ارائه روشی مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی و الگوریتم جستجوی گرانشی برای بهبود الگوریتم زنبورعسل در شبکه‌های ویژه خودرویی

حمیده فاطمی دخت[۱]، دانشجوی دکتری؛ مرجان کوچکی رفسنجانی[۲]، دانشیار

۱- بخش ریاضی کاربردی- دانشکده ریاضی و کامپیوتر- دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان- ایران— h.fatemidokht@math.uk.ac.ir
۲- بخش علوم کامپیوتر- دانشکده ریاضی و کامپیوتر- دانشگاه شهید باهنر کرمان- کرمان- ایران— kuchaki@uk.ac.ir

چکیده: در این مقاله، با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، الگوریتمی برای انتخاب سرخوشه و بهبود الگوریتم زنبورعسل به‌منظور مسیریابی در شبکه‌های ویژه خودرویی ارائه شده است. با توجه به اینکه تغییر سریع توپولوژی و ازدحام در شبکه‌های ویژه خودرویی باعث شکست اتصال‌ها می‌شوند، پروتکل پیشنهادی با بررسی میزان پایداری و ازدحام اتصال‌ها، میزان اعتبار هر گره و اتصال را محاسبه می‌کند. با توجه به اهمیت به دست آوردن توابع عضویت بهینه در سیستم استنتاج فازی، از الگوریتم جستجوی گرانشی برای تعدیل توابع عضویت استفاده می‌شود. در انتها، پروتکل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده و با روش‌های مسیریابی دیگر مانند AODV، VANET QoS-OLSR و الگوریتم زنبورعسل مقایسه می‌شود که نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد این الگوریتم نرخ تحویل بسته بیشتر و تأخیر انتها به انتهای کمتری دارد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های ویژه خودرویی، هوش جمعی، خوشه‌بندی، مسیریابی، نظریه مجموعه‌های فازی، الگوریتم جستجوی گرانشی، اعتبار.

Improvement of the Bee algorithm based on fuzzy set theory and gravitational search algorithm in VANETs

H. Fatemidokht[1], PhD. student; M. Kuchaki Rafsanjani[2], Associate Professor

1- Department of Applied Mathematics, Faculty of Mathematics and Computer, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, Email: h.fatemidokht@math.uk.ac.ir
2- Department of Computer Science, Faculty of Mathematics and Computer, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, Email: kuchaki@uk.ac.ir

Abstract: In this paper, a new protocol to select cluster-heads and improve the Bee algorithm in order to routing in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs), which utilizes fuzzy set theory, is proposed. As regards the rapid topology change and congestion in VANETs lead to links failure, the proposed protocol calculates the validity value of each node and link based on the connectivity and the congestion level of the links of the route. Despite the importance of achieving optimal membership function in fuzzy inference system, Gravitational Search Algorithm (GSA) is employed to tune the fuzzy membership functions (MFs). Finally, the proposed protocol is simulated by MATLAB and compared with other routing protocols such as AODV, VANET QoS-OLSR and Bee algorithm that experimental results show that this algorithm achieves high data packet delivery ratio and low end to end delay.

Keywords: Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs), Swarm Intelligence, Clustering, Routing, Fuzzy set theory, Gravitational Search Algorithm (GSA), Validity.

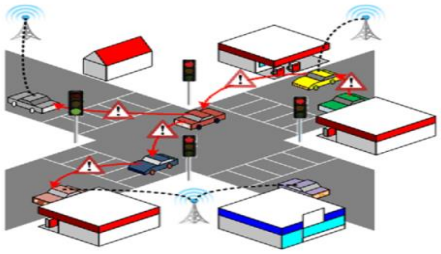
تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲
تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱
نام نویسنده مسئول: مرجان کوچکی رفسنجانی
نشانی نویسنده مسئول: ایران - کرمان- بزرگراه امام- میدان افضلی پور- دانشگاه شهید باهنرکرمان - دانشکده ریاضی و کامپیوتر- بخش علوم کامپیوتر

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی بی‌سیم، شبکه‌های ارتباطی نوینی مانند شبکه‌های ویژه ارائه شده‌اند. این شبکه‌ها کاربردهای مهمی در حوزه‌های نظامی، صنعتی و اجتماعی دارند. همچنین استفاده از فناوری شبکه‌های بی‌سیم در به‌کارگیری و بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند به‌طور گسترده‌ای افزایش یافته[۱] است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای شبکه‌های ویژه، شبکه‌های ویژه خودروی (VANET) هستند، که یکی از بخش[۲]های کلیدی سیستم‌های حمل و نقل هوشمند محسوب می‌شوند. در این شبکه‌ها، وسایل نقلیه می‌توانند با وسایل نقلیه مجاور و همچنین با تجهیزات ثابتی که معمولاً کنار جاده‌ها نصب می‌شوند، ارتباط برقرار کنند [۱، ۲]. شبکه‌های ویژه خودرویی در بسیاری از موارد مانند دامنه کوتاه انتقال امواج رادیویی، پهنای باند کوتاه و انتشار امواج در جهت مناسب شبیه شبکه‌های ویژه سیار هستند. اما در جزئیات با این نوع شبکه‌ها تفاوت‌هایی دارند، از جمله اینکه حرکت در شبکه‌های VANET به دلیل حرکت خودروها در مسیرهای مشخص در طول جاده‌ها و خیابان‌ها، ساختاریافته است. همچنین تغییر توپولوژی در این شبکه‌ها بسیار سریع است [۳].

