

# بررسی هزینه استفاده‌کنندگان از بزرگراه به هنگام عملیات

## اجرائی

حبیب ا... نصیری<sup>i</sup>؛ محمد پوررضا<sup>ii</sup>

### چکیده

محوطه عملیات راهسازی در بزرگراه‌ها به علت تراکم ترافیکی و تأخیر ناشی از آن، افزایش مصرف سوخت و استهلاک وسایل نقلیه، نشر آلاینده‌ها، کاهش ایمنی و افزایش تصادفات باعث بالا رفتن هزینه استفاده‌کنندگان از راه می‌شود. در این مطالعه پس از بررسی این هزینه‌ها توابعی ریاضی برای محاسبه هزینه‌های ناشی از تأخیر، افزایش مصرف سوخت و نشر آلاینده‌ها در محوطه عملیات راهسازی ارائه شد. با استفاده از برنامه شبیه‌سازی FRESIM و نتایج حاصل از آمارگیری، محوطه عملیات راهسازی مدل شد. تأخیر از طریق کسر زمان سفر در سرعت آزاد از زمان سفر حاصل از برنامه به دست آمد و نتایج نشان داد که تأخیر در بالادست باند مسدود به صورت تابعی نمایی از حجم ورودی، حجم وسایل نقلیه سنگین و طول محوطه عملیات راهسازی است و در باندهای مجاور باند بسته، تابعی از طول محوطه عملیات راهسازی و محدودیت سرعت می‌باشد. تأخیر در پایین‌دست محوطه عملیات راهسازی؛ که ناشی از افزایش شتاب است، مقدار ناچیزی است که از آن صرف‌نظر می‌شود. همچنین نتایج حاصل از بررسی هزینه‌ها نشان داد مهم‌ترین بخش از هزینه‌ها، هزینه‌های ناشی از تأخیر است.

### کلمات کلیدی

محوطه عملیات راهسازی، هزینه استفاده‌کنندگان، تأخیر، شبیه‌سازی، FRESIM.

## *Evaluation of Road User Costs at Work zones Areas*

H. Nassiri; M. Pourreza K.

### ABSTRACT

Highways work zone areas due to their traffic lane restrictions impose excess user costs mostly additional travel time, fuel consumption, air pollution, accident as well as wear and tear of vehicle. In this paper, mathematical functions for calculation of costs caused by delay, fuel consumption and air pollution are developed and a final function covering all of these factors is presented.

For this study, entry traffic volume to work zone area, vehicle travel time during the peak morning hours and peak afternoon hours were collected and by applying the FRESIM simulation program, work zone traffic behaviors were modeled. The amounts of delays in lanes adjacent to the closed lane were obtained as a function of closed lane length and vehicle speeds. The results indicate that in the upper portion of the closed lane, the amounts of delays are an exponential function of entry flow rate, heavy vehicles proportion of traffic volume, and close lane length. Comparisons of different factors indicated that delay was the major contributor of the total cost.

### KEYWORDS

Work Zone, User Cost, Delay, Simulation, FRESIM

<sup>i</sup> استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف: nassiri@sharif.edu

<sup>ii</sup> کارشناسی ارشد (گرایش راه و ترابری)، دانشگاه صنعتی شریف: mohammad\_pourreza@yahoo.com

خصوصاً در سال های اخیر، این مطالعات در مورد هزینه های تأخیر ناشی از تشکیل صف در محوطه عملیات راهسازی کمتر است.

مارتینلی<sup>۲</sup> و همکارانش با بررسی تئوری تأخیرهای ناشی از کاهش سرعت و تراکم، تأثیر استراتژی های مختلف بستن باند و طول بهینه محوطه های عملیات راهسازی را بررسی کردند [۲]. شیبویا<sup>۳</sup> و همکارانش در مطالعه ای به منظور زمانبندی حرکت وسایل نقلیه در محوطه های عملیات راهسازی نشان دادند که تأخیرهای ناشی از افزایش و کاهش شتاب ۳۵ تا ۴۰ درصد از کل تأخیر را دربر می گیرد [۳].

مککی و همکارانش روشی برای بهینه کردن طول به منظور کمینه کردن هزینه های استفاده کنندگان از راه در بزرگراه ها ارائه کردند. در این روش، چهارچوب حداقل کردن هزینه نهایی ساخت و ساز، تأخیر، استهلاک و سیله نقلیه و هزینه های تصادف ارائه شد [۴]. مارتینلی و ژو<sup>۴</sup> با ارائه مدلی، که بیشتر بر اساس روابط و جداول موجود در دستنامه ظرفیت راه ها تنظیم شده بود، هزینه های تأخیر صف وسایل نقلیه را به مدل مککی اضافه کردند [۲].

جیانگ<sup>۵</sup> در تحقیقی نشان داد که نرخ های جریان ترافیکی، سرعت های وسایل نقلیه و طول محوطه های عملیات راهسازی بیشترین تأثیر را بر هزینه های استفاده کنندگان می گذارد و هزینه های ناشی از تأخیر صف وسایل نقلیه بیشترین تأثیر را دارد [۵]. اسپونفلند و چین<sup>۶</sup> مدلی برای جاده های دوبانده با در نظر گرفتن هزینه های نگهداری و هزینه های تأخیر ارائه کردند [۶].

دلوار و پاپاگیناکیس<sup>۷</sup> در تحقیقی به مقایسه هزینه های تأخیر و هزینه های عملیات های مختلف نگهداری، ترمیم و تعمیر پرداختند و نشان دادند در حجم های زیاد، هزینه های ناشی از تأخیر می تواند تأثیر چشم گیری در تصمیم گیری های مربوط به تعمیر و ترمیم راه بگذارد [۷]. در تحقیقی دیگر که دیکسون<sup>۸</sup> و همکارانش انجام دادند، با استفاده از روش شبیه سازی ترافیکی مایکروسکوپیک مدل هایی برای زمان سفر، مصرف سوخت و هزینه های اضافی استفاده کنندگان از راه ارائه شد [۸].

### ۳- هزینه های ناشی از تأخیر

مطالعات انجام شده در زمینه محاسبه تاخیرها در محوطه عملیات راهسازی، نشان می دهد که این تاخیرها یا به وسیله توابع ریاضی و یا با استفاده از شبیه سازی محوطه عملیات راهسازی و یا تلفیقی از دو روش یاد شده محاسبه می شوند. یکی از پارامترهای مورد نیاز توابع ریاضی در محوطه عملیات راهسازی پارامتر ظرفیت است. از این گذشته به منظور برآورد

امروزه همراه با نیاز به ساخت راه های جدید در کشورهای در حال توسعه، نگهداری و مرمت راه های ساخته شده نیز اهمیت زیادی پیدا کرده است. برای نگهداری و تعمیر راه ها به بستن آنها و ایجاد محل های کار در طول راه نیاز است، که به اصطلاح به آن محوطه عملیات راهسازی<sup>۱</sup> گفته می شود. در راهنمای ظرفیت راه ها<sup>۲</sup> سال ۱۹۹۴ محوطه عملیات راهسازی این گونه تعریف می شود: در یک ناحیه از بزرگراه که فعالیت های نگهداری و ساخت و ساز واقع می شود و بر روی تعداد باندهای موجود برای حرکت ترافیکی اثر می گذارد و مشخصات عملکردی جریان ترافیک را در سرتاسر ناحیه تحت تأثیر قرار می دهد [۱].

محوطه های عملیات راهسازی در بزرگراه ها با ایجاد گرده های ترافیکی باعث افزایش تأخیر و زمان سفر استفاده کنندگان از وسایل نقلیه می شوند. از سوی دیگر، این اختلال در ترافیک باعث افزایش هزینه استفاده کنندگان از راه می شود. در محاسبه هزینه های اضافی استفاده کنندگان از راه ابتدا به بررسی عوامل موثر در این هزینه ها بررسی و سپس از روش های مختلف، این هزینه ها محاسبه می شوند. هدف از این تحقیق به دست آوردن تابع هزینه استفاده کنندگان از وسایل نقلیه در محدوده عملیات راهسازی است. به طور کلی هزینه های استفاده کنندگان از راه شامل هزینه های ناشی از تاخیر، هزینه های ناشی از افزایش مصرف سوخت، هزینه های مربوط به افزایش نشر مواد آلاینده، هزینه های مربوط به تصادفات و استهلاک وسایل نقلیه است. در این مطالعه هزینه های مربوط به تصادفات و استهلاک وسایل نقلیه با توجه به عدم امکان دسترسی به آنها و یا عدم وجود اطلاعات کافی در مورد آنها در نظر گرفته نشده اند.

### ۲- مروری بر مطالعات پیشین

مطالعات مربوط به محوطه عملیات راهسازی را می توان بطور کلی در چهار حوزه زیر بررسی کرد:

- بررسی تصادفات و میزان ایمنی در این محوطه ها
- بررسی تأثیر ابزار کنترل ترافیک بر رفتار رانندگان و ایمنی در این مکان ها
- مشخصات جریان ترافیکی از قبیل سرعت، ظرفیت، تأخیر و طول صف
- هزینه ها که در آن استراتژی های بستن راه و طول بهینه بررسی می شود.

