

## ارائه روشی برای افزایش عبوردهی شبکه خیابان‌ها مبتنی بر نظریه جریان پیشینه در گرافها

محمد حسین زنده پی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه فناوری اطلاعات، دانشکده

مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

سید حسین خواسته (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی

کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

پویا محمدی کزج، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه سیستم های اطلاعات مکانی،

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

E-mail: [khasteh@kntu.ac.ir](mailto:khasteh@kntu.ac.ir)

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵

دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۳۰

### چکیده

با افزایش جمعیت و وسایل نقلیه در کلان شهرها، خیابان‌ها با مشکل ترافیک های سنگین در برخی مناطق روبرو هستند. راه حل های زیادی برای رفع این مشکل ارائه شده است که عموماً از شبیه سازی ترافیک شهری در آنها استفاده شده است. در این مقاله با استفاده از شبیه سازی، مدلی برای افزایش عبوردهی شبکه خیابان‌ها ارائه شده است. در اینجا عبوردهی، مجموع مسافت طی شده توسط تمامی خودروها در کل شبکه خیابان‌ها، تعریف میشود که هدف افزایش این شاخص در شبکه ای از خیابان‌ها، است. در مدل توسعه داده شده، معابر به صورت یک گراف، مدل و پردازش شده اند. در این مطالعه، برای دستیابی به هدف تعریف شده، دو مسئله بررسی شده است: اشباع خیابان‌ها و عدم تناسب در تعداد خودروهای خروجی در تقاطع‌ها. در این مدل، برای حل مشکل اول، حد آستانه ای برای میزان تراکم خودروها در خیابان‌ها محاسبه شده تا از اشباع بیش از حد خیابان‌ها توسط خودروها و در نتیجه کاهش بیش از حد سرعت میانگین خودروها، جلوگیری شود. برای حل مشکل دوم، تعداد خودروهای خروجی از تقاطع بر اساس نسبتی که از میزان تقاضای ورودی‌ها به تقاطع بدست می‌آیند، محاسبه میگردد. در این مقاله بدلیل حجم بالای محاسبات از یک شبکه شبیه سازی شده برای انجام پردازش‌ها استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی عملکرد مناسب مدلی پیشنهادی را نشان می‌دهند به نحوی که عبوردهی شبکه خیابان‌ها، به میزان ۲,۳۸ برابر نسبت به حالت معمولی بهبود پیدا می‌کند.

واژه های کلیدی: ترافیک شهری، حمل و نقل شهری، گراف، معابر شهری، طراحی و مهندسی ترافیک

## ۱. مقدمه

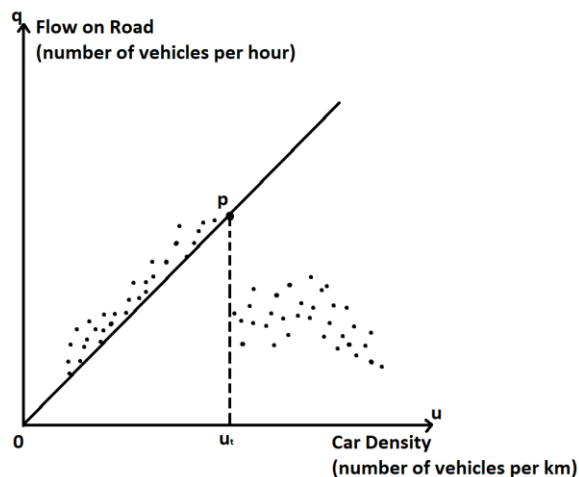
تجزیه و تحلیل پدیده های ترافیکی سابقه ای طولانی دارد که آغاز آن به دهه ۱۹۵۰ میلادی باز می گردد. مطالعات انجام شده عموماً سیستم های شبیه سازی ترافیک را برای مدلسازی استفاده کرده اند. بر اساس مطالعاتی که تاکنون انجام شده، مدل ها و سیستم های شبیه سازی ترافیک را، می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: مدل های میکروسکوپی و ماکروسکوپی. [Yisheng, Duan and Kang, 2015; Wang et al. 2016]

مدل های ماکروسکوپی معمولاً شبکه هایی محدود شده هستند که جریان ترافیکی به صورت پیوسته میان گره ها در حرکت است. در این مدل های خودرو ها و رفتار آن ها بصورت انفرادی، در نظر گرفته نمیشود، و همین موضوع باعث کاهش چشمگیر بار محاسباتی میشود. مدل های ماکروسکوپی عموماً سیستم ترافیک را بصورت شبکه ای از یال ها و گره ها در نظر میگیرند و هدف کلی بهینه سازی جریان خودرو ها در کل سیستم است.

[Hajiahmadi et al. 2013; Peng, 2013; Gupta and Redhu, 2014; Redhu and Gupta, 2015a, 2015b, 2018; Thonhofer et al. 2016]. پارامتر ها و مفاهیم که در این مدل ها بیشتر مورد بحث قرار میگیرند تراکم، سرعت و جریان هستند. در [Bonzani, 2007] گزارشی در مورد چگونگی تغییرات حرکت خودروها در خیابانها نسبت به میزان تراکم خودرو در خیابان ارائه شده است. طبق دستاورد آنها که در شکل ۱ نمایش داده شده است، سرعت حرکت خودروها در خیابان با افزایش تراکم به صورت تقریباً خطی افزایش می یابد و در یک تراکم بحرانی، جریان به شدت کاهش پیدا می کند. این موضوع مسئله ای مهمی است که مدل پیشنهادی در این تحقیق نیز بر اساس آن شکل گرفته است. [Moore, Kichainukon and Phalavonk, 2013]، که یک مدل ماکروسکوپی دیگر است، بر روی گرافی متشکل از یالهایی به عنوان خیابانها و گرههایی که نماینده تقاطعها هستند، با به کارگیری الگوریتم

در شرایط کنونی خیابانها در زمان ترافیکهای سنگین، به صورت کامل اشباع شده و سرعت حرکت خودروها در آنها، نزدیک به صفر می رسد، درحالی که با مدیریت بهتر ظرفیت خیابانها، می توان سرعت حرکت خودروها را به میزان قابل توجهی افزایش داد. علت اصلی این مشکل وارد شدن بیش از اندازه خودروها به خیابانها و در نتیجه ایجاد راهبندان است. علاوه بر مشکل فوق، مورد دیگری که کمتر به آن توجه شده و با مدیریت بهتر ترافیک می توان بر آن غلبه کرد، این است که، در تقاطعها، میان تعداد خودروهای ورودی به تقاطع از هر خیابان، با تعداد خودروهای متقاضی ورود به تقاطع از آن خیابانها، تناسب مناسبی وجود ندارد. به عبارت دیگر، تعداد خودروهایی که به تقاطع وارد می شوند، بدون در نظر گرفتن تعداد خودروهای موجود در خیابانهای منتهی به تقاطع، تعیین می شوند. برای حل این مشکلات در این مقاله مدلی برای مدیریت ترافیک ارائه می شود. برای جلوگیری از مشکل اول، مدل پیشرو همواره کسری از ظرفیت کل خیابان را استفاده می کند که این امر با جلوگیری از کاهش بیش از حد سرعت خودروها، عبوردهی را افزایش می دهد. در برخورد با مشکل دوم مدل ارائه شده با در نظر گرفتن میزان تقاضای هر ورودی تقاطع، تعداد خودروهای ورودی از هر خیابان را متناسب با حجم متقاضی ورود تعیین می کند. در ادامه کارهای مرتبط در بخش ۲ شرح مدل در بخش ۳، پیاده سازی مدل بر روی داده های شبیه سازی در بخش ۴ و نتیجه گیری و کارهای آینده در بخش ۵ عنوان شده اند.

