چکیده

یکی از مشکلات بزرگ در کلان‌شهرها پدیده ازدحام ترافیکی است. حجم بالای ترافیک در این شهرها سبب کند شدن حرکت خودروها، توقف‌های طولانی مدت پشت چراغ‌های راهنمایی و آسیب روانی جبران‌ناپذیر برای مسافران و رانندگان می‌شود. با پیشرفت سیستم‌های ارتباطی، سیستم‌های هوشمند ترافیکی نقش بسزایی در بهینه‌سازی جریان ترافیکی در شهرهای بزرگ و پرجمعیت ایفا می‌کنند. امروزه شبکه‌های فراگیر پهن باند، مجموعه داده‌های ترافیکی بی‌درنگ را به‌گونه‌ای فراهم می‌کنند که مسیریابی ترافیکی به‌صورت هوشمندانه بهینه‌سازی گردد. تغییرات پویای ترافیک و همچنین تأثیر یک مسیریابی بر روی مسیرهای دیگر یکی از چالش‌های اصلی در بهینه‌سازی کلی جریان ترافیکی است. با توجه به این مسائل، در این پایان‌نامه یک مدل برای محاسبه زمان سفر خیابان ارائه‌شده است. هر خودرو پس از ورود به شبکه، با توجه به مبدأ و مقصد خود، مسیر بهینه را به‌صورت پویا دریافت می‌کند. وضعیت ترافیک شهری به‌صورت دوره‌ای بررسی می‌گردد و با استفاده از روش تشخیص و پیش‌بینی ازدحام، خیابان‌های مستعد ازدحام ترافیکی شناسایی‌شده و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی انتخاب خودرو، وسایل نقلیه‌ی منتخب با استفاده از الگوریتم دایجسترا و بر اساس کوتاه‌ترین زمان سفر ممکن، مسیریابی مجدد می‌شوند. در ادامه از یک الگوریتم انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا استفاده می‌شود. در این الگوریتم مسیریابی یک خودرو بر روی مسیریابی‌های دیگر خودروها تأثیر می‌گذارد. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد، میانگین زمان سفر روش پیشنهادی نسبت به روش‌های پژوهش‌های دیگر مانند EBKSP و FBKSP به ترتیب ۱۶ و ۲۰ درصد و نسبت به روش *AR، ۸٪ کاهش یافته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد میانگین تعداد مسیریابی‌های مجدد در روش PDDVRWF با مقدار ۰,۷۱ برای هر خودرو نسبت به دو روش EBKSP=۰,۸ و FBKSP=۰,۸۵ کمتر شده است و نسبت به روش *AR افزایش ۰,۱۱ وجود داشته است. در ادامه میانگین زمان انتظار رانندگان برای شرایط مختلف ترافیکی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. علاوه بر مسیریابی خودروها بر اساس وضعیت کنونی، چراغ‌های راهنمایی به‌صورت پویا تنظیم می‌شوند. نتایج ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی، عملکرد مدل پیشنهادی را در بهینه‌سازی جریان ترافیکی نشان می‌دهد.

کلیدواژه: مسیریابی پویا ، پیش‌بینی ترافیک شهری ، سیستم حمل‌ونقل هوشمند، چراغ راهنمای پویا

فهرست

عنوان صفحه

فصل ۱ کلیات ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ اهداف پژوهش ۳

۱-۳ نتایج پژوهش ۴

۱-۴ جنبه‌های نوآوری ۵

۱-۵ مروری بر فصل‌ها ۵

فصل ۲ مفاهیم پایه ٦

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۲ شبکه حمل‌ونقل و سیستم کنترل ترافیک ۶

۲-۲-۱ سیستم حمل‌ونقل هوشمند ۷

۲-۲-۱-۱ زیرساخت هوشمند ۷

۲-۲-۱-۲ خودروهای هوشمند ۸

۲-۲-۲ اجزای مختلف سیستم کنترل ترافیک ۹

۲-۲-۳ حسگرها و محرک‌ها ۱۰

۲-۲-۴ روش‌های کنترل ترافیک ۱۱

۲-۲-۴-۱ انواع مسیریابی ترافیک ۱۲

۲-۲-۴-۲ انواع چراغ‌های راهنمایی ۱۲

۲-۳ مدل‌های ترافیک ۱۴

۲-۴ متغیرهای حالت ترافیک ۱۴

۲-۵ فن‌آوری‌های نوین در شبکه حمل‌ونقل ۱۵

۲-۵-۱ تجهیزات و فن‌آوری‌های جمع‌آوری و انتقال داده‌های ترافیکی ۱۵

۲-۵-۲ تجهیزات پردازش و تصمیم‌گیری ۱۷

۲-۵-۳ یکپارچه‌سازی شبکه حمل‌ونقل ۱۷

۲-۶ نتیجه‌گیری ۱۸

فصل ۳ پژوهش‌های پیشین ۱۹

۳-۱ مقدمه ۱۹

۳-۲ تاریخچه سیستم مدیریت و کنترل ترافیک ۱۹

۳-۳ فن‌آوری‌های نوین استفاده شده در حمل و نقل ۲۲
۳-۴ مسیریابی پویای ترافیک ۲۵
۳-۴-۱ مسیریابی برخط و برون‌خط ۲۶
۳-۴-۲ مسیریابی واکنشی و Proactive ۲۷
۳-۴-۳ ازدحام ترافیکی بازگشت پذیر(RC) و غیربازگشت پذیر(NRC) ۲۹
۳-۵ الگوریتم انتخاب مسیر پویا ۳۰
۳-۵-۱ الگوریتم‌های بهینه ۳۰
۳-۵-۲ الگوریتم‌های مکاشفه‌ای ۳۲
۳-۶ میزان رشد تحقیقات در زمینه مسیریابی خودرو ۳۳
۳-۷ نتیجه گیری ۳۴
فصل ٤ روش پیشنهادی برای بهبود جریان ترافیک شهری ۳۵
۴-۱ مقدمه ۳۵
۴-۲ تخمین داده‌های ترافیکی ۳۷
۴-۳ تشخیص و پیش‌بینی ازدحام ۳۹
۴-۴ روش انتخاب خودرو برای مسیریابی مجدد ۴۰
۴-۵ تنظیم چراغ راهنمایی ۴۰
۴-۶ انتخاب مسیر روش‌های پیشنهادی ۴۱
۴-۶-۱ مسیریابی خودرویی پویا با راهبرد الگوریتم دایجسترا (DDVR) ۴۱
۴-۶-۲ مسیریابی با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا ۴۱
۴-۷ شبیه‌سازی ۴۲
۴-۸ نتیجه‌گیری ۴۴
فصل ٥ نتایج ارزیابی ٤٥
۵-۱ مقدمه ۴۵
۵-۲ تنظیمات شبیه‌سازی ۴۵
۵-۳ سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن چراغ راهنمایی ایستا ۴۶
۵-۳-۱ میانگین زمان سفر ۴۷
۵-۳-۲ میانگین تعداد مسیریابی مجدد ۵۱
۵-۳-۳ میانگین زمان انتظار ۵۲
۵-۴ سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن چراغ راهنمایی پویا ۵۴
۵-۵ نتیجه‌گیری ۵۷
فصل ٦ نتیجه‌گیری و کارهای آتی ۵۸
۶-۱ مقدمه ۵۸
۶-۲ جمع‌بندی و نتیجه گیری ۵۸
۶-۳ کارهای آتی ۶۰

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۴-۱: پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی ۴۳

جدول ۵-۱: مقایسه نتایج میانگین زمان سفر با سایر روش‌ها $\tau = ۴۵۰$ ، $\mathbf{L} = ۲$ ۴۸

جدول ۵-۲: مقایسه نتایج میانگین زمان سفر با تغییر سطح انتخاب خودرو و حجم ترافیک متفاوت؛ $\boldsymbol{\tau} = ۴۵۰$ ۴۹

جدول ۵-۳ : مقایسه میانگین زمان سفر با درنظر گرفتن تغییرات زمان نمونه برداری و $\mathbf{L} = ۱$ ۵۰

جدول ۵-۴: مقایسه نتایج تعداد مسیریابی مجدد با سایر روش‌ها ۵۱

جدول ۵-۵: مقایسه نتایج تعداد مسیریابی مجدد با تغییر سطح انتخاب خودرو ۵۲

جدول ۵-۶: مقایسه میانگین زمان انتظار با تغییر سطح انتخاب خودرو ۵۳

جدول ۵-۷: مقایسه میانگین زمان انتظار با درنظر گرفتن تغییرات زمان نمونه برداری ۵۳

جدول ۵-۸: نتایج میانگین زمان سفر روش پیشنهادی DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا .. ۵۴

جدول ۵-۹: نتایج میانگین زمان سفر روش PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا ۵۵

جدول ۵-۱۰: میانگین زمان انتظار روش DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا..... ۵۶

جدول ۵-۱۱: میانگین زمان انتظار روش PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا..... ۵۶

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱ : شمای کلی شهر هوشمند پیشنهادی ۳
شکل ۲-۱: یک مثال از چراغ راهنمایی با چهار فاز ۱۱
شکل ۲-۲: دسته‌بندی روش‌های کترل ترافیک شهری ۱۲
شکل ۳-۱: ارتباط بین تغییرات در پدیده‌های محاسباتی و پدیده‌های مدیریت ترافیکی [۳] ۲۱
شکل ۳-۲: چهارچوب کلی سیستم پیشنهادی Manikonda و همکاران [۱۲]..... ۲۲
شکل ۳-۳: معماری سطح بالا و توصیف ارتباطات [۱۳] ۲۳
شکل ۳-۴: شمای کلی شهر هوشمند ارائه شده توسط شرکت Libelium [۱۵]. ۲۴
شکل ۳-۵: جمع‌آوری و ارسال اطلاعات ترافیکی با استفاده از بلوتوث و شبکه بی‌سیم [۱۵]. ۲۵
شکل ۳-۶: تاریخچه سیر زمانی تحقیقات مسیریابی[۱۶]..... ۲۶
شکل ۳-۷: انتخاب و بروزرسانی مسیر پیشنهادی [۱۸] ۲۸
شکل ۳-۸: دیاگرام بنیادی رابطه میان چگالی و زمان سفر [۱۸] ۲۹
شکل ۳-۹: رشد انتشار مقالات مسیریابی خودرو [۱۶] ۳۳
شکل ۴-۱: چهارچوب کلی روش پیشنهادی ۳۶
شکل ۴-۲: جریان ترافیکی در شبکه جاده‌ای بروکلین [۲۷] ۴۳
شکل ۵-۱: برقراری ارتباط با شبیه‌ساز sumo با استفاده از TraCI [۳۳] ۴۶
شکل ۵-۲: مقایسه نتایج میانگین زمان سفر با سایر روش‌ها ۴۸
شکل ۵-۳: نتایج میانگین زمان سفر با تغییر سطح انتخاب خودرو و حجم ترافیک متفاوت ۴۹
شکل ۵-۴: میانگین زمان سفر با تغییر زمان نمونه برداری ۵۱
شکل ۵-۵: مقایسه میانگین تعداد مسیریابی مجدد $\mathbf{V.No.} = ۱۰۰۰$ ۵۱
شکل ۵-۶: نتایج تعداد مسیریابی مجدد با تغییر سطح انتخاب خودرو..... ۵۲
شکل ۵-۷: میانگین زمان انتظار با تغییر سطح انتخاب خودرو ۵۳
شکل ۵-۸: میانگین زمان انتظار با تغییرات زمان نمونه برداری ۵۴
شکل ۵-۹: میانگین زمان سفر روش پیشنهادی DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا ۵۵
شکل ۵-۱۰: میانگین زمان روش پیشنهادی PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا ۵۵
شکل ۵-۱۱: میانگین زمان انتظار روش DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا..... ۵۶
شکل ۵-۱۲: میانگین زمان انتظار روش PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا..... ۵۷

فصل ۱

کلیات

۱-۱ مقدمه

چگونگی مدیریت ترافیک شهری و مسائل مرتبط با حمل‌ونقل یکی از معضلات اغلب جوامع امروزی است. حجم وسایل نقلیه به‌صورت نمایی در حال گسترش است و این مسئله سبب کند شدن حرکت خودروها، ترافیک سنگین در سطح شهر و باعث ایجاد توقف‌های طولانی پشت چراغ‌های راهنمایی می‌شود. برای مدیریت و کنترل ترافیک این شهرهای بزرگ نیازمند سیستمی هستیم که به‌صورت مؤثر به شناسایی و بررسی ترافیک‌های موجود در شهر پرداخته و بهترین عکس‌العمل را در مقابل آن انجام دهد.

امروزه راهکارهای مختلفی برای کنترل ترافیک شهری به کار می‌روند. علاوه بر استفاده از علائم و چراغ‌های راهنمایی، استفاده از پیشنهاد مسیر به رانندگان به‌صورت برون‌خط[۱] و برخط[۲] نیز از راهکارهای مناسب برای کمینه کردن زمان‌های سفر رانندگان و روان‌سازی جریان ترافیکی در شهر به شمار می‌روند. اگرچه پیشنهادهای برون‌خط می‌توانند بر اساس داده‌های تاریخچه‌ای مسیرهای مناسبی را در اختیار رانندگان قرار دهند، اما امکان در نظر گرفتن تغییرات ناگهانی در شهر را فراهم نمی‌کنند. با جمع‌آوری داده‌های ترافیکی به کمک حسگرهای موجود در سطح شهر و انتقال این داده‌ها به یک مرکز کنترل و تصمیم‌گیری، امکان مسیریابی برخط فراهم می‌گردد.

باوجود داده‌های ترافیکی، سیستم‌های کنترل ترافیک می‌توانند مسیرهایی که در حال حاضر ترافیک کمتری دارند را محاسبه و پیشنهاد دهند، اما باوجود چنین اطلاعاتی درصورتی‌که این

---

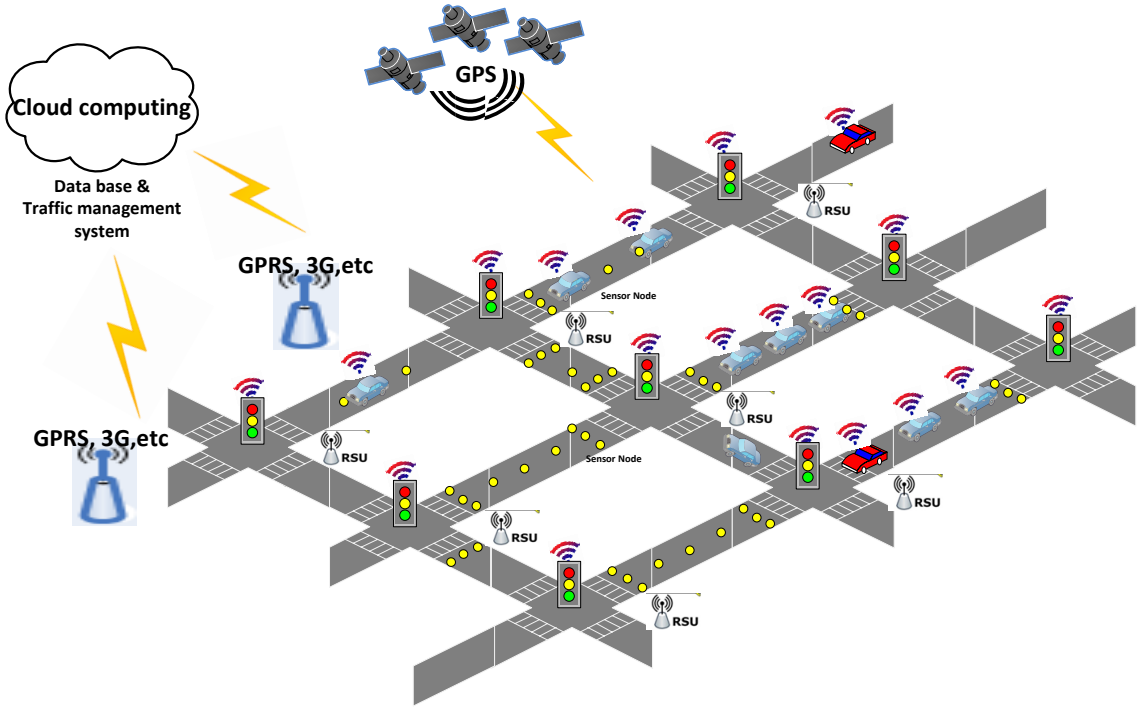
[۱] Offline

[۲] Online

سیستم‌ها به‌درستی مدیریت نشوند ممکن است تلاش این سیستم‌ها برای کاهش ازدحام ترافیکی در سطح شهر به انتقال ترافیک از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر منجر شود. تأثیرپذیری یک مسیریابی بر روی مسیریابی‌های دیگر یکی از چالش‌های اصلی در بهینه‌سازی کلی جریان ترافیک است. با استفاده از جمع‌آوری مسیر حرکت خودروها و درنظر گرفتن تأثیر مسیریابی یک خودرو بر روی مسیریابی خودروهای دیگر می‌توان جریان ترافیکی را بهینه‌سازی کرد.

شکل ۱-۱ شمای کلی شهر هوشمند مورد انتظار ما را نشان می‌دهد. فرض بر این است که خودروهای موجود در سطح شهر به شبکه اینترنت متصل هستند و اطلاعات ترافیکی همچون موقعیت کنونی بدست آمده از GPS، مبدا، مقصد و مسیر حرکت را به مرکز کنترل ترافیک ارسال می‌کنند. همچنین این خودروها اطلاعات ترافیکی لازم مانند وضعیت ترافیکی سطح شهر و مسیر پیشنهادی را از سیستم کنترل دریافت می‌نمایند. اشیاء متصل به شبکه مانند حسگرها در سطح شهر وجود دارند که وظیفه جمع‌آوری داده‌های ترافیکی مانند سرعت خودروها، تعداد خودروهای داخل خیابان و غیره را بر عهده دارند؛ با استفاده از اینترنت اشیا این امکان وجود دارد که این داده‌ها از سطح شهر جمع‌آوری و برای بررسی به مرکزهای داده و تجزیه و تحلیل داده ارسال شوند که این مراکز می‌توانند بر روی بسترهای Cloud قرار گیرند. یکی دیگر از فرضیات، چراغ‌های راهنمایی هستند که از طریق شبکه‌های ارتباطی مانند فیبر نوری، بی‌سیم و غیره به مرکز کنترل متصل هستند. چراغ‌های راهنمایی می‌توانند براساس اطلاعات ترافیکی محلی جمع‌آوری شده توسط حسگرها، تصمیم‌گیری لازم را انجام دهند و یا سیستم کنترل مرکزی با استفاده از اطلاعات کلی بدست آمده از سطح شهر و سیاست‌های مورد نظر به تنظیم چراغ راهنمایی بپردازد.

همچنین در این پژوهش به کمک یک مدل پیش‌بینی زمان سفر خودرو که در آن تاثیر چراغ‌های راهنمایی در نظر گرفته شده‌اند، مدت زمان لازم از ورود یک خودرو به یک خیابان تا زمان خروج آن از خیابان مورد نظر محاسبه می‌گردد. یک گراف وزن‌دار از شهر ساخته شده و وزن گراف، زمان لازم برای عبور خودرو از خیابان است. پس از شناسایی خیابان‌های پرترافیک خودروهای مستعدی که با تغییر مسیر در آن‌ها، باعث کاهش ترافیک این خیابان‌ها می‌شوند را انتخاب کرده و با استفاده از الگوریتم مسیریابی دایجسترا، کوتاه‌ترین مسیر برای خودروها بدست می‌آید. و با استفاده از راه‌های ارتباطی موجود، مسیر با کوتاه‌ترین زمان ممکن به خودروی مربوطه ارسال می‌گردد. لازم به ذکر است در این پژوهش فرض شده است که خودروها مسیر پیشنهادی را می‌پذیرند.



شکل ۱-۱ : شمای کلی شهر هوشمند پیشنهادی

به‌طورکلی روش‌های مختلفی مانند پیکربندی پویای چراغ‌های راهنمایی، مسیریابی‌های پویا و ... برای کاهش زمان سفر خودروها وجود دارد، که می‌توان با ترکیب این روش‌ها و با یک مدیریت درست و تصمیم‌گیری مناسب به نتایج بهتری رسید. در ادامه کارهای انجام شده در این پژوهش چراغ‌های راهنمایی به صورت پویا درنظر گرفته شده است. پویایی چراغ‌های راهنمایی به کمک حسگرها انجام شده است، به طوری که چراغ‌های راهنمایی در صورت وجود ترافیک در خیابان می‌توانند زمان سبز بودن را تا حداکثر زمان تعریف شده ادامه دهند و در صورتی که خودرویی در خیابان وجود نداشته باشد به حالتی دیگر تغییر وضعیت دهند.

۱-۲ اهداف پژوهش

در این پژوهش تمرکز بر روی توزیع جریان ترافیکی بین خیابان‌های سطح شهر و کاهش میانگین زمان سفر و زمان انتظار رانندگان است. همچنین از یک مدل پیش‌بینی زمان سفر در هر خیابان استفاده شده است. استفاده از این مدل پیش‌بینی باعث شده است اطلاعات ترافیکی بدست آمده از سطح شهر نسبت به پژوهش‌های پیشین بسیار دقیق‌تر باشد.

از اهداف دیگر این پژوهش بهبود ترافیک در سطح شهر به کمک داده‌های بدست آمده از تجهیزات و فن‌آوری‌های نوین و در حال توسعه است. با استفاده از محرک‌ها[۱] و حسگرهایی با

[۱] Actuator

فن‌آوری‌های میکرو الکترومکانیکی(MEMS)[1] و ارتباطات بی‌سیم آن‌ها، شبکه‌های فراگیر پهن باند، رایانش ابری و یکپارچه سازی آن‌ها توسط IoT می‌توان دانش کافی از محیط اطراف بدست آورد و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر این آگاهی‌ها دقیق‌تر صورت گیرند.

۳-۱ نتایج پژوهش

در این پژوهش یک مدل پیش‌بینی زمان سفر برای خیابان‌های سطح شهر ارائه شده است. سپس با استفاده از روش پیشنهادی مسیریابی پویای خودرو مبتنی بر الگوریتم دایجسترا (DDVR)[2] با کمک مدل پیش‌بینی جدید، خودروها مسیریابی می‌شوند. در ادامه یک روش انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا(PDDVRWF)[3] ارائه شد به طوری که انتخاب مسیر برای یک خودرو، در انتخاب مسیر خودروهای بعدی تأثیر گذار خواهد بود. ارزیابی و نتایج بدست آمده از آزمایش‌های روش پیشنهادی مبتنی بر تخصیص پویای مسیر به خودروها، نشان می‌دهد که استفاده از مدل جدید پیش‌بینی و محاسبه هزینه خیابان‌ها سبب می‌شود، تصمیم‌گیری براساس اطلاعات دقیق‌تر صورت‌گیرند و در ادامه، مسیریابی مناسب بر اساس داده‌های درست باعث کاهش میانگین زمان سفر خودروها می‌شود. نتایج بدست آمده از روش PDDVRWF نشان می‌دهد که استفاده از پیش‌بینی وضعیت ترافیکی خیابان‌ها در آینده، باعث عملکرد بهتر سیستم نسبت به روش DDVR خواهد بود.

در ادامه با مقایسه نتایج حاصل از اعمال روش مسیریابی یکسان بر روی شهری با تجهیزات چراغ راهنمایی ایستا و انطباقی، می‌توان پی برد که چراغ راهنمایی انطباقی از نوع ایستای آن بهتر عمل کرده است. درصورت به‌کارگیری همزمان از مسیریابی‌های پویا و چراغ‌های راهنمایی انطباقی می‌توان جریان ترافیکی در سطح شهر را بهبود داد.

شاخص‌های مهم ارزیابی در این پژوهش شامل میانگین زمان سفر خودروها، میانگین زمان انتظار و میانگین تعداد مسیریابی‌های مجدد برای خودروها است که میانگین زمان سفر و زمان انتظار خودروها در روش‌های پیشنهادی نسبت به روش‌های پیشین نتایج بسیار بهتری حاصل شده است ولی تعداد مسیریابی‌های مجدد نسبت روش‌های پیشین کمی افزایش نشان می‌دهد.

