

## مدیریت بهینه تراکم ترافیک با اخذ هوشمند عوارض از معابر درون شهری (پل طبقاتی صدر)

محمود صفارزاده

دانشکده عمران و محیط  
زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

امیر رسولی\*

پژوهشکده ایمنی و حمل و نقل  
هوشمند، پژوهشگاه حمل و  
نقل طراحان پارسه تهران.  
پست الکترونیک:

a\_rasouli\_a@yahoo.com

رشد جمعیت و افزایش تقاضای سفر منجر به تجاوز حجم ترافیک از ظرفیت، سطح سرویس نامطلوب و تراکم ترافیک در شبکه‌های آزادراهی و بزرگراهی شهری شده است. امروزه استراتژی‌های مختلفی جهت مدیریت تقاضای سفرهای شهری تدوین شده است که می‌تواند جهت افزایش کارایی سیستم حمل و نقل نقش مهمی داشته باشد. در انواع مختلف استراتژی‌ها، استراتژی قیمت‌گذاری یکی از مهم‌ترین روش‌ها می‌باشد که در مدیریت تراکم ترافیک نقش بسزائی داشته و به صورت گسترده‌ای مورد استفاده واقع می‌شود. در این مطالعه به منظور تامین سطح سرویس مطلوب پل طبقاتی صدر، نرخ عوارض مناسب تعیین و اثرات اعمال این سناریو بر معبر مورد مطالعه بررسی گردید.

واژگان کلیدی: تقاضای سفر، تراکم ترافیک، قیمت‌گذاری، حمل و نقل.

### ۱- مقدمه

رشد جمعیت و افزایش تقاضای سفر منجر به تجاوز حجم ترافیک از ظرفیت، سطح سرویس نامطلوب و تراکم ترافیک در شبکه‌های آزادراهی و بزرگراهی شهری و بین‌شهری شده است. با توجه به محدودیت‌های منابع مالی، زمین و حریم راه در دسترس و مبانی توسعه پایدار امروزه به‌جای توسعه زیرساخت‌های جاده‌ای، تاکید بر بهینه‌سازی استفاده از امکانات موجود با استفاده از روش‌های مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل<sup>۱</sup> و بخصوص بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل<sup>۲</sup> است.

امروزه کاهش تقاضا برای متناسب کردن تقاضا با عرضه، راه‌حلی مفید و قابل طرح برای حل مشکل ترافیک به‌ویژه در کلان‌شهرها است. سیاست‌های مختلفی در جهت نیل به این اهداف قابل اتخاذ است. سیاست‌های کاهش تقاضا به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- افزایش هزینه‌های استفاده از برخی وسایل نقلیه
  - اقدامات بازدارنده و یا تنظیم‌کننده
  - اعطای امتیاز ویژه به برخی وسایل نقلیه
- در سیاست‌های دسته اول هزینه مالی استفاده از وسایل نقلیه شخصی افزایش داده می‌شود و در نتیجه تقاضای استفاده از آن کاهش می‌یابد. تعدادی از این سیاست‌ها عبارت‌اند از مالیات بر مالکیت وسایل نقلیه شخصی، مالیات بر سوخت، قیمت‌گذاری راه و افزایش نرخ عوارض پارکینگ.
- سیاست‌های دسته دوم با اعمال محدودیت‌هایی بر تحرک وسایل نقلیه شخصی، باعث کاهش تقاضای استفاده از آن‌ها می‌گردد که شامل مواردی مانند ممنوعیت ورود وسایل نقلیه شخصی به محدوده ترافیک، افزایش زمان سفر بوسیله کنترل رمپ‌های ورودی به آزادراه، ممنوعیت پارکینگ و محدودیت‌های سرعت است.
- سیاست‌های دسته سوم با تغییر در سیستم، تقاضای استفاده از وسایل نقلیه شخصی را کاهش می‌دهد. این دسته سیاست‌ها شامل مواردی مانند تخصیص خطوط

\* نویسنده مسئول

<sup>1</sup> TSM

<sup>2</sup> ITS

- ارائه راهکاری برای جایگزین سازی مسیرهایی به دور از شلوغی
  - ایجاد درآمد
  - کاهش شلوغی
  - اختصاص هزینه‌هایی برای پرداخت توسط استفاده‌کنندگان
  - جایگزینی عوارض دریافتی با مالیات وارد بر مصرف سوخت استفاده‌کنندگان
- به طور کلی قیمت‌گذاری بر مسیر گردانندگان شبکه را در رسیدن به اهدافی مانند کاهش تعداد سفرها و کاهش تراکم ترافیک در برخی از مسیرهای شبکه، تغییر رفتار استفاده‌کنندگان در انتخاب وسیله نقلیه، تغییر مسیر، تغییر زمان سفر، هم‌پیمایی و تبدیل سفرهای جداگانه به سفر زنجیره‌ای یاری می‌کند [۳].

