

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۸

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۷/۵

بهبود مسیریابی برای شبکه‌های موردی بین خودرویی (VANETs) با استفاده از الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت

اکرم خالقی‌تبار^۱، راضیه فرازکیش^{۲*}

^۱ دانشجوی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

AkramKhaleghiTabar@gmail.com

^۲ استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

r.farazkish@srbiau.ac.ir

چکیده: شبکه‌های بین خودرویی زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های سیار موردی هستند که در آن خودروها به‌عنوان گره‌های شبکه محسوب می‌شوند. این شبکه‌ها برای برقراری ارتباط بین خودروها و کنترل ترافیک در جاده‌ها ایجاد شده‌اند. ویژگی خاصی که شبکه بین خودرویی در مقایسه با شبکه سیار موردی دارد، تحرک سریع گره‌هاست که باعث تغییر سریع توپولوژی در این شبکه می‌شود. تغییرات سریع توپولوژی شبکه، چالشی بزرگ در مسیریابی محسوب می‌شود. یکی از پروتکل‌های مسیریابی شناخته شده در شبکه‌های بین خودرویی، پروتکل مسیریابی AODV (Ad hoc On Demand Vector) است. در این تحقیق با هدف بهبود مسیریابی در شبکه VANETs (Vehicular Ad hoc Networks)، الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت از جمله الگوریتم بهینه‌سازی ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک روی پارامترهای پروتکل مسیریابی AODV اعمال شده و تأثیر آن بر معیارهای ارزیابی شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. معیارهایی که برای ارزیابی عملکرد این الگوریتم‌ها استفاده شده، نرخ تحویل بسته، میانگین تأخیر انتها به انتها و بار مسیریابی نرمال شده است. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ملخ در پیدا کردن بهترین مقدار برای پارامترهایی که عملکرد پروتکل AODV را کنترل می‌کنند بهتر از الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک عمل کرده است و پس از آن نیز عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات بهتر از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبکه بین خودرویی، پروتکل مسیریابی AODV، الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت.

۱. مقدمه

دیگر درباره وضعیت فعلی آن‌ها مانند موقعیت و سرعت و جهت حرکتشان اطلاعاتی کسب کند؛ این اطلاعات می‌تواند برای اقدام بعدی راننده مانند تنظیم سرعت یا جهت حرکت خودرو بسیار مفید باشد [۴].

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی مانند سایر فناوری‌های جدید نظیر نانو الکترونیک و نانورباتیک [۵-۱۲]، سرعت بالای آن و تغییر مداوم توپولوژی شبکه است که باعث می‌شود تا گره‌ها دائم اطلاعات مسیریابی خود را به‌روز کنند. تغییرات سریع توپولوژی در این شبکه، چالشی بزرگ در مسیریابی محسوب می‌شود [۱۳]. بنابراین، مسیریابی برای انتقال داده در این شبکه‌ها یک مسئله بسیار مهم و ضروری است. در حالت کلی، دو روش برای مسیریابی در شبکه‌های بین خودرویی وجود دارد که به دو دسته مسیریابی بر اساس توپولوژی و مسیریابی بر اساس موقعیت جغرافیایی طبقه‌بندی می‌شود [۱۴]. پروتکل‌های مسیریابی بر اساس توپولوژی، از اطلاعاتی که در شبکه برای ارسال بسته وجود دارد استفاده می‌کنند و پروتکل‌های مسیریابی بر اساس موقعیت جغرافیایی، از اطلاعات موقعیت جغرافیایی گره‌ها برای مسیریابی استفاده می‌کنند [۱۵ و ۱۶].

VANETs به‌عنوان شبکه‌ای شناخته می‌شود که توپولوژی آن به‌سرعت تغییر می‌کند و محدوده پوشش بی‌سیم این شبکه‌ها به شرایط اطراف از جمله وجود ساختمان‌ها و خودروهای مجاور بستگی دارد. علاوه بر این، نبود یک واحد کنترل مرکزی در شبکه‌های VANETs باعث شده مسیریابی در این شبکه‌ها به یک کار بحرانی و سخت تبدیل شود. به همین دلیل محققان مقالات زیادی ارائه داده‌اند که در آن، یک پروتکل جدید ارائه شده و یا پروتکل‌های موجود را بهبود بخشیده‌اند [۱۷].

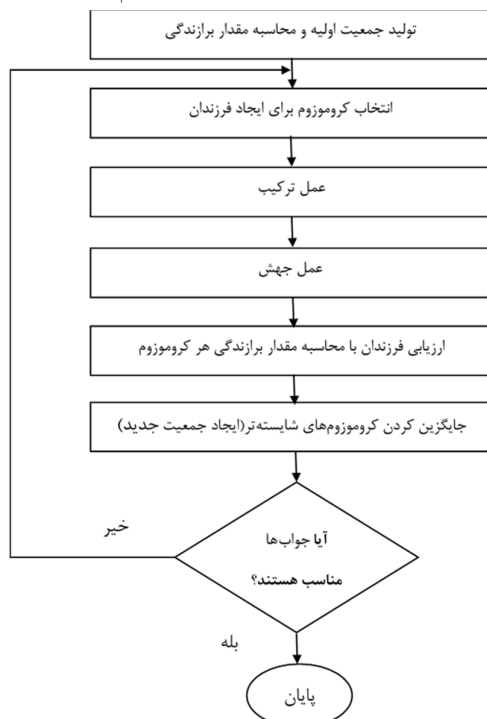
یکی از تکنیک‌های بهبود پروتکل‌های مسیریابی، پیدا کردن مقدار بهینه برای پارامترهایی است که عملکرد آن پروتکل را کنترل می‌کنند. با این حال، به دلیل زیاد بودن تعداد جواب‌های ممکن، پیدا کردن مقدار بهینه در بیشتر پروتکل‌ها کار ساده‌ای نیست. بنابراین روش‌های موجود قبلی، برای حل مسائل بهینه‌سازی قابل اجرا نیستند؛ زیرا برای انجام دادن جست‌وجو

امروزه پیشرفت‌های زیادی در زمینه فناوری سیستم‌های حمل‌ونقل صورت گرفته که باعث به وجود آمدن سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند شده است. ITS^۱ یک فناوری جدیدی به‌منظور بالا بردن سطح ایمنی، کارایی و مدیریت حمل‌ونقل است. با توجه به آمار روزانه تصادف در جاده‌ها و همچنین وجود ترافیک در خیابان‌ها که باعث صرف زمان زیادی می‌شود، متخصصان خودروسازی مجبور به ساخت خودروهایی شده‌اند که توانایی تعامل با سیستم‌های هوشمند را داشته باشند. در واقع مدیریت و کنترل ترافیک یکی از ضرورت‌های امروزی در این سیستم‌هاست [۱]. در سیستم‌های ITS هرکدام از خودروها می‌توانند با دیگر خودروهای در حال حرکت ارتباط برقرار کنند و سفری مطمئن و با ایمنی بیشتری داشته باشند. ارتباط بین خودروها مؤلفه اصلی در سیستم‌های ITS به‌شمار می‌رود که شامل انواع ارتباطات خودرو به خودرو (V2V)^۲ و ارتباطات خودرو با تجهیزات کنار جاده‌ای (V2I)^۳ است؛ این ارتباطات باعث ورود شبکه‌های بین خودرویی به عرصه شبکه‌های کامپیوتری شده است [۲].

