طراحی مدل مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی با هدف استخراج حجم ترافیک در شبکهٔ راه‌ها

سید فرزین فائزی[۱]، اسد بهروزی[۲]

از صفحه ۱۰۱ تا ۱۳۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۵

چکیده

زمینه و هدف: آمار تردد وسایل نقلیه از اساسی‌ترین و مهم‌ترین آمارهای موردنیاز در مدیریت حمل‌ونقل است. امروزه تردد‌شمارها به‌عنوان یکی از روش‌های نوین اخذ اطلاعات برخط لحظه‌ای در مدیریت ترافیک مطرح است. باوجود اهمیت نصب و استقرار چنین تجهیزاتی، مهم‌ترین مسئله و دغدغه، تعیین مکان بهینهٔ نصب آن‌ها است تا بتوان به آمار قابل‌استنادی به‌منظور مدیریت راه‌ها دست یافت؛ بنابراین هدف اصلی این پژوهش، ارائهٔ مدلی برای مکان‌یابی تردد‌شمار درراه‌های برون‌شهری به‌منظور استخراج مقدار بهینهٔ AADT خواهد بود.

روش: پس از جمع‌آوری میدانی (محور بندرعباس - میناب) داده‌های ترافیکی نمونهٔ موردی و تجزیه‌وتحلیل آماری آن‌ها، مسئله به کمک توابع جبری ریاضی مدل‌سازی شده است. در مدل ارائه‌شده در این پژوهش، محدودیت‌هایی از قبیل محدودیت‌های هندسی، فیزیکی و بودجه بر تابع هدف مسئله اعمال شده است که در سه حالت مجزا دستیابی به مناسب‌ترین پوشش مسیر در کنار کمترین خطای AADT مدنظر قرار گرفته است.

یافته‌ها: با استخراج آمار تردد‌شمار مستقر در محور و مشاهدهٔ روند تغییرات ترافیک در سال ۱۳۹۵ مشخص شد که ترافیک در ماه‌های اردیبهشت به میانگین تردد سالیانهٔ محور نزدیک‌تر است. همچنین روزهای یکشنبه، دوشنبه و سه‌شنبه و ساعات ۰۹:۰۰ تا ۱۱:۰۰ و ۱۴:۰۰ تا ۱۹:۰۰، مناسب‌ترین گزینه‌ها برای برداشت و ثبت ترافیک هستند. با استفاده از داده‌های ترافیکی حاصل از یک محل شمارش دائمی، ضرایب تغییرات ساعتی، روزانه و ماهانهٔ ترافیک برای هرکدام از نقاط کنترل تعیین شد؛ سپس مقدار متناظر ترافیک ساعتی، روزانه و ماهانه محاسبه شد. با اطلاعات به‌دست‌آمده، AADT تخمین زده شد و بعد از تخمین AADT برای هرکدام از نقاط کنترل ترافیک، AADT محور مشخص شد. درنهایت مناسب‌ترین تابع برای مکان‌یابی تردد‌شمارها با توجه به سه محدودیت، هندسی، فیزیکی و بودجهٔ در دسترس تعیین شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به مدل ریاضی می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تعداد شمارنده‌های ترافیکی لزوماً افزایش دقت تخمین AADT را به‌همراه نخواهد داشت. تحلیل حساسیت نشان داد که با تخصیص ۲ هزار میلیون ریال هزینه برای یک بازهٔ زمانی ۵ ساله، مناسب‌ترین پوشش مسیر در کنار کمترین خطای AADT حاصل خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی، تردد‌شمار، مدل ریاضی، حجم ترافیک، گمز، بندرعباس.

---

۱. استادیار گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، Farzin_faezi@yahoo.com
۲. گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

www.SID.ir

مطالعات پژوهشی راهور
۱۰۲
فصلنامه علمی- پژوهشی
سال هفتم- شماره ۲۷
زمستان ۱۳۹۷

مقدمه

در بحث برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری توسعهٔ آتی راه‌ها، استخراج داده‌های ترافیکی در اغلب تصمیم‌گیری‌ها در اولویت و اهمیت اقدام قرار دارد تا تصمیم‌گیری منطبق بر علوم و دانش روز ترافیک باشد (الهی و اکبرزاده، ۱۳۹۶). مطالعه و اندازه‌گیری حجم ترافیک جاده‌ها ازجمله عوامل تعیین‌کننده در تقاضای موجود، برنامه‌های آتی توسعهٔ زیربناهای حمل‌ونقل کشور و تسهیلات مستقر در آن‌ها می‌باشد (امینی و اسرافیلی، ۱۳۹۵). همچنین برنامه ریزی و مدیریت جریان ترافیک، توسعه و بهسازی راه‌ها، ارزیابی منافع اقتصادی، مکان‌یابی امکانات و خدمات رفاهی در طول شبکهٔ راه‌ها، بررسی شرایط ایمنی عبورومرور و... نیازمند دانستن اطلاعاتی از تردد محور است؛ پس لازم است مقدار بهینهٔ این آمار استخراج شود. بدون داشتن اطلاعات کامل از اینکه راه‌های موجود چگونه استفاده می‌شوند، نمی‌توان درمورد نگهداری زیرساخت‌های موجود و توسعهٔ بهینهٔ شبکه برنامه‌ریزی کرد.

مکان‌یابی ازجمله تحلیل‌های مکانی است که تأثیر فراوانی در کاهش هزینه‌های ایجاد و راه‌اندازی دارد. به همین دلیل، یکی از مراحل مهم و اثرگذار پروژه‌های اجرایی به‌شمار می‌رود. امروزه قابلیت‌های بالای سیستم اطلاعات مکانی، به ارائهٔ محیط بسیار کارآمدی برای اجرای مراحل مختلف تحلیل‌هایی از قبیل مکان‌یابی منجر گردیده است. از سوی دیگر، بخش اعظمی از هزینه‌های احداث و سایر برنامه‌ریزی‌های اقتصادی پروژه‌ها مربوط به مکان‌یابی است و این امر موردتوجه مدیران و تصمیم‌گیران نیز قرار گرفته است.

اگرچه روش‌های مختلفی برای تردشماری ترافیکی در منابع مهندسی ترافیک استفاده شده، اما مطالعات نشان می‌دهد که بررسی مناسبی جهت انتخاب مکان بهینه تردشمارها در جاده‌های کشور برای انواع راه‌ها صورت نپذیرفته است (خورده‌بینان، ۱۳۹۵). استخراج آماری فراتر از حد انتظار توسط شمارنده‌های ترافیکی، منجر به

www.SID.ir

تصمیم‌گیری اشتباه برای توسعهٔ راه و تحمیل هزینه‌های زیاد برای گسترش مسیر می‌شود و چنانچه آماری بسیار پایین‌تر از ترافیک واقعی محور ثبت شود، سبب کاهش سطح کیفیت ترافیک، کاهش ایمنی، افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و... خواهد شد؛ بنابراین بهتر است در محورهای برون‌شهری، مکان‌هایی برای نصب ترددشمار انتخاب شوند که تغییرات حجم ترافیک آن‌ها به میانگین کل محور نزدیک‌تر باشد تا آمار تردد در مقیاسی واقع‌بینانه ارائه شود. متوسط حجم ترافیک روزانه در سال[1]، مناسب‌ترین مؤلفهٔ ترافیکی برای تبیین این وضعیت است که به‌وسیلهٔ آن قادر خواهیم بود متوسط سالیانهٔ تردد محور را به شیوهٔ مناسبی تخمین بزنیم (پرهیزگار، ۱۳۷۶). لذا با استناد به نتایج مطالعات پیشین، لزوم مکانیزاسیون کنترل ترافیک با توجه به توجیه فنی و اقتصادی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

بررسی‌های به‌عمل‌آمده نشان می‌دهد که به‌طور مشخص و مستقل پژوهش‌هایی در زمینهٔ مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی با هدف استخراج AADT صورت نپذیرفته است (رحمنی و همکاران، ۱۳۹۳). تا چندین سال پیش، هیچ روش خاصی برای یافتن لینک‌های شبکه به‌منظور نصب شمارنده‌ها وجود نداشت و اکثراً برای انتخاب لینک‌ها از روش‌های تصادفی استفاده می‌شد؛ به این صورت که تعدادی از لینک‌های شبکه به‌صورت تصادفی انتخاب و شمارش می‌شدند؛ پس‌ازآن نیز انتخاب لینک‌ها بر اساس نظرات کارشناسی صورت می‌گرفت و با ایجاد خط برش[2] در شبکه انتخاب می‌شدند. یانگ[3] و همکارانش (۲۰۰۶) با درنظرگرفتن لینک‌های با اهمیت، چهار قانون به‌منظور مکان‌یابی ترددشمارها وضع و آن‌ها را با معادلات جبری ریاضی فرموله نمودند که این قوانین، بعدها اساس کار سایر پژوهشگران شد. امروزه قابلیت‌های بالای سیستم اطلاعات مکانی در مدیریت و تجزیه‌وتحلیل داده‌های

1. Annual Average Daily Traffic (AADT)
2. Screen Line
3.Yang

www.SID.ir

مکانی به ارائهٔ محیط بسیار کارآمدی برای اجرای مراحل مختلف تحلیل‌هایی از قبیل مکان‌یابی منجر گردیده است (صفارزاده[1] و همکاران، ۲۰۱۳). ازاین‌رو هدف اصلی این پژوهش، مکان‌یابی ترددشمار به‌منظور استخراج AADT در راه‌های برون‌شهری می‌باشد. اهداف فرعی این پژوهش به‌قرار زیر است:

– تعیین مراکز عمدهٔ جمعیتی یا خدماتی در طول محور و استخراج داده‌های آماری و ترافیکی از مناطق موردنظر؛

– ایجاد مدل ریاضی و پردازش داده‌ها با نرم‌افزار GAMS[2]؛

– مکان‌یابی با نرم‌افزار GIS[3] و مقایسه با نتایج مدل ریاضی.