## ۲. بررسی مطالعات پیشین



شکل ۱. نتایج محاسبه جریان ترافیک (برگرفته از

[Bonzani, 2007])

مدل های میکروسکوپی نسبت به مدل های ماکروسکوپی جزئیات بیشتری را ارائه میدهند. بصورت کلی مدل های میکروسکوپی، از الگوریتم ها و محاسبات پیچیده تری برای کنترل حرکت و تصمیمات خودرو استفاده میکنند، و بر خلاف مدل های ماکروسکوپی، رفتار فردی خودرو ها را نیز در نظر میگیرند. [Tang et al. 2014; Tang, Huang, et al. 2015; Tang, Li, et al. 2015; Tang, Xu, et al. 2015; Tang, Yu, et al. 2015] نرم افزار هایی نیز در این حوزه معرفی شده اند که محققان برای اعتبار سنجی مدل های خود از آن ها استفاده میکنند. برخی از این نرم افزار ها SUMO [Krajzewicz, Bonert and Wagner, 2006]، VISSIM و VISUM و Aimsun هستند، که در Errampalli and Kayitha, 2016; Rakkesh, Weerasinghe and Ranasinghe, 2016; Giannakos et al. 2017; Korfant and Gogola, 2017] از نرم افزار های یاد شده برای شبیه سازی ترافیک استفاده شده است.

برخی دو زیرمجموعه برای مدل های میکروسکوپی در نظر میگیرند: مدل های car-following و cellular automata.

بهبود یافته فورد-فولکرسون [Ford and Fulkerson, 1963] سرعت بهینه برای جلوگیری از راه‌بندان را به دست آورده‌اند. این فرایند در شبکه‌ای از راه‌ها در بانکوک انجام شده است و سرعت بهینه را برابر با ۳۰ کیلومتر بر ساعت به دست آورده است. همچنین در [Dezani et al. 2014] با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و شبکه پتری (Petri) به‌عنوان تابع برانداگی جریان ترافیک به‌صورت آنی کنترل می‌شود. در این مقاله فرض گردیده است که خودروها، مبدأ و مقصد خود را به سیستم معرفی می‌کنند و سیستم با استفاده از مسیر خودروهای دیگر و بهینه‌سازی مسیرها به‌صورت آنی بهترین مسیر را پیشنهاد می‌دهند. نتایج این مقاله نشان از بهبود بیش از ۵ درصد در زمان رسیدن خودروها به مقصد را دارد. در مدل پیشنهادی در این مقاله نیز این پیش فرض وجود دارد که سیستم، مقصد بعدی خودرو ها رو میداند. از دیگر اهدافی که در مطالعات ماکروسکوپی دنبال میشود، پیش‌بینی جریان و تراکم است. در [Yisheng, Duan and Kang, 2015] از شبکه‌های عصبی عمیق و کلان داده برای شبیه‌سازی جریان اصلی ترافیک در بازه‌های زمان ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه‌ای استفاده شده است. در این مقاله از روش SEA (stacked auto encoder) برای به دست آوردن عوارض اصلی جریان ترافیک استفاده شده است. نتایج مقاله پیش‌بینی صحیح ترافیک در بازه‌های زمانی اشاره شده تا دقت بالاتر از ۹۰ درصد را نشان می‌دهند. از جمله کاستی‌های این روش در نظر نگرفتن فاکتورهایی همچون تصادف، آب‌وهوا، سرعت و عدم قابلیت پیش‌بینی ترافیک‌های سبک است که با اضافه کردن این پارامتر ها، مدل به یک مدل میکروسکوپی نزدیک می‌شود.

نتایج این مقاله نشان می دهد که مدل ارائه شده به طور رضایت بخشی جریان ترافیک را پیش بینی کرده است.

در حوزه برنامه ریزی چراغ های راهنمایی هوشمند اما، بیشتر مدل ها، ماکروسکوپی هستند و در کل هدف آن ها، استفاده از چراغ راهنمایی برای کنترل تقاطع ها و ورودی خیابان ها، و در نهایت بهینه سازی شبکه خیابان ها است. در [De Nunzio et al. 2016] هدف به دست آوردن بهترین مسیر با استفاده از اطلاعات چراغ های راهنمایی است. بدین صورت که مسیری انتخاب گردد تا خودرو مسیر را طی کرده و از چراغ های سبز عبور کند. در این مقاله روابط خودروها به صورت خودرو به زیر ساخت (V2I) و زیرساخت به خودرو (I2V) برقرار است. در این روش یک سیستم مرکزی با خودروها در ارتباط هستند که مسیرهای پیشرو را به آن ها اطلاع داده و اطلاعاتی چون مبدأ، مقصد، زمان درخواستی برای رسیدن به مقصد و وضعیت ترافیک را از آن ها دریافت می کند. نتایج این مقاله کاهش ۲۸٫۵ درصد مصرف انرژی خودروها بدون افزایش زمان متوسط سفر خودروها را نشان می دهد.

ایده ای که در این مطالعه دنبال و شکاف آن در مطالعات دیده می شود، مدلی است که علاوه بر کنترل ورودی های یک خیابان در تقاطع ها و جلوگیری از اشباع خیابان، تقاطع های دیگر را نیز در نظر گرفته باشد و مسیر دهی به خودرو ها، با کمک چراغ های راهنمایی هوشمند و با توجه به میزان تقاضای در تقاطع های قبل انجام پذیرد.