در شبکه‌های بین خودرویی، خودروهایی که در مناطق شهری و جاده‌های برون‌شهری حرکت می‌کنند، به‌صورت بالقوه می‌توانند اطلاعات خود و داده‌های دریافتی از محیط اطراف را برای اطلاع سایر خودروها منتشر کرده و از داده‌های دریافتی از طریق تجهیزات کنار جاده‌ای استفاده کنند [۳]. درصد فراوانی از تصادفات به دلیل نداشتن سطح آگاهی رانندگان از موانع پیش‌روست. با وجود این، سیستم‌های ITS می‌توانند شرایطی را فراهم کنند که درک و سطح هوشیاری رانندگان از خطرات و موانع احتمالی در مسیرهای پیش‌رو را بهبود دهند. هر خودرویی می‌تواند هر اطلاعاتی مربوط به مسائل ایمنی از جمله پیام‌هایی برای اجتناب از تصادف، ترافیک، شرایط برخورد و یا دیگر اطلاعات غیر ایمنی شامل وضعیت آب‌وهوا و اطلاعات گردشگری را جمع‌آوری کند؛ همچنین می‌تواند با وسایل نقلیه

1. Intelligent Transport System
2. Vehicle to Vehicle
3. Vehicle to Infrastructure

[۲۱]. برای پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، ابتدا باید متغیرهای مسئله تعیین و به نحو مناسبی کدگذاری شوند. در ضمن، براساس هدف مسئله، یک تابع برازش برای متغیرها تعریف می‌شود. در ابتدای اجرای الگوریتم، یک جمعیت اولیه دلخواه به صورت تصادفی انتخاب و میزان برازندگی هریک از کروموزوم‌های جمعیت اولیه توسط تابع برازش محاسبه می‌شود. در ادامه اجرای الگوریتم، مراحل شکل (۱) به صورت تکراری انجام می‌شوند. در مرحله اول، تعداد مناسبی از زوج کروموزوم‌ها بر اساس میزان برازندگی آن‌ها برای استفاده در مراحل بعدی انتخاب می‌شوند. کروموزوم‌هایی که دارای مقدار برازندگی بالایی هستند، ممکن است چندین بار در مرحله تولید انتخاب شوند، درحالی‌که کروموزوم‌های با مقدار برازندگی کم ممکن است هیچ‌گاه انتخاب نشوند. در مرحله بعد، عملگر ترکیب با احتمال P_c روی کروموزوم‌های والد عمل کرده و با ترکیب آن‌ها، کروموزوم‌های جدیدی را تولید می‌کند. انتخاب اینکه در هر لحظه کدام دو زوج کروموزوم به عنوان والدین تعیین شوند، می‌تواند بر اساس استراتژی‌های مختلفی انجام شود.



شکل (۱): فلوچارت الگوریتم ژنتیک

به یک زمان اجرای بسیار طولانی نیاز دارند [۱۸]. در رشته کامپیوتر، الگوریتم‌های فراابتکاری به‌عنوان روش‌های قدرتمند و انعطاف‌پذیر، برای مسائل بهینه‌سازی و جست‌وجو پدیدار شده‌اند که در بسیاری از مسائل به کار گرفته شده و به همین بالایی از جواب‌ها در حل مسائل دست یافته‌اند [۱۹]. به همین سبب، در این تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهبود پروتکل مسیریابی AODV در شبکه VANETs استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم‌های ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک مقدار بهینه برای پارامترهای کنترلی پروتکل AODV محاسبه شده است. و نتایج به دست آمده بر اساس پارامترهای کیفیت خدمات (QoS) مورد ارزیابی قرار گرفته و تأثیر هریک از این سه الگوریتم روی عملکرد مسیریابی و بهبود پروتکل AODV مقایسه می‌شوند. در ادامه، توضیحات مختصری درباره الگوریتم‌های به کار گرفته شده در این تحقیق آورده شده است. در بخش سوم، پروتکل مسیریابی AODV و پارامترهای کنترلی آن معرفی شده و در بخش چهارم پارامترهای ارزیابی شبکه و تابع هزینه برای بررسی روند بهینه‌سازی تعریف شده است. روش کار پیشنهادی در بخش پنجم توضیح داده شده و در بخش ششم نیز سناریوی شبیه‌سازی و پارامترهای ارزیابی شبکه مطرح شده و در نهایت، نتایج حاصل از این تحقیق در بخش هفتم مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. معرفی الگوریتم‌ها

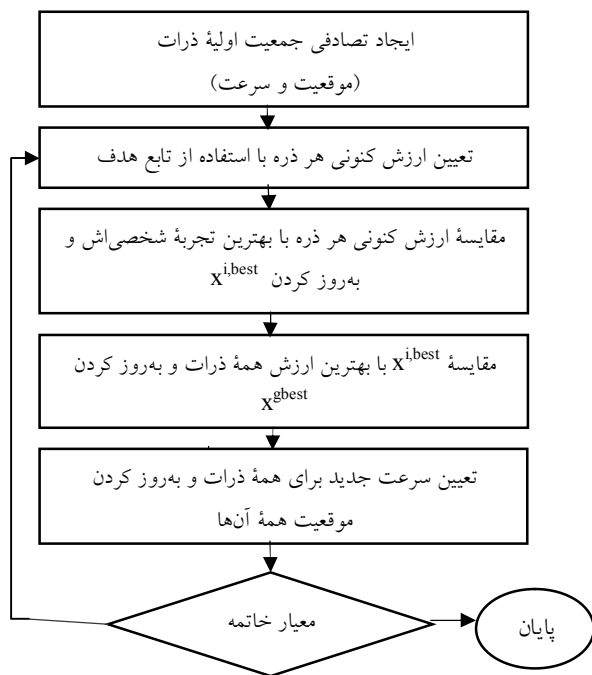
۱.۲. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک^۱ یکی از اعضای خانواده مدل‌های محاسباتی الهام گرفته شده از روند تکامل است. این الگوریتم‌ها راه‌حل‌های بالقوه یک مسئله را در قالب کروموزوم‌های ساده‌ای کد کرده و سپس عملگرهای ترکیبی را روی این ساختارها اعمال می‌کنند. الگوریتم ژنتیک اغلب به‌عنوان روشی مبتنی بر جست‌وجوی تصادفی برای بهینه‌سازی و تخمین پارامتر به کار می‌رود. اساس این الگوریتم قانون تکامل داروین است که در آن موجودات ضعیف‌تر از بین رفته و موجودات قوی‌تر باقی می‌مانند [۲۰ و

در مرحله سوم، عمل جهش روی کروموزوم‌های حاصل از عمل ترکیب انجام می‌شود. سپس به منظور ارزیابی فرزندان، مقدار برازندگی کروموزوم‌های جدید محاسبه و جمعیت جدید برای ورود به مرحله بعد الگوریتم، انتخاب می‌شود. این کار با مقایسه مقدار برازندگی کروموزوم‌ها انجام می‌شود. بعد از طی مراحل، چنانچه شرایط خاتمه الگوریتم فراهم باشد، الگوریتم پایان پذیرفته و در غیر این صورت جمعیت موجود به عنوان جمعیت اولیه برای مرحله بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲].

۲.۲. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم ازدحام ذرات^۱ یک الگوریتم جست‌وجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان مدل شده است. در این الگوریتم، تغییر مکان ذره‌ها در فضای جست‌وجو تحت تأثیر تجربه و دانش خود و همسایگان است. نتیجه مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جست‌وجوی است که در آن ذره‌ها به سمت نواحی موفق میل می‌کنند. ذره‌ها در جمعیت از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. در این الگوریتم، تعدادی از ذره‌ها در فضای جست‌وجو پخش شده و هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار دارد، محاسبه می‌کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات فعلی خود و بهترین محلی که تاکنون در آن بوده و نیز اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در طبیعت، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. همه ذرات با انتخاب جهتی، حرکت کرده و یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. مراحل شکل (۲) تا زمانی که جواب مورد نظر به دست آید، تکرار می‌شوند. در واقع انبوه ذرات که مقدار کمیته یک تابع را جست‌وجو می‌کنند، همانند دسته‌ای از پرندگان جوینده غذا عمل می‌کنند. هر ذره در الگوریتم ازدحام ذرات از سه بردار تشکیل شده است: X^i موقعیت فعلی ذره، V^i سرعت حرکت ذره، $X^{i,best}$ بهترین موقعیتی که ذره تا به حال تجربه کرده است. در هر مرحله‌ای که الگوریتم تکرار می‌شود، X به عنوان یک جواب برای مسئله محاسبه می‌شود. اگر این

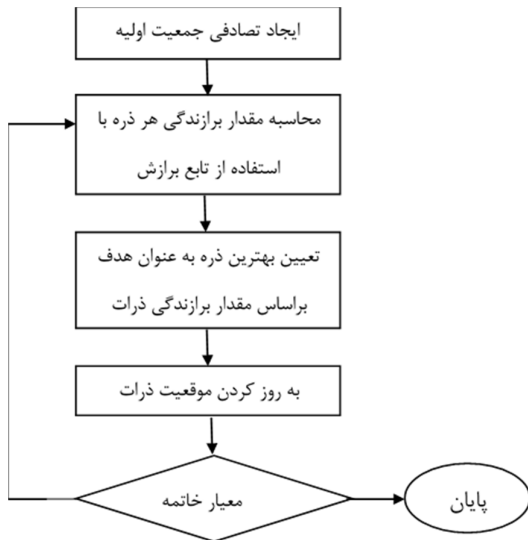


شکل (۲): فلوجارت الگوریتم ازدحام ذرات

در ابتدای الگوریتم، ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. در طی اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله بعد، از روی اطلاعات مرحله قبلی ساخته می‌شوند [۲۳].