علی رغم فراوانی مطالعات انجام شده در سه مورد اول

تاخیر ناشی از کاهش شتاب، به دست آوردن فاصله کاهش شتاب کار دشواری است. بنابراین، در این تحقیق از روش شبیه‌سازی برای مدل‌کردن شرایط محوطه عملیات راهسازی به منظور محاسبه تاخیرهای به وجود آمده، استفاده شده است. از مطالعاتی که برای محاسبه هزینه‌های استفاده کنندگان از راه و بررسی تأخیرها با استفاده از روش شبیه‌سازی محوطه عملیات راهسازی انجام شده است می‌توان به مطالعه و دیکسون و همکارانش اشاره کرد [۸]. در این تحقیق سه محوطه عملیات راهسازی؛ که دارای یک باند بسته از دو باند بودند مورد بررسی شد و به وسیله مقایسه میانگین سرعت در محدوده و نتایج حاصل از برنامه شبیه‌سازی، مدل پرداخت شد و آنگاه از مدل پرداخت شده در محاسبه تأخیرها استفاده شد. تأخیر به صورت زمان اضافه سفر است که با کسر زمان سفر در حالت وجود محوطه عملیات راهسازی از زمان سفر در حالت عدم وجود این محوطه به دست می‌آید.

### ۱-۳- شبیه‌سازی محوطه عملیات راهسازی

در این تحقیق از برنامه میکروسکوپیک FRESIM برای شبیه‌سازی محوطه عملیات راهسازی استفاده شده است. انتخاب این مدل براساس نتایج تحقیقات متعددی است. اسکاباردویس<sup>۱</sup> و می<sup>۱۱</sup> در تحقیقی ۱۰ مدل مختلف شبیه‌سازی آزادراه‌ها را براساس ۶ معیار مختلف بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که FRESIM یکی از دو مدل برتر برای شبیه‌سازی آزادراه‌هاست [۹]. اسکاردونیس در تحقیقی دیگر نشان داد که نرم‌افزار FRESIM برای بررسی تأثیر گزینه‌های مختلف هندسی، حوادث و تأثیرات محوطه عملیات راهسازی و روش‌های کنترل رمپ مدل برتر است [۱۰].

### ۲-۳- جمع‌آوری داده‌ها

هدف از جمع‌آوری داده‌ها و آمارگیری تهیه داده‌های واقعی برای پرداخت مدل برای اطمینان از کارایی برنامه در مدل‌کردن رفتار رانندگان و وضعیت ترافیکی موجود است. محل مورد نظر برای آمارگیری قسمتی از بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری در تهران حدفاصل روگذر جلال‌آل‌احمد و روگذر رسالت در جهت جنوب به شمال است که به دلیل عملیات حفاری در باند سوم بزرگراه (باند سرعت) به طول ۵۰۰ متر به طور کامل مسدود و به وسیله بلوک‌های بتنی و نوار زردرنگی از باند مجاور جدا شده بود.

رمپ‌های (شیب راهه) ورودی و خروجی در نزدیکی باند بسته، به طوری که بتواند بر روی عملکرد رانندگان در این

محدوده تأثیر بگذارد، وجود نداشت و تنها عامل مؤثر بر روی تغییر رفتار رانندگان در این قسمت از مسیر، وجود عملیات راهسازی بود. از سوی دیگر، وجود پل عابر پیاده در نزدیکی محل به عنوان مکان مناسبی برای نصب دوربین فیلمبرداری موجب شد تا این محل برای برداشت داده‌ها و بررسی تأثیر باند بسته شده بر روی زمان سفر و تأخیر وسایل نقلیه مناسب تشخیص داده شود.

آمارگیری در روزهای سه‌شنبه ۱۴ شهریور ماه ۱۳۸۲ در فاصله زمانی ۶:۴۰ تا ۷:۴۵ بعد از ظهر و پنج‌شنبه ۱۶ شهریورماه از ساعت ۸ الی ۹ صبح انجام گرفت. در این دو روز شرایط جوی مناسب بود و آمارگیری در هوایی کاملاً صاف صورت گرفت.

به منظور تهیه ورودی‌های موردنظر برنامه اطلاعات و داده‌ها در دو زیر مجموعه ذیل جمع‌آوری شدند:

### ۳-۲-۱- اطلاعات مربوط به طرح هندسی و وضعیت

#### روسازی

۱. طول ناحیه مسدود شده (طول کمان دوم)
۲. فاصله بین نقطه شروع آمارگیری و ابتدای باند مسدود (طول کمان اول)
۳. فاصله بین نقطه پایان آمارگیری و انتهای باند مسدود (طول کمان سوم)
۴. فاصله تابلوی محدودیت سرعت تا شروع محوطه عملیات راهسازی

#### ۵. شیب مسیر

#### ۶. خشک یا تر بودن سطح روسازی

#### ۷. نوع روسازی (آسفالتی یا بتنی)

### ۳-۲-۲- اطلاعات مربوط به ترافیک

۱. حجم ترافیک ورودی
۲. درصد وسایل نقلیه ورودی در هر باند
۳. ترکیب وسایل نقلیه ورودی
۴. زمان سفر وسایل نقلیه
۵. حداقل سر فاصله زمانی وسایل نقلیه ورودی به محوطه عملیات راهسازی

زمان سفر وسایل نقلیه در دو بخش برداشت شد. در بخش اول از نقطه‌ای در بالادست محوطه عملیات راهسازی که انسداد باند تأثیری بر رفتار رانندگان ندارد تا ابتدای باند مسدود و در بخش دوم از ابتدای محوطه عملیات راهسازی تا نقطه‌ای در پایین دست جریان ترافیک که تأثیر باند مسدود پایان می‌یابد.

### ۳-۲-۳- نحوه برداشت آمار

اطلاعات مربوط به طول کمان‌ها به وسیله متر عصایی

انجام شد. طول کمان اول ۳۹۴ متر، طول ناحیه مسدود ۵۱۰ متر و طول کمان سوم ۲۰۰ متر و فاصله اولین تابلوی محدودیت سرعت  $30 \text{ km/hr}$  از ابتدای باند مسدود در حدود ۲۷۴ متر به دست آمد. شیب مسیر در حدود ۲ درصد مثبت در نظر گرفته شد. میزان حجم ورودی و درصد وسایل نقلیه به وسیله فیلمبرداری برداشت شد و با بازبینی مکرر فیلم استخراج شد. دوربین فیلمبرداری بر روی پل عابر در ابتدای کمان اول نصب شد. حداقل زمان رسیدن وسایل نقلیه (سر فاصله زمانی) با بررسی فیلم برداشت شده در محل ورودی حاصل شد. این زمان حداقل زمان جدائی بین ورود دو وسیله نقلیه است که در حدود ۱ ثانیه است.

تأخیر به وجود آمده ناشی از کاهش و افزایش شتاب در بالادست و پایین دست باند مسدود، حرکت کند شونده در طول باندهای مجاور باند بسته و تأخیر ناشی از تشکیل صف در بالادست باند مسدود است. به منظور در نظر گرفتن تمام این تأخیرها لازم بود تا زمان سفر در طول فاصله مشخص قبل از شروع انسداد باند و بعد از اتمام انسداد باند سرعت به دست آید تا تمام بخش‌های تأخیر بیان شده را در بر گیرد.

برای برداشت زمان سفر در دو بخش ذکر شده، آماریها به سه گروه تقسیم شدند. گروه A در شروع کمان اول مسئولیت ثبت زمان ورود و سه رقم سمت راست پلاک وسایل نقلیه نمونه (پیکان‌های سفید) شدند. در خروجی؛ یعنی انتهای کمان سوم نیز گروه C با شش نفر آماریگر مسئول ثبت زمان خروج و ثبت سه رقم سمت راست پلاک وسایل نقلیه نمونه بودند. گروه B با چهار آماریگر (در دو باند) مسئول ثبت زمان ورود و سه رقم سمت راست پلاک وسایل نقلیه نمونه ورودی به داخل محوطه عملیات راهسازی بودند.

در جداول (۱) و (۲) خلاصه نتایج حاصل از آماریگری مشاهده می‌شود. ستون اول و دوم در این جداول نشان‌دهنده دوره‌های پنج دقیقه‌ای برداشت است. ستون سوم نشان‌دهنده حجم‌های ورودی در دوره‌های پنج دقیقه‌ای است که با تکرار مشاهده فیلم برداشت شده در محل به دست آمد. در دو ستون آخر، زمان سفر مربوط به بخش اول و بخش دوم محوطه عملیات راهسازی نشان داده شده است. بخش اول شامل بالادست باند مسدود از محلی که باند مسدود تأثیری بر سرعت وسایل نقلیه ندارد تا نقطه شروع آن می‌شود و بخش دوم از ابتدای باند مسدود آغاز شده و تا نقطه‌ای در پایین دست جریان؛ که باند مسدود تأثیری بر روی سرعت وسایل نقلیه ندارد، ادامه پیدا می‌کند. زمان سفر این دو بخش به وسیله آماریگری دستی از وسایل نقلیه نمونه حاصل شد، این زمان‌ها با بدست آوردن اختلاف زمان بین ورود و خروج وسایل نقلیه

در هر بخش به دست آمد. بررسی اولیه نتایج آماریگری نشان داد که زمان سفر در بخش دوم مستقل از حجم ورودی به شبکه است.

### ۳-۳- پرداخت مدل

در مرحله پرداخت مدل ابتدا با رجوع به راهنمای برنامه FRESIM و بعد از بررسی مطالعات انجام شده، پارامترهای پرداخت مشخص و مقادیر پیش‌فرض اولیه آنها تعیین شد که در جدول (۳) ارائه شده است.