---

[1] Micro electro-mechanical

[2] Dynamic Dijkstra vehicle routing

[3] Predicted Dynamic Dijkstra vehicle routing with weighted Footmark

۱-۴ جنبه‌های نوآوری

هدف این پژوهش پیشنهاد مسیرهای مناسب به خودروهای هوشمند است، به طوری که مسیر دریافتی هر خودرو یک مسیر بهینه باشد و خودرو با توجه به شرایط ترافیک در کمترین زمان ممکن به مقصد برسد و در نهایت میانگین زمان سفر خودروها در تا حد امکان کمینه شود. نوآوری‌های این پژوهش به شرح ذیل است:

- ارائه مدل پیش‌بینی زمان سفر هر خیابان با در نظر گرفتن چراغ راهنمایی در تقاطع
- انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا همراه با تاثیرگذاری مسیریابی یک خودرو برروی مسیریابی خودروهای دیگر
- ارائه مدلی پویا برای چراغ‌های راهنمایی

۱-۵ مروری بر فصل‌ها

در فصل دوم، مفاهیم مربوط به سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و مشخصه‌های اصلی یک شبکه حمل‌ونقل را بیان خواهیم کرد؛ همچنین پس از معرفی تجهیزات و فن‌آوری‌های مربوط به جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌های ترافیکی، به معرفی مفاهیم یکپارچه‌سازی شبکه حمل‌ونقل با استفاده از اینترنت اشیا(IoT) خواهیم پرداخت.

در فصل سوم نگاهی بر تاریخچه سیستم مدیریت و کنترل ترافیک و سیر تکاملی پژوهش‌ها در زمینه مسیریابی را خواهیم داشت؛ سپس کارهای انجام شده در حوزه الگوریتم‌های انتخاب مسیر پویا را مرور خواهیم کرد.

فصل چهارم چارچوب کلی روش پیشنهادی را معرفی کرده و هر کدام از بخش‌های «نحوه انتخاب خودرو»، «مدل محاسبه تابع هزینه» و «روش انتخاب مسیر خودرو»، بررسی خواهند شد.

در فصل پنجم نتایج حاصل از شبیه‌سازی بررسی شده و با نتایج پژوهش‌های دیگر مقایسه خواهد شد و در نهایت، در فصل ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای برای کارهای آتی بیان می‌شوند.

فصل ۲

مفاهیم پایه

۲-۱ مقدمه

با توسعه روزافزون شهرها، جابجایی انسان و کالا تبدیل به یک مسئله روزمره شده است که پیچیدگی آن دائما در حال افزایش است. رشد شهری باعث افزایش تقاضا برای زیرساخت‌های محدود حمل‌ونقل ازجمله خیابان‌ها شده است. برای روان سازی جریان ترافیک شهری دو رویکرد توسعه زیرساخت‌ها و استفاده کارا و حداکثری از منابع محدود(خیابان‌ها)پیش رو است.

در این پژوهش رویکرد دوم مورد توجه قرار می‌گیرد؛ یعنی «استفاده صحیح از منابع موجود» و استفاده نادرست از این منابع موجب اتلاف زمان خواهد شد.

۲-۲ شبکه حمل‌ونقل و سیستم کنترل ترافیک

شبکه حمل‌ونقل شامل ۴ مشخصه اصلی است که با سیستم ترافیکی در ارتباطند.

۱- کاربران جاده: رانندگان، مسافران، عابران پیاده و . . .

۲- وسایل نقلیه

۳- جاده‌ها، خیابان ها و آزادراه‌ها و . . .

۴- ابزارهای کنترل ترافیک

سیستم کنترل ترافیک متشکل از شبکه ترافیک (مشتمل بر خیابان‌ها، بزرگراه‌ها و آزادراه‌ها)، حسگرها، بخش نظارت، استراتژی کنترل و ادوات کنترلی است.

کنترل ترافیک این امکان را فراهم می‌کند که زیرساخت‌های محدود جاده‌ای به‌طور مستمر در حداکثر ظرفیت بهینه خود عمل کنند. این امر سبب افزایش میزان بهره‌وری امکانات موجود می‌شود.

۲-۲-۱ سیستم حمل‌ونقل هوشمند

ازدحام ترافیکی به سبب رشد جمعیت، میل به شهرنشینی و افزایش تعداد خودروها ایجاد می‌شود، که این امر سبب کاهش کارایی زیرساخت‌های حمل‌ونقل، افزایش زمان سفر، آلودگی هوا و مصرف سوخت می‌گردد. امروزه راهکارهای مختلفی برای کنترل ترافیک شهری به کار می‌روند. سیستم حمل‌ونقل هوشمند نقش بسیار زیادی را در زندگی مدرن دارد و تأثیر بسزایی بر اقتصاد کشور، محیط و سبک زندگی دارد. سیستم حمل‌ونقل هوشمند (ITS)[۱] به کاربرد فناوری‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به منظور کاهش مشکلات حمل‌ونقل گفته می‌شود.

ITS شامل تمام حوزه‌های فناوری اطلاعات بکار رفته در حمل‌ونقل از جمله کنترل، محاسبات، ارتباطات، الگوریتم‌ها، پایگاه‌های داده، مدل‌ها و رابط‌های انسانی می‌شود. ظهور این فن‌آوری‌ها به عنوان راه جدیدی برای حل مشکلات حمل‌ونقل در نظر گرفته می‌شود. فواید ITS می‌تواند از نظر کاهش تصادفات، کاهش زمان سفر و افزایش بهره‌وری منابع موجود مورد بررسی قرار گیرد.

ITS سیستمی است که براساس دپارتمان حمل‌ونقل آمریکا [۱] به دو زیربخش زیرساخت هوشمند و خودروهای هوشمند تقسیم بندی شده است.

۲-۲-۱-۱ زیرساخت هوشمند

خودروها در جاده‌ها با بکارگیری شناساگرهای ترافیکی[۲]، چراغ‌های راهنمایی و روش‌های مختلف ارتباطی مدیریت می‌شوند. سیستم ITS از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط ابزار نظارت بر ترافیک بهره می‌برد و اطلاعات مهم شرایط سفر را برای رانندگان فراهم می‌کند.

- نظارت: نظارت ترافیک به فن‌آوری تشخیص اشاره دارد و شامل دوربین‌ها یا حسگرهایی می‌باشند که جریان ترافیکی را مشاهده می‌کنند.
- کنترل ترافیک: سیستم کنترل ترافیک با تغییر مسیر حرکت خودروها، سرعت و زمان سفر را بهینه می‌کند، همچنین مجموعه اولویت‌هایی برای حرکت خودروهای شخصی و اورژانس، دوچرخه سواران و عابران پیاده فراهم می‌کند.
- انتشار اطلاعات: ارتباطات پیشرفته، انتشار اطلاعات به مسافران را بهبود می‌بخشد. اطلاعات جمع‌آوری‌شده توسط شناساگرها به کمک سیستم‌های مدیریت هوشمند با کاربران جاده‌ای

[۱] Intelligent transportation system

[۲] Traffic detector

به اشتراک گذاشته می‌شوند. حال آن‌ها قادر هستند تا اطلاعات مناسب و مرتبط با شرایط ترافیکی مکان‌های مورد نظر را به روش‌های گوناگون دریافت کنند.

۲-۲-۱-۲ خودروهای هوشمند

در سال‌های اخیر شرکت‌های زیادی تحقیقات خود را درباره ساخت خودروهای هوشمند آغاز کرده‌اند. "کمپانی‌هایی چون مرسدس‌بنز، BMW و نیسان از جمله فعال‌ترین آن‌ها بوده‌اند. اما طلایه‌دار این بخش از فن‌آوری، نه یک خودروساز بلکه غول جستجوی دنیا است که با خودروی هوشمند خود نشان داد که در آینده‌ای نه‌چندان دور شاهد استفاده از این خودروها در دنیای واقعی خواهیم بود" [۲].

خودروهای‌هوشمند یا خودروهای بدون راننده، نام‌های مناسبی برای اتومبیل‌هایی با چنین قابلیتی هستند. نام انتخاب شده برای این خودروها تفاوتی در نحوه‌ی استفاده و فناوری‌های مورد استفاده در آن‌ها ندارد؛ بطوریکه تمامی نمونه‌های تولید شده سعی در کم‌کردن و یا حتی حذف دخالت عامل انسانی در هدایت خودرو و سپردن تمامی تصمیم‌ها و فرآیندهای هدایت خودرو به رایانه‌های تعبیه‌شده در خودروها و یا سیستم‌های کنترلی خارج از خودرو دارند.

در این پژوهش خودرویی را هوشمند می‌نامیم که در آن امکان ارسال اطلاعاتی از قبیل موقعیت جغرافیایی، مبدا، مقصد و مسیر حرکت خود را به یک مرکز کنترل با استفاده از ارتباطاتی مانند شبکه‌های سلولی یا ارتباطات بی‌سیم وجود دارد؛ همچنین این خودرو می‌تواند اطلاعات مسیرهای پیشنهادی را از سیستم مرکز کنترل دریافت کرده و براساس آن به حرکت خود ادامه دهد.

در ادامه به برخی از امکاناتی که به منظور بهبود توانایی رانندگان در اجتناب از تصادف، می‌توانند بر روی خودروهای هوشمند نصب گردند، اشاره می‌کنیم. این خودروها می‌توانند از انواع حسگرها برای نظارت و سیستم اعلام هشدار استفاده می‌کنند.

- هشدار تصادف در تقاطع: سیستم هشدار تصادف در تقاطع، هنگام نزدیک شدن به تقاطعها با سرعت بالا، آن را تشخیص داده و اعلام خطر می‌نماید.
- تشخیص مانع: سیستم مربوطه از حسگرهایی برای شناسایی موانعی مانند خودروهای دیگر، حیوانات و غیره استفاده می‌کند.

- همیاری در تغییر خطوط جاده[1]: این سیستم هشدار برای رانندگان اتوبوس و کامیون در زمان تغییر خط به کار برده می‌شود.
- اخطار تغییرات ناگهانی: این سیستم هنگام تغییرات ناگهانی مانند سرعت زیاد، اعلام هشدار می‌کند.
- اخطار خروج از جاده: سیستم هشدار خروج از جاده با استفاده از بینایی ماشین[2] و سیستم‌های درون خودرو برای شناسایی و اعلام هشدار به رانندگان آزمایش شده است.
- سیستم راهنمای مسیر: در این سیستم با بکارگیری فن‌آوری‌های نوین، امکان کاهش خطای رانندگان، افزایش ایمنی، بهبود تصمیم‌گیری راننده‌ها در محیط‌های ناآشنا و کاهش زمان سفر وجود دارد.
- سیستم ارتباطی[3]: با سیستم یکپارچه ارتباطی، این قابلیت برای رانندگان فراهم می‌گردد تا بتوانند در زمان حرکت راجع به انتخاب مسیر مجدد تصمیم‌گیری کنند و در زمان و مصرف سوخت صرفه‌جویی کنند.
- سیستم افزایش دید: این سیستم باعث کم شدن تأثیر عواملی مانند نور ناکافی، مه، توده‌های برف و دیگر شرایط نامناسب آب‌وهوایی (که سبب کاهش دید می‌گردند) می‌شود.
- کروز کنترل تطبیقی[4]: در این سیستم به صورت خودکار، سرعت خودرو به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در فاصله‌ای ایمن از خودروی جلویی قرار گیرد.
- سیستم کنترل سرعت هوشمند: در این سیستم حداکثر سرعت خودرو با استفاده از یک سیگنال ارسال شده از یک زیرساخت، محدود می‌گردد.
- سیستم هشدار خواب‌آلودگی راننده: این سیستم به راننده هشدار می‌دهد که او ممکن است به دلیل خواب‌آلودگی از مسیر یا از جاده خارج شود.

۲-۲-۲ اجزای مختلف سیستم کنترل ترافیک

[1] Lane change assistance
[2] Machine vision
[3] Comuunication System
[4] Adaptive Cruise Control

۱- شبکه ترافیک: شبکه‌ی ترافیک در نواحی شهری مختلف، شامل خیابان‌ها، تقاطع‌ها، بزرگراه‌ها و غیره می‌شود و در این نواحی، جریان ترافیکی با استفاده از علایم و سیگنال‌های ترافیکی مدیریت می‌شوند.

۲- حسگرها: به منظور نظارت و کنترل بر شبکه ترافیک شهری، به اطلاعات ترافیکی و متغیرهای تاثیرگذار نیازمندیم، به این منظور حسگرهای مختلف در سطح خیابان‌ها و بزرگراه‌ها نصب می‌شوند تا متغیرهایی مانند میزان تراکم خودروها، سرعت میانگین و غیره محاسبه شوند.

۳- سیستم نظارت: با توجه به حجم بالای داده‌ها، امکان تحلیل مستقیم آن توسط اپراتورها وجود ندارد، لذا از نرم افزارها برای استخراج و تحلیل داده‌های مهم استفاده می‌شود.

۴- رویکرد کنترل ترافیک: با توجه به اهداف و سیاست‌های مورد نظر مسئولین کنترل ترافیک و با توجه به استخراج شرایط ترافیکی، برنامه‌های کنترلی مختلفی تحت عنوان رویکرد کنترل ترافیک را می‌توان به شبکه ترافیک شهری اعمال نمود.

۵- تجهیزات کنترل ترافیک: شامل چراغ‌های راهنمایی، محدودیت‌های ترافیکی، محدودیت‌های سرعت، ارائه و پیشنهاد مسیرهای جایگزین، تخمین زمان رسیدن به مقصد است.

۶- اغتشاشات: متغیرهای کنترل نشده مانند تصادفات، شرایط بد آب و هوا و غیره که بر روی ترافیک تاثیرگذار هستند، باید توسط کنترل کننده مرکزی درنظر گرفته شوند.

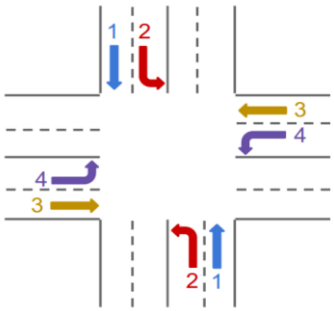
۲-۲-۳ حسگرها و محرک‌ها

از مهمترین حسگرهای ترافیکی می‌توان دوربین‌های ترافیکی و حلقه‌های القایی را نام برد. دوربین‌های ترافیکی به منظور تشخیص طول صف در تقاطع‌ها و کاربردهای نظارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ در عین حال دقت کم در زمان کاهش دید،از معایب دوربین‌ها است. حلقه‌های القایی می‌توانند نوعی سیستم تردد شمار باشند. با عبور وسایل نقلیه از بالا یا نزدیک آن، توانایی شمارش، طبقه بندی و ثبت سرعت خودروها را دارا هستند و طول وسیله نقلیه را با تقریب مناسب اندازه‌گیری کنند.

با بکارگیری محرک‌هایی چون چراغ‌های راهنمایی، ظرفیت تقاطع‌ها و شرایط بهره‌برداری مناسب از تقاطع‌ها را می‌توان افزایش داد. در مقابل، نصب آن‌ها سبب تحمیل هزینه و تاخیر در سیستم

می‌شود. پارامترهای مهمی در چراغ راهنمایی وجود دارند که برای استفاده از چراغ راهنمایی باید شناخت مناسبی نسبت به این پارامترها وجود داشته باشد.

- **فاز**: به مجموع زمان سبز بودن چراغ راهنمایی و زمان تلف شده (شامل چراغ با رنگ زرد و تمام قرمز) می‌گویند.
- **چرخه**[1]: مجموع زمان تمام فازها. برای مقابله با جریان‌های تداخلی در فازهای متوالی، باید بین آن‌ها فاصله زمانی ثابت چند ثانیه‌ای برای تخلیه محدوده تقاطع در نظر گرفته شود.
- **قطاع**[2]: زمان سبز یا قرمز بودن چراغ که به ترتیب قطاع سبز یا قطاع قرمز گویند.



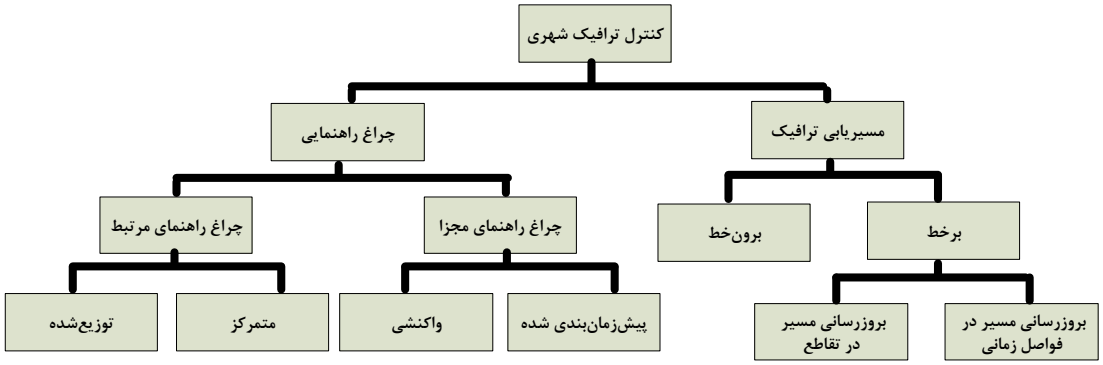
شکل ۲-۱: یک مثال از چراغ راهنمایی با چهار فاز

در هر چهارراه چندین خط وارد می‌شوند و هر کدام از این خطوط نسبت به هم دو وضعیت همروند و یا ناهمروند دارند. برای مثال اگر خودروهای دو خط متمایز ۱ و ۱ (آبی رنگ) در شکل ۲-۱همزمان وارد چهارراه شوند، این دو خط نسبت به هم همرند هستند. در همان شکل چهار جریان همروندی ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. هر کدام از چراغ‌های راهنمایی با توجه به نوع تقاطع و تعداد جریان‌های همروندی می‌توانند تعداد فازهای مختلفی داشته باشند.

۲-۲-۴ روش‌های کنترل ترافیک

ترافیک یک واژه شناخته شده بین‌المللی است و در قوانین به مجموعه عبور و مرور وسایل نقلیه و اشخاص در معابر اطلاق می‌گردد. به منظور کنترل ترافیک می‌توان از روش‌های مختلفی بهره برد. در ادامه این بخش هر یک از روش‌های کنترل ترافیک که در شکل ۲-۲ نشان داده‌شده است، توضیح داده می‌شود.

---
[1] Cycle
[2] Split



شکل ۲-۲: دسته‌بندی روش‌های کنترل ترافیک شهری

۲-۲-۴-۱ انواع مسیریابی ترافیک

در پیاده‌سازی مسیریابی ترافیک، دو نوع مسیریابی برون‌خط و برخط وجود دارد. که در برخی از پژوهش‌ها با نام مسیریابی ایستا و مسیریابی پویا نیز بیان می‌شوند. در مسیریابی برون‌خط یک مسیر ثابت برای خودروها، در ابتدای سفر محاسبه می‌گردد و این مسیر تا رسیدن خودرو به مقصد ثابت می‌ماند و بعد از انتخاب مسیر شرایط ترافیکی جدید تاثیری بر مسیریابی ندارد.

در مسیریابی برخط، اطلاعات ترافیکی به‌صورت بی‌درنگ در اختیار سیستم تصمیم‌گیری قرار می‌گیرد، پس از حرکت خودروها در مسیر، تغییرات ترافیکی مجدد به‌صورت برخط انتقال داده می‌شود و الگوریتم مسیریابی موجود در سیستم بر اساس تغییرات و درخواست‌های موجود، پاسخ لازم را ارسال می‌کند.

۲-۲-۴-۲ انواع چراغ‌های راهنمایی

چراغ‌های راهنمایی، تابلوها و علائمی‌که راننده باید از آن اطاعت کند، کنترل مستقیم نامیده می‌شوند. کنترل غیرمستقیم به علائمی‌که صرفا جنبه راهنمایی و ارائه مسیر دارند، اطلاق می‌گردد. برخی سیستم‌های کنترل ترافیک به کنترل چراغ‌های راهنما می‌پردازند. بر اساس [۳] دو نوع مکانیزم کنترل سیگنال چراغ راهنمایی وجود دارد:

أ. چراغ راهنمایی مجزا

سیگنال‌های مجزای ترافیک جزء پایه‌ای سیستم‌های کنترل سیگنال می‌باشند. سیگنال‌های ترافیک در تقاطع‌هایی نصب می‌شوند که حجم زیاد ترافیک باعث جلوگیری از استفاده کارا و امن تقاطع می‌شود. زمانی که چراغ‌های راهنمایی در محل مناسب نصب می‌شوند به دو صورت عمل می‌کنند:

- **عملیات پیش زمانبندی شده**

در این نوع عملیات چراغ‌های سبز، زرد و قرمز در بازه‌های از پیش تعیین شده به نمایش درمی‌آیند. این نوع عملیات، الگوی ترافیک را قابل پیش‌بینی فرض می‌کند. اگر ترافیک دارای نوسانات شدید باشد و یا اینکه چراغ‌های راهنمایی لینک‌های بالادست هماهنگ نباشند، این نوع عملیات ناکارا خواهد بود. مزیت این چراغ‌ها عدم نیاز آن به حسگرها و طبعاً قیمت ارزان آن‌ها می‌باشد.

- **عملیات واکنشی**

مدیریت تقاطع‌هایی که دارای چراغ‌های با عملیات واکنشی هستند، نیازمند استفاده از کنترل‌گرها و حسگرها می‌باشند. در این نوع عملیات، الگوریتم کنترل روی خاتمه زمان سبز متمرکز شده است. درصورتی‌که در مسیر دارای چراغ سبز، خودرویی در حال عبور نباشد، فاز چراغ راهنمایی تغییر می‌کند و چراغ برای مسیر دیگر سبز می‌شود تا خودروهای خطوط دیگر بتوانند سریعتر از تقاطع عبور نمایند.

ب. چراغ راهنمایی مرتبط

در این حالت سیگنال‌ها علاوه بر کنترل مبتنی بر داده‌های محل خود، عکس العمل خود را با چراغ‌های دیگر تقاطع‌ها به منظور دست یافتن به یک سیاست کنترلی جامع هماهنگ می‌کنند. برای این نوع سیستم‌ها دو رویکرد متمرکز و توزیع شده وجود دارد:

در سیستم متمرکز یک کامپیوتر مرکزی با توجه به داده‌های دریافتی از حسگرهای شبکه، وضعیت ترافیک شبکه را بررسی کرده و تصمیمات کنترلی مناسب را اتخاذ کرده و برای اجرا به کنترل‌گرهای تقاطع‌ها ارسال می‌کند.

سیستم‌های توزیع شده، آن دسته از سیستم‌هایی هستند که کنترل‌کننده تقاطع وظیفه اتخاذ تصمیم برای کنترل ترافیک تقاطع را دارد؛ البته می‌تواند با سایر کنترل‌گرها نیز ارتباط داشته باشد.

هر یک از رویکردهای بیان شده دارای مزایا و معایبی می‌باشند. سیستم های کنترل کننده متمرکز به دلیل اینکه جمع آوری داده ها از کل شبکه حمل و نقل صورت می گیرد، در نتیجه تصمیمات براساس اطلاعات جامع‌تری صورت می‌پذیرد و این امر سبب می‌شود تصمیمات گرفته شده بهینه و کارا باشند. توسعه رویکرد توزیع شده، نسبت به رویکرد متمرکز راحت‌تر می‌باشد ولی از معایب آن نداشتن دید جامع از کل شبکه می‌باشد.

۲-۳ مدل‌های ترافیک

مدل‌های شبیه سازی ترافیکی بر اساس سطح جزئیاتی که ارائه می‌کنند، به سه گروه مدل‌های ماکروسکوپیک[۱]، میکروسکوپیک[۲] و مزوسکوپیک[۳] طبقه بندی می‌شوند. در مدل شبیه سازی ماکروسکوپیک، شبیه سازی جریان ترافیک بر روی یک قسمت از مسیر انجام می‌گیرد؛ همچنین تفکرات و واکنش‌های تک‌تک کاربران مسیر در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین، این مدل‌ها پارامترهایی مانند حجم، میانگین سرعت و ... ارائه می‌کنند[۱]. مدل شبیه سازی میکروسکوپیک رفتار تک‌تک خودروها را در یک جریان ترافیک با استفاده از زیرمدل‌های تعقیب خودرو[۴]،تغییر خط[۵] و انتخاب مسیر[۶]، شبیه سازی می‌کند [۴].