۳.۲. الگوریتم بهینه‌سازی ملخ

یکی از جدیدترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی که در سال ۲۰۱۷ معرفی شده، الگوریتم بهینه‌سازی ملخ (GOA)^۱ است. الگوریتم ملخ یک الگوریتم فراابتکاری الهام‌گرفته‌شده از طبیعت است که رفتار ملخ‌ها در طبیعت و حرکت گروهی ملخ‌ها به سمت منبع غذایی را تقلید کرده و آن را شبیه‌سازی می‌کند. اگرچه ملخ معمولاً در طبیعت به صورت تکی و جداگانه دیده می‌شود، آن‌ها در یکی از بزرگ‌ترین گروه‌ها از تمام موجودات قرار دارند. مدل ریاضی الگوریتم ملخ تقلیدی از رفتار دسته ملخ‌ها در طبیعت برای حل مسئله بهینه‌سازی است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ملخ قادر به ارائه نتایج بهتر در مقایسه با الگوریتم‌های شناخته‌شده اخیر است. نتایج شبیه‌سازی روی مسائل واقعی نیز ثابت کرده که الگوریتم ملخ قادر به حل مسائل تعدادی از ملخ‌ها در فضای جست‌وجو قرار دارند. مقدار برازندگی هر ملخ با استفاده از تابع برازش محاسبه می‌شود. مکان بعدی هر ملخ بر مبنای مکان فعلی ملخ، مکان هدف و مکان همه ملخ‌های دیگر تعریف می‌شود. در واقع وضعیت همه ملخ‌ها برای تعریف مکان جدید هر ملخ در نظر گرفته می‌شود که این قضیه باعث تفاوت الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات شده است. در الگوریتم ازدحام ذرات هر ذره، یک بردار مکان و یک بردار سرعت دارد، درحالی‌که در الگوریتم ملخ فقط یک بردار مکان برای هر ملخ وجود دارد. تفاوت عمده دیگر بین این دو الگوریتم این است که ازدحام ذرات مکان هر ذره را با در نظر گرفتن مکان فعلی، بهترین محلی و بهترین سراسری به‌روز می‌کند، درحالی‌که الگوریتم ملخ مکان هر ملخ را بر اساس مکان فعلی، بهترین سراسری و مکان سایر ملخ‌ها به‌روز می‌کند. بدین معنی که در الگوریتم ازدحام ذرات هیچ‌یک از ذرات دیگر در به‌روز شدن مکان یک ذره شرکت نمی‌کنند، درحالی‌که در الگوریتم ملخ نیاز است که سایر ملخ‌ها برای تعیین مکان بعدی ملخ مورد نظر، در نظر گرفته شده و همکاری کنند [۲۴].



شکل (۳): فلوچارت الگوریتم ملخ

۳. پروتکل مسیریابی AODV

پروتکل مسیریابی AODV^۲ یک پروتکل مسیریابی انفعالی^۳ برای شبکه‌های موردی است. در واقع این پروتکل، وقتی یک گره مبدأ بسته‌هایی برای ارسال دارد، مسیرها را تعریف کرده و فقط مسیرهایی را نگه می‌دارد که به‌طور متداول درحال استفاده هستند. AODV با استفاده از مکانیزم کشف مسیر و به‌روزرسانی جدول مسیریابی گره‌های میانی در مسیر، بار مسیریابی را کاهش می‌دهد. سربار مسیریابی کاهش یافته و همچنین کیفیت خدمات (QoS) رقابتی، منجر شده است که این پروتکل در شبکه‌های VANETs مورد استفاده قرار گیرد [۲۵]. بنابراین واضح است که بهینه‌سازی این پروتکل یک تحقیق پرنمر خواهد بود. پروتکل مسیریابی AODV متعلق به کلاس DV^۴ است. در یک DV، هر گره همسایه‌های خود را با هزینه رسیدن به آن‌ها می‌شناسد. هر گره دارای جدول مسیریابی است، به‌طوری‌که جدول مسیریابی همه گره‌های موجود در شبکه را به همراه مسافت آن‌ها ذخیره می‌کند. یک نمونه از جدول مسیریابی در شکل (۴) نشان داده شده است. اگر یک گره در دسترس نباشد، مسافت، بی‌نهایت است. هر گره به‌طور متناوب جدول مسیریابی را به گره‌های همسایه می‌فرستد، بنابراین گره‌ها با توجه به

2. Ad-Hoc On Demand Distance Vector Routing Protocol

3. Reactive

4. Distance Vector Routing Protocol

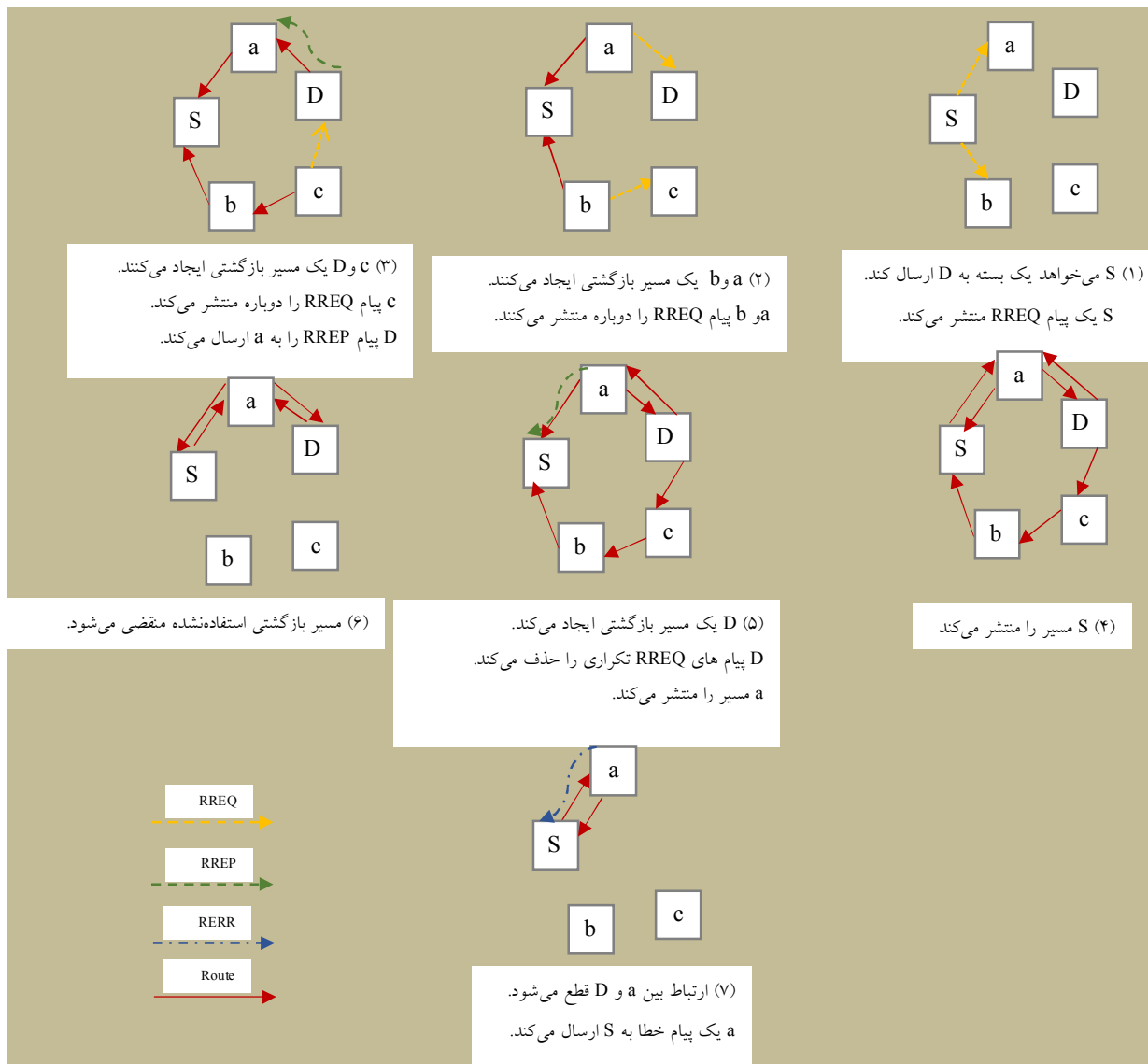
1. Grasshopper Optimization Algorithm

روش AODV می‌تواند unicast، broadcast و multicast را بدون هیچ پروتکل دیگری حمایت کند. برای مسیریابی unicast سه پیام کنترلی استفاده می‌شود: RREQ، RREP، RERR.