## ۲- مروری بر ادبیات موضوع

در این بند به اختصار به بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه قیمت‌گذاری تراکم پرداخته می‌شود. مطالعات یانگ و هوانگ<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۵ تشکیل صف در مناطق شهری را به عنوان یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر زمان سفر و زمان تاخیر در نظر گرفته است. در مطالعات این پژوهشگران فرض شده است که تمامی کاربران ارزش زمان یکسان داشته و نرخ ورود آنان به معبر یکسان می‌باشد. در شبکه معابر فرضی مورد بررسی، ظرفیت و تقاضای مسیر در نقطه تعادل به یکدیگر رسیده و بدون در نظر گرفتن محدودیت عوارض، تقاضا از ظرفیت مسیر بیشتر می‌شود [۴].

مطالعات ژانگ و یانگ در سال ۲۰۰۲ با محوریت شهرهای بزرگ و تک‌مرکز صورت پذیرفته و هدف اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری جهت کاهش تراکم در مرکز شهر در نظر گرفته است. پیاده‌سازی نتایج مطالعات در شهر شانگهای چین نشان داد برای زمان سفرهای متفاوت

ویژه‌ای از مسیر به هم‌پیمایی، تخصیص خطوط ویژه‌ای از مسیر به وسایل نقلیه همگانی و موارد دیگر است [۱].

تمامی راهکارهای مذکور در قالب سیاست‌های فوق بر اصل آگاه ساختن استفاده‌کننده از هزینه‌هایی که وی با استفاده از وسیله نقلیه شخصی و ورود به شبکه، به طور همزمان به سایر استفاده‌کنندگان از شبکه وارد می‌کند استوار است. این هزینه می‌تواند شامل زمان و پول صرف شده جهت انجام یک زنجیره سفر باشد.

با تعیین عوارض مناسب و بهینه، آن دسته از مسافران که با قیمت‌های جدید سفر خود را مقرون به صرفه می‌دانند از کمان‌های دارای عوارض شبکه استفاده خواهند کرد، و سایر استفاده‌کنندگان شبکه حمل و نقل به ناچار از آن کمان‌ها استفاده نمی‌کنند و یا از کل شبکه حذف می‌شوند و به این شکل بار ترافیکی کمان‌های خاص که طراحان شبکه در نظر گرفته‌اند، کاهش می‌یابد. نظریه و عمل نشان داده‌اند که دریافت عوارضی که درست طراحی و تعیین شده باشد و شیوه اخذ آن اصولی و مدرن طراحی گردد، می‌تواند نقش بسیار مؤثری در کاهش تراکم شبکه درون شهری ایفا کند.

اصول بنیادی قیمت‌گذاری بسیار ساده و شامل کاربرد یک مکانیزم قیمت‌گذاری مشابه روش‌های قیمت‌گذاری در بازار اقتصادی هستند. عوارض در زمان شلوغی باید بیشتر و در زمان‌های غیر اوج و حجم ترافیک کم باید کمتر باشند تا مانع از شلوغی افزاینده و تراکم در شبکه حمل و نقل درون شهری شوند.

همواره بین سیستم‌های قیمت‌گذاری به منظور تحمیل عوارض شلوغی، اهداف و مقاصد سیاسی، و فناوری‌های به کار رفته در آن‌ها رابطه و الگویی برقرار است که در واقع همان اهداف اصلی سیاست‌گذاری سیستم‌های قیمت‌گذاری تراکم در شبکه می‌باشند که آن‌ها به صورت مشخص‌تر به شش دسته زیر تقسیم شده‌اند [۲].

- پیشینه کردن ظرفیت بهره‌برداری

<sup>۱</sup> Yang & Huang

آلودگی مورد بررسی در این پژوهش دی اکسید کربن بوده و مدل انتخاب وسیله نقلیه لججیت در نظر گرفته شده است [۱].

### ۳- مفاهیم و تعاریف

به طور کلی مصرف‌کنندگان تحت اثر قیمت‌گذاری با ۲ گونه انتخاب روبرو خواهد بود. آنان در مرحله نخست ملزم به انتخاب وسیله سفر و در مرحله بعد، در صورت انتخاب وسیله نقلیه شخصی، ملزم به انتخاب مسیر خواهند بود.

مدل‌های تفکیک سفر به منظور تعیین سهم هریک از انواع وسایل نقلیه بر اساس شرایط اقتصادی- اجتماعی، نوع خدمات ارائه شده و عوامل مؤثر دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اطلاعات تقاضای سفر یکی از اصلی‌ترین و ضروری‌ترین داده‌های ورودی در برنامه‌ریزی و مهندسی حمل و نقل است و برای طراحی و مدیریت سیستم‌های حمل و نقل یکی از اطلاعات اساسی به حساب می‌آید. این اطلاعات نشان‌دهنده توزیع سفر میان نواحی ترافیکی در یک شبکه حمل و نقل بوده و احجام عبوری از هر مقطع را مشخص می‌کند.

