اثرسنجی به کارگیری سامانه کنترل رمپ در رمپ ورودی از بزرگراه صدر به بزرگراه مدرس با استفاده از شبیه‌سازی

یاسر رشیدی ورنکشی [1]
علی اقبالیان [2]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۲/۱۸
تاریخ‌پذیرش: ۱۳۸۸/۰۲/۱۹

چکیده

یکی از ابزارهای هوشمند حمل و نقل (ITS) برای بهبود سطح سرویس بدنه بزرگراه‌های درون‌شهری سامانه کنترل رمپ است که با محدود کردن نرخ ورود خودروها از رمپ‌های ورودی به بدنه بزرگراه و کنترل آن در ساعات اوج به ایمنی بزرگراه، سرعت متوسط، عبوردهی و در نهایت کاهش آلایندگی های زیست‌محیطی ناشی از ترافیک توقف–حرکت کمک می‌کند.

در این مقاله به مطالعه یک رمپ ورودی از بزرگراه صدر به جهت شمال به جنوب بزرگراه مدرس و امکان‌سنجی به کارگیری سامانه کنترل رمپ در آن پرداخته شده است و با استفاده از نظرات کارشناسی (روش تحلیل سلسله مراتبی) و ترکیب آن با ابزار شبیه‌سازی که از کم‌هزینه‌ترین راه‌های آزمون سیستم‌های جدید و بدیع حمل و نقلی است به تصمیم‌گیری درباره استفاده یا عدم استفاده از این سامانه در صورتی که استفاده از آن سودمند تشخیص داده شد و همچنین تصمیم‌گیری درباره نوع زمان‌بندی و محدودیت اعمالی به ترافیک (زمان‌بندی ثابت، زمان‌بندی تطبیقی) صورت پذیرفت.

با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص شد با وجود اینکه زمان‌بندی تطبیقی منافع بیشتری نسبت به زمان‌بندی ثابت به همراه دارد اما با در نظر گرفتن فاکتور هزینه‌ها، شاخص مطلوبیت کل زمان‌بندی ثابت از تمامی سناریوهای مورد بررسی بیشتر بوده و ترجیح دارد.

کلید واژه‌ها: *رمپ ورودی، بزرگراه شهری، کنترل رمپ، شبیه سازی، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] کارشناس مهندسی عمران، شرکت کنترل ترافیک تهران
[2] کارشناس‌ارشد مهندسی عمران، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل وترافیک، شرکت مهندسین مشاور مترا

مقدمه

با رشد ۳۰ درصدی ترافیک در دهه گذشته و پیش‌بینی رشد ۵۰ درصدی برای دهه آینده[1]، مسئله اصلی برای جامعه حمل و نقل، مدیریت جریان ترافیک است تا بتوان آن را با رعایت اصول ایمنی همواره به صورت روان و در حال حرکت نگاه داشت. سیستم‌های کنترل رمپ برای کنترل نرخ ترافیک ورودی به آزادراه طراحی می‌شوند. هدف نگاه داشتن سطح سرویس آزادراه در حد یک سطح سرویس هدف (از پیش تعیین شده) است و این کار توسط تنظیم حجم ترافیک ورودی از رمپ به آزادراه به وسیله یک چراغ راهنمایی انجام می‌گیرد. زمان تاخیر معمول پشت چراغ‌های راهنمایی سیستم کنترل رمپ بین پنج تا شش ثانیه برای هر وسیله است.

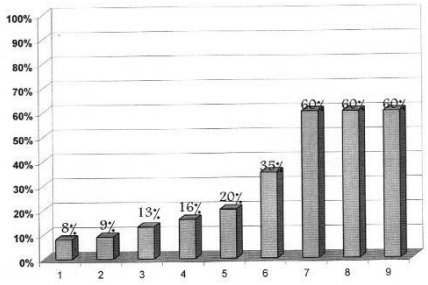
سیستم کنترل رمپ که دسترسی به آزادراه را کنترل می‌کند، تکنولوژی جدیدی نیست. در سال‌های گذشته این چراغ‌های کنترلی به طور معمول به دیگر سیستم‌های مدیریت متصل نبودند و به همین دلیل آن سیستم کنترل رمپ، توانایی جوابگویی به راهبندها یا ازدحام‌های ناشی از یک سانحه (یا تصادف) را نداشتند. به عنوان نمونه با اتصال سیستم‌های ترافیکی به سیستم کنترل رمپ در مینیاپولیس، افزایش ۳۰ درصد در سرعت وسایل آزادراه و ۲۵ درصد در نرخ تصادف به دست آمده است. در ادامه یک نمونه از به کارگیری سیستم کنترل رمپ و برخی نتایج حاصل از آن آورده شده است [۱].

نمودار یک خلاصه‌ای از گزارش‌های مربوط به تاثیر کنترل ورودی بزرگراه‌ها بر میزان تصادفات و سرعت وسایل نقلیه را نشان می‌دهد. کنترل ورودی بزرگراه‌ها می‌تواند با کاهش احتمال تصادفات از پهلو در مسیرهای ورودی از میزان حوادث بکاهد. همچنین تصادفات از عقب نیز که به خاطر کاهش سرعت خودروها برای راه دادن به خودروهای ورودی یا کندی اتومبیل‌ها در ورود به بزرگراه‌ها رخ می‌دهد، کاهش می‌یابد. کاهش تصادفاتی از این نوع، هم در مسیر اصلی و هم در مسیر ورودی به چشم می‌خورد. طبق گزارشات موجود تاثیر، کنترل ورودی‌های بزرگراه‌ها بر کاهش تعداد تصادفات بین ۱۵ تا ۵۰ درصد بوده است.

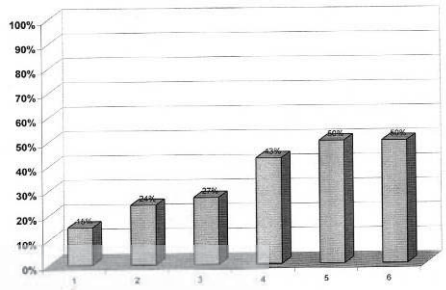
طبق گزارش‌های حاصله، دامنه تاثیر کنترل ورودی‌های بزرگراه‌ها بر افزایش سرعت خودروها بین ۸ تا ۶۰ درصد است. احتمال دارد علت اختلاف نتایج گزارش‌ها ناشی از تفاوت میزان تردد، مختصات جغرافیایی، تعداد ورودی‌ها، فواصل ورودی‌ها یا طول مسیر آزادراه مورد مطالعه باشد [۱].

---

[1] آمار فوق مربوط به ایالت متحده است.