مدلهای شبیه‌سازی میکرو نسبت به مدلهای شبیه سازی ماکرو، دارای جزئیات بیشتری هستند. بنابراین، می‌توانند جهت ارزیابی تأثیرات سطح بهبودهای پیشنهاد شده بر تسهیلات جاده‌ای، در درجه بالاتری از دقت، مورد استفاده قرار گیرند. باوجود این، به علت طبیعت و گستردگی اطلاعاتی که مدلهای میکروسکوپیک، شبیه‌سازی می‌کنند، آن‌ها در مقایسه با مدل‌های ماکروسکوپیک به آهستگی اجرا می‌شوند [۵]. مدل‌های مزوسکوپیک یک حالت میانی هستند که ترکیبی از دو مدل قبلی را شامل می‌شوند. با توجه به اهداف مورد نظر می‌توان هر کدام از مدل‌های شبیه‌سازی را استفاده نمود.

۲-۴ متغیرهای حالت ترافیک

پارامترهای جریان ترافیک (متغیرهای حالت ترافیک) برای توصیف وضعیت یک موقعیت ترافیکی به‌کار می‌روند. حجم[۷]، جریان ترافیک[۸]، سرعت، زمان سفر، چگالی[۹] و ... برخی از پارامترهای مدل ماکرو هستند. سرعت هر ماشین، فاصله زمانی[۱۰]، فاصله مکانی[۱] و ... برخی از پارمترهای مدل میکرو می‌باشند. در ادامه به تعریف این پارامترها می‌پردازیم:

---

۱ Macroscopic
۲ Microscopic
۳ Mesoscopic
۴ Car-following
۵ Lane-changing
۶ Route-choice
۷ volume
۸ Flow
۹ Density
۱۰ Headway

۱- چگالی: تعداد خودروهای موجود در واحد مسافت در واحد زمان.

۲- نرخ جریان: تعداد خودروهای عبوری از یک مقطع یا نقطه مشخص در واحد زمان.

۳- سرعت میانگین زمانی: سرعت میانگین تمام خودروهای عبوری از یک نقطه مشخص در مسیر و فاصله زمانی معین

۴- سرعت میانگین مکانی: سرعت میانگین تمام خودروهایی که در یک بخش مشخص از مسیر، در یک فاصله زمانی مشخص قرار دارند.

۵- فاصله زمانی: بازه زمانی بین خودروهای متوالی که از یک نقطه خاص عبور می‌کنند. به عبارتی زمان رسیدن جلوی یک خودرو تا زمانی که جلوی خودروی بعدی به نقطه مرجع می‌رسد.

۶- فاصله مکانی: فاصله بین جلوی یک خودروی و جلوی خودروی بعدی

۷- طول صف: تعداد خودروهای منتظر پشت چراغ راهنمایی در تقاطع‌ها

۲-۵ فن‌آوری‌های نوین در شبکه حمل‌ونقل

برای بهبود هر چه بهتر شرایط ترافیکی می‌توان در عصر کنونی و یا آینده نزدیک از فن‌آوری‌های نوین در شبکه حمل‌ونقل استفاده کرد. اینترنت اشیا، رایانش ابری، شبکه حسگر بی‌سیم، GPS و دیگر فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت و کنترل خودروهای هوشمند می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. سیستم هوشمند از بکارگیری فن‌آوری‌های پیشرفته برای کنترل ترافیک بوجود آمده است. در این سیستم هوشمند خودروها به‌صورت اتوماتیک از خیابان‌های کم ترافیک برای رسیدن به مقصد استفاده می‌کنند و رانندگان اطلاعات ترافیکی را با کمترین تاخیر بدست می‌آورند. همچنین مراحلی مانند جمع‌آوری انواع داده‌ها، انتقال داده‌ها و در نهایت پردازش داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های لازم به دقت و در سریعترین زمان ممکن صورت می‌گیرد. برای در دسترس بودن هر یک از این مراحل باید تجهیزات آن نیز موجود باشد.

۲-۵-۱ تجهیزات و فن‌آوری‌های جمع‌آوری و انتقال داده‌های ترافیکی

[۱] Spacing

فن‌آوری RFID[1]: سیستم شناسایی با امواج رادیویی(RFID)، یک سامانه شناسایی بی‌سیم است که قادر به تبادل داده‌ها با استفاده از برقراری ارتباط بین برچسب[2] و برچسب‌خوان[3] است. با نصب برچسب‌ها بر روی خودرو و به کمک برچسب‌خوان‌ها می‌توان اطلاعات مربوط به خودروها مانند سرعت، مقصد و ... را جمع آوری کرد. در [۶] از برچسب فعال AeroScout برای جمع آوری اطلاعات استفاده شده است.

فن‌آوری بلوتوث: بر اساس [۷] بلوتوث می‌تواند یکی دیگر از فناوری‌های مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌های ترافیکی مانند زمان سفر و سرعت باشد، و جایگزین فن‌آوری‌های دیگر شود. بلوتوث یک فناوری بی‌سیم برای تبادل داده در فواصل کم با فرکانس رادیویی موج کوتاه UHF در باند فرکانسی ۲,۴ تا ۲,۴۸ گیگاهرتز است. از نظر دقت با دیگر روش‌ها مانند حلقه‌های القایی، شناساگرهای رادار[4] و پردازنده‌های تصویر که معمولا برای محاسبه زمان سفر استفاده می‌شوند، قابل مقایسه است. مزایای استفاده از فناوری بلوتوث باعث شده در خیابان‌های شهر Calgary به‌طور وسیعی از این فناوری استفاده شود.

فن‌آوری ZigBee: یک پروتکل ارتباطی است که در شبکه‌های با فرکانس‌های رادیویی کم توان مورد استفاده قرار می‌گیرد. CC2430 یکی از محصولات شرکت الکترونیکی Texas Instrument است که از این پروتکل استفاده می‌کند و در [۸] برای کنترل چراغ راهنمایی در تقاطع مورد استفاده قرار گرفته است.

فن‌آوری GPS: این فن‌آوری نام‌آشنا یکی از روش‌های جمع آوری اطلاعات ترافیکی مورد استفاده در گوگل است. سرویس ترافیکی گوگل با تجزیه و تحلیل مکان خودروهای ارسالی توسط GPS تلفن همراه کاربران عمل می‌کند. با محاسبه سرعت کاربران در طول جاده، نقشه برخط ترافیکی را فراهم می‌کند.

شرکت‌های تلفن همراه نیز می‌توانند با امکانات خود بسیاری از اطلاعات ترافیکی را محاسبه نمانند. این شرکت‌ها می‌توانند پیوسته مکان‌های موبایل‌ها را مشاهده کنند. یکی از روش‌های ردیابی trilateration است، که به وسیله آن فاصله (تاخیر زمانی) گوشی موبایل تا سه برج تلفن همراه اندازه‌گیری می‌شود. این شرکت‌ها با استفاده از جمع‌سپاری[5] می‌توانند داده‌های ترافیکی را جمع‌آوری

---

[1] Radio frequency identification

[2] Tag

[3] Reader

[4] Radar detector

[5] Crowdsourcing

کنند. جمع سپاری که از ترکیب دو کلمه جمعیت و برونسپاری[1] تشکیل شده است، به فعالیت صورت گرفته توسط یک گروه بزرگ به ویژه گروه‌های برخط گفته می‌شود [۹].

۲-۵-۲ تجهیزات پردازش و تصمیم‌گیری

از سال ۲۰۰۰، صنعت فناوری اطلاعات با مفهوم جدیدی تحت عنوان رایانش ابری آمیخته شد. رایانش ابری[2] مبتنی بر اینترنت است و نیازهای فردی و تجاری را در قالب سرویس‌های ناهمگن و خودکار فراهم می‌آورد. با استفاده از رایانش ابری، کاربران بدون داشتن دانشی نسبت به زیرساخت، و فقط بر اساس اینکه به چه منبعی نیاز دارند سرویس داده می‌شوند. رایانش ابری یک بستر مدیریتی و عملیاتی برای سیستم یکپارچه کنترل و مدیریت هوشمند ترافیکی فراهم می‌کند. به این صورت که پردازش و ذخیره سازی تمامی اطلاعات بر روی بستر رایانش ابری صورت می‌گیرد. این اطلاعات ترافیکی بی‌درنگ از هر منطقه به صورت محلی، جمع‌آوری می‌شوند و بر روی بستر ابر منتشر می‌شوند. علاوه‌براین گروه‌های مدیریت ترافیک می‌توانند تصمیمات کلان را با استفاده از این اطلاعات انجام دهند، همچنین از اطلاعات جمع‌آوری‌شده برای بهینه‌سازی مسیرهای رانندگان استفاده نمایند.

۲-۵-۳ یکپارچه‌سازی شبکه حمل‌ونقل

اینترنت اشیا به عنوان یک روند از آینده‌ی اینترنت، ممکن است انقلابی را در زندگی روزانه ایجاد کند به طوری که تمام مردم، تجهیزات محل کار، منزل یا مکان‌های دیگر می‌توانند با یکدیگر به‌صورت بی‌درنگ ارتباط برقرار کنند. همانطور که قبلاً گفته شد رایانش ابری یکی دیگر از پیشرفت‌ها در صنعت IT می‌باشد که محاسبات، ذخیره‌سازی و دیگر وظایف کامپیوترهای رومیزی و قابل حمل را کاهش داده است. به عبارت دیگر، کاربران فقط با ابزارهای ساده ورودی-خروجی قادر به استفاده از پردازش‌های قدرتمند هستند. همچنین شبکه‌های حسگر بی‌سیم شامل تعداد زیادی گره‌های حسگر با ماژول‌های عملیاتی sensing، پردازش داده و ارتباطی هستند که همراه با تکامل فناوری‌های میکرو الکترومکانیکی (MEMS) ، ارتباطات بی‌سیم و الکترونیک دیجیتال، پیشرفت کرده‌اند. اینترنت اشیا، بسیاری از این تکنیک‌های مدرن را یکپارچه کرده و سرویس‌ها و فرصت‌های جدیدی را برای انسان‌ها فراهم نموده است.

---

[1] Outsourcing

[2] Cloud computing

۲-۶ نتیجه‌گیری

در این فصل به معرفی و بررسی مشخصه‌های اصلی شبکه حمل‌ونقل و سیستم کنترل ترافیک پرداخته شد و مدیریت حرکت خودروها و انواع ویژگی‌های خودروهای هوشمند مورد بررسی قرار گرفت. یکی از عوامل موثر بر عملکرد مناسب سیستم کنترل ترافیک، جمع‌آوری اطلاعات دقیق و بی‌درنگ از وضعیت ترافیکی شهر است؛ این خود، نیازمند انواع حسگرهای ترافیکی است که بتوانند در هر شرایطی اطلاعات را به‌درستی جمع‌آوری و به مرکز کنترل ارسال نمایند. پس از جمع‌آوری داده‌ها یک تصمیم‌گیری درست با درنظر گرفتن شرایط کنونی و آینده ترافیک از دیگر عوامل موثر بر عملکرد سیستم کنترل ترافیک است. تصمیمات کنترلی ترافیک به دو دسته غیرمستقیم و مستقیم تقسیم بندی شده‌اند. برای انجام تصمیمات کنترل ترافیک مستقیم که بر روی چراغ‌های راهنمایی صورت می‌گیرد انواع چراغ‌ها را دسته‌بندی کرده و پارامترهای تاثیرگذار بر تقاطع‌ها و چراغ‌هایب راهنمایی معرفی شدند. برای تصمیمات غیرمستقیم که به ارائه مسیرهای بهینه می‌پردازد به معرفی پیش‌بینی‌های ترافیکی بر اساس داده‌های ترافیکی مبتنی بر تاریخچه و مبتنی بر داده‌های بی‌درنگ پرداخته شد. مدل‌های شبیه‌سازی براساس سطح جزئیاتی که ارائه می‌کنند، به سه گروه ماکروسکوپیک، میکروسکوپیک و مزوسکوپیک طبقه بندی می‌شوند. هر یک از مدل‌های شبیه‌سازی به اختصار مورد بررسی قرار گرفت. برای بهبود هر چه بهتر شرایط ترافیکی در عصر کنونی می‌توان از فن‌آوری‌های نوین شبکه حمل‌ونقل استفاده کرد که فن‌آوری‌های موجود مانند اینترنت اشیا، رایانش ابری، و شبکه‌های حسگر بی‌سیم معرفی شدند.

فصل ۳

پژوهش‌های پیشین

۳-۱ مقدمه

پروژه‌های زیادی بر روی جمع‌آوری داده‌های ترافیکی با دقت بالا از طریق دستگاه‌های GPS و ابزار دیگر مانند موبایل‌ها و حسگرهای ترافیکی برای دستیابی به وضعیت ترافیکی، مشخص‌کردن کوتاه‌ترین مسیر و کاهش زمان سفر خودروها ارائه شده است. یکی دیگر عوامل تاثیرگذار در کاهش زمان سفر، پیشنهاد هوشمندانه مسیریابی است که با عملکرد مناسب و فراهم‌کردن شرایط جلوگیری از ازدحام، سبب کاهش زمان سفر می‌گردد.

در این فصل ابتدا تاریخچه سیستم مدیریت و کنترل ترافیک بیان می‌شود؛ سپس به بررسی انواع پیش‌بینی شرایط ترافیکی و تحلیل انواع الگوریتم‌های ارائه شده به منظور کاهش زمان سفر پرداخته می‌شود.

۳-۲ تاریخچه سیستم مدیریت و کنترل ترافیک

زمانی که کامپیوتر IBM 650 اولین بار در سال ۱۹۵۹ برای سیستم مدیریت ترافیک شهری معرفی شد، پدیده کنترل و مدیریت ترافیک، معادل با پدیده محاسبات در علم فناوری اطلاعات بود. با توجه به تحقیقات انجام شده در [۱۰] و همان‌طور که در شکل ۳-۱ نشان داده شده، این تاریخچه، سیستم را به پنج مرحله مجزا تقسیم کرده که در پنج مرحله استقرار کنترل ترافیکی و الگوی مدیریتی منعکس شده است. در مرحله اول، کامپیوترها بسیار بزرگ و پرهزینه بودند، بنابراین بزرگ‌رایانه[1] معمولا بین چندین ترمینال به اشتراک گذاشته می‌شد. در سال ۱۹۶۰، سیستم مدیریت ترافیک، منابع یک کامپیوتر متمرکز را به اشتراک می‌گذاشت.

[1] mainframe

با آمدن مدارهای مجتمع بزرگ مقیاس (LSI) [1] و کوچک شدن فناوری‌های کامپیوتری، صنعت IT وارد دومین تحول در الگوی محاسبات شد. در این مرحله، میکروکامپیوترها به‌اندازه کافی قدرتمند شده بودند که نیازهای محاسباتی یک کاربر را برآورده کنند. در آن زمان، فن‌آوری‌های مشابه سبب ظهور کنترل‌کننده سیگنال ترافیکی (TSC)[2] شد. هر TSC به‌اندازه کافی ظرفیت ذخیره سازی و محاسبات مستقل برای کنترل یک تقاطع را دارا بود. در این دوره، محققان مدل‌های کنترلی و پارامترهای TSC را بهینه‌سازی کردند تا کنترل را بهبود بخشند. TRANSYT یکی از سیستم‌های مدیریت ترافیک در این مرحله بود که شامل نقاط متعدد واحد کنترل بود.

در مرحله سوم، شبکه‌های محلی(LANs) برای اشتراک منابع و برآورده‌سازی نیازهای پیچیده پدید آمدند. اترنت[3]، یکی از فن‌آوری‌های مبتنی بر فریم برای شبکه‌های محلی است که در سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۷۳ پایه‌ریزی شد، اترنت از همان زمان به‌صورت گسترده استفاده می‌شد. در طی این دوره، سیستم‌های مدیریت ترافیک شهری از مزایای فناوری LAN برای توسعه یک مدل سلسله مراتبی استفاده کردند. ارتباط‌های شبکه‌ای این امکان را فراهم کرده بود تا لایه ها وظایف خودشان هنگام همکاری با دیگر لایه ها را به درستی انجام دهند.

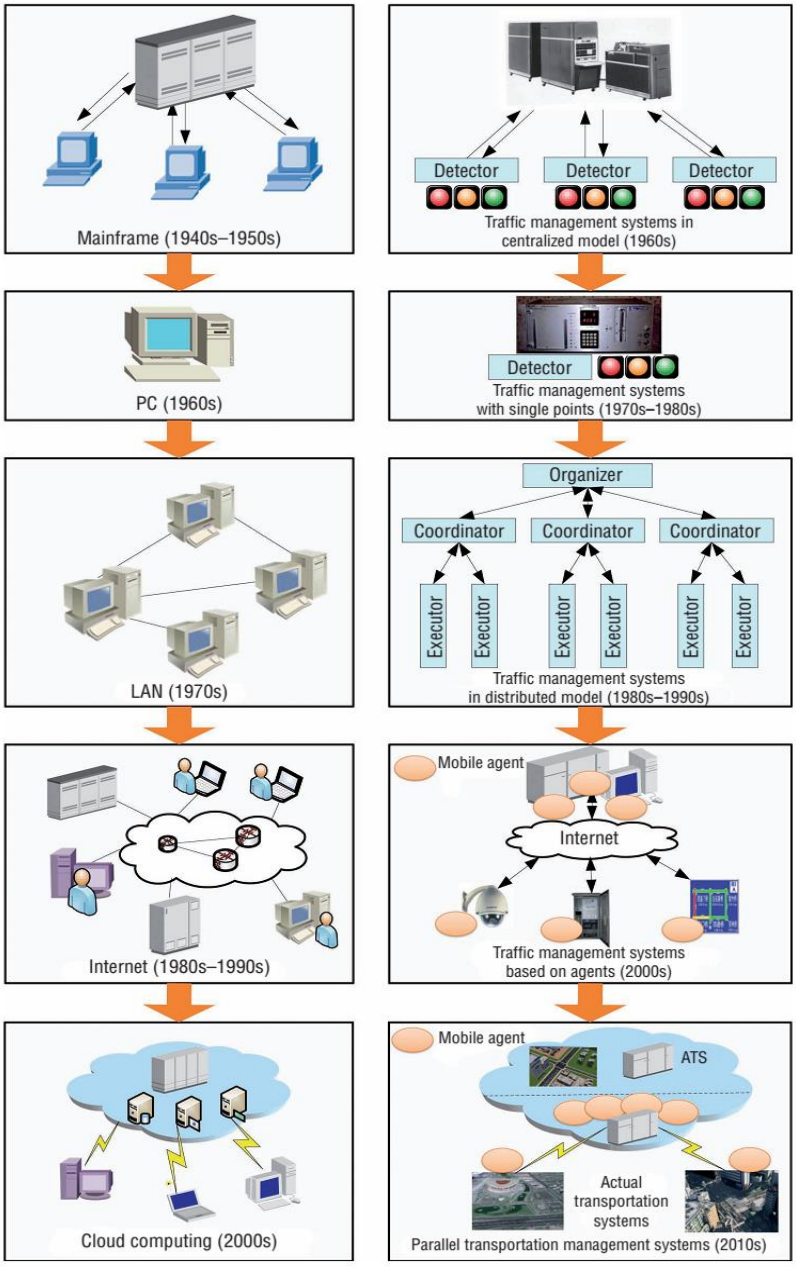
در مرحله چهارم و در عصر اینترنت ، کاربران قادر بودند داده‌ها را از سایت‌ها دریافت کنند و آن‌ها را به‌صورت محلی پردازش کنند؛ همچنین محاسبات مبتنی بر عامل‌ها و عامل‌های متحرک در این دوره ارائه شدند. از ویژگی‌های مهم عامل‌ها، امکان انجام محاسبات نزدیک به داده‌ها است که با کاهش زمان ارتباطی و هزینه‌ها سبب بهبود کارایی سیستم می‌شود. راهکارهای دیگر که عامل‌ها توانستند موفق‌تر باشند امکان مذاکره بین عامل‌ها برای کنترل راهبردهای عامل بود.

از سال ۲۰۰۰، صنعت فناوری اطلاعات با مفهوم جدیدی تحت عنوان رایانش ابری آمیخته شد. رایانش ابری مبتنی بر اینترنت است و نیازهای فردی و تجاری را در قالب سرویس‌های ناهمگن و خودکار به میزان نیاز فراهم می‌آورد. با استفاده از رایانش ابری، کاربران بدون داشتن دانشی نسبت به زیرساخت، و فقط بر اساس اینکه به چه منبعی نیاز دارند سرویس داده می‌شوند. در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها و برنامه‌های سیستم مدیریت موازی حمل‌ونقل (PtMS)[4] صورت گرفته است. این پژوهش‌هاشامل سیستم مصنوعی، آزمایشات محاسباتی و اجرای موازی می‌باشد که کانون توجه در زمینه پژوهش‌های ترافیکی است [۱۱]. اگرچه ساخت دقیق یا انجام آزمایش‌های برخی سیستم ها

---
[1] large-scale integrated circuits
[2] traffic signal controller
[3] Ethernet
[4] parallel transportation management systems

بسیار پیچیده یا حتی غیرممکن هستند، اما PtMS از سیستم حمل‌ونقل مصنوعی (ATS)[1] برای جبران این نقص استفاده کرده است.

با توجه به مطالعات انجام شده در [۱۲] این امکان فراهم شده تا با حضور IoT در کنار رایانش ابری بتوان داده‌های حجیم را در زمان مناسب، ذخیره‌سازی و پردازش نمود. این ویژگی رایانش ابری سبب ارتقای سرعت تصمیم‌گیری و در نهایت اعمال تصمیم‌گیری در کمترین زمان ممکن به منظور مدیریت و کنترل ترافیک پویای شهری شد.