یکی از پارامترهای مهم در تصمیم‌گیری پیرامون تعیین نرخ عوارض تردد، سهم آن در کاهش تقاضای تردد با وسیله نقلیه شخصی است. هرچند که در تعیین نرخ عوارض پارامترهای گوناگون اجتماعی، اقتصادی و سیاسی باید مورد توجه قرار گیرد اما اساساً کنترل میزان تمایل به پرداخت شهروندان و در پی آن تصمیم به تغییر وسیله سفر از شخصی به عمومی، راهنمای مناسبی در اینگونه تصمیم‌گیریهاست. به طور کلی تقاضا برای کالا و خدمات تا میزان بسیار زیادی به قیمت کالا و خدمات در ارتباط با سایر قیمت‌ها بستگی دارد. برای مثال تقاضا برای سفر به هزینه پرداختی توسط کاربر مرتبط می‌شود. تابع تقاضا برای یک محصول خاص نشان‌دهنده درجه تمایل مشتری

نسبت میزان تقاضا کاهش و سطح رفاه اجتماعی افزایش می‌یابد. بیشترین میزان بهبود نیز برای زمان سفرهای مابین ۱۰ دقیقه الی ۳۵ دقیقه گزارش شده است [۵].

مطالعات سومالی<sup>۱</sup> در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ نشان داد استفاده‌کنندگان در پاسخ به قیمت‌گذاری انجام شده در معابر رفتار خود را تغییر داده و تعادل جدیدی را در شبکه برقرار می‌کنند. سومالی برای حل مساله از یک روش ابتکاری استفاده نموده و الگوریتم خود را بر روی شهر ادینبرگ<sup>۲</sup> امتحان کرده است [۶].

در مطالعات مون - کانیشی و یاشیکاوا<sup>۳</sup> با ارائه یک مدل مکانی از تراکم ترافیک برای شهر تک مرکز، تاثیرات قیمت‌گذاری از طریق تعیین کمر بند و دریافت عوارض بر روی تولید سفر مورد بررسی قرار گرفته و موقعیت کمر بند نیز به صورت فاصله از ناحیه مرکزی شهر، و نرخ عوارض بر اساس بیشینه کردن کل مازاد منافع استفاده‌کنندگان تعیین گردیده است.

مطالعات می و مایلن<sup>۴</sup> چهار روش قیمت‌گذاری شبکه شامل گرفتن عوارض در حین عبور از کمر بند عوارض، عوارض بر اساس مسافت طی شده در طول سفر، عوارض بر پایه زمان سفر صرف شده در ناحیه مشخص و عوارض بر پایه تاخیر ناشی از تراکم ناشی از ترافیک در سفر با در نظر گرفتن تقاضای مشخص برای شهر کمبریج مورد بررسی قرار گرفت

در مطالعات آقابابازاده کنترل دینامیک به وسیله تغییر هزینه عوارض و هزینه پارک‌سوار بررسی شده است. در این مساله فرض شده است که نرخ انتشار آلاینده‌ها از منابع ثابت تولید آلودگی بدون تغییر می‌باشد. در واقع هدف از این پژوهش کنترل میزان آلودگی به وسیله محدود نمودن تردد وسایل نقلیه می‌باشد. در حقیقت در این مساله فرض شده است که نرخ انتشار آلاینده‌ها از منابع ثابت تولید آلودگی بدون تغییر است. شاخص

<sup>1</sup> Soumali

<sup>2</sup> Edinburg

<sup>3</sup> Moun Kanishi & Yashikava

<sup>4</sup> Mea & Mailen

نرخ عوارض پارامترهای گوناگون اجتماعی، اقتصادی و سیاسی باید مورد توجه قرار گیرد اما اساساً کنترل میزان تمایل به پرداخت شهروندان و در پی آن تصمیم به تغییر وسیله سفر از شخصی به عمومی، راهنمای مناسبی در اینگونه تصمیم‌گیریهاست آن‌چه بدیهی است برای استفاده از معابر در شرایط مطلوب و تامین سطح سرویس مناسب، به شکلی باید از میزان تقاضای موجود در معبر کاست.

سطح سرویس یک معیارسنجی کیفی است که شرایط عملی ترافیک و میزان رضایت رانندگان را از این شرایط توصیف می‌کند. این معیار به عواملی نظیر سرعت، زمان سفر، آزادی مانور و ایمنی جاده بستگی دارد. بطور کلی، سطح سرویس بر اساس سه شاخص کاربردی تعیین می‌گردد: چگالی، متوسط سرعت مکانی و نسبت نرخ تقاضا به ظرفیت ( $v/c$ ). هر یک از این شاخص‌ها نشان‌دهنده‌ی آنست که چقدر وسایل نقلیه قدرت مانور بهتری دارند. بعلاوه آنکه سرعت در محدوده‌ی وسیعی از جریان ثابت بوده و نسبت  $v/c$  مستقیماً توسط استفاده‌کنندگان از راه قابل درک و مشاهده نیست، سطح سرویس بر اساس چگالی در نظر گرفته می‌شود. جدول ۱ بطور خلاصه حدود چگالی‌های توصیه شده در کتاب راهنمای ظرفیت بزرگراه‌ها<sup>۷</sup> را در سطح سرویس‌های مختلف نشان می‌دهد.

