

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خون در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی مبدأ- مقصد وسایل نقلیه باری

محمد تیموری، دانشجوی دکتری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مجید شیخ محمدی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

علی حسین‌زاده کاشان، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

امیرعباس شجاعی، استادیار مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

E-mail: msheikhm@modares.ac.ir

پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۷

دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷

چکیده:

ماتریس تقاضای مبدأ- مقصد یکی از مهم‌ترین ارکان مورد نیاز در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل است که همواره متخصصان امر سعی بر آن داشته‌اند که با استفاده از روشهای ریاضی و آماری و نیز استفاده از تکنیکهای بهینه‌سازی آن را تخمین زده بهترین تقریب از آن را به دست آورند. در این مقاله یک مدل ریاضی ارایه شده است که با در نظر گرفتن امکان ردیابی وسایل نقلیه از طریق تشخیص پلاک و نیز حرکت آنها در طول شبکه راههای ایران، بهترین نقاط را برای نصب دوربینهای پلاک خون وسایل نقلیه به نحوی تعیین نماید که بر اساس تعقیب وسایل نقلیه بتوان ماتریس مبدأ-مقصد را تخمین زد. مبنای اصلی مدلسازی صورت گرفته بر حرکت وسایل نقلیه در کوتاهترین مسیر بین مبدأ و مقصد بوده است. در دو حالت مد نظر قرار دادن حد بالای تعداد دوربین مورد نیاز برای تعقیب وسایل نقلیه در مسیر و نیز شانس تشخیص وسیله نقلیه در مسیر حرکت، نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی کارایی مدل توسعه داده شده، راههای هفت استان شرقی ایران به عنوان مطالعه موردی انتخاب و اطلاعات شبکه‌ی محدوده مطالعه، در قالب ۳۱۰ گره و ۳۵۶ کمان یک طرفه (۷۱۲ کمان دو طرفه) با ۳۶۰۹ زوج مبدأ و مقصدهای مورد استفاده در حمل‌ونقل جاده‌ای، در نرم‌افزار معروف بهینه‌سازی (GAMS) کدگذاری شده است. نتایج، حاکی از آن است که مدل می‌تواند با خطی قابل قبول که مبنای آن تحت پوشش قرار دادن حرکت مبدأ به مقصد وسایل نقلیه است، بهترین مکانهای نصب دوربینهای پلاک خون را تعیین نماید.

واژه های کلیدی: بهینه‌سازی، دوربین پلاک خون، شبکه جاده‌ای، ماتریس مبدأ- مقصد، مکان‌یابی

۱. مقدمه

این مقاله در چهار بخش اصلی سازماندهی شده است. پس از مقدمه که در آن موضوعات مرتبط با مکان‌یابی در شبکه و نیز مطالعات صورت گرفته در این زمینه پرداخته شده است، مدل ریاضی مختص رویکرد تعقیب وسایل نقلیه توسعه داده شده با رویکرد مختص این مطالعه مورد تبیین قرار گرفته است. سپس محدوده و مختصات مطالعه موردی در بخش سوم تشریح و نحوه تطبیق شرایط واقعی موجود با مدل مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج نیز در همین بخش مورد تحلیل قرار گرفته است. در پایان نیز با ارایه مختصری از کل فرآیند و نتایج مطالعه، تحقیقات آتی پیشنهاد شده است.

۱-۱ مکان‌یابی در شبکه

مسائل مکان‌یابی از اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی جایگاه مهمی در مباحث تحقیق در عملیات پیدا کرده‌اند. این گونه از مسائل به بررسی چگونگی قرارگیری یک مجموعه از تسهیلات برای بهینه‌سازی یک تابع هدف با وجود تعدادی از محدودیت‌های موجود در تعریف مسأله می‌پردازند. هدف در مسایل مکان‌یابی عموماً بیشینه نمودن بهره‌وری از امکانات (منابع) و کمینه نمودن هزینه‌ها یا به عنوان مثال در حمل‌ونقل زمان و مسافت است. به دلیل آن که مسایل مکان‌یابی از انواع مدل‌های تصمیم‌گیری چندجانبه یا چندمعیاره به شمار می‌روند، در گستره وسیعی از کاربردهای عملیاتی مورد استفاد قرار می‌گیرند. امروز نیز تعیین محل مناسب برای استقرار تجهیزات یا مراکز خدماتی در یک شبکه موضوع مهمی بوده و در چند دهه اخیر توجه بسیاری را به خود جلب نموده است. تصمیمات مربوط به مکان‌یابی در مسائل گوناگونی اعم از بخش‌های دولتی و خصوصی ظاهر می‌گردند. در قسمت خصوصی، مراکز صنعتی و کارخانجات برای استقرار دفاتر خود در سطح شهر، تعیین محل مراکز توزیع و ... نیاز به اتخاذ تصمیم دارند و در بخش دولتی نیز تعیین مکان مراکزی از قبیل ایستگاه‌های پلیس، اورژانس و ... از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مسائل مکان‌یابی از دیدگاه‌های مختلف دارای تقسیم‌بندی‌های مختلف

ماتریس مبدأ- مقصد سفر، یکی از مهم‌ترین داده‌ها در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، کنترل و مدیریت ترافیک محسوب می‌شود. این ماتریس نشان دهنده توزیع سفر میان نواحی ترافیکی در یک شبکه حمل‌ونقل بوده و اطلاعات جریان ترافیک به طور معمول با استفاده از این ماتریس مورد ارزیابی و تخمین (برآورد) قرار می‌گیرد و به همین دلیل برآورد ماتریس مبدأ-مقصد همواره یکی از موضوعات مهم در مطالعات مهندسی ترافیک محسوب می‌شود. در حالت کلی برآورد ماتریس مبدأ- مقصد سفر ممکن است به روش مستقیم به مفهوم استفاده از پردازش فرم‌های پرسش و پاسخ‌های مبدأ-مقصودی و نیز روش غیرمستقیم به مفهوم استفاده از مدل‌های ریاضی یا مدل‌های تخصیص مبتنی بر دیگر پارامترهای حمل‌ونقل و ترافیک انجام شود. برای دستیابی به روش‌های غیرمستقیم این ضرورت وجود دارد که تقریبی نسبتاً مناسب از وضعیت حمل‌ونقل و مبادی و مقاصد مورد استفاده در شبکه راه‌ها ارایه شود که بر این اساس می‌توان از تجهیزاتی نظیر دستگاه‌های تردد شمار و یا دوربین‌های پلاک خوان وسایل نقلیه، برای تشخیص میزان تردد وسایل نقلیه استفاده نمود [Fadaei, Ghatei and Tashakori, 2012]. مطالعات فوق در کنار دیگر مطالعاتی صورت گرفته‌اند که همواره بر روش‌های افزایش دقت تشخیص صحیح پلاک متمرکز شده‌اند به نحوی که حتی در مواردی که پلاک وسایل نقلیه آسیب دیده باشد نیز بتوانند با خطای قابل قبول شماره آن را تشخیص دهند [Tahirou, Assogba, Vianou, 2017]. هدف اصلی در این تحقیق آن است که با تعیین مکان‌های بهینه برای استقرار دوربین‌های پلاک خوان وسایل نقلیه شرایطی فراهم گردد که بتوان در آینده نسبت به تخمین المان‌های ماتریس تقاضای مبدأ-مقصد در شبکه حمل‌ونقل با استفاده از روند ردیابی و تعقیب وسایل نقلیه اقدام نمود.

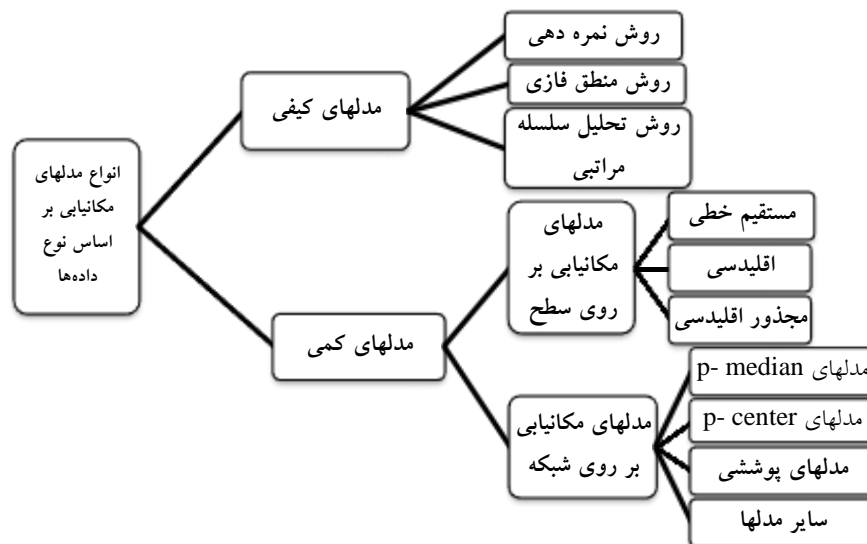
توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

طبقه مدل‌های پوششی قرار گرفته و مدل توسعه داده شده از نوع پوششی است که سعی بر آن است مکان دوربینها به نحوی تعیین گردند که حداکثر پوشش وسایل نقلیه و مبادی و مقاصد حاصل گردد.

۱-۲ مطالعات پیشین

در دهه‌های گذشته موضوع مکان‌یابی در بخشهای مختلف حمل‌ونقل اهمیت بیشتری یافته است که در این قسمت از پژوهش، به بررسی شماری از آن‌ها پرداخته شده است. در قالب یک رویکرد کلی ثابت شده است که مکان‌یابی مناسب تجهیزات تشخیص دهنده در حوزه حمل‌ونقل و ترافیک از اهمیت خاصی برخوردار هستند به نحوی که تمامی موضوعات مرتبط با برآورد پارامترهای ترافیکی نظیر زمان سفر، ماتریس مبدأ - مقصد به صورت قابل توجهی به موقعیت و تعداد تجهیزات و دستگاههای تشخیصی نصب شده در شبکه مورد استفاده وابستگی دارند [Peijun and Wen, 2018].