قبل از شروع مرحله پرداخت، بررسی حساسیت مدل به منظور شناخت پارامترهایی که تأثیرات بیشتری بر شاخص‌های کارایی (زمان سفر) دارند، انجام شد. با تغییر هر پارامتر از مقدار پیش‌فرضش میزان تغییر در زمان سفر سنجیده شد. پارامترهایی که تأثیر چندانی بر زمان سفر نداشتند از چرخه پرداخت مدل حذف شدند و مقادیر پیش‌فرض آنها منظور گشت. بعد از بررسی حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف نتایج حاصل شد که به عنوان رهنمودهای اصلی در مرحله پرداخت مدل به کار گرفته شدند. این نتایج شامل موارد زیر می‌شود:

۱. مهم ترین عامل تأثیرگذار بر زمان سفر در بخش دوم مسیر سرعت آزاد در کمان دوم است.
۲. پارامتر گلوگاهی مسیر و پارامتر حساسیت مدل دنباله روی<sup>۳</sup> وسایل نقلیه بیشترین تأثیر را بر روی زمان سفر به دست آمده در بخش اول مسیر دارند و دو پارامتر اصلی در پرداخت مدل هستند.
۳. میانگین زمان تأخیر آغاز حرکت و حداقل جدایی برای تولید وسایل نقلیه به دلیل عدم حساسیت زمان سفر نسبت به آنها از مرحله پرداخت مدل کنار گذاشته شدند.

بر اساس نتایج بررسی حساسیت مدل، ابتدا با تغییر سرعت آزاد در کمان دوم، زمان سفر در بخش دوم با زمان سفر مشاهده شده در محل مطابقت داده شد. نتایج حاصل زمان سفر در بخش دوم برای مدل پرداخت شده در جدول (۴) و در جدول (۵) نیز نتایج آزمون t به منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی و آماریگری نشان داده شده است.

در پرداخت مدل برای زمان سفر حاصل در بخش اول بر اساس داده‌های ترافیکی روز ۱۴ ام آتالیز حساسیت نشان داد که مدل نسبت به پارامتر گلوگاهی و پارامتر دنباله‌رو وسایل نقلیه حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهد. در این مرحله در هر گام تمام پارامترها ثابت نگاه داشته شد و تنها با تغییر یکی از پارامترها، میزان تأثیر آن بر روی زمان سفر سنجیده شد. این مراحل برای تمام پارامترها انجام و نتایج آن ثبت و به

وسیله تکنیک‌های آماری تحلیل شد. براساس تحلیل‌های آماری ترکیب بهینه<sup>۲</sup> مقادیر پارامترها به دست آمد. ترکیب بهینه به صورت ترکیب مقادیری از پارامترهای پرداخت؛ که نتایج شبیه‌سازی را تولید می‌کنند و بیشترین تطبیق را با مشاهدات در محل دارند، تعریف می‌شوند. روش به دست آوردن ترکیب به این گونه بود که بعد از تغییر هر یک از پارامترهای پرداخت جهت تطبیق نتایج حاصل از شبیه‌سازی و آمارگیری آن پارامتر ثابت در نظر گرفته شد و آنگاه با تعیین پارامتر دیگر مجدداً نتایج حاصل از برنامه و نتایج حاصل از آمارگیری مقایسه شد. بعد از اتمام این کار و تعیین مقادیر تک‌تک پارامترهای موثر مجدداً تغییر پارامترها برای تطبیق هر چه بیشتر نتایج آغاز شد و نهایتاً ترکیبی از پارامترها حاصل شد که بیشترین مطابقت را بین نتایج شبیه‌سازی و آمارگیری داشتند. در جدول (۶) مقادیر نهایی حاصل شده برای پارامترهای موردنظر مشاهده می‌شود. بعد از طی مراحل پرداخت و اعتباریابی مدل پرداخت شده، تأثیر سناریوهای مختلف بر میزان تأخیرها و هزینه‌های ناشی از آن را می‌توان بررسی و نهایتاً تابعی ریاضی برای محاسبه هزینه‌های تأخیر بر مبنای نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه کرد.

### ۳-۴- اعتباریابی مدل پرداخت شده

از آنجایی‌که پرداخت مدل بر اساس آمار روز ۱۴ شهریور ۱۳۸۲ صورت گرفت، به منظور اعتباریابی مدل از آمار روز ۱۶ ام شهریور استفاده شد. مرحله اعتباریابی بدین ترتیب انجام شد که در صورت عدم تطبیق زمان سفر حاصل از برنامه با مشاهدات به مرحله پرداخت مدل بازگشته و با ترکیب دیگری از پارامترها، عملیات تکرار شد و این تکرار تا زمان رسیدن به پارامترهایی که براساس آن نتایج حاصل از شبیه‌سازی هم برای روز ۱۴ ام شهریور و هم برای روز ۱۶ ام با مشاهدات مطابقت پیدا کند، ادامه یافت در مرحله اعتباریابی از روش دیگری نیز استفاده شد که در آن ترکیب پارامترهای حاصل از مرحله پرداخت به گونه‌ای تغییر داده شد که با نتایج روز ۱۶ ام تطبیق کند. آنگاه دوباره برای اعتباریابی آن به سنجش مشاهدات روز ۱۴ ام پرداخته شد و این چرخه تا رسیدن به پارامترهایی که برای هر دو روز آمارگیری مناسب باشد، ادامه یافت. نتایج نهایی پارامترهای پرداخت روز ۱۶ ام در جداول (۷ و ۸) آمده است.

### ۳-۵- بررسی سناریوهای مختلف

با توجه به عدم امکان همیشگی دسترسی به نرم‌افزار FRESIM، و ارائه روشی ساده برای محاسبه تأخیرها اقدام به ساخت مدلی ریاضی در این زمینه ساخته شد.

آنچه به طور منطقی انتظار می‌رود این است که با افزایش حجم ترافیک، میزان تأخیر نیز افزایش یابد. در شکل (۱) میزان تأخیر کل نسبت به حجم نشان داده شده است. این نمودار حاصل اجرای برنامه برای حجم‌های مختلف (به طور مجزا) در دوره‌های یک ساعته است که اجرای برنامه برای هر حجم چندین بار با هسته‌های مختلف تولید اعداد تصادفی تکرار شده است. بررسی شکل نشان می‌دهد که میزان افزایش تأخیرها در حدود ۴۴۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت به ازای دو خط روندی کاملاً صعودی به خود می‌گیرد که بیانگر افزایش میزان تأخیر در بالادست محوطه عملیات راهسازی است. به منظور رفع این مشکل، شکل (۱) به دو قسمت تقسیم شد و هر قسمت با یک تابع نمایی تخمین زده شد. به عبارتی، یک تابع برای حجم ورودی کمتر از ۴۴۰۰ Vph و تابعی دیگر برای حجم بیشتر از ۴۴۰۰ Vph که نتایج آن در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول (۹): نتایج مدل دو ضابطه‌ای برای تأخیر ناشی از صف

حجم ترافیک	مدل ارائه شده	R <sup>2</sup>
مساوی یا کمتر از ۴۴۰۰ Vph	$t_Q = e^{(-0.0867 + 0.0006298 \times \text{Volume})}$	۰/۹۷۳
بیشتر از ۴۴۰۰ Vph	$t_Q = e^{(-3.184 + 0.001177 \times \text{Volume})}$	۰/۹۷۹

شکل (۲) بیانگر میزان تغییر در تأخیر کل برای حجم ورودی با درصدهای مختلفی از وسایل نقلیه سنگین است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش درصد وسایل نقلیه سنگین، تأخیرها در حجم ورودی کمتری به افزایش ناگهانی شروع می‌کنند. این حجم‌های ورودی که از آن به بعد روند افزایش تأخیر بسیار زیاد می‌شود به گونه‌ای نشان دهنده ظرفیت محوطه عملیات راهسازی است. نتایج مدل‌سازی میزان تأخیر در صف برای حجم‌های کمتر از حجم بحرانی (ظرفیت) و حجم‌های بالاتر از حجم بحرانی که شامل مقادیر مربوط به درصد وسایل نقلیه سنگین مختلف است در جدول (۱۰) ارائه شده است.

جدول (۱۰): نتایج مدل دو ضابطه‌ای برای تأخیر ناشی از صف (به صورت تابعی از حجم و درصد وسایل نقلیه سنگین)

حجم ترافیک	مدل ارائه شده	R <sup>2</sup>
مساوی یا کمتر از ۴۴۰۰ Vph	$t_Q = e^{(-0.0872 + 0.0006238 \times \text{Volume} + 0.2259 \times \text{HV Percent})}$	۰/۹۶۲
بیشتر از ۴۴۰۰ Vph	$t_Q = e^{(11.09 - 0.0009528 \times \text{Volume} + 0.4421 \times \text{HV Percent})}$	۰/۸۲۱

نفر- ساعت باشد [۱۱] آنگاه هزینه کل تأخیر در حدود ۱۳۹ میلیون ریال خواهد بود.

