

بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه به روش مدیریت شیب‌راهه با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی

امیررضا ممدوحی؛ استادیار گروه راه ترابری دانشگاه تربیت مدرس
بهروز شیرگیر؛ دانشجوی دکترای گروه راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس
زینب عبادی شیویاری، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل دانشگاه آزاد جنوب
Email: armamdoohi@modares.ac.ir

چکیده

مدیریت حمل‌ونقل با توجه به معضلات کنونی ترافیک شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده و مورد توجه روزافزون مدیران و برنامه‌ریزان شهری حتی در کشورهای در حال توسعه قرار گرفته است. مدیریت شیب‌راهه‌های بزرگراه از جمله اقدامات مدیریت عرضه حمل‌ونقل است که با هزینه ناچیز، باعث بهبود عملکرد زیرساخت‌های موجود و استفاده کاراتر از منابع بسیار محدود شهری می‌شود. مقاله حاضر به بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه به روش مدیریت شیب‌راهه از طریق کنترل حجم وسایل نقلیه ورودی از آن می‌پردازد. یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت بهینه‌سازی حجم تردد در بزرگراه و شیب‌راهه‌های آن طراحی می‌شود، که محدودیت‌های آن شامل بقای جریان در مقاطع مختلف و تابع هدف آن بهینه‌سازی کل حجم ترافیک عبوری است. برای پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و ارزیابی نتایج، بخشی از بزرگراه آیت‌الله صدر پس از آماربرداری لازم به عنوان مطالعه موردی بررسی می‌شود. نتایج حکایت از بهبود تقریباً ۶ درصدی در حجم جریان عبوری در بخش مورد مطالعه در اثر این روش مدیریتی دارد. همچنین نتیجه بهینه‌سازی تأثیر نامطلوب شیب‌راهه شریعتی بر کل سیستم مورد مطالعه را نشان می‌دهد، لذا حداکثر محدودیت عبور جریان را به خود اختصاص داده، به نحوی که حجم عبوری بایستی به میزان ۱۳ درصد حجم عبوری فعلی کاهش یابد. شیب‌راهه مدرس تنها شیب‌راهه‌ای است که در نتیجه بهینه‌سازی می‌تواند بدون اعمال محدودیت عمل نماید.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی ترافیک، مدیریت حمل‌ونقل، شیب‌راهه، برنامه‌ریزی ریاضی، بزرگراه

۱. مقدمه

رشد جمعیت و رواج شهرنشینی در دهه‌های اخیر موجب افزایش تعداد، جمعیت و مساحت شهرها شده است. از طرف دیگر، رشد تقاضا برای انجام سفرهای راحت‌تر، موثرتر و سریع‌تر منجر به استفاده بیشتر از زیرساخت‌های حمل‌ونقل و بخصوص، افزایش مالکیت وسیله نقلیه شخصی شده است. این افزایش تقاضا خود باعث طولانی‌تر شدن دوره‌های ازدحام ترافیک و افت کیفیت خدمات حمل‌ونقل شهری گردیده است. در نتیجه، امروزه رانندگان به طور کلی تأخیرهای طولانی‌تر و مشکلات ایمنی بیشتری را متحمل می‌شوند. با توجه به محدودیت منابع، افزایش ظرفیت شبکه معابر شهری نمی‌تواند به تنهایی راه حل کاهش تراکم معابر شهری به شمار آید. حتی در صورت وجود منابع کافی، افزایش ظرفیت، لزوماً گزینه پیشنهادی نیست، بلکه روش‌های مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل (علاوه بر روش‌های مدیریت تقاضای حمل‌ونقل) از گزینه‌های بسیار جذاب با توجه به ماهیت بهبود عملکرد زیرساخت‌های موجود و استفاده کارا تر از منابع محدود شهری است.

مجموعه فعالیت‌هایی که به نحوی در مدیریت سیستم حمل‌ونقل شهری باعث استفاده بهتر از تسهیلات موجود بدون نیاز به سرمایه‌گذاری کلان می‌گردد، مدیریت عرضه (سیستم) حمل‌ونقل نامیده می‌شود. به‌طورکلی، مدیریت عرضه حمل‌ونقل شامل روش‌هایی است که باعث استفاده بهتر از امکانات و تسهیلات موجود حمل‌ونقلی در شهرها می‌گردد و سطح سرویس مناسب‌تری را برای کاربران سیستم با اجرای روش‌های مدیریتی، از جمله اعمال محدودیت و ممنوعیت برای شرایط خاص ایجاد می‌کند. با توجه به محدودیت منابع مالی برای توسعه نامحدود زیرساخت‌های سیستم حمل‌ونقل شهری، لازم است مدیریت عرضه به منظور استفاده بهتر از تسهیلات موجود در اولویت قرار گیرد.

یکی از زیرساخت‌های حمل‌ونقل، معابر آزادراهی و شیب‌راه‌های مرتبط با آنها است. هزینه‌های سنگین افزایش ظرفیت به‌واسطه ایجاد خط اضافه یا مسیر جدید، سبب شده است تا مدیران شهری به دنبال راه‌های جدیدتر، سریع‌تر و

کم‌هزینه‌تری جهت حل یا حداقل بهبود مشکلات ترافیکی باشند. از این‌رو، شیوه‌های مدیریت حمل‌ونقل و ترافیک مورد توجه ویژه قرار گرفته و از جمله مدیریت معابر بزرگراهی توجه بیشتری را بخصوص در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. یکی از روش‌های مدیریت بزرگراهی، مدیریت شیب‌راهه است، که به کمک آن می‌توان با هزینه بسیار کمتر نسبت به احداث معبر یا اضافه نمودن خط جدید، ظرفیت عملی بزرگراه را افزایش داد و با این روش استفاده بهتر و کارا تر از وضعیت موجود بزرگراه داشت.