است. این تقسیم‌بندی‌ها می‌تواند بر مبنای هدف، شرایط جغرافیایی، نوع معیارها (کمی و کیفی)، تعداد مکان‌ها (تک یا چندگانه) و ... باشد. طبقه‌بندی مدل‌های مکان‌یابی بر اساس نوع داده‌ها در شکل شماره (۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل شماره (۱) مشاهده می‌شود، به منظور مکان‌یابی تسهیلات بر روی شبکه، مدل‌های مختلفی وجود دارند. به طور کلی، مشخصات مکان‌یابی بر روی شبکه عبارتند از: ۱- فضای قابل قبول در شبکه که از گره‌ها و کمان‌ها تشکیل شده است. ۲- فواصل بین گره‌ها که بر اساس زمان یا مسافت است و به شکل کوتاهترین مسیر بین دو گره تعریف می‌شود [Seraj, 2011]. با توجه به موارد فوق مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان مورد نظر در این تحقیق در شبکه بر اساس حداکثر نمودن شانس تعقیب وسایل نقلیه با تردد از محل‌های نصب دوربین است و همان‌گونه که از شکل (۱) نیز قابل مشاهده است، مدل مورد توسعه در این تحقیق از نوع مدل‌های کمی با عملکرد روی شبکه خواهد بود. همچنین تابع هدف به نحوی سعی در پوشش حداکثری مسیرهای مبدأ تا مقصد با در نظر گرفتن تعداد دوربین مشخص شده دارد که در طبقه‌بندی مدل‌های مکان‌یابی در



شکل ۱. انواع مدل‌های مکان‌یابی بر اساس نوع داده‌ها

تصادفات انجام شده است، منجر به شناسایی نقاط پرمخاطره با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی و تخصیص دونوع دوربین ثابت ویا متحرک به این محدوده گردیده است. مدل ارائه شده دارای دو مرحله است، در ابتدا مناطق پرمخاطره با توجه به نرخ تصادفات معین و سپس با استفاده از مدل بهینه‌سازی شده قسمت‌های پرمخاطره به جهت به کارگیری دوربین‌های کنترل سرعت شناسایی می‌گردند. علاوه بر این استفاده از روش‌های شناسایی پلاک وسایل نقلیه برای مقاصد دیگری نظیر مدیریت ترافیک و همچنین نظارت بر رفتارهای ترافیکی رانندگان نیز از اهمیت خاصی برخوردار است به نحوی که مطالعات در کشورهای دیگر نیز نشان داده است که داشتن ساختار مناسبی برای جمع‌آوری اطلاعات حرکت وسایل نقلیه از طریق سامانه‌های تشخیص و تحلیل تصویر می‌تواند گام موثری در بهبود وضعیت ترافیکی شبکه‌های با حجم ترافیک بالا باشد [Lajish and Sunil, 2015]. [Salari et al. 2010].

نیز در پژوهشی به تخصیص بهینه شناساگرهای نقطه‌ای مانند شناساگرهای حلقوی جهت کمینه‌سازی خطای اندازه‌گیری عملکرد این شناساگرها پرداخته و برای بهینه‌سازی مکان این شناساگرها در طول محورهای آزادراهی از روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و برای حل آن از تکنیک شاخه و کران بهره گرفته‌اند. آزمایش‌های عددی در طول محورهای آزادراهی نشان می‌دهند که این مدل مکان‌یابی برای تخصیص شناساگرهای حلقوی جهت افزایش دقت تخمین سفر با موفقیت همراه بوده است.

امروزه شبکه حسگرهای هوشمند به عنوان یکی از روش‌های نوین اخذ اطلاعات، در مدیریت ترافیک مطرح است که با امکان پایش هوشمند معابر شهری منجر به کاهش سوانح جاده‌ای می‌گردد. در این راستا تجهیزات مختلفی مانند دوربین پلاک خوان یا حتی اطلاعات ارسالی از تلفن‌های همراه مورد استفاده قرار می‌گیرند تا حرکت وسایل نقلیه در شبکه راه‌ها و خیابانها مورد بررسی قرار گیرند. در حال حاضر موضوع تعقیب وسایل نقلیه از طریق ردگیری

مکانیابی مناسب تجهیزات علاوه بر موارد فوق در دقت تعیین پارامترهای ترافیکی نیز زمانی که در بودجه یا تعداد دستگاهها محدودیت وجود داشته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است و بر این اساس سعی می‌شود که با مد نظر قرار دادن حد مشخصی برای تعداد تجهیزات تشخیصی مکان آنها به نحوی تعیین شود که حداکثر دقت تخمین پارامترهای ترافیکی حاصل گردد [Tahmina and Anderson, 2016].

در مطالعات اجرای طرح ممنوعیت تردد بر اساس شماره پلاک، [Alenouri et al. 2014] با هدف بیشینه کردن پوشش تخلفات و کاهش تخلفات به دلیل خطای انسانی، اقدام به مکانیابی این نوع دوربین‌ها جهت کنترل مکانیزه محدوده نموده‌اند. مدل ارائه شده در این پژوهش از نوع صفرویک بوده و محدودیت‌های مختلفی از جمله محدودیت بودجه، تعداد نیروی انسانی و تعداد حداقل معابر در هر رد عملکردی در نظر گرفته شده است. پس از حل این مدل با استفاده از الگوریتم شاخه و کران، از آنجا که تعداد معابر تحت پوشش کنترل مکانیزه متناسب با هزینه تخصیص داده شده است، تحلیل حساسیتی نیز بر روی هزینه و میزان پوشش تخلفات ارائه شده است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت هزینه‌ها نشانگر افزایش چشمگیر تخلفات پوشش داده شده تاهزینه تقریبی حدود ۶/۵۵ هزار میلیارد ریال و کاهش روند پوشش تخلفات پس از این محدوده است. این تحلیل و میزان پوشش تخلفات به ازای هزینه‌های مختلف تخصیص داده شده می‌تواند گامی موثر در جهت تسهیل تصمیم‌گیری مدیران به منظور تخصیص بودجه برای اجرای این طرح باشد. استفاده از ابزار مدرن و کنترل روش‌های مفید سرعت نیز یک عنصر مهم در کاهش صدمات ناشی از سرعت بالا است. نکته ضروری در به کارگیری دوربین‌های کنترل سرعت، پوشش حداکثری، وسیله نقلیه است؛ مطالعات [Fazelifar, Monabati and Seyedhosseini., 2012] که پیرامون مکان‌یابی نصب دوربین‌های کنترل سرعت در راه‌های برون‌شهری به منظور کاهش

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

از اعداد فازی در مقایسه زوجی معیارها برای محاسبه وزن آنها، منجر به افزایش دقت محاسبات گردید. در مرحله بعد وزنه‌های محاسبه شده با استفاده از روش تاپسیس به رتبه‌بندی اتصالات شهری در محدوده مورد مطالعه پرداخت. در نهایت بعد از اجرای تحلیل مذکور با استفاده از نمره حاصل از روش تاپسیس اتصالات شهری در منطقه مورد مطالعه به سه کلاس متفاوت طبقه‌بندی شدند. اتصالات شهری قرار گرفته در کلاس اول به عنوان اتصالات شهری با بیشترین اولویت برای نصب حسگرها انتخاب شدند. بنابراین اتصالات مذکور در بیشترین اولویت برای نصب حسگرهای ترافیکی خواهند بود.

در حوزه ایمنی حمل‌ونقل محمولات خطرناک نیز، مسأله مکان‌یابی از اهمیت خاصی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل برخوردار است به طوری‌که در پژوهشی [Farokhi and Mahmoudabadi, 2016] یک فرآیند برنامه‌ریزی آرمانی مرحله‌ای را مورد توجه قرار داده‌اند که دو تابع هدف کمینه کردن ریسک و کمینه کردن هزینه به صورت اولویت‌بندی شده در مدل وارد شده‌اند. از آنجا که اهمیت ریسک در مسایل مواد خطرناک بیشتر است، در مرحله اول ریسک جابجایی مواد خطرناک به حداقل ممکن می‌رسد و پس از آن پاسخ به دست آمده از مرحله اول با در نظر گرفتن رواداری در دامنه تغییرات ریسک به منظور ایجاد انعطاف در انتخاب تصمیم‌گیرنده به صورت محدودیتی جداگانه در مرحله دوم که مکان‌یابی و مسیر‌یابی با در نظر گرفتن هزینه جابجایی مواد و هزینه اولیه احداث مراکز توزیع است، وارد می‌شود. در نهایت با در نظر گرفتن مراکز توزیع و مقاصد (جایگاه‌های سوخت) باهدف کمینه نمودن ریسک و هزینه، بهترین مسیر تعیین و در مرحله دوم بهترین مکان‌های احداث مراکز توزیع مشخص می‌شود.

مکان‌یابی در حوزه مسایل مرتبط با حمل‌ونقل، خصوصاً در حیطه مکان‌یابی تجهیزات مرتبط با تشخیص تردد وسایل نقلیه به کرات مورد استفاده متخصصان حمل‌ونقل بوده است. به عنوان مثال

تلفن‌های همراه به موضوعی جدی تبدیل شده است و مدل‌های ریاضی هم برای مکان‌یابی و انتخاب نقاط جمع‌آوری اطلاعات تلفن‌های همراه توسعه داده شده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعات [Shahadat et al. 2014] اشاره نمود. موضوعات مرتبط با تشخیص و تعقیب وسایل نقلیه از طریق ردگیری تلفن‌های همراه رانندگان و نحوه حرکت آنها بین دکلهای مختلف ارسال پالسهای مخابراتی نیز از اساسی‌ترین موارد تحقیقاتی در حمل‌ونقل به شمار می‌رود که سعی بر آن است با استفاده از داده‌های حرکتی تلفن‌های همراه در مدیریت ترافیک و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل مدل‌های مناسب توسعه داده شده و مورد ارزیابی و استفاده قرار گیرد [Lauren et al. 2015] علیرغم اهمیت نصب و استقرار چنین تجهیزاتی، مهمترین دغدغه تعیین مکان بهینه جهت نصب آنهاست. در تحقیقات بعدی تلاش شد که حتی هدف سفر نیز بر اساس تکرار دفعات تردد افراد از محل‌های تعیین شده تشخیص داده شود که در این صورت محل‌های شروع سفر شامل منزل، محل کار و دیگر نقاط و همچنین وضعیت تردد به صورت روزانه، هفتگی و دیگر موارد طبقه‌بندی شده و نتایج نیز با مقایسه آمارهای جمع‌آوری شده مطلوب بوده است [Lauren et al. 2015]. در پژوهشی [Sadeghi, Delavar and Rokhsari., 2014]، به ارائه روشی مناسب جهت مکان‌یابی بهینه حسگرهای ترافیکی پرداخته‌اند. روش پیشنهادی ترکیبی از روش‌های فازی سلسله مراتبی و تاپسیس^۱ است. لازم به ذکر است که برای تست روش پیشنهادی در این تحقیق بخشی از شبکه معابر شهری در شمال آمریکا به عنوان داده نمونه انتخاب گردید. در مرحله بعد با نظر کارشناسان ترافیک معیارهای تعیین مکان بهینه انتخاب گردید که در این تحقیق عبارت بودند از ترافیک متوسط سالیانه، شدت تصادفات، شیب متوسط و فاصله هر اتصال در شبکه شهری تا مکان‌های نیازمند کنترل ترافیک. برای مشخص کردن میزان اهمیت معیارهای ورودی از روش سلسله مراتبی فازی استفاده گردید، این روش با استفاده