همانطور که در جدول فوق نشان داده شده است، سطح سرویس در شش دسته از A تا F دسته‌بندی شده است. به نحوی که سطح سرویس A بیان‌گر بهترین شرایط و سطح سرویس F نشان دهنده‌ی بدترین شرایط ترافیکی و بیشترین چگالی است. سطح سرویس F زمانی رخ می‌دهد که نرخ جریان تقاضا بیش از ظرفیت باشد. به عبارت دیگر، سطح سرویس E و F ظرفیت راه را نشان می‌دهد. در بزرگراه‌ها ظرفیت در چگالی‌های مختلفی اتفاق می‌افتد که بستگی به سرعت آزاد راه دارد. بطوریکه، ظرفیت در چگالی  $40 \text{ pc/mi/ln}$  در سرعت  $60 \text{ mi/h}$  و در چگالی  $45 \text{ pc/mi/ln}$  در سرعت  $45 \text{ mi/h}$  وجود دارد.

<sup>7</sup> Highway Capacity Manual (HCM)

برای خرید آن محصول به قیمت‌های گوناگون است. برای مثال یک تابع تقاضا درجه تمایل تعدادی مسافر را که مایل به استفاده از قطار شهر و حومه با سطوح قیمت مختلف بین یک زوج مبدا و مقصد برای یک سفر خاص در طی یک دوره زمانی معین می‌باشد را نشان می‌دهد. اصطلاح قیمت به تمامی هزینه‌هایی که به مسافر تحمیل می‌شود اطلاق می‌گردد.

بطور کلی انجام عملیات پرداخت برای دریافت مجوز ورود به معبر قیمت‌گذاری شده و کنترل این مجوز با استفاده از فن‌آوری‌های مختلفی قابل انجام است. سیستم‌های<sup>۱</sup>ANPR،<sup>۲</sup>RFID و ترکیبی از سیستم‌های خودکار اخذ عوارض از خودروها مهمترین و پرکاربردترین این سیستم‌ها هستند.

برخی بزرگراه‌ها مستقل از استراتژی‌های کنترلی به شناساگرهایی برای ثبت اطلاعات بهنگام بزرگراه نیاز دارند. بطور کلی، شناساگرهای وسیله‌ی نقلیه شامل شناساگر مسیر اصلی<sup>۳</sup>، شناساگر صف<sup>۴</sup>، شناساگر تقاضا<sup>۵</sup> و شناساگر عبور<sup>۶</sup> است. بطور کلی قرارگیری ۲ شناساگرها به ابعاد  $1/8 \times 1/8$  در هر خط عبوری بزرگراه با فاصله‌ی لبه‌ی داخلی  $6/1$  متر ضروری خواهد بود. بدین معنی که اگر دایره‌ای به مرکز نقطه‌ی مثلثی رنگ شده در محل همگرایی و به شعاع فاصله‌ی شتاب‌گیری رسم گردد، محل قرارگیری این شناساگر در خط اصلی بر روی محیط این دایره قرار خواهد گرفت.

#### ۴- تامین سطح سرویس مطلوب با اجرای

#### سیاست قیمت‌گذاری

یکی از پارامترهای مهم در تصمیم‌گیری پیرامون تعیین نرخ عوارض تردد، سهم آن در کاهش تقاضای تردد از پل با وسیله نقلیه شخصی است. هرچند که در تعیین

<sup>1</sup>Automatic Plate Number Recognition

<sup>2</sup>Radio Frequency Identification

<sup>3</sup>Mainline Detection

<sup>4</sup>Advance Queue Detection

<sup>5</sup>Demand Detection

<sup>6</sup>Passage Detection

جدول ۱- سطح سرویس بزرگراه‌ها [۷]

سطح سرویس	سرعت آزاد (مایل بر ساعت)	چگالی (وسیله نقلیه بر مایل بر ساعت)
A	ALL	>۰-۱۱
B	ALL	>۱۱-۱۸
C	ALL	>۱۸-۲۶
D	ALL	>۲۶-۳۵
E	۶۰	>۳۵-۴۰
	۵۵	>۳۵-۴۱
	۵۰	>۳۵-۴۳
	۴۵	>۳۵-۴۵
F	Demand Exceed Capacity	
	۶۰	>۴۰
	۵۵	>۴۱
	۵۰	>۴۳
	۴۵	>۴۵

از پارک جنگلی لویزان با اتصال به جاده فیروزکوه خاتمه می‌یابد. این بزرگراه از ابتدای انقلاب اسلامی تا سال ۱۳۶۹ منتهی به تقاطع قیطریه (میدان پیروز) بوده که در فاصله سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۲ با تکمیل عملیات اجرایی و ساخت سه زیرگذر به نام‌های کامرانیه (شهید بازدار)، شهید دوقوز (دادبخش) و بلوار شهید دستواره (معصومی) و یک تقاطع غیر هم‌سطح در خیابان پاسداران در خرداد سال ۷۲ به میدان نوبنیاد متصل شد. حد فاصل بزرگراه‌های شهید صدر و شهید سرلشکر بابایی توسط پل پاسداران مشخص شده است.