ارایه یک نسخه مدیریت ترافیک یکسان برای کلیه شیب‌راه‌های شهرهای کشور با توجه به ویژگی‌های مختلف آنها امکان‌پذیر یا حداقل بهینه نیست، لذا ضروری است که مطالعات ترافیکی درخصوص به‌کارگیری روش‌های مدیریت ترافیک در شهرهای مختلف کشور با توجه به ویژگی‌های خاص آنها صورت پذیرد و روش‌های مدیریتی با بیشترین تطابق با ویژگی‌های شیب‌راه‌ها و شهر مورد نظر مطالعه و اجرا شود.

این مقاله به بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه با استفاده از یکی از روش‌های مدیریت سیستم حمل‌ونقل با عنوان مدیریت شیب‌راهه می‌پردازد. برای بهینه‌سازی، ابتدا یک مدل از نوع برنامه‌ریزی ریاضی جهت نمایش مساله به شکل ریاضی طراحی می‌شود که با توجه به طبیعت مساله و داده‌های موجود، تا حد امکان واقعیت را منعکس سازد. این مساله از نوع برنامه خطی است که به روش سیمپلکس حل شده و نتایج مورد تحلیل و ارزیابی قرار می‌گیرد. از این‌رو، پس از مرور مختصر پیشینه مطالعات و روش‌های مدیریت شیب‌راهه، مبانی نظری و مدل ریاضی پژوهش ارایه می‌گردد. سپس، مطالعه موردی بزرگراه آیت‌... صدر شامل گردآوری داده‌ها از طریق آمارگیری شمارش حجم ترافیکی و تدوین مدل پژوهش و نتایج آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در انتها، به نتیجه‌گیری و ارایه برخی پیشنهادها برای ادامه پژوهش پرداخته خواهد شد.

۲. پیشینه مطالعات و روش‌های مدیریت شیب‌راهه

استفاده از روش مدیریت شیب‌راهه به عنوان یکی از راهکارهای

بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه به روش مدیریت...

مدیریت شیب‌راهه به‌عنوان یک روش مدیریت ترافیک در جهت کاهش تراکم ترافیک با هدف افزایش بازدهی، بهبود زمان سفر و ایمنی است. این روش بر اساس یک برنامه و منطق مشخص، ورود وسایل نقلیه به بزرگراه را محدود می‌کند. بر اساس نحوه عملکرد، مدیریت شیب‌راهه به دو گروه زمان ثابت و متغیر (بر اساس حجم ترافیک) تقسیم‌بندی شده است. در روش ثابت، یک زمان‌بندی مشخص و ثابت بر روی شیب‌راهه اعمال می‌شود، حال آن‌که در روش متغیر، زمان‌بندی بر اساس انطباق با شرایط ترافیک به شکل پویا یا دینامیک قابل تغییر است.

در فرآیند کنترل شیب‌راهه، استراتژی‌های مختلفی ولی با اصول مشابه وجود دارد [۴، ۵ و ۶] که در دو سطح موضعی و هماهنگ قابل تقسیم‌بندی است. سیستم‌های کنترل شیب‌راهه توسط محققین مختلفی از قبیل پاپاجورجیوس، هاروود و گیلن بررسی شده‌اند [۷، ۸ و ۹]، که بر اساس سطح عملکرد، کنترل شیب‌راهه را به دو سطح محلی و شبکه تقسیم می‌کنند. در سطح محلی، کنترل به‌صورت مجزا بر روی هر یک از شیب‌راهه‌ها، و در سطح شبکه اعمال مدیریت به دو روش هماهنگ و یکپارچه صورت می‌گیرد. در مدیریت شیب‌راهه به روش هماهنگ، تعدادی از شیب‌راهه‌های ورودی در بخشی از بزرگراه به شکل هم‌زمان و توأمان مورد بررسی و برنامه‌ریزی قرار می‌گیرند و ارتباط این شیب‌راهه‌ها با یکدیگر بر نحوه تصمیم‌گیری تأثیر چشمگیری دارد. در روش مدیریت شیب‌راهه (در سطح شبکه) به‌صورت یکپارچه، نه تنها اطلاعات مربوط به قطعه بزرگراهی، بلکه اطلاعات ترافیکی خیابان‌های شریانی متصل به شیب‌راهه‌ها و سایر بزرگراه‌ها نیز در برنامه‌ریزی و مدیریت شیب‌راهه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعه در این سطح دارای پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به سایر سطوح است، که دلیل اصلی آن تعدد پارامترهای موثر است، از جمله نوع محدودیت اعمالی بر ترافیک شیب‌راهه ورودی، کنترل نرخ ورود میزان ترافیک مسیر اصلی و سایر شیب‌راهه‌های ورودی و نحوه کنترل آنها. به‌طور کلی، کنترل شیب‌راهه به چند دسته بشرح زیر قابل تقسیم است.