درصد افزایش سرعت در بزرگراه‌ها

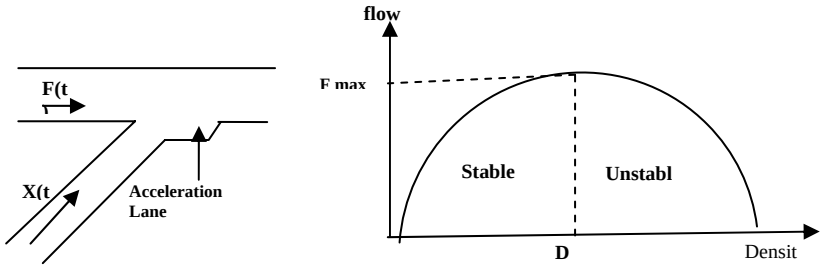


درصد کاهش تصادفات در ورودی بزرگراه‌ها

نمودار یک- تاثیر سامانه کنترل ورود به بزرگراه [۱]

مبانی نظری [۲]

در سیستم کنترل رمپ یک چراغ راهنمایی در محل ورودی به آزادراه نصب می‌شود. وقتی چراغ سبز شد یک وسیله (در هر بار سبز شدن چراغ) اجازه ورود به راه اصلی را دارد. برنامه زمان‌بندی چراغ راهنمایی (دوره‌های زمانی سبز چراغ) باید طوری باشد که جریان ترافیک اضافه شونده به آزادراه باعث تجاوز چگالی ترافیک پایین دست (بعد از) رمپ ورودی از مقادیر بحرانی نشود. به عبارت دیگر، مسئله از جنس دینامیک است چرا که مطابق شکل یک با افزایش $F(t)$ (جریان عبور واقعی بزرگراه قبل از ورودی) میزان کنترل روی $X(t)$ افزایش یافته و در ساعاتی غیر اوج که $Fmax- F(t)$ مقدار نسبتاً بزرگی می‌شود عملاً کنترلی روی $X(t)$ صورت نمی‌پذیرد.

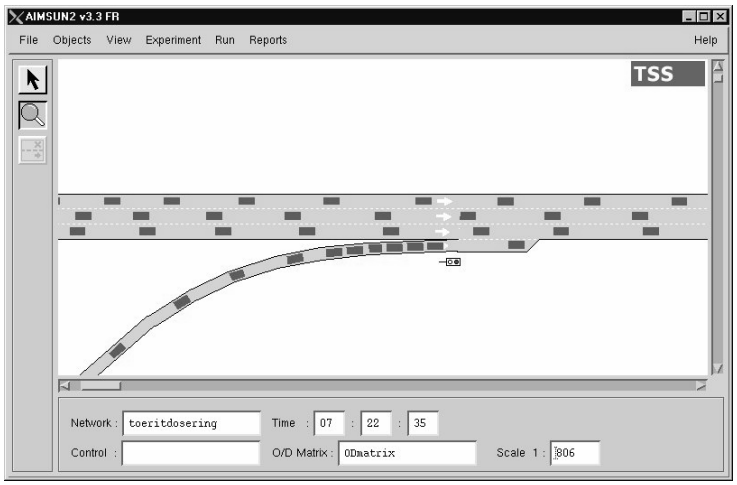


شکل یک- رفتار جریان ترافیک در برابر چگالی در رمپ های ورودی به بزرگراه

با این روش یک جریان یکنواخت ترافیک تضمین شده و از توقف‌ها و راهبندان‌های ترافیکی جلوگیری به عمل می‌آید. البته به این نکته نیز باید توجه داشت که زمان انتظار وسایل در رمپ ورودی باید به حداقل برسد. در نهایت، مسئله مطرح شده باید با روش‌های بهینه‌سازی غیرخطی حل شود. به هر حال به خاطر پیچیدگی‌های محاسباتی، این روش برای تاثیرپذیری همزمان سیستم کنترل رمپ از الگوهای ترافیک (مسیر اصلی و رمپ ورودی) روش مناسبی نیست. به همین خاطر در حال حاضر از یک مدل کنترلی (پیش‌بینی وضع سیستم کنترل رمپ از پیش) استفاده می‌شود که با ایجاد تعادل بین محاسبات پیچیده و کارایی عمومی سیستم هر دو روش را به کار می‌گیرد. همچنین با بهبود یک مدل ساده کنترلی که از پیش وجود داشت در چند مورد بهبود شرایط ترافیکی در شبکه آزادراه‌ها نتیجه شد. نتایج استراتژی کنترل رمپ محاسبه شده از روش فوق با نتایج شبیه‌ساز ترافیکی ابعاد زیر (که در آن حرکت هر وسیله به طور مجزا شبیه‌سازی می‌شود) سازگار است. شکل دو یک تصویر از شبیه‌ساز ابعاد ریز[1] سیستم کنترل رمپ را نشان می‌دهد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Micro Simulation



شکل دو- نمونه‌ای از شبیه‌سازی سامانه کنترل رمپ توسط نرم‌افزار Aimsun

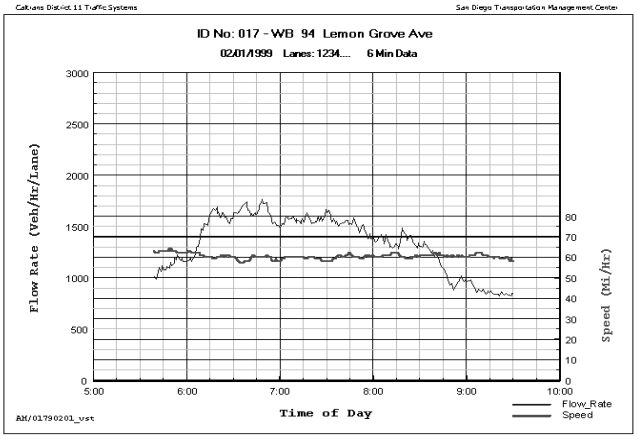
یک نمونه از به کارگیری سیستم کنترل رمپ [۳]

کنترل رمپ یک روش کم هزینه برای روان کردن ترافیک آزاد راه‌هاست. این سیستم امکان ورود وسایل با نرخ‌های مختلف (با توجه به شرایط ترافیکی) از رمپ ورودی به آزادراه را فراهم می‌آورد.

رانندگان معمولاً در رمپ‌های ورودی دچار تاخیر می‌شوند ولی سرعت حرکت وسایل آزادراه و زمان سفرها (به صورت عمومی) بهبود می‌یابند بنابراین هدف از اجرای Ramp Metering حفظ سطح سرویس بزرگراه‌ها در یک سطح مجاز و کاهش اثر نامطلوب ورود حجم زیاد خودرو از طریق ورودی‌های متعدد بین بزرگراهی از طریق کنترل حجم ورود است.

