بهبود کیفیت خدمات شبکه‌های خودرویی با استفاده هم‌زمان واحدهای کنارجاده‌ای و خودروهای پارک‌شده در محیط شهری

نیک‌محمد بلوچزهی*[۱]، رخشاالسادات کشفی [۲]، مریم بیدار [۳]

دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

[*۱]نویسنده مسئول: استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

[۲و۳] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

با رشد جمعیت شهری، وسایل‌نقلیه نیز رشد چشمگیری را تجربه کرده‌اند. افزایش خودروها منجر به بروز چالش‌هایی در ارائه خدمات ایمنی، ترافیک و رفاه شده‌است. جهت رفع این چالش‌ها، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند ارائه‌شده‌اند. یکی از فناوری‌های کلیدی در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند در جهت رفع این چالش‌ها، شبکه‌های خودرویی هستند؛ اما این شبکه‌ها در ارائه مطلوب خدمات با چالش‌هایی از قبیل گسستگی شبکه در نقاط کم‌چگالی و کمبود ظرفیت شبکه در نقاط دارای ازدحام مواجه هستند. جهت غلبه بر این مشکلات، واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری نصب می‌شوند؛ اما هزینه بالای نصب و نگهداری این واحدها، از نصب گسترده آنها در محیط شهری جلوگیری می‌کند؛ ازاین‌رو نیاز است تا تعداد کمینه‌ای از این واحدها در محیط شهری و در نقاط مناسب و موردنیاز جهت رفع چالش‌های مذکور، نصب شود. وجود خودروهای پارک‌شده در محیط شهری و در مکان‌های از پیش تعیین‌شده، امکان استفاده از آنها را به‌عنوان واحدهای کنارجاده‌ای مقدور می‌سازد؛ ازاین‌رو نیاز است تا در چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری، موقعیت پارکینگ‌ها نیز مدنظر قرار گیرد. در این مقاله، مدلی مبتنی بر برنامه‌ریزی دودویی جهت ایجاد کمینه پوشش موردنیاز در محیط شهری جهت رفع چالش‌های مطرح‌شده با لحاظ‌کردن خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحدکنارجاده‌ای ارائه‌شده است. در این مدل در نقاط پارکینگ از گره‌های پارک‌شده به‌عنوان واحدهای کنارجاده‌ای جهت تکمیل پوشش شبکه و افزایش ظرفیت آن بهره می‌برند. همچنین قیدهایی جهت تعیین کمینه پوشش موردنیاز و جلوگیری از پوشش‌های چندگانه به‌منظور کاهش هزینه‌های نصب به مدل افزوده شده‌است. درنهایت راه‌کار ارائه‌شده با استفاده از شبیه‌سازهای OMNeT++، SUMO و Veins مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت صحت‌سنجی مدل ارائه‌شده، ارزیابی در دو نقشه متفاوت، با تعداد متنوعی از واحدهای کنارجاده‌ای و حالات ترافیکی متفاوت صورت‌گرفته است و پارامترهای کارایی نرخ گم‌شدن بسته‌ها و تأخیر دریافت سرویس مورد اندازه‌گیری واقع‌شده‌اند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از بهبود پارامتر تأخیر دریافت سرویس به‌طور متوسط در دو نقشه به میزان ۳۹ و ۴۳ درصد و نرخ گم‌شدن بسته‌ها به میزان ۴۷ و ۴۹ درصد در مقایسه با دیگر راه‌کارهای مرتبط است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های خودرویی، واحدهای کنارجاده‌ای، خودروهای پارک‌شده، سامانه‌های حمل و نقل، بهبود کیفیت سرویس

Vehicular Networks QoS Improvement by Simultaneous Use of RSUs and Parked Vehicles in Urban Scenarios

Nik-Mohammad Balouchzahi*, Rakhshasadat Kashfi and Maryam Bidar

Faculty of Electrical and Computer Engineering,
University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Abstract:

By growth in urban population, vehicles have also experienced increased significantly. The increased of vehicles has led to challenges in the services of safety, traffic and comfort. Congestion in urban areas is

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۴/۲۰ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۱ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۷/۳۰ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

one of the main examples of increasing the number of vehicles, which has also led to environmental challenges. To address these challenges, Intelligent Transportation Systems (ITS) have been developed. One of the key technologies in ITS to solve these challenges is vehicular networks. These networks increase the efficiency of transportation systems in urban and highway areas by providing a wide range of services. However, these networks face challenges such as network partitioning in low-density areas and lack of network capacity in dense areas to providing proper services. Such challenges will reduce the efficiency of vehicular networks and transportation systems in urban and highway scenarios. To overcome these problems, roadside units are deployed in urban environments, but the high cost of installation and maintenance of RSUs prevents their widespread installation in urban areas. Therefore, it is necessary to install a minimum number of these units in the urban environment and in suitable and necessary places to meet these challenges. The presence of parked vehicles in urban areas and in predetermined places, makes it possible to use them as RSUs. Therefore, it is necessary to consider the location of parking lots in the placement of roadside units in the urban environment so that parked vehicles in these places can be used as roadside units to meet these challenges. Therefore, it is necessary to consider the location of parking lots in urban areas in the placement of RSUs. In this paper, a BIP model for RSUs installation is developed to provide the minimum required coverage by considering parked vehicles as RSUs in the urban area to meet the mentioned challenges. In this model, parked vehicles in parking lots are used as RSUs to increase coverage and capacity of the network. Moreover, constraints have been added to the model to achieve the minimum required coverage and minimize multiple co-coverage to reduce installation costs. Therefore, in the proposed model, in addition to considering the parked vehicles in the parking lots as roadside units and restrictions to prevent multiple coverages in order to reduce installation costs, providing minimum coverage to improve the efficiency of ITS services is also considered. Finally, the proposed solution is evaluated using OMNeT++, SUMO and Veins. To validate the proposed model, the evaluation was repeated in two different maps, with a different number of RSUs and different traffic scenarios, and Packet Loss Rate and Service Delay were measured as performance parameters. The results of the simulation show the improvement of the service delay parameter in the two maps by 39% and 43% and the packet loss rate by 47% and 49% compared to other related work.

Keywords: Vehicular Networks, Road Side Units, Parked Vehicles, Intelligent Transportation Systems, QoS Improvement

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر شهرنشینی با رشد بسیار بالایی همراه بوده و در پی افزایش جمعیت شهری، تعداد خودروها نیز رشد چشم‌گیری داشته‌است، به‌طوری که در سال ۲۰۱۸ حدود ۸۲ میلیون خودرو در جهان تولید شده و در ایران نیز تعداد خودروها از مرز ۱۹ میلیون عبور کرده است [1].

اگرچه رشد روزافزون تعداد خودروها، سبب بهبود رفاه نسبی کاربران شده، اما روزبه‌روز بر ترافیک و شلوغی شهرها افزوده‌شده، در نتیجه میزان مصرف سوخت و آلودگی‌هوا نیز افزایش‌یافته، علاوه بر این ازدحام خودرو سبب بروز مشکلاتی در حوزه ایمنی نیزه شده، به‌گونه‌ای که بر تعداد تصادفات و به‌تبع آن بر میزان جراحت‌ها و خسارات افزوده شده‌است. هر ساله به‌طورتقریبی ۱/۲۵ میلیون نفر در دنیا بر اثر تصادفات کشته و ۲۰ تا ۵۰ میلیون نفر مصدوم می‌شوند[2].

یکی از دلایل اصلی بروز این حوادث و تحمیل هزینه‌های ناشی از آن، عدم دریافت به‌موقع اطلاعات ترافیکی و ایمنی است. به‌منظور جمع‌آوری و توزیع به‌موقع این اطلاعات، سامانه‌های حمل و نقل هوشمند[1] ارائه‌شده‌اند. شبکه‌های خودرویی[2] یکی از عناصر کلیدی در سامانه‌های حمل و نقل هوشمند هستند که امکان تجمیع و پخش اطلاعات ترافیکی و ایمنی بین خودروها را به‌کمک تجهیزات ارتباطی نصب‌شده بر روی خودرها مقدور می‌سازند [3, 4]. شکل (۱). علاوه‌بر تجهیزات ارتباطی و پردازشی نصب‌شده بر روی خودروها، گره‌هایی تحت عنوان واحدهای کنارجاده‌ای[3] در محیط شهری نصب می‌شوند تا علاوه‌بر تکمیل پوشش رادیویی محیط شهری، افزایش ظرفیت انتقال شبکه رادیویی را نیز فراهم کند[5] ؛ لذا خودروها علاوه‌بر ارتباط با دیگر خودروها (ارتباطات خودرو به خودرو[4]) از طریق کانال بی‌سیم، امکان تبادل اطلاعات با گره‌های کنارجاده‌ای (خودرو با زیرساخت[5]) را نیز دارد[6]

یکی از ویژگی‌های کلیدی شبکه‌های خودرویی تحرک بالای گره‌ها است که سبب عدم پایداری ارتباطات

[1] Intelligent Transportation Systems
[2] Vehicular Networks
[3] Road Side Units
[4] V2V Communications
[5] V2I Communications

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

بین خودرویی در نقاط کم‌تراکم می‌شود. واحدهای کنارجاده‌ای با نصب در چنین نقاطی امکان برخورداری از ارتباطات پایدارتری را مقدور می‌سازند؛ با این وجود امکان نصب تعداد دلخواهی از این واحدها در محیط شهری، با توجه به هزینه بالای نصب و نگهداری این واحدها، امکان‌پذیر ناست[3, 7] ؛ لذا نیاز به نصب تعداد کمینهی از این واحدها در محیط شهری و در نقاطی بهینه جهت ایجاد پوشش مطلوب در نقاط کم‌تراکم و غلبه بر کمبود ظرفیت شبکه در نقاط پرتراکم، از چالش‌های اصلی این حوزه است که مورد توجه محققان قرار گرفته است[8] .

(شکل- ۱): شبکه‌های خودرویی
(Fig.1): Vehicular Networks

پارکینگ‌ها در محیط شهری به‌عنوان نقاطی که همواره تعداد کمینهی از خودروها در آن‌ها وجود دارند، مورد توجه بوده‌اند. وجود خودرو در پارکینگ و توزیع پارکینگ‌ها در سطح محیط شهری سبب شده‌است تا خودروهای پارک‌شده در این نقاط، به‌عنوان گره‌هایی جایگزین برای واحدهای کنارجاده‌ای مطرح باشند[9, 10] . استفاده از این گره‌ها تا حد زیادی هزینه‌های بالای نصب و نگهداری واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری را کاهش می‌دهد. لحاظ‌کردن پوشش نواحی زیرمجموعه پارکینگ‌ها در کنار محدودیت‌های محیط شهری و شبکه‌های خودرویی، سبب نصب مناسب‌تر واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری خواهد شد.

مهم‌ترین محدودیت‌های شبکه‌های خودرویی و محیط شهری که مدنظر قرار می‌گیرند، عبارتند از:

۱- وجود نواحی با چگالی بالا که سبب کمبود ظرفیت انتقال شبکه خودرویی می‌شوند و امکان تبادل اطلاعات بین گره‌ها با توجه به ازدحام ایجاد شده را مختل می‌کند[3, 8] .

۲- وجود نواحی کم‌تراکم که پوشش مطلوب شبکه‌ای را در محیط شهری ندارد و امکان ایجاد ارتباطات چندگانه در این نواحی نیز مقدور نیست و بر اثر گسستگی ایجادشده در شبکه، امکان تبادل پیام بین گرۀ امکان‌پذیر نخواهد بود[8] .

۳- نقاطی در محیط شهری که امکان نصب واحدهای کنارجاده‌ای مقدور نیست.

۴- نقاطی در محیط که با توجه به عدم تردد خودرویی، نیازی به ایجاد پوشش شبکه ندارند.