طرح اولیه بزرگراه طبقاتی صدر مربوط به سال ۱۳۶۰ شمسی است که تا سال ۱۳۸۹ به دلایل متعددی این پروژه دنبال نشد. بزرگراه صدر به عنوان نخستین پل تک پایه طبقاتی کشور شامل یک پل اصلی به عرض ۲۲/۷۰ متر و طول تقریبی ۶ کیلومتر است که این رقم با احتساب رمپ‌های دسترسی به ۱۱ کیلومتر می‌رسد. در حقیقت با احتساب پل‌های جهتی و پل‌های متصل‌کننده طبقه فوقانی به تراز موجود در تقاطع‌های بزرگراه مدرس، خیابان کاوه، خیابان قیطریه، خیابان کامرانیه و بزرگراه امام علی (ع) طول این بزرگراه طبقاتی به حدود ۱۱ کیلومتر می‌رسد. در تقاطع قیطریه، تبادلات که در چهار سطح ارتفاعی تأمین شده امکان دسترسی به جهات مختلف حرکتی در سطح بزرگراه را تأمین کرده است. بزرگراه طبقاتی صدر دارای دو باند رفت و دو باند برگشت بوده و در هر مسیر یک خط اضطراری برای عبور خودروهایی ویژه طراحی شده است. شکل ۱ دسترسی‌های پل طبقاتی صدر را که مشتمل بر دو دسترسی در محدوده بزرگراه امام علی، دو دسترسی در محدوده قیطریه و یک دسترسی در بلوار کاوه می‌باشد نمایش می‌دهد.

یکی از نتایج مهم تحلیل حساسیت سهم استفاده از مسیرهای موجود در شرایط اخذ عوارض و بررسی میزان عوارض مورد نظر در سطح سرویس‌های مختلف در مقطع بحرانی است

هدف مورد نظر در این پژوهش کنترل حجم ورودی به معبر و در نتیجه بهبود سطح سرویس است. یک روش مدیریتی مؤثر در کاهش تقاضای استفاده، قیمت‌گذاری استفاده از معبر می‌باشد. بطوریکه، بر اساس تئوری تقاضا با افزایش هزینه‌ی استفاده کننده میزان تقاضا کاهش یافته و به تبع آن چگالی نیز کاهش خواهد یافت.

## ۵- مطالعه موردی

بزرگراه شهید صدر یک شریان شرقی- غربی بوده که بزرگراه شهید مدرس واقع در شمال تهران را به میدان نوبنیاد متصل کرده و با نام شهید سرلشکر بابایی با عبور



شکل ۱- دسترسی‌های پل طبقاتی

طبقاتی وارد شده‌اند در این مقطع همگرا شده و تا انتهای پل با یکدیگر حرکت می‌کنند. حجم بحرانی این مقطع برابر ۳۳۶۰ خودرو در ساعت می‌باشد. این بدان معناست که در وضعیت موجود سطح سرویس پل در ساعت اوج در سطح سرویس E می‌باشد.

پرسشگری در سطح معبر مورد مطالعه در ارتباط با اعمال عوارض به میزان ۲۰۰۰ تومان نشان داد حدود ۴۲ درصد از تقاضا تمایل به پرداخت خود را حفظ می‌نماید. پس از آن تمایل به پرداخت با شیب منفی قابل توجهی کاهش می‌یابد به نحوی که در سطح قیمتی ۵۰۰۰ تومان ۶۷ درصد تقاضا به گزینه‌های دیگر منحرف شده و تنها ۳۳ درصد تمایل به پرداخت عوارض خواهند داشت. این تمایل در سطوح قیمتی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ هزار تومان به ترتیب به ۱۹، ۱۰ و ۵ درصد از مجموع تقاضا محدود می‌گردد.

تحلیل نتایج تمایل به پرداخت استفاده‌کنندگان نشان از کم بودن این تمایل دارد. دلیل این رخداد را می‌توان در عدم تجربه شهروندان در استفاده از یک تسهیل موزای دارای عوارض، ولی با سطح سرویس بهتر، جستجو نمود. به بیان دیگر شهروندان تهرانی تجربه‌ای در خصوص وجود یک معبر دارای عوارض اما مناسب برای سفرهای دوربرد درون شهری که موجب صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان سفرشان می‌گردد ندارند.

سرعت مجاز پل در سرتاسر مسیر شرق به غرب برابر با ۷۰ کیلومتر بر ساعت یا ۴۳/۴ مایل بر ساعت می‌باشد. بر اساس مذکور و با توجه به نکات بیان شده در ارتباط با سرعت نرخ جریان این معابر بدست خواهد آمد. جدول ۲ این مقادیر را برای سطح سرویس‌های A تا E در پل طبقاتی صدر نشان می‌دهد.

