقیم برداشت داده‌ها به مدت ۳ ساعت (۱۶:۳۰ تا ۱۹:۳۰) برای شمارش حجم انجام شده است و نتایج روش تخصیص برای این ساعت ها تعیین شده‌اند.

به دلیل حجم بالای خودروها در محدوده مورد نظر مدت زمان ۲۰ دقیقه برای برداشت داده‌های مورد نیاز در تعیین ضرایب به روش مستقیم در هر ایستگاه منظور شده است. از طرفی با توجه به زمان مورد نیاز برای طی مسیر از رمپ ورودی i به رمپ خروجی j زمان شروع برداشت داده ها در ایستگاه‌های مختلف به گونه‌ای انتخاب شده که حدود ۹۵ درصد از خودروهای مشاهده شده در ورودی‌ها و خروجی‌های محدوده با هم تطبیق داده شوند.

نتایج مشاهدات با استفاده از تطبیق خودروها و همچنین با استفاده از روش پیشنهادی در جداول ۱ تا ۴ نشان داده شده است.

جدول۱: ضرایب A_{ij} مشاهده شده در بازه زمانی ۱۶:۳۰ تا ۱۷:۳۰ (واقعی)

A_{ij}		j			
		۱	۲	۳	۴
i	۱	۰.۱۶۳	۰.۰۱۷	۰.۰۳۹	۰.۰۷۵
	۲	۰.۱۳۷	۰.۰۲۳	۰.۰۶۰	۰.۰۹۱
	۳	۰.۱۴۱	۰.۰۱۹	۰.۰۵۲	۰.۰۷۶
	۴	۰.۰۹۷	۰.۰۲۲	۰.۰۶۶	۰.۰۷۷
	۵	-	-	۰.۰۶۱	۰.۰۶۹

شکل۴: نقشه محدوده مورد مطالعه

جدول۲: ضرایب A_{ij} برآورد شده در بازه زمانی ۱۶:۳۰ تا ۱۷:۳۰

A_{ij}	j			
i	۱	۲	۳	۴
۱	۰.۱۷۷	۰.۰۱۸	۰.۰۴۸	۰.۰۷۳
۲	۰.۱۳۳	۰.۰۱۹	۰.۰۵۵	۰.۰۸۴
۳	۰.۱۳۳	۰.۰۱۹	۰.۰۵۵	۰.۰۸۴
۴	۰.۱۱۵	۰.۰۱۷	۰.۰۵۹	۰.۰۹۰
۵	-	-	۰.۰۴۹	۰.۰۷۵

جدول۳: ضرایب A_{ij} برآورد شده در بازه زمانی ۱۷:۳۰ تا ۱۸:۳۰

A_{ij}	j			
i	۱	۲	۳	۴
۱	۰.۱۷۳	۰.۰۲۱	۰.۰۴۵	۰.۰۶۸
۲	۰.۱۳۱	۰.۰۲۲	۰.۰۵۲	۰.۰۷۹
۳	۰.۱۲۹	۰.۰۲۱	۰.۰۵۲	۰.۰۷۸
۴	۰.۱۱۳	۰.۰۲۰	۰.۰۵۵	۰.۰۸۴
۵	-	-	۰.۰۴۶	۰.۰۶۹

جدول۴: ضرایب A_{ij} برآورد شده در بازه زمانی ۱۸:۳۰ تا ۱۹:۳۰

A_{ij}	j			
i	۱	۲	۳	۴
۱	۰.۱۶۳	۰.۰۱۹	۰.۰۴۷	۰.۰۵۸
۲	۰.۱۲۴	۰.۰۲۰	۰.۰۵۵	۰.۰۶۸
۳	۰.۱۲۲	۰.۰۲۰	۰.۰۵۴	۰.۰۶۷
۴	۰.۱۰۷	۰.۰۱۸	۰.۰۵۸	۰.۰۷۲
۵	-	-	۰.۰۴۷	۰.۰۵۹

به منظور مقایسه مشاهدات و نتایج روش پیشنهادی، مقادیر جداول ۱ و ۲ در نمودار ۱ نشان داده شده‌اند. نمودار ۲ نیز نمایانگر خطای نسبی (رابطه ۷) بین نتایج دو روش برای بازه زمانی متناظر (۱۶:۳۰ تا ۱۷:۳۰) است. با توجه به این نمودار مشخص می‌شود که خطای نسبی کمتر از ۲۵ درصد است.