۵- نقاطی که با توجه به وجود سرویس‌دهنده‌ها در آن نقاط به‌حتم باید تحت پوشش شبکه رادیویی قرار گیرند[3] .

در این مقاله مدلی مبتنی بر برنامه‌ریزی دودویی ارائه می‌شود. در این مدل خودروهای پارک‌شده به‌عنوان گره‌های کنارجاده‌ای مدنظر قرار می‌گیرند؛ همچنین مهم‌ترین محدودیت‌های محیط شهری و شبکه‌های خودرویی به‌عنوان قیدهای مسأله لحاظ شده‌اند؛ درنهایت با حل مدل ارائه‌شده، مکان بهینه نصب واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری تعیین می‌شود.

ادامه این مقاله بدین شرح ساماندهی می‌شود، در بخش ۲ پیشینۀ پژوهش بیان می‌شود. راه‌کار ارائه‌شده در این مقاله در بخش ۳ ارائه می‌شود. در بخش ۴ به نتایج حاصل از ارزیابی راه‌کار پیشنهادی در نقشه‌های مختلف شهری پرداخته شده و درنهایت در قسمت پایانی نتیجه‌گیری کار بیان شده‌است.

۲- پیشینۀ پژوهش

چیدمان بهینه واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری به‌منظور رفع گسستگی ارتباطات در شبکه‌های خودرویی و بهبود کیفیت این شبکه‌ها، یکی از چالش‌های اساسی این حوزه به‌شمار می‌رود که مورد توجه پژوهش‌گران این حوزه قرار گرفته است. راه‌کارهای ارائه‌شده برای این منظور در سه دسته کلی زیر قرار می‌گیرند. شکل (۲).

راه‌کارهایی که خودروهای پارک‌شده را در محیط به‌عنوان واحد کنارجاده‌ای لحاظ نکرده‌اند، در حالت کلی به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف- مکان‌یابی با درنظرگرفتن نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی: یکی از پارامترهای درنظر گرفته‌شده در مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای، نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی است. از مهم‌ترین پارامترهای این دسته می‌توان به ببیشینه تأخیر قابل تحمل به‌وسیله برنامه کاربردی اشاره کرد که باید در چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای لحاظ کرد

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

[3].

ب- مکان‌یابی با درنظرگرفتن محدودیت‌های محیط شهری و ویژگی‌های ترافیکی و شبکه‌ای: ویژگی‌ها و محدودیت‌های ترافیکی محیط شهری از پارامترهایی است که باید در استقرار واحدهای کنارجاده‌ای به‌صورت جدی مدنظر قرار گیرند. از مهم‌ترین این پارامترها به چگالی محیط، سرعت خودروها و جریان ترافیک در محیط اشاره می‌توان کرد. با توجه به تغییرات پویای پارامترهای ترافیکی، لحاظ‌کردن آن‌ها در مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای سبب خواهد شد تأثیرگذاری این واحدها در بهبود کارایی شبکه‌های خودرویی چشم‌گیرتر باشد؛ علاوه‌بر ویژگی‌ها و محدویت‌های ترافیکی، محدودیت‌های محیط شهری از قبیل عدم نیاز به نصب واحدها در نقاطی از محیط شهری، عدم امکان نصب واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری و یکسان‌نبودن هزینهٔ نصب و نگهداری واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری نیز باید مدنظر قرار گیرد [3, 8, 11].

(شکل-۲): دسته‌بندی راه‌کارهای ارائه‌شده جهت چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای
(Fig.2): Classification of RSUs deployment solutions

در (جدول- ۱) راه‌کارهای ارائه‌شده جهت نصب واحدهای کنارجاده‌ای که در آن‌ها به خودروهای پارک‌شده نقشی داده نشده است، با توجه به پارامترهای لحاظ شده در چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای به دو دسته کلی تقسیم‌شده‌اند. برخی از راه‌کار ها هر دو دسته پارامترها را در چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای مدنظر قرار داده‌اند.

نیاز کاربردهای ایمنی در ترافیک به تأخیر پایین بسیار حیاتی است و گاهی وجود ارتباطات چندگانه در شبکه‌های خودرویی این نیاز را برآورده نمی‌کند. با توجه به این مسائل *فوگ* و همکاران در[6] بر اساس الگوریتم ژنتیک، راه‌کاری جهت استقرار واحدهای کنارجاده‌ای ارائه داده‌اند تا بر این مشکل غلبه کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان‌می‌دهد که الگوریتم ارائه‌شده سبب کاهش زمان انتشار پیام‌های هشدار در محیط شهری می‌شود.

مورا و همکاران در [12] یک استراتژی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای بهبود چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای ارائه داده‌اند که هدف آن، ایجاد پوشش بیشینه‌ای با توجه به نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی است؛ همچنین شبکه به‌صورت یک گراف مدل شده‌است و یک پیش‌پردازش طبق اندازه‌گیری مرکزی انجام‌می‌شود. معیار مرکزیت بینابینی که در این مقاله معرفی شده‌است، تعداد دفعات است که یک گره بر روی کوتاه‌ترین مسیر میان نودهای مختلف یک گراف قرار می‌گیرد؛ سپس بر اساس بیش‌ترین مرکزیت بینابینی، تقاطع‌های موجود در نقشه اولویت‌بندی می‌شود. برای حل مسئله پوشش بیشینه و مسئله کمینه زمان اتصال، از الگوریتم ژنتیک استفاده شده‌است.

در [13] *مارتین* و همکاران یک الگوریتم جدید برای حل مسئله مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای پیشنهاد کرده‌اند و آن را Delta-r-GRASP نامیده‌اند. این الگوریتم بر پایه روش جست‌وجوی انطباقی تصادفی حریصانه است که الگوریتمی فرا اکتشافی است با چندین شروع و دو مرحله دارد: ۱) مرحله ساخت ۲) مرحله جست‌وجوی محلی. هدف Delta-r-GRASP، پیدا کردن کمترین تعداد واحد کنارجاده‌ای با تضمین کیفیت سرویس خواسته شده‌است درواقع، به این سؤال پاسخ داده‌شده‌است که واحدهای کنارجاده‌ای کجا نصب شود تا تعداد آن‌ها کمینه شود و علاوه بر آن کمینه نیازهای برنامه کاربردی نیز لحاظ شود.

برخی برنامه‌های کاربردی، حساس به تأخیر هستند و تأخیر بیش از اندازه را بر نمی‌تابند. *یانگ* و همکاران در[14] مساله چیدمان واحد کنارجاده‌ای را با توجه به بودجه و محدودیت تأخیر، مورد مطالعه قرار داده‌اند تا واحدها به‌گونه‌ای قرار گیرند که علاوه‌بر تضمین بودجه مصرفی و میزان تأخیر، به بهبود پوشش رادیویی محیط نیز منجر شود.

هدف اصلی *مهار* و همکاران در [15] چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای به‌گونه‌ای است که باعث بهبود تأخیر پایان به پایان برنامه‌های کاربردی باشد؛ ازاین‌رو،

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

الگوریتمی برای یافتن مکان نامزد مناسب جهت قرارگیری واحدهای کنارجاده‌ای ارائه داده‌اند تا از قرارگیری این واحدها در نقاطی که تراکم زیاد است و خودروها بدون استفاده از زیرساخت می‌توانند با یکدیگر ارتباط چندگامه برقرار کنند، جلوگیری کند.

(جدول- ۱): راه‌کارهای ارائه‌شده جهت نصب واحدهای کنارجاده‌ای بدون لحاظ‌کردن خودروهای پارک‌شده
(Table 1): RSUs deployment solutions without considering parcked vehicles

راه‌کار ارائه‌شده	نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی	پارامترهای ترافیکی
[6]	■	
[12]	■	
[13]	■	
[14]	■	
[15]	■	■
[16]	■	
[17]	■	
[7]		■
[18]	■	
[19]	■	■
[20]		■
[5]	■	
[21]		■
[11]		■

اُلیا و همکاران در [16] یک روش جدید برای مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای معرفی کرده‌اند که دو هدف را دنبال می‌کند. اولی به‌کمینه‌رساندن تعداد واحدهای کنارجاده‌ای مورد نیاز و مشخص‌کردن مکان مناسب آن‌ها و دومی به‌کمینه‌رساندن میزان خطای تخمین زمان سفر. یک الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی این مسئله چندمنظوره مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش، دقت تخمین زمان سفر، تابعی از تعداد و مکان واحد کنارجاده‌ای است.

وانگ و همکاران [17] جهت چیدمان مناسب واحد کنارجاده‌ای مفهومی به‌نام مرکزیت را تعریف کرده‌اند. درواقع، مرکزیت مفهومی است برای سنجش اهمیت و سود محل استقرار واحد کنارجاده‌ای و از آن برای سنجش موقعیت نامزد شده استفاده می‌شود. برای این رویکرد دو معیار مرکزیت در نظر گرفته شده‌است:

- ✓ درجه: تعداد واحدهای کنارجاده‌ای که به واحد کنارجاده‌ای نامزد به‌مستقیم وصل هستند.
- ✓ فاصله: فاصله گره مدنظر با سایر گره‌ها که هرچه این فاصله کمتر باشد و گره مشخص‌شده به سایرین نزدیک‌تر باشد، بهتر است.

بر اساس مفهوم مرکزیت، یک رویکرد چیدمان واحد کنارجاده‌ای پیشنهاد شده و به‌عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی خطی با هدف بیشینه‌کردن مقدار مرکزیت و با درنظرداشتن محدودیت بودجه، آن را فرموله کرده است. برای حل مسئله فرموله‌شده، آن را به یک مسئله کوله‌پشتی مدل کرده و از کوله‌پشتی صفر و یک برای حل استفاده شده‌است.

گو و همکاران در [7] سعی کرده‌اند با استفاده از مدلی جدید و طراحی الگوریتم‌های بهینه و کارآمد، درک بهتری از مسئله چینش واحد کنارجاده‌ای ارائه دهند. در بسیاری از پژوهش‌های موجود در این زمینه، شکل جاده و ناهمگونی بخش‌های مختلف جاده (برای مثال تعداد خطوط مختلف، و آمار ترافیک متفاوت) به‌طورمعمول نادیده گرفته‌می‌شود. این پژوهش، مدل شبکه جاده یک خط مستقیم در نظر گرفته‌می‌شود و توانایی توصیف مسیرهای منحنی شکل را ندارد، ولی می‌تواند جاده‌هایی با بخش‌های ناهمگن را در نظر بگیرد. هدف این پژوهش، بهینه‌سازی چینش تعدادی واحد کنارجاده‌ای است تا سود کلی استفاده از آن‌ها بیشینه شود. در این کار الگوریتم بهینه‌ای طراحی شده که از روش حریصانه و برنامه‌ریزی پویا به‌صورت ترکیبی استفاده کرده و بهینه‌بودن آن اثبات شده‌است.

در [18] *اُتا* و همکاران شبکه را با استفاده از گراف مدل می‌کند. از آن‌جا که استفاده از واحدهای کنارجاده‌ای ممکن است بخش‌هایی از جاده را به‌طور کامل تحت پوشش قرار دهد و بخش‌های دیگری را پوشش ندهد، به مکان‌یابی مناسب واحدهای کنارجاده‌ای پرداخته‌است. در این پژوهش، خودروها به‌صورت تصادفی، در منطقه هدف توزیع‌شده‌اند. زمانی یک خودرو می‌تواند با واحد کنارجاده‌ای ارتباط برقرار کند که تحت پوشش آن واحد باشد. اگر جاده مورد نظر شلوغ بود، واحد کنارجاده‌ای همواره باید فعال باشد تا بتواند به خودروها سرویس بدهد و برای برقراری ارتباط همیشه در دسترس باشد؛ اما زمانی که جاده خلوت و کم‌تراکم بود، برخی از واحدهای

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

کنارجاده‌ای می‌توانند غیرفعال شوند تا انرژی مصرفی کاهش یابد و هدر نرود؛ بنابراین، پوشش ارتباطی به‌عنوان یک محدودیت و به‌کمینه‌رساندن مصرف انرژی کل و بیشینه‌کردن اتصال در ارتباطات به‌عنوان دو هدف مورد توجه قرار می‌گیرد.