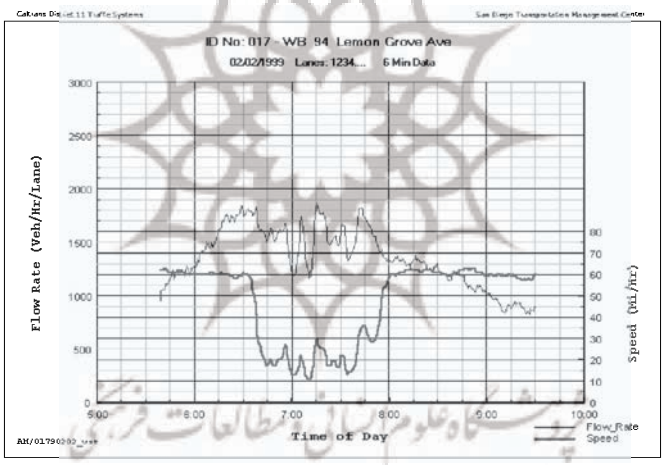
نمودار دو سرعت و حجم وسایل عبوری در روز اول فوریه ۱۹۹۹ در باند غربی آزادراه SR94 را نشان می‌دهد (سیستم کنترل رمپ فعال است).

توجه کنید که سرعت‌ها تقریباً سرعت ۶۰ مایل در ساعت بوده و تقریبا ثابت است که به طور معمول در ساعت پیک صبح در این منطقه چنین وضعیتی حادث می‌شود.



نمودار دو- *پروفیل جریان و سرعت متوسط بدنه بزرگراه بعد از پیاده‌سازی سامانه کنترل رمپ- ساعت اوج صبح*

در دوم فوریه ۱۹۹۹ سیستم کنترل رمپ مربوطه فعال نبوده است. نمودار سه سرعت و حجم ترافیک را در ساعات صبح نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سرعت‌ها در مدتی حدود ۱/۵ ساعت به کمتر از ۳۰ مایل در ساعت کاهش یافته است.

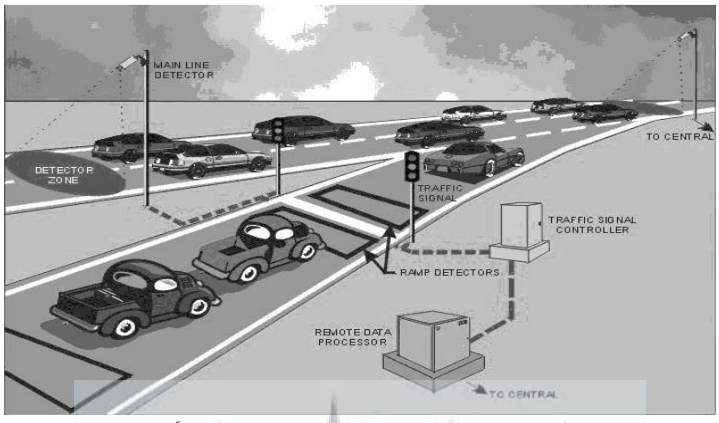


نمودار سه- *پروفیل جریان و سرعت متوسط بدنه بزرگراه قبل از پیاده‌سازی سامانه کنترل رمپ- ساعت اوج صبح*

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نحوه عملکرد سیستم کنترل رمپ

سیستم‌های کنترل رمپ می‌تواند به صورت محلی توسط کابینت کنترل (از طریق اپراتور در محل) یا توسط کامپیوتر مرکزی (معمولاً در مرکز کنترل) کنترل شود. در شکل سه اجزای سامانه کنترل رمپ و ارتباطات آنها به طور شماتیک نشان داده شده است.



شکل سه- اجزای سامانه کنترل رمپ و ارتباطات آنها

همچنین توسط کامپیوتر مرکزی می‌توان در برنامه مشخص شده (الگوریتم اجرایی) برای سیستم کنترل رمپ، تداخل ایجاد کرده و دستورات مدیریتی سیستم را اعمال کرد. الگوریتم کنترل رمپ می‌تواند بر پایه مشخصات ترافیک عبوری به صورت همزمان بهینه‌سازی کرده و نرخ مجاز ورود وسایل به آزادراه را محاسبه و اعمال کند.

دستورات کنترلی سیستم کنترل رمپ توسط اپراتور یا برنامه (مدل) کنترل صادر شده و گزارش وضعیت سیستم[1] به صورت دوره‌ای و در صورت وجود تداخل اپراتور در سیستم بعد از هر دستور مدیریتی توسط سیستم برای اپراتور ارسال می‌شود.

معیارهای طراحی [۴]

برای اینکه اجرای سیستم کنترل رمپ منطقی و منفعت عام در آن لحاظ شود باید نکات زیر به عنوان معیارهای طرح مدنظر قرار گیرد.

[1] Status Report

الف) اثر سنجی ورودی بر ترافیک بزرگراه

در صورتی که برداشت سرعت متوسط عبور در ساعات اوج (صبح و عصر) بدنه بزرگراه صورت پذیرد و ثابت شود که نرخ بالای ورود ترافیک از یک ورودی خاص باعث کاهش چشمگیر سرعت متوسط بدنه بزرگراه شود بنابراین حجم پیک رمپ ورودی باید شرایط زیر را داشته باشد تا اجرای سیستم کنترل رمپ در آن منطقی باشد:

* معیار حداقل حجم ترافیک ورودی

- ۲۴۰ وسیله در ساعت به ازای یک خط ورودی
- ۴۰۰ وسیله در ساعت به ازای دو خط ورودی

* معیار حداکثر حجم ترافیک عبوری

- ۹۰۰ وسیله در ساعت به ازای یک خط ورودی
- ۱۸۰۰-۱۵۰۰ وسیله در ساعت به ازای دو خط ورودی که به یک خط ورودی تبدیل می‌شوند.

ب) نزدیکی به تقاطع‌های همسطح مجاور

در صورتی که کنترل یک رمپ یا لوپ خاص باعث اختلال در عملکرد یک تقاطع همسطح و چراغدار مجاور شود باید حتماً در طراحی در نظر گرفته شود.