با توجه به مطالب گفته‌شده، پژوهش حاضر به‌دنبال پاسخ‌گویی به این سؤال اصلی است که با توجه به محدودیت‌ها، چه مکان‌هایی برای برداشت داده‌های ترافیکی مناسب است؟

پیشینهٔ پژوهش

در پژوهشی به‌منظور کنترل مکانیزهٔ معابر ورودی محدودهٔ طرح زوج و فرد شهر تهران، در مدلی ریاضی اقدام به مکان‌یابی دوربین‌ها با هدف بیشینه‌کردن پوشش تخلفات نموده‌اند (آل‌نوری و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه‌ای که پیرامون مکان‌یابی نصب دوربین‌های کنترل سرعت در راه‌های برون‌شهری به‌منظور کاهش تصادفات انجام شد، نقاط پرمخاطره شناسایی شد و با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی، دو نوع دوربین ثابت و متحرک به این محدوده تخصیص داده شد (فاضلی‌فر و همکاران، ۱۳۹۱). در پژوهشی به بررسی مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی به‌منظور بیشینه‌سازی پوشش مسیرها پرداخته شده که در این مطالعه نیز دو مدل بهینه‌سازی موردبحث و

1. Saffarzadeh
2. General Algebraic Modeling System
3. Geographic Information System

www.SID.ir

بررسی قرار گرفته است؛ در مدل ابتدایی، با اضافه‌نمودن محدودیت بودجه بحث بیشینه‌سازی پوشش مسیرها بررسی شده و در مدل دوم، بیشینه‌سازی تعداد مسیرها و کمینه‌سازی تعداد دوربین‌ها مدنظر قرار گرفته است (فدایی نایینی و همکاران، ۱۳۹۱).

مطالعاتی در خصوص مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی با استفاده از مدل بهینه‌سازی کلونی مورچگان انجام شد. در این پژوهش، مدل بهینه‌سازی با دو تابع هدف ارائه شده که در سطح اول به بیشینه‌کردن پوشش تعداد جفت مبدأ – مقصدها پرداخته و در سطح دوم، تعداد ایستگاه‌های شمارش ترافیک را کمینه می‌کند (سان[1] و همکاران، ۲۰۱۴). در پژوهشی دیگر به تخصیص بهینهٔ شناساگرهای نقطه‌ای مانند شناساگرهای حلقوی جهت کمینه‌سازی خطا پرداخته شده و برای بهینه‌سازی مکان این شناساگرها در طول محورهای آزادراهی درون‌شهری از روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و برای حل آن از تکنیک شاخه و کران بهره گرفته شده است.

در پژوهش سالاری[2] (۲۰۱۰) آزمایش‌های عددی در طول محورهای آزادراهی نشان می‌دهد که این مدل مکان‌یابی برای تخصیص شناساگرهای حلقوی جهت افزایش دقت تخمین سفر با موفقیت همراه بوده است. در پژوهشی، به بررسی موضوع مکان‌یابی بهینهٔ شمارشگر ترافیک با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته شد. در این پژوهش، مسئلهٔ مکان‌یابی به‌صورت دینامیکی فرموله شده و موضوع زمان و مکان بهینهٔ نصب شمارشگرهای ترافیک با هدف بیشینه‌سازی پوشش زوج مبدأ – مقصدها موردتوجه قرار گرفته است که البته دراین‌بین محدودیت بودجه نیز وجود دارد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین کیم[3] و همکارانش (۲۰۰۳) در پژوهشی به مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیک برای تخمین ماتریس سفر مبدأ – مقصد پرداختند که

1. Sun
2. Salari
3. Kim

www.SID.ir

در مطالعات ایشان، مدل بهینه‌سازی به‌منظور انتخاب مسیرهای بهینه جهت برآورد ماتریس مبدأ – مقصد به‌صورت کمان مبنا و مسیر مبنا موردبررسی قرار گرفت و برای حل این مدل نیز از سه الگوریتم متفاوت GAS، GA و BB استفاده شد.

یانگ و زو (۱۹۹۸) را می‌توان یکی از پایه‌گذاران مکان‌یابی ترددشمارها دانست. او در گام نخست، چهار قانون برای مکان‌یابی ترددشمارها تعریف کرد؛ سپس مسئله را به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای پوشش سفرهای بین هر جفت مبدأ – مقصد مدل‌سازی نمود. در گام بعد برای بهینه‌سازی موقعیت، ترددشمارها را با هدف جذب جریان حداکثر بین دو مسیر مدل‌سازی کرد (جدول ۱).

جدول ۱. خلاصه پژوهش‌های انجام‌شده

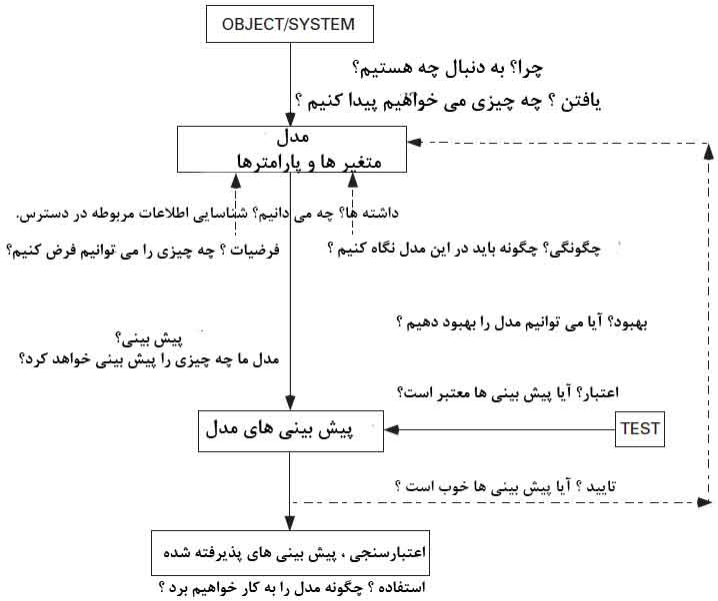
ردیف	نام نویسنده	عنوان مطلب	سال	نتایج و پیشنهادها
۱	آل‌نوری	کنترل مکانیزهٔ معابر ورودی	۱۳۹۳	مکان‌یابی نوع دوربین‌ها
۲	فاضلی‌فر	مکان‌یابی نصب دوربین‌ها	۱۳۹۱	شناسایی نقاط پرمخاطره
۳	فدایی نایینی	مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی	۱۳۹۱	ارائهٔ دو مدل مکان‌یابی
۴	سان	مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی	۲۰۱۴	ارائهٔ مدل مکان‌یابی
۵	سالاری	مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی	۲۰۱۰	ارائهٔ مدل مکان‌یابی
۶	یانگ	مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی	۲۰۰۳	ارائهٔ مدل مکان‌یابی
۷	کیم	مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی	۲۰۰۳	ارائهٔ مدل مکان‌یابی
۸	یانگ	ارائهٔ قوانین مکان‌یابی	۱۹۹۸	ارائهٔ مدل مکان‌یابی

مبانی نظری

پژوهشگران مختلفی درمورد انواع مدل‌ها در تصمیم‌سازی اظهارنظر نموده‌اند (قدسی‌پور، ۱۳۹۳)؛ ولی به‌دلیل تنوع و پیچیدگی مسائل، برنامه‌ریزان به‌منظور کاستن از پیچیدگی و قابل‌کنترل‌نمودن آن‌ها به استفاده از مدل‌های کمّی و ریاضی توسل جسته‌اند (فرانسیس[1] و همکاران، ۲۰۰۹). مدل مفهومی و فرایند تصمیم‌گیری (مدل‌سازی) ریاضی بر اساس شکل ۱ می‌باشد.