در [3] *بلوچزهی* و همکاران برای کاهش هزینه‌های نصب و نگهداری واحدهای کنار جاده‌ای و افزایش پوشش، ابتدا محیط را ناحیه‌بندی و پیش‌پردازش کرده‌اند؛ سپس مدل ریاضی مبتنی بر برنامه‌ریزی دودویی برای تعیین نقاط نهایی نصب واحدهای کنارجاده‌ای استفاده شده‌است. هدف در این پژوهش، کمینه‌کردن هزینه، با درنظرگرفتن محدودیت‌های محیطی و ترافیکی است.

و انگ و همکاران در [19] مدلی ریاضی برای توصیف رابطه فاصله بین دو واحد کنارجاده‌ای و تأخیر تحویل اطلاعات مربوط به جاده، ارائه کرده‌اند. این پژوهش، تأخیر تحویل اطلاعات را برای مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای در یک شبکه موردی آنالیز می‌کند. مدل ریاضی ارائه‌شده، سناریوی خلوتی را در نظر می‌گیرد که در آن دو واحد کنارجاده‌ای به‌صورت غیرمستقیم با هم در ارتباط هستند. با توجه به محدودیت‌های برنامه‌های کاربردی حساس به زمان، این مدل می‌تواند برای برآورد بیشینه فاصله بین دو واحد کنارجاده‌ای استفاده شود. به‌دلیل هزینه بالای استقرار واحد کنارجاده‌ای، این واحدها در مناطق دورافتاده و کم‌تردد، با فاصله از هم قرار داده می‌شوند؛ بدین معنی که می‌توان دو واحد کنارجاده‌ای را در امتداد یک جاده به‌گونه‌ای قرار داد که به‌صورت مستقیم با یکدیگر ارتباط نداشته‌باشند. این موضوع باعث افزایش تأخیر در انتشار پیام‌های مربوط به شرایط جاده می‌شود. از طرفی برای برنامه‌های مربوط به ایمنی، تأخیر انتشار اطلاعات جاده‌ای بسیار حائز اهمیت است. برای رسیدن به این هدف، باید دو واحد کنارجاده‌ای همسایه در فاصله معقولی از یکدیگر قرار بگیرند. برای تعیین این فاصله، باید رابطه‌ای بین تأخیر تحویل اطلاعات و فاصله بین دو واحد کنارجاده‌ای ارائه شود.

در [20] *لمب* و همکاران داده‌های جمع‌آوری شده توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی تلفن‌های هوشمند، تجزیه‌وتحلیل شده تا مشخص شود که در هر ناحیه چه فعالیت‌هایی رایج است. با به‌کارگیری این تکنیک، می‌توان مناطقی که خودروهای زیادی در آن تردد می‌کنند را پیدا کرد. سپس آمار ترافیک در تقاطعات بررسی و تنها تقاطعاتی که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته انتخاب می‌شود. با این روش تعداد واحدهای کنارجاده‌ای مورد نیاز کاهش می‌یابد.

در [5] *احمد* و همکاران برای مکان‌یابی مناسب واحدهای کنارجاده‌ای در یک بزرگراه، از یک مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف کمینه‌کردن تأخیر در شبکه استفاده کرده و سپس، روش‌های بهینه‌سازی را برای تعیین محل استقرار واحدهای کنارجاده‌ای به‌کار گرفته‌اند. این مدل با درنظرگرفتن بودجه و کمینه‌کردن تأخیر شبکه، راه‌حل مناسبی را برای نحوه مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای ارائه می‌دهد.

بیتام و همکاران نیز در [21] به مسئله مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای پرداخته‌اند تا بتوانند با به‌کارگیری کمینه تعداد واحد کنارجاده‌ای در تقاطع‌های مناسب، بیشینه پوشش شبکه را ایجاد کنند. به این منظور الگوریتم جدیدی به‌نام پوشش تقاطع ژنتیکی بر پایه مفهوم اولویت مطرح شده‌است. این الگوریتم با هدف به‌بیشینه‌رساندن پوشش، ضمن به کمینه‌رساندن نرخ تداخل و هزینه‌ها، پیشنهاد می‌کند که واحدهای کنارجاده‌ای در تقاطع‌هایی که ازدحام بیشتری دارند، نصب شوند. پس از شبیه‌سازی و مقایسه با رویکرد حریصانه، نتایج به‌دست‌آمده نشان‌می‌دهد که روش پیشنهادی با به‌کارگیری کمینه تعداد واحد کنارجاده‌ای، نرخ هم‌پوشانی را کاهش داده و پوشش شبکه را به بیشینه می‌رساند.

از آن جایی که واحدهای کنارجاده‌ای نقش مهمی در حفظ اتصال و پوشش شبکه دارند، در [11] *چابن* و همکاران تلاش کردند که نرخ پوشش را بیشینه و تعداد واحد کنارجاده‌ای را کمینه کنند. طرح جدید ارائه‌شده در این پژوهش، از دو مولفه اصلی "استخراج الگوهای جابه‌جایی" و "محاسبات مربوط به پوشش" تشکیل شده‌است. در مؤلفه نخست، با بررسی مسیرهای طی شده توسط خودروها از طریق داده‌کاوی، الگوهای تحرک و جابه‌جایی استخراج می‌شود. مولفه دوم با به‌کارگیری الگوهای استخراج شده از مؤلفه نخست، مجموعه‌ای از تقاطع‌ها را استخراج می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان داده‌اند که طرح پیشنهادی نرخ پوشش را افزایش و هزینه‌ها را کاهش داده است.

جمع‌بندی راه‌کارهایی که از خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحدکنارجاده‌ای بهره نبرده‌اند در (جدول-۲) آورده شده‌است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

(جدول-۲): دسته‌بندی راه‌کارهای چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای با توجه به پارامترهای مختلف

(Table 2): RSUs deployment solutions classification according to different parameters

راه‌کار	هدف	محیط شهری / بزرگراه	مدل ریاضی / شبیه‌سازی	روش حل
[6]	بهبود انتشار سیگنال، کاهش تأخیر و کاهش هزینه	شهری	شبیه‌سازی	ژنتیک
[12]	پوشش بیشینه محیط با توجه به نیازمندی‌های برنامه کاربردی	شهری	تئوری گراف	ژنتیک
[13]	کمینه‌کردن تعداد واحد کنارجاده‌ای و تضمین کیفیت سرویس (آستانه تأخیر)	شهری	برنامه ریزی خطی	الگوریتم فرا اکتشافی بر پایه روش جست و جوی تصادفی حریصانه
[14]	کاهش هزینه و تأخیر شبکه، کاهش نرخ گم شدن بسته‌ها، بهبود پوشش	شهری	شبیه‌سازی	ژنتیک، حریصانه، الگوریتم تکاملی دیفرانسیل باینری، کوله‌پشتی
[15]	بهبود تأخیر پایان به پایان	شهری و بزرگراه	تحلیلی	الگوریتم دایجکسترا و ژنتیک
[16]	کاهش هزینه و کاهش خطای تخمین زمان سفر	بزرگراه	تحلیلی	ژنتیک
[17]	افزایش زمان پوشش	شهری	برنامه ریزی خطی	برنامه ریزی پویا، کوله‌پشتی
[7]	در نظر گرفتن جاده‌ها با بخش‌های ناهمگن و کاهش هزینه	شهری	برنامه ریزی خطی	حریصانه
[18]	کاهش مصرف انرژی و هزینه و بهبود اتصال	شهری	شبیه‌سازی	ژنتیک
[19]	تعیین فاصله مناسب بین دو واحد کنارجاده‌ای برای تضمین تأخیر متحمل شده	بزرگراه	تحلیلی	تحلیلی
[20]	پوشش بیشینهی و کاهش هزینه	شهری	شبیه‌سازی	خوشه‌بندی
[5]	کمینه‌کردن تأخیر در شبکه و کاهش هزینه‌ها	بزرگراه	برنامه‌ریزی خطی	تحلیلی
[21]	کاهش تعداد واحد کنارجاده‌ای و کاهش نرخ هم‌پوشانی واحدها و بیشینه کردن پوشش	شهری	شبیه‌سازی	ژنتیک
[11]	کاهش هزینه و افزایش پوشش	شهری	شبیه‌سازی	تحلیلی

دستهٔ دیگر از راه‌کارهای ارائه‌شده جهت چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای، نقش خودروهای پارک‌شدهٔ درون پارکینگ‌ها را در چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای لحاظ کرده‌اند. مهم‌ترین این راه‌کارها عبارتند از:

در [10] *رئیس* و همکاران یک راه‌کار برای استفاده از خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحد کنارجاده‌ای در شبکه‌های خودرویی ارائه کرده‌اند. این رویکرد پیشنهادی، قادر به ارائZ پوشش خوب با استفاده از تعداد محدودی از خودروهای پارک‌شده است. با توجه به مصرف انرژی زیاد توسط واحدهای کنارجاده‌ای، باید در مناطق شلوغ تعداد واحدهای کنارجاده‌ای را کمینه کرد و پوشش را به بیشینه رساند. با توجه به این هدف، الگوریتمی ارائه‌شده که به خودرو اجازه تصمیم‌گیری می‌دهد که نقش واحد کنارجاده‌ای را ایفا کند.

برای بهینه‌سازی تعداد خودروهای دارای نقش واحد کنارجاده‌ای، معیار جدیدی معرفی شده که می‌تواند میزان ارزش هر خودرو را نشان دهد. هر اتومبیل پارک‌شده، باید پوشش سیگنال خود را بداند. خودروهایی که در جاده حرکت می‌کنند، پیام‌هایی را ارسال می‌کنند که شامل موقعیت، سرعت و جهت آن‌هاست. از طرفی خودروهای پارک‌شده این پیام‌ها را دریافت می‌کنند و از آن‌ها برای ساخت نقشه و تخمین کیفیت پوشش استفاده می‌کنند. خودروهای پارک‌شده، با گوش‌کردن به پیام‌های ارسال‌شده از سایرین، قدرت سیگنال را تخمین می‌زنند و در ماتریس مربوطه، ثبت می‌کنند.

هر خودرو وقتی پارک می‌کند، با توجه به نقشه پوشش خود و نقشه‌هایی که از واحدهای کنارجاده‌ای مجاور می‌گیرد، تصمیم می‌گیرد که نقش واحد کنارجاده‌ای را ایفا کند یا خیر. هنگام تصمیم‌گیری، خودرو نقشه خود را با نقشه محلی مقایسه می‌کند و برای هر سلول یکی از موارد زیر رخ می‌دهد:

- ✓ **ایجاد پوشش جدید:** سلول توسط هیچ واحد کنارجاده‌ای پوشش داده نمی‌شود و خودروی پارک‌شده پوشش جدیدی برای آن سلول به‌وجود می‌آورد که یک مزیت عمده است.
- ✓ **بهبود پوشش موجود:** اگر خودروی جدید بتواند سلول را در سطح سیگنال بهتر و بالاتری قرار دهد و پوشش را بهبود بخشد، مزیت‌های زیادی دارد.
- ✓ **پوشش اضافی:** خودرو، سلولی که تحت پوشش است را با سطح سیگنال مساوی یا پایین‌تر دوباره پوشش می‌دهد که بی‌مورد و اضافی است.

هر کدام از این سه مورد بررسی می‌شود و بر اساس ارزش به‌دست‌آمده، نتیجه‌گیری می‌شود.