مدیریت ترافیک در بزرگراه‌ها یا آزادراه‌ها، از سال ۱۹۶۰ در شهرهای دیترویت، شیکاگو و لس‌آنجلس شروع گردید. موفقیت‌ها و پیشرفت‌های حاصله باعث گسترش آن تا حدی شد که تا سال ۱۹۹۰ در ۲۲ کلان‌شهر در کشور آمریکا از این روش برای مدیریت بزرگراه‌ها استفاده می‌شد، اگرچه ممکن است در صورت عدم برنامه‌ریزی و مطالعه درست، این روش نیز پیامدهای منفی بر ترافیک شبکه داشته باشد، که اصلی‌ترین آن انحراف و وسایل نقلیه به خیابان‌های اطراف ناحیه کنترل شیب‌راهه و ایجاد ازدحام در آنهاست. پیوتروویچ و رایبسون در سال ۱۹۹۵ یک بازنگری کلی در مورد مدیریت شیب‌راهه در کشور آمریکا به‌عمل آوردند. مطالعات زیادی تحت عنوان مطالعات عارضه‌سنجی استفاده از این روش مدیریت ترافیک بر شبکه معابر اطراف انجام گرفته است، برای نمونه شهرهای لوس‌آنجلس، دنور، دیترویت و سیاتل [۱].

تأثیر مثبت مدیریت شیب‌راهه بر شرایط ترافیکی بزرگراه و شبکه خیابانی مجاور آن در مطالعه میدانی در شهر پاریس مورد تأیید قرار گرفته است. این بررسی توسط حاج‌سالم و پاپاجورجیوس در سال ۱۹۹۵ انجام شده است. مزایای استفاده از سیستم مدیریت شیب‌راهه شامل روانی ترافیک، صرفه‌جویی در زمان سفر، کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های هوا و افزایش ایمنی گزارش شده است. همچنین، استفاده از روش مدیریتی کنترل شیب‌راهه بهبودی حدود ۶ درصد در کل زمان سفر شبکه را نشان داد [۲].

مطالعه دقیق و با جزئیات کنترل شیب‌راهه و تأثیر آن بر رفتار رانندگان توسط جی و همکارانش در سال ۲۰۰۷ به انجام رسید. در این تحقیق پارامترهای رفتاری رانندگان مانند سرعت، سرفاصله و کاهش یا افزایش شتاب مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج حکایت از این واقعیت دارد که مدیریت شیب‌راهه تأثیر بسزایی بر رفتار ترافیکی رانندگان به‌ویژه در شیب‌راهه ورودی دارد. بهبود شرایط همگرایی در شیب‌راهه ورودی و کاهش سرعت عبور وسایل نقلیه از دیگر نتایج این مطالعه است [۳].

۲-۱ کنترل کامل شیب‌راهه

از شیب‌راهه به‌طور متغیر و پویا تنظیم و تعیین می‌شود. منافع اصلی این روش وقتی حاصل می‌شود که قبل از پیوستن وسایل از شیب‌راهه ورودی به بخش اصلی بزرگراه، وقفه‌هایی بین گروه وسایل نقلیه ایجاد گردد.

یکی از روش‌های مطالعه تأثیر مدیریت شیب‌راهه بر روی محدوده مورد مطالعه، استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای شبیه‌سازی است. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، مزایا و نقاط قوت فراوانی دارد که از جمله می‌توان به راحتی حل مسأله، صرفه‌جویی در زمان و هزینه، و قابلیت بررسی سناریوهای متفاوت و زیاد بدون صرف هزینه زیاد، و مقایسه آنها اشاره نمود. علی‌رغم مزایای فراوان مدل‌های شبیه‌سازی، در شرایط تعداد شیب‌راهه زیاد، به‌علت نمایی بودن تعداد حالات ترکیبی، برای اجتناب از مشکل تعدد سناریوها، عموماً بهینه‌سازی به عنوان جایگزین شبیه‌سازی پیشنهاد می‌شود.

۳. مبانی نظری و مدل ریاضی پژوهش

برنامه‌ریزی ریاضی یکی از قوی‌ترین ابزارهای بهینه‌سازی؛ و معروف‌ترین تکنیک در این خانواده، برنامه‌ریزی خطی است، که مدل آن شامل مناسب‌ترین ترکیب از منابع محدود برای رسیدن به هدف مورد نظر براساس روابط خطی بین عوامل و پارامترهاست [۱۰].

شکل ۱ پیکربندی کلی یک شیب‌راهه ورودی به یک بزرگراه را نشان می‌دهد، که همواره رابطه (۱) برای آن صادق است. این رابطه تضمین می‌کند که (به منظور حفظ جریان پایدار) در تمام مقاطع در طول بزرگراه، مجموع حجم جریان ورودی شیب‌راهه و حجم جریان بالادست از ظرفیت بزرگراه در بخش هم‌گرایی کمتر است.

$$X(t) \leq MR - f_r(t)$$

که در آن:

$X(t)$: جریان ورودی شیب‌راهه

این روش وقتی به‌کار گرفته می‌شود که شیب‌راهه ورودی، فضای زیادی برای نگاه داشتن صف وسایل نقلیه، جهت کنترل ازدحام ترافیک مسیر اصلی داشته باشد. کنترل تا زمان وجود صف ادامه خواهد داشت، ولی طول صف هیچ‌گاه نباید از ظرفیت (انباره) شیب‌راهه تجاوز نماید. این نحوه کنترل بیشترین تأثیر را بر ورود وسایل از شیب‌راهه ورودی به بزرگراه با ترافیک سنگین داشته و باعث بهبود جریان ترافیک در مسیر اصلی با جلوگیری از افزایش بی‌رویه ترافیک آن و کمینه‌سازی حرکت ترافیک مسیر اصلی به صورت توقف-حرکت^۱ می‌شود. به دلیل طول صف وسایل نقلیه داخل شیب‌راهه ورودی، تعدادی از وسایل از ورود به شیب‌راهه ورودی منصرف شده و به سمت مسیرهای جایگزین هدایت می‌شوند و این خود باعث کاهش تقاضا برای ورود به بزرگراه می‌شود. نتایج تحقیقات (در ایالات جنوبی آمریکا) نشان می‌دهد که شیب‌راهه ورودی باید حداقل توان نگهداری ۵ درصد از ترافیک اوج همان شیب‌راهه را داشته باشد [۱].