1. Fransis

www.SID.ir



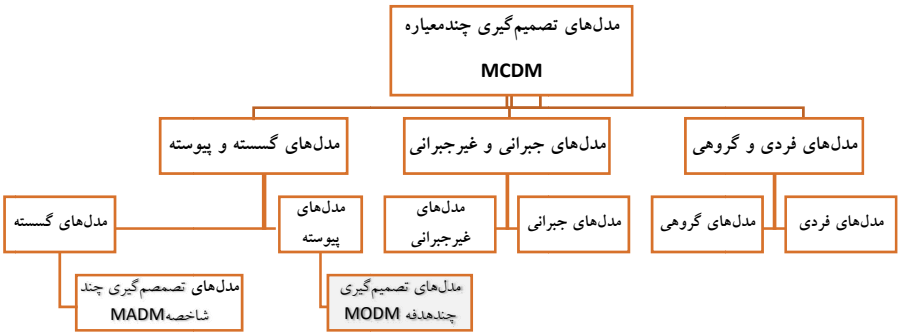
شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

مدل‌های ریاضی، روابط عناصر را از طریق متغیرها و مؤلفه‌ها بیان می‌کنند. در این شیوهٔ مدل‌سازی، واقعیت خلاصه‌شده و ابعاد کمتری از آن نشان داده می‌شود. از مجموعهٔ تکنیک‌های پژوهش در عملیات، تکنیک تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه[1] عهده‌دار حل این‌گونه مسائل در تصمیم‌گیری است. مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را می‌توان مطابق شکل ۲ تقسیم‌بندی نمود.

1. Multiple Criteria Decision Making(MCDM)

www.SID.ir

مطالعات پژوهشی راهور
۱۰۸
فصلنامه علمی - پژوهشی
سال هفتم - شماره ۲۷
زمستان ۱۳۹۷



شکل ۲. تقسیم‌بندی روش‌های مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره از منظر گسسته یا پیوسته‌بودن پاسخ‌ها، به دو دستهٔ تصمیم‌گیری چندشاخصه[1] و تصمیم‌گیری چندهدفه[2] تقسیم می‌شود. مدل‌ها و تکنیک‌های مرتبط با این تصمیم‌گیری‌ها مدل‌های چندشاخصه و چندهدفه نامیده می‌شوند. در شرایط واقعی، وضعیت‌هایی رخ می‌دهد که مدل ریاضی طراحی‌شده تنها با یک هدف، بیانگر واقعیت و خواسته‌های موردنظر تصمیم‌گیرنده نیست و این امر، کارایی و مطلوبیت نتایج حاصل از مدل را کاهش می‌دهد. در عالم واقع، مسائل بسیاری می‌توان یافت که هم‌زمان تحت‌تأثیر چند هدف قرار می‌گیرند. در مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه، هدف تصمیم‌گیرنده به‌صورت چندین تابع هدف بیان شده و راه‌حل، بهینه‌سازی این توابع است. اهداف ممکن است با مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت (مانند پول، زمان، تعداد و...) بیان شود؛ مثلاً یکی از اهداف، حداقل‌کردن هزینه و دیگری حداکثرکردن میزان تولید و... باشد. در مدل‌سازی‌های چندهدفه، عموماً اهداف متضاد است و بهبود یک هدف می‌تواند بر اهداف دیگر تأثیر منفی

1. Multiple Attribute Decision Making(MADM)
2.Multiple Objective Decision Making(MODM)
3. Average Daily Traffic(ADT)

www.SID.ir

بگذارد. شکل ریاضی مسائلی با اهداف چندگانه به‌صورت زیر است:

$$Max(Min)Z = \left[z_1, z_2, \ldots, z_p\right]$$
$$z_1 = z_1(x_j)$$
$$z_2 = z_2(x_j)$$
$$\vdots$$
$$z_p = z_p(x_j)$$
$$g_i(x_j) \le b_i \qquad i = 1,2,\ldots,m$$
$$x_j \ge 0 \qquad j = 1,2,\ldots,n$$

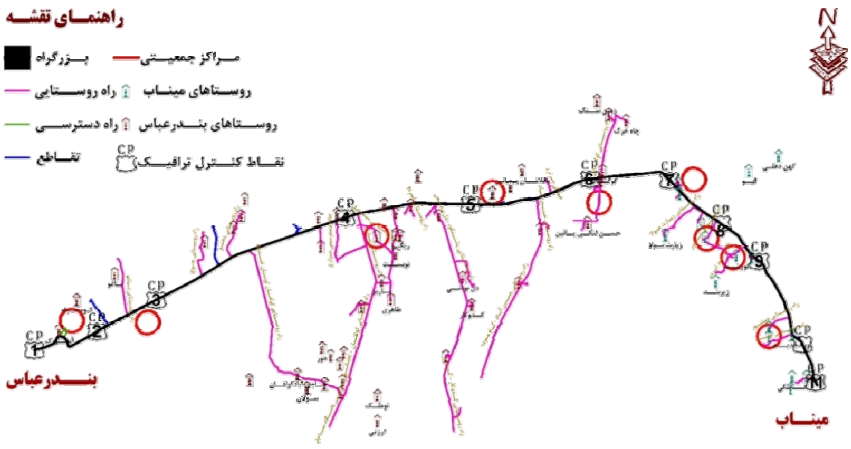
که Zp(xj) و gi(xj) توابعی خطی از متغیر تصمیم xj هستند و bi مقداری غیرمنفی و ثابت است. این مدل P تابع هدف، m محدودیت و n متغیر دارد. جواب مناسب برای این مدل، مجموعهٔ مقادیر اختصاص‌یافته به متغیرهای تصمیم یعنی xj است که در تمامی m محدودیت صدق و هم‌زمان p تابع هدف را حداکثر (حداقل) کند. بااین‌همه، جوابی موجه است که به بهینه‌شدن یک هدف بینجامد؛ به‌علت وجود اهداف متضاد در مدل ممکن است نتواند سایر اهداف را بهینه کند (شیرازی، ۱۳۸۰). نظر به اینکه در پژوهش حاضر، اهدافی با مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت دنبال می‌شوند و نیاز به استخراج مقادیر عددی ترافیک از مجموعهٔ جواب‌های قابل قبول مسئله است، مدل‌سازی تصمیم‌گیری چندهدفه، ملاک عمل قرار گرفته است. علاوه بر روش‌های ریاضی توصیه‌شده برای حل این‌گونه مسائل، به‌منظور سهولت اجرا و نیز افزایش دقت و سرعت تصمیم‌گیری، در این پژوهش سعی بر استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزاری است. نرم‌افزار گمز با قدرت تحلیل و پردازش بالا، ابزاری مناسب برای حل مسائل غیرخطی چندهدفه است که در این پژوهش مورداستفاده قرار گرفته است.

www.SID.ir

روش پژوهش

از مقادیر اولیه و اساسی در مهندسی ترافیک، حجم ترافیک (تعداد وسایل نقلیهٔ عبوری از مقطع مشخصی در طول زمان) می‌باشد. درواقع، بدون دانستن حجم ترافیک موجود و میزان تقاضا در آینده نمی‌توان برای محدودهٔ موردمطالعه، تصمیم مناسبی در ارتباط با طراحی تسهیلات یا گزینه‌های کنترل ترافیک اتخاذ نمود (فائزی و کوهیان، ۱۳۹۵). ازاین‌رو در این قسمت، ضمن معرفی محور موردمطالعه، به‌تفصیل به چگونگی جمع‌آوری، ساده‌سازی و تخمین داده‌های ترافیکی پرداخته می‌شود.

برای شمارش وسایل نقلیه با استفاده از آمار نمونه‌ها و بسط و تعدیل نتایج شمارش می‌توان به متوسط تغییرات ساعتی ترافیک، متوسط حجم روزانه در یک ماه و متوسط حجم ترافیک روزانه در سال دست یافت. در گام اول روش پژوهش حاضر، ابتدا مراکز عمدهٔ تولید و جذب سفر مابین نواحی مبدأ تا مقصد تعیین خواهند شد. برای تعیین نقاط کنترل ترافیک، ابتدا باید هرگونه مراکز تولید و جذب سفر از قبیل مراکز عمدهٔ جمعیتی، خدماتی و... را که سبب ایجاد تغییرات در ترافیک محور می‌شوند، شناسایی و سپس در موقعیت متناظر روی بزرگراه اقدام به برداشت ترافیک کرد (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت مراکز عمدهٔ جمعیتی، خدماتی و... در طول محور

www.SID.ir

گام دوم که مشاهدهٔ روند تغییر ترافیک خروجی از مبدأ و ورودی به مقصد است، نیازمند ثبت آمار سفرهای دروازه‌ای می‌باشد؛ بنابراین دو نقطهٔ کنترل ترافیک که به‌صورت اجباری در هر پروژه برای تعیین آمار سفرهای دروازه‌ای موردنیاز است، نقاط مبدأ و مقصد می‌باشند که به مجموعهٔ سایر نقاط کنترل ترافیک در طول محور افزوده می‌شوند (نقاط ۱ و ۱۱). در گام سوم، برای بخش‌هایی از شبکه که دارای مشخصات کاربری زمین بسیار متفاوتی هستند، باید محل‌های شمارش کنترلی اضافه‌ای در نظر گرفته شود. در گام چهارم، ازآنجایی‌که برای هر طبقه از تسهیلات موجود در طول محور (راه‌های روستایی، راه‌های دسترسی، شریانی و...) تغییرات ترافیکی ایجادشده از سوی آن‌ها روی مسیر موردمطالعه (بزرگراه بندرعباس – میناب) مدنظر است؛ بنابراین نیازی به شمارش جریان ترافیک هرکدام از محورهای فرعی متصل به بزرگراه نمی‌باشد و کافی است آمارگیر قبل یا بعد از هر تقاطع، بسته به شرایط منطقه استقرار یابد و اقدام به جمع‌آوری داده‌های ترافیکی برابر فرم‌های ازپیش‌تنظیم‌شده نماید. با دو مورد آمار سفرهای دروازه‌ای، مجموعاً ۱۱ نقطهٔ کنترل ترافیک با مختصات جغرافیایی مشخص شده در جدول ۲ به‌منظور برداشت ترافیک شناسایی شده‌اند.