منجر به تولید مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه شده است که طیف وسیع‌تری از تحقیقات مختلف نقاط شمارش ترافیک را برای امکان تطبیق ایستگاه‌های ترافیک شمار در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد [Afandizade et al. 2013] مکان‌یابی ایستگاه‌های ترافیک شمار برای تخمین ماتریس مبدأ-مقصد همواره موضوع مهمی بوده است، به نحوی که [Sun et al. 2011] در تحقیقی اقدام به مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی با استفاده از مدل بهینه‌سازی کلونی مورچگان کرده‌اند. در این مقاله، مدل بهینه‌سازی بادو تابع هدف ارائه شده که در سطح اول به بیشینه کردن پوشش تعداد جفت مبدأ-مقصدها پرداخته و در سطح دوم، تعداد ایستگاه‌های شمارش ترافیک را کمینه می‌کند. در برخی شبکه‌های ترابری که از پیش مطالعات برنامه‌ریزی حمل‌ونقلی انجام نگرفته، می‌توان با مکان‌یابی و تعداد کافی از سنسورها، به ماتریس² OD دست یافت و در شبکه‌های دارای این مطالعات، به روزسازی اطلاعات به کمک اطلاعات سنسورها انجام می‌گیرد که در هر دو صورت در زمان و هزینه این مطالعات صرفه جویی چشمگیری فراهم خواهد شد. در پژوهشی، [Hosseini and Abrishami, 2016] بر پایه تغییر پایه در فضای چندبعدی جبری شیوه‌ای ارائه نمودند که به گونه‌ای کارآتر و سریعتر، از میان مجموعه کارگذاری‌های مختلف شمار مشخصی سنسور در شبکه‌ای دارای سنسورهایی از پیش کارگذاری شده، بهترین مجموعه که بیشترین پوشش روی مسیرهای شبکه را دارد شناسایی کند که در نتیجه آن، امکان تخمین بهتر جریانهای OD و ماتریس حجم‌های مبدأ-مقصد فراهم شود. شیوه‌ای ارائه شده روی یک شبکه فرضی به کار گرفته شده و نتایج به دست آمده با شیوه پیشین استفاده شده روی همان شبکه ارزیابی شده است. نتایج نشانگر آن است که روش تغییر پایه جبری معرفی شده، با صرف زمانی کمتر و نیاز کمتری به اطلاعات پیش‌دانشه و با حجم محاسباتی کمتر، مجموعه مکان‌یابی مناسبتری را شناسایی می‌کند.

مطالعات نشان داده است که تعیین تعداد و مکان دستگاه‌های ترددشماري جهت برآورد بهینه ماتریس مبدأ-مقصد از اهمیت بالایی برخوردار بوده زیرا تخمین بهینه ماتریس مبدأ-مقصد با استفاده از تجهیزات حمل‌ونقل هوشمند علاوه بر کاهش هزینه‌ها تا حد قابل قبولی بر دقت و روزآمدی اطلاعات نیز می‌افزاید. [Hosseinitaleghai and Seyedabrishami, 2016]. مکان‌یابی تجهیزات کنترل و نظارت نیز در حمل‌ونقل جاده‌ای از اهمیت قابل توجهی برخوردار است و مدل‌های توسعه داده شده در خصوص نصب تجهیزات کنترل سرعت در ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و محققان مدل‌هایی را توسعه داده‌اند که با فرض محدودیتهای بودجه و ساختار شبکه بهترین نقاط را برای نصب تجهیزات کنترل و نظارت مشخص نمایند.

[Mirbaha and Hosseini, 2017] کهنی و توکلی

مقدم نیز مدلی ارائه نمودند که در آن مکان نصب دوربینهای نظارت تصویری به نحوی تعیین شده‌اند که امکان تشخیص تخلفات ورود به محدوده زوج و فرد در کلان‌شهر تهران به حداکثر ممکن برسد [Kahafi and Tavakolimoghadam, 2014]. از این رو بهینه‌سازی موقعیت سنسورها برای نصب در شبکه معابر در راستای تخمین و بهنگام‌سازی ماتریس مبدأ - مقصد سفر نیز از مواردی است که در این زمینه مورد مطالعه قرار گرفته است. در این نوع از پژوهشها با استفاده از مدل‌های ریاضی یا شبیه‌سازی ترافیک، مکان مناسب تشخیص ترافیک تعیین می‌گردند به نحوی که عموماً روش‌های موجود جهت حل مسأله مکان‌یابی در قالب مدل‌های با تعیین کمان‌ها و یا گره‌های شبکه بررسی می‌شوند [Afandizade et al. 2012] در پژوهشی دیگر موضوع بهینه‌سازی مکان شمارش ترافیک جهت بهنگام‌سازی ماتریس مبدأ-مقصد سفر با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه مورد بحث قرار گرفته و مدل پیشنهادی در کنار به کارگیری یک الگوریتم تکاملی چندهدفه، تحت عنوان الگوریتم تکاملی قوی پرتو برخلاف مدل‌های متداول،

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

نتایج با فرض این که الزاماً تمامی تجهیزات در مسیر فعال نباشند مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. پارامترهای ترافیکی نیز با ساختار احتمالی از طریق تجهیزات تشخیص ترافیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند به نحوی که [Park and Haghani, 2015] بهترین مکانهای نصب دستگاههای بلوتوث را برای تشخیص حرکت وسایل نقلیه در شبکه راههای پر ترافیک با این فرض که زمان حرکت آنها به صورت احتمالی می‌باشد، توسعه داده و در یک مدل دو مرحله‌ای بهترین محلها را برای نصب دستگاههای بلوتوث تعیین و در نهایت نتیجه گرفتند که می‌توان با تعداد کمتری از دستگاههای تشخیص دهنده به اطلاعات و پارامترهای ترافیکی در شبکه دست یافت.

بررسی مطالعات موجود نشان می‌دهد که تحقیقات صورت گرفته در زمینه مکان‌یابی تسهیلات ترافیکی، از جایگاه کاربردی قابل توجهی برخوردار بوده و تکنیک‌هایی نظیر مدلسازی ریاضی، شبیه‌سازی، روش‌های آماری و دوربین تشخیص پلاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مطالعات قبلی صورت گرفته به این موضوع اشاره نشده است که چه تعداد از دستگاههایی که در مسیر حرکتی وسایل نقلیه قرار می‌گیرند، می‌توانند با افزایش شانس در معرض دید قرار گرفتن وسایل نقلیه متحرک در شبکه ارایه نمایند از این رو تفاوت قابل ملاحظه این پژوهش با دیگر مطالعات از دو منظر قابل بررسی با مطالعات پیشین تفاوت قابل ملاحظه دارد.

اولین منظر آن است که در این تحقیق ردیابی وسایل نقلیه در طول شبکه از اهمیت خاصی برخوردار است و مدل ریاضی با رویکرد تعقیب وسیله نقلیه در طول شبکه راهها در طول مسیر مختص به خود توسعه داده شده است و منطق حاکم بر تعیین مسیر حرکت وسایل نقلیه در قالب انتخاب کوتاهترین مسیر نیز در رویکرد اتخاذ شده، مد نظر بوده است.

تراکم ترافیکی شبکه و عدم قطعیت در جریان ترافیک نیز از اهمیت خاصی برخوردار بوده‌اند به نحوی که [Yang and Xiaolei, 2016] یک الگوریتم دو مرحله‌ای جهت برآورد ماتریس مبدأ-مقصد ارائه نمودند که در آن انتخاب مسیرها و پارامتر پراکنندگی آنها با استفاده از شمارشگرهای ترافیک‌جزئی در یک شبکه مترکم پیشنهاد می‌گردد. بدین منظور یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی توسعه داده شده است که شامل پارامتر پراکنندگی پویامی‌باشد و با محاسبه حداقل مربعات خطاهای کل ماتریس و تکرار مدل‌های یکسان‌سازی خدمت، همگرایی حاصل گردد. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم، روش پیشنهادی این است که در یک شبکه فرضی با استفاده از داده‌های ورودی با خطای بالا اجرا، و آزمایش زیر طیف وسیعی از ضرایب متنوع تکرار می‌شود و در هر مرحله میانگین مربع خطا از برآورد تقاضای مبدأ-مقصد و لینک جریان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. [Fadaei, Ghatei and Tashakori, 2012] دو مدل جدید برای مسأله مکانیابی شمارنده‌های ترافیکی به منظور بهینه‌سازی پوشش مسیرها ارایه نموده که با توجه به نحوه عملکرد دوربین‌های تشخیص پلاک خودروها، با اضافه نمودن قید بودجه به مسأله مکانیابی، بهینه‌سازی پوشش مسیرها مورد توجه قرار گرفته است. در مدل دوم با توجه به تابع هدف بهینه‌سازی تعداد مسیرهای دارای تجهیزات و کمینه‌سازی تعداد دوربین‌ها به صورت همزمان جواب مسأله تعیین شده و با استفاده از تکنیک شبیه‌سازی کارآیی مدل‌های توسعه داده شده با استفاده از اطلاعات ترافیکی بخش غربی شبکه‌ی بزرگراهی شهر تهران مورد تحلیل قرار گرفته است.

موضوعات احتمالی نیز در مکانیابی تجهیزات تشخیص دهنده در شبکه در مطالعات پیشین به چشم می‌خورد. یکی از موارد مرتبط با احتمالات در سامانه‌های تشخیص دهنده وضعیت خرابی آنها و عدم کارکرد مناسب می‌باشد که به صورت جامعی از طریق [Danczyk, Di and Liu, 2016] مورد بررسی قرار گرفته و

نتایج این مطالعه این امکان را برای متخصصان حمل و نقل فراهم می‌آورد که بررسی نمایند آیا موضوع تعقیب وسیله نقلیه در بخش‌های مختلف شبکه می‌تواند خطای برآورد ماتریس مبدأ-مقصد را کاهش دهد یا خیر.

۲. توسعه مدل ریاضی

همان‌گونه که در مقدمه نیز اشاره شد، هدف این پژوهش توسعه مدل ریاضی به منظور حداکثر نمودن امکان تشخیص وسایل نقلیه در حال حرکت در شبکه راه‌ها در طول مسیر انتخابی برای حرکت از یک مبدأ مشخص به مقصد مشخص است. بنابراین مبنای توسعه مدل ریاضی استفاده از مدل‌های شبکه است که برای منظور خاص این پژوهش توسعه داده شده است. مدل توسعه داده شده دارای دو بخش (فاز) اصلی است که بخش اول که متناظر با اولین منظر مد نظر نویسندگان در خصوص انتخاب کوتاهترین مسیر توسط رانندگان است، حرکت وسایل نقلیه در شبکه راه‌ها بوده و بخش دوم تعیین مکان‌های تشخیص وسایل نقلیه با تکیه بر افزایش شانس تعقیب آن‌ها در شبکه است. شانس تعقیب وسایل نقلیه که در منظر دوم مد نظر نویسندگان مطرح شده است امکان حرکت وسایل نقلیه از محل دوربینهای نصب شده است و با توجه به توضیحات ارایه شده، مدل کلی مکان‌یابی نصب دوربین‌های تشخیص پلاک خودرو با هدف برآورد تقاضای زوج مبدأ-مقصد به شرح زیر بیان شده است. همان‌گونه که در شکل شماره ۲ نشان داده شده است، فرض اصلی بر آن است که یک وسیله نقلیه در مسیر حرکت خود از مبدأ O به مقصد D از کمان (I, J) عبور می‌کند.