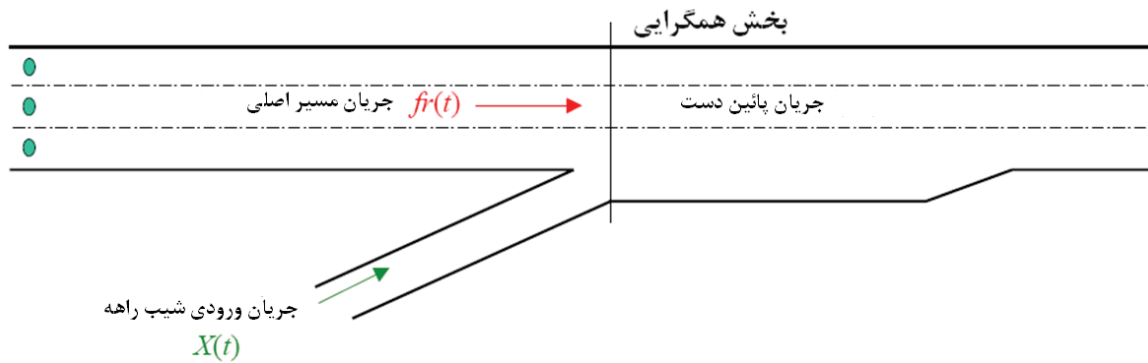
۲-۲ کنترل موضعی شیب‌راهه^۲

این روش زمانی کاربرد دارد که شیب‌راهه ورودی ظرفیت قابل توجهی جهت نگهداری وسایل نقلیه داشته باشد، ولی این ظرفیت برای نگهداری وسایل در کل طول دوره اوج ترافیک و کنترل کامل شیب‌راهه کافی نباشد. این روش می‌تواند برای همان نرخ ورود وسایل در روش کنترل کامل استفاده شود.

در هر حال، به دلیل ظرفیت ناکافی شیب‌راهه برای نگهداری صف وسایل در بعضی موارد، شاید لازم شود که جهت پیشگیری از طولانی شدن صف، از روش کنترل متغیر شیب‌راهه استفاده شود. کنترل جزئی وقتی برنامه‌ریزی و استفاده می‌شود، که ظرفیت موجود شیب‌راهه توان جوابگویی به روش کنترل کامل را نداشته باشد.

۲-۳ کنترل متغیر شیب‌راهه^۳

کنترل در این روش، تابعی از نرخ تقاضا بوده و حجم ورودی



شکل ۱. بیکربندی کلی یک شیب‌راهه ورودی به یک بزرگراه

روی حجم ورودی به جریان اصلی باعث کاهش چگالی (کمتر از چگالی بحرانی) در راستای پایداری جریان ترافیک است. در مسایل واقعی، که معمولاً دارای بیش از یک شیب‌راهه بوده، و از این رو از پیچیدگی (به‌عنوان تابعی از تعداد شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی) بیشتری برخوردارند، ضروری است که از ابزار قوی مانند بهینه‌سازی جهت تحلیل مسایل واقعی استفاده شود. برای نمونه، شکل ۳ نمایی از یک قطعه از بزرگراه با شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی را نشان می‌دهد، که جریان در مسیر اصلی بزرگراه به‌دلیل جریان‌های ورودی و خروجی از شیب‌راهه‌ها در مقاطع مختلف، متفاوت است. این امر به علت تغییرات زیاد حجم در مقاطع مختلف، تحلیل و طراحی برای سطح سرویس خاص را با مشکل روبه‌رو می‌کند. معمولاً در این‌گونه مسایل، هدف، بیشینه‌سازی حجم کل جریان عبوری با اعمال محدودیت و مدیریت، به‌گونه‌ای است که تعادل استفاده‌کننده^۴ به سمت بهینه سیستم^۵ سوق یابد.

فرم ریاضی این مساله، در قالب یک برنامه‌ریزی ریاضی از نوع خطی، به شکل مساله (۱) است.

$$\text{Max} \sum_{j=1}^n X_j \quad (1)$$

s.t.

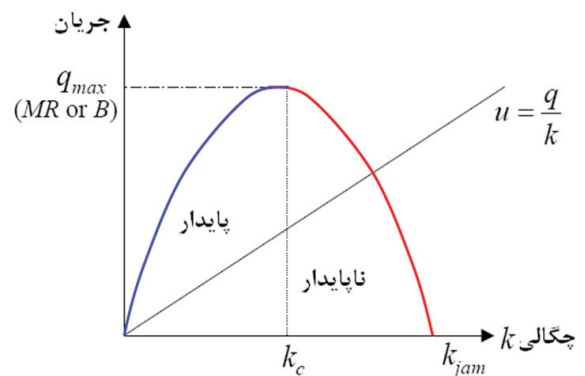
(قیود مربوط به ظرفیت بخش‌ها) (۱)

$$\sum_{j=1}^n A_{kj} \cdot X_j \leq B_k, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