بارگیری محتوا در شبکه‌های خودرویی به‌دلیل تحرک بالای خودروها با چالش‌های بزرگی مواجه است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

درواقع اگر خودرویی بخواهد محتوایی را از ارائه‌دهندهٔ آن دریافت کند، اگر محتوا حجیم باشد، خودرو مجبور است محتوای باقی‌مانده را که نتوانسته دریافت کند، از واحد کنارجاده‌ای دیگری درخواست کند؛ پس تا زمانی که به واحد کنارجاده‌ای بعدی برسد باید صبر کند و این موضوع باعث تأخیر انتقال طولانی می‌شود. در [22] *گونگ* و همکاران یک طرح بارگیری محتوا با استفاده از خودروهای پارک‌شده پیشنهاد داده‌اند. خودروهای پارک‌شده می‌توانند جایگزین مناسبی برای واحدهای کنارجاده‌ای باشند. این خودروها خوشه‌بندی می‌شوند و نقش واحد کنارجاده‌ای را بازی می‌کنند. وقتی خودرویی وارد جاده می‌شود، درخواست بارگیری محتوا را ارسال می‌کند. اعضای خوشه محتوا را از اینترنت بارگیری کرده و به خودرو منتقل می‌کنند. ممکن است به‌علت پهنای باند کم شبکه، همه محتوا نتواند به‌وسیلهٔ یک خوشه بارگیری و به چندین قسمت تقسیم شود؛ بنابراین یک برنامه تولید می‌شود که مشخص می‌کند که کدام قسمت محتوا در کدام یک از خوشه‌هاست. قسمت‌های مشخص‌شده به‌سرعت بارگیری می‌شوند تا به‌محض ورود خودرو به آن خیابان، دریافت شوند. این عمل با توجه به مدل مسیر سفر خودروست، که مشخص می‌کند کدام خوشه‌ها در مسیر سفر قرار می‌گیرند.

یو و همکاران در [23] از خودروهای در حال حرکت به‌عنوان زیرساخت استفاده کردند. برای نشان‌دادن امکان‌پذیری موضوع پیشنهادی، یک برنامه کاربردی مربوط به ایمنی به‌نام "اعلان پس از تصادف"[1] مورد بررسی قرار گرفته که نشان‌می‌دهد چگونه بدون استفاده از زیرساخت، می‌توان به بهبود اتصال شبکه کمک کرد. هدف اصلی این برنامه انتشار پیام‌های ایمنی شامل زمان و مکان وقوع تصادف است. این پیام به‌وسیلهٔ خودرویی که تصادف کرده و یا خودروی پلیس به خودروهای آن منطقه ارسال می‌شود. انتشار پیام یادشده باید در کوتاه‌ترین زمان صورت بگیرد.

در [9] نویسندگان، برای تبادل داده‌ها و گسترش شبکه خودرویی و اتصال بهتر، از خودروهای پارک‌شده در خیابان به‌عنوان واحد کنارجاده‌ای استفاده کردند. چندین خودروی پارک‌شده به‌عنوان یک گره شبکه در نظر گرفته شده که نقش واحد کنارجاده‌ای را ایفا می‌کنند؛ همچنین الگوریتمی معرفی شده که مشخص می‌کند چگونه خودروها به خوشه متصل می‌شوند و همچنان در حین عبور متصل به‌مانند. این گام شامل الگوریتمی برای انتخاب خودروهایی خاص به‌عنوان دروازه است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که با انتخاب همه خودروها به‌عنوان دروازه، بار شبکه به‌سرعت افزایش می‌یابد، اما با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، که برخی خودروها به‌عنوان دروازه انتخاب می‌شوند، علاوه‌بر پوشش کافی، بار شبکه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌شود.

در جدول ۳) راه‌کارهایی را که گره‌های پارک‌شده به‌عنوان واحدکنارجاده‌ای لحاظ کرده‌اند، با توجه به پارامترهای مختلف مدنظر فهرست شده‌اند.

در این قسمت به بررسی راه‌کارهای ارائه‌شده جهت مکان‌یابی مناسب گره‌های کنارجاده‌ای در محیط بزرگراه و شهری و راه‌کارهایی که جهت استفاده از خودروها به‌عنوان گره کنارجاده‌ای ارائه‌شده‌اند، پرداخته شد. راه‌کارهای مطرح‌شده جهت چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای بدون لحاظ‌کردن خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحد کنارجاده‌ای، با توجه نوع محیط، تابع هدف یادشده، استفاده از مدل‌سازی و یا شبیه‌سازی و روش حل مورد استفاده مورد بررسی قرار گرفتند.

از چالش‌های اساسی این دسته، می‌توان به نبود لحاظ‌کردن اغلب پارامترهای بااهمیت محیط شهری و ترافیکی در چیدمان واحدهای کنار جاده‌ای اشاره نمود. در راه‌کارهای مرتبط با استفاده از خودروها به‌عنوان زیرساخت نیز هدف موردنظر، نوع محیط، استفاده از مدل‌سازی یا شبیه‌سازی و بررسی استفاده و یا نبود استفاده از خوشه‌بندی بیان شده‌است. از چالش‌های موجود در این قسمت، استفاده از خودروهای متحرک به‌عنوان زیرساخت و یا تنها استفاده از خودروی پارک‌شده در محیط به‌عنوان واحدکنارجاده‌ای اشاره کرد. موردی که در این راه‌کارها مغفول واقع شده‌است، استفاده هم‌زمان از واحدهای کنارجاده‌ای و خودروهای پارک‌شده در پارکینگ‌ها به‌عنوان گره‌های کنارجاده‌ای است.

جدول ۳: راه‌کارهای چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای با لحاظ نمودن خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحدهای کنارجاده‌ای

Table 3: RSUs deployment solutions by considering parcked vehicles

راه‌کار	هدف	محیط شهری / بزرگراه	مدل ریاضی / شبیه‌سازی	آیا خوشه‌بندی صورت‌گرفته؟
[10]	بهبود پوشش، بهینه‌سازی تعداد خودروهای جایگزین واحد کنارجاده‌ای	شهری	شبیه‌سازی	خیر
[22]	افزایش نرخ بارگیری	شهری	شبیه‌سازی	بلی
[23]	بهبود اتصال، پوشش کافی	شهری و بزرگراه	شبیه‌سازی	خیر
[9]	بهبود اتصال،، افزایش کارایی	شهری	شبیه‌سازی	بلی

[1] Post Crash Notification (PCN)

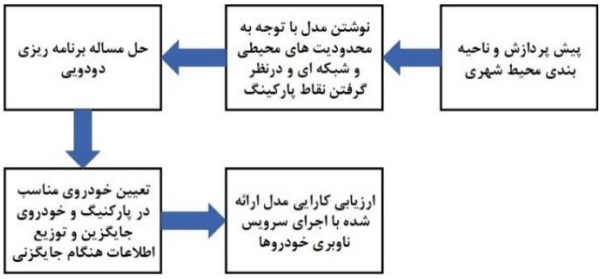
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

۳- راه‌کار پیشنهادی جهت استفاده همزمان از واحدهای کنارجاده‌ای و خودروهای پارک‌شده به‌منظور بهبود کیفیت سرویس شبکه‌های خودرویی

در این بخش راه‌کار پیشنهادشده در این مقاله به‌منظور چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای و استفادهٔ همزمان از خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحدکنارجاده‌ای و نحوهٔ ارزیابی کارایی راه‌کار ارائه‌شده، تشریح می‌شود.

(شکل-۳)(۳) مراحل مختلف انجام این چرخه را نشان‌می‌دهد.



(شکل-۳): مراحل انجام و ارزیابی راه‌کار پیشنهادی

(Fig.3): Steps to perform and evaluate proposed solution

استفاده گسترده از واحدهای کنارجاده‌ای به‌دلیل هزینهٔ بالای نصب و نگهداری آن، امکان‌پذیر نیست؛ لذا در مدل ارائه‌شده در این بخش، واحدهای کنارجاده‌ای به‌گونه‌ای مکان‌یابی می‌شوند تا علاوه‌بر کاهش هزینه، نیازمندی‌های پوششی شبکه خودرویی جهت بهبود کیفیت سرویس شبکه را نیز لحاظ کنند. در کارهای پیشین ویژگی‌ها و محدودیت‌های محیط شهری و شبکه‌های خودرویی در کنار استفاده از خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحد کنارجاده‌ای در چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای مدنظر قرار نگرفته‌است. در این قسمت، مسأله مکان‌یابی واحدهای کنارجاده‌ای با حضور پارکینگ، به یک مساله بهینه‌سازی از نوع برنامه‌ریزی دودویی مدل شده‌است. محدودیت‌ها و ویژگی‌های محیط شهری و شبکه‌های خودرویی و وجود پارکینگ، در قالب قیدها و یا در تابع هدف مساله بهینه‌سازی لحاظ شده‌اند.

برای این منظور مطابق (شکل-۳)(۳) ابتدا پیش‌پردازش و ناحیه‌بندی محیط شهری صورت‌می‌گیرد. در این مرحله تراکم خودروها و جریان‌های ترافیکی موجود در محیط مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و مهم‌ترین خواص و محدودیت‌های مدنظر احصا می‌شود که عبارتند از:

- در نواحی پرازدحام و شلوغ، به‌علت کمبود ظرفیت انتقال شبکه رادیویی و در نواحی خلوت، به‌علت احتمال گسستگی بالا، نصب واحدهای کنارجاده‌ای می‌تواند مفید واقع شود؛ زیرا با نصب واحدها در نقاط پرتراکم، ظرفیت محدود شبکه و در نقاط کم‌تراکم هم‌بندی شبکه بهبود می‌یابد.
- با اولویت‌بندی نواحی، می‌توان بخش زیادی را از نقاطی که در اولویت پوشش نیستند، حذف کرد و با این عمل تعداد نقاط نامزد، کاهش می‌یابد. به‌عنوان نمونه برخی از نواحی مانند فضای سبز که فاقد تردد خودرویی هستند، نیازی به پوشش ندارند. در برخی نقاط نیز به‌دلایل امنیتی مجوز برای نصب واحدها داده نمی‌شود؛ بنابراین در این نواحی نیازی به نصب واحدهای کنارجاده‌ای نیست.
- وجود خودروی پارک‌شده در پارکینگ، امکان استفاده از آن را به‌عنوان یک گره دروازه و ایفای نقش واحدکنارجاده‌ای مقدور می‌سازد. با استفاده از این گره‌ها، برخی نواحی موجود در محیط نیازی به پوشش به‌وسیلهٔ واحدهای کنارجاده‌ای را نخواهند داشت؛ لذا عدم نیاز به پوشش این نواحی نیز در مدل ارائه‌شده مدنظر قرار خواهد گرفت.

