# انتخاب بهترین مسیرهای نصب در توسعهٔ دوربین‌های مداربستهٔ شهری

**حسن صانعی آرانی[۱]، مهدی اسماعیلی[۲*]، محمدعلی افشار کاظمی[۳]**

دانشجوی دکترای مدیریت فن‌آوری اطلاعات، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران [۱]

استادیار گروه کامپیوتر، دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان، کاشان، ایران [۲*]

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران [۳]

## چکیده

**دوربین‌های مداربسته یکی از مهم‌ترین ابزارهایی است که در شهرها برای سامانه کنترل ترافیک استفاده می‌شود. شهروندان روزانه مسافرت‌های درون‌شهری زیادی انجام می‌دهند و عملکرد سامانه‌های نظارت شهری نیز پایش این مسیرهاست. در روش پیشنهادی، نقشهٔ واقعی شهر به‌عنوان یک مدل انتخاب شده‌است. با جداسازی مسیرهای اصلی از سایر مکان‌ها، گرافی از مسیرها به‌دست می‌آید؛ سپس با انتخاب تصادفی مجموعه‌ای از زوج‌رأس‌ها از گراف، به‌عنوان مبدأ و مقصد یک سفر داخل شهری و مسیریابی بین آن‌ها با الگوریتم دایکسترا، ترافیک مجازی ساخته می‌شود. برای تطابق ترافیک مجازی با ترافیک واقعی، احتمال انتخاب نقاط پر رفت‌وآمد بیشتر درنظرگرفته می‌شود. با ایجاد یک‌صدهزار مسیر برای مدل مورد مطالعه، می‌توان یال‌ها را با بالاترین تکرار به‌عنوان نتایج نهایی پیدا کرد و برای نصب دوربین پیشنهاد داد. ارزیابی نتایج نهایی با تکرار آزمایش‌های تصادفی و با استفاده از ضریب تشابه ژاکارد انجام گرفته است و میزان تشابه نتایج خروجی بررسی می‌شود. پایایی روش پیشنهادی با تحلیل ریاضی و با رسم نمودارها بیان می‌شود و تأثیر پارامترهای تأثیرگذار مانند تعداد مسافرت شهری، میزان احتمال انتخاب نقاط، تأثیر توپولوژی شهر و تعداد نتایج خروجی به‌شکل تحلیلی بیان شده و میزان تشابه نتایج، ۹۸درصد به‌دست آمد. مزیت روش پیشنهادی وابسته‌نبودن به ابزار خاص مانند دوربین‌های سنجش ترافیک و همچنین بدون وابستگی به مکان و توپولوژی خاص است.**

**واژگان کلیدی: جانمایی دوربین مداربستهٔ شهری، ترافیک مجازی، ضریب تشابه ژاکارد، الگوریتم دایکسترا، شهر هوشمند.**

# Choosing the Best Installation Paths In the Development of Urban CCTV Cameras

**Hassan Sanei Arani[1] & Mahdi Esmaili[2*] & Mohammad Ali Afshar Kazemi[3]**

PhD student of Department of Information Technology Management , Faculty of Management and Economics, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran[1]

Assistant Professor, Computer Department, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Islamic Azad University, Kashan Branch, Kashan, Iran [2*]

Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Islamic Azad University, Tehran Center Branch, Tehran, Iran [3]

## Abstract

**Optimizing camera placement is a two-decade-old research problem. Many researches have solved the problem with different approaches. Some different methods such as genetic algorithm, reinforcement learning, and greedy algorithm have been developed to obtain the maximum surface coverage. Some researchers have considered specific applications in order to optimally cover a certain area such as a coastal area or a protected area under the coverage of CCTV cameras. Some researchers have also**

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۷/۲۳ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۲۰ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۸/۸ • نوع مطالعه: پژوهشی

**considered the camera's capabilities of vertical rotation or horizontal rotation or zooming in order to use these capabilities for optimization. With the development of drone manufacturing technology, this tool is also proposed for specific applications. But what is less discussed is the optimization of the placement of urban surveillance cameras in a real city map. Usually, due to the high cost, all city cameras are not installed at once, and cameras are added annually to develop the city traffic monitoring system. Therefore, it is necessary to prioritize the selection of the route and a very important factor in prioritization is traffic. Traffic is the most important factor in choosing the route for the placement of urban surveillance cameras because the streets with more traffic are exposed to more traffic accidents and should be the priority for video monitoring. Traffic data is usually big data, not available for all cities, and on the other hand, providing traffic data may violate citizens' privacy. Therefore, there are many methods for creating virtual traffic, which are classified into two categories: macro and micro. Macro methods model traffic as a physical phenomenon such as fluid or gas, but micro models, which are mostly used in artificial intelligence methods, consider traffic as a set of individual trips. In this work, we use the second method to create virtual traffic so that routes with more traffic are prioritized for installation. Citizens usually make a lot of intra-city trips, and the function of city monitoring systems is to monitor these routes. Therefore, the placement of surveillance cameras should also be in such a way that it considers the observation of these routes. In the proposed method, the real map of the city is selected as a model. Then, by separating the main paths and obtaining the skeleton of the path, a graph of the paths is obtained, the intersection point of the paths will be its vertex and the distance between the vertices will be the weight of the connecting edges. Now by randomly selecting two vertices from the graph as the origin and destination of an intra-city trip and routing between them with Dijkstra's algorithm, a trip is made. By repeating this process, virtual traffic is simulated. To create virtual traffic similar to real traffic, the probability of choosing high-traffic points is considered more than other points. Therefore, the probability of selecting vertices in the graph is different according to their location in the city. By creating one hundred thousand paths for the studied model, the edges with the highest repetition can be found as the final results and suggested for camera installation. The evaluation of the final results is done by repeating random experiments and using the Jaccard similarity coefficient, and the degree of similarity of the output results is checked. The reliability of the proposed method is expressed by mathematical analysis and by drawing graphs, and the impact of influential parameters such as the number of city trips, the probability of choosing points, the impact of city topology, and the number of output results are expressed analytically, and the similarity of the results is 98%. The advantage of the proposed method is not depending on special tools such as special cameras for traffic measurement, as well as not depending on a specific location and topology.**

**Keywords: placement of urban CCTV camera - Virtual traffic - Jaccard similarity coefficient - Dijkstra's algorithm - smart city**

## ۱-مقدمه

نظارت تصویری، یکی از اجزای اصلی و مهم شهر هوشمند است. دوربین‌های مداربستهٔ شهری، ابزارها و برنامه‌های نظارتی زیادی را به جامعهٔ شهری ارائه می‌دهند که خطای انسانی ندارند و باعث ثبات امنیت شهرها می‌شوند[۱].

طبق گزارشIHS Markit در سال ۲۰۲۱، تا آن سال یک میلیارد دوربین مداربسته در سراسر جهان وجود داشتند. این دوربین‌ها یکی از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که در یک شهر برای سامانهٔ کنترل ترافیک و یا برای سامانه‌های پیش‌گیری و پیگیری جرم استفاده می‌شوند[۲].