دومین منظر آن است که تفکر حاکم بر تشخیص پلاک وسایل نقلیه نیز بر این اساس است که دوربینهای پلاک خوان با توجه به اهداف دیگری نظیر کنترل سرعت وسایل نقلیه در طول راههای کشور نصب می‌شوند و این موضوع نیز در ارزیابی و تعیین مکان دوربینها نقش داشته و در تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی دقیق مطالعات صورت گرفته یک موضوع را نمایان می‌کند که توان و قابلیت تشخیص در مسیرهای دارای تجهیزات تشخیصی مد نظر قرار گرفته نشده است به این مفهوم که در نهایت در چند نقطه باید جسم متحرک در شبکه مورد شناسایی قرار گیرد تا تقریب درستی از تشخیص آن حاصل گردد. به نظر می‌رسد این مهم می‌تواند از طریق معیارهایی نظیر تعداد دفعات تشخیص در مسیر حرکت نسبت به طول مسیر و همچنین حداکثر تعداد دوربین تشخیص دهنده جسم متحرک در شبکه مورد بررسی قرار گیرد. این موضوع مهم در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین تفاوت اصلی نگرش در مدل توسعه داده شده در این مقاله نسبت به دیگر مطالعات صورت گرفته بر ردیابی و تعقیب وسایل نقلیه در طول مسیر مبدأ و مقصد است که با مد نظر قرار دادن حد بالای تعداد دوربین مورد نیاز واقع در مسیر حرکت و نیز شانس ردیابی وسیله نقلیه در حال حرکت در طول شبکه راه‌ها پایه‌گذاری شده است. مبنای اساسی توسعه مدل آن است که با در نظر گرفتن حد بالایی در تعداد دوربینهای پلاک خوان برای ردیابی وسایل نقلیه می‌توان مکانهای نصب را به نحوی تعیین نمود که بیشترین مسیرهای مبدأ-مقصد تحت پوشش قرار گیرند.

به منظور تحقق موارد فوق یک مدل ریاضی دو مرحله‌ای ارایه می‌شود که با مشخص نمودن مسیرهای حرکت وسایل نقلیه حامل بار در شبکه گسترده جاده‌های کشور تجهیزات تشخیص پلاک به نحوی مکان‌یابی می‌شوند که احتمال تشخیص صحیح مبدأ-مقصد را بر اساس مسیرهای انتخاب شده توسط وسایل نقلیه به حداکثر ممکن برساند.

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

L_{ij} : طول کمان (i, j) در شبکه است. با توجه به وجود راه‌های دوطرفه برای مسیر برگشت نیز طول معادل در نظر گرفته می‌شود که در معادله شماره (۳) نشان داده شده است.

$$L_{ij} = L_{ji} \quad \forall (i, j) \in G \quad (3)$$

M_{od} : تعداد وسایل نقلیه عبوری از مبدأ O به مقصد d (شایان ذکر است این متغیر وضعیت موجود تقاضای مبدأ-مقصد را نشان می‌دهد).

۲-۲ متغیرهای مدل ریاضی

TS_{od} : کوتاهترین فاصله مسیر بین مبدأ O تا مقصد d (از آنجا که فرض بر آن است رانندگان با توجه به محدودیت‌های تردد در شبکه راه‌ها کوتاهترین مسیر را انتخاب می‌نمایند، این متغیر در بخش اول مدل ریاضی محاسبه می‌گردد).

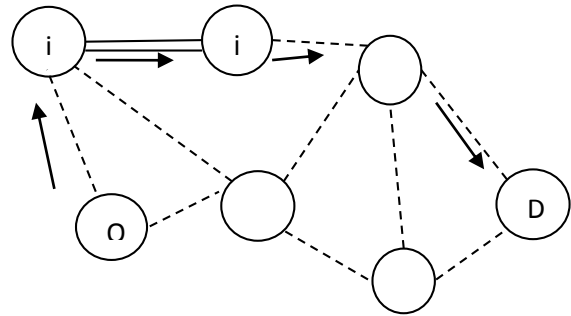
S_{od} : تعداد دستگاه پلاک‌خوان نصب شده در مسیر وسایل نقلیه از مبدأ O به مقصد d

P_{od} : شاخص نشان دهنده احتمال تشخیص صحیح مسیر مبدأ-مقصد از O به d بر اساس طول مسیر و تعداد دستگاه

شاخص نشان دهنده احتمال تشخیص در این پژوهش بر این مبنا تعریف شده است که وسایل نقلیه با مسیرهای حرکت طولانی‌تر بهتر است در مسیر دستگاه‌های پلاک خوان بیشتری قرار گیرند. به عبارت دیگر شانس تشخیص مبدأ-مقصد وسایل نقلیه با تعداد دستگاه پلاک خوان ارتباط مستقیم و با طول مسیر رابطه عکس دارد. اگر این ارتباط خطی فرض گردد احتمال تشخیص به صورت معادله شماره ۴ تعریف می‌شود.

$$P_{od} = TS_{od}/S_{od} \quad (4)$$

متغیر بعدی مهمترین متغیر مسأله است که نشان دهنده وضعیت قرارگیری کمان در طول مسیر حرکت وسایل نقلیه از مبدأ به مقصد است. این متغیر در معادله شماره (۵) تعریف شده است. این متغیر دارای مقادیر صفر و یک بوده و به صورت باینری در مدل تعریف می‌شود. همچنین وضعیت قرارگیری دوربین پلاک خوان در هر



شکل ۲. شمای کلی حرکت وسایل نقلیه در طول شبکه

به منظور توسعه مدل ریاضی مرتبط با تحقیق در این قسمت توضیحاتی در خصوص بخشهای مورد نیاز توسعه مدل ریاضی اشاره می‌گردد:

۱-۲ پارامترهای مدل

G : مجموعه کمان‌های موجود در شبکه است. هر کمان در شبکه به صورت نماد (i, j) نشان داده می‌شود که در آن i ابتدای کمان و j انتهای کمان است. از آنجا که در شبکه برون‌شهری محدودیت‌های یک طرفه وجود نداشته یا به ندرت وجود دارند، برای هر کمان مسیر برگشت نیز با ویژگی‌های متناظر قابل تعریف است. بنابراین معادله شماره (۱) نشان دهنده وضعیت کمان‌های موجود در شبکه راه‌ها است.

$$(i, j) \text{ and } (j, i) \in G \quad (1)$$

N : مجموعه زوج‌های مبدأ-مقصد در شبکه است. از آنجا که زوج‌های مبدأ-مقصد در شبکه راه‌ها فوق تعریف می‌شوند بنابراین هر مبدأ و مقصد گرهی از شبکه است. نکته قابل توجه آن است که زوج‌های مبدأ-مقصد الزاماً برگشت پذیر نبوده و تقاضای رفت با تقاضای برگشت مساوی نیست. معادله شماره (۲) نشان دهنده شمول گرہ‌های موجود به عنوان مبادی و مقاصد حرکت وسایل نقلیه در ماتریس موجود مبدأ-مقصد است.

$$(o, d) \in N \quad (2)$$

کدام از کمانهای شبکه نیز به شرح معادله شماره (۶) قابل تعریف است.

$$X_{ij}^{od} = \begin{cases} 1 & \text{اگر کمان } (i, j) \text{ در مسیر حرکت} \\ \text{وسایل نقلیه از مبدأ } o \text{ به مقصد } d \text{ قرار گیرد.} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (5)$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{اگر در کمان } (i, j) \text{ دستگاه} \\ \text{دوربین پلاکخوان نصب شود.} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (6)$$

۳-۲ تابع هدف بخش اول مدل

همان گونه که توضیح داده شده است؛ تعیین مسیر برای وسایل نقلیه توسط رانندگان مستقل از تعیین محل نصب دستگاههای پلاکخوان است، بنابراین بخش اول مدل تعیین کوتاهترین مسیر برای تمامی زوجهای مبدأ-مقصد در شبکه است. از آنجا که براساس اصول تعادل استفاده کننده و تعادل سیستم [Seyedhosseini, 2010]، تعیین کوتاهترین مسیر برای کلیه مسیرها می تواند با جمع کل طول مسیرهای موجود در شبکه یکسان باشد، تابع هدف بخش اول مدل به شرح معادله شماره (۷) خواهد بود که در آن مجموع کل مسافت طی شده در شبکه است.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{(o,d) \in N} \sum_{(i,j) \in G} L_{ij} \times M_{od} \times X_{ij}^{od} \quad (7)$$

نکته قابل توجه آن است که در تعیین مسیرهای با کوتاهترین مسافت و با مد نظر قرار دادن این که مسیرهای انتخابی مستقل از یکدیگر می باشند، تفاوتی در مجموعه نهایی مسیرهای به دست آمده بین حالتی که تعداد وسیله جابجا شده بین مبدأ و مقصد در معادله در نظر گرفته شود و حالتی که در نظر گرفته نشود، وجود ندارد می توان به جای معادله (۷) از معادله (۸) نیز استفاده نمود. بر

این اساس تحلیلهای بعدی با توجه به خروجی بخش اول مدل و استفاده از رابطه (۸) صورت می گیرد و نیازی به استفاده از رابطه (۷) نخواهد بود.

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{(o,d) \in N} \sum_{(i,j) \in G} L_{ij} \times X_{ij}^{od} \quad (8)$$

۱-۳-۲ محدودیتهای بخش اول مدل

در بخش اول مدل (تعیین کوتاهترین مسیر) تنها یک محدودیت وجود دارد که مرتبط با رعایت پیوستگی کمانهای واقع در مسیر از مبدأ تا مقصد است. این محدودیت از طریق تفاضل تعداد کمانهای خروجی و ورودی به هر گره در کل شبکه تامین می گردد که در معادله شماره (۹) تعریف شده است که در آن مجموعه کمانهای خروجی و En مجموعه کمانهای ورودی به گره (j) در شبکه است، [Mahmoudabadi and Seyedhosseini, 2014].

$$\sum_{i \in E_x(j)} X_{ji}^{od} - \sum_{i \in E_n(j)} X_{ij}^{od} = \begin{cases} 1 & \text{if } j = o \\ -1 & \text{if } j = d \\ 0 & \text{O.W.} \end{cases} \forall j \in G \text{ and } (o, d) \in N \quad (9)$$

با اضافه نمودن محدودیت به صورت معادله شماره (۱۰) کوتاهترین مسیر برای هر زوج مبدأ-مقصد در متغیر TS_{od} جایگذاری خواهد شد.

$$TS_{od} = \sum_{(i,j) \in G} L_{ij} X_{ij}^{od} \forall (o, d) \in N \quad (10)$$

۲-۴ تابع هدف بخش دوم مدل

در مرحله دوم توسعه مدل که هدف تعیین مکان نصب دستگاههای پلاکخوان است، تابع هدف به صورت حداکثر نمودن احتمال تشخیص وسایل نقلیه در هر مسیر مبدأ-مقصد و تعداد دستگاههای عبوری است، تعریف می شود که معادله شماره (۱۱) نشان دهنده تابع هدف در مرحله دوم است.