جدول مسیریابی مسیر مناسب را تشخیص می‌دهند [۲۶].

گام بعدی	هزینه	مقصد
A	۱	A
B	۰	B
C	∞	-
D	۱	D
E	∞	-

شکل (۴): مثالی از یک جدول مسیریابی DV



شکل (۵): فرایند مسیریابی در AODV [۲۷]

1. Route REQuest
2. Route REPLY
3. Route ERRor

۲.۳. مقداردهی اولیه پارامترهای پروتکل AODV

در مسئله بهینه‌سازی مطرح‌شده، راه‌حل‌ها، آرایه‌هایی هستند که اجزای آن، پارامترهای پروتکل AODV است که در جدول (۱) مشخص شده است. مقداردهی اولیه این پارامترها به‌نحوی صورتی می‌گیرد که جمعیت اولیه در سرتاسر نواحی مختلف فضای جست‌وجو پخش شوند. ابتدا فضای جست‌وجو به تعداد ذرات جمعیت (Sw_Size)^۱ به فضاهای کوچک‌تری تقسیم می‌شوند و هر ذره در یکی از این زیرمجموعه‌های کوچک فضای جست‌وجو قرار می‌گیرد که این روند در رابطه (۱) خلاصه شده است.

$$X_{p,i}^{(0)} = Z_{(i,MIN)} + \rho^P i \in [0,10], P \in [0, SwSize - 1] \quad (1)$$

در این رابطه، $X_{p,i}^{(0)}$ مقدار پارامتر i در بردار راه‌حل p امین ذره است. به عبارت دیگر، هر ذره یک بردار راه‌حل می‌باشد که از پارامترهای پروتکل AODV در جدول (۱) تشکیل شده و $X_{p,i}^{(0)}$ مقدار i امین پارامتر از ذره p است. در این فرمول از رابطه (۲) به دست می‌آید که در آن β یک عدد رندم بین $[0,1]$ است و $Z_{(i,MAX)}$ و $Z_{(i,MIN)}$ به ترتیب حد بالا و پایین بازه مربوط به i امین پارامتر است که در جدول (۱) مشخص شده است. به این ترتیب، جمعیت اولیه برای اجرای الگوریتم‌ها مقداردهی می‌شوند [۲۸].

$$\rho^P = \left(\frac{P+\beta}{SwSize} \right) \times (Z_{(i,MAX)} - Z_{(i,MIN)}) \quad (2)$$

۴. پارامترهای ارزیابی

عملکرد هر گروه از پارامترهای پروتکل AODV با استفاده از سه پارامتر کیفیت خدمات (QoS) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: متوسط نرخ تحویل (PDR)^۲: نسبت بسته‌های داده‌ای که با موفقیت به مقصد ارسال شده‌اند به تعداد کل بسته‌های ارسال‌شده از مبدأ است. این پارامتر نشان می‌دهد که پروتکل در انجام وظیفه خود، یعنی ارسال موفق داده‌ها تا چه حد خوب عمل کرده است.

طبق شکل (۵) اگر یک گره بخواهد یک بسته را به گره دیگری ارسال کند، ابتدا یک پیام RREQ را انتشار می‌دهد. گره دریافت‌کننده RREQ یک مسیر برگشتی به فرستنده ایجاد می‌کند. اگر گره دریافت‌کننده پیام RREQ، مقصد نهایی بسته نباشد، آن گره پیام RREQ به‌روزشده را دوباره انتشار می‌کند و به‌طور خاص شماره hop را افزایش می‌دهد. اگر گره به‌عنوان مقصد نهایی ارسال اطلاعات شناخته شد، آن گره یک RREP ایجاد می‌کند. اگر یک گره متوجه شود که به دیگر گره‌ها دسترسی ندارد یک پیام RERR را انتشار می‌دهد [۲۷].

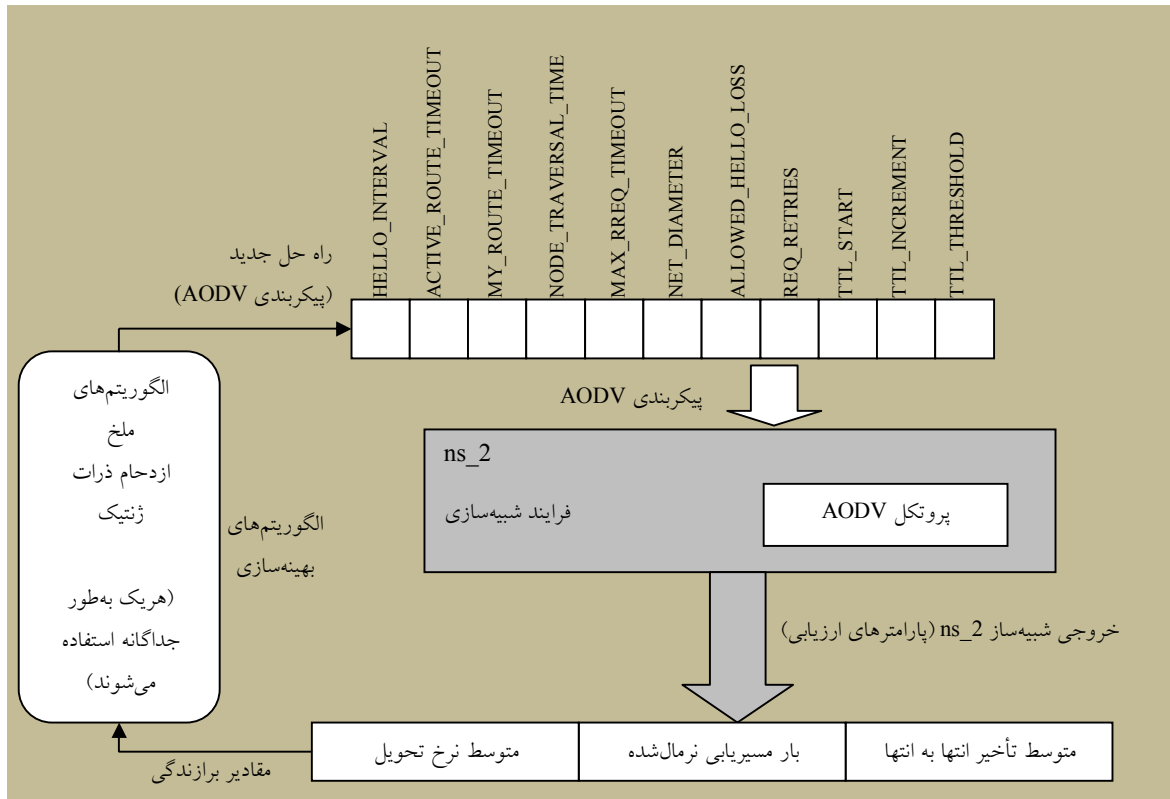
۱.۳. پارامترهای کنترلی پروتکل AODV

عملکرد و کارایی پروتکل AODV به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر مقدار پارامترهای کنترلی آن است. به‌طور کلی این پارامترها پنج تایمر و شش شمارنده هستند. با تنظیم پارامترها، مقادیری برای شمارنده‌ها، تایمرها و متغیرهای تصمیم اختصاص داده می‌شود که عملکرد پروتکل‌ها را کنترل می‌کنند. بنابراین رفتار و عملکرد هر پروتکلی تا حد زیادی وابسته به مقدار این پارامترهاست. بر همین اساس هدف ما یافتن مقادیر کارآمد برای پارامترهای پروتکل AODV بر اساس عملکرد شبکه است. پارامترها و بازه مقادیر مربوط به هر کدام، در جدول (۱) نمایش داده شده است [۲۸]. ما از تکنیک‌های بهینه‌سازی برای یافتن مقادیر پارامترها استفاده می‌کنیم تا بهترین نتایج را برای کیفیت خدمات (QoS) به دست آوریم.