با تحلیل جریان‌های ترافیکی و آنالیز نقشه شهری، محیط داده‌شده به تعدادی ناحیهٔ مساوی و ناهم‌پوشان تقسیم می‌شود. در این کار، هر کدام از ناحیه‌های به‌دست‌آمده، یک نقطه نامزد جهت نصب واحد کنارجاده‌ای محسوب می‌شود؛ درحالی‌که در بیشتر کارهای ارائه‌شدهٔ گذشته، کلیهٔ تقاطع‌های موجود در محیط به‌عنوان نقاط نامزد در نظر گرفته شده‌است. با ناحیه‌بندی و کاهش تعداد نقاط نامزد جهت نصب واحدها، مقیاس‌پذیری مدل ارائه‌شده بهبود می‌یابد. به‌منظور انجام ناحیه‌بندی از روال بازگشتی زیر پیروی می‌شود:

ابتدا کل ناحیه مورد نظر به چهار ناحیه تقسیم، سپس نیاز به پوشش در هر ناحیه بررسی می‌شود و درصورتی‌که ناحیه مذکور نیاز به پوشش به‌وسیلهٔ واحدهای کنارجاده‌ای را نداشته‌باشد، ناحیه‌بندی در محیط برای آن ناحیه به پایان می‌رسد. اگر ناحیه مورد نظر نیاز به پوشش داشت دو حالت رخ می‌دهد:

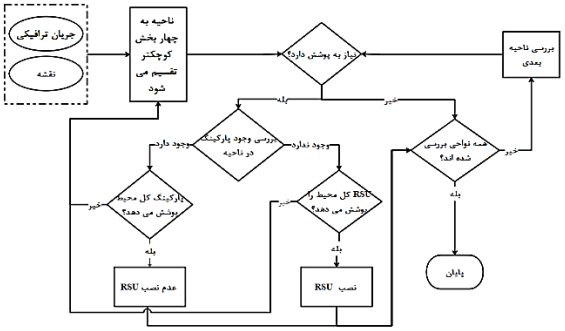
الف- چنان‌چه در آن ناحیه پارکینگ وجود داشته‌باشد، بررسی و چنانچه پوشش کل ناحیه توسط خودروهای پارک‌شده در پارکینگ امکان‌پذیر باشد، ناحیهٔ موردنظر از نظر چگالی بررسی می‌شود، درصورتی‌که

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

وجود پارکینگ برای بهبود ظرفیت شبکه کافی نباشد، ناحیه‌بندی به‌صورت بازگشتی ادامه می‌یابد.

ب- اگر در ناحیه مدنظر پارکینگ وجود نداشت و اندزه محیط و برد واحدهای کنارجاده‌ای به‌گونه‌ای بود که با استفاده از یک واحد کنارجاده‌ای کل ناحیه پوشش داده می‌شد، باید به بررسی چگالی ناحیه پرداخت تا در صورت کمبود ظرفیت شبکه و یا نیاز پوششی، باز هم‌روند تقسیم ناحیه مذکور به زیر بخش‌ها ادامه پیدا کند. فلوچارت چگونگی انجام فرآیند ناحیه‌بندی در (شکل- ۴) نشان داده‌شده‌است.



(شکل- ۴): روندنمای ناحیه‌بندی محیط
(Fig.4): Flowchart of area zoning

(جدول- ۴): نمادهای مورد استفاده در مدل ارائه‌شده
(Table 4): Used symbols in proposed model

نماد	شرح
n	تعداد ناحیه
$Cost_{ij}$	هزینهٔ نصب در ناحیه
$L_{i,j}$	مرکز ناحیه
$r_{i,j}$	شعاع ناحیه
$x_{i,j}$	چک نصب واحد در ناحیه
$C_{i,j,k,l}$	چک پوشش ناحیه kl توسط واحد ij
$P_{i,j}$	چک پوشش ناحبه توسط پارکینگ
$A_{i,j}$	نیاز به پوشش کمینه یکبار
$U_{i,j}$	عدم نیاز به پوشش

کار بعدی در بخش پیش‌پردازش، مقداردهی بردارها و ماتریس‌های متناظر با ناحیه‌های ایجادشده است. برای این منظور برخی نمادها و متغیرهای معرفی شده در (جدول- ۴) مقداردهی شده و بر اساس آن‌ها مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی دودویی تکمیل و حل می‌شود تا نقاط نهایی نصب واحدهای کنارجاده‌ای تعیین شود.

نحوهٔ مقداردهی آرایه پوششی مطابق **Error! Reference source not found.** خواهد بود که در آن R شعاع ناحیه است، درصورتی‌که ناحیه kl با واحد نصب‌شده در ناحیهٔ ij تحت پوشش قرار گیرد، مقدار درایه نظیر یک می‌شود.

$$C_{i,j,k,l} = \begin{cases} 1 & |L_{k,l} + r_{k,l} - L_{i,j}| \le R \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (۱)$$

در این قسمت مهم‌ترین قیدهای این مسأله بهینه‌سازی بیان می‌شود، یکی از قیدهایی که در محیط شهری باید اعمال شود، نبود پوشش برخی ناحیه‌ها به‌دلایل امنیتی و غیره است که مطابق **Error! Reference source not found.** نوشته می‌شود. بعضی از ناحیه‌ها به‌دلیل احتمال گسستگی بالا و یا کمبود ظرفیت انتقال شبکه و یا وجود سرویس‌دهنده‌ها، دست‌کم یک‌بار باید به‌وسلهٔ واحدهای کنارجاده‌ای تحت پوشش قرار بگیرند؛ لذا قیدی مطابق **Error! Reference source not found.** برای این منظور نوشته خواهد شد.

یکی دیگر از مواردی که حائز اهمیت است، ایجاد پوشش چندگانه نواحی به‌وسلهٔ واحدهای کنارجاده‌ای و یا واحدها و خودروهای پارک‌شده است؛ ازاین‌رو تعداد دفعات پوشش چندگانه نواحی محاسبه و این عدد با ضریب مناسبی با توجه به نقشه مورد استفاده، تعداد تقاطع‌های نقشه و تعداد تکه‌مسیرهای نقشه در تابع هدف گنجانده می‌شود تا مقدار آن کمینه شود. محاسبه پوشش چندگانه در **Error! Reference source not found.**(۴) گنجانده شده‌است.

تابع هدف مساله بهینه‌سازی مبتنی بر برنامه‌ریزی دودویی به‌صورت زیر قابل ارائه است:

$$\text{Minimize} \quad f(X) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{i,j}Cost_{ij} + \alpha * CoCov$$

قید قیدهای مساله عبارتند از:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{i,j}U_{i,j}C_{i,j,k,l} = 0 \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_{i,j}C_{i,j,k,l} \ge A_{k,l} \quad (۳)$$

$$\mathbf{CoCov} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}(x_{i,j}C_{i,j,k,l} + P_{i,j}C_{i,j,k,l}) - A_{k,l} \quad \forall k,l \quad (۴)$$

مسأله بالا به‌کمک ابزار Maple و با روش شاخه و حد حل شده‌است و نتیجهٔ آن زیرمجموعه‌ای از نواحی نقشه است که باید واحدهای کنارجاده‌ای در آنها نصب شوند.

۴- ارزیابی کارایی راه‌کار پیشنهادی

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل ارائه‌شده، شبیه‌سازی در دو

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

نقشه مختلف انجام شده‌است.

الف- نقشه‌ای با پیچیدگی کم و برگرفته از منهتن نیویورک (گرید مانند)

ب- نقشه با پیچیدگی متوسط به بالا و برگرفته از شهر زوریخ. نقشه‌ها برگرفته از مرجع [24] هستند. نمایی از نقشه‌های مورد استفاده در (شکل-۵) نشان داده‌شده‌است.

جهت انتخاب نقشه‌ها به‌منظور انجام ارزیابی مدل پیشنهادی و راه‌کارهای پایه، موارد زیرمدنظر قرار گرفته است:

- انجام ارزیابی در نقشه‌هایی با پیچیدگی متفاوت صورت پذیرد. برای این منظور دو نقشه مختلف با پیچیدگی به‌نسبه کم مانند نقشه منهتن و نقشه‌ای با پیچیدگی متوسط به بالا مانند ارلنگن انتخاب‌شده‌اند.
- نقشه منهتن به‌طورتقریبی در اغلب کارهای این حوزه به‌عنوان یک نقشه ساده مدنظر بوده است و به‌وسیلهٔ مؤلفان به‌عنوان یک نقشه پایه در ارزیابی‌ها مورد استفاده بوده که در ارزیابی مدل ارائه‌شده نیز مشابه دیگر راه‌کار ها، برای سناریوی ساده، از نقشه منهتن بهره جسته شده‌است.
- نقشه ارلنگن که به‌عنوان نقشهٔ پایه با پیچیدگی متوسط به بالا در خود ابزار Veins مورد استفاده واقع شده‌است، در اغلب راه‌کارهای شبکه‌های خودرویی جدید به‌عنوان نقشه‌ای جهت ارزیابی مدل‌ها و راه‌کارهای ارائه‌شده مورد استفاده واقع شده‌است.
- پیچیدگی نقشه‌ها با توجه به تعداد تقاطع‌های موجود در هر نقشه و همچنین تعداد تکه‌مسیرهای موجود در هر نقشه هر نقشه تعیین و مشخص می‌شود.
- با توجه به تجربه حاصل شده در [۳] و کارهای مشابه آن در مقالات بعدی مؤلفان، استفاده از نقشه‌های متنوع و مختلف از شهرهای بیشتر و نقشه‌هایی با اندازه‌های متفاوت، انتخاب این دو نقشه به‌عنوان معیارهایی جهت ارزیابی سناریوها و مدل‌های مختلف کفایت می‌کند چنانچه در اغلب کارهای ارائه‌شده جدید، نیز همین دو نقشه و یا نقشه‌هایی با همین اندازه و پیچیدگی مورد استفاده واقع شده‌است.
- بررسی کارهای ارائه‌شده در حوزه چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای و ارائهٔ انواع سرویس‌ها به‌کمک شبکه‌های خودرویی حکایت از ارزیابی راه‌کارهای ارائه‌شده در نقشه‌هایی با پیچیدگی متفاوت دارد که در این مقاله نیز این امر با انتخاب دو نقشه معیار که مدنظر اغلب مؤلفین به‌عنوان نقشه‌های مورد استفاده در ارزیابی‌ها بوده‌اند، صورت پذیرفته‌است.

نقشه برگرفته از منهتن **نقشه برگرفته از ارلنگن**

Manhatan map **Erlangen map**

(شکل-۵): نقشه‌های مورد استفاده در ارزیابی کارایی

(Fig. 5): Used maps in performance evaluation

همچنین جهت صحت‌سنجی دقیق‌تر مدل ارائه‌شده، این مدل با راه‌کار ها و سناریوهای زیر مورد مقایسه قرار گرفته است:

۱- **نبود واحدکنارجاده‌ای و گره پارک‌شده در محیط شهری:** در این حالت تنها گره‌های خودرویی در محیط تردد می‌کنند.(nPnR)

۲- **نبود واحدکنارجاده‌ای و استفاده از گره‌های پارک‌شده:** در این حالت گره‌های پارک‌شده نقش واحدکنارجاده‌ای را ایفا می‌کنند.(PnR)

۳- **نصب واحدکنارجاده‌ای به‌صورت یکنواخت و نبود گره پارک‌شده:** واحدهای کنارجاده‌ای بدون توجه به پارکینگ به‌صورت یک‌نواخت در محیط شهری پارک می‌شوند.(nPR-U)

۴- نصب واحدکنارجاده‌ای به‌صورت یکنواخت و وجود گره پارک‌شده: در این حالت با حذف نواحی پوشش داده‌شده به‌وسلهٔ گره‌های پارک‌شده، چیدمان یک‌نواخت واحدها در محیط صورت‌می‌گیرد.(PR-U)

۵- نصب واحدکنارجاده‌ای بر اساس [5] و نبود گره پارک‌شده.(nPR-IP)

۶- نصب واحدکنارجاده‌ای بر اساس [3] و نبود گره پارک‌شده.(nPR-BIP)

۷- چیدمان هم‌زمان واحدهای کنارجاده‌ای با فرض وجود گره پارک‌شده بر اساس مدل ارائه‌شده. (PR-Proposed)

در ادامه با کمک‌گرفتن از ابزارهای شبیه‌سازی، کارایی سناریوهای مختلف در دو نقشه شهری اندازه‌گیری

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

شده‌است. مفروضات درنظر گرفته‌شده جهت انجام شبیه‌سازی و ابزارهای مورد استفاده در (جدول- ۵)(۵) نشان داده‌شده‌است.