جدول (۱۲): مشخصات ترافیکی برای مثال مورد نظر

دوره	حجم ورودی (وسیله نقلیه بر ساعت)	درصد وانت	درصد مینی بوس	درصد اتوبوس	درصد کامیون
۱	۳۷۰۰	۸	۲	۲	۱
۲	۴۰۰۰	۶	۲	۲	۱
۳	۴۵۰۰	۸	۲	۲	۱
۴	۴۲۰۰	۷	۲	۲	۱
۵	۳۸۰۰	۶	۲	۲	۱
۶	۳۱۵۰	۶	۲	۲	۱
۷	۳۲۰۰	۶	۲	۲	۱

جدول (۱۳): هزینه‌های ناشی از تأخیر

دوره	تأخیر (sec/veh)	تأخیر (veh-min)	تأخیر person-(hour)	هزینه (ده هزار ریال)
۱	۶۳	۳۸۳۳	۲۹۷	۴۴۵
۲	۱۵۰	۱۰۱۱۱	۷۸۵	۱۱۷۸
۳	۳۸۸	۲۸۴۴۴	۲۲۰۹	۳۳۱۴
۴	۵۵۵	۳۸۵۴۴	۲۹۹۴	۴۴۹۰
۵	۴۲۲	۲۱۷۲۷	۲۰۸۰	۳۱۲۰
۶	۱۷۲	۹۳۰۳	۷۲۳	۱۰۸۴
۷	۴۷	۲۵۰۷	۱۹۵	۲۹۲
	کل		۹۲۸۲	۱۳۹۲۳

#### ۴- هزینه‌های ناشی از افزایش مصرف سوخت

میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه تابعی از نوع وسیله نقلیه و سرعت وسیله نقلیه است. در محوطه عملیات راهسازی افزایش هزینه‌های استفاده‌کنندگان از راه به دلیل افزایش مصرف سوخت به دلیل وجود چرخه‌های تغییر سرعت، تأخیر ایجاد شده در صف و کاهش سرعت در باندهای مجاور باند بسته می‌باشد. افزایش مصرف سوخت ناشی از وجود محوطه عملیات راهسازی به دو بخش اساسی تقسیم می‌شود. بخش اول مربوط به افزایش مصرف سوخت به علت کاهش سرعت در باندهای مجاور باند بسته مربوط است که بوسیله فرمول زیر بیان می‌شود [۱۱]:

$$q^m(V) = 16.56 \times p^m \times V^{-1} \times e^{(0.0195 \times V)} \quad (۱)$$

که در آن:

$q^m(V)$ : میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه نوع m در سرعت V (لیتر بر صد کیلومتر)  
 $p^m$ : میزان مصرف سوخت وسیله نقلیه نوع m در سرعت ۸۰ کیلومتر بر ساعت (لیتر بر کیلومتر)

در شکل (۳) تأثیر طول باند مسدود در حجم‌های مختلف بر میزان تأخیر نشان داده شده است. بعد از بررسی این میزان تأخیر در وسایل نقلیه سنگین مختلف، مدلی دو ضابطه‌ای به عنوان مدل نهایی؛ که نشان دهنده میزان تأخیر در محوطه عملیات راهسازی براساس حجم ورودی، درصد وسایل نقلیه سنگین مختلف و طول باند مسدود است، تولید شد که در جدول (۱۱) مشاهده می‌شود.

جدول (۱۱): نتایج مدل دو ضابطه‌ای برای تأخیر ناشی از صف (به صورت تابعی از حجم، درصد وسایل نقلیه سنگین و طول باند مسدود)

حجم ترافیک	مدل ارائه شده	R <sup>2</sup>
مساوی یا کمتر از ۴۴۰۰ Vph	$t_Q = e^{(0.1979 + 0.0005695 \times \text{Volume} + 0.2199 \times \text{HV Percent} + 0.002912 \times \text{Lwz})}$	۰/۹۵۶
بیشتر از ۴۴۰۰ Vph	$t_Q = e^{(1/192 + 0.000927 \times \text{Volume} + 0.4161 \times \text{HV Percent} + 0.0002822 \times \text{Lwz})}$	۰/۸۸۷

#### ۳-۶- محاسبه هزینه تأخیرها به وسیله شبیه‌سازی

برای محاسبه هزینه تأخیر در محوطه عملیات راهسازی هم می‌توان از برنامه FRESIM برای محاسبه تأخیرها و هم از مدل ریاضی ارائه شده در جدول (۱۱) استفاده کرد. تأخیر حاصل میانگین زمان از دست رفته به ازای هر وسیله نقلیه است و با ضرب در حجم ورودی دوره مورد نظر کل زمان تأخیر مربوط به آن دوره به دست می‌آید.

برای محاسبه هزینه تأخیر استفاده‌کنندگان از راه لازم است تا تأخیر به ازای کل وسایل نقلیه به تأخیر بر حسب نفر- زمان تبدیل شود. بدین منظور تعداد متوسط سرنشین سوار و وانت ۲ نفر، مینی بوس ۲۵ نفر (به غیر از راننده)، اتوبوس ۴۰ نفر (به غیر از راننده) در نظر گرفته شد و سپس تأخیر بر حسب نفر- زمان حاصل شد.

برای مثال فرض می‌شود یک عملیات راهسازی در باند سوم (باند سرعت) به طول ۵۰۰ متر به مدت ۷ ساعت به طول انجامد و حجم‌های ترافیکی بر حسب دوره‌های یک ساعته با درصد وسایل نقلیه سنگین مختلف همانند جدول (۱۲) باشد.

بعد از اجرای برنامه با هسته‌های تصادفی مختلف یا استفاده از فرمول ریاضی تأخیر، میانگین زمان تأخیر در هر دوره و در نتیجه تأخیر کل در محوطه عملیات راهسازی بر حسب دقیقه و نفر- دقیقه به دست می‌آید که در جدول (۱۳) ارائه شده است. اگر متوسط ارزش زمان ۱۵۰۰ تومان برای هر

V : سرعت وسیله نقلیه (کیلومتر بر ساعت)

این رابطه؛ که در مطالعات طرح جامع حمل و نقل و ترافیک شهر شیراز مورد استفاده قرار شده است، مقدار پارامتر  $p^m$  را برای موتور ۵، سواری شخصی ۱۵، تاکسی و وانت ۱۸، مینی بوس ۲۵ و اتوبوس و کامیون برابر با ۴۰ فرض کرده است. سه وسیله نقلیه اول بنزینی و سه وسیله نقلیه دیگر گازوئیلی فرض شده‌اند.

بخش دوم به افزایش مصرف سوخت به علت ایجاد تاخیرهای ناشی از کاهش و افزایش شتاب و تاخیرهای ناشی از ایجاد صف مربوط است. با این فرض که در طی زمان تلف شده در بالادست باند مسدود، موتور وسیله نقلیه به صورت ایده آل مصرف سوخت دارد و با داشتن مصرف سوخت بر حسب زمان، جدول (۱۴) برای انواع وسایل نقلیه، می‌توان به محاسبه این بخش از تابع افزایش مصرف سوخت پرداخت. فرض ذکر شده برای میزان افزایش مصرف سوخت مقداری کمتر از حالت واقعی است که به علت عدم وجود روابط مناسبی در مدلسازی مصرف سوخت چرخه‌های تغییر سرعت، این فرض به ناچار مورد قبول قرار گرفته است.

روابط نهایی حاصل برای محاسبه میزان افزایش مصرف سوخت عبارتند از:

اگر  $Q(i) < C_w$ :

$$C_{gasoline}(i) = [16.56 \times (V_w^{-1} \times e^{(0.0195V_w)} - V_f^{-1} \times e^{(0.0195V_f)}) \times (P_{mB}(i) \times p_{mB}^m + P_B(i) \times p_B^m + P_{truck}(i) \times p_{truck}^m) \times \frac{L}{1000} \times Q(i)] + [t_Q(i) \cdot (3.7 \times 10^{-7} \times P_{mB}(i) + 3.7 \times 10^{-7} \times P_B(i) + 2.22 \times 10^{-7} \times P_{truck}(i)) \times Q(i)] \quad (2)$$

اگر  $Q(i) \geq C_w$ :

$$C_{gasoline}(i) = [16.56 \times (V_w^{-1} \times e^{(0.0195V_w)} - V_f^{-1} \times e^{(0.0195V_f)}) \times (P_{mB}(i) \times p_{mB}^m + P_B(i) \times p_B^m + P_{truck}(i) \times p_{truck}^m) \times \frac{L}{1000} \times C_w] + [t_Q(i) \cdot (3.7 \times 10^{-7} \times P_{mB}(i) + 3.7 \times 10^{-7} \times P_B(i) + 2.22 \times 10^{-7} \times P_{truck}(i)) \times Q(i)] \quad (3)$$

که در آن:

$t_Q(i)$ : تاخیر ناشی از صف در دوره آم بر حسب ثانیه بر وسیله نقلیه،  
 $L$ : طول محوطه عملیات راهسازی (متر)  
 $C_w$ : ظرفیت محوطه عملیات راهسازی (وسيله نقلیه در ساعت)

$C_{gasoline}(i)$ : میزان افزایش مصرف گازوئیل در دوره آم  
 (بر حسب لیتر) است  
 اگر  $Q(i) < C_w$ :

$$C_{oil}(i) = [16.56 \times (V_w^{-1} \times e^{(0.0195V_w)} - V_f^{-1} \times e^{(0.0195V_f)}) \times (P_{pc}(i) \times p_{pc}^m + P_{van}(i) \times p_{van}^m) \times \frac{L}{1000} \times Q(i)] + [t_Q(i) \cdot (4.7 \times 10^{-4} \times P_{pc}(i) + 4.7 \times 10^{-4} \times P_{van}(i)) \times Q(i)] \quad (4)$$

اگر  $Q(i) \geq C_w$ :

$$C_{oil}(i) = [16.56 \times (V_w^{-1} \times e^{(0.0195V_w)} - V_f^{-1} \times e^{(0.0195V_f)}) \times (P_{pc}(i) \times p_{pc}^m + P_{van}(i) \times p_{van}^m) \times \frac{L}{1000} \times C_w] + [t_Q(i) \cdot (4.7 \times 10^{-4} \times P_{pc}(i) + 4.7 \times 10^{-4} \times P_{van}(i)) \times Q(i)] \quad (5)$$

که در آن  $C_{oil}(i)$  نشانگر میزان افزایش مصرف بنزین در دوره آم (لیتر) است.