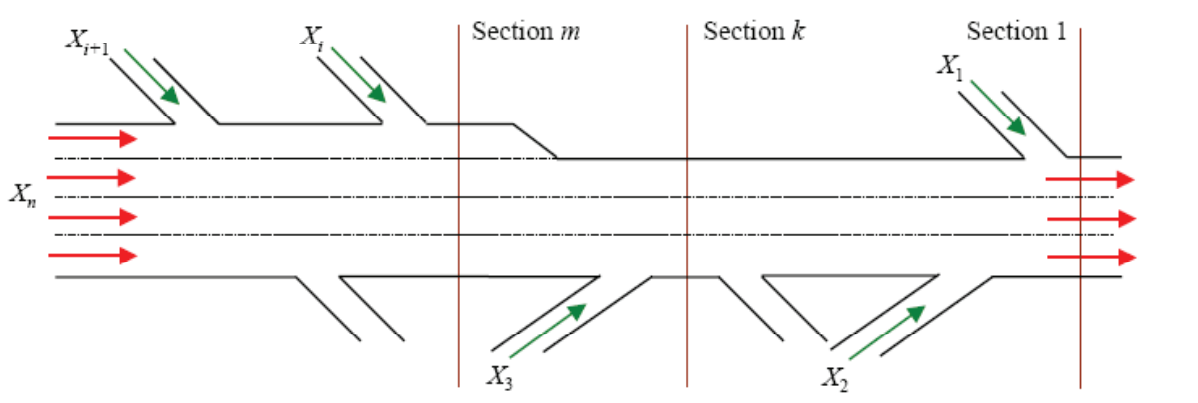
MR: ظرفیت بزرگراه در بخش هم‌گرایی

$f_p(t)$: جریان بالادست

از اهداف مهمی که در طراحی‌های ترافیکی (از جمله مسئله پژوهش جاری) در نظر گرفته می‌شود، پایداری جریان (شکل ۲) در طول بزرگراه است. به عبارت دیگر، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد، که تا حد امکان ترکیب پارامترهای اصلی ترافیک و برآیند آنها به شرایط پایدار بینجامد. با توجه به مطلوبیت شرایط پایدار، چه از نظر کاربران (رانندگان و مسافران) و چه از نظر گرداندگان سیستم، تنظیم میزان چگالی به‌گونه‌ای که باعث جریان روان و با سرعت بالا گردد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدیریت شیب‌راهه نیز با اعمال محدودیت



شکل ۲. رابطه بین نرخ جریان و چگالی در حالت پایدار و ناپایدار



شکل ۳. نمای شماتیک قطعه‌ای از یک بزرگراه نوعی با شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی

برآورد نمود. دسته قیود ۲ شامل محدودیت‌های تقاضاست، بدین معنی که جریان در هر معبر (بزرگراه و شیب‌راهه) نمی‌تواند از تقاضای آن فزونی یابد. دسته قیود ۳ محدودیت‌های نامنفی بودن حجم جریان در معابر است. بدین ترتیب، این مساله دارای n متغیر و $m + n$ محدودیت اصلی و n محدودیت نامنفی بودن متغیرهاست. پارامترهای مساله نیز شامل سهم وسایل (Ak_j) ، ظرفیت (B_k) و تقاضا (D_j) می‌شود، که برای حل مساله، باید گردآوری یا برآورد شود.

۴. مطالعه موردی بزرگراه آیت‌آ... صدر و تحلیل

نتایج مدل

رویکرد غرب به شرق بزرگراه آیت‌آ... صدر (X_1) ، حداقل ورودی بزرگراه مدرس تا خروجی قیطره (شکل ۴)، برای بررسی موردی تأثیر کنترل شیب‌راهه بر جریان ترافیک بزرگراهی در این مطالعه در نظر گرفته شده است. این بخش از بزرگراه دارای ۴ شیب‌راهه ورودی: مدرس (X_4) ، شریعتی (X_5) ، کاوه (X_6) و قیطره (X_8) و ۳ شیب‌راهه خروجی: شریعتی (X_7) ، کاوه (X_9) و قیطره (X_{10}) و مجموعاً ۷ شیب‌راهه با طول حدود ۳۰۰۰ متر است. فواصل شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی تقریباً یکسان و برابر حدود ۱۰۰۰ متر است. در شکل ۵، نمای شماتیک موقعیت شیب‌راهه‌ها و همچنین نوع عملکرد آنها (ورودی یا خروجی)،

(قیود مربوط به تقاضای شیب‌راهه‌های ورودی) (۲)

$$X_j \leq D_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(قیود مربوط به نامنفی بودن متغیرها) (۳)

$$X_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

که در آن:

X_j : حجم وسایل نقلیه ورودی به سیستم بزرگراهی از معبر

(بخش اصلی و شیب‌راهه) j ($j = 1, 2, \dots, n$)

Ak_j : سهمی از وسایل نقلیه که از معبر j وارد سیستم بزرگراهی شده و از مقطع k خارج می‌شوند ($k = 1, 2, \dots, j, m, 1$)

($1, 2, \dots, n$)

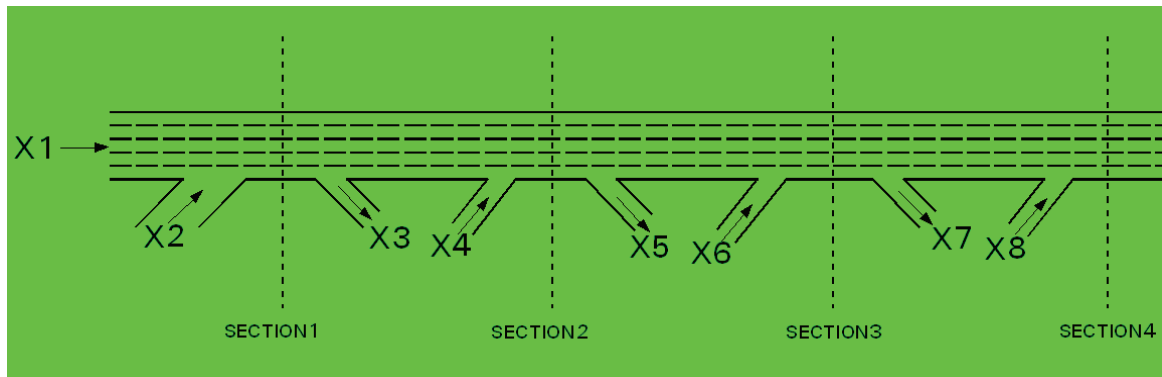
B_k : ظرفیت بخش بزرگراهی k ($k = 1, 2, \dots, m$)