جدول ۲. مختصات جغرافیایی نقاط برداشت ترافیک

شماره نقطه کنترل	منطقه	Utm Point	
		x	y
۱	آبشورک	۱۹۱/۴۳۹۷۱۳	۰۶۵/۳۰۱۵۴۲۱
۲	باغو	۵۲۲۱/۴۴۳۱۵۵	۸۶۴/۳۰۱۶۰۰۲
۳	چاه فعله	۱۶۹۵/۴۴۸۳۱۰	۵۴۴/۳۰۱۸۷۲۵
۴	پشتکوه	۹۱۲۹/۴۶۴۵۸۱	۶۱/۳۰۲۵۸۳۰
۵	حسنلنگی	۸۵۵۴/۴۷۵۳۷۴	۰۸۶/۳۰۲۶۹۶۳
۶	چاه اسماعیل	۴۸۸۹/۴۸۵۶۵۶	۵۱۱/۳۰۲۹۱۳۱
۷	تیرور	۱۳۵۳/۴۹۲۴۸۷	۶۶/۳۰۲۹۰۴۱
۸	پشته گوربند	۸۴۹۴/۴۹۶۹۲۶	۶۷۷/۳۰۲۵۳۱۴
۹	نوبند	۸۶۰۹/۵۰۰۲۴۰	۰۳۴/۳۰۲۲۱۰۲
۱۰	حاجی خادمی	۱۹۸۴/۵۰۳۹۶۳	۰۰۶/۳۰۱۴۹۲۳
۱۱	میناب	۵۹۵۳/۵۰۵۰۲۹	۰۹۱/۳۰۱۱۷۷۷

www.SID.ir

مطالعات پژوهشی راهور
۱۱۲
فصلنامه علمی- پژوهشی
سال هفتم- شماره ۲۷
زمستان ۱۳۹۷

نمونهٔ موردی

بزرگراه بندرعباس – میناب به طول تقریبی ۸۵ کیلومتر، جزئی از شبکهٔ ملی راه‌های کشور است؛ با چهار خط عبور (دو خط عبور در هر طرف) که مسیرهای رفت‌وبرگشت آن از هم جدا شده و از این مقدار، نزدیک به ۵۹/۱۵ کیلومتر در حوزهٔ استحفاظی راه‌های شهرستان بندرعباس و ۲۵/۸۵ کیلومتر در حوزهٔ مدیریت راه‌های شهرستان میناب واقع شده است. در بیشتر طول مسیر، محدودیتی برای دسترسی از اطراف وجود ندارد. منطقهٔ عمومی قرارگیری محور راه، دشت می‌باشد و در طول محور، مجموعاً ۶۴ مرکز روستایی (مراکز عمدهٔ جمعیتی) به‌وسیلهٔ ۴۶ محور ارتباطی با بزرگراه مذکور مرتبط می‌شوند. علاوه بر راه‌های روستایی، ۱۹ دوربرگردان (میدان) و ۳ راه دسترسی نیز به‌منظور ارتباط با مراکز جمعیتی موجود در سمت مخالف محور، مراکز خدماتی، فرهنگی و... وجود دارند که خود باعث جذب بخش معیّنی از سفرهای مسیر می‌شوند. بزرگراه در کیلومتر ۴۱ و ۹۰ مجهز به سامانهٔ ترددشمار برخط می‌باشد که آمار تردد وسایل نقلیه را به‌صورت لحظه‌ای به مرکز مدیریت راه‌های کشور ارسال می‌کند.

مهم‌ترین معیار در مکان‌یابی ترددشمارها، معیار پوشش می‌باشد. مسلّماً هرچه بتوان راه‌های کشور را تحت پوشش بیشتری قرارداد و بر مسیر کنترل بیش‌تری اعمال نمود، سیاست‌های تصمیم‌گیری بر واقعیت‌های موجود انطباق بیشتری خواهند داشت؛ بنابراین موضوع مکان‌یابی را باید با سایر اهداف مرتبط با پژوهش، بهینه‌سازی نمود. معیارها و شاخص‌های مؤثر در مدلی که در مطالعهٔ مذکور ارائه خواهد شد، شاملِ شاخص انحراف از مقدار میانگین (انحراف معیار)، شاخص بودجه و هزینه، شاخص‌های فیزیکی و هندسی راه، شاخص ایمنی و انرژی می‌باشند.

www.SID.ir

ورودی‌های مدل ریاضی

هدف کلی مدل بهینه‌سازی ارائه‌شده، تعیین مکان ترددشمارها به‌نحوی است که متوسط حجم ترافیک روزانه در سال با حداقل خطا حاصل شود. در ادامه، ابتدا ورودی‌های مسئلهٔ بهینه‌سازی ارائه و سپس ساختار مدل تشریح شده و درنهایت مدل تعریف‌شده با استفاده از نرم‌افزار گمز تجزیه‌وتحلیل خواهد شد. در این روش با تقسیم‌بندی مسیر به بازه‌های یک‌کیلومتری، d_{ij} درایهٔ ماتریس مسیر لینک خواهد بود. به این‌صورت که اگر کیلومتر موردنظر، عضو یک ناحیه از مسیر باشد، مقدار ۱ را می‌پذیرد و در غیر این‌صورت، مقدار صفر را می‌پذیرد که i و j مجموعه‌هایی شامل موارد زیر می‌باشند:

مجموعهٔ لینک‌های مسیر (کیلومتراژ) $i = \{۱, ۲, ۳, \ldots 85\}$; $n(i) = ۸۵$

مجموعهٔ ناحیه‌های مسیر $j = \{۱, ۲, ۳, \ldots ۹\}$ $n(j) = ۹$

مجموعهٔ مسیرها $k = \{۱, ۲\}$ $n(k) = ۲$

تابع هدف

همان‌طور که قبلاً عنوان شد تابع هدف مسئله، پوشش مناسب مسیر و انجام روند مکان‌یابی ترددشمار است، به‌نحوی که بالاترین دقت یا کمترین خطا در استخراج آمارهٔ AADT حاصل شود. تابع هدف در سه حالت مجزا به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که بخش مشخصی از سفرهای هر ناحیه از مسیر پوشش داده شوند. ابتدا حداکثر تعداد لازم مطابق رابطهٔ ۱ تعیین می‌شود. سپس تعداد و موقعیت آن‌ها را در محور مطابق رابطهٔ ۲ به‌گونه‌ای بهینه‌سازی می‌شود که خطای استخراج AADT به حداقل ممکن برسد. درنهایت ایدئال‌ترین حالت‌های قرارگیری ترددشمار در هرکدام از مسیرهای محور به کمک رابطهٔ ۳ بررسی می‌شوند.

www.SID.ir

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n=85} \sum_{j=1}^{n=9} X_{ij} \quad (1)$$

$$Min(z) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{85} \sum_{j=1}^{9} (v_{ij} - A)^2 \times X(i,j)}{n}} \quad (2)$$

$$Min(z) = \sum_{i=1}^{n=85} \sum_{k=1}^{n=2} \sqrt{\frac{(m_{ik} - A)^2}{n}} \times (y_{ik}) \quad (3)$$

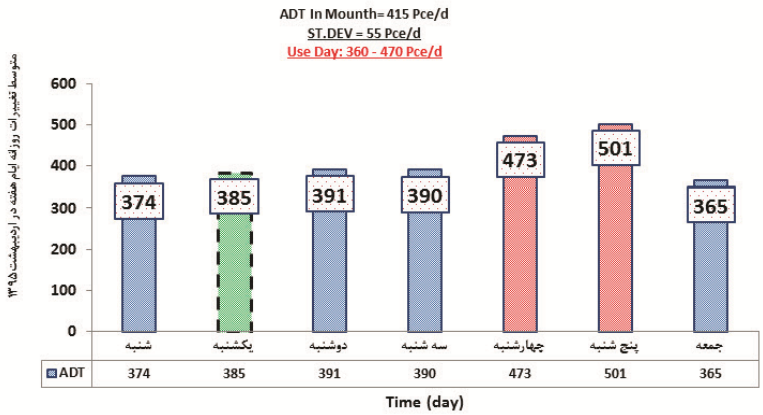
در این مدل، سه نوع محدودیت وجود دارد که محدودیت نوع اول، تعیین‌کنندهٔ حداقل و حداکثر ترددشمار و محدودیت نوع دوم، محدودیت‌های فیزیکی و هندسی راه را مدل می‌کند و محدودیت نوع سوم هم مربوط به حداکثر بودجه و هزینهٔ تخصیص‌داده‌شده است.