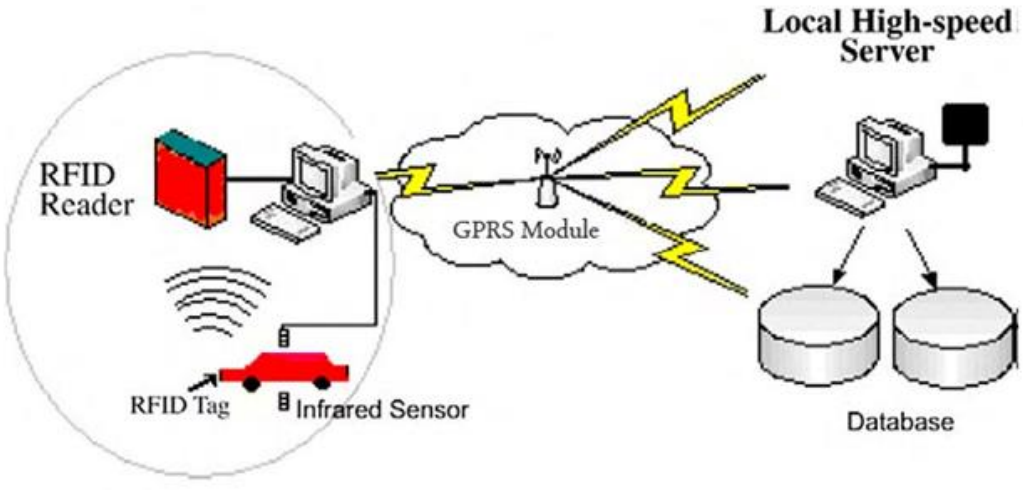


شکل ۳-۱: ارتباط بین تغییرات در پدیده‌های محاسباتی و پدیده‌های مدیریت ترافیکی [۴]

[1] Artificial Transportation Systems

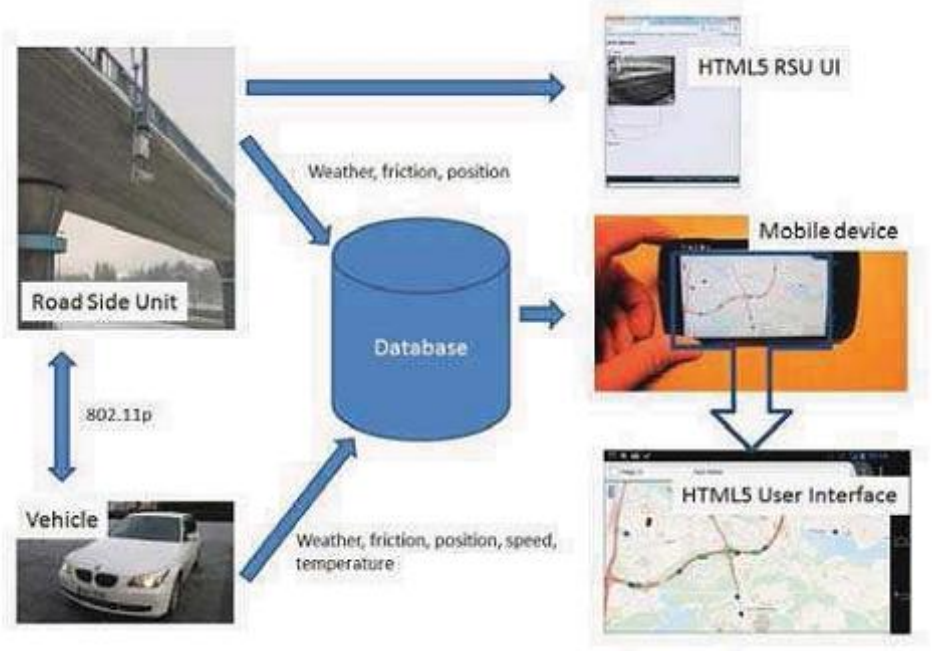
۳-۳ فن‌آوری‌های نوین استفاده شده در حمل و نقل

با پیشرفت فن‌آوری‌های میکرو الکترومکانیکی در استفاده از حسگرها، ارتباطات اینترنتی و پدیدار شدن اینترنت اشیا، محیط‌های محاسباتی با استفاده از رایانش ابری و فن‌آوری‌های جدید دیگر، پژوهش‌های نوینی در زمینه بهبود ترافیک شهری، انجام شدند. Manikonda و همکاران [۱۳]، یک سیستم مدیریت ترافیک هوشمند با استفاده از فناوری RFID ارائه نمودند. این سیستم با فراهم کردن داده‌های مهم ترافیکی، باعث کاهش زمان سفر می‌شود؛ همچنین از این سیستم می‌توان برای ردیابی ماشین‌های دزدیده شده، استفاده از طرح ترافیک، جمع آوری عوارض جاده‌ای، مالیات‌های خودرو و غیره استفاده نمود. همانطور که در شکل ۳-۲ نشان داده شده، سیستم از یک برچسب غیرفعال، یک برچسب خوان، یک میکروکنترلر، یک ماژول GPRS، یک سرویس دهنده با یک سیستم پایگاه داده و یک ماژول کاربر تشکیل شده است. با استفاده از فناوری RFID، این سیستم داده‌های مورد نیاز را جمع آوری می‌کند و سرعت متوسط وسایل نقلیه موجود در هر خیابانی از شهر که مد نظر باشد را محاسبه می‌نماید. سپس داده‌های مورد نیاز مانند سرعت متوسط را به سرویس دهنده محاسباتی مرکزی ارسال می‌کند که وظیفه محاسبه زمان سفر یک وسیله نقلیه را بر عهده دارد. با استفاده از الگوریتم دایجسترا، سرویس دهنده مرکزی با در نظر گرفتن هر گره به عنوان نقطه آغازین در شهر، سریع ترین مسیر را به همه گره ها محاسبه می‌کند. بنابراین، سیستم نقشه‌ای از کوتاهترین مسیرهای کل شهر بر اساس زمان را ایجاد می‌کند. این داده ها توسط یک ماژول واسط که بر روی وسیله نقلیه کاربران قرار گرفته، برای آن‌ها در دسترس است.



شکل ۳-۲: چهارچوب کلی سیستم پیشنهادی Manikonda و همکاران [۱۳]

Pyykönen و همکاران [۱۴]، طرح جدیدی برای استفاده از IOT در سامانه ترافیک هوشمند پیشنهاد داده‌اند. سیستم ترافیک هوشمند با استفاده از واحدهای کنار جاده (RSU)[1] (با قابلیت نظارت بر اصطکاک)، حسگرهای محیطی وسایل نقلیه و یک پایگاه داده برای انتقال اطلاعات در پلت‌فرم‌های مختلف، پیاده سازی شده است. این سیستم قادر به جمع‌آوری اطلاعات حسگر از ایستگاه‌های RSU یا خودروها و ذخیره‌سازی آن در پایگاه داده است. واحد نظارت اصطکاک، قادر به تفکیک طبقه‌بندی وضعیت جاده (یخ، برف، نم و آسفالت خشک) با دقت کافی است. ارتباط‌های میان RSUها و وسایل نقلیه با استفاده از یک V2I/I2V IEEE 802.11p و یا با استفاده از اتصالات موبایل 3G/4G پیاده‌سازی شده است. در شکل ۳-۳ معماری سیستم به همراه توصیف ارتباط‌های آن نشان داده شده است. این سیستم قادر به فراهم نمودن اطلاعات حسگر برای کابران به صورت بی‌درنگ است.



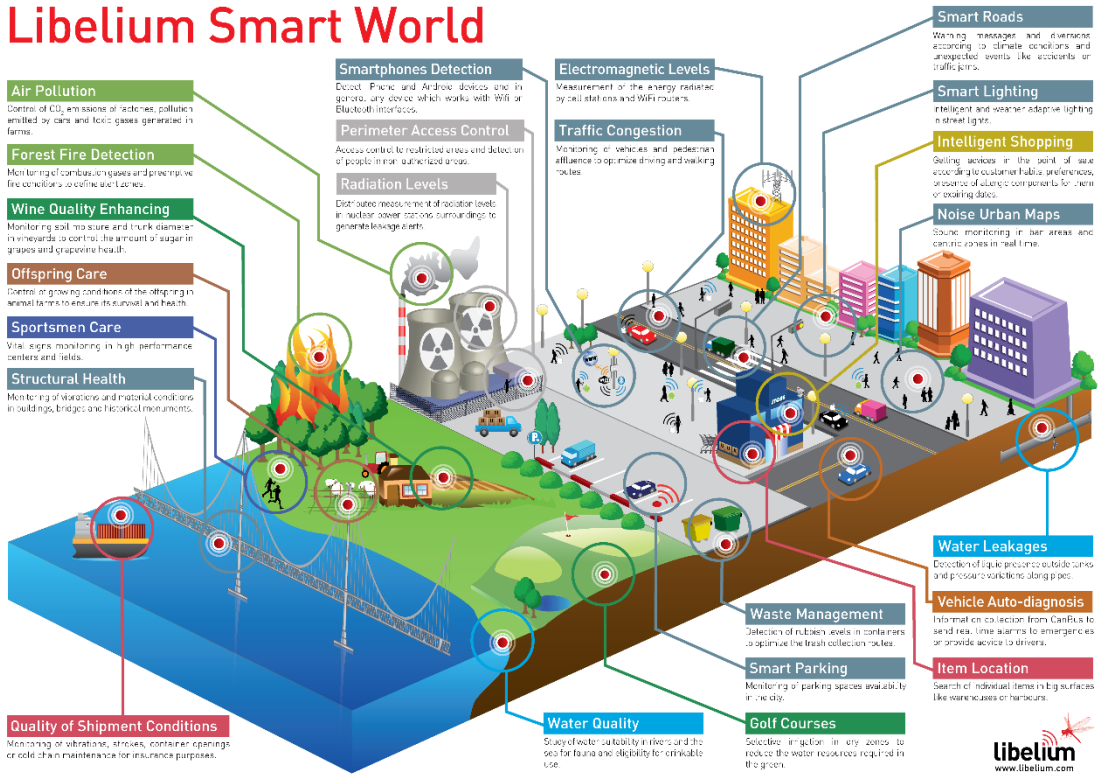
شکل ۳-۳: معماری سطح بالا و توصیف ارتباطات [۱۴]

Yu و همکاران [۱۵] یک سیستم مبتنی بر برچسب RFID برای شناسایی خودکار خودروهای در حال حرکت و جمع‌آوری داده‌هایشان، طراحی و پیاده‌سازی کردند. اصول طراحی و معماری سیستم ارائه شده، شامل برچسب‌های الکترونیکی فعال، برچسب‌خوان، ایستگاه نظارت، زیرساخت شبکه دولایه‌ای و نرم‌افزار نظارت است. درنهایت اثر و کارایی سیستم مورد بررسی قرار گرفت؛ این سیستم

[1] Road Side Unit

کاربردهای وسیعی در انتقال ترافیک شهری بر بستر IoT ازجمله در زمینه‌های نظارت ترافیک، آمارگیری جریان ترافیکی، زمانبندی ترافیک و ردیابی خودرویی خاص دارد. با پیشرفت در زمینه اینترنت و پدیدار شدن اینترنت اشیا، روش‌های نوین مبتنی بر اینترنت اشیا امکان‌پذیر شده‌اند. در این روش‌ها امکان برقراری ارتباط با چراغ‌ها، حضور حسگرهای کنار جاده‌ای و حضور مشارکتی خودروها در تولید داده‌های آماری و امکان ارسال این اطلاعات به بخش تصمیم‌گیری وجود خواهد داشت.

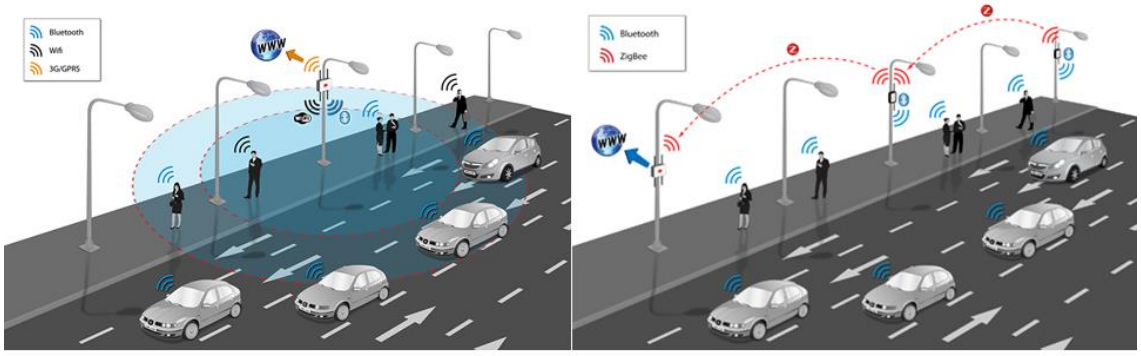
شرکت Libelium سخت‌افزاری به همراه SDK[۱] آن را برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم طراحی و تولید نمود که می‌تواند به صورت ماژولار در IoT استفاده شود [۱۶]. پلتفرم ارائه شده توسط این شرکت اجازه می‌دهد هر نوع شبکه حسگر بی‌سیم از یک پارکینگ هوشمند تا آبیاری هوشمند پیاده‌سازی شوند. در شکل ۳-۴ یک شهر هوشمند با استفاده از محصولات Libelium به تصویر کشیده شده است.



شکل ۳-۴: شمای کلی شهر هوشمند ارائه شده توسط شرکت **Libelium** [۱۶].

[۱] Software Development Kit

شرکت Libelium با استفاده از نسخه‌های متنوع محصول Meshlium امکان برقراری ارتباط با شبکه اینترنتی را فراهم کرده است؛ این محصولات قابلیت برقراری ارتباط با استفاده از پروتکل‌های ZigBee، Bluetooth، Wi-Fi، Ethernet، 3G/GPRS و استفاده از پیکربندی شبکه توری[۱] را فراهم می‌کنند. نسخه‌های جدید پویشگر[۲] Meshlium تا ۹۵درصد از تلفن‌های هوشمند را شناسایی می‌کنند؛ همچنین به کمک کاهش فاصله زمانی در پویش[۳] محیط، توانایی شناسایی تعداد خودرو را از ۵۰درصد به ۸۰درصد و تا سرعت ۱۰۰km/h را فراهم کرده‌اند. مطابق شکل ۳-۵ داده‌های ترافیکی به کمک شبکه بی‌سیم و بلوتوث تلفن‌های هوشمند جمع‌آوری می‌شوند و با استفاده از ارتباط‌های 3G/GPRS به مرکز کنترل ارسال می‌گردند.



شکل ۳-۵: جمع‌آوری و ارسال اطلاعات ترافیکی با استفاده از بلوتوث و شبکه بی‌سیم [۱۶].

۳-۴ مسیریابی پویای ترافیک

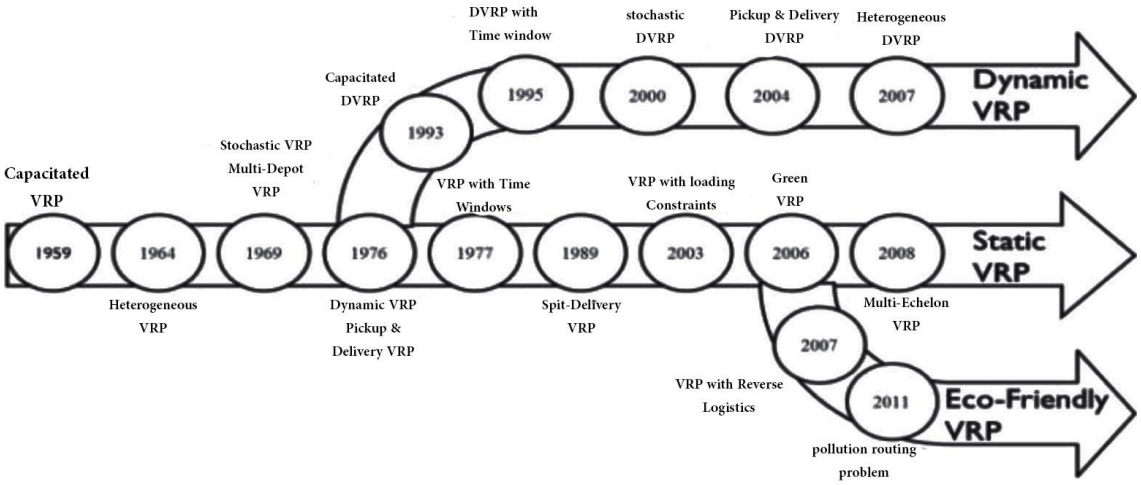
تراکم ترافیکی یک مسئله پویا است که در آن محیط ترافیکی در طی زمان تغییر می‌کند و معمولاً بهبود تراکم ترافیکی به کمک مسیریابی به سوی نواحی کم ترافیک انجام می‌گیرد. تحقیقات در زمینه مسیریابی پویا در سال ۱۹۷۶ آغاز شد. شکل ۳-۶ تاریخچه‌ای از سیر زمانی تحقیقات مسیریابی خودرویی ایستا، پویا و دوستدار محیط زیست را نشان می‌دهد [۱۷]. مسیریابی پویای ترافیک شامل دو فرایند ثبت تغییرات در محیط شبکه و بروزرسانی مسیر است. در ادامه این بخش انواع مسیریابی‌ها بر اساس دسته بندی انجام شده در [۱۸] مورد بررسی قرار می‌گیرند.

---

[۱] Mesh network

[۲] Scanner

[۳] scan



شکل ۳-۶: تاریخچه سیر زمانی تحقیقات مسیریابی[۱۷]

۳-۴-۱ مسیریابی برخط و برون‌خط

در مسیریابی پویا، الگوریتم مسیریابی با توجه به تغییرات شبکه داخلی و دریافت بازخورد، واکنش لازم را انجام می‌دهد. مسیریابی ترافیکی، از دو نوع مسیریابی برون‌خط و برخط تشکل می‌شود. برخی محققان از عبارت‌هایی مانند مسیریابی ایستا و مسیریابی پویا استفاده می‌کنند.

در مسیریابی برون‌خط یا همان ایستا، مسیر قبل از شروع سفر خودرو براساس مبدا و مقصد برنامه‌ریزی می‌شود. فرآیند مسیریابی با رسیدن خودرو به مقصد به پایان می‌رسد. گروهی از سیاست‌های برون‌خط که به راهبرد قوی[۱] مشهور هستند، داده‌های پیش‌بینی شده در فرآیند مسیریابی را با مهارت اداره می‌کنند. مسیر با راهنمایی داده‌های پیش‌بینی شده و با این فرض که داده‌های پیش‌بینی شده ۱۰۰درصد درست هستند، تولید می‌شود [۱۸].

در مسیریابی برخط، الگوریتم به بهترین صورت ممکن به تغییرها و بازخوردهای آن‌ها قبل از شروع سفر، به‌صورت بی‌درنگ پاسخ می‌دهد. برای پیاده‌سازی این نوع مسیریابی، ابتدا مسیر مشخص می‌شود؛ هنگامی که خودروها در مسیر خود شروع به حرکت کردند، الگوریتم تغییرات را مشاهده می‌کند و در صورت نیاز مسیریابی مجدد صورت می‌گیرد.

[۱] Robust strategy

۳-۴-۲ مسیریابی واکنشی[۱] و Proactive

یکی دیگر از جنبه‌های دیگر مورد بحث در مسیریابی پویا نوع داده است. داده‌های مورد استفاده برای مسیریابی را می‌توان به سه دسته تقسیم بندی کرد. دسته اول داده‌های تاریخچه هستند. دسته دوم داده‌های ترافیکی بی‌درنگ هستند که شرایط کنونی ترافیکی را نشان می‌دهند. دسته سوم داده‌های پیش‌بینی شده هستند که بر اساس داده‌های کنونی و داده‌های تاریخچه محاسبه می‌شوند. درصورتی که فرآیند مسیریابی از داده‌های فعلی استفاده کنند به عنوان مسیریابی واکنشی شناخته می‌شوند. فرایند مسیریابی که شامل داده‌های پیش‌بینی شده هستند، به عنوان مسیریابی proactive شناخته می‌شوند [۱۹].

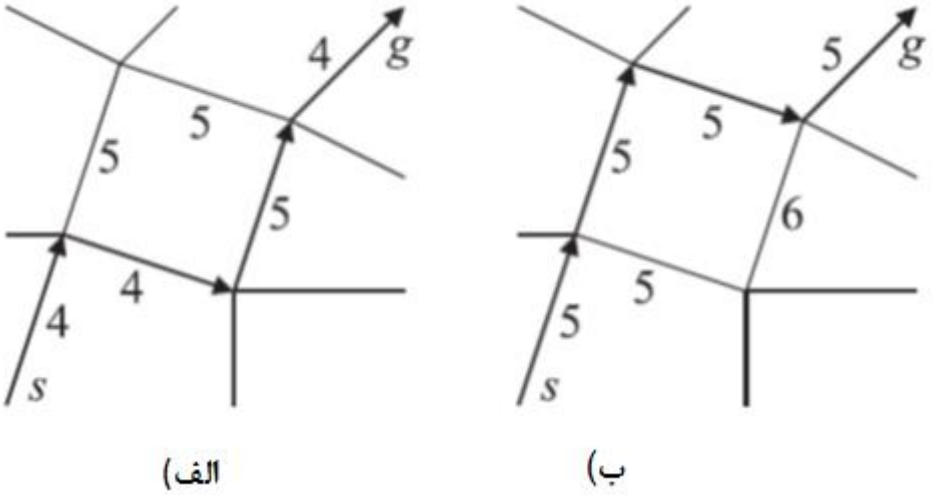
مسیریابی واکنشی از یک تصویر لحظه‌ای اطلاعات ترافیکی بی‌درنگ برای مسیریابی استفاده می‌کند در حالی که مسیریابی proactive از اطلاعات ترافیکی پیش‌بینی‌شده بهره می‌برد. اگرچه پیاده‌سازی مسیریابی با استفاده از راهبرد واکنشی سریعتر است اما به دلیل اینکه آینده شرایط ترافیکی در نظر گرفته نمی‌شود، مسئله تکرار ازدحام رخ خواهد داد.

در مسیریابی proactive، مسیریابی براساس شرایط ترافیکی پیش‌بینی‌شده در آینده صورت می‌گیرد. متغیرهای مختلفی مانند چگالی مسیر، احتمال زمان رسیدن و احتمال اختلال در مسیر برای مسیریابی proactive استفاده می‌شوند. داده‌های proactive بیشتر برای اجتناب از ازدحام مورد استفاده قرار می‌گیرند. Cong و همکاران در [۲۰] مسیریابی proactive را در نظر گرفته‌اند. آن‌ها برای مسیریابی خودروها از متغیر چگالی مسیر استفاده کرده‌اند و خیابان‌هایی که ازدحام در آن‌ها پیش‌بینی شده‌اند، برای مسیر جدید انتخاب نمی‌شوند.

Wilkie و همکاران نیز در [۱۹] از پیش‌بینی در مسیریابی‌های خود استفاده کرده اند. در پژوهش آن‌ها، خودروها ابتدا جستجوهای مختلفی را برای دست‌یابی به مسیرهای بهینه درخواست می‌کنند. اگر یک جستجو از خودرو i در زمان t_0 وارد شود، برای خودروی i یک مسیر از مبدا تا مقصد بر اساس زمان تخمین‌زده‌شده، محاسبه می‌شود. زمان تخمینی بر اساس تابع چگالی تصادفی ($\rho_e(t)$) در هر خیابان e محاسبه می‌شود. حضور خودروی مورد نظر برای مسیریابی خودروهای دیگر در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب سیستم برای تخمین بهینه شرایط ترافیکی در آینده آگاه است. شکل ۳-۷ ایده کلی این پژوهش را نشان می‌دهد.

---

[۱] Reactive



شکل ۳-۷: انتخاب و بروزرسانی مسیر پیشنهادی [۱۹]

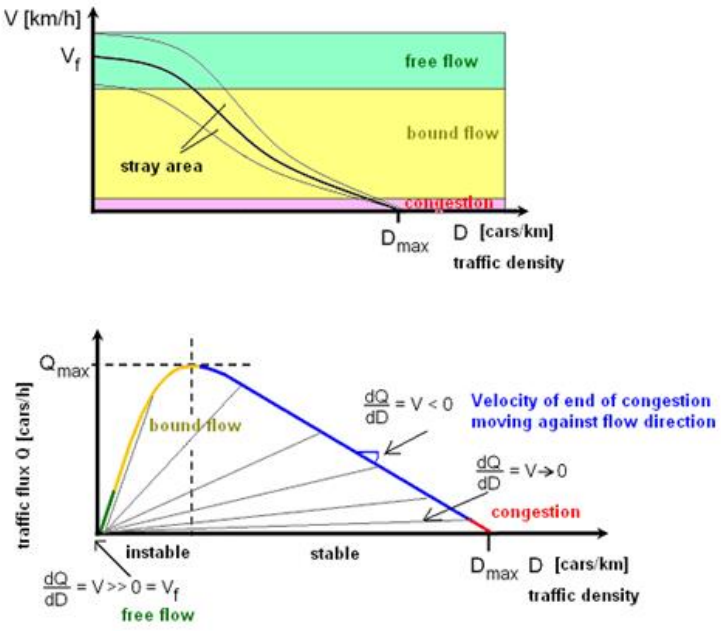
مطابق شکل ۳-۷-الف اگر مسیری از s به g درخواست شود، مسیر بهینه محاسبه می‌شود. اگر خودرو از مسیر پیشنهادی استفاده نماید، چگالی و به عبارتی هزینه یال‌های مسیر انتخاب‌شده افزایش می‌یابد. در شکل ۳-۷-ب شبکه بعد از بروزرسانی یال‌ها نشان داده شده است. در این مقاله از نمودار بنیادی (FD)[۱] نشان داده شده در شکل ۳-۸ استفاده شده است. این نمودار تراکم ترافیکی در یک خیابان را با استفاده از رابطه $v = f_e(\rho)$ به میانگین سرعت نگاشت می‌دهد. حال اگر یک خودرو در زمان t در ابتدای خیابان e باشد، این گونه فرض می‌شود که خودرو با سرعت $f_e(\rho_e(t))$ از خیابان عبور می‌کند. زمان سفر خودروها برای عبور در خیابان e در لحظه t برابر $\tau_e(t)$ است که طبق رابطه (۳-۱) محاسبه شده است. l_e طول خیابان e است.

$$\tau_e(t) = \frac{l_e}{f_e(\rho_e(t))} \qquad (۳-۱)$$

در [۲۱] برای بهبود دقت پیش‌بینی، یک مدل مبتنی بر داده‌های ترافیکی بی‌درنگ ارائه شده است. در این مقاله عملکرد مدل‌های پیش‌بینی زمان سفر با استفاده از داده‌های ترافیکی بی‌درنگ جمع‌آوری شده توسط خودروهای کاوش‌گر[۲]، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نشان داده می‌شود که خودروی کاوشگر ممکن است اطلاعات دقیق از وضعیت ترافیکی را برای مرکز جمع‌آوری اطلاعات ارسال نکند؛ سپس با استفاده از یک مثال مدل پیش‌بینی خود را معرفی کردند.