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

و بلوچستان، کرمان و سمنان انجام گرفته است. از نظر کاربردی دلیل انتخاب این قسمت از شبکه راههای کشور آن است که جایگزینی مسیرهای ارتباطی برای رانندگان با توجه به محدود بودن اتصالات شبکه تقریباً امکان‌پذیر نیست و فرض در نظر گرفته شده در طراحی مدل که رانندگان کوتاهترین مسیر را انتخاب می‌نمایند به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود.

وسعت استانهای یاد شده که در محدوده مطالعه قرار گرفته اند حدود ۴۷ درصد از سطح کشور را تشکیل می‌دهند و طول کل راهها در مجموع حدود ۱۸۴۹۷ کیلومتر است که حدود ۱۰ درصد از طول راههای کشور را تشکیل می‌دهند. برای انجام تحلیلهای مورد نیاز تمامی نقاط و گره‌های موجود در محدوده انتخابی برای مطالعه و همچنین فواصل بین هر کدام از گره‌های موجود به عنوان شبکه تعریف شده است که اطلاعات مورد نیاز بخش اول مدل را تامین می‌نماید. بر این اساس بخش اول مدل از داده‌های شبکه برای



شکل ۳. محدوده مورد مطالعه (هفت استان شرق کشور)

مشخص نمودن ارتباط بین مبادی و مقاصد استفاده می‌نماید و بخش دوم مدل با داشتن اطلاعات خروجی بخش اول که نشان دهنده وجود محور تعریف شده در مسیر مبدأ تا مقصد است، مکان نصب دوربین پلاک خوان را با توجه به اهداف تعیین شده مشخص می‌نماید. محدوده مورد مطالعه در شکل شماره (۳) با رنگ زرد نشان

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_2 &= \sum_{(o,d) \in N} P_{od} \quad \text{in which } P_{od} \\ &= \frac{S_{od}}{TS_{od}} \end{aligned} \quad (11)$$

در صورتی که مبنای تعیین محل نصب دستگاه دوربین پلاک خوان حد بالای تعداد دوربین منصوبه در مسیر باشد رابطه شماره (۱۱) با رابطه شماره (۱۲) جایگزین خواهد شد که در آن حد بالای تعداد دوربین نصب شده در مسیر باشد. منظور از حد بالای تعداد دوربین نصب شده آن است که تشخیص وسیله نقلیه با تعداد دوربین بیش از حد تعیین شده باعث ارتقای تشخیص وسیله نقلیه نخواهد شد. به عنوان مثال تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مسیری که دارای ۶ دوربین بوده با مسیری که دارای ۴ دوربین است، از نظر عملیاتی در تشخیص حرکت وسایل نقلیه در کوتاهترین مسیر وجود ندارد.

$$\text{Max } Z_2 = \sum_{(o,d) \in N} \text{Min}(U_c, S_{od}) \quad (12)$$

۲-۴-۱ محدودیتهای بخش دوم مدل

تعداد دستگاه بر اساس پارامترهای تعریف شده در ابتدای بخش تعداد دستگاههای پلاک خوان نصب شده در هر مسیر زوج مبدأ-مقصد از رابطه شماره (۱۳) قابل محاسبه خواهد بود.

$$S_{od} = \sum_{(i,j) \in EG} X_{ij}^{od} \times Y_{ij} \quad \forall (o,d) \in N \quad (13)$$

محدودیت دیگر تعداد کل دستگاههای پلاک خوان قابل نصب در شبکه است که در معادله شماره (۱۴) ارایه شده است.

$$\sum_{(i,j) \in EG} Y_{ij} \leq \text{تعداد کل دستگاهها} \quad (14)$$

۳. مطالعه موردی و تحلیل نتایج

در این بخش به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مطالعه‌ای بر روی شبکه‌ی راه‌های موجود در شرق کشور ایران شامل استانهای گلستان، خراسان شمالی، خراسان رضوی، خراسان جنوبی، سیستان

داده شده است. به منظور استفاده از شبکه واقعی در مدل ریاضی شبکه تحلیلی تهیه شده است که دارای ۲۸۲ گره، ۳۵۶ محور ارتباطی یک طرفه (۷۱۲ محور ارتباطی دوطرفه) و ۳۶۰۹ جفت مبدأ-مقصد تشکیل شده است. از آنجا که مبادی و مقاصد مورد ارزیابی در مدل برای کل کشور تعمیم یافته است، برای نقاط خروجی از محدوده مورد مطالعه نقاط مرزی در نظر گرفته شده و کل تقاضای مبدأ-مقصد چه به صورت ورودی و چه به صورت خروجی به نقطه مرزی تعیین شده اختصاص یافته است. به عنوان مثال کلیه میزان تقاضای مبدأ و مقصد از استانهای خراسان رضوی، خراسان شمالی، خراسان جنوبی و سمنان به استانهای تهران و دیگر استانهایی که در غرب محدوده مطالعه قرار گرفته اند، به گره گرمسار در انتهای محدوده مطالعه در غرب اختصاص یافته است. این روند برای کلیه محدوده انجام و هشت نقطه مرزی در کل شبکه تعریف و تقاضا به آنها اختصاص یافته است. با توجه به گستردگی شبکه و تعداد قابل توجه گره‌ها و محورهای ارتباطی شبکه، ضرورت دارد به این سؤال پاسخ داده شود که نرم افزار معروف بهینه سازی (GAMS)^۳ توان حل مدل را داشته و بر این اساس نیازی به استفاده از روشهای تقریبی و براپتکاری برای حل مدل نمی باشد و روش حل قطعی برای تعیین مکانهای نصب دوربینهای پلاک خوان مورد استفاده قرار گرفته است.

نکته قابل توجه در این بخش آن است که تحلیل صورت گرفته بر مبنای مشخص شدن محل دوربینهای پلاک خوان است که مرتبط با بخش دوم مدل است و از آنجا که فرض انتخاب کوتاهترین مسیر از مبدأ تا مقصد توسط رانندگان در کل تحلیل باقی مانده است، نتایج مرتبط با پوشش مسیرهای انتخابی با مد نظر قرار دادن انتخاب کوتاهترین مسیرها مورد تحلیل قرار گرفته است.

۳-۱ تحلیل نتایج بر اساس حد بالای تعداد دوربین

همان گونه که در بخش توسعه مدل نیز توضیح داده شده است، یکی از معیارهای مهم در تعیین مکان نصب دوربینهای پلاک خوان

تعداد دوربین قرار گرفته در کل مسیرهای مبدأ-مقصد است. همچنین دو حالت کلی نیز برای تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است که شامل تعداد مسیرهای تحت پوشش حداقل یک و یا دو دوربین هستند. برای حد بالای دوربینهای واقع در مسیرها سه حالت (۴، ۸ و ۱۲) دوربین در نظر گرفته شده است و علاوه بر این فرض شده است که در کل شبکه حداکثر ۱۰۰ یا ۳۰۰ دوربین بتوان نصب کرد، بر این اساس در مجموع شش حالت بر اساس تعداد کل دوربین در شبکه و حد بالای تعداد آنها در مسیرها قابل بررسی است که نتایج آن در جدول شماره (۱) ارائه شده است. ذکر این نکته ضروری است که اعداد داخل پرانتز در دومین ستون به ترتیب تعداد کل دوربین مد نظر قرار گرفته شده و حداکثر تعداد دوربینی است که به عنوان شناخت مسیر مبدأ و مقصد در طول مسیر در نظر گرفته شده است. مفهوم حداکثر تعداد دوربین تعداد دوربینی است که در طول مسیر مبدأ تا مقصد وسایل نقلیه می تواند قرار گیرد که بتواند تقریب صحیحی از کل مسیر حرکتی وسیله نقلیه از مبدأ تا مقصد به دست آید. همان گونه که از نتایج جدول مشخص است با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۱۰۰ دوربین بتوان نصب کرد و با قرار گرفتن حداکثر ۴ دوربین در هر مسیر برای تشخیص مبدأ - مقصد، حدود ۹۵٪ از کل مسیرهای مبدأ-مقصد (شامل ۳۴۲۸ زوج از کل ۳۶۰۹ زوج مبدأ - مقصد موجود در شبکه) تحت پوشش حداقل یک دوربین قرار خواهند گرفت. علاوه بر این حدود ۹۰٪ (۳۲۶۱ زوج) نیز توسط حداقل دو دوربین شناسایی شده اند به این مفهوم که وسایل نقلیه عبوری در ۹۰٪ از کل زوجهای مبدأ - مقصد در معرض دید دوربینهای نصب شده پلاک خوان قرار خواهند گرفت. علاوه بر این با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۳۰۰ دوربین نصب گردد و با قرار گرفتن حداکثر ۴ دوربین در هر مسیر، حدود ۹۹٪ از کل مسیرهای مبدأ-مقصد (شامل ۳۵۹۳ زوج) تحت پوشش حداقل یک دوربین قرار خواهند گرفت و حدود ۹۸٪ (۳۵۳۰ زوج) نیز توسط حداقل دو دوربین

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

گرفته، تحت پوشش حداقل یک دوربین و تعداد ۷۶۲۰۰۳۳۷ سفر (معادل ۸۳٪) حداقل توسط دو دوربین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از نظر کاربردی می‌توان دو نتیجه مشخص را استخراج نمود. اول آن که مقایسه حالت‌های مختلف حاکی از آن است که معیار ۴ دوربین، معیار مناسبی برای حد بالای تعداد دوربین واقع در مسیر پوشش وسایل نقلیه در مدل ریاضی بوده است چرا که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین میزان پوشش در حالات مختلف تعداد دوربین وجود ندارد. نکته دوم نیز آن است که با افزایش تعداد دوربین موجود در شبکه الزاماً درصد پوشش مسیرها و سفرها نیز متناسب افزوده نمی‌شود و بر این اساس می‌توان مبنایی را برای دقت تشخیص در مسیرها قرار داد و بر اساس آن تعداد دوربین مورد نیاز را در شبکه مشخص نمود.