$$E = \frac{A_{ij} - \hat{A}_{ij}}{\hat{A}_{ij}} \qquad (۷)$$

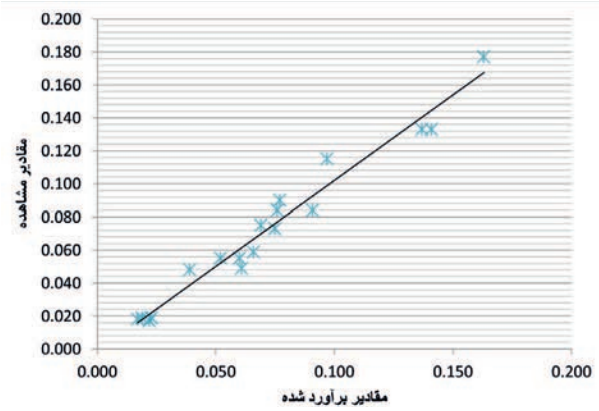
در رابطه فوق:

E: خطای نسبی

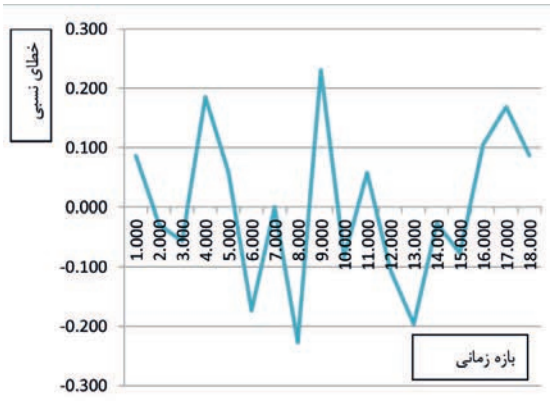
A_{ij}: ضریب به دست امده از روش تخصیص

A_{ij}: ضریب به دست آمده از روش مستقیم

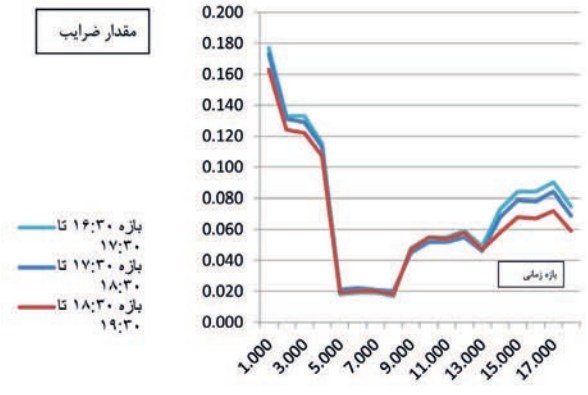
همچنین پویایی و انعطاف‌پذیری روش پیشنهادی و حساسیت این روش به تغییرات احجام در بازه‌های زمانی مختلف در نمودار ۳ نشان داده شده است. در نمودارهای ۲ و ۳ محور عمودی نشان دهنده مقادیر درایه های ماتریس مبدأ - مقصد (Aij) و محور افقی نشان دهنده ضرایب Aij مربوط به ایستگاه‌های مختلف است.



نمودار۱ : مقایسه ضرایب Aij واقعی و تخمینی



نمودار۲ : خطای نسبی ضرایب تخمینی نسبت به ضرایب مشاهده شده در بازه زمانی متناظر



نمودار ۳ : تغییرات ضرایب در بازه‌های زمانی مختلف

۵ - نتایج مدل‌سازی

همان گونه که در نمودار ۱ نشان داده شده است بین مقادیر مشاهده و برآورد رابطه خطی وجود دارد. ضابطه این خط برازش برابر است با

$$y=۱.۰۳۶۷\ x-۰.۰۰۱۶ \qquad (۸)$$

همچنین مقدار R۲ برای این برازش برابر است با ۰.۹۶۴۷ که به علت نزدیکی به مقدار ۱ نشان‌دهنده دقت قابل قبول این برازش است. در نمودار ۲ خطای نسبی ضرایب در بازه زمانی ۱۶:۳۰ تا ۱۷:۳۰ که متناظر با بازه مشاهده است، نشان داده شده است. همان گونه که در این نمودار دیده می‌شود خطای نسبی ضرایب برآورد شده در اغلب ایستگاه‌ها کمتر از ۲۰ درصد بوده و میانگین این خطاها در کل ایستگاه ها ۱۰ درصد است. یکی از نکات قابل توجه برای این روش حساسیت آن به تغییرات حجم در بازه‌های زمانی مختلف است که در نمودار ۳ دیده می‌شود. از طرفی تغییرات بیش از حد ضرایب در بازه های مختلف ممکن است حاکی از تصادفی بودن و عدم یکپارچگی نتایج باشد که با توجه به نمودار ۳ این مورد نیز رعایت شده است. همچنین با توجه به این که داده‌های این مطالعه در یک روز گردآوری شده اند و این که تغییرات الگوی تقاضا معمولاً با تغییر الگوهای جذب سفر تغییر می‌کند، لذا نتایج فوق نشان‌دهنده سازگاری روش فوق با الگوی تقاضای سفر است.