اگر قیمت هر لیتر بنزین  $P_{oil}$  ریال و قیمت هر لیتر گازوئیل  $P_{gasoline}$  ریال باشد آنگاه هزینه کل ناشی از مصرف اضافی سوخت  $C_C$  (بر حسب ریال) عبارت است از:

$$C_C = \left[ (P_{oil} \times \sum_{i=1}^n C_{oil}(i)) + (P_{gasoline} \times \sum_{i=1}^n C_{gasoline}(i)) \right] \quad (6)$$

برای مثال حل شده در قسمت‌های قبل افزایش مصرف سوخت مطابق جدول (۱۵) است. در این جدول میزان افزایش مصرف سوخت برحسب روابط بالا به عنوان روش اول و افزایش میزان مصرف سوخت برحسب زمان کل تلف شده به عنوان روش دوم آمده است.

برای محاسبه هزینه‌های ناشی از مصرف سوخت قیمت هر لیتر بنزین ۸۰۰ ریال و قیمت هر لیتر گازوئیل ۲۰۰ ریال در نظر گرفته شد. هزینه کل ناشی از افزایش مصرف سوخت برای مثال مورد نظر در حدود ۴/۳ میلیون ریال برآورد شده است که در برابر هزینه‌های ناشی از تاخیر ناچیز است.

## ۵- هزینه‌های ناشی از افزایش نشر آلاینده‌ها

پس از محاسبه میزان افزایش مصرف سوخت و داشتن میزان نشر آلاینده‌ها به ازای مصرف یک لیتر بنزین یا گازوئیل، افزایش میزان نشر آلاینده‌ها محاسبه شد که در جدول (۱۶) میزان نشر این آلاینده‌ها بر حسب گرم به ازای مصرف یک لیتر بنزین یا گازوئیل ارائه شده است.

## ۶- تابع نهایی هزینه

تابع نهایی هزینه‌های اضافی استفاده‌کنندگان از راه از مجموع هزینه‌های سه بخش بیان شده حاصل می‌شود، که عبارت است از:

$$T_{UC} = C_{delay} + C_C + C_{emission} \quad (11)$$

که در آن  $T_{UC}$  نشانگر هزینه اضافی استفاده‌کنندگان از راه در محوطه عملیات راهسازی (بر حسب ریال) است. برای مثال مورد نظر کل هزینه‌ها در حدود ۱۴۸ میلیون ریال برآورد شده است که با توجه به دوره ۷ ساعت اتسداد باند هزینه چشمگیری است.

## ۷- نتیجه

نتایج حاصل از پرداخت مدل FRESIM نشانگر آن است که این برنامه توانایی بالایی در مدل کردن محوطه‌های عملیات راهسازی دارد. البته مقادیر نهایی پارامترهای پرداخت نشان دهنده تفاوت زیاد عملکرد رانندگان ایرانی نسبت به پیش‌فرض‌های برنامه است.

مدل‌های ریاضی به دست آمده براساس نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر تأخیر کل در محوطه عملیات راهسازی به ترتیب عبارتند از حجم ترافیک، درصد وسایل نقلیه سنگین و طول محوطه عملیات راهسازی. همچنین نتایج نشان داد که تأخیر در طول باند مسدود تنها تابعی از محدودیت سرعت در محوطه عملیات راهسازی و طول باند مسدود است و تأخیر در بالادست محوطه تابعی نهایی از طول محوطه عملیات راهسازی، حجم ورودی و درصد وسایل نقلیه سنگین است. تأخیر در پایین‌دست محوطه عملیات راهسازی به علت افزایش شتاب نیز مقدار ناچیزی است که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد.

بررسی هزینه‌ها نشان داد که هزینه‌های ناشی از تأخیر، بخش اصلی هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد و هزینه‌های مربوط به نشر آلاینده‌ها و مصرف سوخت سهم ناچیزی را به خود اختصاص داده است. یادآوری این نکته لازم است که هزینه‌های مربوط به مصرف سوخت با توجه به یارانه‌های اعطایی از سوی دولت محاسبه شده و از سوی دیگر میزان افزایش تولید آلاینده‌ها نیز با توجه به توابعی محاسبه شده است که توانایی کامل را در مدل کردن چرخه‌های تغییر سرعت ندارند و ممکن است با استفاده از مدل‌هایی که این توانایی را دارند هزینه‌هایی بیشتر برای این بخش حاصل شود.

جدول (۱۶): میزان نشر آلاینده‌ها به ازای مصرف سوخت

نام آلاینده	میزان نشر CO (gr)	میزان نشر HC (gr)	میزان نشر NOx (gr)
یک لیتر بنزین	۲۵۰	۶۳	۱۲/۵
یک لیتر گازوئیل	ناچیز	۴/۷۵	۲۷

میزان نشر این آلاینده‌ها با استفاده از روابط زیر به دست آمد:

$$E_{CO} = 350 \times C_{Oil} \quad (7)$$

$$E_{HC} = 62 \times C_{Oil} + 4.75 \times C_{gasoline} \quad (8)$$

$$E_{NO_x} = 13.5 \times C_{oil} + 27 \times C_{gasoline} \quad (9)$$

که در آن  $E_{CO}$ ،  $E_{HC}$  و  $E_{NO_x}$  به ترتیب میزان اضافی نشر CO، HC و  $NO_x$  بر حسب گرم است.

اگر هزینه ناشی از نشر هر گرم از این مواد (بر حسب ریال) به ترتیب با  $P_{CO}$ ،  $P_{HC}$  و  $P_{NO_x}$  نشان داده شود آنگاه هزینه کل ناشی از افزایش نشر آلاینده‌ها  $C_{emission}$  عبارت است از:

$$C_{emission} = (P_{CO} \times E_{CO} + P_{HC} \times E_{HC} + P_{NO_x} \times E_{NO_x}) \quad (10)$$

در جدول (۱۷) میزان افزایش نشر این آلاینده‌ها و هزینه‌های مربوط به آن برای مثال مورد نظر نشان داده شده است. هزینه‌های مربوط به این بخش، حاصل نتایج تحقیقاتی است که FHWA در گزارش HERS<sup>14</sup> ارائه نموده است [۱۲]. برای آلاینده CO هزینه‌ای بین ۲۰ تا ۱۰۰ دلار بر تن و برای آلاینده NOx هزینه‌ای بین ۱۵۲۵ تا ۳۶۲۵ دلار بر تن در نظر گرفته شده است که برای مناطق شهری دارای ضریب ۱/۵ می‌باشد. در این تحقیق از میانگین این ارقام استفاده شده و هزینه‌ها برحسب قیمت هر دلار ۹۰۰۰ ریال محاسبه شده است. برای HC نیز هزینه‌ای برابر با Co در نظر گرفته شده است. مجموع هزینه‌های ناشی از نشر سه آلاینده مورد نظر برای مثال حل شده در حدود ۴/۵ میلیون ریال است.

جدول (۱۷): هزینه‌های ناشی از افزایش نشر آلاینده‌ها

دوره	میزان افزایش نشر Co (gr)	میزان افزایش نشر HC (gr)	میزان افزایش نشر NOx (gr)
۱	۲۸۱۱۵	۵۱۳۵	۱۹۶۴
۲	۱۱۷۱۰۸	۲۱۳۳۰	۷۸۴۲
۳	۲۸۱۰۴۷	۶۹۳۵۸	۲۵۲۶۲
۴	۵۲۶۲۵	۹۶۰۲۸	۳۳۹۱۹
۵	۳۵۸۳۸۵	۶۵۲۳۱	۲۳۷۴۷
۶	۱۰۷۳۹۷	۱۹۵۵۸	۷۱۶۷
۷	۱۲۷۵۴	۲۳۲۷	۹۳۶
کل (گرم)	۱۵۳۲۴۳۰	۲۷۸۹۷۸	۱۰۱۸۴۵
هزینه (ریال)	۸۲۷۵۱۱	۱۵۰۶۴۷	۳۵۴۰۳۷۹



۸- ضمايم

جدول (۱): خلاصه نتایج روز اول آمارگیری (سه شنبه ۱۴ شهریورماه ۱۳۸۲)