هر شهروند به‌طورمعمول روزانه مسافرت‌های درون‌شهری زیادی انجام می‌دهد و عملکرد سامانه‌های نظارت شهری نیز پایش این مسیرهاست؛ بنابراین، جانمایی دوربین‌های نظارتی نیز باید به‌گونه‌ای باشد که رصد بهتر این مسیرها را درنظرگیرد. انتخاب مسیر مناسب می‌تواند دوربین‌های بیشتری را در مسیرهای پرتردد قرار دهد و بخش زیادی از هر سفر شهری را رصد کند.

ایدهٔ یادشده؛ یعنی انتخاب مکان مناسب برای نصب دوربین بر اساس میزان ترافیک مورد توجه برخی از پژوهش‌گران قرارگرفت. در مقالهٔ [۳] با استفاده از تصاویر دوربین‌های مداربسته و همچنین تشخیص و شمارش وسیلهٔ نقلیه با شیوه‌های یادگیری ماشین، روشی برای کنترل ترافیک ارائه شده‌است که با جمع‌آوری و تحلیل داده‌های ترافیکی در طول زمان، می‌توان تصمیم‌های لازم برای مدیریت ترافیک و برنامه‌های عملیاتی گرفت.

در مقالهٔ [۴] وضعیت ترافیک شهری به چهار دسته تقسیم می‌شود: وضعیت ازدحام، ازدحام شدید، معمولی و ترافیک روان؛ این داده‌ها حاصل از رصد ترافیکی تعدادی زیاد از ایستگاه‌های پایش تصویری است که پژوهش‌گران با استفاده از آن، مدلی را برای ارزیابی فعالیت ترافیکی پیشنهاد داده‌اند.

اشکال روش‌های ذکرشده آن است که روشی عمومی و بدون وابستگی به مکان خاص را ارائه نمی‌کند و مبتنی بر داده‌ها در یک موقعیت مکانی مشخص است که درنتیجه

برای یک منطقهٔ خاص مناسب است؛ همچنین به ابزارها و وسایلی برای مشاهدهٔ ترافیک نیازمند است که لازمهٔ آن صرف هزینهٔ اقتصادی جداگانه و پژوهش‌های مجزا برای مدیریت ترافیک است.

## ۲- ادبیات پژوهش

در دو دههٔ اخیر، با ظهور دوربین‌های مداربسته، بهینه‌سازی جانمایی آن‌ها همواره یک مسئلهٔ پژوهشی بوده‌است. پژوهش‌گران روش‌های مختلفی را با کاربردهای متفاوت برای حل این مسئله به‌کار گرفته‌اند.

مقالهٔ [۵] بهینه‌سازی جانمایی دوربین‌ها را با توجه به میزان مخاطره‌آمیزبودن مکان‌ها از نظر امنیتی انجام‌داده که روش کار آن‌ها برنامه‌ریزی خطی است. این مقاله کارایی جانمایی دوربین‌ها را بر اساس سطح‌بندی نقاط از نظر خطرپذیری امنیتی افزایش‌داده، درنتیجه بهره‌وری پوشش افزایش یافته و روشی با تأکید بر مناطق حساس امنیتی ارائه کرده‌است.

برخی از پژوهش‌گران جانمایی را بر اساس جغرافیای محیط تحت‌نظارت و پستی‌وبلندی آن انجام داده‌اند و فضای مورد مطالعه را به‌صورت سه‌بعدی مدل کرده‌اند. مانند مقالهٔ [۶] که با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهترین مکان‌ها را برای دوربین به‌منظور حفاظت از مرزها پیشنهاد داده‌است.

مقالهٔ [۷]، یک برنامهٔ شبانه‌روزی علیه شکار غیرقانونی درنظرگرفته که هدف آن افزایش پوشش دوربین‌های نظارتی در سه منطقهٔ جداگانه است. این سامانه از قابلیت چرخش دوربین‌ها استفاده کرده و چرخش آن‌ها در زمان‌های مختلف برای پوشش مؤثر بهینه‌سازی شده‌است. برخی از دوربین‌ها در زمان‌هایی از شب برای یک منطقهٔ پرخطر ثابت می‌شود و میدان دید آن‌ها تنظیم می‌شود؛ بدین‌منظور الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده و صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه و زمان‌های نگهداری به‌دست آمده‌است.

الگوریتم حریصانه، روش دیگری است که برخی از پژوهش‌گران از آن استفاده کرده‌اند و آن را بهبود بخشیده‌اند؛ مانند پژوهش [۸] که پوشش دوربین‌ها را در منطقهٔ مورد نظارت به‌حداکثر رسانده‌است. الگوریتم‌های پیشنهادی در سناریوهای مختلف با مکان‌های ازپیش تعریف‌شده اعتبارسنجی می‌شوند. نتایج تجربی به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که پوشش با کمترین هم‌پوشانی به‌حداکثر می‌رسد.

مقالهٔ [۹] مسئله پژوهشی پوشش رأس در نظریهٔ گراف را مورد بحث قرارداده و جانمایی دوربین‌های مداربسته در یک شهر را به‌عنوان کاربرد آن درنظرگرفته‌است. این پژوهش با این‌کار تشابه دارد و تفاوت این دو آن است که عامل مهم ترافیک جاده را به‌عنوان نقاط مورد تأکید درنظر نمی‌گیرد.

برخی از پژوهش‌گران راه‌حلی برای مشاهدهٔ عمق صحنه‌های داخلی بر اساس یادگیری تقویتی پیشنهاد کرده‌اند. مقالهٔ [۱۰] یک محیط شبیه‌سازی را پیشنهاد می‌کند که از چند عامل استفاده و سامانه‌ای را طراحی می‌کند که دوربین در کاربردهایی که هیچ دانش قبلی از آن وجود ندارد، کارایی دارد.

مقالهٔ [۱۱] نظارت مبتنی بر دوربین مداربسته با استفاده از پهپادهاست. این پژوهش‌گران با استفاده از یادگیری تقویتی عمیق چندعاملی از طریق کنترل چند هواپیمای بدون سرنشین، پوشش را برای یک منطقهٔ ساحلی فراهم می‌کنند. این روش‌ها برای کاربردهای مقطعی مناسب است؛ اما برای کاربردهای ترافیکی سامانه‌های ثابت ترجیح داده می‌شود.

مقالهٔ [۱۲] پوشش مؤثر ناحیهٔ دوبعدی و سه‌بعدی را با استفاده از حس‌گر ایزوتروپیک مطالعه و یک روش تصادفی مؤثر را برای قراردادن حس‌گرها در محیط‌های دوبعدی و سه‌بعدی پیشنهاد کرده‌است.

مقالهٔ [۱۳] دوربین‌ها را برای پوشش کامل نظارتی در ساخت‌وساز درون یک ساختمان به‌کار برده‌است. بهینه‌سازی جانمایی دوربین در یک محیط‌کاری پویا مثل ساختمان در حال ساخت، به‌واسطهٔ وجود موانع دینامیکی در مراحل مختلف، چالشی‌است که پژوهش‌گران باید بر آن غلبه کنند.