(جدول- ۵): مفروضات شبیه‌سازی
(Table 5): Simulation assumptions

پارامتر	مقدار
برد واحدهای کنارجاده‌ای	۲۰۰ متر
اندازهٔ محیط شهری	۴۰۰۰ در ۴۰۰۰ متر مربع
شبیه‌ساز ترافیک	SUMO [24]
شبیه‌ساز شبکه	OMNET++ [25]
شبیه‌ساز خودرویی	Veins [26]
پروتکل لایهٔ پیوند دادهٔ مورد استفاده	IEEE802.11p

در این مقاله برای شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای مطرح شده در قسمت قبل، از شبیه‌ساز شبکه OMNeT++ [25] ، شبیه‌ساز ترافیکی SUMO [24] به‌همراه فریم‌ورک Veins[1] [26] استفاده شده‌است. OMNeT++ یک چارچوب توسعه‌پذیر، ماژولار و گسسته رخداد است که در شبیه‌سازی انواع سیستم‌های گسسته رخداد امکان استفاده را دارد. به‌کمک این چارچوب و با وجود کتابخانه‌های متنوعی که در اختیار قرار می‌دهد، امکان شبیه‌سازی انواع شبکه‌های رایانه‌ای بی‌سیم و سیمی مقدور است. با OMNeT++ می‌توان شبکه‌های حس‌گر، شبکه‌های صف، انواع پروتکل‌های استفاده‌شده در شبکه و انواع ارتباطات شبکه‌ای (سیمی و بی‌سیم) را شبیه‌سازی کرد. SUMO یک شبیه‌ساز ترافیک است که با استفاده از آن می‌توان جاده‌ها، تقاطع‌ها، تکه‌مسیرها، چراغ‌های راهنمایی و تمام المان‌های محیط شهری را می‌توان ایجاد کرد. همچنین امکان افزودن انواع گره‌های متحرک در محیط شهری و بزرگراه از قبیل خودرو، دوچرخه، آدم پیاده و غیره نیز مقدور است.

شبیه‌ساز خودرویی Veins چارچوبی است جهت شبیه‌سازی شبکه‌های خودرویی با کمک گرفتن هم‌زمان از ابزارهای شبیه‌ساز شبکهٔ OMNeT++ و شبیه‌ساز ترافیک SUMO. کنترل فرآیند شبیه‌سازی بر عهدهٔ شبیه‌ساز شبکهٔ OMNeT++ است. چارچوب MiXiM بر روی شبیه‌ساز OMNeT++ جهت پشتیبانی پروتکل‌های لایه‌های فیزیکی و پیوند داده ارائه‌شده است. استاندارد 802.11p که جهت لایه‌های پایین شبکه‌های خودرویی ارائه‌شده است به‌طور کامل در این چارچوب پیاده‌سازی شده‌است. بر روی چارچوب MiXiM، شبیه‌ساز خودرویی Veins پیاده‌سازی شده‌است که امکان شبیه‌سازی پروتکل‌های لایه‌های مختلف شبکه‌های خودرویی را فراهم می‌آورد. در شبیه‌ساز خودرویی Veins با کمک‌گرفتن از سوکت‌های لایهٔ انتقال و ایجاد واسطی به‌نام سرویس‌دهندهٔ TraCI این ارتباط دوطرفه بین دو شبیه‌ساز شبکه و شبیه‌ساز ترافیکی ایجاد می‌شود. در این حالت شبیه‌ساز ترافیک SUMO نقش سرویس‌دهندهٔ TCP و شبیه‌ساز شبکه نقش مشتری را ایفا می‌کند؛ لذا می‌توان به‌کمک دستورهای متنی اطلاعاتی را از سرویس‌دهنده درخواست و یا فرامینی را به سرویس‌دهنده بر روی شماره پورت خاصی ارسال کرد.

در محیط دو گره ثابت تحت عنوان سرویس‌دهنده نیز قرار داده‌شده‌است، درخواست‌های خودروها به این دو گره ارسال و پاسخ به گره خودرویی درخواست‌کننده برگردانده می‌شود. نوع سرویس مورد درخواست هر خودرو اطلاعات ناوبری مسیر است که مشابه راه‌کار ارائه‌شده در [27] شبیه‌سازی شده‌است. تعداد پارکینگ‌های موجود در محیط که گره‌های آن‌ها نقش واحدکنارجاده‌ای را ایفا می‌کنند، نیز ۴ عدد فرض شده‌است که در نقاط پرتراکم نقشه درنظر گرفته‌شده‌اند.

پارامترهای اندازه‌گیری‌شده جهت مقایسهٔ کارایی مدل ارائه‌شده با راه‌کارهای پایه و پیشین عبارتند از تأخیر دریافت پاسخ از گره‌های سرویس‌دهنده و نرخ گم‌شدن بسته‌های شبکه.

در ادامه این بخش، کارایی مدل پیشنهادی در مقایسه با ۶ سناریوی دیگر در دو نقشه مفروض در شرایط متفاوت اندازه‌گیری شده‌است.

جهت انجام شبیه‌سازی دو نقشه متفاوت، سه سری متفاوت از تعداد واحدهای کنارجاده‌ای(۱۰، ۲۰ و ۳۰) و همچنین سه وضعیت ترافیکی مختلف (ترافیک پایین، متوسط و بالا) در محیط شهری لحاظ شده‌است.

در (شکل-۶) ارزیابی راه‌کار ارائه‌شده و مقایسه آن با راه‌کارهای پایه و پیشین از نقطه‌نظر تأخیر دریافت سرویس در نقشه منطقه منهتن شهر نیویورک نمایش داده‌شده‌است.

سناریوی پایهٔ عدم وجود هر گونه زیرساخت

[1] Vehicles in Network Simulation

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

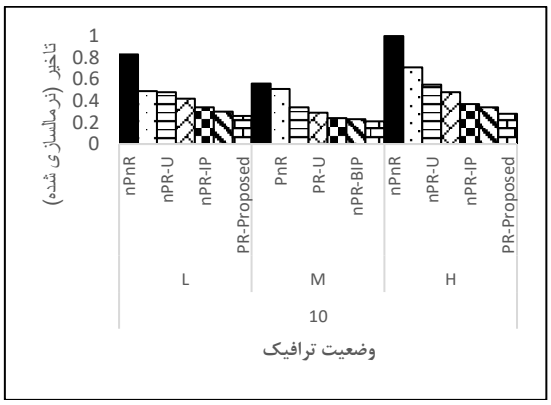
واحدکنارجاده‌ای و پارکینگ (nPnR) در (شکل-۶) (الف) در مقایسه با بقیه راه‌کار ها از تأخیر بالاتری در ارائه سرویس برخوردار است. دلیل این امر وجود نقاط فاقد پوشش و گسستگی شبکه در نواحی کم‌تراکم و وجود ازدحام و گم‌شدن بسته‌ها در نقاط با تراکم بالا به‌خصوص در حالت چگالی بالای خودرویی در محیط است.

دومین راه‌کار از نظر تأخیر بالا، راه‌کار PnR است که در این حالت تنها از گره‌های خودویی موجود در پارکینگ به‌عنوان گره‌های زیرساختی استفاده شده‌است و جانمایی این گره‌ها تنها وابسته به موقعیت پارکینگ‌ها در محیط شهری است نه نقاط نیازمند پوشش و یا ظرفیت شبکه.

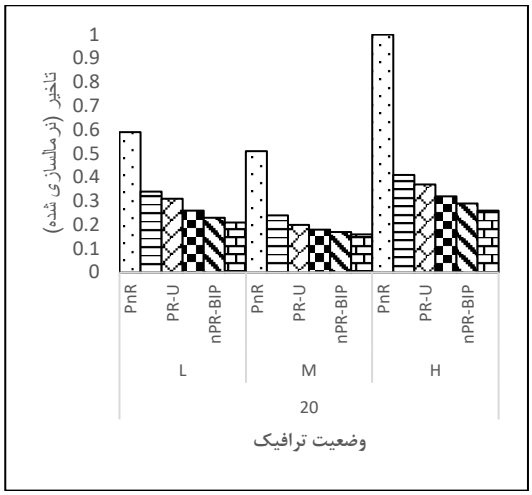
دیگر راه‌کار مورد ارزیابی قرار گرفته، راه‌کار PR-U است که چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای در این راه‌کار پایه نیز بهینه نبوده و همان‌گونه که نشاد داده‌شده‌است در حالات مختلف چگالی و حتی با افزایش تعداد واحدهای کنارجاده‌ای چندان کمکی به بهبود تأخیر نمی‌کند.

دو راه‌کار بررسی شدهٔ بعدی (nPR-IP و nPR-BIP)، راه‌کارهایی هستند که بدون مدنظر قراردادن خودروهای واقع‌شده در پارکینگ‌ها، اقدام به چیدمان واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری با توجه به محدودیت‌های محیطی و ترافیکی کرده‌اند که با این امر سبب بهبود نسبی تأخیر دریافت گره‌ها شده‌اند.

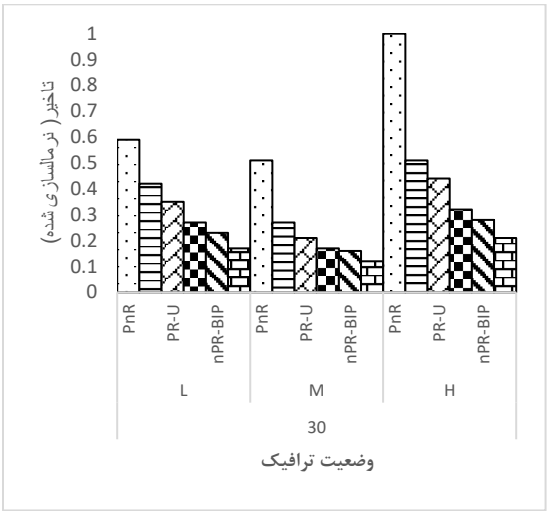
در راه‌کار پیشنهادی در این مقاله، میزان بهبود حاصله به نسبت روش‌های پایه و پیشین با توجه به استفادهٔ مناسب از خودروهای درون پارکینگ‌ها در تأمین ظرفیت شبکه و بهبود پوشش ارتباطی شبکه و لحاظ نمودن محدودیت‌های محیط شهری و ترافیکی با تعداد متفاوت واحدهای کنارجاده‌ای و شرایط مختلف ترافیکی، قابل توجه است.



(الف)



(ب)



(ج)

(شکل-۶): میزان تأخیر سرویس در نقشه منهتن در سه وضعیت ترافیکی متفاوت (L، M و H) و با نصب تعداد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ واحدکنارجاده‌ای

(Fig. 6): Manhattan map service delay in three different density states and three different RSUs number (10,20 and 30)

با افزایش تعداد واحدهای کنارجاده‌ای در وضعیت‌های مختلف ترافیکی، میزان بهبود تأخیر دسترسی به سرویس افزایش می‌یابد.

میزان بهبود در حالتی که چگالی محیط بالا و یا پایین باشد، به نسبت حالت متوسط بیشتر است, علت این امر رفع چالش‌های بیشتر دو حالت یادشده با چیدمان مناسب واحدهای کنارجاده‌ای در محیط شهری است.

به‌عنوان نمونه میزان بهبود حاصله در حالتی که ۱۰ واحد کنارجاده‌ای در محیط وجود دارد و ترافیک نیز در وضعیت کم‌چگالی است، نسبت به روش‌های پیشین nPR-BIP، nPR-IP و روش‌های پایهٔ nPR-U و PR-U به‌ترتیب برابر ۱۴، ۲۴، ۳۸ و ۴۶ درصد است.

برای حالات چگالی بالا ۱۷، ۲۵، ۴۲ و ۴۹ درصد و

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

در حالت چگالی متوسط ۷، ۱۱، ۲۶ و ۳۷ درصد بهبود در تأخیر دریافت سرویس حاصل شده‌است. مشابه حالتی که ۱۰ واحدکنارجاده‌ای در محیط نصب شده‌است، با افزایش تعداد واحدهای کنارجاده‌ای، چون میزان گسستگی شبکه کاهش می‌یابد و میزان ظرفیت ایجادشده در شبکه افزایش پیدا می‌کند، برای دو حالت کم‌چگالی و چگالی بالا میزان بهبود حاصله قابل‌توجه‌تر است. به‌عنوان نمونه با داشتن بیست واحدکنارجاده‌ای در حالتی که چگالی خودرویی محیط پایین است، میزان بهبود به ۸، ۱۷، ۳۳ و ۳۸ درصد می‌رسد.