زمان شروع	زمان پایان	کل وسایل نقلیه در پنج دقیقه	کل وسایل نقلیه در ساعت	درصد وسایل نقلیه باند یکت	درصد وسایل نقلیه باند دو	درصد وسایل نقلیه باند سه	درصد اتوبوس	درصد مینی بوس	درصد کامیون (دومحوره) سه محوره	درصد وانت	زمان سفر بخش اول (ثانیه)	زمان سفر بخش دوم (ثانیه)
۰۶:۴۰	۰۶:۴۵	۳۷۰	۴۴۴۰	۱۵	۳۸	۴۷	۱	۱	۰	۴	۶۳	۵۵
۰۶:۴۵	۰۶:۵۰	۳۶۲	۴۳۴۴	۱۲	۴۳	۴۵	۲	۱	۰	۴	۶۸	۶۵
۰۶:۵۰	۰۶:۵۵	۳۲۰	۳۸۴۰	۱۳	۳۸	۴۹	۲	۴	۰	۳	۵۴	۶۰
۰۶:۵۵	۰۷:۰۰	۳۳۶	۴۰۳۲	۱۵	۴۰	۴۵	۲	۱	۰	۵	۶۰	۵۹
۰۷:۰۰	۰۷:۰۵	۴۲۶	۵۱۱۲	۱۴	۴۰	۴۶	۱	۲	۰	۳	۵۲	۵۳
۰۷:۰۵	۰۷:۱۰	۳۲۶	۳۹۱۲	۱۳	۴۰	۴۷	۱	۱	۰	۴	۵۲	۵۴
۰۷:۱۰	۰۷:۱۵	۳۳۹	۴۰۶۸	۱۶	۳۷	۴۷	۲	۴	۰	۳	۵۵	۶۲
۰۷:۱۵	۰۷:۲۰	۳۷۴	۴۴۸۸	۱۴	۳۹	۴۷	۳	۳	۰	۵	۵۱	۶۴
۰۷:۲۰	۰۷:۲۵	۳۵۸	۴۲۹۶	۱۲	۴۳	۴۵	۲	۲	۱	۴	۵۳	۵۳
۰۷:۲۵	۰۷:۳۰	۴۲۰	۵۰۴۰	۱۲	۴۳	۴۵	۱	۱	۰	۶	۶۴	۵۵
۰۷:۳۰	۰۷:۳۵	۳۵۰	۴۲۰۰	۱۲	۴۲	۴۶	۱	۲	۰	۴	۶۲	۵۷
۰۷:۳۵	۰۷:۴۰	۳۸۷	۴۶۴۴	۱۲	۴۱	۴۷	۱	۱	۰	۳	۶۱	۵۸
۰۷:۴۰	۰۷:۴۵	۳۹۲	۴۷۰۴	۱۳	۴۱	۴۷	۱	۱	۰	۳	۶۵	۵۵

جدول (۲): خلاصه نتایج روز دوم آمارگیری (پنجشنبه ۱۶ شهریورماه ۱۳۸۲)

زمان شروع	زمان پایان	کل وسایل نقلیه در پنج دقیقه	کل وسایل نقلیه در ساعت	درصد وسایل نقلیه باند یکت	درصد وسایل نقلیه باند دو	درصد وسایل نقلیه باند سه	درصد اتوبوس	درصد مینی بوس	درصد کامیون (دومحوره) سه محوره	درصد وانت	زمان سفر بخش اول (ثانیه)	زمان سفر بخش دوم (ثانیه)
۰۸:۰۵	۰۸:۱۰	۲۶۴	۳۱۶۸	۱۳	۳۴	۵۳	۳	۳	۱	۵	۴۷	۵۷
۰۸:۱۰	۰۸:۱۵	۳۴۱	۴۰۹۲	۱۰	۳۹	۵۱	۱	۱	۱	۶	۴۹	۵۸
۰۸:۱۵	۰۸:۲۰	۲۷۸	۳۳۳۶	۱۵	۳۶	۴۹	۱	۲	۰	۶	۴۵	۵۵
۰۸:۲۰	۰۸:۲۵	۲۸۴	۳۴۰۸	۱۱	۳۷	۵۲	۱	۴	۰	۴	۴۴	۵۶
۰۸:۲۵	۰۸:۳۰	۲۸۵	۳۴۲۰	۱۱	۳۶	۵۳	۰	۲	۰	۶	۴۲	۵۷
۰۸:۳۰	۰۸:۳۵	۲۸۰	۳۳۲۰	۱۲	۳۸	۵۰	۱	۱	۰	۷	۳۸	۵۴
۰۸:۳۵	۰۸:۴۰	۲۸۳	۳۳۹۶	۱۳	۳۳	۵۴	۱	۱	۰	۴	۴۵	۵۸
۰۸:۴۰	۰۸:۴۵	۲۸۱	۳۳۷۲	۱۰	۳۵	۵۵	۱	۲	۲	۹	۳۶	۵۹
۰۸:۴۵	۰۸:۵۰	۲۹۴	۳۵۲۸	۱۳	۴۰	۴۷	۲	۱	۱	۷	۴۲	۵۰
۰۸:۵۰	۰۸:۵۵	۲۹۱	۳۴۹۲	۱۲	۳۹	۴۹	۱	۲	۰	۸	۴۷	۵۶
۰۸:۵۵	۰۹:۰۰	۲۹۲	۳۵۰۴	۱۱	۳۵	۵۴	۲	۱	۱	۶	۳۵	۶۲
۰۹:۰۰	۰۹:۰۵	۳۱۳	۳۷۵۶	۱۰	۳۳	۵۷	۳	۱	۰	۸	۴۲	۶۰
۰۹:۰۵	۰۹:۱۰	۳۳۱	۳۹۷۲	۱۰	۳۸	۵۲	۲	۲	۱	۱۰	۴۱	۵۸

جدول (۳): مقادیر پارامترهای پرداخت

ردیف	پارامتر	واحد	محدوده تغییرات در برنامه	مقدار پیش فرض در برنامه	مقدار پیش فرض برای شروع مرحله پرداخت	مقدار نهایی برای پارامترهای پرداخت
۱	پارامتر گلوگاهی	درصد	-	-	۲۵	۲۰
۲	پارامتر حساسیت مدل دنباله روی وسایل نقلیه	دهم ثانیه	-	-	۳-۱۲	۱-۱۰
۳	میانگین زمان تاخیر آغاز حرکت	دهم ثانیه	۰-۶۰	۱۰	۲۰	۲۰
۴	زمان لازم برای مانور تغییر باند	دهم ثانیه	-	۳۰	۲۰	۳۰
۵	درصد رانندگانی که تسلیم وسایل نقلیه در حال تغییر باند می شوند	درصد	-	۲۰	۱۰	۳۰
۶	حداقل جدایی برای تولید وسایل نقلیه	دهم ثانیه	-	۱۸	۱۰	۱۰
۷	حداقل فاصله دنباله روی وسایل نقلیه	فوت	۳-۱۰	۱۰	۴	۳
۸	احتمال تغییر باند	-	۱-۶	۳	۳	۳
۹	طول وسایل نقلیه	فوت	-	-	-	-
۱۰	سرعت آزاد در بالادست (کمان اول)	مایل بر ساعت	حداکثر ۷۰	۶۵	۵۰	۴۰
۱۱	سرعت آزاد در مجاور باند بسته (کمان دوم)	مایل بر ساعت	حداکثر ۷۰	۶۵	۲۴	۲۴
۱۲	سرعت آزاد در پایین دست (کمان سوم)	مایل بر ساعت	حداکثر ۷۰	۶۵	۵۰	۵۰

جدول (۴): نتایج شبیه‌سازی مدل پرداخت شده برای آمار روز ۱۴ ام (بخش دوم مسیر)

شماره دوره	دوره زمانی		مقدار زمان سفر کمان اول در تکرارهای مختلف برحسب ثانیه (مدل پرداخت شده)							زمان سفر در کمان اول (ثانیه)		فاصله اطمینان %۹۵
	زمان شروع دوره	زمان پایان دوره	اجرای اول	اجرای دوم	اجرای سوم	اجرای چهارم	اجرای پنجم	اجرای ششم	میانگین	انحراف معیار		
۱	۰۶:۴۰	۰۶:۴۵	۵۸/۲۰	۵۸/۳۰	۵۸/۱۰	۵۸/۴۰	۵۷/۹۰	۵۸/۲۰	۵۸/۱۸	۰/۱۷	۵۸/۲۹	۵۸/۰۷
۲	۰۶:۴۵	۰۶:۵۰	۵۸/۰۰	۵۸/۲۰	۵۷/۹۰	۵۸/۱۰	۵۷/۸۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۰	۰/۱۴	۵۸/۰۹	۵۷/۹۱
۳	۰۶:۵۰	۰۶:۵۵	۵۸/۰۰	۵۸/۱۰	۵۷/۹۰	۵۸/۰۰	۵۷/۸۰	۵۷/۹۰	۵۷/۹۵	۰/۱۰	۵۸/۰۲	۵۷/۸۸
۴	۰۶:۵۵	۰۷:۰۰	۵۸/۳۰	۵۸/۱۰	۵۸/۲۰	۵۸/۵۰	۵۸/۰۰	۵۸/۴۰	۵۸/۲۵	۰/۱۹	۵۸/۳۷	۵۸/۱۳
۵	۰۷:۰۰	۰۷:۰۵	۵۷/۹۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۰	۵۷/۷۰	۵۷/۷۰	۵۸/۰۰	۵۷/۸۸	۰/۱۵	۵۷/۹۸	۵۷/۷۹
۶	۰۷:۰۵	۰۷:۱۰	۵۸/۴۰	۵۸/۳۰	۵۸/۱۰	۵۸/۲۰	۵۸/۱۰	۵۸/۱۰	۵۷/۲۰	۰/۱۳	۵۸/۲۸	۵۸/۱۲
۷	۰۷:۱۰	۰۷:۱۵	۵۸/۴۰	۵۸/۳۰	۵۸/۱۰	۵۸/۲۰	۵۸/۱۰	۵۸/۱۰	۵۸/۲۵	۰/۱۴	۵۸/۳۴	۵۸/۱۶
۸	۰۷:۱۵	۰۷:۲۰	۵۸/۲۰	۵۸/۴۰	۵۸/۲۰	۵۸/۵۰	۵۸/۳۰	۵۸/۴۰	۵۸/۳۵	۰/۱۰	۵۸/۴۲	۵۸/۲۸
۹	۰۷:۲۰	۰۷:۲۵	۵۸/۲۰	۵۸/۳۰	۵۸/۴۰	۵۸/۵۰	۵۸/۵۰	۵۸/۲۰	۵۸/۳۷	۰/۱۲	۵۸/۴۴	۵۸/۲۹
۱۰	۰۷:۲۵	۰۷:۳۰	۵۸/۵۰	۵۸/۲۰	۵۸/۴۰	۵۸/۶۰	۵۸/۵۰	۵۸/۲۰	۵۸/۴۰	۰/۱۷	۵۸/۵۱	۵۸/۲۹
۱۱	۰۷:۳۰	۰۷:۳۵	۵۸/۰۰	۵۸/۲۰	۵۷/۹۰	۵۸/۲۰	۵۷/۸۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۲	۰/۱۶	۵۸/۱۲	۵۷/۹۱
۱۲	۰۷:۳۵	۰۷:۴۰	۵۸/۰۰	۵۸/۰۰	۵۷/۹۰	۵۸/۰۰	۵۷/۸۰	۵۸/۱۰	۵۷/۹۷	۰/۱۰	۵۸/۰۳	۵۷/۹۰
۱۳	۰۷:۴۰	۰۷:۴۵	۵۸/۲۰	۵۸/۳۰	۵۸/۱۰	۵۸/۴۰	۵۸/۰۰	۵۸/۱۰	۵۸/۱۸	۰/۱۵	۵۸/۲۸	۵۸/۰۹