برخی پژوهش‌گران پیکربندی مجدد دوربین (چرخش افقی؛ چرخش عمودی و زوم‌کردن) را با روش‌های یادگیری تقویتی ترکیب کرده و مجموعه‌ای از یک شبکهٔ دوربین هوشمند با قابلیت‌های قابل‌تنظیم مجدد به‌وجود آورده‌اند[۱۴]؛ بنابراین، شبکه می‌تواند در طول زمان با تغییرات در صحنه، خود را با استفاده از دوربین‌های متحرک دوباره پیکربندی کند.

مقالهٔ [۱۵] با عنوان جانمایی دوربین در شهرهای هوشمند، برای به‌حداکثررساندن پوشش با توجه به محدودیت‌های بودجه، به مشکل قرارگیری دوربین در فضای سه‌بعدی پرداخته‌است که تشابه با کار فعلی دارد، اما محیط کار، شبیه توپولوژی واقعی یک شهر

نیست و نیز ترافیک را به‌عنوان عامل مهم تصمیم‌ساز درنظر نگرفته‌است.

کاربردهای دوربین‌های مداربسته، محدود به کنترل ترافیک مسیرهای شهری نیست. در مقالهٔ [۱۶] بهینه‌سازی دوربین‌های مداربسته در سامانه حمل‌ونقل ریلی بررسی و در نتایج تجربی، نقاط کور در نظارت تصویری حداقل می‌شود؛ همچنین در مقالهٔ [۱۷] هدف از دوربین‌های مداربسته، پیشگیری از جرم درنظرگرفته شده‌است؛ بنابراین، دوربین‌ها دارای ویژگی تشخیص چهره‌اند. این پژوهش با روش‌های آماری، کارایی سامانهٔ بهینه‌شده را اثبات می‌کند.

هر چند روش پیشنهادی در این پژوهش با بخشی از کارهای ذکرشده تشابه دارد، اما تمایزات و ابداع‌های زیر را که تاکنون مورد توجه پژوهش‌گران نبوده برای بهینه‌سازی مؤثر درنظرمی‌گیرد:

۱. گراف را به‌عنوان مدل پایه برای شبیه‌سازی درنظر می‌گیرد؛ زیرا جریان ترافیکی در شهر به‌واسطهٔ مسیریابی‌های متعدد بیشترین تشابه را با آن دارد.
۲. ایجاد ترافیک شهری به‌صورت مجازی است تا ضمن صرفه‌جویی در هزینهٔ لازم برای تولید ترافیک واقعی، منجر به نقض حریم خصوصی شهروندان نشود.
۳. تولید ترافیک مجازی با اولویت‌دهی به نقاط شهری از نظر میزان تردد و میزان خطرپذیری صورت می‌گیرد تا ترافیک تولیدشده تصادفی محض نبوده؛ بلکه معنادار و منطبق بر واقعیت باشد.
۴. پایایی روش پیشنهادی با انجام متعدد شبیه‌سازی با مقادیر کمّی اثبات می‌شود.
۵. مدل و شبیه‌سازی پیشنهادی با توسعه‌وتغییرات سریع و گستردهٔ ترافیک شهری کامل مقیاس‌پذیر است.

## ۳-ادبیات پژوهش ترافیک مجازی

با توسعهٔ مداوم جامعهٔ بشری، تعداد خودروها به‌شدت افزایش یافته که درنتیجه تراکم ترافیک در جاده‌های شهری بیشتر و به یکی از موانع مهم توسعهٔ اجتماعی و زندگی انسان تبدیل شده‌است. تغییر مداوم شرایط ترافیکی، چالش‌های جدیدی را برای مدیریت ترافیک شهری به ارمغان آورده‌است. وسایل نقلیه دارای طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های رفتار ترافیکی هستند؛ بنابراین، اتخاذ روش‌های علمی برای تجزیه‌وتحلیل و شبیه‌سازی ترافیک ضروری است؛ همچنین استفاده از اینترنت در وسایل نقلیه، عملکرد خودرو را تغییر داده و کلان‌داده‌های ترافیکی را برای تجزیه‌وتحلیل داده‌محور در اختیار پژوهش‌گران قرار داده‌است[۱۸].

شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های ترافیک واقعی، تصویر بصری مناسبی را برای شبیه‌سازی ترافیکی فراهم می‌کند؛ برای مثال پویانمایی‌های ترافیک شهری می‌توانند پایه‌ای علمی برای طراحی ترافیک، برنامه‌ریزی ترافیک و نظارت بر ترافیک را فراهم و اجرای مدیریت هوشمند ترافیک را با اطمینان ممکن سازند[۱۸].

داده‌های سفر در سطح فردی، عملکرد خرد سامانه ترافیک شهری را توصیف می‌کند که حاوی اطلاعات سفر هر فرد، از جمله زمان سفر، مبدأ، مقصد و مسیر است. کلان‌داده‌های ترافیکی را می‌توان با کنار هم قراردادن هر یک از داده‌های خرد به‌دست آورد؛ بنابراین، جمع‌آوری داده‌های سفر در سطح فردی(خرد) می‌تواند پایه‌ای برای مطالعات کلان‌داده و داده‌محور در ترافیک شهری باشد[۱۹].

اگرچه اکنون با گسترش اینترنت داده‌های سفر در سطح فردی از نظر فنی قابل دسترسی است، اما به دو دلیل حصول آن بسیار دشوار است؛ زیرا نخست، جمع‌آوری داده‌های سفر توسط سیاست‌های دولتی محدود شده‌است و تنها تعداد معدودی از پژوهش‌گرانی که با دولت همکاری کرده‌اند، توانسته‌اند آن را دریافت کنند، دوم اینکه، داده‌های واقعی سفر در سطح فردی مشمول حریم خصوصی است و اشتراک‌گذاری آن موجب نقض حریم خصوصی می‌شود[۱۹].

نحوهٔ رانندگی یک شهروند، به‌عنوان رفتار ترافیکی یک فرد نامیده می‌شود؛ بنابراین، ترافیک را می‌توان به‌مثابه نوعی خاص از حرکت جمعیت(توده) شهروندان توصیف کرد و بر اساس آن شبیه‌سازی جمعیت را انجام داد. در چند دههٔ گذشته، پژوهش‌گران پژوهش‌های زیادی در مورد شبیه‌سازی جمعیت انجام داده‌اند و پیشرفت‌های چشم‌گیری در مسائلی از جمله شبیه‌سازی ازدحام عابران پیاده و ترافیک وسایل نقلیه شهری داشته‌اند. در تقسیم‌بندی کلی، روش‌های شبیه‌سازی جمعیت را می‌توان به دو گونهٔ کلان‌وخرد تقسیم کرد[۱۸].