ج) میزان حجم ذخیره خودرو

تعداد خودروهایی که قابل ذخیره‌سازی در رمپ یا لوپ است در طراحی زمانبندی چراغ سامانه کنترل رمپ تاثیرگذار است. مشخصات هندسی رمپ/لوپ این موضوع را تعیین می‌کند بنابراین لازم است جهت شروع به مطالعه و طراحی سامانه کنترل رمپ اطلاعات و آمار ذیل موجود باشد:

۱- حجم عبور بدنه بزرگراه و حجم ورودی به بزرگراه، آمار برداری ۶ دقیقه ای (۰/۱ساعت) و در ساعات اوج صبح و عصر یک مدت زمان معنی‌دار به لحاظ ترافیکی.

۲- وضعیت هندسی رمپ/لوپ و ارتباط آن با تقاطع‌های همسطح و غیرهمسطح مجاور.

۳- برداشت سرعت متوسط بدنه بزرگراه پیش از پیاده‌سازی سامانه در اوج (فواصل زمانی، متوسط‌گیری روی هر شش دقیقه پیشنهاد می‌شود.)

۴- به دست آوردن حداکثر (واقعی) عبوردهی بزرگراه (Fmax) بر حسب وسایل نقلیه در ساعت.

روش‌های اعمال محدودیت در سامانه کنترل رمپ

به لحاظ نوع محدودیت اعمالی بر ترافیک رمپ ورودی و همچنین بر اساس کنترل نرخ ورود بر اساس میزان ترافیک مسیر اصلی و سایر رمپ‌های ورودی، می‌توان نحوه کنترل را به چند نوع تقسیم کرد.

الف) کنترل رمپ کاملاً محدودکننده[1]

روش کاملاً محدود یا رمپ ورودی کنترل شده وقتی به کار گرفته می‌شود که رمپ ورودی، فضای زیادی برای نگهداشتن صف وسایل نقلیه جهت کنترل ازدحام ترافیک مسیر اصلی داشته باشد. کنترل تا وقتی که صف وسایل بر طرف شود، ادامه پیدا می‌کند. ذکر این مطلب لازم است که صف وسایل نباید هیچ‌وقت از ظرفیت (نگهداری وسایل) رمپ تجاوز کند. این نحوه کنترل بیشترین تاثیر را بر ورود وسایل از رمپ ورودی به آزادراه با ترافیک سنگین گذاشته و باعث جلوگیری از حرکت ترافیک مسیر اصلی به صورت توقف/حرکت[2] می‌شود.

به خاطر طول صف وسایل داخل رمپ ورودی، تعدادی از وسایل از ورود به رمپ ورودی منصرف شده و به سمت مسیرهای جایگزین دیگر هدایت می‌شوند و این خود باعث کاهش تقاضای ابنیه (همانند آزادراه) می‌شود. نتایج تحقیقات (در رمپ‌های آزادراه‌ها در ایالت‌های جنوبی آمریکا) نشان می‌دهد رمپ ورودی باید حداقل توان نگهداری پنج درصد از ترافیک اوج (همان رمپ) قبل از به کارگیری سیستم کنترل رمپ را داشته باشد.

ب) کنترل نیمه محدود[3]

وقتی رمپ ورودی ظرفیت نگهداری وسایل قابل توجهی را داشته باشد اما این ظرفیت برای نگهداری وسایل در کل طول دوره ترافیک پیک و انجام عملیات «کنترل رمپ کاملاً محدود» کافی نباشد از کنترل نیمه محدود استفاده می‌شود. این روش می‌تواند با همان نرخ ورود وسایل در روش «کاملاً محدود» انجام شود.

در هر حال به دلیل ظرفیت ناکافی رمپ برای نگهداری صف وسایل در بعضی مواقع شاید مجبور به استفاده از «نرخ ورودی» باشیم که از طولانی شدن صف جلوگیری کند. در این شرایط یک نرخ ورود کنترل نشده به کار گرفته می‌شود.

---

[1] Fully Restrictive
[2] Stop & go
[3] Partially Restrictive

این موضوع باعث به کارگیری نرخ کنترل اولیه‌ای کمی بالاتر از آنچه برای کنترل کل سیستم نیاز است، می‌شود. صف وسایل با نرخ (سرعتی) تشکیل می‌شود که به اندازه کافی کم هست تا ترافیک از ظرفیت نگهداری رمپ تجاوز نکند. کنترل نیمه محدود وقتی برنامه‌ریزی می‌شود که ظرفیت موجود رمپ توان جوابگویی به روش «کنترل کاملاً محدود» را نداشته باشد.

ج) کنترل با نرخ متغیر[1]

کنترل با نرخ متغیر از نرخ (پروفیل) تقاضای رمپ ورودی تبعیت می‌کند به این معنی که حجم تقاضای رمپ به طور موثر محدود نمی‌شود. منافع اصلی این سیستم وقتی حاصل می‌شود که قبل از پیوستن وسایل درون رمپ ورودی به بدنه اصلی راه (شاهراه) وقفه‌هایی بین گروه وسایل ایجاد شود.

سیستم کنترل رمپ می‌تواند هم برای دوره زمانی پیک صبح و هم عصر مناسب باشد. به خاطر اینکه تقاضای ترافیکی هر رمپ در این دو دوره متفاوت است، ممکن است یک رمپ خاص در ساعات حداکثر پیک (ترافیک بسیار سنگین) به صورت «کنترل نیمه محدود» و در اوقات با ترافیک سبک‌تر با روش «کنترل کاملاً محدود» برنامه‌ریزی شود.

شیوه زمان‌بندی سیستم کنترل رمپ [۵]

همان طور که در تئوری مسئله نیز بیان شد، نوع زمانبندی در این مساله دینامیک است که کنترل نرخ ورود $X(t)$ براساس میزان حجم ترافیک مسیر اصلی $F(t)$ تنظیم می‌شود بنابراین در این حالت دو نوع زمانبندی جهت کنترل رمپ وجود دارد:

۱- زمان ثابت[2]

۲- زمانبندی دینامیک[3]

در صورتی که سامانه کنترل رمپ در یک ورودی با نرم‌افزار کنترل مرکزی تقاطع‌ها هماهنگ شده و به لحاظ پس نزدن ترافیک و عدم ایجاد اختلال در تقاطع‌های تحت تأثیر

[1] کلمه اصلی در متن انگلیسی Non Restrictive Ramp Metering است که برای جلوگیری از اشتباه«رمپ بدون کنترل کامل» ترجمه نشده است.

[2] Pre timed

[3] Traffic Responsive

سامانه کنترل رمپ از مرکز کنترل شود به آن کنترل انطباقی[1] اطلاق می‌شود و در غیر این صورت از نوع محلی[2] است.

نتایج استفاده از سیستم کنترل رمپ

به طور کلی با توجه به مطالعات انجام شده نتایج استفاده از این سیستم را می‌توان در مزایا و معایب احتمالی آن خلاصه کرد که در زیر به آنها پرداخته می‌شود.