یافته‌های پژوهش

اطلاعات ترافیکی نمونهٔ موردی

با استخراج آمار ترددشمار مستقر در محور و مشاهدهٔ روند تغییرات ترافیک در سال ۱۳۹۵، فرایند انتخاب روز و بازهٔ زمانی مناسب برای برداشت دستی ترافیک از نقاط کنترل، مشخص شد که ترافیک در ماه‌های اردیبهشت به میانگین تردد سالیانهٔ محور نزدیک‌تر است. همچنین با تعیین میانگین تردد روزانهٔ هریک از ایام هفته در این ماه و مقایسهٔ این مقادیر با میانگین ماهانه نتیجه‌گیری شد که روزهای یکشنبه، دوشنبه و سه‌شنبه، مناسب‌ترین گزینه‌ها برای برداشت و ثبت ترافیک هستند (شکل ۴).

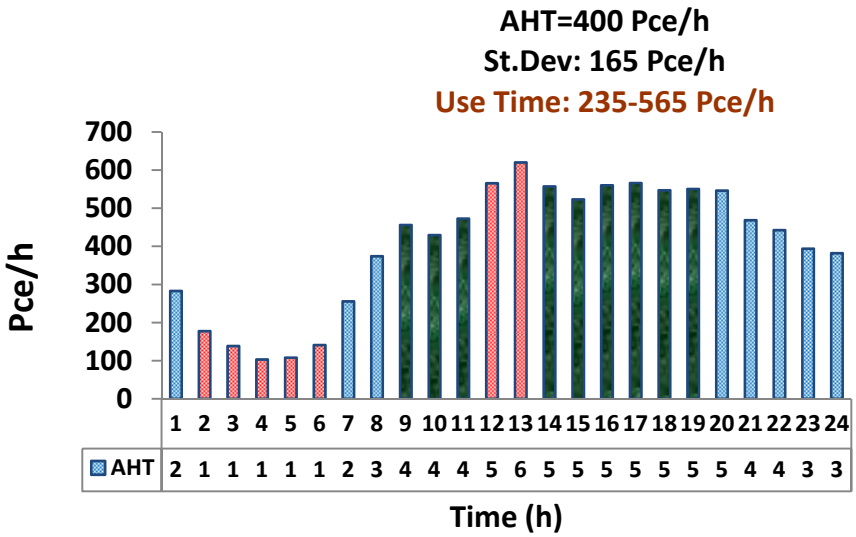
www.SID.ir



شکل ۴. تعیین روز مناسب برای برداشت ترافیک

پس از تعیین متوسط تغییرات ساعتی ترافیک و محاسبهٔ انحراف معیار استاندارد، بازه‌های زمانی که دقت مطالعات را پایین می‌آورند، از ادامهٔ فرایند پژوهش کنار گذاشته شدند. مطابق نمودار شکل ۵، زمان‌های ۰۲:۰۰ تا ۰۶:۰۰ بامداد به‌دلیل دارابودن ترافیکی پایین‌تر از دامنهٔ میانگین روزانه و ساعات ۱۲:۰۰ تا ۱۳:۰۰ نیز به‌دلیل بالابودن ترافیک آن‌ها از انحراف استاندارد روزانه، قابل‌استفاده نمی‌باشند؛ بنابراین مناسب‌ترین زمان‌ها برای برداشت ترافیک، ساعات ۰۹:۰۰ تا ۱۱:۰۰ و ۱۴:۰۰ تا ۱۹:۰۰ هستند.

www.SID.ir

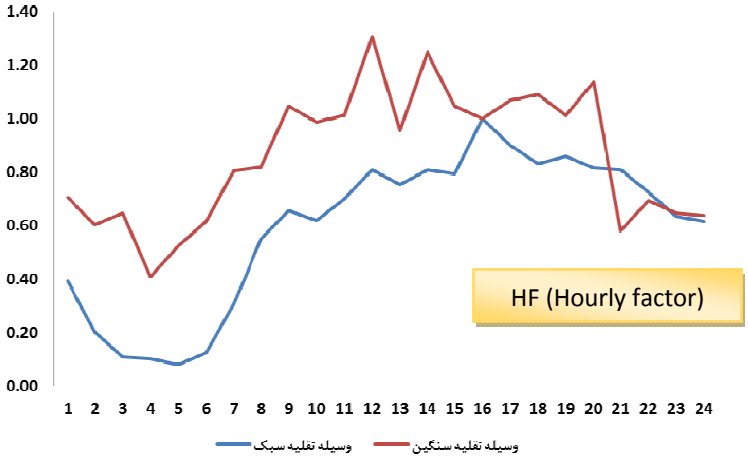


شکل ۵. تغییرات ساعتی ترافیک در نقطهٔ کنترلی شمارهٔ ۵

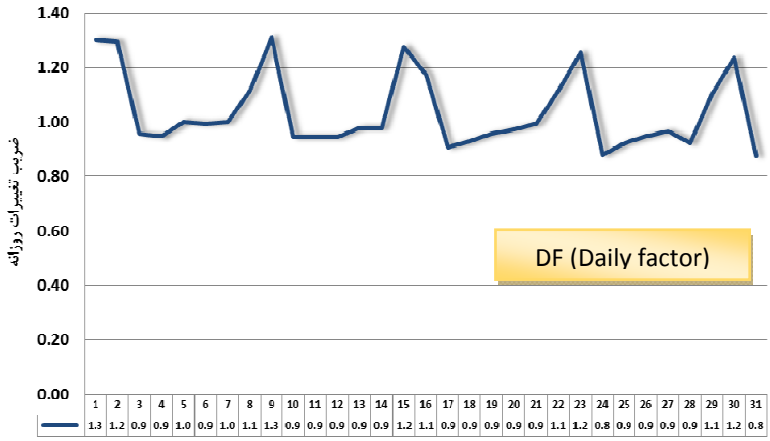
فرایند تحلیل و مدل‌سازی در وهلهٔ نخست مستلزم تعیین مؤلفهٔ AADT است. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، بازه‌های زمانی یک‌ساعته، مبنای برداشت ترافیک قرار گرفته‌اند، با بسط و توسعهٔ نتایج مطالعات ساعتی می‌توان به تخمین مناسبی از AADT محور دست یافت. روند تخمین AADT برای هرکدام از نقاط کنترل ترافیک، مراحل یکسانی را طی می‌کند. ابتدا با استفاده از داده‌های ترافیکی حاصل از یک محل شمارش دائمی ضرایب تغییرات ساعتی، روزانه و ماهانه ترافیک برای هرکدام از نقاط کنترل تعیین شده، سپس ضرب هرکدام از این ضرایب در مقادیر ترافیک ساعتی، مقدار متناظر ترافیک ساعتی، روزانه و ماهانه را نتیجه خواهد داد. نظر به اینکه فرایند یکسانی برای تمام نقاط کنترل ترافیک در این مرحله مدنظر می‌باشد؛ لذا به‌منظور پرهیز از تکرار و طولانی‌شدن حجم مطالعات، تنها به ارائهٔ مقادیر این ضرایب برای نقطهٔ کنترل شمارهٔ ۱ در نمودارهای شکل ۶ تا ۸ اکتفا شده است.

www.SID.ir

درنهایت متوسط ساعتی و روزانهٔ ترافیک مطابق نمودار شکل ۹ برای هرکدام از نقاط کنترل محاسبه و ارائه شده است؛ سپس AADT از میانگین‌گیری مقـادیر ترافیـک در ۱۲ ماه سال برای هرکدام از نقاط به دست آمد.