جدول (۵): بررسی تطابق مدل پرداخت شده و مشاهدات برای آمار روز ۱۴ ام (بخش دوم مسیر)

شماره دوره	دوره زمانی		نتایج مدل پرداخت شده	نتایج آمارگیری	اختلاف مدل پرداخت شده و نتایج آمارگیری
	زمان شروع دوره	زمان پایان دوره			
۱	۰۶:۴۰	۰۶:۴۵	۵۸/۱۸	۵۵	۳/۱۸
۲	۰۶:۴۵	۰۶:۵۰	۵۸/۰۰	۶۵	-۷/۰۰
۳	۰۶:۵۰	۰۶:۵۵	۵۷/۹۵	۶۰	-۲/۰۵
۴	۰۶:۵۵	۰۷:۰۰	۵۸/۲۵	۵۹	-۰/۷۵
۵	۰۷:۰۰	۰۷:۰۵	۵۷/۸۸	۵۲	۴/۸۸
۶	۰۷:۰۵	۰۷:۱۰	۵۸/۲۰	۵۴	۴/۲۰
۷	۰۷:۱۰	۰۷:۱۵	۵۸/۲۵	۶۲	-۲/۷۵
۸	۰۷:۱۵	۰۷:۲۰	۵۸/۳۵	۶۴	-۵/۶۵
۹	۰۷:۲۰	۰۷:۲۵	۵۸/۳۷	۵۳	۵/۳۷
۱۰	۰۷:۲۵	۰۷:۳۰	۵۸/۴۰	۵۵	۳/۴۰
۱۱	۰۷:۳۰	۰۷:۳۵	۵۸/۰۲	۵۷	۱/۰۲
۱۲	۰۷:۳۵	۰۷:۴۰	۵۷/۹۷	۵۸	-۰/۰۳
۱۳	۰۷:۴۰	۰۷:۴۵	۵۸/۱۸	۵۵	۳/۱۸
			میانگین اختلافها	۰/۴۶	
			واریانس اختلافها	۲/۵۲	
			فاصله اطمینان ۹۵٪ میانگین	حد بالا	۳/۲۲
				حد پایین	-۲/۳۰

جدول (۶): مقادیر نهایی پارامترهای پرداخت

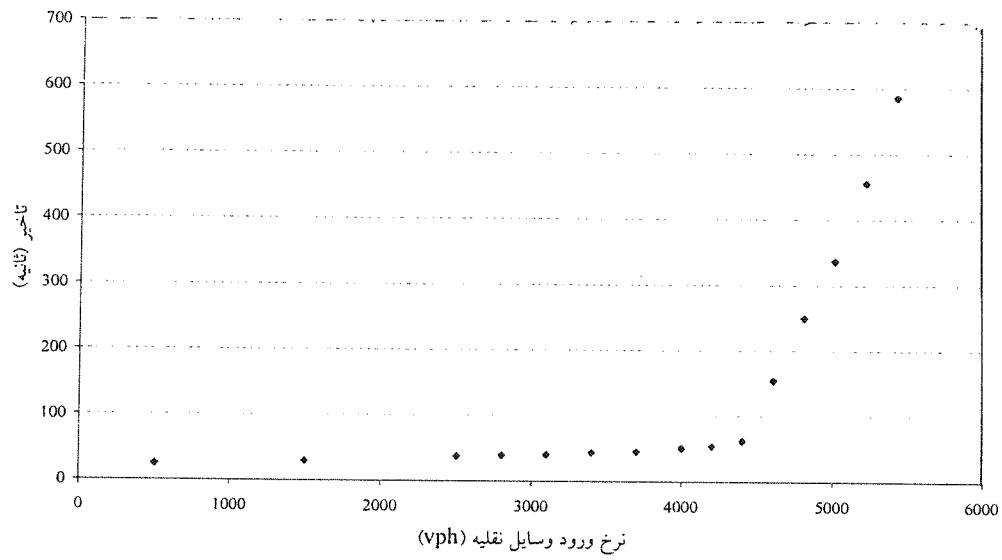
ردیف	پارامتر	واحد	مقدار پیش فرض برای شروع مرحله پرداخت	مقدار نهایی برای پارامترهای پرداخت
۱	پارامتر گلوگاهی	درصد	۲۵	۲۰
۲	پارامتر حساسیت مدل دنباله روی وسایل نقلیه	دهم ثانیه	۳-۱۲	۱-۱۰
۳	زمان لازم برای مانور تغییر باند	دهم ثانیه	۲۰	۳۰
۴	درصد رانندگانی که تسلیم وسایل نقلیه در حال تغییر باند می شوند	درصد	۱۰	۳۰
۵	حداقل فاصله دنباله روی وسایل نقلیه	فوت	۴	۳
۶	احتمال تغییر باند	-	۳	۲
۷	سرعت آزاد در بلا دست (کمان اول)	مایل بر ساعت	۵۰	۴۰

جدول (۷): اعتباریابی مدل پرداخت شده برای آمار روز ۱۶ ام (بخش دوم مسیر)

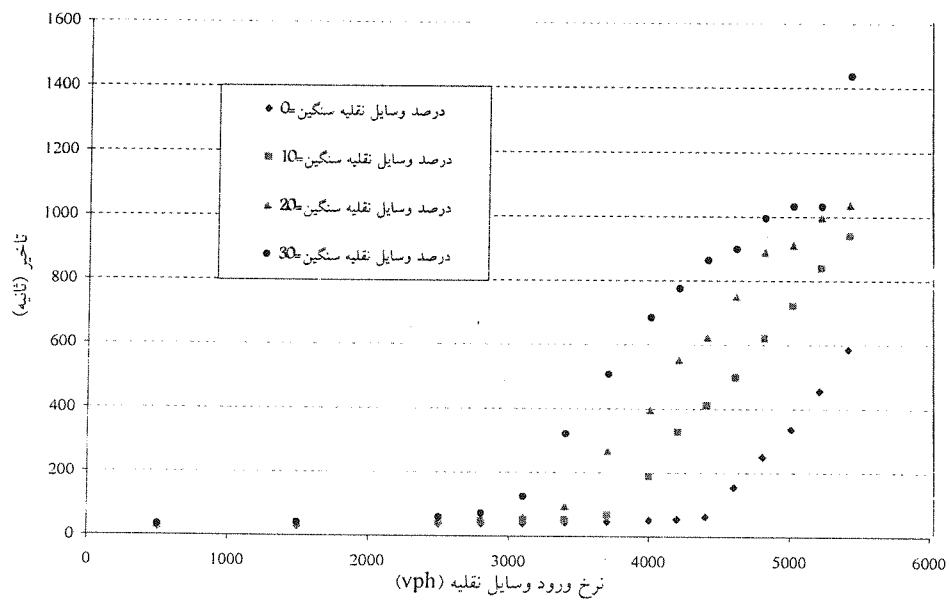
شماره دوره	دوره زمانی		نتایج مدل پرداخت شده	نتایج آمارگیری	اختلاف مدل پرداخت شده و نتایج آمارگیری
	زمان شروع دوره	زمان پایان دوره			
۱	۰۸:۰۵	۰۸:۱۰	۵۷/۷۲	۵۷/۰۰	۰/۷۲
۲	۰۸:۱۰	۰۸:۱۵	۵۷/۸۲	۵۸/۰۰	-۰/۱۸
۳	۰۸:۱۵	۰۸:۲۰	۵۷/۷۲	۵۵/۰۰	۲/۷۲
۴	۰۸:۲۰	۰۸:۲۵	۵۸/۰۷	۵۶/۰۰	۲/۰۷
۵	۰۸:۲۵	۰۸:۳۰	۵۷/۹۵	۵۷/۰۰	۰/۹۵
۶	۰۸:۳۰	۰۸:۳۵	۵۸/۱۲	۵۴/۰۰	۴/۱۲
۷	۰۸:۳۵	۰۸:۴۰	۵۷/۹۲	۵۸/۰۰	-۰/۰۸
۸	۰۸:۴۰	۰۸:۴۵	۵۷/۹۵	۵۹/۰۰	-۱/۰۵
۹	۰۸:۴۵	۰۸:۵۰	۵۷/۸۸	۵۰/۰۰	۷/۸۸
۱۰	۰۸:۵۰	۰۸:۵۵	۵۷/۸۷	۵۶/۰۰	۱/۸۷
۱۱	۰۸:۵۵	۰۹:۰۰	۵۷/۵۸	۶۲/۰۰	-۴/۴۲
۱۲	۰۹:۰۰	۰۹:۰۵	۵۷/۷۲	۶۰/۰۰	-۲/۲۸
۱۳	۰۹:۰۵	۰۹:۱۰	۵۷/۹۰	۵۸/۰۰	-۰/۱۰
			میانگین اختلافها		
			۰/۹۴		
			واریانس اختلافها		
			۱/۶۰		
			فاصله اطمینان		
			حد بالا		
			۲/۱۴		
			حد پایین		
			۱/۲۶		