[۱] Fundamental diagram

[۲] Probe vehicle



شکل ۳-۸: دیاگرام بنیادی رابطه میان چگالی و زمان سفر [۱۹]

در [۲۲] انواع روش‌های جمع‌آوری داده مانند سیستم‌های شناساگر خودروهای خودکار، شناساگرهای حلقوی و حسگرهای مبتنی بر رادار معرفی شده و در ادامه به معرفی جمع آوری داده‌ها با روش FCD[۱] پرداخته است که با استفاده از انتقال دهنده GSM/GPRS و حرکت حسگرهای درون خودرو با جریان ترافیک، داده‌های مورد نیاز مانند سرعت را محاسبه می‌کند و دیگر نیازی به ابزارهای نصب‌شده در کنار جاده ندارد.

اخیرا، روش پیش بینی جریان ترافیک برای شبکه خیابان شهری کنترل شده با چراغ راهنمایی در [۲۳] ارائه شده است. در این مقاله از مدل سرعت-چگالی[۲] بر اساس دیاگرام بنیادی جریان ترافیکی برای بدست‌آوردن زمان سفر یال‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۴-۳ ازدحام ترافیکی بازگشت پذیر(RC)[۳] و غیربازگشت پذیر(NRC)[۴]

ازدحام ترافیکی را می‌توان به دو دسته بازگشت‌پذیر و غیربازگشت‌پذیر تقسیم بندی کرد. ازدحام‌های ترافیکی برگشت‌پذیر به‌صورت دوره‌ای رخ می‌دهند و دلایل وقوع این گونه ترافیک‌ها عدم تعادل جریان ترافیکی در ساعات مختلف شبانه‌روز است. ازدحام‌های غیربازگشت‌پذیر یک اختلال

---

[۱] Floating-Car Data

[۲] Speed-density

[۳] Recurrent

[۴] Non-recurrent

ناخواسته دردرون شبکه جاده‌ای است که می تواند دلایلی چون حوادث غیرمترقبه بارندگی‌های شدید، آب‌گرفتگی خیابان‌ها، ساخت و ساز جاده‌ای، وقایع خاص از قبیل کنسرت‌ها و مسابقات ورزشی باشد [۲۴]. پنج درصد تغییرات روزانه را می‌توان در دسته NRC قرار داد. این تغییرات شامل حجم ترافیک و سرعت خودرو است. ازدحام NRC در ۶۰ درصد تاخیرها در ایالات متحده مشارکت دارد؛ همچنین ۵۰ درصد عوامل تاخیر ترافیکی در حوزه حمل‌ونقل ازدحام NRC است[۲۵]. البته این مسئله به دلیل احتمال وقوع کمتری که نسبت به ازدحام بازگشت‌پذیر دارد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

ازدحام‌های برگشت‌پذیر معمولاً در زمان‌های خاص مانند اوایل صبح و بعد از ظهر در زمان شروع و تعطیلی شرکت‌ها، ادارات و کارخانه‌ها به اوج خود می‌رسد. ازدحام‌های غیربازگشت‌پذیر که به صورت ناگهانی رخ می‌دهد، ممکن است در هر زمانی در طول روز به دلیل تصادف‌ها و غیره رخ دهد. با استفاده از راهنمایی مسیر مرکزی و سیستم‌های ارتباطی برخط و بی‌درنگ این امکان فراهم می‌گردد وضعیت ترافیکی در سریع‌ترین زمان ممکن از سرتاسر شهر جمع‌آوری گردد و بهترین راهکار به کمک سیستم تصمیم‌گیری اتخاذ شود؛ همچنین توصیه‌های مناسب به رانندگانی که درون جاده قرار دارند و از وضعیت به‌وجود آمده بی‌اطلاع هستند، انتقال یابد.

۳-۵ الگوریتم انتخاب مسیر پویا

مسیریابی، فرآیند انتخاب بهترین مسیر در یک شبکه شهری است. در این بخش به مرور اصول بنیادی رویکردهای مسیریابی خودرو می‌پردازیم. بر اساس [۲۶] کارهای انجام شده در زمینه تکنیک‌های انتخاب مسیر پویا را می‌توان به دو گروه الگوریتم‌های بهینه، ابتکاری و ترکیبی دسته بندی کرد.

۳-۵-۱ الگوریتم‌های بهینه

الگوریتم‌های بهینه با استفاده از بررسی تمام مجموعه راه‌حل‌های موجود برای یک مسئله، یافتن راه‌حل بهینه را تضمین می‌کنند. رایج‌ترین الگوریتم‌های بهینه، دایجسترا و Incremental Graph هستند. این الگوریتم‌ها کوتاه‌ترین مسیر از هر گره تا گره‌های دیگر در شبکه شهری را می‌یابند. بر اساس [۲۷]، برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر برای مساله‌های یک‌به‌یک (یک مبدا- یک مقصد)، دایجسترا به عنوان یک الگوریتم ارزشمند در نظر گرفته می‌شود و این الگوریتم به محض برچسب گذاری گره مقصد پایان می‌یابد و کوتاه‌ترین مسیر بدست می‌آید. الگوریتم‌های دیگر فقط زمانی مسیر بهینه را می‌یابند که درخت کامل کوتاه‌ترین مسیرها محاسبه شده باشد؛ به این معنی که

کوتاه‌ترین مسیر برای تمامی گره‌های گراف بدست آید. بنابراین جستجوی کوتاه‌ترین مسیر برای مسائل یک گره به تمام گره‌ها، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر Incremental Graph بسیار مناسب‌تر است. در [۱۳] با استفاده از الگوریتم دایجسترا، سرویس دهنده مرکزی کوتاه‌ترین مسیر را به گره مقصد محاسبه می‌کند.

در [۲۸] چندین روش مسیریابی با استفاده از الگوریتم دایجسترا معرفی شده است. روش DSP[۱] استفاده شده در این پژوهش، یک راهبرد مسیریابی است که به خودروها مسیر با کمترین زمان را تخصیص می‌دهد. پس از شناسایی خیابان‌های دچار ازدحام، سیستم تمام خودروهایی که مسیرشان شامل خیابان‌های دارای ازدحام است را انتخاب می‌کند، سپس برای این خودروها محاسبه کوتاه‌ترین مسیر براساس زمان سفر حال حاضر خیابان‌ها انجام می‌پذیرد. DSP کوتاه‌ترین مسیر را برای مسیریابی استفاده می‌کند. روش‌های بهینه دیگر مورد استفاده در این مقاله شامل RKSP[۲]، EBKSP[۳] و FBKSP[۴] هستند که از k مسیر کوتاه برای مسیریابی چندین خودرو استفاده می‌کنند.

در روش RKSP، k مسیر کوتاه برای مجموعه خودروها با مبدا و مقصد یکسان محاسبه می‌شود و به صورت تصادفی به هریک از خودروها یک مسیر اختصاص داده می‌شود. هدف این راهبرد توقف از انتقال ازدحام از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر با استفاده از ایجاد توازن بار ترافیک میان چندین مسیر است.

در EBSK با استفاده از ایده آنتروپی برگرفته از نظریه اطلاعات شانون، شهرت هر یک از خیابان‌ها مشخص می‌شود و از k مسیر کوتاهی که محاسبه شده بود، مسیری که مجموع خیابان‌های آنها کمترین شهرت را داشته باشند به عنوان انتخاب اول انتخاب می‌شود. مجددا با در نظر گرفتن مسیر کنونی، یک بار دیگر شهرت خیابان‌ها را محاسبه کرده و مسیر با کمترین شهرت را برای خودروی بعدی انتخاب می‌کند. در RKSP و EBKSP بار ترافیکی میان چندین خودروی مسیریابی شده به صورت تصادفی یا با تعادل آنتروپی سیستم میان چندین مسیر توزیع می شد. در هر دوی این موارد ایده اصلی تعادل بار[۵] است. FBKSP به صورت مستقیم با استفاده از یک الگوریتم بهینه سازی

---

[۱] Dynamic shortest path

[۲] Random k-shortest paths

[۳] Entropy Balanced k-shortest paths

[۴] Flow Balanced k-shortest paths

[۵] Load balancing

براساس جستجوی محلی، تعادل بار ترافیکی را انجام می‌دهد؛ وزن هر خیابان معادل تعداد خودروهایی است که در آینده قصد عبور از آن را دارند.

۳-۵-۲ الگوریتم‌های مکاشفه‌ای

رویکردهای مکاشفه‌ای مجموعه‌ای از راه‌حل‌های موجود را تولید می‌کنند. این راه‌حل ها نزدیک به بهینه می‌باشند. رایج‌ترین الگوریتم‌های مکاشفه‌ای عبارت‌اند از: *A، الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی کلونی مورچه و جستجوی ممنوعه[۱]. در این الگوریتم‌ها برای کاهش زمان محاسبه در فرآیند جستجوی بهترین مسیر، یک سری محدودیت‌ها مانند زمان، فضای جستجو و غیره انتخاب می‌شوند.

*A نوعی از الگوریتم دایجسترا می‌باشد با این تفاوت که از یک تابع مکاشفه‌ای برای مکانیزم جستجوی بهینه استفاده می‌کند. *A فضای جستجو را کم می‌کند و زمان محاسبه را کاهش می‌دهد. در [۲۹] یک نسخه توسعه یافته *A برای کاربردهای بی‌درنگ معرفی شده است. در این پژوهش فاصله مستقیم بین مکان فعلی و مقصد به عنوان تابع اکتشافی مورد استفاده قرار گرفته است.

Liao و همکاران [۳۰] برای مسئله مسیریابی از جستجوی ممنوعه استفاده کردند. جستجوی ممنوعه یک جستجوی محلی و مکاشفه‌ای از طریق تکرار است. برای رسیدن به جواب بهینه در یک مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم جستجوی ممنوعه ابتدا از یک جواب اولیه شروع به حرکت می‌کند. سپس الگوریتم بهترین جواب همسایه را از میان همسایه‌های جواب فعلی انتخاب می‌کند. درصورتی‌که این جواب در فهرست ممنوعه قرار نداشته باشد، الگوریتم به جواب همسایه حرکت می‌کند؛ در غیراین‌صورت الگوریتم معیاری به نام معیار تنفس[۲] را چک خواهد کرد. بر اساس معیار تنفس اگر جواب همسایه از بهترین جواب یافت شده تا کنون بهتر باشد، الگوریتم به آن حرکت خواهد کرد، حتی اگر آن جواب در فهرست ممنوعه باشد. پس از حرکت الگوریتم به جواب همسایه، فهرست ممنوعه بروزرسانی می‌شود؛ به این معنا که جواب قبلی که بوسیله‌ی آن به جواب فعلی حرکت کردیم در فهرست ممنوعه قرار داده می‌شود تا از بازگشت مجدد الگوریتم به آن جواب و ایجاد دور جلوگیری شود. در واقع فهرست ممنوعه ابزاری در الگوریتم جستجوی ممنوعه‌است که توسط آن، از قرار گرفتن الگوریتم در بهینه‌ی محلی جلوگیری می‌شود. پس از قرار دادن جواب قبلی در فهرست ممنوعه، تعدادی از جواب‌هایی که قبلاً در فهرست ممنوعه قرار گرفته بودند از فهرست خارج می‌شوند.

---

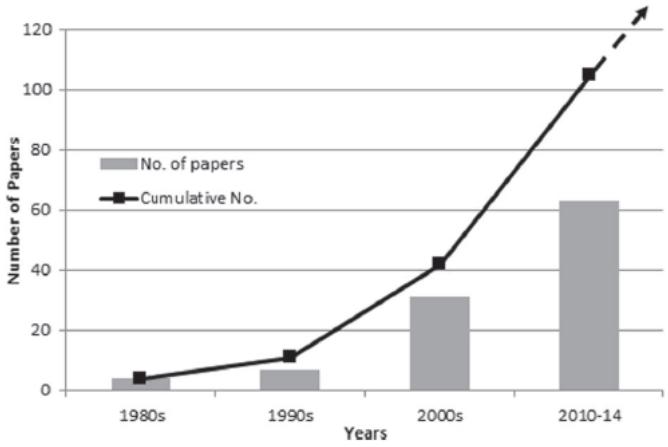
[۱] Tabu search

[۲] Aspiration

جستجو بعد از تعداد ثابتی از تکرار یا بعد از تعدادی تکرار متوالی بدون هیچ بهبود نسبت به بهترین راه‌حل شناخته شده پایان می‌پذیرد. در پژوهش‌های [۲۸, ۳۱] از الگوریتم‌های مکاشفه‌ای برای مسیریابی خودروها استفاده شده است. Pan و همکاران [۲۸] همچنین، با استفاده از الگوریتم توسعه یافته *A و اولیت بندی خودروها با مبدا و مقصد یکسان، خودرو با اولویت بالاتر را مسیریابی می‌کند. در این روش مسیریابی یک خودرو بر روی خودروهای دیگر تاثیر می‌گذارد. Tatomir و همکاران در [۳۱] از الگوریتم کنترلی مبتنی بر کلونی مورچه استفاده کردند. در این الگوریتم بر اساس اطلاعات ترافیکی کنونی، تاریخچه اطلاعات و با پیش‌بینی بار ترافکی جاده‌ها در آینده ، از ازدحام ترافیکی جلوگیری می‌کند.

۳-۶ میزان رشد تحقیقات در زمینه مسیریابی خودرو

شکل ۳-۹ تعداد پژوهش‌های انجام شده در زمینه مسیریابی خودرو را در دهه اخیر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، یک افزایش نمایی در تعداد مقاله‌های منتشر شده بر روی مسیریابی خودرو، نشان از روند بسیار سریعتر پژوهش‌ها در آینده‌ای نزدیک دارد.



شکل ۳-۹: رشد انتشار مقالات مسیریابی خودرو [۱۷]

۳-۷ نتیجه گیری

در این فصل ابتدا تاریخچه‌ی سیستم و مدیریت کنترل ترافیک را بررسی کردیم و برخی از پژوهش‌های مبتنی بر فن‌آوری‌های نوین در شبکه حمل و نقل را معرفی کردیم. سپس سیر زمانی تحقیقات در زمینه مسیریابی را بیان نمودیم. در ادامه تحقیقات صورت گرفته با توجه به انواع مسیریابی‌های برخط و برون‌خط، واکنشی یا proactive را شرح دادیم. همچنین عوامل به وجود آمدن ازدحام ترافیکی بازگشت‌پذیر و غیربازگشت‌پذیر را معرفی کردیم. در دامه دیدیم، الگوریتم‌های انتخاب مسیر پویا خود به چندین گروه تقسیم بندی شدند. انواع الگوریتم‌های انتخاب مسیر پویا و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه را معرفی کردیم. در نهایت حجم تحقیقات صورت گرفته در زمینه مسیریابی خودرو را در یک دهه اخیر نشان دادیم.

فصل ۴

روش پیشنهادی برای بهبود جریان ترافیک شهری

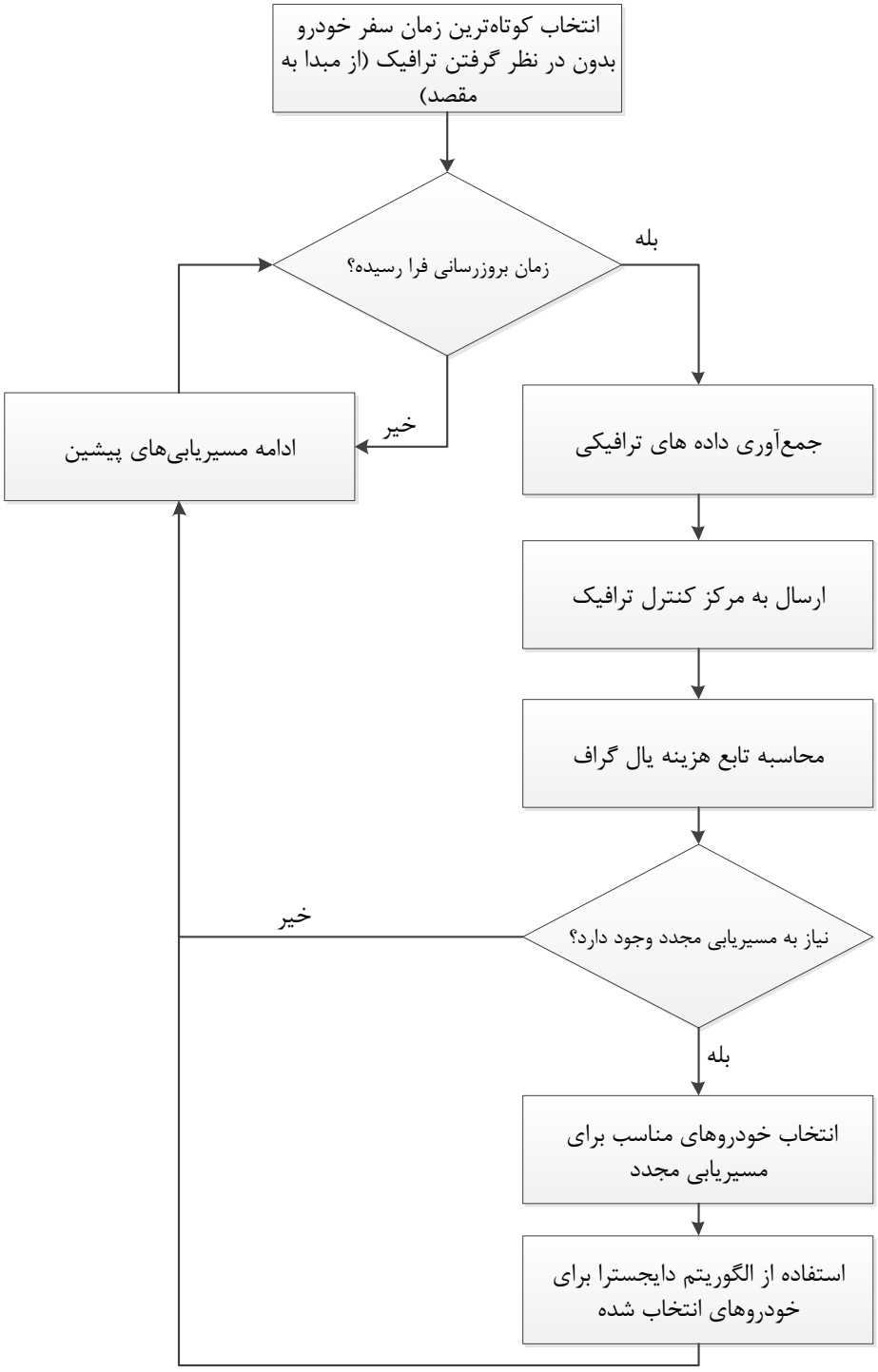
۴-۱ مقدمه

در دنیای امروزی داده‌های ترافیکی بی‌درنگ و زمان سفر در خیابان‌ها با استفاده از حسگرها و فناوری‌های انتقال اطلاعات میسر شده است. سوال این است که چگونه این دانش، هوشمندانه برای جلوگیری از ازدحام و کاهش زمان سفر رانندگان مورد استفاده قرار گیرد.

در این فصل به بررسی روش پیشنهادی برای بهبود جریان ترافیکی در شهر می‌پردازیم. برای انجام هر گونه تحلیل و تخمین وضعیت ترافیکی، ابتدا باید داده‌های ترافیکی موجود در شهر را جمع‌آوری نمود. با استفاده از حسگرهایی که در سطح شهر وجود دارند، داده‌های مورد نظر جمع‌آوری می‌شوند. شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای را به عنوان گرافی وزن‌دار از یال‌ها و گره‌ها درنظر می‌گیریم. در این گراف یال معادل خیابان و گره‌ها معادل تقاطع هستند. در بیشتر تحقیقات زمان سفر در خیابان را به عنوان وزن یال‌ها در نظر می‌گیرند. زمان سفر با استفاده از روش‌های مختلفی قابل محاسبه است که در بخش ۲-۵فن‌آوری‌های نوین در حمل و نقل، این روش‌ها معرفی شدند. یکی از مدل‌های محاسبه سرعت و زمان سفر، مدل Greenshield است که از یک رابطه خطی بین تراکم ترافیکی و سرعت تخمینی استفاده می‌کند و بر این اساس می‌توان زمان سفر در هر خیابان را محاسبه کرد. با فرض استفاده از فناوری IoT و اطلاعاتی که راجع به مسیر حرکت خودروها، زمان چراغ‌های راهنمایی، ظرفیت باقیمانده خیابان‌ها می‌دانیم؛ یک مدل جدید به منظور پیش‌بینی زمان سفر برای هر کدام از خیابان‌ها ارائه می‌کنیم. پس از شناسایی احتمال رخداد ازدحام در هر خیابان، نحوه انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد اهمیت بالایی دارد، به‌طوری که این نحوه انتخاب، سبب جلوگیری از ازدحام شده و از ایجاد ازدحام در نقاط دیگر جلوگیری کند. در ادامه به ارائه روشی برای این منظور

می‌پردازیم و در نهایت یک روش انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا ارائه می‌دهیم به طوری که انتخاب مسیر برای یک خودرو، به‌طور مستقیم در انتخاب مسیر خودروهای بعدی تأثیر خواهد داشت.

چهارچوب ارائه شده در شکل ۴-۱، عملکرد روش پیشنهادی ما را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱: چهارچوب کلی روش پیشنهادی

۲-۴ تخمین داده‌های ترافیکی

ما شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای را به عنوان گرافی مشتمل بر یال‌ها (E) و گره‌ها (N) در نظر گرفتیم. خودروها درون یال‌ها حرکت می‌کنند و هرچه بر ازدحام یال‌ها افزوده می‌شود، سرعت خودروها نیز کاهش می‌یابد. هر کدام از یال‌ها دارای وزن هستند که وزن‌ها، زمان سفر تخمینی در یال مورد نظر می‌باشند. وزن یال‌ها به‌صورت دوره‌ای محاسبه شده و در دسترس می‌باشند. روش‌های گوناگونی برای تخمین زمان سفر جاده‌ای وجود دارند. می‌توان از دستگاه‌های GPS[۱] بر اساس ذخیره داده‌ها، GSM[۲] بر اساس داده‌های جریان خودروهایی(FCD)[۳] و بلوتوث [۷] نام برد. یکی از روش‌های تخمین زمان سفر مدل Greenshield است که یک رابطه خطی بین تراکم ترافیکی و سرعت تخمینی وجود دارد. این روش به‌صورت گسترده‌ای در مدل‌های پژوهشگران حمل‌ونقل مورد استفاده قرار گرفته شده است در مقاله [۲۸] به‌صورت رابطه (۴-۱) بیان شده است:

$$V_i(k) = V_f(1 - \frac{X_i(k)}{X_{jam}}) \qquad T_i(k) = \frac{L_i}{V_i(k)} \tag{۱-۴}$$

X_{jam} حداکثر ظرفیت در خیابان iام

$X_i(k)$: میزان ترافیک شناسایی شده خیابان iام در فاصله زمانی k ام

V_f سرعت جریان آزاد در خیابان iام

L_i و $T_i(k)$ به ترتیب طول خیابان iام و زمان سفر تخمین زده شده در خیابان i در فاصله زمانی kام

اصولا $\frac{X_i}{X_{jam}}$ نسبت میانگین تعداد خودروهایی که در حال حاضر در خیابان وجود دارند و حداکثر ظرفیت خودرویی خیابان مورد نظر است، تعداد خودروهای موجود در خیابان را می‌توان با استفاده از فناوری‌های مختلف جمع‌آوری داده‌های ترافیکی، گردآوری نمود. حداکثر تعداد خودرو در خیابان ها طبق رابطه (۴-۲) محاسبه می‌گردد.

$$X_{jam} = \frac{road's\ \ length * number\ of\ lane}{average\ of\ vehicle\ length + \min gap} \tag{۲-۴}$$

[۱] Global position system

[۲] Global system for mobile communication

[۳] Floating car data

در مدل ارائه شده برای محاسبه زمان سفر در یال، اثر یال‌های پایین دست بر روی یال‌های بالادست اعمال نشده است. به عنوان مثال اگر در یال پایین دست ظرفیت یال بسیار کمتر از یال‌های بالا دست باشد، بعد از پر شدن یال دیگر امکان ورود خودرو از یال‌های بالا به این یال وجود ندارد، همچنین چه تعداد از خودروها در یال بالادست در زمان سبز بودن چراغ راهنمایی می‌توانند از تقاطع عبور کنند. حال بایستی زمان سفر را برای خودروها به چه صورت محاسبه کرد؟ در روش جدید برای محاسبه تابع هزینه، این مسئله مدنظر قرار گرفته است که در رابطه (۴-۷) نشان داده شده است.