درمجموع در نقشه منهتن، در حالات ترافیکی مختلف و با تعداد متغییر واحدهای کنارجاده‌ای، میانگین میزان بهبود حاصله در سناریوهای مختلف برابر عدد ۳۹ درصد، میزان کمینه بهبود هفت درصد و میزان بیشینهٔ بهبود برابر ۷۹ درصد در حالت ۳۰ واحدکنارجاده‌ای، چگالی بالا و در مقایسه با راه‌کار PnR حاصل شده‌است..

نقشهٔ بعدی که تمام ارزیابی‌ها مشابه نقشهٔ منهتن در آن انجام شده‌است، نقشهٔ ارلنگن است که بخشی از آن در خود ابزار نیز به‌صورت پیش‌فرض قرار دارد. نقشهٔ ارلنگن به نسبت نقشهٔ گرید مانند منهتن دارای پیچیدگی بالاتری است و تعداد تقاطع‌ها بیشتر و نقشهٔ شهری نیز نامنظم‌تر است.

مطابق آنچه در (شکل-۷) آورده شده‌است، نسبت به سناریوهای دیگر در این نقشه نیز راه‌کار پیشنهادی از بهبود مناسبی در کاهش تأخیر برخوردار بوده است.

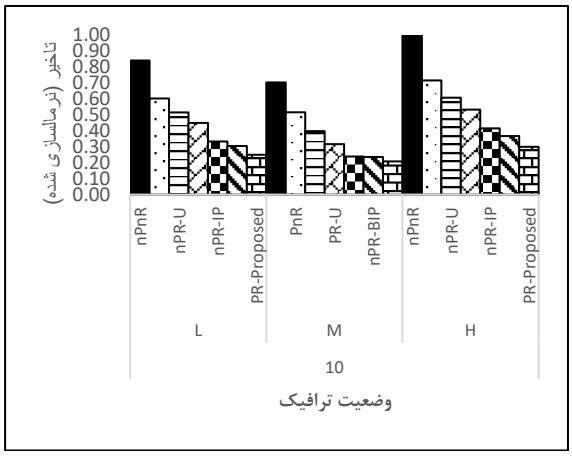
به‌عنوان نمونه میزان بهبود حاصله در حالتی که ۱۰ واحد کنارجاده‌ای در محیط وجود دارد در حالت ترافیکی کم‌چگالی نسبت به روش‌های پیشین nPR-BIP و nPR-IP و روش‌های پایهٔ nPR-U و PR-U به‌ترتیب برابر ۱۸، ۲۵، ۴۴ و ۵۲ درصد است.

در دیگر سناریوها نیز افزایش تعداد واحدهای کنارجاده‌ای سبب کاهش تأخیر شده‌است که میزان کاهش در راه‌کار پیشنهادی به نسبت راه‌کارهای پایه و پیشین قابل توجه است. نکته دیگر اینکه در این نقشه با توجه به پیچیدگی بالاتر، در سناریوهای کم‌چگالی و با چگالی بالا میزان بهبود حاصله توسط راه‌کار پیشنهادی چشم‌گیرتر است که ناشی از دقت این روش در چیدمان مناسب واحدهای کنارجاده‌ای با لحاظ‌کردن هم‌زمان نقاط پارکینگ است.

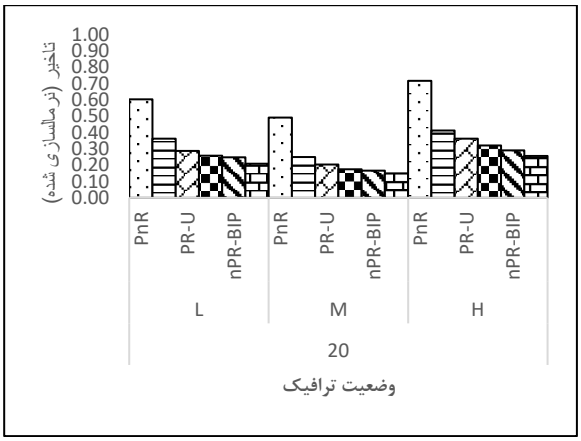
در این نقشه در حالت متوسط میزان بهبود حاصله در تأخیر دریافت سرویس برابر ۴۳ درصد و در بدترین حات برابر ۱۰ درصد و در بهترین حالت برابر ۷۸ درصد است.

پارامتر دیگری که در ارزیابی کارایی راه‌کار چیدمان ارائه‌شده مدنظر قرار گرفته است، نرخ دریافت موفق درخواست‌ها و یا نرخ گم‌شدن بسته‌ها است. در این حالت نیز ارزیابی در دو نقشه مورد بحث صورت پذیرفته‌است. همچنین سه حالت ترافیکی مختلف برای محیط شهری مدنظر لحاظ شده‌است و تعداد واحدهای کنارجاده‌ای نیز سه مقدار متفاوت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ لحاظ شده‌است.

ارزیابی‌های انجام‌شده در حالت کم‌چگالی و وجود ۱۰ واحدکنارجاده‌ای نشان دهندهٔ کاهش نرخ گم‌شدن بسته‌ها در راه‌کار پیشنهادی به نسبت راه‌کارهای مشابه است که نتایج حاصله در (شکل- ۸) به تصویر کشیده شده‌است. در این حالت میزان بهبود در حالت ترافیک متوسط محیط که شرایط مناسب‌تری به نسبت دو حالت دیگر است، بیشتر اندازه‌گیری شده‌است. از بین دو حالت کم‌چگالی و چگالی بالا نیز در حالت کم‌چگالی بهبود بهتری حاصل شده‌است. در بدترین حالت که در حالت چگالی بالای محیط رخ می‌دهد میزان شش درصد بهبود حاصل شده‌است.



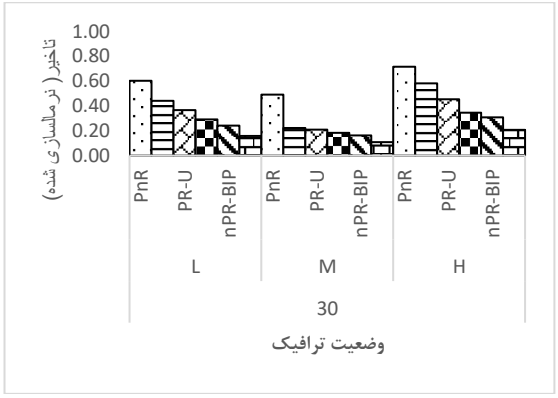
(الف)



(ب)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

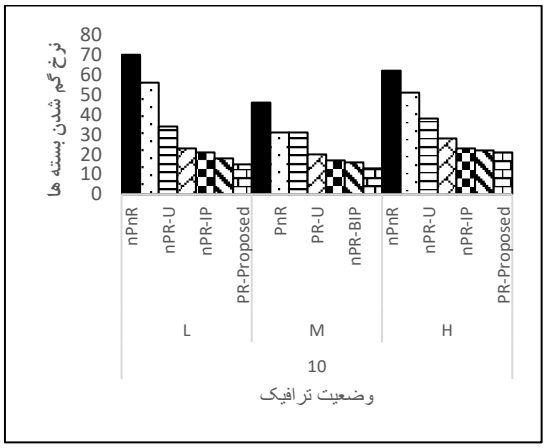


(ج)

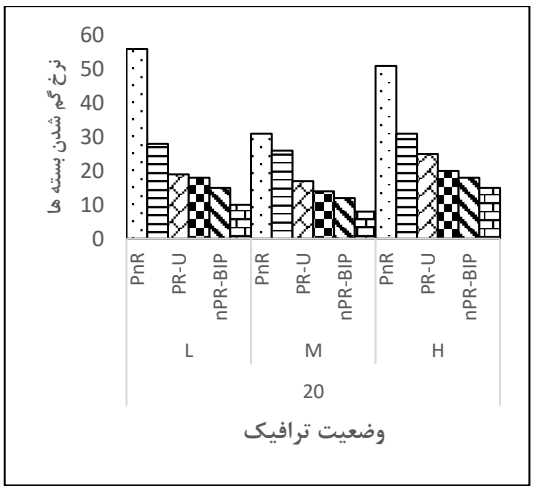
(شکل-۷): میزان تأخیر سرویس در نقشه ارلنگن در سه وضعیت ترافیکی متفاوت (L، M و H) و با نصب تعداد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ واحدکنارجاده‌ای

(Fig. 7): Erlangen map service delay in three different density states and three different RSUs number (10,20 and 30)

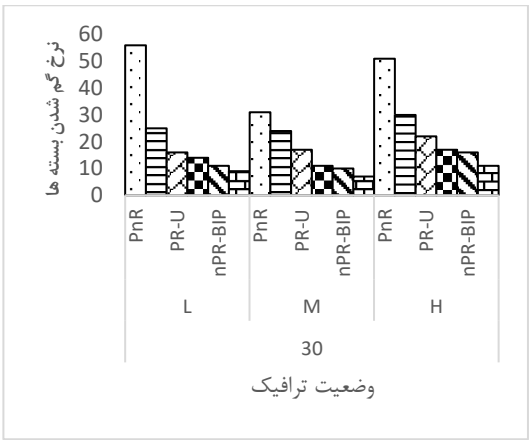
با افزایش تعداد واحدهای کنارجاده‌ای به بیست در حالات مختلف ترافیکی میزان بهبود حاصل‌شده افزایش یافته‌است. در این حالت نیز میزان ۱۷ درصد بهبود در بدترین حالت حاصل شده‌است. در مقایسه با روش‌های پایه میزان بهبود به ۸۲ درصد می‌رسد.



(الف)



(ب)



(ج)

(شکل- ۸): نرخ گم‌شدن بسته‌ها در نقشه منهتن در سه وضعیت ترافیکی متفاوت (L، M و H) و با نصب تعداد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ واحدکنارجاده‌ای

Fig. 8: Manhattan map packet loss rate in three different density states and three different RSUs number (10,20 and 30)

در حالت پایانی که ۳۰ واحدکنارجاده‌ای در محیط شهری نصب شده‌است، میزان بهبودهای حاصله در حالات مختلف ترافیکی پیشرفت داشته‌اند. کمترین میزان بهبود در این حالت به ۱۹ درصد و در بهترین حالت به ۸۴ درصد و در حالت میانگین به ۴۷ درصد می‌رسد.

در ادامه تکرار شبیه‌سازی‌ها برای نقشه ارلنگن انجام شده‌است که بازهم نشان‌دهندهٔ کارایی مناسب روش پیشنهادی در مقایسه با راه‌کارهای پایه و پیشین است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها در (شکل-۹)(۹) آورده شده که در این نقشه نیز در بدترین حالت پنج‌درصد، در بهترین حالت ۸۶ درصد و در حالت میانگین ۴۹ درصد کاهش در نرخ گم‌شدن بسته‌ها حاصل شده‌است.

ارزیابی راه‌کار پیشنهادی و مقایسهٔ آن با راه‌کارهای پایه و پیشین به‌کمک ابزارهای یادشده در دو نقشه مختلف و با به‌کاربردن تعداد متفاوت واحدهای کنارجاده‌ای و همچنین شرایط ترافیکی متفاوت انجام شد. جهت رسیدن به پاسخ قابل‌اتکا در هر نقشه و به‌ازای هر شرایط ترافیکی و تعداد معین واحدکنارجاده‌ای، شبیه‌سازی ده‌بار تکرار شده‌است و در نهایت پاسخ میانگین به‌عنوان نتیجه مبنای ارزیابی قرار گرفته است.