### ۳. شرح مدل

برای جلوگیری از مشکل اشباع خیابان ها و عدم تناسب تعداد خودروهای ورودی به تقاطع، مدل پیشنهادی با استفاده از پارامترهای سرعت بیشینه و میزان گنجایش خیابان ها، میزان

در [Bowman and Miller, 2016]، که یک نمونه مدل car-following است، مدل سازی جریان ترافیک با استفاده از شبیه سازی و کلان داده صورت گرفته است. شبیه سازی در سیستم ScalaTion انجام گرفته و از سه مدل رسیدن، جریان گردش و گردش تشکیل شده است. در این روش فقط بخش های خاصی از خیابان ها برای ورود خودروها به سیستم ترافیکی مجاز هستند و ماشین ها در هر بازه زمانی محل خود در خیابان، سرعت و موقعیت خود نسبت به ماشین مقابل را ذخیره می کنند. اگر در مقابل ماشین، خودرو دیگری موجود نباشد، خود به عنوان ماشین رهبر معرفی می شود که می تواند کنترل خود و ماشین های پشت سر خود را در دست داشته باشد و سرعت خود را تا حد مجاز بالا ببرد. در [Tonguz, Viriyasitavat and Fan, 2009] از Cellular Automata برای مدل سازی ترافیک شهری استفاده شده است. در این مقاله هر سلول نشان دهنده یک خودرو و خیابان ها به صورت دو طرفه منتهی به تقاطع هستند. در محل تقاطع ها سیستم به صورت سلول های شبکه ای، به نحوی پیاده سازی شده است که قوانین چرخش و حرکت مستقیم خودرو و چراغ های راهنمایی و رانندگی در آن در نظر گرفته شده باشند. نتایج این مقاله نشان می دهند که مکانیزم های کنترل از قبیل مدت زمان چرخه و هماهنگی چراغ های راهنمایی و رانندگی بر روی پویایی ترافیکی و توزیع فاصله بین خودرو تأثیر بسزایی دارد. از آنجا که در مدل های میکروسکوپی جزئیات زیادی در حال بررسی است، پیش بینی اهمیت بالایی پیدا میکند. مطالعات زیادی در حوزه پیش بینی مدل های میکروسکوپی صورت گرفته است. [Abbasi and Yaghoubi, 2012]، ابتدا برای بررسی پیش بینی پذیری جریان ترافیک شهری از تئوری آشوب استفاده شده است. همچنین پیش بینی کوتاه مدت جریان ترافیک در یکی از خیابان های شهر مشهد، با بکارگیری ترکیب الگوریتم های شبکه های عصبی و نیز یادگیری قوانین فازی، انجام شده است.

### ۱-۳ عبوردهی شبکه

عبوردهی شبکه با رابطه ۱ محاسبه می‌شود. که  $n$  تعداد یال‌های موجود در شبکه،  $m$  تعداد دسته‌خودروهای موجود در هر یال،  $car\_number_{ij}$  و  $car\_speed_{ij}$  به ترتیب تعداد خودروها و سرعت میانگین دسته خودرو  $j$  ام در یال  $i$  ام هستند.

**روش محاسبه معکوس چگالی اشباع هر خیابان**

معکوس چگالی اشباع هر کدام از خیابان‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود. که  $street\_bands$  تعداد باندهای خیابان،  $street\_length$  طول خیابان و  $avg\_car\_length$  برابر متوسط فضای اختصاص یافته به یک خودرو است.

### ۲-۳ نحوه محاسبه سرعت دسته خودرو

در دنیا واقعی هر خیابان دارای یک بیشینه سرعت است. در بیان ساده، در رابطه به فرایند جابجایی خودروها در خیابان می‌توان چنین گفت که، در ابتدای ورود خودروها به یک خیابان، خودروها

$$throughput = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^m car\_number_{ij} \times car\_speed_{ij} \quad (۱)$$

$$Inverse \text{ Saturated Density} = \frac{street\_bands * street\_length}{avg\_car\_length} \quad (۲)$$

$$(۳)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} carpack\_speed = max\_speed & \text{if } saturated\_density \leq tolerate\_density \quad (۱) \\ & (۲) \\ & (۵) \\ carpack\_speed = \left( \frac{saturated\_density - tolerate\_density}{(1 - tolerate\_density)} - 1 \right)^2 * max\_speed & (۴) \\ & \text{if } saturated\_density \geq tolerate\_density \end{array} \right.$$

$$carpack\_speed = \begin{cases} carpack\_speed, & \text{and } carpack\_speed > min\_speed \\ min\_speed, & \text{and } carpack\_speed \leq min\_speed \end{cases}$$

بهبودی تعداد خودرو و سرعت بهینه آن‌ها در خیابان را به نحوی تعیین می‌کند که منجر به افزایش عبوردهی شبکه شود.

شبکه خیابان‌ها و تقاطع‌ها به صورت یال‌ها و گره‌های یک گراف مدل شده‌اند؛ که گره‌ها نماینده تقاطع‌ها و یال‌ها نماینده خیابان‌ها هستند. برای کاهش حجم محاسبات، خودروها به صورت دسته‌ای مدل شده‌اند، بدین معنا که، به جای اینکه هر خودرو، در مدل یک شیء در نظر گرفته شود، چندین خودرو به عنوان یک "دسته خودرو" تعریف شده و جابه‌جایی خودروها و ورود آن‌ها به تقاطع‌ها به صورت "دسته خودرو" انجام می‌شود.

دسته خودروها در ابتدای هر یال تولید و در انتهای یال، با دسته‌هایی که به انتهای یال رسیده‌اند ادغام می‌شوند و در زمان ورود به یال بعد از یال پیشین حذف می‌شوند. هر دسته خودرو شامل تعداد خودرو موجود در دسته، سرعت میانگین و مسافت طی شده است؛ که مسافت طی شده برابر فاصله از ابتدای یالی است که در آن تولید شده است.

منتسب می‌گردد. شکل ۲ نشان‌دهنده تغییر سرعت در یک خیابان با بیشینه سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت، کمینه سرعت ۱ متر بر ثانیه، آستانه تحمل بیشینه سرعت ۰,۵ و بیشینه چگالی خیابان ۲۰ است.

### ۳-۳ محاسبه بهینه چگالی اشباع هر خیابان

بهینگی در این مدل بدین معناست که بیشترین جابه‌جایی خودرو در واحد زمان رخ دهد. برای دست یافتن به این امر، باید در واحد زمان سرعت و تعداد خودروهای موجود در شبکه بیشینه شود. نحوه محاسبه چگالی اشباع بهینه در سه‌گام زیر شرح داده شده است:

۱. برای هر خیابان از چگالی اشباع صفر شروع کرده و یک‌به‌یک به آن خودرو اضافه می‌کنیم و در هر مرحله متوسط سرعت خودروهای وارد شده به خیابان را با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آوریم. در این رابطه  $m$  تعداد خودروهای موجود در خیابان تا لحظه شروع محاسبه است.

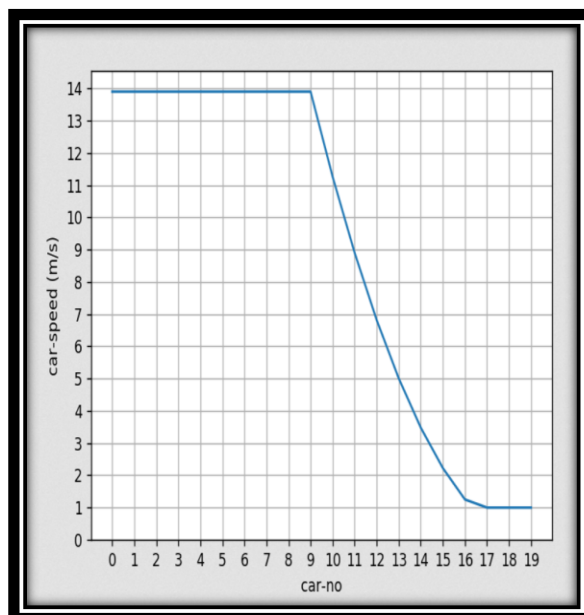
$$sum\_speed = \frac{\sum_{i=0}^m car\_speed_i}{m}$$

می‌تواند با بیشینه سرعت در مسیر خیابان حرکت کند اما پس از افزایش تعداد خودروها امکان حرکت خودروها با بیشینه سرعت اشاره شده ممکن نیست و سرعت خودروها به مرور به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند تا حدی که سرعت خودروها به کمینه مقدار ممکن خود می‌رسد. برای مدل کردن مباحث یادشده سرعت دسته‌خودروها با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌گردند.

برای دست یافتن به این بهینگی لازم است که رابطه‌ای برای میزان اشباع خیابان تعریف شود. معادله غیرخطی پیشنهادی در رابطه ۳ و ۴ آورده شده است. که  $carpack\_speed$  سرعت خودرو متناسب با ترافیک موجود در خیابان،  $max\_speed$  بیشینه سرعت مجاز در خیابان،  $min\_speed$  کمینه سرعت ممکن در شبکه،  $saturated\_density$  نسبت تعداد خودروها موجود در خیابان به چگالی آن و  $tolerate\_density$  آستانه تحمل بیشینه سرعت است که افزایش  $saturated\_density$  تا این میزان باعث کاهش سرعت خودروها از بیشینه سرعت نمی‌گردد. پارامترهای ذکر شده در جدول ۱ تعریف شده‌اند.

برای تعیین سرعت دسته‌خودرو در خیابان ابتدا تعداد خودروهای موجود در خیابان شمارش و چگالی اشباع آن محاسبه می‌گردد. اگر چگالی اشباع محاسبه شده از مقدار  $tolerate\_density$  کمتر باشد، خودرو بیشینه سرعت مجاز را اختیار می‌کند (قسمت اول رابطه ۲)، در غیر این صورت سرعت خودرو با استفاده از قسمت دوم رابطه ۲ محاسبه می‌گردد. سپس سرعت محاسبه شده در رابطه ۲، وارد رابطه ۳ می‌گردد. در این رابطه اگر سرعت خودرو از  $min\_speed$  کمتر باشد، سرعت خودرو برابر با  $min\_speed$  می‌شود. در غیر این صورت سرعت تغییری نکرده و مقدار به دست آمده در رابطه ۲ به خودرو

ارائه روشی برای افزایش عبوردهی شبکه خیابان‌ها مبتنی بر نظریه جریان بیشینه در گرافها

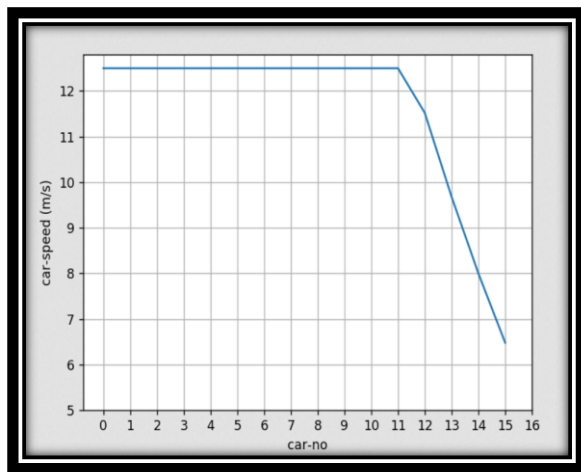


شکل ۲. نمودار تغییر سرعت یک خیابان با چگالی اشباع ۲۰، کمینه سرعت ۱ متر بر ثانیه، آستانه تحمل بیشینه سرعت ۰,۵ و بیشینه سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت (۱۳,۹ بر ثانیه)

جدول ۱. پارامترهای محاسبه دسته‌خودرو

نام	تعریف	کمینه مقدار	بیشینه مقدار
<b>carpack-speed</b>	سرعت دسته‌خودرو متناسب با ترافیک موجود در خیابان	min-speed	max-speed
<b>max-speed</b>	بیشینه سرعت مجاز در خیابان	برای هر خیابان ثابت	
<b>min-speed</b>	کمینه سرعت ممکن در شبکه	برای شبکه ثابت	
<b>tolerate-density</b>	آستانه بیشینه چگالی اشباع	برای شبکه ثابت (0,1)	
<b>Saturated-density</b>	نسبت تعداد خودروها موجود در خیابان به چگالی آن	۰	۱

مثال در یک تقاطع با دو ورودی که یکی فرعی و دیگری اصلی است، اگر به هر دو ورودی به یک میزان اجازه ورود داده شود، تراکم در ورودی اصلی به شدت افزایش پیدا می کند که امر نامطلوبی است.



شکل ۳. نمودار تغییر سرعت یک خیابان با چگالی اشباع بهینه ۲۵ و بیشینه سرعت ۴۵ کیلومتر بر ساعت (۱۲,۵ متر بر ثانیه)

مدل پیشنهادی برای رفع این مشکل به هر ورودی تقاطع، یک نسبت ارائه می دهد، که متناسب با تعداد خودروهای خارج شده از ورودی به تقاطع تعیین می گردد. برای محاسبه این نسبت، ابتدا تقاضای هر خیابان ورودی به تقاطع، با استفاده از رابطه ۵ را به دست می آوریم.

$$demand_i = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^n \frac{carpack\_number_{jk}}{distance_{jk}}$$

که  $demand_i$  برابر تقاضای ورودی  $i$  ام،  $carpack\_number_{jk}$  نشان دهنده تعداد خودرو موجود در دسته خودرو  $k$  ام در خیابان  $j$  ام،  $distance_{jk}$  فاصله خودروهای موجود در دسته خودرو ذکر شده تا تقاطع و  $n$  برابر تعداد دسته های موجود در خیابان  $j$  ام است.

۲. خودروهای موجود در خیابان مورد نظر به ترتیب سرعت مرتب شده و شماره گذاری می گردند.

۳. چگالی اشباع هر خیابان برابر با شماره آخرین خودرویی است که سرعت آن از سرعت متوسط محاسبه شده در مرحله اول بیشتر است. این امر باعث می گردد تا از ورود خودروهایی که سرعت آن ها از متوسط محاسبه شده کمتر است به خیابان جلوگیری شده و سرعت متوسط خودروهای جدید بیشتر از حالت قبل گردد.