٦ - نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یکی از رویکردهای مؤثر در اجرای سیاست کنترل رمپ، استفاده از روش‌های بهینه سازی در تعدیل جریان ورودی به بزرگراه از رمپ‌های ورودی است. از جمله داده‌های لازم برای این مدل‌ها، ضرایب ماتریس تقاضای سفر است که خود نیازمند مطالعه میدانی و گران قیمت است. در این مقاله یک روش جایگزین و کم هزینه برای تخمین ضرایب ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد در بزرگراه‌های شهری به عنوان یکی از ورودی های مدل بهینه سازی پیشنهاد شد. به عبارتی با ارائه یک روش جایگزین در تخمین ضرایب ماتریس تقاضای مبدأ - مقصد که گردآوری آن هزینه‌های قابل توجهی را برای اجرای این مدل در بر دارد، تلاش شده فاصله بین محققان و مجریان شهری در اجرای این روش کاهش یابد. برای بررسی چالش‌ها و ویژگی‌های روش پیشنهادی، این روش برای یک نمونه موردی در بزرگراه همت پیاده‌سازی و اجرا شد، که بر اساس آن نتایج زیر حاصل شد:

۱ - بیشترین خطای نسبی در نتایج به دست آمده (در بازه های زمانی مختلف) از ۲۰ درصد تجاوز نکرده و میانگین این خطاها برابر ۱۰ درصد است.

۲ - مقادیر تخمینی و مشاهده شده دارای همبستگی برابر با ۰.۹۶۴۷ می‌باشد، که حاکی از خوبی مقادیر برآوردی مدل در بازسازی مشاهدات است.

با توجه به کاربردی بودن پژوهش جاری در تعیین ضرایب پیشنهاد می شود جهت استفاده از این روش در شرایط اجرایی با توجه به دقت نتایج به دست آمده (۹۰ درصد) در یک مرحله اقدام به تعیین ضرایب واقعی در یک بازه زمانی کرده و سپس با اولویت دهی به این دو ضریب، از یک ضریب ترکیبی در شرایط on-line استفاده کرد.

۷ - مراجع

1. Meng. Qiang, Khoo. Hooi ling, A Pareto-Optimization approach for a Fair Ramp Metering, TRB Part C, 2009.

2.Chien. Steven. Optimization of Dynamic Ramp Metering with Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation, Control and Intelligent Systems, 2008.

3. K. Bogenberger, A. D. May, 1999, Advanced coordinated traffic responsive ramp metering strategies. California Partners for Advanced Transit and Highways, UCB-ITS-PWP-99-19, U.S.A.

4. L. Zhang, D. Levinson, 2004, Optimal Freeway Ramp Control without Origin–Destination information, Transportation Research Part B, U.S.A.

5. J. A. Wattleworth, 1963, Peak-period Control of a Creeway Cystem- some theoretical considerations. Ph.D. Dissertation, Northwestern University, U.S.A.

6. J.A. Wattleworth, 1967, Peak-period Analysis and Control of a Freeway system. Highway Research Record 157.

7. D.J. Lovell, 1997, Traffic control on metered networks without route choice, Ph.D. Dissertation, University of at Berkeley, U.S.A.

8. D.J. Lovell, C.F. Daganzo, 2000, Access control on networks with unique origin–destination paths, Transportation Research Part B, U.S.A.

۹ - ممدوحی، ا. شیرگیر، ب و عبادی شیویاری، ز ، بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه به روش مدیریت شیب‌راهه با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی، زمستان ۱۳۸۸، فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی حمل و نقل، شماره ۲، تهران، ایران.

۱۰ - محمودآبادی، م، تصحیح ماتریس مبدأ - مقصد اطلاعات شمارش حجم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران، شهریور ۱۳۷۸.

۱۱ - بازرگانی، ع، توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی جهت کنترل بهینه رمپ‌ها: مطالعه موردی بزرگراه شهید همت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، گروه راه و ترابری، تیر ۱۳۹۰.