منافع [۶]

با جست‌وجو در منابع موجود ITS به دنبال منافع به دست آمده از این سامانه، انبوهی از نتایج و مطالعات موردی یافت می‌شود که یک نمونه از این مطالعات موردی در مقاله آمده است. در ذیل به طور کلی به منافع پرداخته می‌شود:

روانی ترافیک: با کاهش اثرات منفی اختلالات ترافیکی ناشی از ورودی‌های با حجم ورود بالا، ترافیک شبکه بزرگراهی روان‌تر شده و با سرعت متوسط بالاتری صورت می‌پذیرد.

صرفه‌جویی در زمان سفر: به دلیل حجم بسیار بالا و عبوردهی زیاد بزرگراه به نسبت احجام ورودی‌ها در صورتی که سرعت متوسط بدنه افزایش یابد، صرفه‌جویی نسبتاً زیادی در زمان سفر افرادی که در بزرگراه‌ها سفر می‌کنند به وجود می‌آید ولی زمان سفر افرادی که در رمپ ورودی دچار تأخیر می‌شوند، بیشتر است و دلیل آن چند برابر بودن حجم بدنه نسبت به حجم ورودی است. این موضوع با شبیه‌سازی قابل اثبات است.

کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های هوا: هر چند ترافیک توقف- حرکت در رمپ باعث افزایش مصرف سوخت می‌شود اما افزایش سرعت متوسط بدنه بزرگراه باعث کاهش مصرف سوخت تعداد بسیار زیادی خودرو (در مقابل حجم ورودی رمپ) می‌شود.

افزایش ایمنی: با توجه به مشکل عدم رعایت حق تقدم در محل ورودی به بزرگراه‌ها و اینکه خط ورودی حتی در مواقع روانی بزرگراه باعث اختلال ترافیکی تا خط دوم عبور (خط وسط) می‌شود، پیش‌بینی می‌شود با منظم کردن ورود ترافیک به بزرگراه، بتوان از خطر تصادفات کاست.

پرتال جامع علوم انسانی

[1] Coordinated
[2] Isolated

در هر حال با توجه به رفتار متفاوت رانندگی در ایران، لازم است قبل از پیاده‌سازی مطالعات و تمهیدات کافی جهت کاهش خطرات مختلف ناشی از به کارگیری این سامانه، صورت پذیرد.

موانع اجرایی سامانه کنترل رمپ

از آن جهت که تا به حال وجود چراغ قرمز در رمپ و لوپ های کشور سابقه نداشته، لازم است موارد زیر در نظر گرفته شود:

رفع مشکلات قانونی: لازم است قوانین راهنمایی و رانندگی به شیوه‌ای تغییر کنند که عبور از چراغ قرمز محدودکننده رمپ و لوپ‌ها تخلف محسوب شده و این موضوع در آیین‌نامه‌های راهنمایی و رانندگی و همچنین در قوانین گنجانده شود.

اطلاع‌رسانی پیش هشدار: در اکثر کشورها قبل از رسیدن به یک سیستم کنترل رمپ فعال به فاصله مناسب قبل از آن در رمپ یا لوپ تابلو هشدار روشن می‌شود. این تابلوها وقتی که کنترل رمپ خاموش است غیر فعال و تیره است.

معایب (احتمالی)

پذیرش اجتماعی: پیش‌بینی می‌شود که جامعه آمادگی کافی برای پذیرش یک سامانه محدودکننده جدید را نداشته باشد اما با یک برنامه اطلاع‌رسانی عمومی قوی و به کارگیری رسانه‌ها جهت اطلاع‌رسانی منافع این سامانه، این امیدواری وجود دارد که اثرات نامطلوب اجتماعی ظرف مدت کوتاهی کاسته شود.

اجرای درست: یکی از نکات مهم در جهت قبول عمومی این سیستم، اجرای درست آن در بدو شروع است تا مردم به صورت عیان منافع آن را حس کنند و نسبت به عملکرد سامانه احساس اطمینان کافی داشته باشند.

اعمال قانون: این سامانه اصولاً به جهت کاهش حضور پلیس در تقاطع‌ها به کار گرفته می‌شود. عدم رعایت قانون کنترل رمپ و عبور از چراغ قرمز یکی از مشکلاتی است که سامانه با آن روبه‌رو بوده و لازم است توسط دوربین ثبت تخلف، موارد عدم رعایت قانون شناسایی و جریمه شوند.

جمع‌آوری اطلاعات

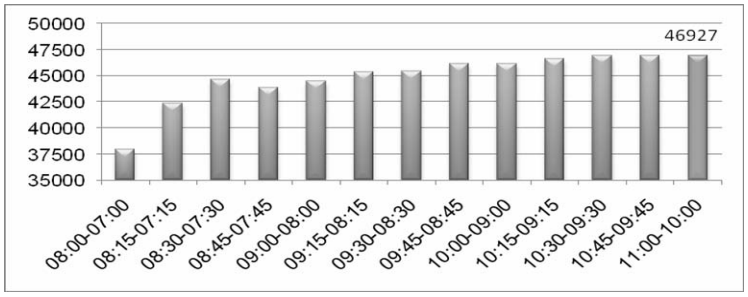
در این تحقیق از اطلاعات احجام تردد آبان ماه سال ۸۷ که در بزرگراه مدرس تهران و رمپ ورودی صدر که مشخصات آن در ادامه آمده، برداشت شده است، استفاده می‌شود:

– حجم ورودی قابل توجه (نسبت به حجم بدنه بزرگراه)؛
– ظرفیت ذخیره‌سازی تعداد قابل توجهی (حداقل پنج درصد ترافیک ساعت اوج همان رمپ) را داشته باشد؛
– به لحاظ هندسی بدون مشکل جدی (به خصوص ایمنی) بوده و خط افزایش سرعت مجزا را برای ادغام ایمن و صحیح به بزرگراه داشته باشد.

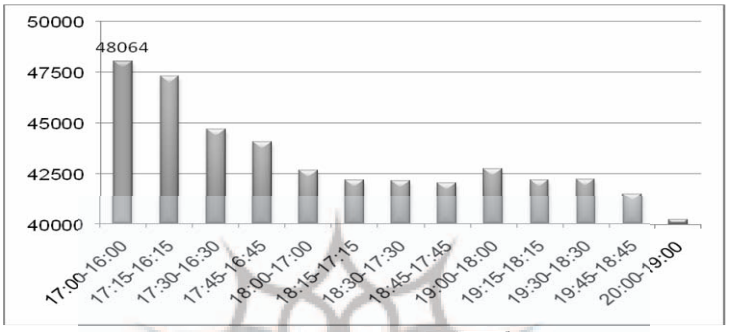
آماربرداری بزرگراه مدرس در دو بازه چهار ساعته در صبح و بعدازظهر انجام گرفت. در صبح از ساعت ۷ تا ۱۱ و در بعدازظهر از ساعت ۱۶ تا ۲۰ آمار حجم وسایل نقلیه برداشت شد. قابل ذکر است که تفکیک وسایل نقلیه به صورت سواری، موتورسیکلت و سنگین بوده است. در جدول یک و نمودارهای حجم تردد حرکت‌ها برای چهار و پنج ساعات مختلف آورده شده است.