در ابتدا حداکثر جریان خروجی ممکن از یال i به یال پایین دست $(i+1)_d$ که جریان ترافیکی وارد آن می‌شود، در مدت زمان سبز بودن چراغ راهنمایی و در فاصله زمانی k را که با $S_{i\to(i+1)_d}(k)$ نشان می‌دهیم. از رابطه (۴-۳) این مقدار را تخمین می‌زنیم.

$$S_{i\to(i+1)_d}(k)=\frac{T^{green}_{i\to(i+1)_d}(k)}{saturation\ headway} \qquad (۳-۴)$$

فاصله زمانی بین دو خودرو در حالت اشباع در سیستم حمل‌ونقل، با توجه به رابطه (۴-۴) معمولا برابر ۱,۹ ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

Saturation flow rate=1900 vehicles/hour/lane =0.53 vehicle/second/lane

$$Headway=\frac{1}{Saturation\ flow\ rate} \qquad (۴-۴)$$

$$Headway=\frac{1}{1900}*3600=1.9sec$$

حداکثر چرخه و حداکثر زمان مورد نیاز برای تخلیه خیابان iام به ترتیب از رابطه (۴-۵) و (۴-۶) بدست می‌آید.

$$N_i(k)=\underset{d=1}{\overset{D_i}{}}Max\left\{Max\left\{\frac{X_i(k)*\gamma_{i\to(i+1)_d}(k)}{\left(X_{jam_{(i+1)_d}}-X_{(i+1)_d}(k)\right)+1},\frac{X_i(k)*\gamma_{i\to(i+1)_d}(k)}{S_{i\to(i+1)_d}(k)}\right\}\right\} \qquad (۵-۴)$$

$$H_i(k)=T_{cycle,i\to(i+1)}*N_i(k) \qquad (۶-۴)$$

$$F_i(k)=T_i(k)+H_i(k) \qquad (۷-۴)$$

$X_i(k)$: میزان ترافیک شناسایی شده خیابان i ام در در فاصله زمانی k ام

$\gamma_{i\to(i+1)_d}(k)$: نسبت تقسیم ترافیک بر روی خیابان iام که در فاصله زمانی kام وارد خیابان پایین دست d ام می شود.

$X_{jam_{(i+1)_d}}$: حداکثر ظرفیت در خیابان پایین دست d ام از خیابان i

$N_i(k)$: حداکثر چرخه مورد نیاز برای تخلیه خیابان iام

$T_{cycle,i\to(i+1)}$: مدت زمان یک چرخه برای خیابان iام

$H_i(k)$: مدت زمان لازم برای تخلیه خیابان iام

$F_i(k)$: تابع هزینه زمان سفر یک خودرو از ورود تا زمانی که از خیابان خارج شود

$T_i(k)$: زمان سفر پیش‌بینی شده درون خیابان i ام در فاصله زمانی kام

با توجه به ۱- تعداد خودروهای موجود در خیابان i ام، ۲- دانستن اینکه چه درصدی از خودروهای موجود درخیابان قصد ورود به هر یک از خیابان‌های پایین‌دست را دارند، ۳- ظرفیت اشباع تقاطع، ۴- ظرفیت باقیمانده از خیابان‌های پایین‌دست و با استفاده از رابطه (۴-۷)، می‌توان تابع هزینه زمان سفر جدید برای هر یک از خیابان‌ها محاسبه کرد. بر اساس تابع هزینه جدید هر یک از خودروهای انتخابی مسیریابی مجدد می‌شوند.

۴-۳ تشخیص و پیش‌بینی ازدحام

در سیستم پیشنهادی فرض بر این است که خودروها از طریق شبکه اینترنت توسط سیستم مرکزی قابل دسترس هستند و تمامی اطلاعات از جمله مبدا و مقصد خودروها موجود است. همچنین به‌صورت دوره‌ای، داده های ترافیکی مانند میزان ترافیک در هر خیابان، $X_i(k)$، از طریق حسگرهای موجود در شبکه هر τ ثانیه جمع آوری و به سیستم مرکزی ارسال می‌شود، که k نمایه فواصل کنترل ترافیک می‌باشد. براساس داده‌های ترافیکی لحظه‌ای جمع‌آوری‌شده، در صورتی که $\frac{X_i(k)}{X_{jam_i}} \geq \delta$ باشد، خیابان i ام علائم ازدحام را نشان می‌دهد. $\delta\epsilon[0,1]$ حد آستانه ازدحام و X_{jam_i} ظرفیت خیابان iام است.

۴-۴ روش انتخاب خودرو برای مسیریابی مجدد

زمانی که احتمال رخداد ازدحام در بخشی از شبکه جاده‌ای تشخیص داده می‌شود، با حذف خودروهایی که مسیر عبورشان شامل خیابان مورد نظر است، امکان کاهش تراکم ترافیکی در آن بخش ایجاد می‌گردد. برای تصمیم‌گیری در انتخاب خودروها، اینکه در چه فاصله‌ای از خیابان متراکم قرار داشته باشند تا برای مسیریابی مجدد انتخاب شوند و این امر سبب کاهش تراکم ترافیکی نیز گردد، می‌توان از پارامتر L استفاده کرد؛ یعنی خودروهایی که در خیابان‌های تا L گام بالاتر از نقطه ازدحام قرار دارند، برای مسیریابی مناسب هستند. ما باید L را به‌گونه‌ای انتخاب کنیم که بهترین نتیجه را در پی داشته باشد. اگر مقدار L از حدی بیشتر گردد خودروهای انتخابی می‌توانند به حدی زیاد شوند که سبب ایجاد تراکم ترافیکی در نقاط دیگر شود. برای L مقادیر ۱، ۲ و ۳ و ۴ را در شبیه‌سازی آزمایش می‌کنیم. یعنی خودروهایی که ۱، ۲ ، ۳ یا ۴ خیابان بالاتر از نقطه ازدحام هستند و مسیرشان از نقطه ازدحام عبور می‌کند برای مسیریابی مجدد انتخاب می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که هرچقدر L از ۲ بزرگتر می‌شود نتایج بدست آمده بدتر شده و میانگین زمان سفر و انتظار افزایش می‌یابد.

۴-۵ تنظیم چراغ راهنمایی

در این بخش به کنترل تطبیقی چراغ راهنمایی با استفاده از حسگرهای موجود در چهارراه می‌پردازیم. در هر چهارراه چندین خط وارد می‌شوند و هر کدام از این خطوط نسبت به هم دو وضعیت همروند و یا ناهمروند دارند. اگر خودروهای دو خط متمایز همزمان وارد چهارراه شوند، این دو خط نسبت به هم همروند هستند. در شکل ۲-۱ چهار گروه همروندی نشان داده شد. مدت زمانی که چراغ راهنمایی برای عبور یک گروه همروند سبز است بعلاوه زمان‌های تلف شده(شامل چراغ زرد و تمام قرمز) را فاز می‌نامیم. به مجموع مدت زمانی که همه گروه‌ها یک فاز را سپری کنند یک چرخه می‌گوییم. هر کدام از چراغ‌های راهنمایی با توجه به نوع تقاطع و تعداد گروه‌های همروندی می‌توانند تعداد فازهای مختلفی داشته باشند. در این پژوهش برای تنظیم پویای فازهای چراغ راهنمایی، مولفه‌های minDuration و maxDuration را نیز افزوده‌ایم. به‌صورت پیش‌فرض زمان هر فاز به میزان minDuration تنظیم شده است. در فاصله detector-gap=2m از چراغ راهنمایی حسگر برای تشخیص خودرو قرار داده شده، درصورتی‌که بعد از اتمام زمان minDuration، حسگر هیچ خودرویی را تشخیص ندهد چراغ راهنمایی وارد فاز بعدی می‌شود در غیر اینصورت به میزان max-gap=3s به زمان فاز افزوده می‌شود و این امر ممکن است تا زمان maxDuration ادامه یابد.

۴-۶ انتخاب مسیر روش‌های پیشنهادی

پس از محاسبه هزینه سفر با استفاده از تابع هزینه بدست آمده از بخش ۴-۲، مسیریابی با روش‌های پیشنهادی DDVR و PDDVRWF در ادامه توضیح داده می‌شود.

۴-۶-۱ مسیریابی خودرویی پویا با راهبرد الگوریتم دایجسترا (DDVR)

در هر دوره زمانی τ ثانیه با استفاده از داده‌های ترافیکی جمع‌آوری‌شده توسط حسگرها، وضعیت ترافیکی، مانند تعداد خودروهای موجود در هر خیابان، نسبت تقسیم ترافیک بر روی هر خیابان به خیابان‌های پایین‌دست در فواصل زمانی مشخص و در نهایت هزینه سفر در هر یک از خیابان‌ها محاسبه می‌شود. بعد از انتخاب خودروها، با استفاده از الگوریتم دایجسترا و به کمک تابع هزینه پیشنهادی که زمان سفر را پیش‌بینی می‌کند، ادامه مسیر برای خودروها محاسبه می‌شود و برای خودروها ارسال می‌گردد.

۴-۶-۲ مسیریابی با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا

این الگوریتم، تغییر یافته الگوریتم دایجسترا است که مسیریابی برای یک خودرو بر روی مسیریابی‌های دیگر خودروها تأثیر می‌گذارد که با علامت اختصاری[۱] PDDVRWF نشان می‌دهیم. در روش‌های پیشین اگر رانندگان مسیر یکسانی را در پنجره زمانی آینده انتخاب کنند، امکان ایجاد ازدحام در مسیرهای منتخب وجود خواهد داشت. با فرض اینکه تمامی رانندگان مسیر انتخابی را به اشتراک می‌گذارند، در این الگوریتم این امکان برای سیستم وجود دارد که از ردپای هر یک از خودروهای مسیریابی شده برای مسیریابی‌های بعدی استفاده کند و از ازدحامی که ممکن است در آینده ایجاد شود، جلوگیری نماید.

برای هر خیابان i مقدار n_i برابر تعداد خودروهایی است که مسیرشان شامل خیابان i است. تابع f_{r_i} مقدار وزن‌دهی شده خیابان iام از خودروهایی است که قصد عبور از آن را دارند و برابر $f_{r_i} = \frac{n_i}{Xjam_i}$ است. هر چه f_{r_i} بزرگتر باشد احتمال رخداد ازدحام در خیابان مورد نظر بیشتر می‌شود؛ پس باید برای مسیریابی‌های بعدی در حد امکان از خیابان‌های با f_{r_i} بزرگتر استفاده نشود. برای تمایز قائل شدن با توجه به مشخصات خیابان‌ها از $Xjam_i$ استفاده کرده‌ایم. فرض کنید برای دو خیابان i و j $n_i=n_j$ باشد. اگر ظرفیت خیابان iام بیشتر از خیابان jام باشد جریان ترافیکی در خیابان

[۱] Predicted Dynamic Dijkstra vehicle routing *with* weighted *Footmark*

iام نسبت به خیابان jام روان‌تر و احتمال رخداد ازدحام کمتر خواهد بود. در نهایت برای هر خیابان تابع هزینه مطابق رابطه (۴-۸) محاسبه می‌گردد:

$$F_{r_i}(k) = F_i(k) * (1 - \zeta) + f_{r_i}(k) * \zeta \quad (۴-۸)$$

ζ: ضریب وزن‌دهی

$F_i(k)$: تابع هزینه بدست آمده از رابطه (۴-۷)

$F_{r_i}(k)$: تابع هزینه با درنظر گرفتن وزن‌دهی پویا

۴-۷ شبیه‌سازی

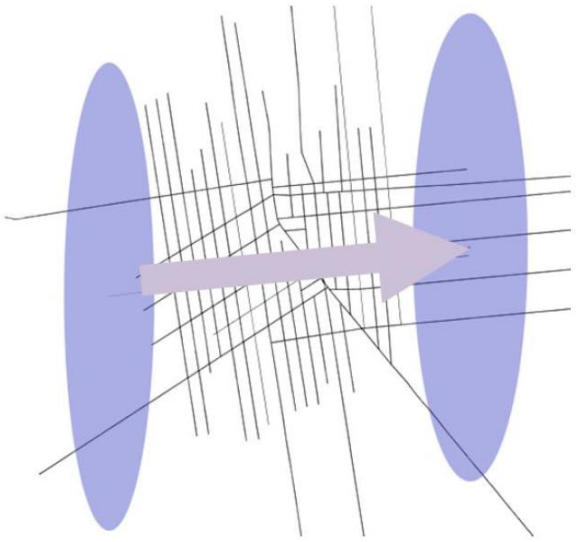
برای انجام شبیه سازی از SUMO 0.24.0 و TraCI استفاده شده است. SUMO یک مجموعه شبیه ساز ترافیکی میکروسکوپیک، متن باز و قابل حمل است و برای شبکه های بزرگ جاده‌ای طراحی شده است. TraCI یک کتابخانه است که دستورات کنترلی رفتار شبیه ساز مانند وضعیت خودرو، تنظیمات جاده‌ای و چراغ‌های راهنمایی را فراهم می‌کند. الگوریتم‌های مسیریابی و تنظیمات پویای چراغ‌های راهنمایی از طریق این کتابخانه و با استفاده از برنامه‌نویسی به زبان Python صورت گرفته است. برای استفاده از نقشه خیابان‌های شهر در شبیه‌ساز SUMO می‌توان از OpensStreetMap (OSM) [۳۲] استفاده کرد. OSM یک نقشه شهری کامل از جهان است که توسط بسیاری از افراد و با استفاده از تصاویر هوایی، دستگاه‌های GPS و غیره کامل شده و بروز رسانی گردیده است. بعد از دانلود نقشه مورد نظر از طریق OSM، با استفاده از Netconvert فایل‌های OSM تبدیل به فایل‌های مورد استفاده برای SUMO می‌گردند. با استفاده از Netconvert می‌توان جاده‌های ریلی، تونل‌ها و مسیرهای اتوبوس و ... را از نقشه حذف کرد و برای خیابان‌ها محدودیت‌های سرعت را مشخص نمود. در این پژوهش برای امکان مقایسه با روش‌های دیگر از نقشه شهری بروکلین و نقشه مسیر موجود در پژوهش پن و همکاران [۲۸] استفاده کرده‌ایم. بروکلین، یکی از پنج بخش نیویورک با وسعت ۷۷٫۸۵ کیلومتر مربع، ۱۵۵/۵۵ کیلومتر طول خیابان‌ها، تعداد ۱۹۲ تقاطع و ۵۵۱ خیابان است. با شبیه‌سازی‌ها عملکرد روش خود را با راهبردهای دیگر مقایسه کرده‌ایم.

نقشه جریان ترافیکی شبکه جاده‌ای بروکلین در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. تعداد ۱۰۰۰ خودرو در شبکه بروکلین وجود دارند که از ناحیه چپ شبکه به ناحیه راست شبکه در بازه زمانی صفر تا ۱۰۰۰ ثانیه شروع به حرکت می‌کنند. در جدول ۴-۱پارامترهای استفاده در شبیه‌سازی معرفی

شده‌اند. همچنین برای مقایسه نتایج برای حالت‌های کم‌ترافیک و پرترافیک، شبیه‌سازی با ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، و ۲۵۰۰ خودرو نیز انجام شده است.

جدول ۴-۱: پارامترهای استفاده شده در شبیه‌سازی

پارامتر	تعریف
تناوب	فاصله زمانی برای پیش بینی و انجام مسیریابی مجدد(ثانیه)= ۱۲۰،۲۵۰،۳۵۰،۴۵۰
آستانه ازدحام δ	اگر $\frac{X_i(k)}{X_{jam}} > \delta$ باشد، خیابان مورد نظر در فاصله زمانی kام دارای ازدحام می‌باشد. $\delta = ۰.۶$
سطح L	عمق شبکه از محل ازدحام که برای انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد استفاده می‌شود. $L = ۱،۲،۳$



شکل ۴-۲: جریان ترافیکی در شبکه جاده‌ای بروکلین [۲۸]

۸-۴ نتیجه‌گیری

در این فصل به بررسی روش پیشنهادی برای بهبود جریان ترافیکی در شهر پرداختیم. ابتدا با استفاده از حسگرهایی که در سطح شهر وجود دارند، داده‌های مورد نظر را جمع‌آوری و یک گراف وزن‌دار از شبکه شهری ایجاد کردیم. با استفاده از یک مدل جدید، پیش‌بینی زمان سفر برای هر کدام از خیابان‌ها را انجام دادیم. در شبکه شهری بروکلین، پس از شناسایی احتمال رخداد ازدحام در هر خیابان، به انتخاب خودروها برای مسیریابی مجدد پرداختیم به طوری که باعث کاهش ازدحام ترافیکی شود و از ایجاد ازدحام در نقاط دیگر جلوگیری گردد. در نهایت یک روش انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا ارائه شد به طوری که انتخاب مسیر برای یک خودرو، به‌طور مستقیم در انتخاب مسیر دیگر خودروها تأثیر خواهد داشت.

فصل ۵

نتایج ارزیابی

۵-۱ مقدمه

در این فصل روش‌های پیشنهادی برای بهبود شرایط ترافیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ابتدا مشخصات ترافیکی شبکه شهری تشریح می‌شود. پس از شناسایی مناطقی که احتمال ازدحام در آنجا وجود دارد، انتخاب خودرو با استفاده از پارامترهای مربوط به آن انجام می‌گیرد. با استفاده از مدل ارائه شده، هزینه یال‌های گراف محاسبه شده و برای خودروها با استفاده از الگوریتم دایجسترا مسیر بهینه محاسبه و به کمک روش DDVR مسیریابی انجام می‌شود. در ادامه خودروها با استفاده از روش پیشنهادی PDDVRWF مسیریابی می‌شوند. در نهایت نتایج حاصل از روش‌های پیشنهادی در این پژوهش را با سایر روش‌های پیشنهادی در پژوهش [۲۸] مقایسه می‌شود.

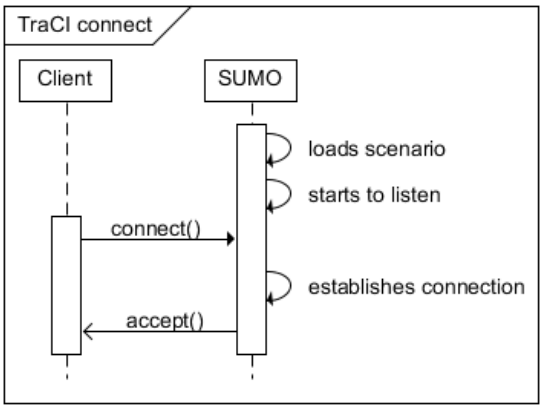
۵-۲ تنظیمات شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی از تنظیمات پیش‌فرض در Sumo استفاده کرده‌ایم. طول خودروها ۵ متر، حداقل فاصله بین خودرو برابر ۲,۵ متر، مدل تعقیب خودرو[۱] Krauss[۲] [۳۳]، شتاب $\frac{m}{s^2}$ ۲.۶ و نقص و خطا در رانندگی ۰,۵ مقداردهی شده است. با مشاهدات بدست آمده از شبیه ساز، میانگین زمان عبور یک خودرو از یک تقاطع در هر خط عبور برابر ۲ ثانیه است. با استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون و کتابخانه TraCI با شبیه‌ساز SUMO ارتباط برقرار کرده و دستورات لازم را با توجه به داده‌های

[۱] Car following model

[۲] تاکنون مدل‌های مختلفی برای بیان رفتار خودروها در تنظیم فاصله خود نسبت به وسیله نقلیه جلوتر در قالب یک فرمول‌بندی ریاضی ارائه شده است. این مدل‌ها در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی استفاده می‌شوند. Krauss، BKerner، Wiedemann و PWagner2009 برخی از مدل‌های «حرکت خودرو به‌دنبال هم» هستند.

جمع‌آوری‌شده به شبیه‌ساز ارسال کردیم. شکل ۵-۱ نحوه برقرار ارتباط با شبیه‌ساز SUMO را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱: برقراری ارتباط با شبیه‌ساز sumo با استفاده از TraCI [۳۴]

۵-۳ سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن چراغ راهنمایی ایستا

پارمترهای مختلفی در مدیریت کنترل ترافیک تاثیرگذار هستند. استفاده هر کدام از پارامترها به تنهایی می‌توانند تأثیر مثبت یا منفی در وضعیت ترافیک داشته باشند. با لحاظ کردن چندین پارامتر به‌صورت همزمان امکان شناخت بیشتر نسبت به محیط اطراف بوجود آمده و می‌توان تصمیم‌گیری بهتری انجام داد. با توجه به در نظر گرفتن چراغ راهنمایی ایستا در [۲۸]، برای مقایسه عادلانه از چراغ راهنمایی ایستا استفاده کردیم. با استفاده از تابع هزینه جدید، میانگین زمان سفر خودروها در شهر را با چندین حجم متفاوت خودرویی در خیابان‌ها مورد بررسی قرار دادیم تا عملکرد الگوریتم پیشنهادی را با در نظر گرفتن شبکه کم‌ترافیک و پرترافیک، با روش‌های دیگران مورد مقایسه قرار دهیم. همچنین در ادامه میانگین تعداد مسیریابی‌های مجدد و میانگین زمان انتظار را نیز محاسبه کردیم. زمان‌های نمونه برداری و کنترلی بر نتایج شبیه‌سازی تاثیرگذار هستند. هر چه میزان زمان‌های نمونه‌برداری و کنترلی کمتر باشند، اطلاعات مربوط به وضعیت ترافیکی شهر سریعتر بدست آمده و می‌توان تصمیمات بهتری را گرفت. با افزایش زمان نمونه برداری، تصمیم‌گیری‌ها کندتر صورت می‌گیرد و ممکن است با تصمیم‌گیری دیرهنگام، بسیاری از خودروها نتوانند به مسیر مناسب دست یابند. مقادیر مختلف پارامتر زمان نمونه برداری در بخش بعد بر شبیه‌سازی اعمال می‌شود و نتایج آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در روش DDVR پیش‌بینی احتمال ترافیک به کمک یک حد آستانه تخمین زده می‌شود. با عبور «نسبت خودروهای درون یک خیابان به ظرفیت خیابان» از مقدار حد آستانه، سیستم، خیابان

مورد نظر را به عنوان خیابان مستعد ازدحام ترافیکی درنظر می‌گیرد و خودروهای درون خیابان‌های مجاور بالادست را انتخاب می‌کند و با استفاده از مدل جدید محاسبه هزینه خیابان‌ها، مسیریابی را انجام می‌دهد. در روش پیشنهادی PDDVRWF مسیرهای حرکت خودروها، در پیش‌بینی وضعیت ترافیکی خیابان‌ها تاثیرگذار هستند. با بیشتر شدن نام یک خیابان در مسیر عبوری خودروها احتمال پرترافیک شدن آن خیابان افزایش می‌یابد و سبب افزایش هزینه خیابان مورد نظر می‌شود. همین امر باعث می‌شود در مسیریابی خودروهای بعدی مسیر دیگری انتخاب شود. این کار سبب جلوگیری از ازدحام در سطح خیابان‌های شهر می‌گردد

در بخش ۵-۳ کارهای صورت گرفته برای مسیریابی با درنظر گرفتن چراغ راهنمایی حالت ایستا انجام شده است. در بخش ۵-۴، شبیه‌سازی با چراغ‌های راهنمایی پویا یا انطباقی اجرا شده است و نتایج شبیه سازی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

۵-۳-۱ میانگین زمان سفر

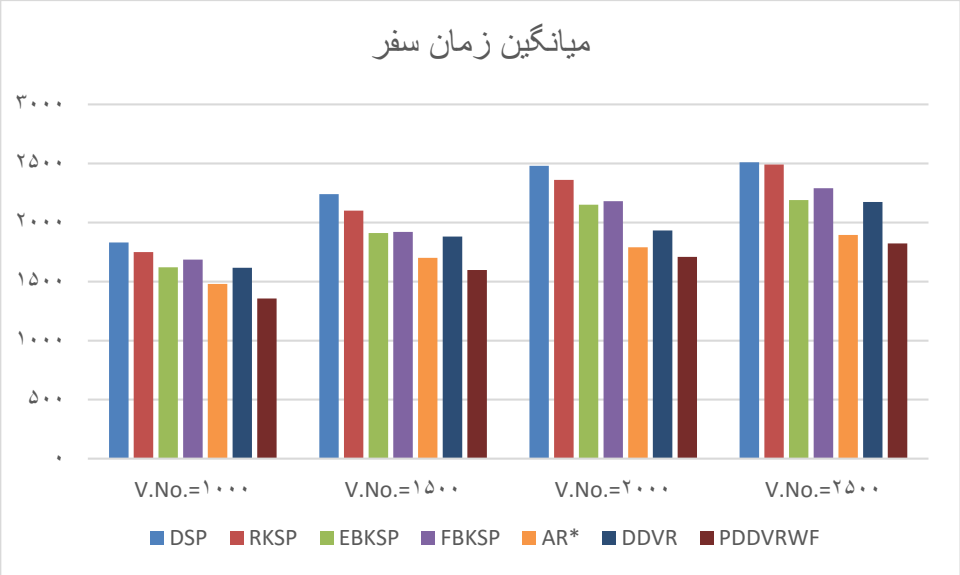
یکی از معیارهای ارزیابی سیستم میانگین زمان سفر خودروها است. در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۲ نتایج بدست آمده از روش‌های پیشنهادی و روش‌های پژوهش [۲۸] را نشان داده شده است. ارزیابی میانگین زمان سفر، با درنظر گرفتن حجم‌های مختلف ترافیکی و برای تعداد ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ خودرو در شبیه‌سازی، صورت گرفته است.