جدول ۲- سطح سرویس پل طبقاتی صدر

سطح سرویس	سرعت آزاد (مایل بر ساعت)	چگالی (وسیله نقلیه بر مایل بر خط)	حجم (وسیله نقلیه بر ساعت)
A	ALL	>۰-۱۱	۱۰۱۲
B	ALL	>۱۱-۱۸	۱۶۵۶
C	ALL	>۱۸-۲۶	۲۳۹۲
D	ALL	>۲۶-۳۵	۳۲۲۰
E	۵۰	>۳۵-۴۳	۳۹۵۶

پل طبقاتی صدر در مسیر شرق به غرب دارای رمپ‌های ورودی از امام علی جنوب، بابایی غرب، صدر غرب، قیطره جنوب و کاوه جنوب است. در عین حال تنها خروجی پل در مقطع انتهایی پل، یعنی در محلی است که پل پایان می‌پذیرد. این مطلب موید آن است که مقطع بحرانی پل طبقاتی در مسیر شرق به غرب حد فاصل رمپ ورودی از کاوه جنوب تا خروجی آن می‌باشد، زیرا کلیه خودروهایی که از رمپ‌های مختلف به پل

منظور در ابتدا معابر مورد نظر از نرم افزار اتوکد وارد سیستم نرم افزار شبیه سازی شده و شبکه معابر در Aimsun بر روی آن ترسیم می گردد.

پارامترهای کالیبراسیون نرم افزار نیز در نرم افزار تصحیح شده و شرایط شبیه سازی با توجه به معبر مورد نظر تنظیم می گردد. ساعت اوج نیز بر اساس ساعت اوج ترافیک معبر (۶/۴۵ - ۷/۴۵ صبح) تعیین شده است. خروجی های حاصل شده از نرم افزار به شکل مختصر در ادامه ارائه می گردند.

### ۶-۱- زمان تاخیر

تأخیر در حالت کلی عبارت است از زمان اضافی لازم برای عبور از مسافتی که در آن، عاملی از حرکت جریان ممانعت می کند. هنگامی که حجم رویکردهای مختلف در مسیر افزایش می یابد و از ظرفیت آن تجاوز می کند به تدریج صف تشکیل شده و این شرایط تا زمانی که تقاضای وسایل نقلیه برای عبور در رویکردهای مختلف کاهش پیدا نکند ادامه می یابد.

در اثر اعمال سیاست قیمت گذاری در جهت تامین سطح سرویس B، تغییراتی در زمان تاخیر در رمپ های منتهی به پل طبقاتی و مسیر پل، و نیز رمپ های منتهی به بزرگراه هم سطح صدر و مقطع بزرگراه ایجاد می شود که در جدول ۴ نشان داده شده است.

همان گونه که در جدول ۴ نشان داده شده است زمان تاخیر در رمپ های ورودی به پل طبقاتی تغییر قابل توجهی نسبت به شرایط پیش از اعمال سناریو قیمت گذاری داشته و بهبود نسبی پیدا کرده اند، اما در همین شرایط برخی مقاطع بزرگراه هم سطح شهید صدر که در شرایط معمول از تراکم ترافیک و زمان تاخیر بالا رنج می برد تراکم ترافیک افزایش پیدا می کند.

### ۶-۲- نسبت جریان به ظرفیت

در این مطالعه هدف از اعمال عوارض بر پل طبقاتی صدر تامین سطح سرویس B در معبر و بررسی اثرات ناشی از این اعمال این سیاست می باشد.

با توجه به محاسبات موجود برای دستیابی به سطح سرویس B در ساعت اوج، لازم است ۱۶۵۶ خودرو در ساعت از پل طبقاتی عبور نمایند که این برابر ۴۹٪ وسایل نقلیه ای است که هم اکنون از مسیر پل استفاده می نمایند. مطابق با اطلاعات موجود، نرخ عوارضی که این سهم تردد را بر روی پل طبقاتی موجب می شود برابر ۱۴۶۵ تومان در ازای هر بار تردد خودرو می باشد. بدین ترتیب نرخ عبوری از رمپ های پل به شرح جدول ۳ خواهد بود.

جدول ۳- نرخ ورود به رمپ در سناریو تامین سطح سرویس B

رمپ	نرخ ورود به پل در وضع موجود (وسيله بر ساعت)	نرخ ورود به پل در تامین سطح سرویس B
امام علی جنوب	۵۷۵	۲۸۲
بابایی غرب	۶۴۷	۳۱۷
صدر غرب	۱۰۰۶	۴۹۳
قیطریه جنوب	۲۹۲	۱۴۳
کاوه جنوب	۸۴۰	۴۱۲

در چنین شرایطی در مقطع بحرانی پل، که حد فاصل ورودی کاوه به پل طبقاتی صدر غرب تا انتهای آن می باشد، تعداد ۱۴۱۱ خودرو در حال تردد می باشند که سطح سرویس B در این مقطع تامین خواهد شد.