شناسایی شده‌اند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که معیار ۴ دوربین معیار مناسبی برای حد بالای تعداد دوربین واقع در مسیر انتخابی در مدل ریاضی بوده است. تحلیل میزان پوشش تعداد وسایل نقلیه نیز که نتایج آن در جدول شماره (۲) ارائه شده است، حاکی از آن است که تعداد کل سفرهای صورت گرفته معادل ۹۱۴۳۴۱۵۶ بوده است که با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۱۰۰ دوربین نصب گردد و با قرار گرفتن حداکثر ۴ دوربین در هر مسیر، حدود ۹۱٪ از کل سفرهای صورت گرفته (شامل ۸۳۴۱۱۵۳ سفر) تحت پوشش حداقل یک دوربین و حدود ۸۳٪ (شامل ۷۶۲۰۰۳۳۷ سفر) نیز توسط حداقل دو دوربین مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. همچنین با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۳۰۰ دوربین بتوان نصب شود و با قرار گرفتن حداکثر ۴ دوربین در هر مسیر، تعداد ۹۱۰۲۶۵۹۷ سفر (معادل حدود ۹۹٪) از کل سفرهای صورت

جدول ۱. وضعیت پوشش مسیرهای حرکت با در نظر گرفتن حداکثر تعداد دوربین در مسیر (تعداد کل زوج مبدأ- مقصد: ۳۶۰۹)

پوشش مبدأ-مقصد حداقل با دو دوربین	تعداد مبدأ-مقصد تحت پوشش حداقل دو دوربین	پوشش مبدأ-مقصد با حداقل یک دوربین	تعداد مبدأ- مقصد تحت پوشش با حداقل یک دوربین		ردیف
			حد بالا** و حداکثر تعداد دوربین در مسیر و شبکه	تعداد مبدأ-مقصد تحت پوشش با حداقل یک دوربین	
۹۰/۳۵٪	۳۲۶۱	۹۴/۹۸٪	۳۴۲۸	(۴ و ۱۰۰)	۱
۸۶/۷۲٪	۳۱۳۰	۹۱/۳۲٪	۳۲۹۶	(۸ و ۱۰۰)	۲
۸۴/۸۷٪	۳۰۶۳	۹۰/۷۷٪	۳۲۷۶	(۱۲ و ۱۰۰)	۳
۹۷/۸۱٪	۳۵۳۰	۹۹/۵۵٪	۳۵۹۳	(۴ و ۳۰۰)	۴
۹۶/۵۰٪	۳۴۸۳	۹۸/۳۹٪	۳۵۵۱	(۸ و ۳۰۰)	۵
۹۶/۲۰٪	۳۴۷۲	۹۸/۲۵٪	۳۵۴۶	(۱۲ و ۳۰۰)	۶

**منظور از حد بالا تعداد دوربینی است که می‌توانند در مسیر حرکتی وسایل نقلیه وجود داشته باشند تا فرض گردد که امکان تشخیص مبدأ - مقصد وجود دارد.

جدول ۲. میزان پوشش وسایل نقلیه در حال حرکت در شبکه با در نظر گرفتن حداکثر تعداد دوربین در مسیر (تعداد کلتردد: ۹۱۴۳۴۱۵۶)

ردیف	حد بالا و حداکثر تعداد دوربین در مسیر و شبکه	تعداد سفر تحت پوشش با حداقل یک دوربین	پوشش سفر با حداقل یک دوربین	تعداد سفر تحت پوشش حداقل دو دوربین	پوشش سفر حداقل با دو دوربین
۱	(۴ و ۱۰۰)	۸۳۴۱۱۱۵۳	٪۹۱/۲۲	۷۶۲۰۰۳۳۷	٪۸۳/۳۳
۲	(۸ و ۱۰۰)	۷۰۰۲۶۴۷۰	٪۷۶/۵۸	۵۶۴۳۳۱۱۰	٪۶۱/۷۱
۳	(۱۲ و ۱۰۰)	۷۰۰۴۳۸۴۹	٪۷۶/۶۰	۵۸۳۷۳۵۷۳	٪۶۳/۸۴
۴	(۴ و ۳۰۰)	۹۱۰۲۶۵۹۷	٪۹۹/۵۵	۸۷۷۷۳۴۴۱	٪۹۵/۹۹
۵	(۸ و ۳۰۰)	۸۹۶۱۲۸۸۲	٪۹۸/۰۰	۸۶۱۲۹۵۶۵	٪۹۴/۱۹
۶	(۱۲ و ۳۰۰)	۸۹۳۴۷۳۰۳	٪۹۷/۷۱	۸۶۰۰۸۲۵۳	٪۹۴/۰۶

۲-۳ تحلیل نتایج بر اساس شانس تشخیص در مسیر

شاخص احتمال تشخیص در این پژوهش بر این مبنا تعریف شده است که شانس تشخیص مبدأ-مقصد وسایل نقلیه با تعداد دستگاه پلاک خوان ارتباط مستقیم و با طول مسیر رابطه عکس دارد. برای رسیدن به این منظور، دو حالت کلی برای تحلیل، مورد بررسی قرار گرفته است که شامل تعداد کل دوربین‌های شبکه حداکثر ۱۰۰ و ۳۰۰ دوربین و شامل تعداد مسیرهای تحت پوشش حداقل یک و یا دو دوربین می‌باشند. با توجه به حالات مختلف امکان‌پذیر شامل ۱۰۰ و ۳۰۰ دوربین در کل شبکه، نتایج آن در جدول شماره (۳) ارائه شده است. بر این اساس همان‌گونه که از نتایج جدول مشخص است با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۱۰۰ دوربین بتوان نصب کرد حدود ۸۹٪ از کل مسیرهای مبدأ-مقصد (شامل ۳۲۱۹ زوج) تحت پوشش حداقل یک دوربین قرار خواهند گرفت و حدود ۸۴٪ (۳۰۲۱ زوج) نیز توسط حداقل دو دوربین شناسایی شده‌اند. در حالت دیگر، با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۳۰۰ دوربین نصب شود، حدود ۹۸٪ از کل مسیرهای مبدأ-مقصد (شامل ۳۵۴۵ زوج) تحت پوشش حداقل یک دوربین قرار خواهند گرفت و حدود ۹۶٪ (۳۴۶۲ زوج) نیز توسط حداقل دو دوربین شناسایی شده‌اند. همان‌طور که در شکل شماره (۴) نشان داده شده است تحلیل آماری

حاکمی از آن است که هنگامی که تعداد دستگاه پلاک‌خوان در کل شبکه بیشتر باشد، شانس تشخیص مبدأ-مقصد وسایل نقلیه بیشتر است به طوری که با وجود حداکثر ۳۰۰ دوربین در کل شبکه شانس تشخیص مبدأ-مقصد وسایل نقلیه در مقایسه با وجود حداکثر ۱۰۰ دوربین در کل شبکه، بیشتر بوده است. تحلیل وضعیت پوشش وسایل نقلیه نیز که نتایج آن در جدول شماره (۴) جمع‌بندی شده است، حاکمی از آن است که تعداد کل سفرهای صورت گرفته معادل ۹۱۴۳۴۱۵۶ سفر بوده است که با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۱۰۰ دوربین بتوان نصب کرد، حدود ۷۴٪ از کل سفرهای صورت گرفته (شامل ۶۷۷۲۰۶۵۸ سفر) تحت پوشش حداقل یک دوربین و حدود ۶۲٪ (شامل ۵۷۰۹۹۳۰۰ سفر) نیز توسط حداقل دو دوربین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین با فرض اینکه در کل شبکه حداکثر ۳۰۰ دوربین بتوان نصب کرد، تعداد ۸۹۳۷۰۵۰۸ سفر (معادل حدود ۹۸٪) از کل سفرهای صورت گرفته، تحت پوشش حداقل یک دوربین و تعداد ۸۰۰۲۲۱۵۵ سفر (معادل ۹۶٪) حداقل توسط دو دوربین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مقایسه نتایج این بخش با حالت قبل حاکمی از آن است که در نظر گرفتن معیار حداکثر تعداد دوربین در مسیر به منظور شناخت و تشخیص مبدأ - مقصد می‌تواند معیار مناسب تری برای مکانیابی دوربین‌های پلاک

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

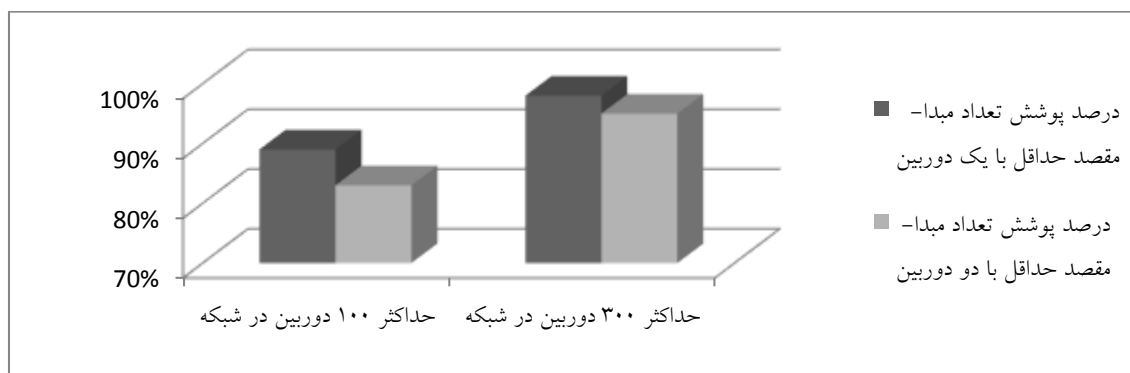
خوان در شبکه راهها باشد، چرا که با تعداد دوربین مشخص ۱۰۰ مسیروها و هم در حوزه پوشش سفرهای برون‌شهری دارای قابلیت و ۳۰۰ مورد استفاد در مدل کارآیی مدل هم در حوزه پوشش بهتری است.