جدول (۱): مجموعه پارامترهای پروتکل AODV

پارامتر	نوع داده	بازه
HELLO_INTERVAL	R	[۱,۰,۲۰,۰]
ACTIVE_ROUTE_TIMEOUT	R	[۱,۰,۲۰,۰]
MY_ROUTE_TIMEOUT	R	[۱,۰,۴۰,۰]
NODE_TRAVERSAL_TIME	R	[۱,۰,۴۰,۰]
MAX_RREQ_TIMEOUT	R	[۱,۰,۱۰۰,۰]
NET_DIAMETER	Z	[۳,۱۰۰]
ALLOWED_HELLO_LOSS	Z	[۰,۲۰]
REQ_RETRIES	Z	[۰,۲۰]
TTL_START	Z	[۱,۴۰]
TTL_INCREMENT	Z	[۱,۲۰]
TTL_THRESHOLD	Z	[۱,۶۰]

1. Swarm Size
2. Packet Delivery Ratio



شکل (۶): چارچوب بهینه‌سازی

تعریف شده، نشان می‌دهد. همان‌طور که در فرمول مشاهده می‌شود، برای تابع برازندگی از یک فرمول کمیته‌سازی استفاده شده، به همین دلیل PDR با یک علامت منفی در فرمول قرار گرفته است. فاکتورهای $w1$ ، $w2$ و $w3$ در این تساوی وزن‌هایی هستند که میزان تأثیر هر کدام از پارامترهای ارزیابی بر نتایج تابع را مشخص می‌کنند و در اینجا $w1$ ، $w2$ و $w3$ به ترتیب برابر با $0/5$ و $0/2$ و $0/3$ هستند [۳۱].

$$fitness = w_1 \times (-PDR) + w_2 \times NRL + w_3 \times E2E \quad (3)$$

۵. روش کار

همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، در این پژوهش از استراتژی بهینه‌سازی برای به دست آوردن مقادیر کارآمد برای پارامترهای پروتکل AODV استفاده شده است. این کار از طریق اتصال دو مرحله مختلف انجام شده است: روند بهینه‌سازی و مرحله شبیه‌سازی.

متوسط تأخیر انتها به انتها (E2ED): متوسط مجموع زمانی که طول می‌کشد تا هر بسته با موفقیت ارسال/دریافت شود. بار مسیریابی نرمال‌شده (NRL): عبارت است از تعداد بسته‌های پیامی که برای ارسال موفق داده‌ها رد و بدل می‌شود. این پارامتر در مورد ترافیک اضافی که توسط پروتکل مسیریابی برای ارسال موفق داده‌ها تولید شده، بحث می‌کند [۲۹ و ۳۰].

۱.۴. تعریف تابع هزینه

تابع هزینه در واقع همان تابع برازندگی است که در مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در مسائل بهینه‌سازی، هدف، کمینه یا بیشینه کردن تابع برازندگی است که بسته به نوع مسئله تعریف می‌شود. برای بهبود کیفیت خدمات (QoS)، هدف اصلی این تحقیق، ماکزیمم شدن PDR و مینیمم شدن NRL و E2ED است. فرمول (۳)، تابع برازندگی را که برای این تحقیق

1. End to End Delay
2. Normalized Routing Load

شبیه‌سازی مجموعه‌ای از خودروها داده‌هایی را با هم مبادله می‌کنند و از آنجا که حرکت خودروها در یک محیط شهری است، سرعت خودروها بین ۱۰ تا ۵۰ کیلومتر بر ساعت متغیر است. سایز بسته‌های ارسالی بین خودروها ۵۱۲ بایت و نرخ ارسال بسته توسط هر خودرو در این شبکه ۴ ($packets/s$) است. پروتکل انتقال در این سناریو از نوع UDP بوده و برای مسیریابی از پروتکل مسیریابی AODV استفاده شده است. در جدول (۲) خلاصه‌ای از پارامترهای شبیه‌سازی نشان داده شده است.

پارامترها	مقدار
مدت زمان شبیه‌سازی	۱۸۰ ثانیه
مساحت شبیه‌سازی	$670 \times 670 m^2$
تعداد خودروها	۵۰
سرعت خودروها	۱۰-۵۰ km/h
پروتکل PHY/MAC	IEEE 802.11b
پروتکل مسیریابی	AODV
پروتکل انتقال	UDP

۲.۶. مقدار بهینه پارامترهای پروتکل AODV

مقادیر بهینه‌ای که با استفاده از الگوریتم‌های ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک برای پارامترهای پروتکل AODV به دست آمده، در جدول (۳) نمایش داده شده است. مقادیر نمایش داده شده در این جدول پس از تکرار الگوریتم‌های ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک و رسیدن به شرط خاتمه به دست آمده است.

۳.۶. ارزیابی پارامترهای کیفیت خدمات

در این بخش، نتایج به دست آمده برای پارامترهای QoS از جمله PDR، NRL و E2ED با هم مقایسه شده‌اند. در جدول (۴) مقدار پارامترهای کیفیت خدمات، پس از شبیه‌سازی و اجرای الگوریتم‌ها به ازای هر الگوریتم به صورت مجزا نمایش داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، مقدار پارامتر PDR برای الگوریتم‌های ملخ و ازدحام ذرات برابر با ۱۰۰ و برای الگوریتم ژنتیک برابر ۹۶/۸۶ است. این پارامتر به طور

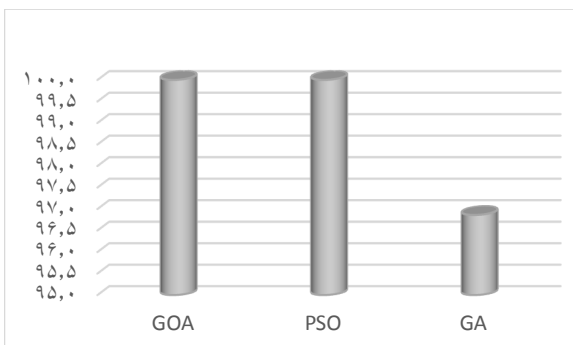
بخش بهینه‌سازی توسط الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت از جمله الگوریتم ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک انجام می‌شود. هدف، پیدا کردن مقدار بهینه برای پارامترهای پروتکل AODV است که پس از چند مرحله تکرار الگوریتم‌ها به این مقادیر بهینه دست پیدا خواهیم کرد. هنگامی که الگوریتم بهینه‌سازی، مقدار برازندگی یک راه‌حل را برای ادامه کار نیاز دارد، از روند شبیه‌سازی که برای شبکه VANETs تعریف شده استفاده می‌کند. در مرحله شبیه‌سازی نیز مقدار پارامترهای کیفیت خدمات (QoS) و همچنین مقدار تابع برازندگی (fitness) محاسبه می‌شود. روند شبیه‌سازی با استفاده از شبیه‌ساز شبکه ns-2 که به طور گسترده برای شبیه‌سازی VANETs به کار می‌رود، انجام شده است. برای اجرای الگوریتم‌های بهینه‌سازی ۱۰ ذره در نظر گرفته شده که هر ذره شامل ۱۱ پارامتر است و این ۱۱ پارامتر همان پارامترهای پروتکل مسیریابی AODV در جدول (۱) می‌باشد. همان طور که در شکل (۶) نشان داده شده، در هر بار تکرار فرایند بهینه‌سازی توسط این الگوریتم‌ها، الگوریتم مورد نظر مقدار بهینه برای پارامترهای پروتکل مسیریابی AODV را در آن مرحله محاسبه می‌کند، سپس این مقادیر در اختیار سناریوی شبیه‌سازی قرار می‌گیرد و ns-2 مقدار PDR، NRL و E2ED مربوط به راه‌حل ارائه شده را محاسبه کرده و برمی‌گرداند که از این اطلاعات برای محاسبه تابع برازندگی استفاده خواهد شد. این روند بارها تکرار می‌شود تا جایی که دیگر تغییری در مقدار پارامترهای محاسبه شده توسط الگوریتم‌های بهینه‌سازی مشاهده نشود. به عبارت دیگر، تکرار روند اجرای الگوریتم‌ها و شبیه‌سازی تا زمانی ادامه می‌یابد که پس از چند مرحله اجرا مقدار به دست آمده برای پارامترها به یک مقدار پایدار برسد.