مدل کلان، حرکت جمعیت را با برخی پدیده‌های فیزیکی مقایسه و مدل تودهٔ ذرات را می‌سازد. این مدل با درنظرگرفتن حرکت جمعیت مشابه ذرات سیال و گاز، بر شبیه‌سازی ویژگی‌های تجمع ذرات و حرکت آن‌ها تمرکز می‌کند. مدل به‌دست‌آمده می‌تواند جریان‌های ترافیکی در مقیاس بزرگ (ده‌هاهزار وسیلهٔ نقلیه) را با جلوه‌های واقعی

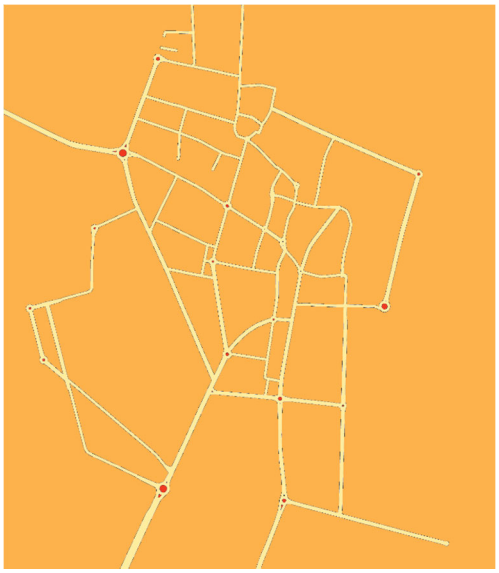
و با سرعت بالا شبیه‌سازی کرده و به‌طور مؤثر ناوبری جمعیت را کنترل کند[۱۸].

مدل خرد به‌طورگسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد و می‌توان آن را با الگوریتم‌های جدید در زمینهٔ هوش‌مصنوعی ترکیب کرد. ایدهٔ اصلی آن، شبیه‌سازی فردی هر عامل متحرک در شهر است و مدل نهایی حاصل‌جمع تمامی متحرک‌هاست. این مدل، جمعیت را با کمّی‌کردن رفتار فردی به‌طور معقول توصیف کرده، بر رابطهٔ بین هر فرد و جمعیت تمرکز می‌کند؛ در ضمن می‌تواند رفتار انسان را نیز در شرایط اضطراری شبیه‌سازی کند[۱۸].

این پژوهش از مدل خرد استفاده کرده و ترافیک شهری را بر اساس جمع همهٔ سفرهای شهری تمام شهروندان بازسازی می‌کند. علت استفاده از این مدل آن است که تحلیل‌های مبتنی برآن تطابق بیشتری با رفتار ترافیکی شهروندان دارد. از نظر منطقی شناخت سفر هر شهروند از نظر مبدأ و مقصد و شیوهٔ مسیریابی، می‌تواند منجر به شناخت رفتار ترافیکی شود که مجموعهٔ تمام سفرهای شهروندان است. خوشبختانه با روش‌های هوش مصنوعی می‌توان این ترافیک را به‌وجود آورد و تجزیه‌وتحلیل کرد.

## ۴-مدل‌سازی و روش

نقشهٔ شهر شامل تمام فضای شهری مانند خیابان‌ها و ساختمان‌هاست و درصورتی‌که به‌شکل سفارشی‌شده درآید، می‌توان آن را به‌عنوان یک محیط شبیه‌سازی انتخاب کرد. با انتخاب یک شهر از گوگل‌مپ و سفارشی‌کردن آن می‌توان مسیرهای اصلی را به‌عنوان محل تردد و سایر ساختمان‌ها و مسیرهای فرعی که فعلاً مورد توجه پایش تصویری نیستند، به‌عنوان محل غیرقابل تردد تفکیک کرد.



**(شکل-۱): نقشهٔ یک‌شهر به‌عنوان مدل**
**(Figure-1): A map of city as a model**

علاوه‌بر وجود نقشه از گوگل‌مپ می‌توان نقشه‌های شهر را از بخش‌های دولتی مانند فرمانداری یا شهرداری نیز تهیه کرد. مزیت راه دوم آن است که محدودهٔ خدمات شهری به‌طور دقیق در آن مشخص شده‌است و اطلاعات در لایه‌های مختلف تفکیک شده‌اند و می‌توان تنها اطلاعات مورد نیاز را خروجی گرفت.

در شکل (۱) مدل اولیه ایجادشده و هر پیکسل از آن، بخشی از شهر است. به‌صورت بالقوه هر نقطهٔ واقع بر روی مسیرها می‌تواند مکانی مناسب برای نصب دوربین‌های نظارتی باشد؛ بنابراین، دو دسته نقاط وجود دارند: نقاطی که برای جانمایی دوربین مداربسته می‌توانند مناسب باشند که با رنگ سفید مشخص شده و سایر نقاط که با رنگ زرد تیره نشان داده شده‌اند.

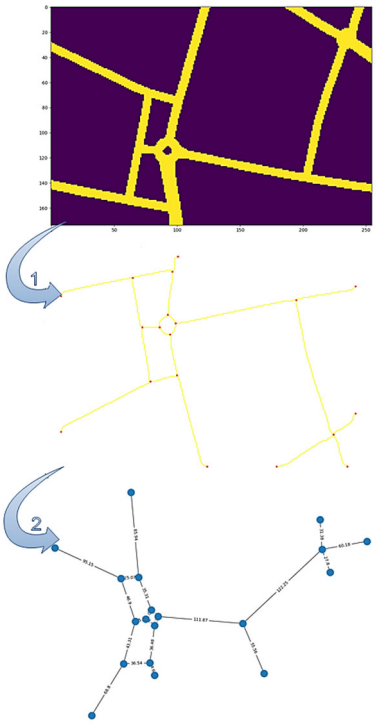
در شکل (۱) عرض یک خیابان اصلی شامل چند پیکسل است و چون باید خط واحدی از عبورومرور از یک مسیر مورد توجه باشد باید به اصطلاح اسکلتی از مسیرها را درنظرگرفت. اسکلت یک مسیر، یک مسیر اصلی را تنها با یک ردیف از پیکسل‌ها مشخص می‌کند و فرض بر آن است که عبور از آن مسیر، تنها از اسکلت آن مسیر خواهد بود.

شکل (۲) بخشی از شکل (۱) است که اسکلت مسیرها را در گام یک به‌دست آورده‌است. در گام دوم از شکل (۲)، اسکلت مسیرها به‌گراف آن‌ها تبدیل می‌شود. گراف هر مسیر شامل رأس‌ها و یال‌هاست. هر رأس، از تلاقی اسکلت مسیرها به‌دست‌آمده‌است و هر یال با توجه به فاصلهٔ دو رأس؛ دارای مقداری به‌عنوان وزن یال خواهد بود که یک رأس را به رأس دیگر گراف متصل می‌کند. کتابخانهٔ در پایتون این تبدیل‌ها را با پردازش تصویر پیکسلی انجام می‌دهد.

همان‌گونه که در مقدمه گفته شد، برای انتخاب بهترین مسیر برای جانمایی دوربین‌های مداربسته، لازم است که پرترددترین نقاط به‌عنوان بهترین نامزد انتخاب شوند؛ بنابراین، باید یکی از روش‌های ساخت ترافیک مجازی، برای ایجاد ترافیک در مدل مورد مطالعه (گراف ساخته‌شده) پیاده‌سازی شود. یک راه‌حل که در دستهٔ روش‌های خرد است، ساختن مسیرهای درون‌شهری با داده‌های تصادفی است. ایدهٔ کار به این شکل است که دو نقطه از شهر که دو رأس از گراف هستند، به‌عنوان مبدأ و مقصد یک سفر درون‌شهری درنظر گرفته و با یکی از الگوریتم‌های مسیریابی رفتار منطقی شهروندان در انتخاب کوتاه‌ترین مسیر از مبدأ و مقصد تقلید و آن مسیر ساخته شود. با ساختن مسیرهای زیاد و هم‌گراشدن تکرار در یال‌های معین، می‌توان با اطمینان مناسبی

پرترددترین مسیرها را برای جانمایی دوربین مداربسته انتخاب کرد.