### ۶-۶- ورود اطلاعات به نرم افزار شبیه ساز و بررسی خروجی آن

مدل های شبیه سازی ترافیک با استفاده از روش های عددی و به کمک رایانه، چگونگی رفتار ترافیک را در یک دوره زمانی و برای سیستم با شرایط معین، تشریح می کنند. در این مطالعه از نرم افزار Aimsun 6.1 به منظور انجام شبیه سازی ترافیکی انجام شده است. بدین

جدول ۵- نسبت تغییرات جریان به ظرفیت به وضع موجود

D	مقطع
۱/۳۲	امام علی جنوب به بابایی غرب
۰/۵۱	امام علی جنوب به پل
۰/۴۹	پل مقطع بعد از امام علی
۰/۴۷	بابایی غرب به پل
۱/۰۷	بابایی غرب بعد از خروجی پل
۰/۵	صدر غرب به پل
۱/۱۴	صدر غرب بعد از خروجی پل
۰/۴۹	پل مقطع قبل از قیطره
۰/۳۵	رمپ قیطره به پل
۰/۴۷	پل مقطع بعد از قیطره
۱/۱۸	صدر بعد از قیطره
۰/۴۵	رمپ کاوه به پل
۰/۴۷	پل بعد از کاوه
۱/۴۷	رمپ کاوه به صدر همکف غرب
۱/۲۳	صدر غرب مقطع بعد از کاوه

به علت انحراف تقاضای استفاده از پل طبقاتی، تغییرات قابل توجهی در مقاطع موازی پل طبقاتی و در بزرگراه همسطح شهید صدر حاصل می‌شود. وسایل نقلیه‌ای که تمایل به پرداخت عوارض نداشته به ناچار از مسیر جایگزین صدر همسطح تردد کرده و بر نسبت جریان به ظرفیت در معبر تاثیرگذار خواهد بود.

#### ۷- بررسی چگالی رمپ‌ها

منظور از چگالی تعداد وسایل نقلیه‌ای است که واحد طول یک خط عبور یا خطوط عبور یک مسیر را در یک لحظه زمانی مشخص اشغال می‌کند. چگالی معمولاً بر

نسبت جریان به ظرفیت در معابر پارامتری است که می‌توان برای بررسی وضعیت تردد در معبر از آن بهره گرفت. هرچه در سطح معبر نسبت جریان عبوری به ظرفیت آن بیشتر باشد، تردد ترافیک با دشواری بیشتری صورت خواهد پذیرفت.

جدول ۴- نسبت تغییرات زمان تاخیر به وضع موجود

D	مقطع
۱/۰۱	امام علی جنوب به بابایی غرب
۰/۵۱	امام علی جنوب به پل
۰/۷۷	پل مقطع بعد از امام علی
۰/۹۸	بابایی غرب به پل
۱/۰۶	بابایی غرب بعد از خروجی پل
۰/۸۶	صدر غرب به پل
۱/۰۷	صدر غرب بعد از خروجی پل
۰/۹۱	پل مقطع قبل از قیطره
۰/۹۳	رمپ قیطره به پل
۰/۰۶	پل مقطع بعد از قیطره
۱/۱۲	صدر بعد از قیطره
۰/۸۸	رمپ کاوه به پل
۰/۶۸	پل بعد از کاوه
۱/۳۳	رمپ کاوه به صدر همکف غرب
۱/۰۹	صدر غرب مقطع بعد از کاوه

همان‌گونه که اطلاعات جدول نشان می‌دهد در اثر اعمال سناریو قیمت‌گذاری و اخذ عوارض با استفاده از تجهیزات نوین و هوشمند در راستای اهداف مدیریت ترافیک، نسبت جریان به ظرفیت در رمپ‌های ورودی به پل بهبود چشمگیری پیدا کرده است.



طور کلی، مقطه بحرانی مربوط به این مطالعه شامل محدوده رمپ کاوه تا مقطع انتهایی پل بوده و بیشترین تراکم ترافیک در این محدوده مشاهده می‌شود. اجرای سناریو اخذ عوارض از وسایل نقلیه‌ای که تصمیم به عبور از پل طبقاتی صدر داشته‌اند علاوه بر تامین سطح سرویس مطلوب بر کاهش نرخ آلاینده‌های متصاعد از خودروها تاثیر مطلوبی بر جای می‌گذارد. نتایج مطالعات حاکی از آن بود که در مقطع بحرانی پل نرخ آلاینده‌ها در حدود ۴۷٪ کاهش یافته و شاخص پاکیزگی در تناسب با آن بهبود پیدا می‌کند.

## ۹- نتیجه‌گیری

در راستای اعمال سیاست‌های قیمت‌گذاری، تعیین نرخ بهینه عوارض از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا در نرخ‌های عوارض بالا اگرچه در ازای عبور هر خودرو مبلغ قابل توجهی به عنوان عایدات سیستم از راننده اخذ می‌گردد، اما تعداد افرادی که تمایل به پرداخت در این سطح قیمت از خود نشان می‌دهند پایین می‌باشد. در بررسی پارامترهای ترافیکی حاصل شده از خروجی نرم‌افزار مشخص شد تاثیر در نسبت جریان به ظرفیت ناشی از اعمال سیاست قیمت‌گذاری تاثیر قابل توجهی بر وضعیت تردد معبر بر جای گذاشته در عین حال که سطح سرویس مورد نظر نیز تامین می‌گردد. این تاثیر در رمپ‌های ورودی به پل بسیار مشهود بوده به‌شکلی که اعمال سیاست قیمت‌گذاری در رمپ‌های منتهی به پل طبقاتی موجب بهبود نسبت جریان به ظرفیت تا حدود ۵۰ درصد شده است.