جدول (۸): اعتباریابی مدل پرداخت شده برای آمار روز ۱۶ ام (بخش اول مسیر)

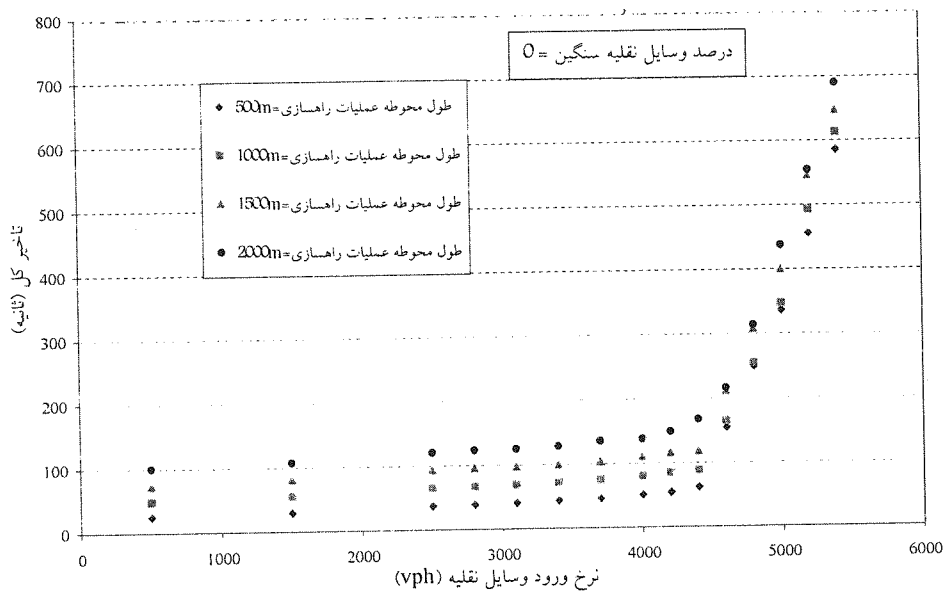
شماره دوره	دوره زمانی		نتایج مدل پرداخت شده	نتایج آمارگیری	اختلاف مدل پرداخت شده و نتایج آمارگیری
	زمان شروع دوره	زمان پایان دوره			
۱	۰۸:۰۵	۰۸:۱۰	۴۰/۹۰	۴۷	-۶/۱۰
۲	۰۸:۱۰	۰۸:۱۵	۴۷/۳۲	۴۹	-۱/۶۸
۳	۰۸:۱۵	۰۸:۲۰	۴۷/۸۸	۴۵	۲/۸۸
۴	۰۸:۲۰	۰۸:۲۵	۴۶/۴۳	۴۴	۲/۴۳
۵	۰۸:۲۵	۰۸:۳۰	۴۵/۳۲	۴۲	۳/۳۲
۶	۰۸:۳۰	۰۸:۳۵	۴۴/۳۳	۳۸	۶/۳۳
۷	۰۸:۳۵	۰۸:۴۰	۴۳/۷۰	۴۵	-۱/۳۰
۸	۰۸:۴۰	۰۸:۴۵	۴۲/۲۰	۳۶	۷/۲۰
۹	۰۸:۴۵	۰۸:۵۰	۴۲/۹۸	۴۲	۰/۹۸
۱۰	۰۸:۵۰	۰۸:۵۵	۴۲/۷۳	۴۷	-۴/۲۷
۱۱	۰۸:۵۵	۰۹:۰۰	۴۲/۶۵	۳۵	۷/۶۵
۱۲	۰۹:۰۰	۰۹:۰۵	۴۳/۱۲	۴۲	۱/۱۲
۱۳	۰۹:۰۵	۰۹:۱۰	۴۳/۹۵	۴۱	۲/۹۵
			میانگین اختلافها		
			۱/۶۶		
			واریانس اختلافها		
			۲/۴۲		
			فاصله اطمینان		
			حد بالا		
			۴/۳۶		
			حد پایین		
			۱/۰۵		



شکل (۱): میزان تأخیر کل نسبت به حجم



شکل (۲): میزان تغییر در تأخیر کل برای درصدهای مختلفی از وسایل نقلیه سنگین



شکل (۳): میزان حجم ورودی به محوطه به حجم ورودی به کل شبکه (درصد وسایل نقلیه سنگین = ۱۰)

جدول (۱۴): میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه

نوع خودرو	سواری و وانت	مینی بوس	اتوبوس	کامیون
نوع سوخت	بنزین	گازوئیل	گازوئیل	گازوئیل
مصرف سوخت (لیتر بر ثانیه)	$4/7 \times 10^{-4}$	$3/7 \times 10^{-3}$	$3/7 \times 10^{-3}$	$2/22 \times 10^{-3}$

جدول (۱۵): هزینه‌های ناشی از افزایش مصرف سوخت

دوره	افزایش مصرف بنزین (لیتر) (روش اول)	افزایش مصرف گازوئیل (لیتر) (روش اول)	افزایش مصرف بنزین (لیتر) (روش دوم)	افزایش مصرف گازوئیل (لیتر) (روش دوم)
۱	۸۸	۲۳	۱۰۸	۵۶
۲	۲۳۵	۱۲۳	۴۱۸	۱۴۸
۳	۱۰۸۹	۳۹۱	۱۱۷۵	۴۱۷
۴	۱۵۰۷	۵۴۰	۱۵۹۲	۵۶۵
۵	۱۰۲۴	۳۶۸	۱۱۰۶	۳۹۲
۶	۳۰۷	۱۱۲	۳۸۴	۱۳۶
۷	۳۶	۱۶	۱۰۴	۳۷
کل	۴۳۷۸	۱۵۸۳	۴۹۳۵	۱۷۵۱
هزینه کل (ریال)	۳۰۵۰۲۰۰۰	۳۱۶۰۶۰۰	۳۰۹۴۸۰۰۰	۳۵۰۰۲۰۰

- [۸] Dixon, k.k.; Vadakpat, J.; Stoffels, S.; "Road Cost Models for use in Network-level Pavement Management". Transportation Research Board 79th Annual Meeting, 2000.
- [۹] Skabardonis A.; May A.D.; "Simulation Models for Freeway corridors: state-of-the art and research needs," presented at the 77<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 1998.
- [۱۰] Skabardonis, A.; "Assessment of Traffic Simulation Models," University of California, Berkely, Institute of Transportation Studies, 1999.
- [۱۱] مدل تخصیص ترافیک و عملکرد سیستم حمل و نقل شیراز در سال ۱۳۷۸، مطالعات جامع حمل و نقل شیراز، گزارش شماره ۱۷-۷۹، پژوهشکده حمل و نقل شریف، مرکز مطالعات و تحقیقات حمل و نقل، دانشگاه صنعتی شریف.
- [۱۲] "Highway Economic Requirement System (HERS)". Technical Report U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, December 2000.
- [۱] "Highway Capacity Manual". National Transportation Research Board, Third Edition, Washington, D.C.1994.
- [۲] Martinelli, D.R.; Xu.D., "Delay estimation and optimal length for four-lane divided freeway work zones". Journal of Transportation Engineering, March/April 1996.
- [۳] Shibuya, S.; Nakatsuji, T.; Fujiwara, T: and Matsuyama, E; "Traffic control at flagger-operated work zones on two-lane roads". Transportation Research Record 1529, 1996
- [۴] Chien, S.; and Schonfeld, P.; "Optimal work zone lengths for four-lane highways".Journal of Transportation Engineering, March/April 2001.
- [۵] Yi, J.; and Shuoli; "Measuring and analyzing vehicle position and speed data at work zones using Global Positioning System". Transportation Research Board 80th Annual Meeting, 2001.
- [۶] Chien, S.; and Schonfeld, P.; "Optimizing work zones for two-lane highway maintenance projects". Journal of Transportation Engineering, March/April 2002.
- [۷] Delwar, M.; and Papagiannakis, T.; "Comparison agency and user delay costs from pavement 4-R activities". Transportation Research Board 78th Annual Meeting, 1999.

زیر نویس ها

- <sup>1</sup> Work Zone
- <sup>2</sup> Highway Capacity Manual (HCM)
- <sup>3</sup> Martinelli
- <sup>4</sup> Shibuya
- <sup>5</sup> Xu
- <sup>6</sup> Jiang
- <sup>7</sup> Schonfeld and Chien
- <sup>8</sup> Delwar and Papagiannakis
- <sup>9</sup> Dixon
- <sup>10</sup> Skabardonis
- <sup>11</sup> May
- <sup>12</sup> Car-following Model
- <sup>13</sup> Optimal Combination
- <sup>14</sup> Highway Economic Requirement System