مسیریابی دو نقطهٔ تصادفی از گره می‌تواند از طریق الگوریتم‌های مختلف پیمایش گراف باشد. در پژوهش‌های [۲۰] و [۲۱]، از الگوریتم دایکسترا به‌عنوان یک الگوریتم کارا برای مسیریابی وسایل نقلیهٔ استفاده شده؛ بنابراین در این کار نیز از این الگوریتم برای مسیریابی مبدأ و مقصد یک مسیر شهری استفاده می‌شود.



**(شکل-۲): تبدیل نقشهٔ شهر به گراف در دو گام نخست: تبدیل مسیرها به اسکلت مسیر. دوم: تبدیل اسکلت مسیر به گراف**

**(Figure-2): Convert city map to graph in two steps. First: Convert routes to route skeleton. Second: converting the route skeleton into a graph.**

ایدهٔ مسیرسازی بر اساس انتخاب تصادفی نقاط مبدأ و مقصد، نقص دیگری هم دارد و آن اینکه تمام نقاط شهر به‌طور مساوی شانس انتخاب دارند؛ درحالی‌که برخی نقاط شهر اهمیت تردد بالاتری دارند. ساختمان‌های اداری و تجاری، مجتمع‌های مسکونی، مناطق توریستی به‌طور طبیعی اولویت بیشتری نسبت به نقاط عادی برای انتخاب به‌عنوان مبدأ و مقصد سفر دارند؛ بنابراین، برای تکمیل ایده باید نقاط شهر را در مرحلهٔ انتخاب اولویت‌دهی کرد و برای نقاطی که اولویت بیشتری دارند احتمال انتخاب بیشتری درنظرگرفت. همچنین نقاطی که هنوز بافت شهری در آنجا رشد نکرده و تردد در آن‌ها کمتر است باید شانس انتخاب آن‌ها کمتر باشد. رابطهٔ (۱) احتمال انتخاب رأس‌های مرتبط با نقاط شهری را اولویت‌دهی می‌کند؛ در این رابطه اولویت زیاد، معمولی و کم با مقادیر مختلف از نظر احتمال انتخاب، مقداردهی می‌شوند.

$$p_i = \begin{cases} P_H & \text{For high priority} \\ P_M & \text{For normal priority} \\ P_L & \text{For low priority} \end{cases} \qquad (۱)$$

که در آن $p_i$ احتمال انتخاب یک رأس از گراف است و مقادیر $P_H$ و $P_M$ و $P_L$ احتمال انتخاب نقاط مختلف شهر را از نظر اولویت انتخاب، سطح‌بندی می‌کنند.

چون مجموع احتمال نقاط در کل گراف مدل باید یک باشد می‌توان رابطهٔ (۲) را نوشت:

$$N_H * P_{H+} N_M * P_M + N_L * P_L = 1 \qquad (۲)$$

که در آن $N_H$ تعداد نقاط شهری با اولویت بالا $N_M$ تعداد نقاط شهری با اولویت معمولی و $N_L$ تعداد نقاط شهری با اولویت پایین است. این نقاط رئوس گراف مدل هستند. جدول (۱) مشخصات کلی مدل پیاده‌سازی‌شدهٔ مکان مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

**(جدول-۱): مشخصات کلی مدل مورد مطالعه**

**(Table-1): General characteristics of the studied model**

| تعداد رئوس اولویت کم | تعداد رئوس اولویت متوسط | تعداد رئوس اولویت بالا | تعداد یال‌ها | تعداد رئوس |
|---|---|---|---|---|
| ۱۰۶ | ۲۴ | ۱۳ | ۲۰۴ | ۱۴۳ |

## ۵-پیاده‌سازی

روش پیشنهادی بر روی نقشهٔ شکل (۱) اعمال شد و بعد از یافتن اسکلت مسیرها، گراف مدل مرتبط با آن به‌دست آمد. با شیوهٔ ترافیک‌سازی مجازی خرد، تعداد زیادی از مسافرت‌های درون‌شهری شهروندان ساخته شد. این شیوه عبارت‌است از: انتخاب تصادفی رأس‌های مبدأ و مقصد هر سفر با احتمال انتخاب رابطهٔ (۱)، سپس به تقلید از شهروندان در انتخاب کوتاه‌ترین مسیر برای رسیدن به مقصد از الگوریتم دایکسترا برای یافتن مسیر استفاده شد. نتیجهٔ نهایی، مسیرهای پرتکراری است که بیشترین تعداد عبور مسافرت‌های درون‌شهری را داشته‌است. این مسیرها به‌ترتیب از بیشترین تکرار تا کمترین تکرار مرتب شدند و طبق اطلاعات جدول (۱) مجموعهٔ ۲۰۴تایی یال‌ها در هر آزمایش به‌دست آمد. نتیجهٔ نهایی برای انتخاب مکان مناسب نصب، این مجموعهٔ مرتب شده‌است که اعضای آن به‌ترتیب اولویت مرتب شده‌اند.

پارامترهای مختلف در پیاده‌سازی دخالت دارند که هر کدام از آن‌ها می‌توانند نتیجهٔ نهایی را تغییر دهند؛ بنابراین، با تکرار آزمایش و شبیه‌سازی باید مطمئن شد نتیجهٔ نهایی تحت‌کنترل چه پارامترهایی است. پارامترهای انتخابی مانند تعداد سفرهای شهری در یک شهر معین که بر اساس دیدگاه‌های مختلف می‌توانند تعداد متفاوتی باشند، قادرند درستی یک تحلیل را با چالش مواجه کنند. به‌عنوان یک راه‌حل می‌توان انتخاب عدد پارامتر را نوعی انتخاب تصادفی فرض کرد که از یک دیدگاه تا دیدگاه فرد دیگر، مقداری متفاوت است. با تنظیم این پارامترها با مقادیر متفاوت و تکرار آزمایش می‌توان به نتایجی رسید که اگر چه از داده‌های تصادفی(متفاوت) ایجاد شده‌اند، با هر بار پیاده‌سازی، تکرار می‌شوند.