جدول یک- مجموع حرکات آماربرداری شده در ساعات مختلف در مسیر شمال به جنوب

بازه زمانی	مجموع حجم حرکات	بازه زمانی	مجموع حجم حرکات
07:00-08:00	37979	16:00-17:00	48064
07:15-08:15	42379	16:15-17:15	47315
07:30-08:30	44612	16:30-17:30	44712
07:45-08:45	43841	16:45-17:45	44065
08:00-09:00	44503	17:00-18:00	42854
08:15-09:15	45310	17:15-18:15	42185
08:30-09:30	45399	17:30-18:30	42161
08:45-09:45	46149	17:45-18:45	42037
09:00-10:00	46118	18:00-19:00	42758
09:15-10:15	46578	18:15-19:15	42208
09:30-10:30	46896	18:30-19:30	42232
09:45-10:45	46915	18:45-19:45	41481
10:00-11:00	46927	19:00-20:00	40250



نمودار چهار- مجموع حرکات آماربرداری شده در ساعات مختلف صبح در مسیر شمال به جنوب



نمودار پنج- مجموع حرکات آماربرداری شده در ساعات مختلف عصر در مسیر شمال به جنوب

پردازش اطلاعات با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی[1] برای انتخاب روش موثر در کنترل رمپ

در این مرحله بر مبنای مطالب بیان شده در بخش قبل، سناریوهای مختلف و شیوه‌های مختلفی که می‌توان سیستم کنترل رمپ را در آن محل به کار گرفت (مثلا زمان‌بندی ثابت، زمان‌بندی هوشمند یا تطابقی، بدون سیستم کنترل رمپ) برای انجام شبیه‌سازی مورد توجه قرار داده و سه سناریو محتمل برای انجام شبیه‌سازی به کار گرفته شد.

برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار Aimsun(Getram) که یک نرم‌افزار تخصصی ترافیکی برای شبیه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقلی است اقدام به شبیه‌سازی مساله در سناریوهای یادشده شد. نرم‌افزار Aimsun دارای قابلیت شبیه‌سازی میکرو شبکه حمل و نقلی و سیستم‌های هوشمند حمل و نقل بوده که دارای امکانات

[1] AHP

متنوعی مانند شبیه‌سازی تصادفات، وقایع خاص ترافیکی، سیستم کنترل رمپ، اولویت‌دهی به اتوبوس (پیش تخلیه تقاطع)، زمانبندی هوشمند تقاطعات، شبیه‌سازی تابلوهای پیام متغیر و... است [۷].

در ادامه پس از مشخص شدن نتایج نرم‌افزار شبیه‌ساز به منظور تحلیل بهتر نتایج و در نظر گرفتن نظرات متخصصان در این پروژه مراحل ذیل طی شد. برای انجام خودکار محاسبات روش AHP نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته است.

الف) تعریف هدف

تابع هدف مجموعه که بهبود یا عدم بهبود سیستم کنترل رمپ برای بیشینه کردن آن در این تحقیق به آزمایش گذاشته شده است به این صورت تعریف می‌شود:

«حداقل کردن زمان سفر (/زمان تاخیر) برای کل مسافرانی که در ساعات اوج صبح یا عصر از رمپ ورودی یا بدنه بزرگراه در محل مورد مطالعه عبور می‌کنند.»

بدیهی است اهداف دیگری همچون بهبود ایمنی، بهبود در آلاینده‌های هوا و... نیز به دست می‌آید اما به دلیل عدم دقت انجام تحلیل چند هدفی با توجه به کمبود اطلاعات از آنها صرفنظر می‌شود [۸].

ب) انتخاب گزینه‌ها

سه سناریوی محتمل برای انجام این مطالعه به صورت ذیل در نظر گرفته می‌شود:

سناریو۱: عدم تغییر و حفظ وضعیت فعلی

سناریو۲: کنترل رمپ با زمان‌بندی ثابت (سیکل ۱۰ ثانیه، سبز ۵ ثانیه)

سناریو۳: کنترل رمپ با زمانبندی تطبیقی[1].

ج) انتخاب معیارهای تصمیم گیری

در این مرحله معیارهای سنجش روش‌های مختلف معلوم می‌شود. معیارهای مهمی که توسط کارشناسان امور حمل و نقل برای کنترل رمپ معلوم شد، شامل «سرعت متوسط بدنه بزرگراه»، «عبوردهی[2]»، «آلایندگی کل»، «زمان تاخیر/ زمان سفر» و «هزینه انجام طرح»

[1] Actuated
[2] through put

می‌شود که با توجه به محدودیت های نرم افزار شبیه‌سازی (Aimsun) و نـرم‌افـزار تحلیـل سلسله مراتبی (Super Decision) و همچنین محدودیت‌هـای اطلاعـات در دسـترس و از همه مهم‌تر اینکه پارامترهای فوق نسبت به یکدیگر وابستگی درونی دارند، سه پارامتر جریان (عبوردهی)، سرفاصله[1] و زمان تاخیر به عنـوان پارامترهـای اصـلی ارزیـابی انتخـاب شـدند. پرسشنامه‌ها به شکل نمره‌دهی به هر یک از پارامترهـای محتمـل اسـت کـه در نهایـت بـا محاسبه میانگین نظرات، پارامترهای فوق‌الذکر انتخاب شدند.