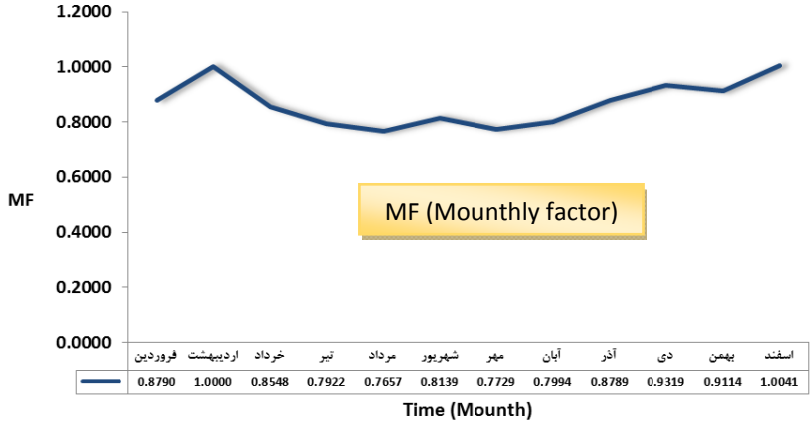


شکل ۶. ضرایب تغییرات ساعتی ترافیک برای نقطهٔ کنترلی شمارهٔ ۱



شکل ۷. ضرایب تغییرات روزانهٔ ترافیک برای نقطهٔ کنترلی شمارهٔ ۱

www.SID.ir

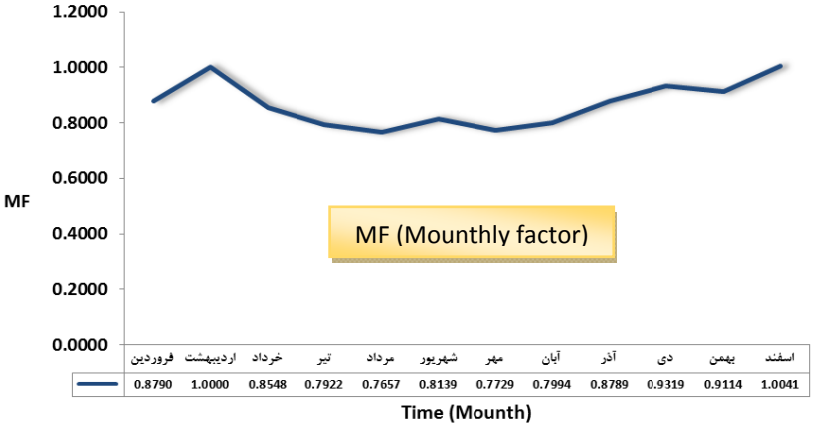


شکل ۸. ضرایب تغییرات ماهانهٔ ترافیک برای نقطهٔ کنترلی شمارهٔ ۱

$$DT = \frac{\sum_{۱}^{۲۴} HT}{۲۴}$$

$$ADT = \frac{\sum_{۱}^{۳۱} DT}{۳۱}$$

$$AADT = \frac{\sum_{۱}^{۱۲} ADT}{۱۲}$$



شکل ۹. تخمین DT، ADT و AADT در سال ۹۶

www.SID.ir

اطلاعات هزینه‌ای و هندسی نمونهٔ موردی

پس از تعیین اطلاعات ترافیکی لازم است اطلاعات هزینه‌ای مرتبط با این دستگاه‌ها جمع‌آوری گردد. با توجه به اخذ نظرات کارشناسان سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، هزینهٔ خرید، نصب و نگهداری این تجهیزات مطابق جدول ۳ می‌باشد. درنهایت با عمر مفید پنج‌سالهٔ این تجهیزات و نرخ تورم سالانهٔ شاخص کالاها و خدمات از مرکز آمار ایران برابر ۹ درصد، محاسبات این پروژه برای بازهٔ زمانی پنج‌ساله مطابق جدول ۴ خواهد بود.

جدول ۳. اطلاعات هزینه‌ای ترددشمار بر مبنای اطلاعات سال ۹۵ (به‌ازای هر دستگاه)

ردیف	نوع هزینه	هزینه (ریال)
۱	هزینهٔ خرید و نصب تجهیزات	۱۲.۰۰۰.۰۰۰
۲	هزینهٔ نگهداری و بهره‌برداری سالیانه	۵۰.۰۰۰.۰۰۰

جدول ۴. هزینه‌های هر ترددشمار در طول دورهٔ عمر

ورودی‌ها	مقادیر	واحد
هزینهٔ اولیه خرید و نصب (C_1)	۱۲.۰۰۰.۰۰۰	ریال
نگهداری و بهره‌برداری سالیانه (C_2)	۵۰.۰۰۰.۰۰۰	ریال
طول عمر (S)	۵	سال
نرخ تورم (IR)	٪۹	
ضابطه	$\left[c_1 + c_2 \times \frac{(1+IR)^S - 1}{IR}\right]$	
مقدار در طول دورهٔ عمر	۳۲۰.۰۰۰.۰۰۰	ریال

موقعیت موانع فیزیکی و محدودیت‌های هندسی مسیر طبق جداول ۵ و ۶ شناسایی و ارائه شده است. این موقعیت‌ها در رابطهٔ ریاضی با ماتریس‌های (r_{ij}) و (t_{ij})، معرفی و مدل‌سازی شده‌اند.

www.SID.ir

جدول ۵. موانع فیزیکی محور (r_{ij})

ردیف	نوع محدودیت	کیلومتر	ردیف	نوع محدودیت	کیلومتر
۱	رودخانه	۵	۷	رودخانه	۵۲
۲	رودخانه	۱۱	۸	پوشش ضعیف داده	۶۳
۳	رودخانه	۱۲	۹	رودخانه	۶۷
۴	رودخانه	۱۴	۱۰	رودخانه	۷۶
۵	رودخانه	۱۸	۱۱	رودخانه	۷۷
۶	پوشش ضعیف داده	۳۴			

جدول ۶. محدودیت‌های هندسی (t_{ij})

ردیف	نوع محدودیت	کیلومتر	ردیف	نوع محدودیت	کیلومتر
۱	تقاطع	۳	۱۷	دوربرگردان (میدان)	۴۵
۲	سه‌راهی	۸	۱۸	عبورهای عرضی	۴۸
۳	تقاطع با محور روستایی	۱۰	۱۹	تقاطع با محور روستایی	۴۹
۴	تقاطع با محور روستایی	۱۷	۲۰	عبورهای عرضی	۵۴
۵	تقاطع	۱۹	۲۱	دوربرگردان (میدان)	۵۷
۶	تقاطع با محور روستایی	۲۲	۲۲	عبورهای عرضی	۵۸
۷	دوربرگردان (میدان)	۲۶	۲۳	عبورهای عرضی	۶۱
۸	دوربرگردان (میدان)	۲۷	۲۴	تقاطع با محور روستایی	۶۴
۹	عبورهای عرضی	۲۹	۲۵	تقاطع با محور روستایی	۶۵
۱۰	عبورهای عرضی	۳۰	۲۶	عبورهای عرضی	۷۰
۱۱	تقاطع با محور روستایی	۳۲	۲۷	تقاطع با محور روستایی	۷۶
۱۲	دوربرگردان (میدان)	۳۳	۲۸	عبورهای عرضی	۷۷
۱۳	عبورهای عرضی	۳۵	۲۹	دوربرگردان (میدان)	۷۸
۱۴	دوربرگردان (میدان)	۳۶	۳۰	تقاطع با محور روستایی	۸۲
۱۵	تقاطع با محور روستایی	۳۷	۳۱	محدودهٔ شهری	۸۴
۱۶	سه‌راهی	۳۹	۳۲	محدودهٔ شهری	۸۵

طبق قانون اول مکان‌یابی (قوانین مکان‌یابی یانگ)، نقاط شمارش ترافیک در یک شبکهٔ جاده‌ای باید به‌گونه‌ای قرار گیرند که بخش مشخصی از سفرهای بین هر جفت O-D قابل‌رؤیت باشد. در راه‌های برون‌شهری، اگر محور را شامل یک زوج O-D (شهر مبدأ و شهر مقصد) بدانیم، این قانون با نصب حداقل یک ترددشمار تأمین می‌شود و مسئله ازپیش‌حل‌شده خواهد بود. پس برای اینکه بتوانیم پوشش مناسبی از

www.SID.ir

سفرهای یک محور برون‌شهری داشته باشیم، مسیر را به مجموعه‌ای از نواحی بین‌راهی تقسیم می‌کنیم؛ به‌گونه‌ای که احتمال جذب و تولید سفر به این نواحی بیش از سایر مناطق باشد. لذا با استفاده از این اصل قادر خواهیم بود به تخمین مناسبی از حداکثر تعداد شمارنده‌ها به قسمی که بخش مشخصی از سفرهای هر ناحیه پوشش داده شوند، دست یابیم. درواقع محدودیت نوع اول را می‌توان تحت یک مسئلهٔ برنامه‌ریزی ریاضی (۱،۰) به‌شکل زیر فرمول‌بندی کرد که با عنوان (TCL-P1)[1] حالت ۱ مکان‌یابی معرفی شده است.

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n=85} \sum_{j=1}^{n=9} X_{ij} \qquad TCL-P1 \qquad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{n} d_{ij} \times x_{ij} \geq 1 \qquad \forall j \in J \qquad (6)$$

$$X_{ij} = \{0,1\}$$

محدودیت رابطهٔ ۶ نیز به‌ازای هر ناحیه، حداقل یک تردد‌شمار در محور قرار می‌دهد؛ بنابراین حداقل تعداد L و موقعیت تردد‌شمارها با حل کردن رابطهٔ TCL-P1 به‌دست می‌آید. موقعیت نقاط شمارش ترافیک که توسط TCL-P1 به دست می‌آید، قانون استقلال خط اتصال را جواب می‌دهد. برای اثبات این موضوع می‌توان به مطالعات یانگ و همکاران (۱۹۹۸) اشاره کرد (قانون ۴).