یک معیار مناسب برای سنجش تشابه نتایج استفاده از ضریب تشابه ژاکارد است. اگر فرض کنیم آزمایش نخست بر اساس داده‌های تصادفی نخست انجام و نتایج آن در مجموعهٔ A1 قرار گیرد و آزمایش دوم نیز بر اساس داده‌های تصادفی دوم انجام شود و نتایج آن در مجموعهٔ A2 قرار گیرد، آن‌گاه میزان تشابه این دو نتیجه را با ضریب تشابه ژاکارد از رابطهٔ (۳) می‌توان به‌دست آورد:

$$\textbf{Jaccard Similarity Coefficient} = \frac{\boldsymbol{A1 \cap A2}}{\boldsymbol{A1 \cup A2}} \qquad (۳)$$

اگر فرض کنیم برای K تعداد نتیجه، N بار آزمایش تصادفی با مجموعه نتیجهٔ Ai به‌دست آید، به‌راحتی می‌توان ضریب تشابه ژاکارد را برای N بار آزمایش تعمیم داد و رابطهٔ (۴) را نوشت:

$$\boldsymbol{J.S.C} = \frac{\cap_{i=2}^{N} \boldsymbol{Ai}}{\cup_{i=2}^{N} \boldsymbol{Ai}} \qquad (۴)$$

در رابطهٔ ذکرشده با بالارفتن تعداد آزمایش‌ها از دو آزمایش به N آزمایش، صورت کسر که اشتراک نتایج است به‌سمت کوچک‌ترشدن و مخرج کسر که اجتماع بدون تکرار نتایج است به‌سمت بزرگ‌ترشدن می‌رود؛ بنابراین:

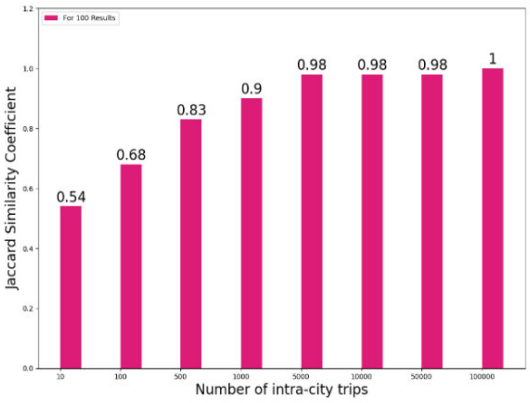
$$\boldsymbol{J.S.C(A1, A2)} \geq \boldsymbol{J.S.C(A1, \dots, AN)} \qquad (۵)$$

طبق رابطهٔ (۵) اگر مجموعه‌ای K تایی از نتایج در Nبار آزمایش انتخاب تصادفی مبدأومقصد و مسیرسازی با الگوریتم دایکسترا به‌حالت مساوی نزدیک شد، با اطمینان پایایی روش پیشنهادشده تأیید می‌شود.

## ۶-ارزیابی نتایج

نتیجهٔ نهایی که شامل مجموعهٔ مرتب‌شدهٔ یال‌ها برحسب تعداد تکرار در مسیرهاست، تابعی از پارامترهایی است که می‌تواند ترتیب آن را تغییر دهد. در این بخش به این پارامترها پرداخته می‌شود.

یکی از پارامترهای مهم، تعداد مسافرت‌های شهری است. در پاسخ به این پرسش که چه تعداد مبدأومقصد تصادفی نیاز است ایجاد شود، باید گفت که با آزمایش‌های گوناگون می‌توان رابطهٔ تعداد سفرها و میزان تشابه نتیجهٔ نهایی را در آن‌ها با ضریب تشابه ژاکارد طبق رابطهٔ (۴) پیدا کرد.




**(شکل-۳): ضریب تشابه ژاکارد برای سنجش میزان تشابه دو آزمایش برحسب تعداد مسافرت‌های بین شهری**

**(Figure-3): Jaccard's similarity coefficient to measure the similarity of two experiments according to the number of intra-city trips**

**(شکل-۴): ضریب تشابه ژاکارد برای سنجش میزان تشابه دو آزمایش برحسب تعداد سفرهای درون شهری برای دو مجموعه صدتایی و پنجاه‌تایی از نتایج**

**(Figure-4): Jaccard's similarity coefficient to measure the similarity of two experiments in terms of the number of intra-city trips for two sets of 100 and 50 results**

شکل (۳) ضریب ژاکارد را برای دو آزمایش تصادفی و با تعداد مسافرت‌های شهری از ده تا صدهزار نشان می‌دهد؛ این نمودار نشان می‌دهد برای مدل شهر مورد مطالعه با افزایش تعداد سفرهای شهری، تشابه نتایج بیشتر می‌شود؛ به‌طوری‌که با صدهزار سفر، دو آزمایش به‌طورکامل یکسان می‌شوند؛ زیرا تعداد جمعیت شهر مورد مطالعه صدهزار نفر است، می‌توان نتیجه گرفت

تقریب یک سفر درون شهری برای هر شهروند، تقریبی مناسب برای پیاده‌سازی این روش در سایر شهرهاست.

شکل (۴) ضریب ژاکارد را برای تعداد سفرها از بیست‌وپنج‌هزار تا دویست‌هزار سفر در دو آزمایش و برای دو نتیجهٔ صدتایی و پنجاه‌تایی مقایسه می‌کند. آن‌گونه که از شکل مشخص است نتایج پنجاه‌تایی تشابه بیشتری در نتیجهٔ نهایی دو آزمایش دارند؛ بنابراین، در رابطهٔ (۵) به تساوی نزدیک‌تر می‌شویم؛ همچنین برای تعداد سفرهای مساوی یا بیش از تعداد جمعیت شهر مورد مطالعه، نتایج شکل (۳) تأیید می‌شود.

یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار، مقدار احتمال یک رأس از گراف است که برای نقاط مختلف شهر بر اساس میزان اهمیت آن متفاوت است. درحقیقت این مقادیر بر اساس گمانه‌زنی‌هاست و هر فرد ممکن است اهمیت یک نقطه را با مقدار بیشتر یا کمتری بیان کند. دراین‌راستا سه آزمایش انجام پذیرفت تا تأثیر میزان مقدار احتمال نقاط، نشان داده شود. این آزمایش‌ها عبارت‌اند از:

آزمایش نخست: PH=2.3PL , PM=1.67PL

آزمایش دوم: PH=1.67PL , PM=133PL

آزمایش سوم: PH=1.33PL , PM=PL

جدول(۲) نتایج مقادیر ضریب تشابه ژاکارد را برای مقایسهٔ آزمایش‌های مختلف به‌منظور تعداد نتایج پنجاه و صد نشان می‌دهد.

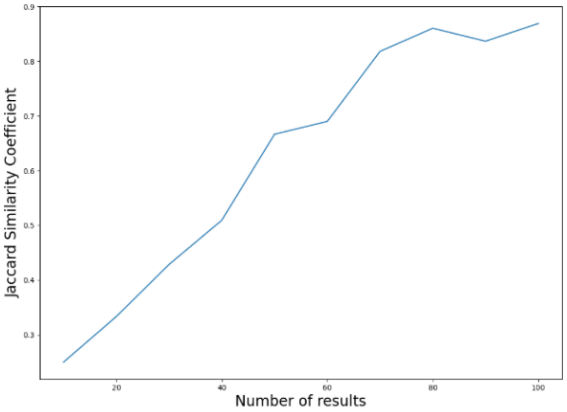
**(جدول-۲ ): ضریب تشابه ژاکارد برای مقادیر مختلف احتمال انتخاب در سه آزمایش**

**(Table-2): Jaccard similarity coefficient for different values of choice probability in three experiments**

| ضریب تشابه ژاکارد | اول و دوم و سوم | اول و دوم | دوم و سوم | اول و سوم |
|---|---|---|---|---|
| ۱۰۰نتیجه | ۰,۹۶ | ۰,۹۸ | ۰,۹۴ | ۰,۹۲ |
| ۵۰ نتیجه | ۰,۹۲ | ۰,۹۲ | ۰,۸۵ | ۰,۹۲ |

نتایج جدول(۲) نشان می‌دهد مقادیر انتخاب‌شده برای احتمال نقاط، خطایی کمتر از ۱۰ درصد را در اغلب موارد نشان می‌دهد؛ بنابراین، میزان حساسیت نتایج به‌مقدار عددی کمتر از ۱۰درصد است.

یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار، انتخاب درست مناطق پرتردد است؛ زیرا اولویت احتمال انتخاب رأس‌ها را تغییر می‌دهد و چون ترافیک از آن ساخته می‌شود، نتایج نهایی (یال‌های پرتردد) تغییر خواهد کرد. شکل (۵) برای دو دستهٔ متفاوت از رأس‌های دارای اولویت، ضریب تشابه ژاکارد را برحسب تعداد نتایج خروجی به‌دست آورده‌است و چنانچه مشاهده می‌شود برای تعداد کم، ضریب تشابه ژاکارد، مقداری ناچیز بوده است و با تعداد زیاد، تفاوتی معنادار خواهد داشت.




**(شکل-۵): ضریب تشابه ژاکارد برای سنجش میزان وابستگی نتایج به اولویت گره‌ها برحسب تعداد نتایج**

**(Figure-5): Jaccard's similarity coefficient to measure the degree of dependence of the results on the priority of the nodes according to the number of results**

شکل (۶) نمایش پنجاه مسیر از نتایج نهایی روش پیشنهادی است که ۲۵ نتیجهٔ نهایی نخست با خطوط زردرنگ ضخیم و ۲۵ نتیجهٔ نهایی دوم با خطوط زردرنگ نازک نمایش داده شده‌است. این مسیرها در ترافیک مجازی و در آزمایش‌های متعدد به‌دست آمده‌اند. تکرار نتایج، پایایی روش پیشنهادی را برای مدل موردمطالعه نشان می‌دهد.

## ۷- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

جدول (۳) به مقایسهٔ این روش با سایر روش‌های مطرح‌شده در ادبیات پژوهش می‌پردازد.

**(جدول-۳): مقایسهٔ روش مطرح‌شده با سایر روش‌ها**

**(Table-3): Comparison of the proposed method with other methods**

| پژوهش | فضای مورد مطالعه | موقعیت مکانی دوربین | قابلیت پیاده‌سازی در شهر | مقیاس‌پذیری روش |
|---|---|---|---|---|
| گروه۱: [۷] [۶] [۵] [۱۰] [۸] [۱۲] | موقعیت مکانی خاص | دقیق و ثابت در مدل | پیچیده- غیرقابل اجرا | بسیارکم |
| گروه۲: [۹] [۱۱] [۱۴] [۱۳] [۱۵] | موقعیت مکانی خاص | دقیق و متغیر در مدل | پیچیده- قابل اجرا | متوسط |
| این پژوهش | گراف موقعیت مکانی خاص – تعمیم‌پذیر | دقیق در گراف مدل - نیاز به مکان‌یابی محیطی | ساده- قابل اجرا | بالا |

جدول (۳) روش‌هایی که مکان ثابتی را جانمایی می‌کنند، در گروه یک و روش‌هایی که به ضرورت هدف پژوهش مکان دوربین تغییر می‌کند مانند استفاده از پهپاد، در گروه دوم دسته‌بندی می‌کند. از نظر موقعیت مکانی فضای موردمطالعه، تمام پژوهش‌ها فضایی خاص را در نظر گرفته و مکانی ثابت یا متغیر برای جانمایی دوربین پیشنهاد می‌دهند، اما شیوهٔ مطرح‌شده در این پژوهش نیازمند استخراج گراف به‌عنوان مدل از فضای مورد مطالعه و بنابراین برای هر موقعیت مکانی دارای گراف، قابل پیاده‌سازی است.

در سایر پژوهش‌ها به‌جز [۹] مدل ساخته‌شده یک فضای دوبعدی(مربع) یا سه‌بعدی(مکعب) گسسته، از فضای پیوستهٔ موقعیت مکانی فضای مورد مطالعه است و دوربین‌ها در یکی از مربع‌ها یا مکعب‌های مدل، جانمایی می‌شوند. این شیوه برای محیط‌های شهری مناسب نیست؛ زیرا وجود موانع شهری مانند استندهای تبلیغاتی، پست‌ها و تیرهای چراغ برق و ... موانع جدّی برای جانمایی با چنین دقتی هستند و تغییر مکان دوربین به‌واسطهٔ آن‌ها، بهینه‌سازی را درعمل بیهوده می‌کند، اما روش پیشنهادی، نتایج را در قالب یال‌ها ارائه می‌دهد؛ بنابراین باید دوربین‌ها را در یال به‌دست‌آمده و در فضای واقعی با درنظرگرفتن موانع، جانمایی کرد. این کار بر چالش موانع شهری غلبه می‌کند و دست برنامه‌ریزان را در انتخاب موقعیت دقیق مکانی باز نگه می‌دارد.

**(شکل-۶): ترسیم پنجاه مسیر از نتایج ؛ ۲۵ مسیر نخست با خط زردرنگ ضخیم و ۲۵ مسیر دوم با خط زردرنگ نازک**
**(Figure-6): drawing 50 routes from the final results; the first 25 routes with a thick yellow line and the second 25 routes with a thin yellow line**

روش پیشنهادی ضمن آن‌که با هوشمندی، عامل مؤثر ترافیک را در طراحی دخیل می‌کند، به‌واسطهٔ سادگی تهیهٔ گراف مدل به‌راحتی برای هر موقعیت مکانی قابلیت تعمیم دارد؛ درحالی‌که تمام روش‌ها مبتنی بر یک فضای خاص جغرافیایی با عناصر محدود و معلوم هستند و نمی‌توانند به‌راحتی تعمیم داده شوند. همچنین این روش با تغییر یا توسعهٔ نقشهٔ جغرافیایی و تغییر ترافیکی به‌راحتی مقیاس‌پذیر است و می‌تواند تغییرات و توسعه‌ها را بدون پیچیده‌کردن، مدل‌سازی و شبیه‌سازی موردتوجه قراردهد.

روش مطرح‌شده را با چند تغییر می‌توان توسعه داد و نقایص آن را برطرف کرد. می‌توان در شهرهای بزرگ با استفاده از گراف جهت‌دار، مسیرهای یک‌طرفه و دوطرفه را در پیاده‌سازی مسیرها موردتوجه قرارداد و به‌نتایج

دقیق‌تری رسید. از طرف دیگر، چون رئوس گراف از نظر امنیتی و ترافیکی اهمیت بیشتری دارند، می‌توان با جانمایی دوربین‌های با قابلیت چرخش، تمامی این مکان‌ها را در طراحی لحاظ کرد.

در شهرهای بزرگ، بزرگ‌راه‌های زیادی وجود دارند که ممکن است میدان دید دوربین‌ها، با دقت کافی نتوانند عرض این مسیرها را پوشش دهند؛ بنابراین، می‌توان مسیرهای عریض را به دو مسیر (دویال گراف) با دو جهت متفاوت، مدل کرد تا هر مسیر، دوربین خاص خودش را در طراحی داشته باشد.