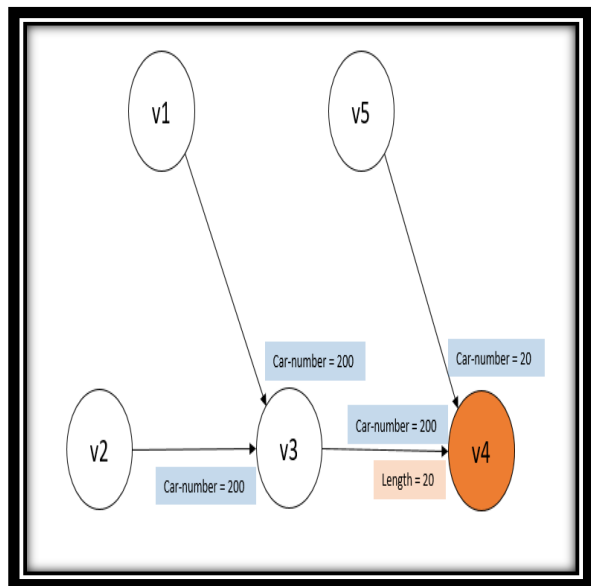
سه مرحله ذکر شده در ابتدای کار مدل برای هر خیابان در شبکه اجرا شده و چگالی اشباع بهینه آن ها محاسبه می گردد. در هنگام اجرا مدل، خیابان ها نمی توانند بیشتر از چگالی اشباع بهینه خود خودرو بپذیرند چراکه این امر باعث می شود خودروهای وارد شده سرعت کمتری داشته باشند و عبوردهی سیستم کاهش یابد. این در حالی است که اگر خودروهای متقاضی ورود برای مدتی منتظر بمانند تا خیابان خالی شود، با سرعت بیشتری وارد سیستم می شوند و در نهایت زودتر به مقصد خود می رسند.

بهینه چگالی اشباع برای یک خیابان با چگالی اشباع بیشینه ۲۵ و سرعت بیشینه ۴۵ کیلومتر بر ساعت متناسب با روش بالا برابر با ۱۵ به دست می آید. در شکل ۳ تغییرات سرعت برای این حالت قابل مشاهده است.

### ۴-۳ بهینگی میزان ورودی ها

یکی از مشکلات موجود در سامانه های مدیریت ترافیک عدم توجه به خودروهای متقاضی عبور در تقاطع و خودروهای متقاضی به عبور نرسیده به تقاطع است. این امر باعث تخصیص نامتناسب نسبت خودروهای ورودی می شود و میزان تراکم خودروها در مسیرهایی با متقاضی بیشتر را، بیشتر می کند. به طور





شکل ۴. نمونه شبکه برای تخصیص نسبت ورودی به تقاطع‌ها (car-number نشان‌دهنده تعداد خودروهای متقاضی ورود به تقاطع است، در این شبکه فرض شده است که دسته ۶ خودرویی در میانه خیابان‌ها موجود نیست).

### ۳-۵ شرح الگوریتم

الگوریتم به دو مرحله اصلی مقداردهی اولیه و حلقه اصلی تقسیم می‌شود. در مرحله اول یک گراف با اطلاعات مربوط به هر خیابان (یال) از جمله طول مسیر، سرعت بیشینه مجاز، تعداد باند مسیر وارد الگوریتم شده و مقادیر چگالی اشباع و چگالی اشباع بهینه محاسبه می‌گردند. سپس وارد مرحله دوم شده و خودروها وارد یال‌ها گشته و در هر تکرار یال‌ها مورد بررسی قرار داده شده و دسته خودروهای موجود بروز رسانی شده و با استفاده از روش ارائه شده برای بهینگی میزان ورودی‌ها، وارد یال‌های بعدی می‌گردند تا در نهایت از یال‌های خروجی خارج شوند. در انتها بازده الگوریتم ارائه شده محاسبه می‌شود و می‌توان نتیجه را با روش‌های معمول مقایسه کرد. در ادامه به بررسی مراحل یادشده

در رابطه ۵ تعداد خودروهای موجود در خیابان مورد نظر و دو خیابان قبلی منتهی به آن، بر فاصله آن‌ها تا ورودی تقاطع تقسیم می‌شوند. عمل تقسیم بر فاصله موجب وزن‌دار شدن میزان تقاضا می‌گردد که این امر باعث کاهش تأثیر خودروها، متناسب با افزایش فاصله آن‌ها می‌شود.

نسبت هر ورودی از طریق رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

$$entrance\_share_i = \frac{demand_i}{\sum_{j=1}^k demand_j} \quad (6)$$

که  $k$  تعداد خیابان‌های ورودی به تقاطع و  $entrance\_share_i$  نسبت اختصاص یافته به خیابان  $i$ ام است. با استفاده از نسبت‌های به دست آمده تعداد خودروهای خروجی هر خیابان ورودی به تقاطع محاسبه می‌گردد.

به عنوان مثال اگر شبکه‌ای همانند شبکه نمایش داده شده در شکل ۴ داشته باشیم، نسبت ارائه شده به یال  $v5-v4$  و  $v3-v4$  به ترتیب برابر با  $0,08$  و  $0,92$  می‌شود. حال اگر تعداد خودرو مجاز ورودی به تقاطع  $v4$  برابر با  $20$  باشد از یال  $v5-v4$ ،  $2$  خودرو و از یال  $v3-v4$ ،  $18$  خودرو خارج می‌شوند. این در حالی است که در برخی روش‌ها به هردو به تعداد یکسان امکان ورود خودرو داده می‌شود که پرواضح است این امر باعث افزایش شدید ترافیک در یال  $v3-v4$  می‌گردد.

دسته خودرو با وضعیت "آماده به خروج" موجود باشد، مشخص می شوند.

### ۳-۵-۳ جابجایی دسته خودروها در گره‌ها

#### محاسبه output-vehicles

Output-vehicles متشکل از مجموع تعداد خودروهای موجود در یال‌های ورودی گره با وضعیت "آماده به خروج" است.

#### محاسبه input-vehicles

Input-vehicles متشکل از مجموع چگالی اشباع‌های مجاز هر یال خروجی از گره است. بیشینه چگالی اشباع ورودی هر یال مساوی با دو برابر تعداد باندهای آن فرض شده است. اگر چگالی اشباع محاسبه شده موجب گردد که چگالی اشباع کنونی یال از مقدار چگالی اشباع بهینه بیشتر شود، از مقدار آن کاسته می شود تا بهینگی مطرح شده محقق گردد.

سپس تعداد خودروهای متقاضی با چگالی اشباع ورودی به یال‌های بعد، مقایسه می شوند که ۲ حالت زیر رخ می دهد:

الف)  $output-vehicles < input-vehicles$

در این حالت به هرکدام از یال‌های خروجی از گره متناسب با چگالی اشباع ورودی آن یک نسبت داده می شود. بر اساس این نسبت output-vehicles بین یال‌های خروجی از گره تقسیم می شود.

ب)  $output-vehicles > input-vehicles$

در این حالت به هرکدام از یال‌های ورودی متناسب با رابطه ۵ و ۶ یک نسبت ارائه داده می شود. سپس تعداد خودروهای دسته خودرو موردنظر کاهش می یابند و وارد یال‌های خروجی گره می شوند.

پرداخته می شود و در الگوریتم ۱ شبه کد الگوریتم نمایش داده شده است.