۶. شبیه‌سازی و ارزیابی

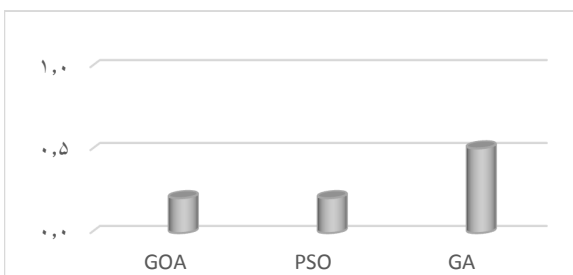
۱.۶. سناریوی شبیه‌سازی شبکه VANETs

برای شبیه‌سازی شبکه VANETs در این تحقیق، از شبیه‌ساز شبکه ns-2 استفاده شده است. در این سناریو ۵۰ خودرو در قسمتی از یک محیط شهری به ابعاد 670×670 مترمربع در مدت زمان ۳ دقیقه در حال حرکت هستند. طی مدت زمان

خرابی شبکه، به دلیل مشکل ازدحام در شبکه VANETs محسوب می‌شود [۳۲].



شکل (۷): نتایج PDR



شکل (۸): نتایج NRL

در مورد پارامتر E2ED با توجه به شکل (۹) می‌توان گفت که الگوریتم ژنتیک در مقایسه با الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات نتیجه بهتری را به دست آورده است؛ به طوری که مقدار این پارامتر برای الگوریتم ژنتیک ۱۰/۱۳ و برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات برابر با ۱۱/۴۱ است. موضوع قابل توجه آن است که مقدار E2ED برای هر سه الگوریتم کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه می‌باشد یعنی بسته‌ها با تأخیری کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه، که بیشترین تأخیر مجاز برای کاربردهای مربوط به همکاری بین خودروها در موارد بسیار بحرانی است، ارسال می‌شوند [۳۳].

همان طور که ملاحظه شد، در نگاه اول این طور به نظر می‌رسد که برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات، نتایج یکسانی به دست آمده و هیچ تفاوتی بین آن‌ها نیست. اما طبق مشاهدات، نکته قابل توجه این است که طی روند شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم ملخ، مقادیر مربوط به پارامترهای کیفیت خدمات در زمان کمتری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات به یک حالت پایدار رسید. به

واضح نشان‌دهنده گم شدن تعداد زیادی از بسته‌هاست و این موضوع باعث می‌شود که پروتکل AODV تعداد بسته‌های کنترلی بیشتری تولید کند که منجر به ازدحام در شبکه می‌شود. شکل (۷) مقدار این پارامتر برای هر سه الگوریتم ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک را نشان می‌دهد.

جدول (۳): مقادیر بهینه پارامترهای پروتکل AODV

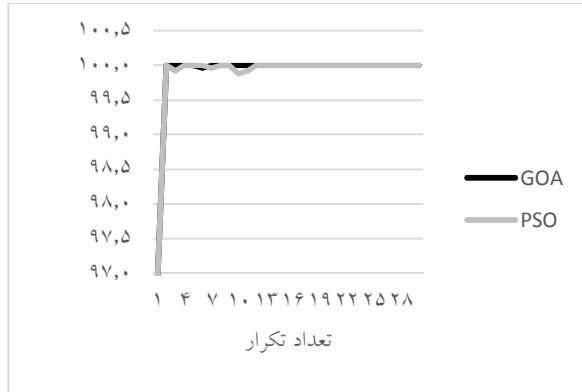
پارامترهای پروتکل AODV	الگوریتم‌های بهینه‌سازی		
	ملخ (GOA)	ازدحام ذرات (PSO)	ژنتیک (GA)
HELLO_INT	۲/۴۶۰۹	۳/۱۸۳۵	۴/۷۴۴۱
ACTIVE_R_T	۱/۲۰۹۲	۱/۵۴۱۷	۳/۰۵۹۳
MY_R_T	۲/۷۵۲۳	۱	۳/۰۷۴۹
NODE_T_T	۱/۰۴۶۶	۰/۰۱	۳/۲۷۶۴
MAX_R_T	۱۵/۸۶۹۸	۱۲/۲۷۹۷	۱۷/۳۷۹۰
NET_D	۵	۶	۱۷
ALLOWED_H_L	۳	۰	۵
REQ_R	۲	۰	۴
TTL_S	۴	۱	۶
TTL_I	۳	۹	۴
TTL_T	۷	۱	۱۱

جدول (۴): مقدار پارامترهای ارزیابی

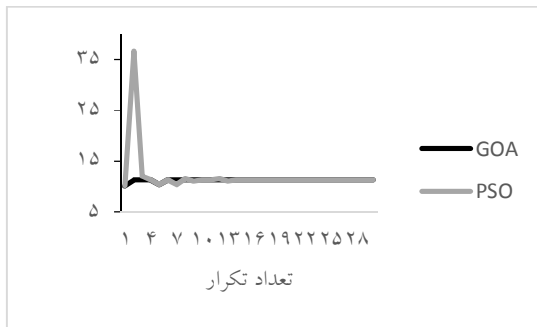
پارامترهای ارزیابی	الگوریتم‌های بهینه‌سازی		
	ملخ (GOA)	ازدحام ذرات (PSO)	ژنتیک (GA)
متوسط نرخ تحویل PDR(%)	۱۰۰	۱۰۰	۹۶/۸۶
بار مسیریابی نرمال شده NRL(%)	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۵۱
متوسط تأخیر انتها به انتها E2ED(ms)	۱۱/۴۱	۱۱/۴۱	۱۰/۱۳

مقدار پارامتر NRL، همان طور که در شکل (۸) نیز مشاهده می‌شود، برای الگوریتم‌های ملخ و ازدحام ذرات برابر با ۰/۲۱ و برای الگوریتم ژنتیک برابر با ۰/۵۱ می‌باشد و نشان‌دهنده این است که الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات نتایج بهتری به دست آورده‌اند. کاهش بار مسیریابی در شبکه VANETs مسئله مهمی است زیرا به عنوان یک راه‌حل برای کاهش احتمال

(۱۰) نشان می‌دهد که مقدار NRL حاصل از جست‌وجو برای پیدا کردن مقدار بهینه برای پروتکل AODV با استفاده از الگوریتم ملخ، زودتر از الگوریتم ازدحام ذرات به یک مقدار پایدار رسیده که دیگر تغییری نکرده است؛ این نشان می‌دهد که الگوریتم ملخ با تعداد تکرار کمتری توانسته به جواب بهینه برسد. شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نیز همین نکته را برای پارامترهای PDR و E2ED نشان می‌دهند.



شکل (۱۱): روند تغییرات PDR طی مراحل شبیه‌سازی برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات

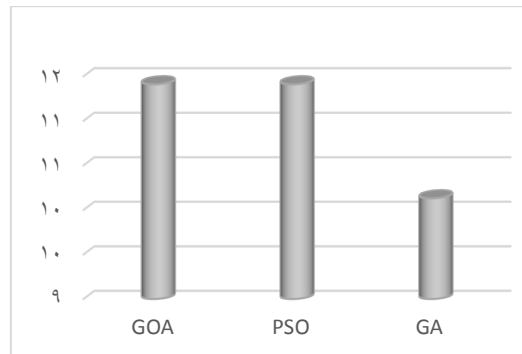


شکل (۱۲): روند تغییرات E2ED طی مراحل شبیه‌سازی برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات

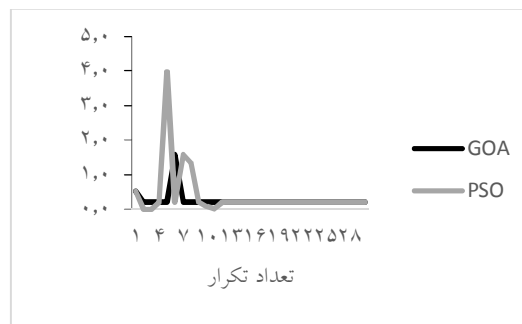
۴.۶. ارزیابی تابع برازندگی

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، برای حل مسائل بهینه‌سازی به تعریف تابع برازندگی نیاز داریم. در این تحقیق، تابع برازندگی با استفاده از پارامترهای QoS محاسبه می‌شود. جدول (۵) مقدار تابع برازندگی برای جواب‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی به ازای هر کدام از الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد.