جدول ۳. وضعیت پوشش مسیرهای حرکت با در نظر گرفتن شانس تشخیص در مسیر (تعداد کل زوج مبدأ-مقصد: ۳۶۰۹)

ردیف	حداکثر تعداد دوربین در شبکه	تعداد مبدأ-مقصد تحت پوشش با حداقل یک دوربین	پوشش مبدأ-مقصد با حداقل یک دوربین	تعداد مبدأ-مقصد تحت پوشش حداقل دو دوربین	پوشش مبدأ-مقصد حداقل با دو دوربین
۱	۱۰۰	۳۲۱۹	٪۸۹/۱۹	۳۰۲۱	٪۸۳/۷۰
۴	۳۰	۳۵۴۵	٪۹۸/۲۲	۳۴۶۲	٪۹۵/۹۲

جدول ۴. میزان پوشش وسایل نقلیه در حال حرکت در شبکه با در نظر گرفتن شانس تشخیص در مسیر (تعداد کل تردد: ۹۱۴۳۴۱۵۶)

ردیف	حداکثر تعداد دوربین در شبکه	تعداد سفر تحت پوشش حداقل یک دوربین	پوشش سفر با حداقل یک دوربین	تعداد سفر تحت پوشش حداقل دو دوربین	پوشش سفر حداقل با دو دوربین
۱	۱۰۰	۶۷۷۲۰۶۵۸	٪۷۴/۰۶	۵۷۰۹۹۳۰۰	٪۶۲/۴۴
۴	۳۰۰	۸۹۳۷۰۵۰۸	٪۹۷/۷۴	۸۰۰۲۲۱۵۵	٪۸۷/۵۱



شکل ۴. مقایسه وضعیت پوشش مسیرهای حرکت با فرض ۱۰۰ و ۳۰۰ دوربین در شبکه

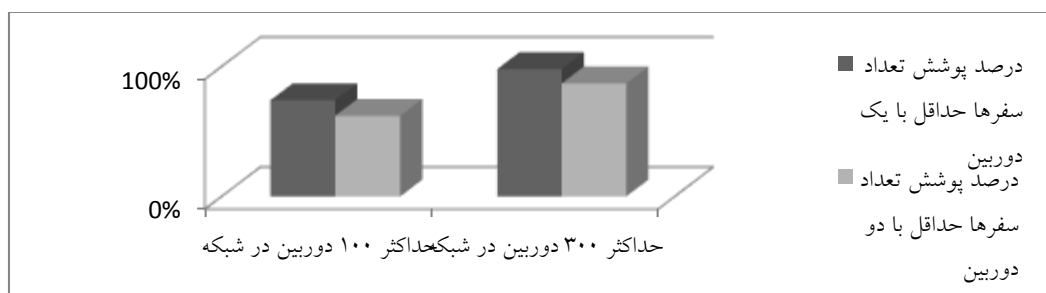
۳-۳ تحلیل نتایج بر اساس وضعیت موجود دوربینها

سفرهای صورت گرفته (شامل ۸۶۹۴۵۷۰۱ سفر) تحت پوشش حداقل یک دوربین و حدود ۹۱٪ (شامل ۸۲۸۶۲۴۶۶ سفر) نیز توسط حداقل دو دوربین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بنابراین مقایسه حالت‌های مختلف حاکی از آن است که معیار ۴ دوربین، معیار مناسبی برای حد بالای تعداد دوربین واقع در مسیر پوشش وسایل نقلیه در مدل ریاضی بوده است.

علاوه بر این نتایج در حالتی که مدل بر اساس حداکثر نمودن شانس تعقیب وسایل نقلیه در مسیر اجرا گردد نیز در جدول شماره (۷) ارایه شده‌اند. همان گونه که مشخص است با فرض حداکثر نمودن شانس تعقیب وسایل نقلیه در سبکه نیز تعداد دوربین منصوبه فعلی پاسخگوی بررسی حدود ۹۰٪ از مسیرهای مبدأ-مقصد در شبکه است.

بر اساس آنچه که در تحلیل نتایج حاصل از اجرای مدل ریاضی در حالات مختلف قابل استنتاج است، می‌توان به این نتیجه دست یافت که اگر مکانیابی دوربین‌های پلاک خوان به نحو مناسبی و بهینه انجام شود، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان پوشش مسیرهای حرکتی وسایل نقلیه و نیز تردد وسایل نقلیه در طول شبکه راه‌های مورد مطالعه با فرض نصب ۱۰۰ دوربین و ارتقای آن به ۳۰۰ دوربین صورت نمی‌گیرد. بر این اساس می‌توان چنین اظهار نمود که ۱۴۵ دوربین منصوب حال حاضر می‌تواند معیار مناسبی برای انجام مطالعات بعدی در این زمینه باشد.

با بررسی‌های صورت گرفته بر روی شبکه واقعی مورد مطالعه، مشخص شد که در حال حاضر تعداد ۱۴۵ دوربین در شبکه مورد مطالعه برای مقاصد دیگری نظیر کنترل سرعت در شبکه نصب شده‌اند. در این قسمت برای تحلیل، در دو حالت کلی شامل تعداد مسیرهای تحت پوشش حداقل یک و یا دو دوربین مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که برای حد بالای دوربین‌های واقع در مسیرها سه حالت (۴، ۸ و ۱۲) دوربین در نظر گرفته شده است، در مجموع سه حالت قابل بررسی است که نتایج آن در جدول شماره (۵) ارایه شده است. همان گونه که از نتایج جدول مشخص است با آگاهی از این است که در کل شبکه تعداد ۱۴۵ دوربین نصب است و با قرار گرفتن حداکثر ۴ دوربین در هر مسیر، حدود ۹۷٪ از کل مسیرهای مبدأ-مقصد (شامل ۳۵۱۰ زوج مبدأ-مقصد) تحت پوشش حداقل یک دوربین قرار خواهند گرفت و حدود ۹۵٪ (۳۴۱۶ زوج مبدأ-مقصد) نیز توسط حداقل دو دوربین شناسایی شده‌اند. تحلیل وضعیت پوشش وسایل نقلیه نیز که نتایج آن در جدول شماره (۶) آمده است، حاکی از آن است که تعداد کل سفرهای صورت گرفته معادل ۹۱۴۳۴۱۵۶ بوده است که با آگاهی از این موضوع که در کل شبکه تعداد ۱۴۵ دوربین نصب است و با قرار گرفتن حداکثر ۴ دوربین در هر مسیر، حدود ۹۵٪ از کل



شکل ۵. مقایسه وضعیت پوشش وسایل نقلیه در حالات ۱۰۰ و ۳۰۰ دوربین در شبکه

توسعه مدل مکان‌یابی دوربین‌های پلاک خوان در جاده‌های ایران جهت پوشش مسیرهای حرکتی ...

جدول ۵. وضعیت پوشش مسیرهای حرکت با در نظر گرفتن حداکثر تعداد دوربین در مسیر (تعداد کل زوج مبدأ- مقصد: ۳۶۰۹ تعداد کل دوربین در

شبکه ۱۴۵)

ردیف	حد بالای تعداد دوربین در مسیر	تعداد مبدأ-مقصد تحت پوشش با حداقل یک دوربین	درصد پوشش مبدأ-مقصد با حداقل یک دوربین	تعداد مبدأ-مقصد تحت پوشش با حداقل دو دوربین	درصد پوشش مبدأ-مقصد با حداقل دو دوربین
۱	۴	۳۵۱۰	۹۷/۲۵٪	۳۴۱۶	۹۴/۶۵٪
۲	۸	۳۴۶۲	۹۵/۹۲٪	۳۲۷۵	۹۰/۷۴٪
۳	۱۲	۳۳۹۲	۹۳/۹۸٪	۳۲۱۹	۸۹/۱۹٪

جدول ۶. میزان پوشش وسایل نقلیه در حال حرکت در شبکه با در نظر گرفتن حداکثر تعداد دوربین در مسیر (تعداد کل تردد:

۹۱۴۳۴۱۵۶ تعداد کل دوربین در شبکه ۱۴۵)

ردیف	تعداد دوربین در نظر گرفته شده	تعداد سفر تحت پوشش با حداقل یک دوربین	درصد پوشش سفر با حداقل یک دوربین	تعداد سفر تحت پوشش با حداقل دو دوربین	درصد پوشش سفر حداقل دو دوربین
۱	۴	۸۶۹۴۵۷۰۱	۹۵/۰۹٪	۸۲۸۶۲۴۶۶	۹۰/۶۲٪
۲	۸	۸۵۵۱۱۸۲۸	۹۳/۵۲٪	۶۷۳۹۷۷۳۵	۷۳/۷۱٪
۳	۱۲	۷۳۲۱۹۹۵۴	۸۰/۰۷٪	۶۳۰۴۷۶۸۵	۶۸/۹۵٪

جدول ۷. وضعیت پوشش مسیرهای حرکت با در نظر گرفتن شانس تعقیب در مسیر (تعداد کل زوج مبدأ- مقصد: ۳۶۰۹، کل تردد ۹۱۴۳۴۱۵۶ و

تعداد کل دوربین در شبکه ۱۴۵)

ردیف	معیار بررسی	پوشش با حداقل یک دوربین	درصد پوشش مبدأ-مقصد با حداقل یک دوربین	پوشش با حداقل دو دوربین	درصد پوشش مبدأ-مقصد با حداقل دو دوربین
۱	مسیر حرکتی	۳۳۴۱	۹۲/۶٪	۳۱۳۰	۸۶/۷٪
۲	وسایل نقلیه	۷۷۶۴۵۷۱۲	۸۴/۹٪	۶۷۶۴۸۵۷۷	۷۴٪

۴. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از یک مدل ریاضی دو مرحله‌ای بهترین مکان‌های نصب دوربین‌های پلاک خوان وسایل نقلیه در جاده‌های کشور با هدف استفاده از تصویر ثبت شده پلاک خودرو برای تخمین ماتریس مبدأ و مقصد، تعیین شده‌اند. نگرش کلی در مدل‌سازی ریاضی بر مبنای تعقیب وسایل نقلیه بوده و در دو ساختار کلی حداکثر نمودن شانس ثبت پلاک وسیله نقلیه در طول

مسیر از مبدأ به مقصد و نیز بیشینه نمودن تعداد زوج‌های مبادی مقاصد تحت پوشش دوربین‌های نصب شده، انجام شده است. به منظور بررسی و ارزیابی توان مدل ریاضی توسعه داده شده، بخش شرقی ایران شامل هفت استان شرقی و شمال شرقی کشور به عنوان مطالعه موردی انتخاب و محدوده مطالعه در قالب داده‌های تحلیلی مورد استفاده در نرم‌افزار معروف بهینه‌سازی (GAMS) کدگذاری شده است. علاوه بر این اطلاعات یک سال از بارنامه‌های صادره

آن با دستگاههای توزین در حال حرکت تقاضای مبدا - مقصد با محموله و بدون محموله را از یکدیگر تشخیص داد و مطالعه جامعی در مورد نقش و اثر حمل و نقل یکسربار در طراحی شبکه راهها انجام داد.

۵. پی نوشتها

- 1- TOPSIS
- 2- Origin-Destination Matrix
- 3- General Algebraic Modeling System

۶. مراجع

- آل نوری، هومن؛ مشکانی، سید مهدی؛ صفارزاده، محمود و شرافتی پور، سعید (۱۳۹۳) "مکانیابی دوربین های ورودی محدوده زوج و فرد با رویکرد پوشش بهینه تخلفات" مهندسی حمل و نقل، سال ششم، شماره دوم، ص. ۱۸۱-۱۹۶.

- افندی زاده، شهریار؛ خلیلی، سجاد و عبدالمنافی، سیدابراهیم (۱۳۹۱) "معرفی و مقایسه مدل های مکانیابی شمارشگرهای ترافیکی در شبکه معابر درون شهری به منظور بهنگام سازی ماتریس مبدأ- مقصد سفر"، یازدهمین کنفرانس مهندسی حمل و نقل و ترافیک ایران، تهران، سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران، معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

افندی زاده، شهریار؛ احمدی نژاد، محمود و خلیلی، سجاد (۱۳۹۲) "بهینه سازی مکان نقاط شمارش ترافیک جهت بهنگام سازی ماتریس مبدأ - مقصد سفر بر اساس مدل برنامه ریزی چندهدفه"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره دوم، ص. ۱۲۸-۱۱۷.