D_j : تقاضای ساعتی در شیب‌راهه ورودی j

تابع هدف در این مساله، حداکثر نمودن مجموع حجم جریان در کلیه معابر، شامل جریان اصلی و شیب‌راهه‌هاست. به عبارتی، انتخاب ترکیب حجم‌هایی از هر شیب‌راهه و بزرگراه، به طوری که حجم کل سیستم بزرگراهی بیشینه شده و حداکثر سرویس‌دهی نتیجه شود. دسته قیود ۱ شامل محدودیت‌های ظرفیت در مقاطع مختلف بزرگراه است، که مبتنی بر چگونگی توزیع حجم ورودی از هر یک از ورودی‌ها بین خروجی‌های مختلف است. این ضرایب را می‌توان با آمارگیری و رهگیری مسیر وسایل نقلیه



شکل ۴. نقشه محدوده مورد مطالعه



شکل ۵. نمای شماتیک شیب‌راهه‌های موجود در بخش بزرگراهی مورد مطالعه

همراه برآورد ظرفیت و نسبت حجم به ظرفیت هر معبر نشان می‌دهد.

جهت برآورد A_{ij} (سهام وسایل نقلیه ورودی از معبر j و خروجی از مقطع k)، از آماربرداری به روش پلاک‌خوانی دستی در بخش‌های ورودی و خروجی شیب‌راهه‌ها (برای همان بازه زمانی فوق) استفاده شد. با توجه به حجم بالای وسایل نقلیه عبوری از محدوده مورد مطالعه و عدم امکان پلاک‌خوانی دستی

مشخص شده است.

جدول ۱ حجم عبوری هریک از شیب‌راهه‌های ورودی و خروجی را با اساس آماربرداری نشان می‌دهد. نحوه آمارگیری حجم بدین ترتیب بود که آمار ساعت اوج یک روز کاری در بازه‌های ۱۵ دقیقه‌ای از ساعت ۱۵ تا ۱۹ در ۸ مقطع مطابق شکل ۵، به تفکیک وسایل نقلیه سنگین و سبک برداشت شد. جدول ۱، نتایج این آماربرداری را پس از پالایش و تحلیل‌های لازم، به

امیررضا ممدوحی، بهروز شیرگیر، زینب عبادی شیویاری

کل وسایل نقلیه به صورت تعمیم یافته در جدول ۲ ارایه شده است. جداول ۳ و ۴، به ترتیب، برآورد تقاضای شیب‌راه‌ها و ظرفیت مقاطع مختلف بزرگراه را بر اساس خصوصیات مربوطه نشان می‌دهند. شایان ذکر است که در این مطالعه، به علت عدم

تمام وسایل نقلیه، اقدام به نمونه‌گیری و انتخاب پراید، به عنوان وسیله شاخص با بیشینه فراوانی (به‌طور میانگین حدود ۱۷ درصد کل وسایل نقلیه عبوری) گردید. بر این اساس، آمار مربوط به سهم وسایل نقلیه ورودی از معبر Z و خروجی از مقطع k ، برای

جدول ۱. آمار حجم و ظرفیت به تفکیک بخش اصلی و شیب‌راه‌ها

X_8	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1	تسهیلات	
								ویژگی	حجم (وسيله بر ساعت)
۴۳۹	۴۱۰	۳۱۷	۳۶۳	۱۴۸۸	۱۱۷۷	۳۹۷۵	۳۸۰۹	وسایل سبک	
۱۵	۱۰	۲	۴	۱۳	۴۰	۳۳	۲۵	وسایل سنگین	
۵۰۴	۴۶۰	۳۲۷	۳۸۳	۱۵۵۳	۱۳۷۷	۳۱۴۰	۳۹۳۴	کل (PCU)	
۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۴۸۰۰	۵۳۰۰	ظرفیت (PCU)	
۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۳۶	۰/۴۲	۰/۸۶	۰/۷۶	۰/۶۵	۰/۷۳	نسبت حجم به ظرفیت	

جدول ۲. سهم وسایل نقلیه ورودی از معبر Z و خروجی از مقطع k

j					A_{jk}	
۸	۶	۴	۲	۱		
			۱	۱	۱	k
		۱	۰/۷۶	۰/۸۶	۲	
	۱	۰/۹۸	۰/۷۲	۰/۸۰	۳	
۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۶۸	۰/۷۱	۴	

جدول ۴. ظرفیت مقاطع

۴	۳	۲	۱	k
۷۲۰۰	۷۲۰۰	۷۲۰۰	۹۶۰۰	B_k

جدول ۳. تقاضای شیب‌راه‌ها^۱

۸	۶	۴	۲	۱	j
۹۰۰	۹۰۰	۱۸۰۰	۴۸۰۰	۵۳۰۰	Dj

و ظرفیت شیب‌راه‌های ورودی و مقاطع تعریف شده، مساله پژوهش برای مطالعه موردی به شکل زیر کمی و پیاده‌سازی می‌شود.