عبارت دیگر، الگوریتم ملخ با تعداد تکرار کمتری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات به مقادیر ثبت‌شده در جدول (۳) رسیده و طی تکرارهای بعدی مقدار آن تغییری پیدا نکرد. اما الگوریتم ازدحام ذرات به تعداد تکرار بیشتری نسبت به الگوریتم ملخ نیاز دارد تا مقدار پارامترهای کیفیت خدمات حاصل از اجرای این الگوریتم روی شبکه VANETS، به یک حالت پایدار برسد. در نتیجه الگوریتم ملخ زودتر از الگوریتم ازدحام ذرات به جواب بهینه دست پیدا می‌کند و عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات دارد. شکل‌های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) بیانگر همین موضوع هستند و مقایسه‌ای بین نحوه عملکرد الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات برای پیدا کردن مقدار بهینه برای پروتکل AODV را نشان می‌دهند.



شکل (۹): نتایج E2ED



شکل (۱۰): روند تغییرات NRL طی مراحل شبیه‌سازی برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات

همان‌طور که گفته شد، مقدار به‌دست‌آمده توسط این دو الگوریتم برای پارامترهای ارزیابی NRL، PDR و E2ED یکسان است، اما سرعت الگوریتم ملخ در رسیدن به این جواب بهینه بیشتر از الگوریتم ازدحام ذرات است. برای مثال، شکل

پروتکل‌های مسیریابی، پیدا کردن بهترین مقدار برای پارامترهایی است که عملکرد آن پروتکل را کنترل می‌کنند. با این حال، به دلیل زیاد بودن تعداد جواب‌های ممکن، پیدا کردن مقدار بهینه در بیشتر پروتکل‌ها کار ساده‌ای نیست. بنابراین روش‌های موجود قبلی، برای حل مسائل بهینه‌سازی قابل اجرا نیستند زیرا برای انجام دادن جست‌وجو به یک زمان اجرای بسیار طولانی نیاز دارند. الگوریتم‌های فراابتکاری به‌عنوان روش‌های قدرتمند و انعطاف‌پذیر، برای مسائل بهینه‌سازی و جست‌وجو پدیدار شده‌اند که در بسیاری از مسائل به کار گرفته شده و به سطح بالایی از جواب‌ها در حل مسائل دست یافته‌اند. به همین سبب در این تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری برای بهبود پروتکل مسیریابی AODV در شبکه VANETs استفاده شده است. با استفاده از الگوریتم‌های ملخ، ازدحام ذرات و ژنتیک مقدار بهینه برای پارامترهای کنترلی پروتکل AODV محاسبه شده است. و نتایج به‌دست‌آمده بر اساس پارامترهای کیفیت خدمات (QoS) مورد ارزیابی قرار گرفته و تأثیر هرکدام از این سه الگوریتم، روی عملکرد مسیریابی و بهبود پروتکل AODV با هم مقایسه می‌شوند. معیارهایی که برای ارزیابی عملکرد این الگوریتم‌ها استفاده شده، نرخ تحویل بسته، میانگین تأخیر آنها به بار مسیریابی نرمال شده است. برای بهبود کیفیت خدمات (QoS)، هدف ماکزیمم شدن نرخ تحویل بسته و مینیمم شدن میانگین تأخیر آنها به بار مسیریابی نرمال شده است.

در این تحقیق، شبیه‌سازی شبکه VANETs با استفاده از نرم‌افزار ns_2 انجام شده است. مقدار پارامتر PDR پس از شبیه‌سازی و اجرای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات برای پیدا کردن بهترین مقدار برای پارامترهای پروتکل AODV برابر ۱۰۰٪ و برای الگوریتم ژنتیک برابر ۹۶/۸۶٪ به دست آمده است. همچنین مقدار NRL برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات ۰/۲۱٪ و برای الگوریتم ژنتیک ۰/۵۱٪ است و این نشان می‌دهد که بر اساس این دو پارامتر عملکرد الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات بهتر از الگوریتم ژنتیک بوده است. از طرفی، مقدار پارامتر E2ED برای الگوریتم ژنتیک ۱۰/۱۳ میلی‌ثانیه و برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات ۱۱/۴۱ میلی‌ثانیه به دست آمده است که در رابطه با این پارامتر

طبق این جدول مقدار تابع برازندگی برای بهترین مقدار به‌دست‌آمده برای پروتکل AODV توسط الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات برابر با ۰/۴۹۶- و برای الگوریتم ژنتیک برابر با ۰/۴۸۰- است. از آنجایی که هدف این تحقیق کمینه کردن تابع برازندگی است، با توجه به مقدار تابع برازندگی و همچنین توضیحاتی که در بخش ۳.۶ داده شد، الگوریتم ملخ برای پیدا کردن مقدار بهینه برای پارامترهای پروتکل AODV عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک از خود نشان داده و پس از آن نیز الگوریتم ازدحام ذرات نسبت به الگوریتم ژنتیک در پیدا کردن جواب بهینه، بهتر عمل کرده است.

جدول (۵): نتایج تابع هزینه (fitness)

	الگوریتم‌های بهینه‌سازی		
	ژنتیک (GA)	ازدحام ذرات (PSO)	ملخ (GOA)
مقدار برازندگی	-۰/۴۸۰	-۰/۴۹۶	-۰/۴۹۶

۷. نتیجه‌گیری

۱.۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

شبکه‌های بین خودرویی زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های سیار موردی هستند که در آن خودروها به‌عنوان گره‌های شبکه محسوب می‌شوند. این شبکه‌ها برای برقراری ارتباط بین خودروها و کنترل ترافیک در جاده‌ها ایجاد شده‌اند. شبکه‌های بین خودرویی دارای ویژگی‌های مشابهی با شبکه‌های سیار موردی است و تفاوت اصلی آن با شبکه‌های سیار موردی در این تحرک سریع گره‌هاست که باعث تغییر سریع توپولوژی در این شبکه می‌شود. از مهم‌ترین ویژگی‌های شبکه‌های بین خودرویی این است که وسایل نقلیه با سرعت بالا در حال حرکت هستند و توپولوژی شبکه مدام در حال تغییر است که این باعث می‌شود که گره‌ها دائم اطلاعات مسیریابی خود را به‌روز کنند. تغییرات سریع توپولوژی در این شبکه، چالشی بزرگ در مسیریابی محسوب می‌شود؛ بنابراین مسیریابی برای انتقال داده در این شبکه‌ها یک مسئله بسیار مهم و ضروری است. از جمله پروتکل‌های مسیریابی شناخته‌شده در شبکه‌های بین خودرویی، پروتکل مسیریابی AODV است. یکی از راه‌ها برای بهبود

مسیریابی در شبکه VANETs وجود دارد. روش ارائه شده در این تحقیق می‌تواند برای هر یک از این پروتکل‌ها استفاده شده و نتایج حاصل از آن روی بهبود عملکرد پروتکل و در نهایت بهبود مسیریابی در شبکه VANETs بررسی شود. همچنین می‌توان برای به دست آوردن مقادیر کارآمد برای پارامترهای پروتکل مسیریابی به کاررفته در شبکه، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی دیگری استفاده کرد و نتایج آن را با نتایج به دست آمده در این تحقیق مقایسه کرد. برای دستیابی به نتایج کامل‌تری در این تحقیق می‌توان یک شبکه VANETs با وسعت بیشتری را شبیه‌سازی کرده و محدوده مساحتی را که برای شبکه در نظر گرفته می‌شود افزایش داد، سپس تأثیر تغییر این پارامتر شبیه‌سازی را بر مقدار پارامترهای ارزیابی شبکه مورد بررسی قرار داد. به علاوه استراتژی به کاررفته در این تحقیق می‌تواند روی تعداد گره‌های بیشتری اعمال شود و با افزایش تعداد خودروها در شبکه، تأثیر تعداد گره‌ها بر عملکرد مسیریابی در شبکه VANETs مورد ارزیابی قرار گیرد.

الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری داشته است. اما در مجموع با توجه به مقدار تابع برازندگی که برای الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات ۰/۴۹۶- و برای الگوریتم ژنتیک ۰/۴۸۰- به دست آمده و با توجه به اینکه هدف ما در این تحقیق کمینه کردن تابع برازندگی است، الگوریتم ملخ و ازدحام ذرات عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک داشته‌اند. از طرف دیگر، طی روند شبیه‌سازی نتایج نشان داد که الگوریتم ملخ با تعداد تکرار کمتری نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات مقدار بهینه برای بهبود عملکرد پروتکل AODV را پیدا می‌کند. در نتیجه، نتایج به دست آمده از این شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم ملخ در پیدا کردن بهترین مقدار برای پارامترهایی که عملکرد پروتکل AODV را کنترل می‌کند، بهتر از الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک عمل کرده و پس از آن نیز عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات بهتر از الگوریتم ژنتیک بوده است.

۲.۷. پیشنهادها

متدولوژی ارائه شده در این تحقیق می‌تواند مستقیماً برای هر پروتکل دیگری به کار گرفته شود. پروتکل‌های زیادی برای

مراجع

- [1] Sebastian, A., Tang, M., Feng, Y. and Looi, M., "A multicast routing scheme for efficient safety message dissemination in VANET", in 2010 IEEE Wireless Communication and Networking Conference, IEEE, pp. 1-6, 2010.
- [2] Biswas, S., Tatchikou, R. and Dion, F., "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety", IEEE communications magazine, Vol. 44, No. 1, pp. 74-82, 2006.
- [3] Sun, Y., Lin, X., Lu, R., Shen, X. and Su, J., "Roadside units deployment for efficient short-time certificate updating in VANETs", in 2010 IEEE International Conference on Communications, IEEE, pp. 1-5, 2010.
- [4] Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H. and Zedan, H., "A comprehensive survey on vehicular ad hoc network", Journal of network and computer applications, Vol. 37, pp. 380-392, 2014.
- [5] Farazkish, R., Sayedsalehi, S. and Navi, K., "Novel design for quantum dots cellular automata to obtain fault-tolerant majority gate", Journal of Nanotechnology, 2012.
- [6] Farazkish, R., "A new quantum-dot cellular automata fault-tolerant five-input majority gate", Journal of nanoparticle research, Vol. 16, No. 2, pp. 22-59, 2014.
- [7] Farazkish, R. and Khodaparast, F., "Design and characterization of a new fault-tolerant full-adder for quantum-dot cellular automata", Microprocessors and Microsystems, Vol. 39, No. 6, pp. 426-433, 2015.
- [8] Farazkish, R., "A new quantum-dot cellular automata fault-tolerant full-adder", Journal of Computational Electronics, Vol. 14, No. 2, pp. 506-514, 2015.
- [9] Farazkish, R., "Novel efficient fault-tolerant full-adder for quantum-dot cellular automata", International Journal of Nano Dimension, Vol. 9, No. 1, pp. 58-67, 2018.
- [10] Farazkish, R., "Fault-tolerant adder design in quantum-dot cellular automata", International Journal of Nano Dimension, Vol. 8, No. 1, pp. 40-48, 2017.
- [11] Farazkish, R., "Robust and reliable design of bio-nanorobotic systems", Microsystem Technologies, Vol. 25, No. 4, pp. 1519-1524, 2019.
- [12] Farazkish, R. and Navi, K., "New efficient five-input majority gate for quantum-dot cellular automata", Journal of Nanoparticle Research,

- Vol. 14, No. 11, pp. 12-52, 2012.
- [13] Oranj, A., Alguliev, R., Yusifov, F. and Jamali, S., "Routing algorithm for vehicular ad hoc network based on dynamic ant colony optimization", *Int. J. Electron. Elect. Eng.*, Vol. 4, No. 1, pp. 79-83, 2016.
- [14] Qureshi, K. N., Abdullah, A. H., Anwar, R. W., Anwar, M. and Awan, K. M., "Aegrp: An enhanced geographical routing protocol for VANET", *Jurnal Teknologi*, Vol. 78, No. 4, 2016.
- [15] Qureshi, K. N., Abdullah, A. H. and Altameem, A., "Road aware geographical routing protocol coupled with distance, direction and traffic density metrics for urban vehicular ad hoc networks", *Wireless Personal Communications*, Vol. 92, No. 3, pp. 1251-1270, 2017.
- [16] Pathak, P. H. and Patel, Y., "Survey: Position based routing protocol for city environment in VANETs", *Development*, Vol. 2, No. 2, 2015.
- [17] Dua, A., Kumar, N. and Bawa, S., "A systematic review on routing protocols for vehicular ad hoc networks", *Vehicular Communications*, Vol. 1, No. 1, pp. 33-52, 2014.
- [18] Alowish, M., Takano, Y., Shiraishi, Y., and Morii, M., "Performance evaluation of a cluster based routing protocol for VANETs", *Journal of communications*, Vol. 12, No. 2, pp. 137-144, 2017.
- [19] Gupta, D. and Kumar, R., "An improved genetic based routing protocol for VANETs", in 2014 5th International Conference-Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence), IEEE, pp. 347-353, 2014.
- [20] Raghay, S., El Hadaj, S. and Noel, T., "A genetic algorithm for management data stream in VANET", *International Journal of Information Technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 315-318, 2011.
- [21] Lobo, L. and Chavan, S. B., "Use of genetic algorithm in network security", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 975, pp. 87-88, 2012.
- [22] Wille, E. C., Del Monego, H. I., Coutinho, B. V. and Basilio, G. G., "Routing protocols for VANETs: An approach based on genetic algorithms", *KSI Transactions on Internet & Information Systems*, Vol. 10, No. 2, 2016.
- [23] Bitam, S. and Mellouk, A., "Bio-inspired routing protocols for vehicular ad-hoc networks", Wiley Online Library, 2014.
- [24] Saremi, S., Mirjalili, S. and Lewis, A., "Grasshopper optimisation algorithm: theory and application", *Advances in Engineering Software*, Vol. 105, pp. 30-47, 2017.
- [25] Ding, B., Chen, Z., Wang, Y. and Yu, H., "An improved AODV routing protocol for VANETs", in 2011 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), IEEE, pp. 1-5, 2011.
- [26] Mittal, S., Kaur, R. and Purohit, K. C., "Enhancing the data transfer rate by creating alternative path for AODV routing protocol in VANET", in 2016 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA), IEEE, pp. 1-5, 2016.
- [27] Toutouh, J., Nesmachnow, S. and Alba, E., "Fast energy-aware OLSR routing in VANETs by means of a parallel eVolutionary algorithm", *Cluster computing*, Vol. 16, No. 3, pp. 435-450, 2013.
- [28] Toutouh, J. and Alba, E., "Parallel swarm intelligence for VANETs optimization", in 2012 Seventh International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, IEEE, pp. 285-290, 2012.
- [29] Sun, Y., Luo, S., Dai, Q. and Ji, Y., "An adaptive routing protocol based on QoS and vehicular density in urban VANETs", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 11, No. 6, 2015.
- [30] Correia, S. L. O., Celestino, J. and Cherkaoui, O., "Mobility-aware ant colony optimization routing for vehicular ad hoc networks", in 2011 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, IEEE, pp. 1125-1130, 2011.
- [31] Toutouh, J., Garcia-Nieto, J. and Alba, E., "Intelligent OLSR routing protocol optimization for VANETs", *IEEE transactions on vehicular technology*, Vol. 61, No. 4, pp. 1884-1894, 2012.
- [32] Zhang, W., Festag, A., Baldessari, R. and Le, L., "Congestion control for safety messages in VANETs: Concepts and framework", in 2008 8th International Conference on ITS Telecommunications, IEEE, pp. 199-203, 2008.
- [33] Consortium, C. V. S. C., "Vehicle safety communications project: Task 3 final report: identify intelligent vehicle safety applications enabled by DSRC", National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation, Washington DC, 2005.