قانون پوشش سفرهای هر ناحیه می‌تواند یکی از شرایط ضروری برای تخمین ماتریس سفرهای محور از نقاط شمارش ترافیک باشد؛ اما موقعیت قرارگیری این نقاط لزوماً نمی‌تواند حداقل خطا را در تخمین مؤلفهٔ AADT حاصل نماید؛ بنابراین هدف در مسئلهٔ دوم TCL-P۲، دستیابی به موقعیت‌هایی از محور معرفی می‌شود که حداقل خطا را در برآورد مقدار AADT داشته باشند.

1. Traffic Counter Location-Program

www.SID.ir

$$Min(z) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{485}\sum_{j=1}^{4}(v_{ij}-A)^2 \times X(i,j)}{n}} \quad TCL-P2 \qquad (۷)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} d_{ij} \times x_{ij} = l \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} d_{ij} \times x_{ij} \geq 1 \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۹)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} r_{ij} \times x_{ij} = 0 \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} t_{ij} \times x_{ij} = 0 \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۱۱)$$

$$X_{ij} = \{0,1\}$$

همان‌گونه که در رابطهٔ ۷ ملاحظه می‌شود، مناسب‌ترین تابع برای مکان‌یابی ترددشمارها، تابع انحراف معیار استاندارد[1] است. این تابع با بررسی مقادیر مختلف ترافیک در طول محور، موقعیت‌هایی را که ترافیک آن‌ها به مقدار میانگین سالیانه (AADT) نزدیک تر باشد، با توجه به سایر محدودیت‌ها انتخاب می‌نماید. محدودیت‌های روابط ۸ و ۹ تأمین‌کنندهٔ مقادیر اولیه‌ای برای حداقل و حداکثر تعداد این دستگاه‌ها می‌باشند. محدودیت‌های نوع دوم مربوط به شاخص‌های فیزیکی و هندسی مسیر می‌باشند؛ موقعیت‌های فیزیکی مربوط به مناطقی از قبیل پل، آب‌رو و هرگونه موانع طبیعی می‌شود که امکان نصب ترددشمار در آن‌ها وجود ندارد؛ این مورد با رابطهٔ ۱۰ به دست می‌آید.

مؤلفهٔ بعدی مربوط به هندسهٔ مسیر است؛ شرایطی که در طول محور و در دو سمت آن (خط رفت یا برگشت) موقعیت‌هایی از قبیل مراکز روستایی، خدماتی یا هرگونه مرکز جمعیتی بین‌راهی وجود داشته باشند که ترددهای عرضی وسایل نقلیه از حاشیهٔ محور به دو سمت آن را موجب می‌شود. این خود سبب می‌شود که شمارندهٔ مستقر در این ناحیه، اطلاعاتی غیرواقعی و با ضریب خطای بالا از ترافیک محور را ثبت نماید. این موضوع تحت عنوان محدودیت‌های هندسی مسیر شناسایی

1. Standard Deviation

www.SID.ir

و به کمک رابطهٔ ۱۱ به تابع هدف مسئله اعمال می‌شود.

بدیهی است که اجرای هر نوع پروژه در هر سطحی غالباً با محدودیت بودجه همراه است؛ درمورد این پژوهش نیز بودجه به‌عنوان یکی از دغدغه‌های مدیران در محدودیت‌ها گنجانده شده است (رابطهٔ ۱۸)؛ بنابراین هزینه‌های مرتبط با تهیه، نصب و نگهداری تجهیزات به‌عنوان محدودیت سوم به تابع هدف مسئله اعمال شد. هزینه‌های مربوطه شامل دو بخش است که در بخش اول، هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات (c_1) و در بخش دوم، هزینه نگهداری و بهره‌برداری تجهیزات در طول عمر دستگاه ($c_2 \times \frac{(1+IR)^{s-1}}{IR}$) در نظر گرفته شد. هزینه‌های مذکور همواره باید مقادیر کمتری نسبت به بودجهٔ تخصیص‌داده‌شده داشته باشند. نهایتاً بهترین موقعیت ترددشمار هرکدام از مسیرهای محور با حفظ محدودیت‌های مسئلهٔ ۲، مطابق ضابطهٔ TCL-P۳ مدل و نتایج استخراج شد.

$$Min(z) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{48}\sum_{k=1}^{7}(m_{ik}-A)^2 \times y(i,k)}{n}} \quad TCL-P3 \qquad (۱۲)$$

Subject to.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} d_{ij} \times x_{ij} \geq 1 \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^{n} p_{ik} \times y_{ik} \geq 1 \qquad \forall k \in K \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{n} p_{ik} \times y_{ik} \leq l \qquad \forall ik \in IK \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} r_{ij} \times x_{ij} = 0 \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} t_{ij} \times x_{ij} = 0 \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۱۷)$$

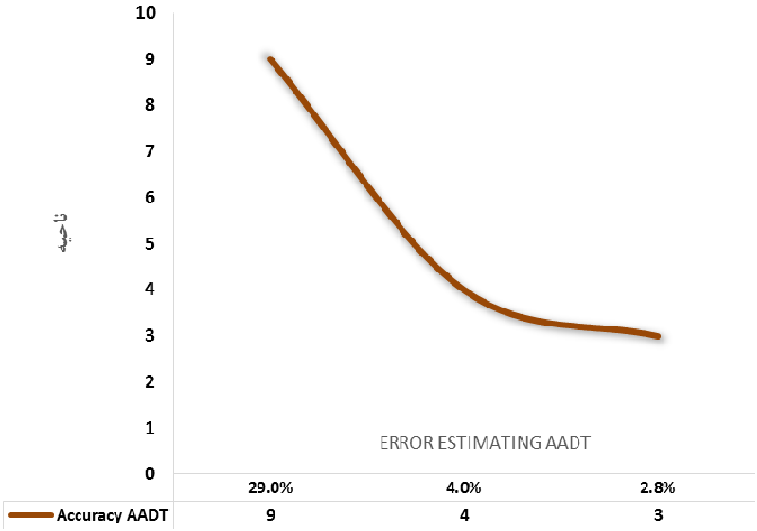
$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left[c_1 + c_2 \times \frac{(1+IR)^s - 1}{IR}\right] \times x_{ij} \leq B \qquad \forall ij \in IJ \qquad (۱۸)$$

$$X_{ij}, Y_{ik} = \{0,1\}$$

www.SID.ir

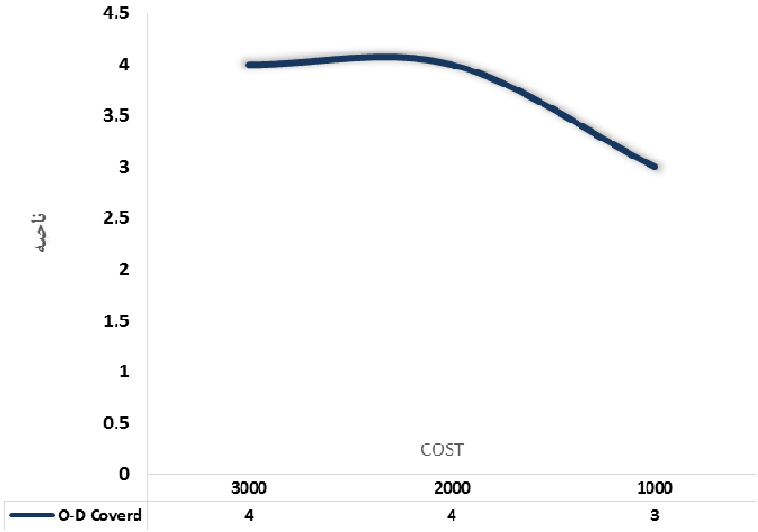
آنالیز حساسیت برای هزینه‌های متفاوت

در شکل ۱۰، روند تغییر میزان دقت AADT در مقابل پوشش مسیر، از حالت ۱ تا ۳ نشان داده شده است. طبق این نمودار، افزایش تعداد شمارنده‌های ترافیکی لزوماً دقت تخمین AADT را به‌همراه نخواهد داشت. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با کاهش تعداد ترددشمارها و بهینه‌سازی موقعیت آن‌ها، دقت استخراج مؤلفهٔ AADT رو به افزایش است و البته هم‌زمان از پوشش مسیر نیز کاسته می‌شود (ناحیه)؛ چنانچه در حالت ۳ مشاهده می‌شود، با ۳ ترددشمار دقتی نزدیک به ۹۸ درصدد در تخمین AADT خواهیم داشت و از مجموع ۹ ناحیه، تنها ۳ عضو پوشش داده می‌شوند؛ بنابراین برای ایجاد تعادل بین این دو هدف می‌توان تحلیل حساسیتی روی هزینه و میزان پوشش ناحیه انجام داد (مطابق شکل ۱۱).