### ورودی گراف و مقداردهی اولیه

ورودی مدل به صورت لیستی از یال‌ها و گره‌ها است که گره‌ها دارای خصوصیت نام و یال‌ها شامل خصوصیات طول مسیر، سرعت بیشینه مجاز، تعداد باند مسیر، لیستی از دسته خودروها، چگالی اشباع بهینه و چگالی اشباع هستند. چگالی اشباع بهینه با استفاده از روش ارائه شده برای هر یال به دست می آید. برای ساده سازی مسئله، خودروها به صورت دسته ای مدیریت می گردند. استفاده از دسته خودرو بجای خودروهای منفرد، باعث کاهش بار محاسباتی مدل و افزایش سرعت پردازش می شود. هر دسته خودرو شامل خصوصیات طول مسیر طی شده در یال موردنظر، سرعت و تعداد خودرو است. گراف نشان داده شده در شکل ۵ به عنوان یک ورودی نمونه به مدل است. در ابتدا کل شبکه خالی از خودرو است. پیکان‌های قرمز نشان دهنده خودروهای متقاضی ورود به شبکه و پیکان‌های آبی نشان دهنده تقاطع‌های پایانی هستند.

### ۳-۵-۱ حلقه اصلی

هر تکرار در حلقه اصلی یک واحد زمانی به حساب می آید.

### ۳-۵-۲ به روزرسانی دسته خودروها

برای بروز رسانی دسته خودروها تمام یال‌ها بررسی شده و فاصله طی شده دسته خودروهای موجود در یال، متناسب با سرعت دسته بروز می شوند و اگر دسته به انتهای یال رسیده باشد وضعیت دسته خودرو به حالت "آماده به خروج" تغییر پیدا می کند. تمام گره‌ها بررسی شده و گره‌هایی که در یال‌های ورودی آن‌ها،

### ۳-۵-۴ شرط پایان حلقه

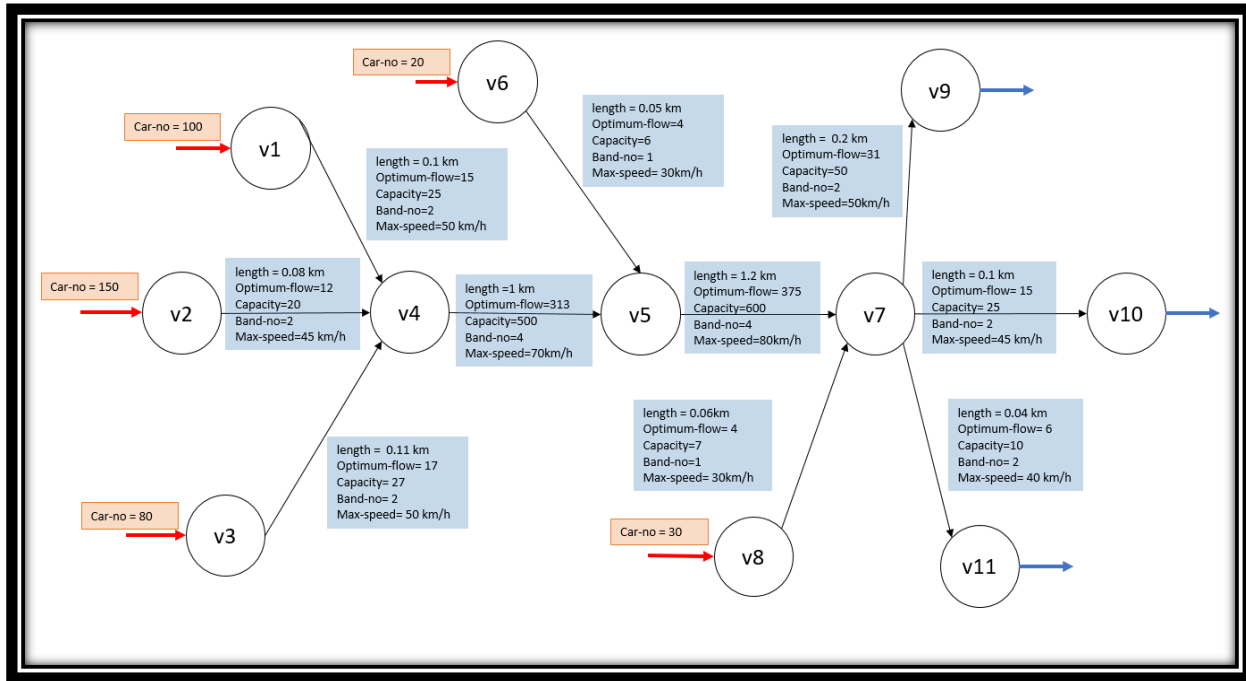
تعداد خودروهای موجود در دسته خودرو و سرعت دسته خودرو محاسبه و در نهایت متوسط گیری می‌شود.

حلقه اصلی تا زمانی تکرار می‌شود که تعداد مشخصی از خودروها از گره‌های پایانی (پیکان‌های آبی) از گراف خارج شوند.

### ۳-۶ روش ارزیابی سیستم

به بیان دیگر این رابطه میزان جابجایی کل خودروها در واحد زمان را برای شبکه محاسبه می‌کند. و برای جلوگیری از اتفافی بودن نتایج، در سیکل‌های مختلف عبوردهی محاسبه و در نهایت متوسط گیری می‌شود. نتیجه به دست آمده برای پیاده‌سازی‌های مختلف با مقادیر اولیه یکسان برابر است چراکه عامل تصادفی‌ای در الگوریتم موجود نیست.

معیار ارزیابی در مدل با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد. در این رابطه throughput نشان‌دهنده عبوردهی سیستم است. برای محاسبه عبوردهی، در زمان‌های مختلف مجموع حاصل ضرب



شکل ۵. گراف ورودی و مقادیر اولیه

## ۴. پیاده‌سازی و نتایج تجربی

الگوریتم ارائه‌شده به زبان Java بر سیستم عامل Ubuntu 18.04 LTS با پردازنده‌ی Intel Core i5-6400 2.70 GHz و 4GB RAM پیاده‌سازی شده است. در ادامه نتایج یک نمونه پیاده‌سازی بررسی می‌شود.

### ۴-۱ پارامترهای ثابت مدل

در این پیاده‌سازی هر حلقه تکرار برابر با ۵ ثانیه است. بدین معنی که در حلقه تکرار خودروها به میزان ۵ ثانیه به سمت مقصد حرکت می‌کنند. فضای متوسط اختصاص یافته به هر خودرو برابر با ۸ متر فرض شده و معکوس چگالی اشباع هر خیابان با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شده است. در هر تقاطع به ازای هر باند خیابان

۲ خودرو مجاز به ورود به خیابان بعدی هستند. در هنگام محاسبه تقاضا برای تعیین نسبت هر خیابان، خودروهای موجود تا ۲ خیابان قبل در تصمیم‌گیری تأثیر داده می‌شوند. به هر دسته خودرو در هنگام ورود به یک خیابان یک سرعت متناسب می‌شود که اگر چگالی اشباع آن خیابان تا ۵۰ درصد نرسیده باشد سرعت بیشینه را به خود می‌گیرند. در مدل برای جلوگیری از قفل شدن خیابان‌ها، فرض شده است که سرعت خودروها از کمینه مقدار ۱ متر بر ثانیه نمی‌تواند کمتر شود. در نهایت پس از خروج ۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰ خودرو از شبکه، مدل متوقف و ارزیابی می‌گردد. پارامترهای ثابت این پیاده‌سازی در جدول ۲ آورده شده است.