جواب‌های بهینه مساله مذکور به روش سیمپلکس، در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول، علاوه بر نتایج حل مدل، ظرفیت کنونی بزرگراه و شیب‌راه‌های مربوطه و آمار حجم فعلی آنها

دسترسی به اطلاعات تقاضا به تفکیک شیب‌راه، از ظرفیت آنها به عنوان حد بالای تقاضا استفاده شده است.

هدف در پژوهش جاری، انتخاب ترکیب بهینه حجم‌ها در شیب‌راه‌ها است، به‌طوری که حجم وسایل عبوری از کل سیستم بزرگراهی بیشینه شده و حداکثر سرویس‌دهی نتیجه شود. با استفاده از آمار برداشتی (سهم و حجم‌های عبوری از هر مقطع

بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه به روش مدیریت...

شیب‌راهه است. شیب‌راهه شریعتی (X_4) حداکثر محدودیت عبور جریان را به خود اختصاص داده است. حجم بهینه عبوری از این شیب‌راهه برابر ۲۱۲ وسیله نقلیه معادل سواری در ساعت است، که تقریباً ۱۱ درصد ظرفیت آن است. در حال حاضر، حجم عبوری از این شیب‌راهه برابر ۱۵۵۳ وسیله نقلیه معادل سواری در ساعت است. اعمال چنین محدودیتی و کاهش حجم عبوری به میزان ۱۳ درصد حجم عبوری فعلی نشان‌دهنده تأثیر نامطلوب این شیب‌راهه بر کل سیستم بزرگراهی در محدوده مورد مطالعه است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که شیب‌راهه ورودی کاوه (X_6) تأثیر چندانی بر کل جریان ترافیکی نداشته و لذا نیاز به اعمال محدودیت چندانی نیست. نتایج بهینه‌سازی حکایت از این واقعیت دارد که با اعمال کنترل بر مجموعه شیب‌راهه‌ها، وضعیت جریان عبوری در مسیر اصلی (X_1) در بخش ابتدایی سیستم و شیب‌راهه ورودی مدرس (X_7) بهبود خواهد شد. سهم این بهبود در شیب‌راهه مدرس بسیار چشمگیر است و مقدار آن حدود ۵۰ درصد است. شیب‌راهه مدرس تنها شیب‌راهه‌ای است که می‌تواند بدون اعمال محدودیت عمل نماید، لذا اهمیت اولویت‌دهی به جریان ترافیک عبوری از این شیب‌راهه نسبت به سایرین مشخص می‌شود.

جهت مقایسه بهتر نتایج بهینه‌سازی و وضعیت فعلی، نشان داده شده است.

نتایج حاصل از بهینه‌سازی، نشان می‌دهد که در شیب‌راهه ورودی مدرس (X_7)، شریعتی (X_4)، کاوه (X_6) و قیطریه (X_8) بایستی محدودیت‌هایی اعمال شود تا تابع هدف به حداکثر مقدار خود برسد. حداکثر جریان قابل عبور از کل بخش مورد مطالعه برابر ۱۰۰۰۶ وسیله نقلیه معادل سواری در ساعت است. این عدد در حال حاضر بر اساس نتایج آماربرداری برابر ۹۴۵۸ است، که حاکی از بهبود تقریباً ۶ درصدی در جریان عبوری در اثر مدیریت

$$\text{Max } X1 + X2 + X4 + X6 + X8$$

ST.

$$X1 + X2 \leq 9600 \quad (1)$$

$$0.86 X1 + 0.76 X2 + X4 \leq 7200 \quad (2)$$

$$0.80 X1 + 0.72 X2 + 0.98 X4 + X6 \leq 7200 \quad (3)$$

$$0.71 X1 + 0.68 X2 + 0.97 X4 + 0.99 X6 + X8 \leq 7200 \quad (4)$$

$$X1 \leq 5300 \quad (5)$$

$$X2 \leq 4800 \quad (6)$$

$$X4 \leq 1800 \quad (7)$$

$$X6 \leq 900 \quad (8)$$

$$X8 \leq 900 \quad (9)$$

$$X_j \geq 0, j=1, 2, 4, 6, 8$$

جدول ۵. نتایج خروجی مدل بهینه‌سازی و مقایسه آن با وضعیت کنونی

ردیف	متغیر	ظرفیت	خروجی مدل بهینه‌سازی	حجم فعلی مشاهده شده
۱	$X1$	۵۳۰۰	۴۰۰۰	۳۹۳۴
۲	$X2$	۴۸۰۰	۴۸۰۰	۳۱۴۰
۳	$X4$	۱۸۰۰	۲۱۲	۱۵۵۳
۴	$X6$	۹۰۰	۴۳۶	۳۲۷
۵	$X8$	۹۰۰	۵۵۸	۵۰۴
۶	Z		۱۰۰۰۶	۹۴۵۸

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهاد

کرد. یکی از این مصادیق، بررسی این مطلب است که تحت چه شرایطی از مدیریت شیب‌راهه، می‌توان وضعیت عملکرد ترافیکی جریان اصلی را از شرایط ناپایدار و نامطلوب به شرایط پایدار و مطلوب بهبود داد.

اعمال کنترل بر هر یک از شیب‌راه‌های ورودی، به‌طور بالقوه می‌تواند معابر اطراف را، بخصوص در شرایط حاد ترافیکی، تحت تأثیر قرار دهد. لذا از مقولات بعدی در مطالعه مدیریت شیب‌راهه، منظور کردن شبکه معابر اطراف بخش مورد مطالعه است.