د) تعیین وزن معیارها

با تهیه فرم مقایسه دو به دوی پارامترهـای سـه‌گانـه ارزیـابی و پـر کـردن فـرم‌هـا توسـط کارشناسان خبره حمل و نقل از دانشگاه صنعتی شریف و علم و صنعت[2]، وزن هر شاخص در مدل AHP ارائه شده به صورت ذیل مشخص شد:

* جریان: ۳۲ درصد
* سرفاصله: ۳۰ درصد
* زمان سفر(زمان تاخیر): ۳۸ درصد

ن) انجام شبیه‌سازی

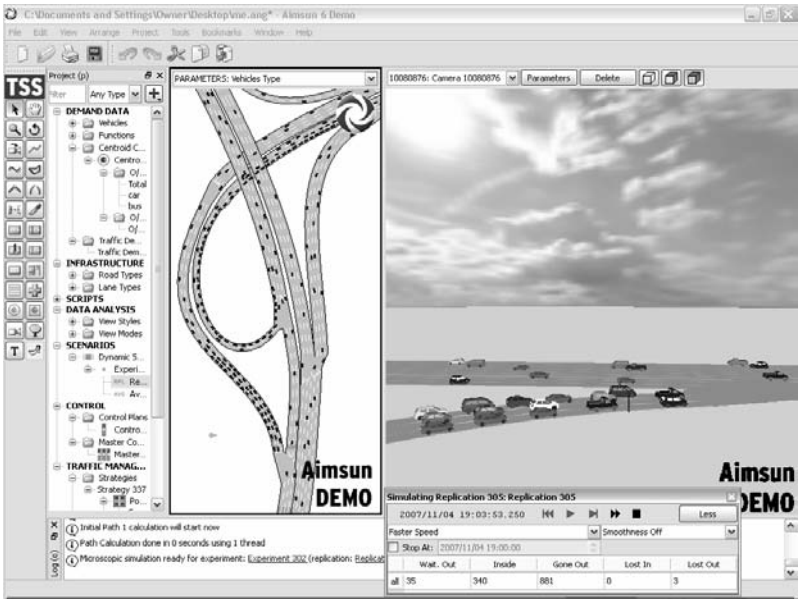
پس از ساخت فیزیک تقاطع غیرهمسطح بزرگراه مدرس و صدر و بارگذاری ترافیک برداشت شده در آبان ماه سال‌جاری در آن به مدت یـک سـاعت شـبیه‌سـازی محـل بـا هـر یـک از سناریوهای یادشده انجام شد و خروجی‌های آن به دست آمـد کـه در جـدول دو آورده شـده است. در شکل چهار یک نمونه عکس از فیزیک محل آورده شده است.

جدول دو- خروجی‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی

	1#Section			Section #2		
	Scn.1	Scn.2	Scn.3	Scn.1	Scn.2	Scn.3
جریان(عبوردهی)	۲۴۵۱	۲۴۳۸	۲۴۷۰	۵۲۴۰	۵۵۵۴	۵۶۸۱
سرفاصله(Headway)	۸/۰۸	۳/۱۰	۳/۰۵	۱/۴۶	۱/۶۷	۱/۹۵
زمان تاخیر/زمان سفر	۱/۰۶	۱/۰۶	۱/۰۰	۱/۳۹	۱/۱۴	۱/۱۳
هزینه(میلیون ریال)	–	۲۰۰	۴۵۰	–	–	–

[1] Headway

[2] اساتید دانشگاه صنعتی شریف و دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترای حمل و نقل دانشگاه علم و صنعت



شکل دو- شبیه‌سازی تقاطع غیرهمسطح ورودی از بزرگراه صدر به مدرس جنوب توسط نرم‌افزار Aimsun

و) اولویت‌بندی گزینه‌ها

خروجی‌های نرم‌افزار شبیه‌ساز در جدول دو آورده شده است. نکته قابل توجه آنکه Section1 به بالادست ورودی و Section2 به پایین دست آن (پس از ادغام ترافیک ورودی به بدنه بزرگراه) اطلاق شده است.

بدیهی است تاثیر قابل ملاحظه سیستم کنترل رمپ در section2 اتفاق افتاده و موارد مربوط به بالادست صرفاً به خاطر مقایسه ثانویه و کنترل آورده شده است. همچنین هزینه تخمین اولیه برای اجرای سامانه که توسط استعلام از کارشناسان شرکت کنترل ترافیک تهران به دست آمده نیز آورده شده است.

هـ) تحلیل نتایج

در جدول سه، درصد بهبود سناریوهای ۲ و ۳ (زمانبندی ثابت و زمانبندی تطبیقی) نسبت به حالتی که هیچ تغییری در محل ایجاد نشد (سناریو۱) آورده شده است.

همچنین برای مقایسه بهتر زمانبندی ثابت و زمانبندی تطبیقی در ستون آخر آورده شده است.

جدول سه- میزان بهبود سناریوهای ۲ و ۳ (زمانبندی ثابت و تطبیقی) نسبت به حالت عدم تغییر (سناریو۱)

	2#Section					
	Scn.1	Scn.2	Scn.3	بهبود سناریو ۲ نسبت به ۱ (درصد)	بهبود سناریو ۳ نسبت به ۱ (درصد)	بهبود سناریو ۳ نسبت به ۲ (درصد)
جریان(عبوردهی)	۵۲۴۰	۵۵۵۴	۵۶۸۱	۵/۹۹	۸/۴۲	۲/۲۹
سرفاصله(Headway)	۱/۴۶	۱/۶۷	۱/۹۵	۱۴/۳۸	۳۳/۵۶	۱۹/۷۷
زمان تاخیر/زمان سفر	۱/۳۹	۱/۱۴	۱/۱۳	۱۴/۹۹	۱۸/۷۱	۰/۸۸

همانگونه که مشخص است سیستم کنترل رمپ بهبود به ترتیب ۶ و ۸/۵ درصدی نسبت به حالت بدون کنترل رمپ در عبوردهی بدنه بزرگراه به وجود آورده است. همچنین سرفاصله‌های پایین دست رمپ ورودی به ترتیب ۱۴ و ۳۳ درصد بهبود یافته و زمان سفر نیز حدود ۱۸ درصد (در هر دو سناریو) بهبود یافته است.

با ضرب وزن هر پارامتر (که از روش AHP به دست آمده است) در درصد بهبود آن، درصد مطلوبیت هر یک از سه سناریو به شرح جدول چهار به دست می‌آید.