## ۴-۲ گراف ورودی

گراف ورودی و مقادیر اولیه گراف در شکل ۵ نمایش داده شده است. مقدار طول خیابان‌ها، تعداد باندها و بیشینه سرعت به صورت پیش فرض و مقدار بیشینه معکوس چگالی اشباع هر خیابان از رابطه ۲ و بهینه چگالی اشباع هر خیابان از روش ارائه شده در قسمت "محاسبه بهینه چگالی اشباع هر خیابان" محاسبه شده است.

جدول ۲. پارامترهای ثابت

پارامتر	مقدار
زمان طی شده در هر تکرار	۵ ثانیه
آستانه تحمل بیشینه سرعت	۵۰ درصد
فضای متوسط اختصاص یافته به یک خودرو	۸ متر
ضریب ورود خودرو به خیابان	۲
تعداد خیابان‌های بررسی شده برای محاسبه تقاضا	۳
کمینه سرعت ممکن	۱ متر بر ثانیه

## ۴-۳ نتیجه پیاده‌سازی

نتیجه مدل باحالت معمولی مقایسه شده است. حالت اول (معمولی) از روش‌های "محاسبه بهینه چگالی اشباع هر خیابان" و "بهینگی میزان ورودی‌ها" استفاده نمی‌کند. در این حالت خیابان‌ها تا بیشینه چگالی خود پر می‌شوند و نسبت‌دهی به ورودی‌های هر تقاطع به تعداد خودروهای متقاضی توجه نمی‌شود، که این امر باعث کاهش سرعت خودروهای موجود در خیابان تا کمینه مقدار ممکن می‌شود. نتایج حاصل در جدول ۲ نمایش داده شده است.

حالت دوم (مدل ارائه شده) از روش‌های "محاسبه بهینه چگالی اشباع هر خیابان" و "بهینگی میزان ورودی‌ها" استفاده می‌کند. در این حالت خیابان‌ها تا بیشینه چگالی خود پر نمی‌شوند بلکه با استفاده از روش ارائه شده در "محاسبه بهینه چگالی اشباع هر خیابان" مقدار چگالی اشباع بهینه محاسبه می‌شود. این چگالی اشباع باعث می‌گردد که تعداد خودروها تا حدی افزایش یابند که سرعت و تعداد خودروها در خیابان بیشینه مقدار ممکن شوند. علاوه بر آن به ورودی‌های هر تقاطع، متناسب با تعداد خودروهای متقاضی، نسبت مناسبی داده می‌شود، که این امر از تشدید ترافیک جلوگیری می‌کند. نتایج حاصل از این پیاده‌سازی در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳. نتیجه پیاده‌سازی

پارامتر	حالت بهینه	حالت بهینه
زمان اجرای الگوریتم	۲۴۳۳۸۹ متر در ثانیه	۱۵۷۹۰۱ متر در ثانیه
عبوردهی	۷۶۵,۵	۱۸۲۵,۳

همان‌گونه که از اعداد ارائه شده در جدول ۳ مشخص است مقدار عبوردهی ارائه شده توسط مدل پیشنهاد شده در این مقاله 2.38 برابر حالت معمولی است. این مسئله نشان‌دهنده این موضوع است که در زمان ترافیک‌های سنگین اگر چگالی اشباع خیابان‌ها تا مقدار بهینه، که کمتر از مقدار بیشینه است، پر گردد، باعث جابجایی سریع تعداد خودروها در شبکه می‌شود. همچنین توجه به تعداد خودروهای متقاضی در ورودی‌های تقاطع از ایجاد ترافیک شدید جلوگیری کرده و عبوردهی سیستم را افزایش می‌دهد.

## ۶. پی نوشت ها

1. Simulation of Urban Mobility
2. Cellular Automata
3. Vehicle to Infrastructure
4. Infrastructure to Vehicle

## ۷. مراجع

- Bonzani, I. (2007) "Hyperbolicity analysis of a class of dynamical systems modelling traffic flow", *Applied Mathematics Letters*, Vol. 20, No. 8, pp. 933–937.
- Bowman, C. N. and Miller J. A. (2016) "Modeling traffic flow using simulation and big data analytics", *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, pp. 1206–1217.
- De Nunzio, G., De Wit, C. C., Moulin, P. and Di Domenico, D. (2016) "Eco-driving in urban traffic networks using traffic signals information", *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Vol. 26, No. 6, pp. 1307–1324.
- Dezani, H., Bassi, R. D. S., Marranghello, N., Gomes, L., Damiani, F. and Nunes da Silva, I. (2014) "Optimizing urban traffic flow using genetic algorithm with petri net analysis as fitness function", *Neurocomputing*, Vol. 124, pp. 162–167.
- Errampalli, M. and Kayitha, R. (2016) "Traffic management plan for port blair city, india", *transportation research procedia*, Vol. 17, pp. 548–557.
- Ford, L. R. and Fulkerson, D. R. (1963) "Flows in networks", *Journal of the Franklin Institute*, Vol. 275, pp. 152.

## ۵. نتیجه گیری و کارهای آینده

یکی از مشکلات اساسی کلان شهرها مشکل ترافیک شهری است که باعث اتلاف زمان و انرژی می شود و باعث شده طرح ها و مدل های زیادی برای کنترل و مدیریت ترافیک ارائه شود. در مقاله پیشرو مدلی برای افزایش کارایی و عبوردهی خیابان ها معرفی شد که در نتیجه آن، با استفاده ی بهینه از چگالی اشباع خیابان ها، مبتنی بر مفهوم جریان بیشینه، ترافیک کاهش پیدا کرده و در مجموع اتلاف منابع کمتری رخ دهد. همچنین با بررسی میزان تقاضای هر مسیر پشت تقاطع، نسبت مناسبی برای میزان ورودی از هر خیابان منتهی به تقاطع به دست می آوریم. در نهایت، میزان عبوردهی یک شبکه از خیابان ها و تقاطع ها در دو حالت معمولی و بهینه باهم مقایسه شده و در نتیجه عبوردهی در حالت بهینه ۲,۳۸ برابر حالت معمولی ارزیابی می شود.

مدل ارائه شده در یک شبکه ی کوچک تست شده در حالی که در دنیا واقعی با شبکه های بزرگی وجود دارد. با استفاده از فنآوری های کلان داده می توان گراف های بزرگتری را پیاده سازی و ارزیابی کرد. مدل غیرخطی ارائه شده برای سرعت خیابان به صورت کلی برای تمام خیابان ها یکسان فرض شده است که در مدل های آتی این مدل می تواند بهبود و برای خیابان های مختلف حالات مختلفی داشته باشد. علاوه بر این، خیابان ها در این مدل یک طرفه فرض شده اند که در مدل های آینده می توان از یال های دوطرفه استفاده کرد.