مسیرهای وسایل نقلیهٔ عمومی و نیز تاکسی‌های درون شهری را می‌توان از نظر فنی (با نصب برنامه‌های مسیریابی) به‌دست آورد؛ زیرا دریافت ترافیک وسایل نقلیهٔ عمومی باعث نقض حریم خصوصی نمی‌شود؛ پس می‌توان در ساخت ترافیک نهایی، تلفیقی از ترافیک حقیقی و مجازی را درنظرگرفت تا به نتایج دقیق‌تری رسید. تمامی موارد مطرح‌شده می‌تواند برای پژوهش‌های تکمیلی درنظر گرفته شده و باعث توسعهٔ روش پیشنهادی شوند.

## ۸- مراجع 8-References


[1] Z. Su, Q. Zhang, Z. L¨u, C.-M. Li, W. Lin, and F. Ma, "Weightingbased variable neighborhood search for optimal camera placement," *Proc. Conf. AAAI Artif. Intell.*, vol. 35, no. 14, pp. 12400–12408, 2021.

[2] P. Bischoff, "Surveillance camera statistics: which cities have the most CCTV cameras?" *Comparitech*, 15-Aug-2019. [Online].Available: https://www.comparitech.com/vpn-privacy/the-worlds-mostsurveilled-cities/. [Accessed: 06-Jun-2023].

[3] J. Liu, X. Wang, Y. Li, X. Kang, and L. Gao, "Method of evaluating and predicting traffic state of highway network based on deep learning," *J. Adv. Transp.*, vol. 2021, pp. 1–9, 2021.

[4] L. Fredianelli et al., "Traffic flow detection using camera images and machine learning methods in ITS for noise map and action plan optimization," *Sensors (Basel),* vol. 22, no. 5, p. 1929, 2022.

[5] A. A. Altahir, V. S. Asirvadam, P. Sebastian, N. H. B. Hamid, and E. F. Ahmed, "Optimizing visual sensors placement with risk maps using dynamic programming," *IEEE Sens*. J., vol. 22, no. 1, pp. 393–404, 2022.

[6] S. Kov´acs, B. Bolem´anyi, and J. Botzheim, "Placement of optical sensors in 3D terrain using a bacterial evolutionary algorithm," *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 3, p. 1161, 2022.

[7] A. M. Heyns, "Optimisation of surveillance camera site locations and viewing angles using a novel multi-attribute, multi-objective genetic algorithm: A day/night anti-poaching application," *Comput. Environ. Urban Syst*., vol. 88, no. 101638, p. 101638, 2021.

[8] M. S. S. Suresh, A. Narayanan, and V. Menon, "Maximizing camera coverage in multicamera surveillance networks," *IEEE Sens. J*., vol. 20, no. 17, pp. 10170–10178, 2020.

[9] A. Bhattacharya and M. Pal, "Vertex covering problems of fuzzy graphs and their application in CCTV installation," *Neural Comput. Appl*., vol. 33, no. 11, pp. 5483–5506, 2021.

[10] Y. Chen, M. Tsukada, and H. Esaki, "Reinforcement learning based optimal camera placement for depth observation of indoor scenes," 2021.

[11] W. J. Yun et al., "Cooperative multi-agent deep reinforcement learning for reliable surveillance via autonomous multi-UAV control," *arXiv [eess.SY]*, 2022.

[12] D. Susanj, D. Pincic, and K. Lenac, "Effective area coverage of 2D and 3D environments with directional and isotropic sensors," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 185595–185608, 2020.

[13] X. Chen, Y. Zhu, H. Chen, Y. Ouyang, X. Luo, and X. Wu, "BIM-based optimization of camera placement for indoor construction monitoring considering the construction schedule," *Autom. Constr*., vol. 130, no. 103825, p. 103825, 2021.

[14] N. Bisagno, A. Xamin, F. De Natale, N. Conci, and B. Rinner, "Dynamic camera reconfiguration with reinforcement learning and stochastic methods for crowd surveillance*," Sensors (Basel)*, vol. 20, no. 17, p. 4691, 2020.

[15] S. Jun, T.-W. Chang, H. Jeong, and S. Lee, "Camera placement in smart cities for maximizing weighted coverage with budget limit," *IEEE Sens*. J., vol. 17, no. 23, pp. 7694–7703, 2017.

[16] C.-J. Liu, Z. Liu, Y.-J. Chai, and T.-T. Liu, "Review of virtual traffic simulation and its applications," *J. Adv. Transp*., vol. 2020, pp. 1–9, 2020.

[17] Z. Xie, X. Liu, Y. Li, H. Zhang, and Q. Xiang, "Camera placement optimization for CCTV in rail transit using BIM," *Measurement + control/Measurement and control*, vol. 56, no. 9–10, pp. 1499–1509, Mar. 2023.

[18] M. S. Eran and H. Hasranizam, "The Effectiveness of Crime Prevention Using GIS Technology and CCTV Application for Smart City," *Earth and environmental sciences library*, pp. 59–75, Jan. 2024.

[19] G. Li, Y. Chen, Y. Wang, P. Nie, Z. Yu, and Z. He, "City-scale synthetic individual-level vehicle trip data*," Sci. Data*, vol. 10, no. 1, 2023.

[20 ] V. T. N. Nha, S. Djahel, and J. Murphy, "A comparative study of vehicles' routing algorithms for route planning in smart cities," *in 2012 First International Workshop on Vehicular Traffic Management for Smart Cities (VTM),* 2012.

[21]P. Udhan, A. Ganeshkar, P. Murugesan, A. R. Permani, S. Sanjeeva, and P. Deshpande, "Vehicle route planning using dynamically weighted Dijkstra's algorithm with traffic prediction," 2022.

**حسن صانعی آرانی** کارشناسی و کارشناسی ارشد الکترونیک را به‌ترتیب در دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب به‌پایان رسانده‌است. وی در حال حاضر دانشجوی دکترای مدیریت فناوری اطلاعات، گرایش کسب‌وکار هوشمند دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران است. ایشان علاقه‌مند به پژوهش دربارهٔ کاربرد هوش‌مصنوعی در سامانه‌های اطلاعاتی است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

**hassan.sanei@srbiau.ac.ir**

**مهدی اسماعیلی** در حال حاضر استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان است. او در سال ۲۰۱۱ مدرک دکترای خود را از دانشگاه دبرسن مجارستان و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشتهٔ کامپیوتر در ایران دریافت کرد. وی در زمینه‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین تدریس کرده‌است و علائق پژوهشی او شامل داده‌کاوی و یادگیری عمیق و پژوهش‌های اخیر با تمرکز بر استفادهٔ نهایی از یادگیری ماشین است. همچنین چندین کتاب به‌زبان فارسی و مقالاتی در کنفرانس‌ها و مجلات بین‌المللی منتشر کرده‌است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

**m.esmaeili@iaukashan.ac.ir**

**محمدعلی افشار کاظمی** مدرک دکترای مدیریت صنعتی، گرایش پژوهش‌های عملیاتی را دریافت کرده‌است. وی دانشیار و عضو هیئت‌علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز است. علائق پژوهشی ایشان شامل منطق فازی و هوش مصنوعی است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

**m.afsharkazemi@iauec.ac.ir**