در روش DSP [۲۸] بعد از هر مشاهده ازدحام، تمامی خودروهایی که قصد عبور از نقطه ازدحام را دارند برای مسیریابی انتخاب می‌شوند. در صورتی که بسیاری از این خودروها نیازی به مسیریابی مجدد ندارند و این کار حتی ممکن است سبب جابجایی ازدحام از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر شود. به همین دلیل میانگین زمان بدست آمده از روش DSP مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهند. در سه روش RKSP، EBKSP و FBKSP [۲۸] مسیریابی برای مجموعه‌ای از خودروها با مبدا و مقصد یکسان صورت می‌گیرد. چندین مسیر برای مبدا و مقصد تعیین‌شده محاسبه می‌شوند و هر مسیر به یکی از خودروها به ترتیب به صورت تصادفی، آنتروپی و مبتنی بر جریان تخصیص می‌یابند.

مقایسه میانگین زمان سفر بین روش پیشنهادی DDVR و DSP نشان از عملکرد بهتر روش پیشنهادی دارد. همچنین روش DDVR نسبت به سه روش RKSP، EBKSP و FBKSP بهتر عمل کرده است. در روش AR* که خودروها با استفاده از الگوریتم مکاشفه‌ای A* مسیریابی می‌شوند، مسیریابی خودروها بر روی مسیر خودروهای دیگر تاثیرگذار است نتایج بهتری را نسبت به روش پیشنهادی DDVR دارد.

جدول ۵-۱: مقایسه نتایج میانگین زمان سفر با سایر روش‌ها $L = ۲ ، \tau = ۴۵۰$

تعداد خودرو	SP	R KSP	E BKSP	F BKSP	A R*	DD VR	PDDVR WF[1]
V.No[2].=۱۰۰۰	۱۸۳۰	۱۷۵۰	۱۶۲۰	۱۶۸۵	۱۴۸۰	۱۶۱۷	۱۳۵۶
V.No.=۱۵۰۰	۲۲۴۰	۲۱۰۰	۱۹۱۰	۱۹۲۰	۱۷۰۰	۱۸۸۱	۱۵۹۷
V.No.=۲۰۰۰	۲۴۸۰	۲۳۶۰	۲۱۵۰	۲۱۸۰	۱۷۹۰	۱۹۳۲	۱۷۰۹
V.No.=۲۵۰۰	۲۵۱۰	۲۴۹۰	۲۱۹۰	۲۲۹۰	۱۸۹۵	۲۱۷۴	۱۸۲۲



شکل ۵-۲: مقایسه نتایج میانگین زمان سفر با سایر روش‌ها

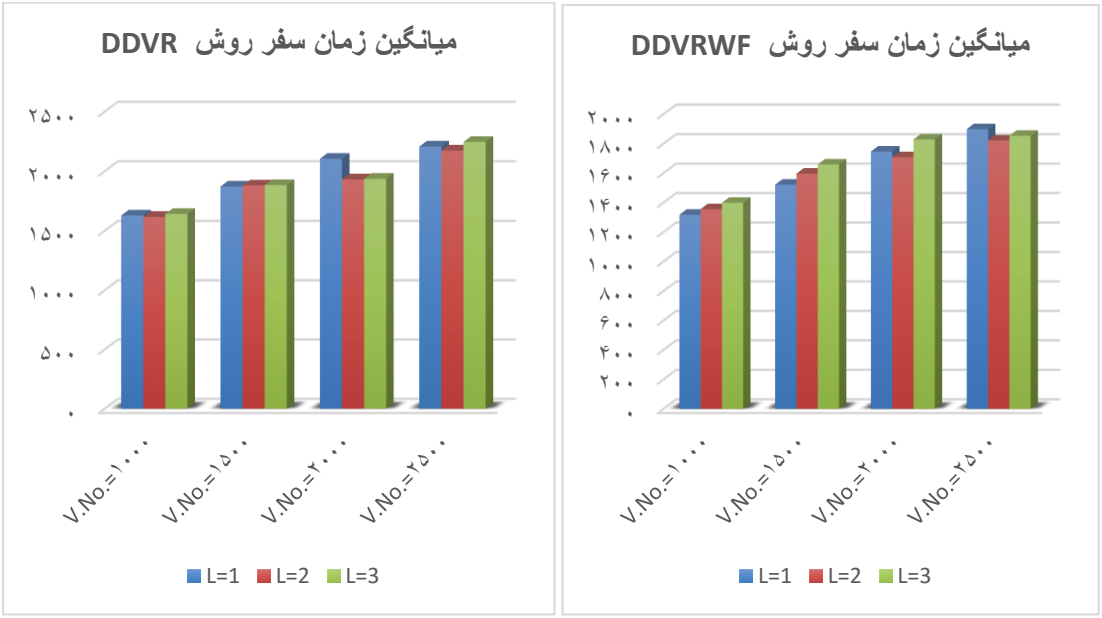
روش PDDVRWF، با استفاده از الگوریتم دایجسترا و بر اساس تابع هزینه جدید عمل می‌کند که در آن وزن خیابان‌ها با هر مسیریابی، با توجه به ظرفیت آن خیابان تغییر می‌کند. این روش میانگین زمان سفر بهتری را نسبت به روش‌های دیگر بدست آورده است. با توجه به اینکه مسیریابی هر خودرو بر روی وزن خیابان‌های سطح شهر تاثیر می‌گذارد، خودروهای بعدی با در نظر گرفتن این تغییرات مسیریابی می‌شوند که این امر سبب انتخاب مسیرهای بهتری برای خودروهای بعدی می‌شود.

[1] Predicted Dynamic Dijkstra vehicle routing *with* weighted *Footmark*

[2] Vehicle number

جدول ۵-۲: مقایسه نتایج میانگین زمان سفر با تغییر سطح انتخاب خودرو و حجم ترافیک متفاوت؛ $\tau = ۴۵۰$

تعداد خودرو	*L=1*		*L=2*		*L=3*	
	DDVR	*PDDVRWF*	*DDVR*	*PDDVRWF*	*DDVR*	*PDDVRWF*
V.No. = ۱۰۰۰	۱۶۲۹	۱۳۱۸	۱۶۱۷	۱۳۵۶	۱۶۴۲	۱۳۹۹
V.No. = ۱۵۰۰	۱۸۷۲	۱۵۲۲	۱۸۸۱	۱۵۹۷	۱۸۸۴	۱۶۵۹
V.No. = ۲۰۰۰	۲۱۰۵	۱۷۴۷	۱۹۳۲	۱۷۰۹	۱۹۳۷	۱۸۲۹
V.No. = ۲۵۰۰	۲۲۰۷	۱۸۹۹	۲۱۷۴	۱۸۲۲	۲۲۴۶	۱۸۵۴



شکل ۵-۳: نتایج میانگین زمان سفر با تغییر سطح انتخاب خودرو و حجم ترافیک متفاوت

چندین اجرای شبیه‌سازی با مقادیر مختلف پارامتر L[۱] صورت گرفت. نتایج میانگین زمان سفر در جدول ۵-۲ و شکل ۵-۳ نشان می‌دهد که میانگین زمان سفر بدست آمده برای مقدار L=2 نسبت به مقادیر دیگر L کمتر است. هنگامی که علائم ازدحام در یک خیابان ظاهر می‌شود باید از ورود خودروهایی که در پنجره زمانی بعدی قصد وارد شدن به خیابان مورد نظر را دارند جلوگیری گردد تا ازدحام شدیدتر نشود. حال برای خودروهایی که در سطوح بالاتر از خیابان مورد نظر هستند ممکن است دیگر نیازی به تغییر مسیر وجود نداشته باشد و در پنجره‌های زمانی بعدی خیابان مورد نظر هیچ گونه ازدحامی نداشته باشد. نتایج نشان می‌دهد در روش DDVR بعد از تشخیص علائم ازدحام در صورتی که سطح $L > ۲$ را در نظر بگیریم، نتایج میانگین زمان سفر برای خودروها افزایش پیدا

[۱] L تعداد گام خیابان‌های بالاتر از محل ازدحام است. بعنی برای L=2 خودروهای ۲ گام بالاتر از محل ازدحام انتخاب می‌شوند.

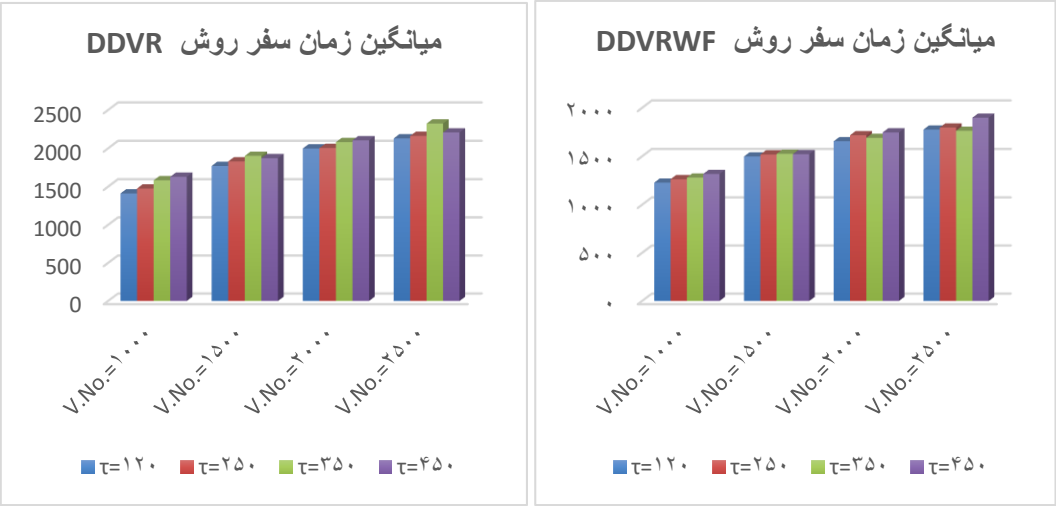
خواهد کرد. در روش PDDVRWF در هر مسیریابی تاثیر تمام خودروها از همان ابتدا لحاظ شده است برای سطح شهر با تراکم ترافیکی کم انتخاب خودرو از سطح اول نتایج بهتری را نشان می‌دهد ولی با افزایش حجم خودرو در شهر، میانگین زمان سفر با انتخاب خودرو تا سطح دوم کمتر است. این امر نشان می‌دهد میزان ترافیک شهری می‌تواند یکی از عوامل تاثیرگذار در سطح L و انتخاب خودرو باشد. لازم به ذکر است که در تمامی اجرای شبیه‌سازی‌ها برای مقایسه، مطابق مقدار پیش‌فرض، $\tau =$ ۴۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است

زمان نمونه برداری یکی از پارامترهای تاثیرگذار است که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفته است. هرچقدر زمان نمونه برداری کمتر باشد اطلاعات در بازه‌های زمانی کوچکتر جمع‌آوری می‌شوند. یک تصمیم‌گیری سریع می‌تواند سبب جلوگیری از ایجاد ازدحام گردد؛ تاثیر بهتری در عملکرد سیستم داشته باشد و باعث کاهش زمان سفر در خودروها شود.

در جدول ۵-۳ و شکل ۵-۴ به ازای τ های مختلف و مقدار $L = ۱$ شبیه‌سازی تکرار شده است که نتایج نشان می‌دهد هر چه میزان τ کاهش پیدا می‌کند میانگین زمان سفر برای تمامی خودروها کاهش می‌یابد. البته هرچقدر که میزان τ را کم می‌کنیم محاسبات انجام شده توسط سیستم تصمیم گیری افزایش می‌یابد. با توجه به امکانات و تجهیزات موجود می‌توان یک موازنه در زمان نمونه‌برداری و میانگین زمان سفر در نظر گرفت.

جدول ۵-۳ : مقایسه میانگین زمان سفر با درنظر گرفتن تغییرات زمان نمونه برداری و $L = ۱$

$\tau = ۴۵۰$		$\tau = ۳۵۰$		$\tau = ۲۵۰$		$\tau = ۱۲۰$		
PDDVRWF	*DDVR*	*PDDVRWF*	*DDVR*	*PDDVRWF*	*DDVR*	*PDDVRWF*	*DDVR*	
۱۳۱۸	۱۶۲۹	۱۲۸۱	۱۵۸۳	۱۲۶۴	۱۴۷۶	۱۲۲۹	۱۴۱۲	*V.No.* = ۱۰۰۰
۱۵۲۲	۱۸۷۲	۱۵۲۶	۱۹۰۲	۱۵۱۹	۱۸۲۹	۱۴۹۹	۱۷۷۰	*V.No.* = ۱۵۰۰
۱۷۴۷	۲۱۰۵	۱۶۹۱	۲۰۸۱	۱۷۱۸	۲۰۰۴	۱۶۵۶	۱۹۹۸	*V.No.* = ۲۰۰۰
۱۸۹۹	۲۲۰۷	۱۷۶۴	۲۳۲۳	۱۷۹۷	۲۱۶۲	۱۷۷۶	۲۱۳۰	*V.No.* = ۲۵۰۰



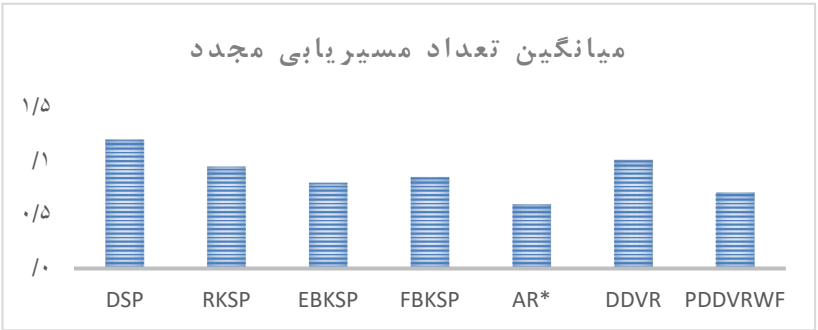
شکل ۵-۴: میانگین زمان سفر با تغییر زمان نمونه برداری

۵-۳-۲ میانگین تعداد مسیریابی مجدد

از نگاه رانندگان هرچقدر میزان تغییر در مسیرهای پیشنهادی کمتر باشد، درگیری ذهنی آن‌ها کمتر خواهد بود و آن‌ها این اطمینان را دارند که با کمترین تغییر مسیر می‌توانند مسیری بهینه تا مقصد را در پیش داشته باشند. همچنین با کم‌شدن پیشنهاد مسیر، حجم محاسبات نیز کمتر خواهد شد و دیگر نیازی به ارسال مسیرهای جدید به رانندگان نخواهد بود که خود سبب کم شدن حجم تبادل اطلاعات بین سیستم مرکزی و رانندگان خواهد شد. کم شدن زمان سفر و تعداد مسیریابی مجدد در کنار هم، عملکرد مناسب سیستم را نشان می‌دهد. جدول ۵-۴ و شکل ۵-۵ تعداد مسیریابی مجدد روش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۴: مقایسه نتایج تعداد مسیریابی مجدد با سایر روش‌ها

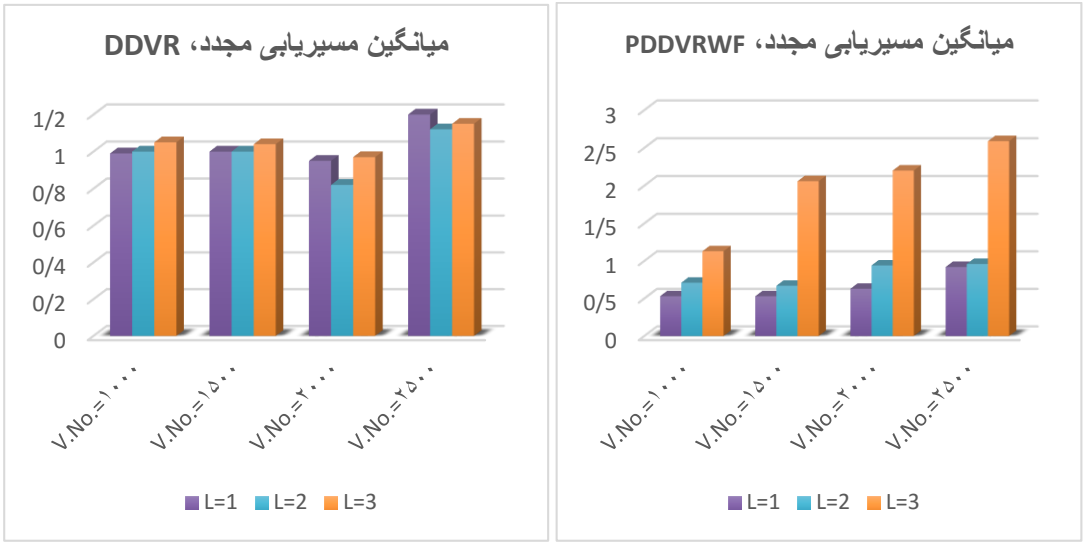
	SP	KSP	BKSP	FBKSP	R*	DDVR	PDDVRWF
V.No.=۱۰۰۰	۱,۲	۰,۹۵	۰,۸	۰,۸۵	۰,۶	۱,۰۱	۰,۷۱



شکل ۵-۵: مقایسه میانگین تعداد مسیریابی مجدد V. No. = ۱۰۰۰

جدول ۵-۵: مقایسه نتایج تعداد مسیریابی مجدد با تغییر سطح انتخاب خودرو

L=3		L=2		L=1		
PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	
۱/۱۳	۱,۰۵	۰,۷۱	۱/۰۱	۰,۵۳	۰,۹۹	V.No.= ۱۰۰۰
۲,۰۶	۱,۰۴	۰,۶۷	۱,۰۱	۰,۵۳	۱,۱	V.No.= ۱۵۰۰
۲/۲	۰,۹۷	۰/۹۴	۰,۸۲	۰/۶۳	۰,۹۵	V.No.= ۲۰۰۰
۲,۵۹	۱,۱۵	۰/۹۶	۱,۱۲	۰/۹۲	۱,۲	V.No.= ۲۵۰۰



شکل ۵-۶: نتایج تعداد مسیریابی مجدد با تغییر سطح انتخاب خودرو

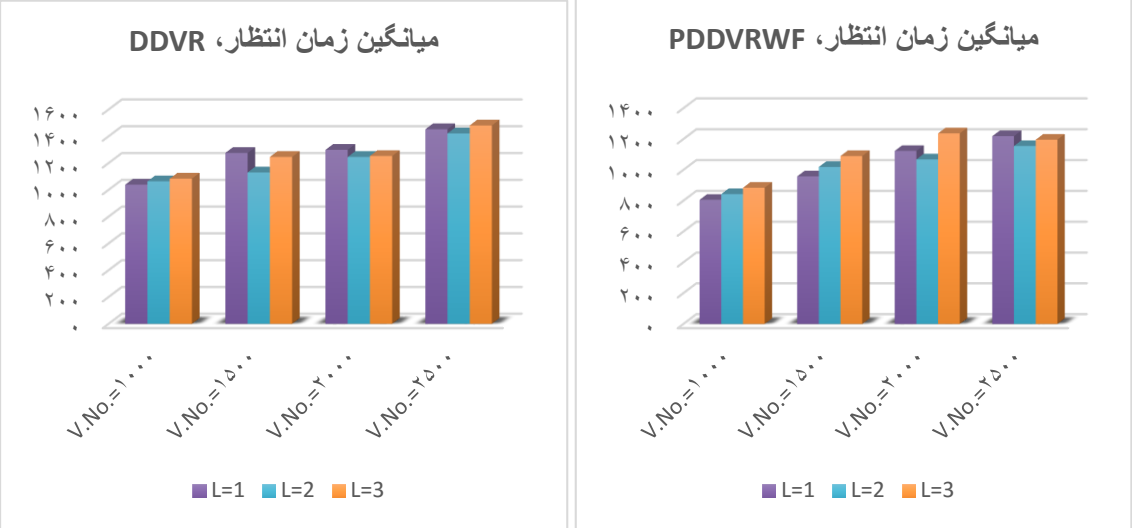
نتایج تعداد مسیریابی مجدد با انتخاب خودرو در سطوح مختلف نشان می‌دهد، هرچه سطح L بیشتر شود تعداد مسیریابی بیشتر خواهد شد. همچنین در بخش ۵-۳-۱ نشان داده شد با افزایش L از سطح دو به بعد، میانگین زمان سفر نیز افزایش خواهد یافت.

۵-۳-۳ میانگین زمان انتظار

ماندن در ترافیک و انتظار کشیدن پشت قطاری از ماشین‌ها که زمان طولانی بی‌حرکت ایستاده‌اند موقعیتی است که همه ما تقریباً هر روز آن را تجربه می‌کنیم. می‌توان زمان انتظار را یکی دیگر از معیارهای بررسی ترافیک شهری در نظر گرفت. هرچه میزان زمان انتظار برای خودروها در خیابان‌ها و در پشت تقاطع‌ها کمتر باشد نشان از روان بودن جریان ترافیکی است. در شبیه‌سازی، ما سرعت خودرو کمتر از ۰,۱متر بر ثانیه را به عنوان حالت انتظار یا توقف در نظر گرفته‌ایم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در جدول‌های جدول ۵-۶ و جدول ۵-۷ نشان داده شده است.