- Ranasinghe, R. A. C. (2016) "Effective urban transport planning using multi-modal traffic simulations approach", 2nd International Moratuwa Engineering Research Conference, MERCon 2016, pp. 303–308.
- Redhu, P. and Gupta, A. K. (2015a) "Delayed-feedback control in a lattice hydrodynamic model", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 27, No. 1–3, pp. 263–270.
- Redhu, P. and Gupta, A. K. (2015b) "Jamming transitions and the effect of interruption probability in a lattice traffic flow model with passing", *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol. 421, pp. 249–260.
- Redhu, P. and Gupta, A. K. (2016) "Effect of forward looking sites on a multi-phase lattice hydrodynamic model", *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol. 445, pp. 150–160.
- Tang, T. Q., Huang, H. J., Wu, W. X. and Wu, Y. H. (2015) "Analyzing trip cost with no late arrival under car-following model", *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 64, pp. 123–129.
- Tang, T. Q., Li, J. G., Yang, S. C. and Shang, H. Y. (2015) "Effects of on-ramp on the fuel consumption of the vehicles on the main road under car-following model", *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, Vol. 419, pp. 293–300.
- Tang, T. Q., Shi, W. F., Shang, H. Y. and Wang, Y. P. (2014) "An extended car-following model with consideration of the reliability of inter-vehicle communication", *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 58, pp. 286–293.
- Giannakos, L., Mintsis, E., Basbas, S., Mintsis, G. and Taxiltaris, C. (2017) "Simulating traffic and environmental effects of pedestrianization and traffic management. a comparison between static and dynamic traffic assignment", *Transportation Research Procedia*, Vol. 24, No. 2016, pp. 313–320.
- Gupta, A. K. and Redhu, P. (2014) "Analysis of a modified two-lane lattice model by considering the density difference effect", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 19, No. 5, pp. 1600–1610.
- Hajiahmadi, M., Haddad, J., De Schutter, B. and Geroliminis, N. (2013) "Optimal hybrid macroscopic traffic control for urban regions: perimeter and switching signal plans controllers", *European Control Conference (Ecc)*, Vol.23, No. 2, pp. 3500–3505.
- Korfant, M. and Gogola, M. (2017) "Possibilities of using traffic planning software in Bratislava", *Procedia Engineering* Vol. 192, pp. 433–438.
- Krajzewicz, D., Bonert, M. and Wagner, P. (2006) "The open source traffic simulation package SUMO", *RoboCup 2006 Infrastructure Simulation Competition*, pp. 1–5.
- moore, e. j., kichainukon, w. and phalavonk, u. (2013) "Maximum flow in road networks with speed-dependent capacities - Application to Bangkok traffic", *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, Vol. 35, No. 4, pp. 489–499.
- Peng, G. (2013) "A new lattice model of the traffic flow with the consideration of the driver anticipation effect in a two-lane system", *Nonlinear Dynamics*, Vol. 73, No. 1, pp. 1035–1043.
- Rakkesh, S. T., Weerasinghe, A. R. and

automata approach”, Communications Magazine, IEEE, Vol. 47, No. 5, pp. 142–150.

- Wang, C., Li, X., Zhou, X., Wang, A. and Nedjah, N. (2016) “Soft computing in big data intelligent transportation systems”, Applied Soft Computing, Vol. 38, pp. 1099–1108.

- Yisheng, L., Duan, Y. and Kang, W. (2015) “Traffic flow prediction with big data: a deep learning approach”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 16, No. 2, pp. 865–873.

- عباسی، سید حمید و یعقوبی، مهدی (۲۰۱۲) “یک روش پیشنهادی برای انتخاب گره اتصال برای بهبود نتایج تخصیص ترافیک، مطالعه موردی شهر مشهد”، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال چهارم، شماره سوم، ص. ۲۵۹-۲۷۰.

- Tang, T. Q., Xu, K. W., Yang, S. C. and Shang, H. Y. (2015) “Influences of battery exchange on the vehicle’s driving behavior and running time under car-following model”, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, Vol. 59, pp. 30–37.

- Tang, T. Q., Yu, Q., Yang, S. C. and Ding, C. (2015) “Impacts of the vehicle’s fuel consumption and exhaust emissions on the trip cost allowing late arrival under car-following model”, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, Vol. 431, pp. 52–62.

- Thonhofer, E., Palau, T., Kuhn, A., Jakubek, S. and Kozek, M. (2018) “Macroscopic traffic model for large scale urban traffic network design”, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 80, pp. 32–49.

- Tonguz, O. K., Viriyasitavat, W. and Fan, B. (2009) “Modeling urban traffic: a cellular



ارائه روشی برای افزایش عبوردهی شبکه خیابان‌ها مبتنی بر نظریه جریان بیشینه در گرافها

Input:

E: تعداد یال ها

IV: تعداد گره هایی که دارای خودرو متقاضی ورود است

IN: یال های ورودی به گره ی موردنظر

ON: یال های خروجی از گره ی موردنظر

input\_vehicles: تعداد خودروهای ورودی به یال های خروجی از یک گره

output\_vehicles: تعداد خودروهای خروجی از یال های ورودی به یک گره

carpacks: دسته خودرو

exit-cars: تعداد خودروهایی که تاکنون از شبکه خارج شده اند

termination-number: تعداد خودرو خارج شده لازم برای توقف الگوریتم

Algorithm:

1: Initialize Parameters

2: while exit-cars < termination-number

3:     for i=1 to E do

4:         Update carpack passed length

5:         if carpack passed length >= edge length then

6:             Update carpack state

7:         end if

8:     end for

9:     find IV

10: for i=1 to IV do

11:     Count output\_vehicles

12:     Count input\_vehicles

13:     if output\_vehicles < input\_vehicles then

14:         Share Vehicles

15:         Remove carpacks from IN

16:         Add new carpacks to ON

17:     else

18:         Compute input demand

19:         Share vehicles

20:         Decrease carpack's number of cars from IN

21:         Add new carpacks to ON

22:     end if

23: end for

24: end while

الگوریتم ۱. الگوریتم مدل بهینه‌سازی ترافیک

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال دوازدهم / شماره دوم (۴۷) / زمستان ۱۳۹۹

محمد حسین زنده پی، سید حسین خواسته، پویا محمدی کزج

محمد حسین زنده پی، درجه کارشناسی خود را در رشته فناوری اطلاعات در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه پیام نور بوشهر اخذ نموده و درحال حاضر دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته فناوری اطلاعات گرایش تجارت الکترونیک در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان تحلیل کلان داده و یادگیری ماشین مقیاس پذیر، است.



سید حسین خواسته، درجه کارشناسی خود را در رشته برق کنترل در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نمود. ایشان به ترتیب در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۱ موفق به کسب درجات کارشناسی ارشد و دکتری در رشته کامپیوتر هوش مصنوعی از دانشگاه صنعتی شریف گردید و درحال حاضر عضو هیأت علمی در دانشکده کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی با مرتبه استادیار است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان سیستم‌های یادگیری ماشین، کلان داده، الگوریتم های تکاملی و سیستم های چند عاملی است.



پویا محمدی کزج، درجه کارشناسی در رشته نقشه برداری را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ نموده و درحال حاضر دانش آموخته کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان سیستم‌های یادگیری تقویتی عمیق و محاسبات تکاملی است.