بررسی تاثیر اعمال سیاست ذکر شده در این مطالعه بر زمان تاخیر مشخص نمود بیشترین تاثیر بر کاهش زمان تاخیر تحت اجرای سناریوی قیمت‌گذاری این سیاست در رمپ ورودی به پل از بزرگراه امام علی جنوب (ع) که حد فاصل ورودی بلوار کاوه تا انتهای آن می‌باشد، موجب بهبود ۵۱ درصدی زمان تاخیر نسبت به وضع موجود، شده است.

اساس تعداد وسیله نقلیه در کیلومتر بیان می‌شود. چگالی متوسط نیز تعداد وسایل نقلیه در واحد طول مسیر برای یک مدت زمانی مشخص را معرفی می‌کند.

اعمال سناریوی قیمت‌گذاری با تغییر حجم خودروهای عبوری از هر مقطع، چگالی آن‌ها را دچار تغییر می‌کنند. بدیهی است چگالی هر مقطع تحت شرایط سناریو باید با چگالی آن در وضع موجود مقایسه گردد.

جدول ۵- نسبت تغییرات چگالی به وضع موجود

D	مقطع
۰/۴۸	امام علی جنوب به پل
۰/۵	بابایی غرب به پل
۰/۵۳	صدر غرب به پل
۰/۴	رمپ قیطره به پل
۰/۵۲	رمپ کاوه به پل

همان‌گونه که از مندرجات جدول مشخص است تغییراتی در حدود ۵۰ درصد در چگالی وسایل نقلیه عبوری از پل حادث می‌شود، لذا قیمت‌گذاری با سیاست تامین سطح سرویس B می‌تواند در حدود نیمی از چگالی پل طبقاتی را منحرف نماید.

## ۸- بررسی منافع حاصل در ارتباط با نرخ

### آلاینده‌گی

آمارهای منتشره حاکی از آن است که خودروهای آلاینده سومین منبع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای هستند. از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده گازهای گلخانه‌ای می‌توان به دی اکسید کربن، متان، و اکسید نیتروژن اشاره کرد. طبق آخرین برآورد محققان بریتانیایی، بیش از ۲۰٪ کل گازهای گلخانه‌ای از طریق خودروهای آلاینده تولید می‌شود. از این مقدار، بیش از ۸۵٪ آن ناشی از انتشار گاز و از طریق خودروهای آلاینده است.

در این مطالعه مقادیر فوق در نظر گرفته شده و علاوه بر مطالعات تئوری، توسط نرم‌افزار شبیه‌ساز نیز کالیبره شد. به

## مراجع

- [۱] آقابازاده، مدیریت تقاضای شهری برای کاهش آلودگی هوا با قیمت‌گذاری شبکه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکاه صنعتی شریف، صفحه ۲۵، ۱۳۸۴.
- [۲] امیرقلی، قیمت‌گذاری منطقه‌ای برای کنترل شلوغی در مرکز شهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، صفحه ۳۲، ۱۳۸۹.
- [3] Jonathan, L., The London Congestion Charge. *Journal of Economic perspective*, Vol 2, No 3, 12, 13, 2006.
- [4] Yung, H. et al., *Mathematical and economic theory of road pricing*, Department of Civil engineering, University of Minnesota, 2005.
- [5] Zhang, X, et al. The optimal cordon-based network congestion pricing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2004.
- [6] Sumalee, A., Optimal toll ring design with spatial equity impact constraint: an evolutionary approach. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2013.
- [7] Transportation research board, "Highway Capacity Manual", Washington D.C, 2010.

**M. Safarzade**

Department of Civil and  
Environmental Engineering,  
Tarbiat Modares University.

**A. Rasuli \***

Safety and Intelligent  
Transportation Institute,  
Tarahan Parseh Transportation  
Research Institute.

**e-mail:** a\_rasouli\_a@yahoo.com

## **Effective Traffic Congestion Management Using Automatic Toll Collection on Urban Highways (Case Study: Sadr Multilevel Highway)**

*Population and traffic demand growth have caused over-capacity traffic volume, unpleasant level of service, and traffic congestion in urban freeway/highway networks. Various demand management strategies are used these days which have significant role in network performance boosting. Pricing is one of these popular strategies which is effectively used world-wide. In this paper, a reasonable toll price is determined for Sadr multilevel highway and pricing effects on this highway is studied.*

**Keywords:** *Travel Demand, Traffic Congestion, Pricing, Transportation.*

---

\* Corresponding author