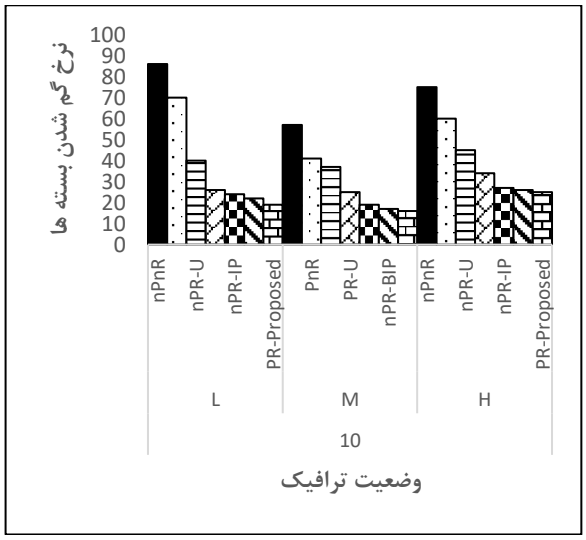
مشابه ارزیابی‌هایی که در کارهای پیشین از جمله [3] توسط مؤلف انجام شده‌است، تکرار نتایج در نقشه‌های دیگر نیز نتایج مشابهی در پی خواهد داشت؛ لذا جهت جلوگیری از طولانی‌شدن مقاله به سناریوهای یادشده در این بخش بسنده شده‌است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

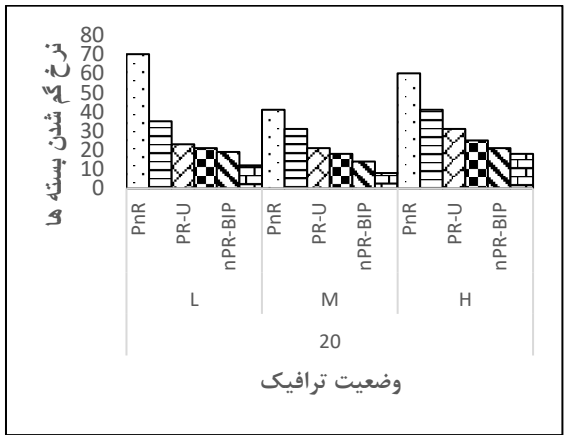
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

۵- نتیجه‌گیری

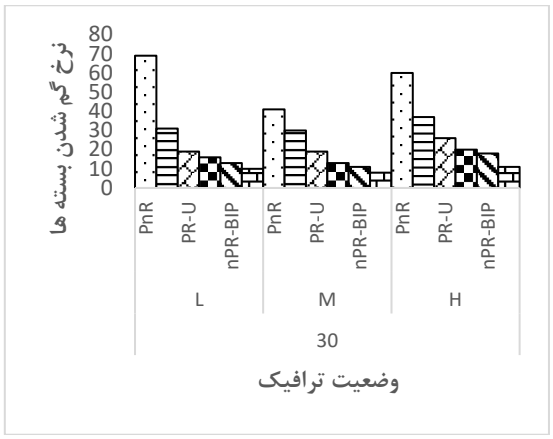
در این مقاله مدلی مبتنی بر برنامه‌ریزی دودویی جهت چیدمان واحدهای‌کنارجاده‌ای در محیط شهری با لحاظ‌کرد خودروهای پارک‌شده به‌عنوان واحدکنارجاده‌ای ارائه‌شده است. همچنین نیازمندی‌های کیفیت خدمات ایمنی، ترافیکی و رفاهی در قالب قیدهایی به مدل افزوده شده‌است. مدل ارائه‌شده به‌کمک شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف از قبیل نقشه‌های استاندارد مختلف، چگالی‌های متنوع خودرویی و تعداد واحد کنارجاده‌ای متفاوت، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها حاکی از کارایی مناسب راه‌کار پیشنهادی در سناریوهای مختلف درنظر گرفته‌شده در مقایسه با راه‌کارهای پایه و پیشن است. انجام ارزیابی در نقشه‌های بزرگ‌تر از نقشه‌های استاندارد استفاده شده و تعریف خدمات جدید غیر از اطلاعات ناوبری و ارزیابی مدل ترکیبی ارائه‌شده به‌کمک این خدمات به‌عنوان کارهای آینده پیشنهاد می‌شود.



(الف)



(ب)



(ج)

(شکل-۹): نرخ گم‌شدن بسته‌ها در نقشه ارلنگن در سه وضعیت ترافیکی متفاوت (L، M و H) و با نصب تعداد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ واحدکنارجاده‌ای

Fig. 9: Erlangen map packet loss rate in three different density states and three different RSUs number (10,20 and 30)

۶- مراجع 6- Refrence

[1] "statista," 2020. [Online]. Available: https://www.statista.com.

[2] C. a. Graham, "INRIX Global Traffic Scorecard," 2018.

[3] N.-M. Balouchzahi, M. Fathy and A. Akbari, "Optimal road side units placement model based on binary integer programming for efficient traffic information advertisement and discovery in vehicular environment," IET Intelligent Transport Systems, vol. 9, no. 9, pp. 851-861, 2015.

[4] F. Outay, A.-U.-H. Yasar and E. Shakshuki, "A Review of Intelligent Transport System and Its People's Needs Considerations for Traffic Management's Policy Framework in a Developing Country: People's Needs Considerations for ITS Policy," in Global Advancements in Connected and Intelligent Mobility: Emerging Research and Opportunities, Hershey, PA, 2020, pp. 166-195.

[5] Z. Ahmed, S. Naz and J. Ahmed, "Minimizing transmission delays in vehicular ad hoc networks by optimized placement of road-side unit, " Wireless Networks, pp. 1-10, 2020.

[6] M. Fogue, J. A. Sanguesa, F. J. Martinez and J. M. Marquez-Barja, "Improving Roadside Unit Deployment in Vehicular Networks by Exploiting Genetic Algorithms, " Computer Science and Electrical Engineering, 2018.

[7] Z. Gao, D. Chen, S. Cai and H.-C. Wu, "Optimal and Greedy Algorithms for the One-Dimensional RSU Deployment Problem with New Model," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 11, 2018.

[8] J. Barrachina, P. Garrido and M. Fogue, "Road Side Unit Deployment: A Density-Based Approach, " IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol. 5, no. 3, pp. 30-39, 2013.

[9] F. Hagenauer, C. Sommer, T. Higuchi, O. Altintas and F. Dressler, "Parked Cars as Virtual

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

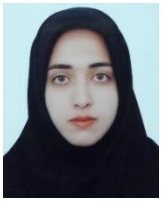
[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

Network Infrastructure:, " in Mobile Computing and Networking, 2017.
[10] A. Reis, S. Sargento and O. Tonguz, "Parked Cars are Excellent Roadside Units, " IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 18, no. 9, pp. 2490-2502, 2017.
[11] S. B. Chaabene, T. Yeferny and S. B. Yahia, "A Roadside Unit Placement Scheme for Vehicular Ad-hoc Networks, " in International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Matsue, 2019.
[12] D. L. Moura, R. S. Cabral, A. T. Sales and L.L., "An evolutionary algorithm for roadside unit deployment with betweenness centrality preprocessing," Future Generation Computer Systems, vol. 88, pp. 776-784, 2018.
[13] J. F. M. Sarubbi, T. R. Silva, F. V. C. Martins, E. F. Wanner and C. M. Silva, "A GRASP based heuristic for Deployment Roadside Units in VANETs, " in IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM), Lisbon, Portugal, 2017.
[14] H. Yang, Z. Jia and G. Xie, "Delay-Bounded and Cost-Limited RSU Deployment in Urban Vehicular Ad Hoc Networks, " Sensors (Basel), vol. 18, 2018.
[15] S. Mehar, S. M. Senouci, A. Kies and M. M. Zoulikha, "An Optimized Roadside Units (RSU) placement for delay-sensitive applications in vehicular networks, " in 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2015.
[16] A. Olia, H. Abdelgawad, B. Abdulhai and S. Razavi, "Optimizing the number and locations of freeway roadside equipment units for travel time estimation in a connected vehicle environment, " Intelligent Transportation Systems, vol. 21, no. 4, pp. 296-309 , 2017.
[17] Z. Wang, J. Zheng, Y. Wu and N. Mitton, "A Centrality-based RSU Deployment Approach for Vehicular Ad Hoc Networks, " in International Conference on Communications, 2017.
[18] K. Ota, T. Kumrai, M. Dong, J. Kishigami and M. Guo, "Smart infrastructure design for Smart Cities, " IT Professional, vol. 19, no. 5, pp. 42-49, 2017.
[19] Y. Wang, J. Zheng and N. Mitton, "Delivery delay analysis for roadside unit deployment in vehicular ad hoc networks with intermittent connectivity, " IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 10, pp. 8591-8602, 2016.
[20] Z. Lamb and D. Agrawal, "Data-Driven Approach for Targeted RSU Deployment in an Urban Environment, " IEEE Intelligent Vehicles Symposium , 2017.
[21] A. Guerna and S. Bitam, "GICA: An evolutionary strategy for roadside units deployment in vehicular networks, " in 2019 International Conference on Networking and Advanced Systems (ICNAS), Annaba, 2019.
[22] H. Gong and L. Yu, "Content Downloading with the Assistance of Roadside Cars for Vehicular Ad Hoc Networks, " Mobile Information Systems, vol. 2017, 2017.
[23] O. K. Tonguz and W. Viriyasitavat, "Cars as Roadside Units: A Self-Organizing Network Solution, " IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 12, pp. 112-120, 2013.
[24] "OpenStreetMap," 2021. [Online]. Available: https://www.openstreetmap.org/. [Accessed 2021].
[25] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch and L. Bieker, "Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban MObility, " International Journal On Advances in Systems and Measurements, vol. 5, no. 3, pp. 128-138, December 2012.
[26] [Online]. Available: http://www.omnetpp.org/.
[27] C. Sommer, R. German and F. Dressler, "Bidirect۲ionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis, " IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 10, no. 1, pp. 3-15, January 2011.
[28] N.-M. Balouchzahi and M. Rajaei, "Efficient Traffic Information Dissemination and Vehicle Navigation for Lower Travel Time in Urban Scenario Using Vehicular Networks," Wireless Personal Communications, vol. 80, no. 3, pp. 1-17, 2019.

نیک‌محمد بلوچزهی فارغ‌التحصیل کارشناسی مهندسی کامپیوتر از دانشگاه یزد در سال ۱۳۸۰ و ارشد و دکترای مهندسی کامپیوتر از دانشگاه علم و صنعت ایران به‌ترتیب در سال‌های ۸۲ و ۹۴ است. وی هم‌اکنون استادیار گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سیستان و بلوچستان است. زمینهٔ پژوهشی مورد علاقه شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های خودرویی، محاسبات ابری خودرویی، محاسبات مه‌ای خودرویی، شبکه‌های نرم‌افزارمحور و سامانه‌های کارایی بالا است.

نشانی رایانهٔ ایشان عبارت است از:

Balouchzahi@ece.usb.ac.ir



رخشاالسادات کشفی فارغ‌التحصیل کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات در سال ۱۳۹۴ و کارشناسی‌ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های رایانه‌ای از دانشگاه سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۹ است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های خودرویی، مدیریت ترافیک است.

نشانی رایانهٔ ایشان عبارت است از:

rakhshakashfi@pgs.usb.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]

مریم بیدار فارغ‌التحصیل کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات در سال ۱۳۹۴ و کارشناسی‌ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه‌های رایانه‌ای از دانشگاه سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۹ است. زمینه پژوهشی مورد علاقه شبکه‌های خودرویی، شبکه‌های بی‌سیم، سامانه حمل و نقل هوشمند است.

نشانی رایانهٔ ایشان عبارت است از:

maryambidar6030@gmail.com

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-07]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.2.21]