شکل ۱۰. دقت تخمین AADT به تعداد ترددشمارها

www.SID.ir



شکل ۱۱. تحلیل حساسیت هزینه به پوشش ناحیه

نتایج و پیشنهادهای پژوهش

برنامه‌ریزی، هدف‌گذاری و مدیریت توسعهٔ راه‌ها مسائلی هستند که مؤلفه‌های ترافیکی، نقش مؤثری در فرایند تصمیم‌گیری آن‌ها ایفا می‌کنند. مؤلفهٔ AADT که متوسط سالیانهٔ حجم ترافیک محور را بیان می‌کند، ازجملهٔ این داده‌ها می‌باشد که کاربردی اساسی در تعیین اهمیت جاده‌ها نسبت به یکدیگر، اولویت‌بندی ساخت، تعریض و بهسازی به عهده دارد. نحوهٔ کسب مقادیر این مؤلفه‌ها در جایگاه خود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چراکه میزان دقت یا خطای حاصل از استخراج این داده‌ها می‌تواند جهت‌گیری خاصی را در تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریت راه به‌همراه داشته باشد. اگرچه روش‌های مختلفی برای ترددشماری ترافیک در منابع مهندسی ترافیک استفاده گردیده، اما مطالعات نشان می‌دهد که بررسی مناسبی جهت انتخاب مکان بهینهٔ ترددشمارها در جاده‌های کشور برای انواع راه‌ها صورت نپذیرفته است؛ بنابراین در پژوهش حاضر، مکان‌یابی این تجهیزات به‌منظور کسب AADT از

www.SID.ir

مطالعات پژوهشی راهور
۱۲۶
فصلنامه علمی- پژوهشی
سال هفتم- شماره ۲۷
زمستان ۱۳۹۷

محورهای برون‌شهری مدنظر قرار گرفت.

درنظرگرفتن AADT به‌عنوان یکی از ورودی‌های مسئلهٔ مدل‌سازی در وهلهٔ نخست ایجاب می‌کند که تخمین مناسبی از AADT محور در دسترس باشد. نظر به اینکه اغلب سوگیری‌ها در استخراج AADT به برنامه‌ریزی و مدیریت جریان ترافیک و تدوین برنامه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در خصوص افزایش ایمنی تردد و ضرورت احداث شبکه‌های حمل‌ونقلی جدید می‌پردازد؛ لذا دقت تخمین AADT از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود؛ چراکه استخراج مقادیری بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از AADT واقعی محور توسط شمارنده‌ها، تصمیم‌گیری‌های آتی را با خطا و اشتباه همراه می‌سازد؛ بنابراین در این پژوهش با هدف کمینه‌سازی‌ها خطای استخراج AADT و نیز افزایش پوشش مسیر، اقدام به مکان‌یابی تجهیزات ترددشماری با استفاده از مدل ریاضی شد.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تاکنون مطالعاتی در خصوص مکان‌یابی این تجهیزات در راه‌های برون‌شهری صورت نپذیرفته است؛ ازاین‌رو سایر مطالعات انجام‌شده در محورهای درون‌شهری مبنای عمل برای طراحی مدل، تعیین متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌ها ملاک عمل قرار گرفته و از نرم‌افزار گمز برای آنالیز و حل مدل استفاده شده است. تابع هدف تعریف‌شده در سه حالت مجزا اقدام به بهینه‌سازی تعداد و موقعیت ترددشمارها می‌کند؛ به‌این‌ترتیب که در گام نخست با هدف افزایش پوشش مسیر، حداکثر تعداد شمارنده‌ها تعیین می‌شوند و در مراحل بعدی، با هدف کاهش خطای استخراج AADT موقعیت مکانی آن‌ها روی هرکدام از مسیرهای محور بهینه‌سازی می‌شود.

محدودیت‌های مسئله به سه دسته محدودیت‌های هندسی، فیزیکی و بودجهٔ در دسترس تقسیم شده‌اند. محدودیت بودجه با توجه به پیشنهاد کارشناسان سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای برای یک بازهٔ زمانی پنج‌ساله تعیین شد. در ادامه و

www.SID.ir

پس از تشریح محدودهٔ مطالعه، کاربرد مدل برای یک نمونهٔ موردی مدنظر قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که افزایش شمارنده‌های ترافیکی لزوماً افزایش دقت تخمین AADT را به‌همراه نخواهد داشت؛ بنابراین برای اینکه در کنار پوشش مسیر، خطای تخمین AADT از مقدار مجاز آن تجاوز نکند، تحلیل حساسیتی نیز روی هزینه و میزان پوشش نواحی انجام گرفت و جواب بهینه با توجه به بودجهٔ در دسترس تعیین شد. تحلیل حساسیت نشان داد که با تخصیص ۲۰۰۰ میلیون ریال هزینه برای یک بازهٔ زمانی پنج‌ساله، مناسب‌ترین پوشش مسیر در کنار کمترین خطای AADT حاصل خواهد شد.

منابع

- آل‌نوری، هومن؛ مشکانی، سید مهدی؛ صفارزاده، محمود؛ شرافتی‌پور، سعید. (۱۳۹۳). مکان‌یابی دوربین‌های ورودی محدوده زوج و فرد با رویکرد پوشش بیشینه تخلفات. *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، ۶ (۲). ۱۸۱-۱۹۶.

- الهی، زهرا؛ اکبرزاده، میثم. (۱۳۹۶). تحلیل اثر هدف سفر بر تابع حجم - تأخیر معابر پیاده. *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، ۸ (۴). ۴۷۳-۴۸۳.

- امینی، بهنام؛ اسرافیلی، حنا. (۱۳۹۵). بسط توابع زمان سفر- حجم برای راه‌های دوخطه دوطرفهٔ برون‌شهری ایران. *فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل*، ۸ (۳). ۲۱۱-۲۲۳.

- پرهیزگار، حسین. (۱۳۷۶). *ارائه الگوی مکان گزینی مراکز خدمات شهری با تحقیق در مدل‌ها و GIS شهری*. پایان‌نامه دکتری، استاد راهنما: اکبر، شکویی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

- خورده‌بینان، نعمت‌الله. (۱۳۹۵). ارزیابی روش‌ها و تجهیزات رایج خودروشماری در حمل‌ونقل جاده‌ای ایران. *مطالعات مدیریت ترافیک*، ۵ (۱۷). ۱۱۱-۱۲۸.

- رحمنی، مرتضی؛ فضلی، سعید؛ محمدی، شهرام. (۱۳۹۳). تشخیص و ردیابی

www.SID.ir

وسایل نقلیه برای کنترل ترافیک هوشمند. *دومین کنفرانس ملی تصادفات جاده‌ای*، سوانح ریلی و هوایی، تهران.

- شیرازی، علی. (۱۳۸۰). بررسی روش‌های تحلیلی سلسه‌مراتبی فازی و استفاده از آن در یک واحد صنعتی. دانشگاه تهران.

- فاضلی‌فر، علی؛ منبتی، احسان؛ سید حسینی، سیدمحمد. (۱۳۹۱). مدل مکان‌یابی نصب دوربین‌های کنترل سرعت در راه‌های برون‌شهری. *یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران*، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک، تهران.

- فائزی، سیدفرزین؛ کوهیان، مهدی. (۱۳۹۵). *مهندسی ترافیک پیشرفته*. انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

- فدایی نایینی، مرتضی؛ قطعی، مهدی؛ تشکری هاشمی، سعید. (۱۳۹۱). ارائه دو مدل جدید برای مسئله مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی به‌منظور بیشینه‌سازی پوشش مسیرها: مطالعه موردی روی بزرگراه‌های تهران. *یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران*، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک، تهران.

- قدسی‌پور، حسن. (۱۳۹۳). *برنامه‌ریزی چندهدفه روش‌های وزن‌دهی بعد از حل*. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- Fransis, R., L. Mcginnis, and J. White. (2009). Facility Layout and Location, an Analytical Approach, *Prentice Hall USA*.

- Kim, H., Chang, S. and Chung, H. (2003). Selection of the optimal traffic counting locations for estimating origin-destination trip matrix. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 1353-1365.

- Saffarzadeh, M., Alenoori, H. and Mirbaha, B. (2013). Technical and economical evaluation of using ITS technologies for enforcment of plate number rationing in Tehran, WCTR, Rio de Janeiro, Brazil.

- Salari, A (2010), A New Traffic Counting Problem for Intercity Roads Based on Integer. *17th ITS World Congress*, Busan.

- Sun, D., Y. Chang, and L. Zhang. (2014). An Ant Colony Optimisation Model for Traffic Counting Location Problem. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*: *Transport*, 165(3), 175-185.

- Yang, C., A. Chen, and P. Chootinan. (2003). Traffic Counting Location

www.SID.ir

Planning Using Genetic Algorithms. *Jornal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5(3), 898-913.

- Yang, H. and J. Zhou. (1998). Optimal Traffic Counting Locations for Origin–Destination Matrix Estimation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 32(2). 109-126.

- Yang, H., C. Yang, and L. Gan. (2006). Models and algorithms for the screen line-based traffic-counting location problems. *Computers and Operations Research*, 33(3). 836-858.

www.SID.ir

www.SID.ir