جدول ۵-۶: مقایسه میانگین زمان انتظار با تغییر سطح انتخاب خودرو

L=3		L=2		L=1		
PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	
۸۸۴	۱۰۸۴	۸۴۳	۱۰۶۴	۸۰۶	۱۰۳۹	V.No.= ۱۰۰۰
۱۰۹۰	۱۲۴۶	۱۰۱۹	۱۱۳۰	۹۵۸	۱۲۷۶	V.No.= ۱۵۰۰
۱۲۳۷	۱۲۵۳	۱۰۶۸	۱۲۴۶	۱۱۲۳	۱۲۹۹	V.No.= ۲۰۰۰
۱۱۹۶	۱۴۸۱	۱۱۵۵	۱۴۲۲	۱۲۱۹	۱۴۵۳	V.No.= ۲۵۰۰

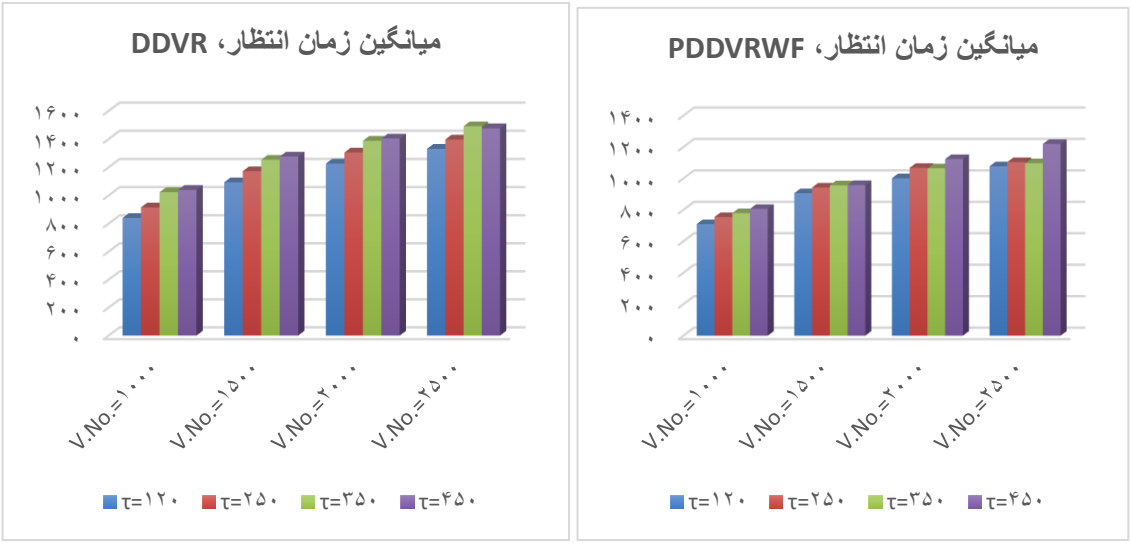


شکل ۵-۷: میانگین زمان انتظار با تغییر سطح انتخاب خودرو

جدول ۵-۶ و شکل ۵-۷ مقایسه زمان انتظار برای مقادیر مختلف L را نشان می‌دهند. با انتخاب درست سطح L می‌توان سبب کاهش زمان سفر و زمان انتظار در سفر شد. نتایج بدست آمده از زمان انتظار در پشت چراغ‌های راهنمایی در جدول ۵-۷ و شکل ۵-۸ برای مقادیر مختلف زمان نمونه برداری، نشان داده شده است. با افزایش زمان نمونه برداری، میانگین زمان انتظار نیز افزایش می‌یابد. از مقایسه‌ها می‌توان این نتیجه را گرفت که بسیاری از مواقع با تصمیم‌گیری سریع می‌توان از ایجاد ازدحام در شبکه اجتناب کرد و باعث کاهش زمان سفر و زمان انتظار شد.

جدول ۵-۷: مقایسه میانگین زمان انتظار با درنظر گرفتن تغییرات زمان نمونه برداری

τ = ۴۵۰		τ = ۳۵۰		τ = ۲۵۰		τ = ۱۲۰		
PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	PDDVRWF	DDVR	
۸۰۶	۱۰۳۹	۷۷۹	۱۰۲۳	۷۵۴	۹۱۵	۷۰۹	۸۴۰	V.No.= ۱۰۰۰
۹۵۸	۱۲۷۶	۹۵۶	۱۲۵۳	۹۴۲	۱۱۷۲	۹۰۶	۱۰۹۳	V.No.= ۱۵۰۰
۱۱۲۳	۱۴۰۴	۱۰۶۴	۱۳۸۸	۱۰۶۷	۱۳۰۵	۱۰۰۱	۱۲۲۶	V.No.= ۲۰۰۰
۱۲۱۹	۱۴۷۷	۱۰۹۷	۱۴۹۱	۱۱۰۴	۱۳۹۷	۱۰۷۷	۱۳۳۱	V.No.= ۲۵۰۰



شکل ۵-۸: میانگین زمان انتظار با تغییرات زمان نمونه برداری

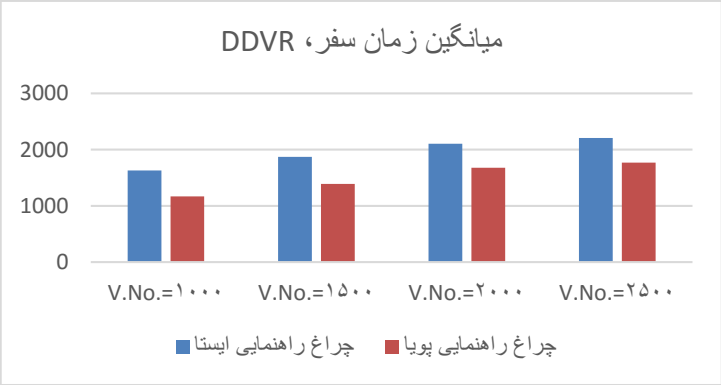
۵-۴ سناریوهای مختلف با در نظر گرفتن چراغ راهنمایی پویا

در کنترل پویایی چراغ راهنمایی، اطلاعات ورودی از طرف شناساگر جمع‌آوری می‌شود. شناساگر می‌تواند مجموعه‌ای از حسگرها باشد که حضور یا عدم حضور خودرو در خیابان را مشخص می‌کند. با توجه به تشخیص حضور یا عدم حضور خودرو در خیابان، کنترل کننده می‌تواند زمان بیشتری را به چراغ بدهد که نشان از وجود ترافیک است؛ یا اینکه دستور تغییر فاز را اعلام کند که نشان از نبود ترافیک است.

مقایسه میانگین زمان سفر روش پیشنهادی DDVR در حالت‌های چراغ راهنمایی ایستا و پویا در شکل ۵-۸ نشان داده شده است، زمان سفر برای حالتی که از چراغ راهنمایی پویا استفاده می‌کنیم بسیار کمتر از حالت ایستا است. بهبود زمان سفر از ۲۰درصد برای ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ خودرو تا ۲۸درصد برای ۱۰۰۰ خودرو بدست آمده است.

جدول ۵-۸: نتایج میانگین زمان سفر روش پیشنهادی DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

تعداد خودرو	چراغ راهنمایی ایستا	چراغ راهنمایی پویا
V.No.=۱۰۰۰	۱۶۲۹	۱۱۶۹
V.No.=۱۵۰۰	۱۸۷۲	۱۳۹۱
V.No.=۲۰۰۰	۲۱۰۵	۱۶۷۸
V.No.=۲۵۰۰	۲۲۰۷	۱۷۶۷

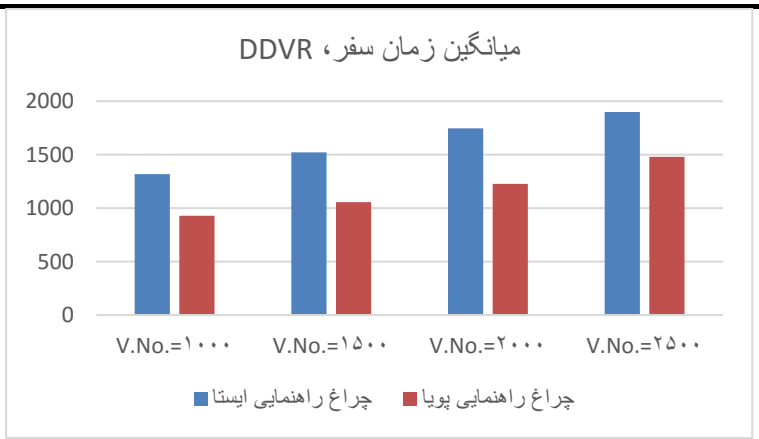


شکل ۵-۹: میانگین زمان سفر روش پیشنهادی DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی PDDVRWF که در جدول ۵-۹ و شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است نیز مانند روش قبلی به اهمیت چراغ‌های راهنمایی پویا دلالت دارد. به طوری که برای تعداد ۱۰۰۰،۱۵۰۰،۲۰۰۰ خودرو ۳۰درصد کاهش و برای ۲۵۰۰ خودرو به میزان ۲۲ درصد کاهش زمان سفر بدست آمده است.

جدول ۵-۹: نتایج میانگین زمان سفر روش PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

تعداد خودرو	چراغ راهنمایی ایستا	چراغ راهنمایی پویا
V.No.=۱۰۰۰	۱۳۱۸	۹۲۹
V.No.=۱۵۰۰	۱۵۲۲	۱۰۵۶
V.No.=۲۰۰۰	۱۷۴۷	۱۲۲۷
V.No.=۲۵۰۰	۱۸۹۹	۱۴۸۱

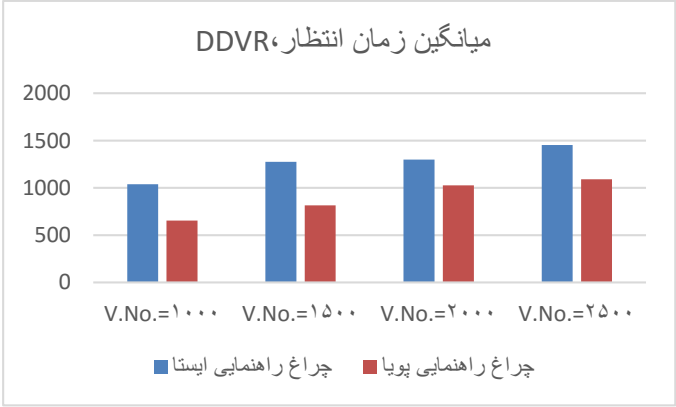


شکل ۵-۱۰: میانگین زمان روش پیشنهادی PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

در ادامه میانگین زمان انتظار برای دو حالت چراغ راهنمایی ایستا و پویا با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج برای دو روش پیشنهادی DDVR و PDDVRWF به ازای حجم خودرویی مختلف در سطح شهر، درجدول‌های جدول ۵-۱۰ و جدول ۵-۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-۱۰: میانگین زمان انتظار روش DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

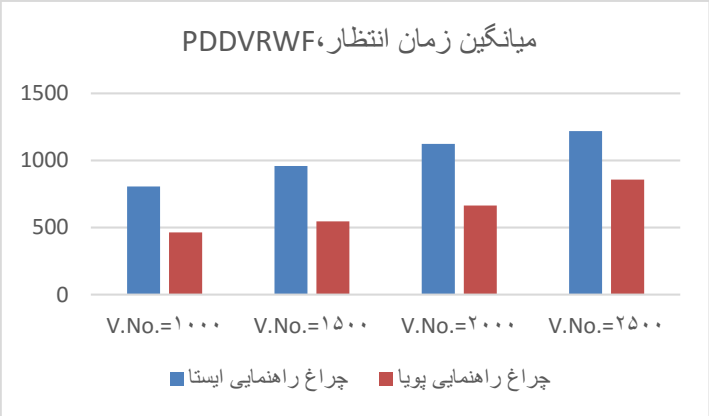
تعداد خودرو	چراغ راهنمایی ایستا	چراغ راهنمایی پویا
V.No.=۱۰۰۰	۱۰۳۹	۶۵۵
V.No.=۱۵۰۰	۱۲۷۶	۸۱۵
V.No.=۲۰۰۰	۱۲۹۹	۱۰۲۶
V.No.=۲۵۰۰	۱۴۵۳	۱۰۹۱



شکل ۵-۱۱: میانگین زمان انتظار روش DDVR برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

جدول ۵-۱۱: میانگین زمان انتظار روش PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

تعداد خودرو	چراغ راهنمایی ایستا	چراغ راهنمایی پویا
V.No.=۱۰۰۰	۸۰۶	۴۶۳
V.No.=۱۵۰۰	۹۵۸	۵۴۶
V.No.=۲۰۰۰	۱۱۲۳	۶۶۴
V.No.=۲۵۰۰	۱۲۱۹	۸۵۷



شکل ۵-۱۲: میانگین زمان انتظار روش PDDVRWF برای چراغ راهنمایی ایستا و پویا

در حالتی که از چراغ راهنمایی پویا استفاده می‌کنیم، با توجه به تغییر متوالی زمان سبز در هر فاز ، حداکثر جریان خروجی در رابطه (۴-۳) به صورت دقیق قابل محاسبه نیست که این امر می‌تواند در پیش‌بینی هزینه هر خیابان تاثیرگذار باشد و محاسبات به صورت دقیق صورت نگیرد. اگر چه نتایج بدست آمده در حالت چراغ راهنمایی پویا نشان از بهبود عملکرد آن دارد.

۵-۵ نتیجه‌گیری

در این فصل به ارزیابی روش‌های پیشنهادی برای مدیریت و کنترل ترافیک شهری با استفاده از تخصیص پویای مسیر به خودروها پرداختیم. در روش پیشنهادی DDVR، برای ترافیک‌های مختلف و به ازای مقادیر مختلف سطح L = ۱،۲،۳ با روش‌های پیشین مقایسه شد. همچنین برای دوره‌های نمونه‌برداری τ = ۱۲۰،۲۵۰،۳۵۰،۴۵۰ نتایج بدست‌آمده مقایسه شده و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد روش DDVR که از مدل جدید محاسبه هزینه خیابان‌ها استفاده می‌کند، میانگین زمان سفر در شهر را کاهش می‌دهد. آزمایش‌های روش PDDVRWF نشان داد که با استفاده از پیش‌بینی وضعیت ترافیکی خیابان‌ها در آینده، نتایج بهتری نسبت به روش DDVR و روش‌های پیشین حاصل می‌شود.

مقایسه نتایج دو روش مسیریابی یکسان با تفاوت در چراغ‌های راهنمایی پویا و ایستا نشان از عملکرد بسیار عالی چراغ‌های راهنمایی پویا را نشان داد. استفاده همزمان از مسیریابی‌های پویا و چراغ‌های راهنمایی پویا می‌توانند سبب بهبود جریان ترافیکی در سطح شهر شوند.

فصل ۶

نتیجه‌گیری و کارهای آتی

۶-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا به جمع بندی فصل‌های پیشین این پایان‌نامه در زمینه مدیریت و کنترل ترافیک می‌پردازیم. سپس نتیجه‌گیری کلی از روش‌های پیشنهادی در این پژوهش را ارائه خواهیم داد. در انتها، پیشنهادات خود جهت پژوهش‌های آتی در این زمینه را ارائه خواهیم کرد.

۶-۲ جمع‌بندی و نتیجه گیری

در این پایان‌نامه یک روش جدید محاسبه هزینه سفر ارائه شد و مقادیر تابع هزینه برای محاسبه و مسیریابی مجدد خودروها توسط سیستم مرکزی به منظور کاهش میانگین زمان سفر، مورد استفاده قرار گرفت. پس از شناسایی احتمال وقوع ازدحام در خیابان‌ها، چندین سطح از خیابان‌های بالادست را در نظر گرفتیم. در خیابان‌های انتخاب شده، خودروهایی که مسیر عبور آن‌ها شامل خیابان پرترافیک است را برای مسیریابی مجدد انتخاب می‌کنیم.

با استفاده از تابع هزینه جدید، همچنین یک روش انتخاب کوتاه‌ترین مسیر با راهبرد الگوریتم دایجسترا مبتنی بر وزن‌دهی پویا استفاده کردیم. در این روش مسیریابی یک خودرو بر روی مسیریابی خودروهای دیگر تأثیر می‌گذارد و این امکان برای سیستم وجود دارد که از ردپای هر یک از خودروهای مسیریابی شده برای مسیریابی خودروهای دیگر استفاده کند و از ازدحامی که ممکن است در آینده ایجاد شود، جلوگیری نماید.

ما برای اعتبار سنجی روش خود از رویکرد مبتنی بر شبیه‌سازی استفاده کردیم. نتایج نشان می‌دهد با تنظیم درست فواصل زمانی و محاسبات دقیق‌تر تخمین زمان سفر بر روی لینک‌ها، می‌توان میانگین زمان سفر خودرو را کاهش داد.

مقایسه میانگین زمان سفر بین روش پیشنهادی DDVR و روش‌های پیشین نشان داده که تخمین درست زمان سفر در سطح خیابان، تاثیر زیادی در استفاده بهینه از ظرفیت شبکه ایجاد می‌کند و سبب کاهش زمان سفر برای خودروها می‌گردد. روش PDDVRWF عملکرد یک سیستم ارائه مسیر را نشان می‌دهد که قابلیت تاثیرپذیری یک مسیریابی بر روی مسیریابی‌های دیگر را در نظر می‌گیرد به طوری که این روش می‌تواند در موازنه بار ترافیکی در سطح شهر تاثیرگذار باشد و سبب کاهش زمان سفر و زمان انتظار شود که زمان سفر، زمان انتظار و تعداد مسیریابی‌های خودروها برای روش‌های پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت.

انتخاب تعداد خیابان‌های بالاتر از نقطه ازدحام و مقادیر مختلف زمان نمونه برداری برای جمع‌آوری داده‌های ترافیکی، پارامترهایی بودند که برای مقایسه نتایج در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد خیابان‌های بالادست از نقطه ازدحام، نتایج بهبود نمی‌یابد و اگر این سطح‌ها با توجه به حجم ترافیک موجود در سطح شهر انتخاب شوند، تاثیرگذارتر خواهند بود. اگر چه به صورت کلی برای سطح $L = ۲$ نتایج بدست آمده بهتر از سطح‌های دیگر است.

با افزایش زمان نمونه برداری، میانگین زمان سفر و انتظار افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج بدست آمده از تغییر زمان نمونه‌برداری، با کم شدن زمان نمونه برداری محاسبات انجام شده بر اساس اطلاعات بروز و جدید خواهد بود و بسیاری از تصمیم‌گیری‌های سریع می‌توانند باعث جلوگیری از ازدحام ترافیکی شوند؛ که همین امر نیز باعث کاهش زمان سفر و زمان انتظار خواهد شد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، تنظیمات پویای چراغ‌های راهنمایی خود به تنهایی می‌توانند تاثیرات چشمگیری در کاهش میانگین زمان سفر ایجاد نمایند.

۶-۳ کارهای آتی

با توجه به کارهای انجام شده می‌توان پیشنهادهای زیر را جهت بهبود هر چه بیشتر روش پیشنهادی ارائه داد:

- استفاده همزمان از مسیریابی پویا و تنظیم چراغ راهنمایی متمرکز به طوری که سبب بهترین عملکرد در سطح شهر گردد.
- استفاده از سیستم یکپارچه اطلاعات به منظور مسیریابی خودروهای امدادی
- بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2، NO_x و PM_{10} و مصرف سوخت برای روش‌های پیشنهادی
- ایجاد موج سبز[۱] با استفاده از هماهنگ کردن چندین چراغ راهنمایی متوالی به طوری که حرکت خودروها در طول مسیر به صورت پیوسته صورت گیرد.

[۱] Green wave

واژه نامه فارسی به انگلیسی

Random k-shortest paths	Kمسیر کوتاه
Entropy Balanced k-shortest paths	Kمسیر کوتاه بر اساس آنتروپی
Flow Balanced k-shortest paths	Kمسیر کوتاه بر اساس جریان
Ethernet	اترنت
Robust strategy	استراتژی قوی
Offset	افست
Route-choice	انتخاب مسیر
Recurrent	بازگشت پذیر
Tag	برچسب
Reader	برچسب‌خوان
Online	برخط
Offline	برون‌خط
Outsourcing	برون‌سپاری
Mainframe	بزرگ‌رایانه
Machine vision	بینایی ماشین
Scan	پویش
Scanner	پویشگر
Load balancing	تعادل بار
Car-following	تعقیق خودرو
Lane-changing	تغیر خط
Flow	جریان
Tabu search	جستجوی ممنوعه
Crowdsourcing	جمع‌سپاری
Cycle	چرخه
Density	چگالی
Volume	حجم
Probe vehicle	خودروی کاوش‌گر
Floating-Car Data	داده‌های جریان خودرویی
Macroscopic	درشت مقیاس

Cloud computing	رایانش ابری
Microscopic	ریز مقیاس
Global system for mobile communication	سامانه جهانی ارتباطات همراه
Global position system	سامانه موقعیت‌یاب جهانی
Speed-density	سرعت-چگالی
Occupancy level	سطح اشغال
Artificial Transportation Systems[1]	سیستم حمل و نقل مصنوعی
Intelligent transportation system	سیستم حمل و نقل هوشمند
Parallel transportation management systems	سیستم مدیریت موازی حمل و نقل
Mesh network	شبکه توری
Traffic detector	شناساگر ترافیک
Radar detector	شناساگر رادار
Radio frequency identification	شناسایی با امواج رادیویی
Non-recurrent	غیربازگشت پذیر
Headway	فاصله زمانی
Spacing	فاصله مکانی
Split	قطاع
Traffic signal controller	کنترل‌کننده سیگنال ترافیک
Actuator	محرک
large-scale integrated circuits	مدارهای مجتمع با مقیاس بزرگ
Mesoscopic	مزوسکوپیک
Aspiration	معیار تنفس
Green wave	موج سبز
Micro electro-mechanical	میکرو الکترو مکانیک
Fundamental diagram	نمودار بنیادی
Road Side Unit	واحدهای کنار جاده
Reactive	واکنشی
Lane change assistance	همیار تغییر خطوط جاده

[1] سیستم حمل و نقل مصنوعی توسعه یافته شبیه‌سازهای ترافیکی است که با مسائل حمل و نقل از دیدگاه یک سیستم پیچیده و به صورت سیستماتیک و مصنوعی برخورد می‌کند.

واژه نامه انگلیسی به فارسی

Actuator	محرک
Artificial Transportation Systems	سیستم حمل و نقل مصنوعی
Aspiration	معیار تنفس
Car-following	تعقیق خودرو
Cloud computing	رایانش ابری
Crowdsourcing	جمع‌سپاری
Cycle	چرخه
Density	چگالی
Entropy Balanced k-shortest paths	K مسیر کوتاه بر اساس آنتروپی
Ethernet	اترنت
Floating-Car Data	داده‌های جریان خودرویی
Flow	جریان
Flow Balanced k-shortest paths	K مسیر کوتاه بر اساس جریان
Fundamental diagram	نمودار بنیادی
Global position system	سامانه موقعیت‌یاب جهانی
Global system for mobile communication	سامانه جهانی ارتباطات همراه
Green wave	موج سبز
Headway	فاصله زمانی
Intelligent transportation system	سیستم حمل و نقل هوشمند
Lane change assistance	همیار تغییر خطوط جاده
Lane-changing	تغیر خط
large-scale integrated circuits	مدارهای مجتمع با مقیاس بزرگ
Load balancing	تعادل بار
Machine vision	بینایی ماشین
Macroscopic	درشت مقیاس
Mainframe	بزرگ‌رایانه
Mesh network	شبکه توری
Mesoscopic	مزوسکوپیک
Micro electro-mechanical	میکرو الکترو مکانیک

Microscopic	ریز مقیاس
Non-recurrent	غیربازگشت پذیر
Occupancy level	سطح اشغال
Offline	برون‌خط
Offset	افست
Online	برخط
Outsourcing	برون‌سپاری
Parallel transportation management systems	سیستم مدیریت موازی حمل و نقل
Probe vehicle	خودروی کاوش‌گر
Radar detector	شناساگر رادار
Radio frequency identification	شناسایی با امواج رادیویی
Random k-shortest paths	K مسیر کوتاه
Reactive	واکنشی
Reader	برچسب‌خوان
Recurrent	بازگشت پذیر
Road Side Unit	واحدهای کنار جاده
Robust strategy	استراتژی قوی
Route-choice	انتخاب مسیر
Scan	پویش
Scanner	پویشگر
Spacing	فاصله مکانی
Speed-density	سرعت-چگالی
Split	قطاع
Tabu search	جستجوی ممنوعه
Tag	برچسب
Traffic detector	شناساگر ترافیک
Traffic signal controller	کنترل‌کننده سیگنال ترافیک
Volume	حجم