با توجه به محدودیت اطلاعاتی، که این مطالعه نیز از آن مستثنا نبود (عدم دسترسی به اطلاعات تقاضا به تفکیک شیب‌راهه) و استفاده از ظرفیت (به عنوان حد بالای تقاضا)، جهت تطابق بیشتر با واقعیت، در ادامه می‌توان پایه اطلاعاتی را با گردآوری اطلاعات تقاضا به تفکیک شیب‌راهه تقویت کرد.

تجزیه و تحلیل تابع هدف و مدل‌های ریاضی به‌همراه محدودیت‌ها در بهینه‌سازی عملیات کنترل شیب‌راهه در حالت دینامیکی و به‌صورت زمان حقیقی نیز از پیشنهادهایی است که می‌توان مورد توجه قرار داد.

۶. پانویس‌ها

- 1- Stop & Go
- 2- Partially Restrictive
- 3- Non Restrictive Ramp Metering
- 4- User Equilibrium
- 5- System Optimum

۶- با توجه به اینکه در این مطالعه، به علت عدم دسترسی به اطلاعات تقاضا به تفکیک شیب‌راهه، از ظرفیت آنها به عنوان حد بالای تقاضا استفاده شده است، طبیعی است که نتایج این مدل نشانگر بیشینه حجم وسایل عبوری از کل سیستم بزرگراهی است.

۷. مراجع

- 1- Piotrowicz G & Robinson J, «Ramp Metering Status in North America», 1995 Update, Report No.

مدیریت شیب‌راهه‌ها، از جمله اقدامات مدیریت عرضه حمل‌ونقل در بزرگراه است که با هزینه ناچیز، باعث بهبود عملکرد زیرساخت‌های موجود و استفاده کارآتر از منابع بسیار محدود شهری می‌شود. مقاله حاضر به بهینه‌سازی عملکرد ترافیکی بزرگراه به روش مدیریت شیب‌راهه از طریق کنترل حجم وسایل نقلیه ورودی می‌پردازد.

یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت بهینه‌سازی حجم تردد در بزرگراه و شیب‌راهه‌های آن طراحی و ارائه شد، که محدودیت‌های آن شامل بقای جریان در مقاطع مختلف و تابع هدف آن بیشینه‌سازی کل حجم ترافیک عبوری است. برای پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و ارزیابی نتایج، بخشی از بزرگراه آیت ... صدر با توجه به شدت مساله ترافیک، پس از برداشت آمار لازم به عنوان مطالعه موردی بررسی و تحلیل شد.

نتایج نشان می‌دهد حداکثر جریان قابل عبور از کل بخش مورد مطالعه برابر ۱۰۰۰۶ وسیله نقلیه معادل سواری در ساعت است. این عدد در حال حاضر بر اساس نتایج آماربرداری برابر ۹۴۵۸ است. لذا بهبود تقریباً ۶ درصدی در جریان عبوری در اثر مدیریت شیب‌راهه قابل حصول است.

همچنین نتیجه بهینه‌سازی تأثیر نامطلوب شیب‌راهه شریعتی بر کل سیستم مورد مطالعه را نشان می‌دهد، لذا حداکثر محدودیت عبور جریان را به خود اختصاص داده، به نحوی که حجم عبوری بایستی به میزان ۱۳ درصد حجم عبوری فعلی کاهش یابد. شیب‌راهه مدرس تنها شیب‌راهه‌ای است که در نتیجه بهینه‌سازی می‌تواند بدون اعمال محدودیت عمل نماید لذا اهمیت اولویت‌دهی به جریان ترافیک عبوری از این شیب‌راهه نسبت به سایرین مشخص می‌شود.

در ادامه این پژوهش، پیشنهاد‌های زیر برای توسعه روش‌های مدیریت شیب‌راهه ارائه می‌گردد:

با توجه به پیشرفت‌های فناوری رایانه‌ای و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، جای آن دارد که نتایج بهینه‌سازی را در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی وارد نموده تا آثار مربوطه را بتوان با دقت بیشتر تحلیل

international conference on road traffic monitoring and control, London, 23–25 April (pp. 164–168). IEE Conference Publication, No. 422. IEE, London.

7- Papageorgiou, M. (Ed.). (1991). "Concise encyclopedia of traffic and transportation systems". Oxford: Pergamon Press.

8- Harwood, N.W. (1993). "An assessment of ramp metering strategies using SISTM". TRL Project Report 36, Transport Research Laboratory, Crowthorne.

9- Kang, S. & Gillen, D. (1999). "Assessing the benefits and costs of Intelligent Transportation Systems: ramp meters". California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-99-19, California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.

10- Ding, H., Benyoucef, L. & Xie, X. (2004) "A Simulation-based Optimization Method for Production-Distribution Network Design" in Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2004), The Hague, Netherlands, IEEE (editor).

DOT- T-95-17, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., June 1995.

2- Haj-Salem H & Papageorgiou M, «Ramp Metering Impact On Urban Corridor Traffic: Field Results», Transportation Research A, Vol. 29A, No. 4, 1995, pp. 303-319.

3- J. Wu, M. McDonald, K. Chatterjee, «A detailed evaluation of ramp metering impacts on driver behavior», Transportation Research Part F 10 (2007) 61–75.

4- Papageorgiou, M., & Kotsialos, Apostolos (2002). "Freeway Ramp Metering: An overview". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 3(4), 271–281.

5- Sun, Xiaotian & Roberto, Horowitz (2005). "A localized switching ramp metering controller with a queue length regulator for congested freeways". In 2005 American control conference, June 2005, Portland, OR, USA.

6- Taale, H., & Van Velzen, G. A. (1996). "The assessment of multiple ramp-metering on the ring-road of Amsterdam". In Proceedings of the eighth