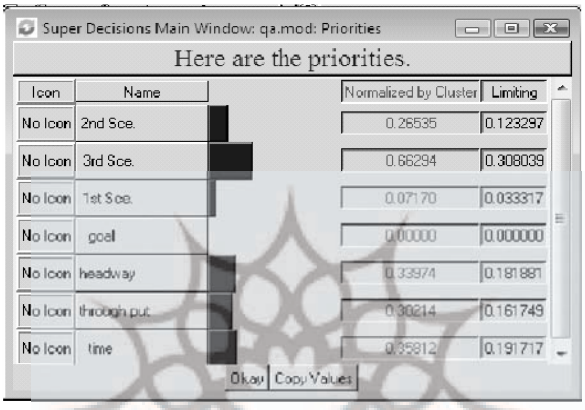
جدول چهار- محاسبه شاخص مطلوبیت هر سناریو

	Section #2						
	Scn.1	Scn.2	Scn.3	وزن AHP (درصد)	شاخص مطلوبیت سناریو۱	شاخص مطلوبیت سناریو۲	شاخص مطلوبیت سناریو۳
جریان(عبوردهی)	۵۲۴۰	۵۵۵۴	۵۶۸۱	۳۲	۱۶۷۶/۸	۱۷۷۷/۲	۱۸۱۷/۹
سرفاصله(Headway)	۱/۴۶	۱/۶۷	۱/۹۵	۳۰	۰/۴۳۸	۰/۵۰۱	۰/۵۸۵
زمان تاخیر/زمان سفر	۱/۳۹	۱/۱۴	۱/۱۳	۳۸	۰/۵۲۸۲	۰/۴۳۳۲	۰/۴۲۹۴
مجموع درصد مطلوبیت					۱۶۷۷/۷۶۶	۱۷۷۸/۲۱۴	۱۸۱۸/۹۳۴

بدیهی است همان‌گونه که انتظار می‌رفت ترتیب مطلوبیت سناریوها به ترتیب زمانبندی تطبیقی، زمانبندی ثابت و سپس عدم به کارگیری سیستم کنترل رمپ است اما نکته جالب اینجاست که سناریو ۲ با توجه به هزینه کمتر از نصف سناریو ۳ به درصد بهبودهای بسیار قابل توجهی رسیده است. در جدول پنج مطلوبیت هر سناریو با در نظر گرفتن هزینه انجام آن آورده شده است. همچنین در شکل سه نتایج نهایی حاصل از نرم‌افزار Super Decision ارائه شده است.

جدول پنج – محاسبه شاخص مطلوبیت هر سناریو و در نظر گرفتن اثر هزینه هر سناریو در شاخص مطلوبیت نهایی

	#۲Section			
	وزن AHP (درصد)	شاخص مطلوبیت سناریو۱	شاخص مطلوبیت سناریو۲	شاخص مطلوبیت سناریو۳
جریان(عبوردهی)	۳۲	۱۶۷۶/۸	۱۷۷۷/۲	۱۸۱۷/۹
سرفاصله(Headway)	۳۰	۰/۴۳۸	۰/۵۰۱	۰/۵۸۵
زمان تاخیر/زمان سفر	۳۸	۰/۵۲۸۲	۰/۴۳۳۲	۰/۴۲۹۴
مجموع شاخص مطلوبیت		۱۶۷۷/۷	۱۷۷۸/۲	۱۸۱۸/۹
هزینه(میلیون تومان)		۰	۲۰	۴۵
شاخص مطلوبیت کل		–	۸۸/۹	۴۰/۴



شکل۹: نتایج نهایی حاصل از نرم‌افزار Super Decision

بنابراین باوجود درصدهای بهبود بالاتری که از سناریو۳ (زمانبندی تطبیقی) می‌توان انتظار داشت با در نظر گرفتن هزینه بالای اجرای آن شاخص مطلوبیت آن به کمتر از نصف (نسبت به سناریو۲: زمانبندی ثابت) کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از خروجی‌های شبیه‌سازی و نظرات کارشناسان (روش تحلیل سلسله مراتبی) مطالب ذیل به عنوان نتایج تحقیق استخراج می‌شوند.

– اعمال محدودیت روی نرخ ورود خودروها از رمپ‌های ورودی به بدنه بزرگراه در محل مورد مطالعه و در دیگر بزرگراه‌های دارای وضعیت مشابه، اثرات مثبتی روی عبوردهی،

سرعت متوسط و سرفاصله زمانی بین خودروها دارد. این آثار مثبت روی هر پارامتر متفاوت بوده اما نتایج به دست آمده بین ۵ تا ۱۵ درصد بهبود را نمایش می‌دهد.

– با وجود اینکه اعمال زمانبندی محدودیت کنترل رمپ به صورت تطبیقی و به شکلی که هماهنگ با نرخ ترافیک عبوری بدنه بزرگراه باشد، نتایج بهتری را نسبت به زمانبندی ثابت نشان می‌دهد اما این میزان بهبود به اندازه‌ای که جبران هزینه بسیار بیشتر (بیش از دو برابر) سامانه کنترل رمپ تطبیقی نسبت به زمانبندی ثابت را بنماید، نیست و به همین دلیل با محاسبات صورت گرفته، شاخص مطلوبیت کل برای زمانبندی ثابت بهتر از حالت تطبیقی استخراج شده است.

– به غیر از منافع به دست آمده در این مقاله که به دلایل مختلف از جمله دشواری کمی‌سازی بسیاری پارامترها (از جمله ایمنی که یکی از منافع غیرقابل انکار سامانه کنترل رمپ است) می‌توان به منافعی همچون بهبودهای زیست محیطی، کاهش آلودگی صوتی، صرفه‌جویی در زمان مسافران، بهبود وضعیت کنترل مسیرها برای متصدیان حمل و نقلی و افزایش رضایت کاربران نیز محتمل است که به دلایل مختلف از جمله محدودیت‌های اطلاعاتی و نرم‌افزاری در این مقاله از آنها صرفنظر شده است.

– در مجموع به کارگیری سامانه کنترل رمپ برای رمپ‌هایی که با توجه به حجم ورودی بر جریان محور اصلی تاثیر گذارند به همراه انجام مطالعه جهت بررسی وجود بسترهای لازم و طراحی تفصیلی سامانه پیشنهاد می‌شود.

منابع

[1] Federal highway administration united states deportment of transportation; intelligent transportation system Benefits, 1999, FHA: Washington; 1999

[2] Vuchic.V. Urban Transit. New Jersey: Hoboken; 2005

[3] Dynac_es_atms. Integrated Traffic management solvtions. 2009/6/8; Transdyn: USA: Available from:
Http://www.transdyn.con/pdf/Dynac_es_Atms_03_14_08.pdf

[4] Levinson. H. S. Characteristics of Ramp control systems. USA: FTA; 2002

[5] Levinson. H.S, at all. Implementation Guidelines: Transportation research administration; 2004

[6] RITA. ITS benefits. 2009/6/8; its Technology: Washington, DC: Available from: http://itsbenefits.its.dot.gov/its/benecost.nsf/ID

[7]Delaware vally regional planning commi ssion. ITS technology. 2009/6/8: Philadelphia: available from:
http://www.dvrpc.org/transportation/its/technology_its.htm

[۸] شرکت مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک تهران؛ حمل و نقل و ترافیک تهران در یک نگاه، ۱۳۸۶، شهرداری تهران؛ ۱۳۸۶