حسینی طالقانی، نوید و سید ابریشمی، احسان (۱۳۹۵)، "مکانیابی سنسورهای شمارنده در شبکه ترابری به کمک ماتریس تبدیل جبرخطی"، دومین همایش سیستم های حمل و نقل هوشمند جاده ای، تهران، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای.

در کل کشور که در پایگاه اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جاده ای ثبت شده، مورد بررسی قرار گرفته و تمامی زوج مبادی و مقاصد موجود برای مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از اجرای مدل ریاضی توسعه داده شده و نیز بررسی وضعیت فرارگیری دوربینهای پلاک خوان در شبکه راههای شرق کشور حاکی از آن است که تفاوت قابل ملاحظه ای بین حالتی که در کل شبکه ۱۰۰ دوربین در نظر گرفته شود و حالتی که ۳۰۰ دوربین در نظر گرفته شود وجود ندارد و می توان حرکت های موجود در شبکه را با تعداد دوربین کمتری نیز تحت پوشش قرار داد. همچنین وضعیت موجود دوربینهای نصب شده نیز مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و نشان داده است که مکانهای نصب تعیین شده توسط مدل دارای کارایی بهتری نسبت به وضعیت نصب موجود است که دوربینهای موجود بر اساس آن مکانیابی شده اند. مطالعه صورت گرفته شروع موضوعی در توسعه مدل ریاضی و بکارگیری روشی برای تخمین ماتریس مبدأ- مقصد میزان جابجایی در شبکه است که محققان سعی دارند در ادامه مطالعات انجام شده در این خصوص مدل های ریاضی لازم را توسعه داده و به مرحله اجرا گذارند تا برآورد المانهای ماتریس مبدأ - مقصد بر اساس ردیابی وسایل نقلیه از طریق خواندن پلاک آنها در طول مسیر ممکن گردد.

به منظور انجام مطالعات آتی توصیه محققین این مطالعه آن است که می توان مدل های مبتنی بر تغییر مسیرهای احتمالی را به مدل اضافه نمود چرا که در این تحقیق فرض بر آن نهاده شده است که رانندگان کوتاهترین مسیر بین مبدأ تا مقصد را انتخاب می نمایند و این در حالی است که در بخشهایی از شبکه راههای ایران مسافت الزاماً معیار نهایی نبوده و موضوعاتی نظیر محدودیتهای حرکتی موقت و نیز ترافیک حاصل از وسایل نقلیه سبک می تواند در انتخاب مسیر وسایل نقلیه باری تاثیرگذار باشد. در حال حاضر تعدادی از وسایل نقلیه حامل بار در کشور به صورت یک سربار در شبکه راهها حرکت می کنند که می توان با توسعه مدل و ترکیب

-Danczyk, A., Di, X. and Liu, H. X. (2016) "A probabilistic optimization model for allocating freeway sensors", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 67, pp.378-398.

-Lauren, A., Jiang S., Murga, M. and González, M. C. (2015) "Origin-destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 58, pp. 240-250

-Mahmoudabadi, A., Farokhi, R. and, Fattahi, A. (2016) "Developing a tolerated risk model for solving routing-locating problem in hazardous material management", *Journal of Intelligent Transportation and Urban Planning*, Vol. 4 Iss.1, PP. 53-6.

-Mahmoudabadi, A. and Seyedhosseini S. M. (2014) "Developing a chaotic pattern of Hazmat routing problem under emergency situation", *Transport Policy*, Vol. 27, No. 2, pp. 34-45

-Park, H. and Haghani, A. (2015) "Optimal number and location of bluetooth sensors considering stochastic travel time prediction", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 55, pp.203-216.

-Peijun, Y. and Wen, D. (2017) "Optimal traffic sensor location for origin-destination estimation using a compressed sensing framework", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 18, No. 7, pp. 1857-1866.

-Salari, A., Faturechi, R., Seyedabrishami, S. and Yargholi, E. (2010) "A new traffic counting program for intercity roads based on integer linear optimization. In 17th ITS World Congress ITS Japan, ITS America ERTICO

-Shahadat, I., Choudhury, C. F., Wang, P. and González, M. C. (2014) "Development of origin-destination matrices using mobile phone call

-سراج، نیما (۱۳۹۰) "مکان‌یابی پایگاه‌های امداد رسانی جاده‌ای با استفاده از مدل پوششی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

-سید حسینی، سید محمد (۱۳۸۹) "برنامه‌ریزی مهندسی حمل‌ونقل و تحلیل جابجایی مواد"، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ ششم.

-صادقی نیارکی، ابوالقاسم؛ دلاور، محمودرضا و رخساری، سمیه (۱۳۹۳) "مکان‌یابی بهینه حسگرهای مانیتورینگ ترافیکی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی و روش تاپسیس"، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۰، ص. ۴۱-۵۰.

-فاضلی فر، علی؛ منبئی، احسان؛ سیدحسینی، سید محمد. (۱۳۹۱) "مدل مکان‌یابی نصب دوربینهای کنترل سرعت در راههای برون شهری" یازدهمین کنفرانس حمل‌ونقل و ترافیک، تهران.

فدایی نایینی، مریم، قطعی، مهدی و تشکری هاشمی، سید مهدی. (۱۳۹۱) "ارائه دو مدل جدید برای مساله مکان‌یابی شمارنده‌های ترافیکی به منظور پیشینه سازی پوشش مسیرها: مطالعه موردی بزرگراه های تهران"، یازدهمین کنفرانس مهندسی ترافیک، ایران، تهران.

-میربهاء، بابک؛ و حسینی، سیدمهداد (۱۳۹۶) "ارایه مدلی برای مکان‌یابی بهینه دوربینهای کنترل‌سرعت در راه‌ها"، فصلنامه مهندسی حمل‌ونقل، دوره ۱۴، شماره ۱، ص. ۶۸-۸۰.

-کهنی، عاطفه و توکلی مقدم، رضا (۱۳۹۳) "حل مدل مسیریابی وسایل نقلیه چندانباره مبتنی بر کاهش ریسک با استفاده از یک الگوریتم خفاش چندهدفه"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۶، شماره ۲، ص. ۵۰۷-۵۲۲.

-Lajish, V. L. and Sunil Kumar, Kopparapu (2015) "Mobile phone based vehicle license plate recognition for road policing." *arXiv preprint*, pp.1476-1504

case study Huntsville, Al.", International Journal of Traffic and Transportation Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 64-72

-Tahirou, D., Assogba, M. K. and Vianou, A. (2017) "An approach for benin automatic license plate recognition", International Journal of Image Processing (IJIP), Vol. 11, No. 2, pp. 25-34.

-Wang, Y., Ma, X., Liu, Y., Gong, K., Henricakson, K.C., Xu, M. and Wang, Y. (2016) "A Two-stage algorithm for origin-destination matrices estimation considering dynamic dispersion parameter for route choice", PLOS ONE, Vol. 11, No. 1, pp. 14-26

data." Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 40, pp. 63-74.

-Sharminha Bera, K. V. and Krishna, Rao (2011) "Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art", European Transport, No. 49, pp. 3-23.

-Sun, D., Chang, Y. and Zhang, L. (2012) "An ant colony optimisation model for traffic counting location problem", In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, Thomas Telford Ltd. Vol. 165, No. 3, pp.175-185

-Tahmina, K. and Anderson, M. (2016) "Accurately estimating origin/destination matrices in situations with limited traffic counts:

Developing a Mathematical Model for Locating License Plate Reading Cameras on Iran's Intercity Roads to Cover the Origin-Destination Routes of Vehicle Fleets

M. Teimouri, Ph.D. Student, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, , Islamic Azad University, Tehran, Iran

M. Sheikhmohammadi (Corresponding author), Assistant Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

A. Hosseinzade Kashan, Assistant Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

A. Shojaei, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

E-mail: msheikhm@modares.ac.ir

Abstract

The origin-destination matrix, which is usually estimated by transport experts using mathematical and statistical methods as well as optimization techniques, is one of the most important elements in transport planning. The wide-range usage of electronic technologies in transportation helps authorities on tracking vehicles over the road network for many purposes, so a two-stage mathematical model has been developed to estimate origin-destination matrix for vehicle fleets. The proposed model is based on the possibility of reading license plates over the path as well as selecting the shortest path from origin to destination by drivers. Two different definitions of possibility including the number of cameras in each O-D pairs comparing to its distance and the maximum required number of existing cameras are considered as criteria for developing the mathematical model.

In order to evaluate the efficiency of the proposed model, the road network of the eastern provinces of Iran including Khorasan Razavi, North Khorasan, South Khorasan, Golestan, Kerman, Sistan and Baluchestan and Semnan, where there are 310 nodes and 356 one-way edges (712 two-way edges), has been selected as case study. All O-D pairs have also been collected, using electronic documents on 1395 in lunar calendar. Using the well-known software of GAMS, results revealed that the model is capable to determine the best edges for installing license plate reading cameras to cover high portion of vehicles fleets those passing over the road network.

Keywords: Intercity transportation, location allocation problem, license plate camera, origin destination route

محمد تیموری، مجید شیخ محمدی، علی حسین زاده کاشان، امیرعباس شجاعی

محمد تیموری، مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۷۶ با کسب رتبه اول از دانشگاه یزد و درجه کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۷۹ در رشته مهندسی صنایع گرایش مهندسی سیستمهای اقتصادی-اجتماعی با کسب رتبه اول از دانشگاه تربیت مدرس تهران اخذ نمود. از سال ۱۳۹۳ دانشجوی دکتری در رشته مهندسی صنایع در دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل و نقل و حمل و نقل هوشمند است.



مجید شیخ محمدی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه صنعتی امیرکبیر و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۹ از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. در سال ۱۳۸۷ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی طراحی سیستمها از دانشگاه واترلو-کانادا گردید. وی در سال ۱۳۸۸ مدیریت یک پروژه تحقیقاتی با عنوان "رویکرد مهندسی سیستمها در باز توسعه زمینهای آلوده" در کشور کانادا را به عهده داشت. زمینه های پژوهشی مورد علاقه دکتر مجید شیخ محمدی عبارتند از: مدل‌های تصمیم گیری و بهینه سازی، نظریه بازیها، مدل سازی و تجزیه و تحلیل مناقشات و مذاکرات. وی در حال حاضر، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی صنایع و سیستمها در دانشگاه تربیت مدرس است.



دکتر علی حسین زاده کاشان دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی صنایع از دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. ایشان در حال حاضر استادیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های دانشگاه تربیت مدرس است. تمرکز تحقیقاتی وی عمدتاً در مدلسازی و حل مسائل بهینه سازی ترکیبی در زمینه‌هایی نظیر مهندسی لجستیک و شبکه های تامین، مدیریت درآمد و قیمت گذاری، زمانبندی عملیات و پروژه است.



دکتر امیر عباس شجاعی، مدرک کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۲ و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب اخذ نمود. در سال ۱۳۸۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه ریزی حمل و نقل، سیاستهای تولیدی و کنترل پروژه است. وی در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب است.