افزایش وسایل نقلیه در شهرها و جاده‌ها باعث اتلاف زمان و انرژی و همچنین خسارت‌های جانی و مالی بسیاری شده است. همچنین ازدحام ترافیک باعث خستگی راننده‌ها و تحمیل هزینه‌های بسیار زیادی می‌شود. هدف اصلی در شبکه‌های VANET ایجاد راحتی و امنیت بیشتر برای مسافران است. به همین دلیل هر وسیله نقلیه مجهز به یک وسیله الکترونیکی است که اتصال به شبکه ویژه را برای مسافران فراهم می‌کند. به‌این‌ترتیب هر وسیله نقلیه به‌عنوان یک گره در شبکه ویژه عمل کرده و با گره‌های موجود در محدوده رادیویی خود به‌طور مستقیم ارتباط برقرار می‌کند. ارسال و دریافت پیام‌ها توسط وسایل نقلیه بیشتر برای اهداف امنیتی و کنترل ترافیک از جمله هشدار تصادف، اعلان علائم جاده‌ای، مشاهده ترافیک، تفریحات و سرگرمی و غیره، به کار می‌روند. درواقع، انواع داده در بحث انتشار اطلاعات در شبکه‌های ویژه خودرویی عبارتند از: داده‌های ایمنی که مربوط به حفظ جان سرنشینان خودروها هستند و داده‌های غیر ایمنی که مربوط به طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند اخبار مربوط به آب و هوا، اطلاعات عمومی و یا حتی اطلاعات محرمانه بین دو خودرو می‌باشند. ارتباطات در شبکه‌های VANET براساس استاندارد DSRC بوده و شامل دو نوع خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت است [۱، ۳، ۴، ۵، ۶]. در شکل ۱ یک شبکه ویژه خودرویی نشان داده شده است.

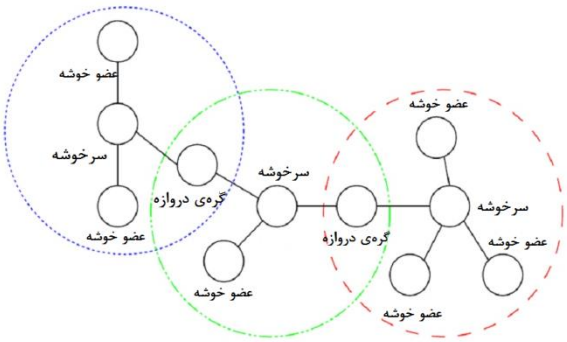
توپولوژی پویا و متراکم شبکه‌های ویژه خودرویی، که از تحرک زیاد و تراکم بالای گره‌ها حاصل می‌شود، چالش‌های بسیاری را برای برقراری ارتباط و مسیریابی ایجاد کرده است. مسیریابی فرآیندی است که با انتخاب مسیرها در شبکه، ترافیک شبکه را هدایت کرده و پیام‌ها را از گره مبدأ به گره مقصد حرکت می‌دهد.



شکل۱: شبکه ویژه خودرویی [۷]

هدف اصلی پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های VANET پیدا کردن مسیری است که در کمترین زمان انجام شود درحالی‌که از حداقل منابع شبکه استفاده می‌کند. به دلیل ویژگی‌های شبکه‌های ویژه خودرویی مانند حرکت سریع وسایل نقلیه و انتقال اطلاعات فعال، نگهداری و حفظ پایداری شبکه و طراحی یک پروتکل مسیریابی کارا که هم کیفیت خدمات و هم امنیت را فراهم کند، یکی از موضوعات تحقیقاتی مهم است. پروتکل‌های مسیریابی متعددی برای این شبکه‌ها طراحی‌شده است. این پروتکل‌ها را می‌توان به شش دسته پروتکل‌های مبتنی بر توپولوژی، مبتنی بر موقعیت، مبتنی بر خوشه‌بندی، مبتنی بر جغرافیا، مبتنی بر چندبخشی و مبتنی بر پخش فراگیر، تقسیم‌بندی کرد [۳]. الگوریتم‌های خوشه‌بندی و هوش جمعی که رفتار حیوانات مختلف در طبیعت مانند مورچه، زنبورعسل، ماهی‌ها و پرندگان را شبیه‌سازی می‌کنند، برای بهبود پروتکل‌های مسیریابی در VANET پا به عرصه ظهور گذاشته‌اند. خوشه‌بندی مکانیزم گروه‌بندی وسایل نقلیه براساس معیارهای از قبل تعیین شده مانند چگالی، سرعت و موقعیت جغرافیایی است. به دلیل ویژگی‌های شبکه‌های ویژه خودرویی مانند سرعت بالا و چگالی متغیر گره‌ها، الگوریتم‌های خوشه‌بندی برای حل مسائل مسیریابی مناسب هستند. به‌طورکلی گره‌ها در خوشه به سه نوع مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند: سرخوشه، اعضای خوشه و گره‌های دروازه. سرخوشه گره‌ایی است که مسئول ایجاد و سازمان‌دهی خوشه است. همچنین، مسیریابی و ارتباطات داخل خوشه توسط این گره انجام می‌شوند و اعضای خوشه، گره‌های نرمالی هستند که متعلق به یک خوشه می‌باشند. گره دروازه یک گره غیر سرخوشه است که متعلق به بیش از یک خوشه بوده و نقش پل ارتباطی بین خوشه‌ها را ایفا می‌کند [۸]. در شکل ۲ اجزای تشکیل دهنده یک خوشه نشان داده شده است.

شبکه‌های ویژه خودرویی یک تکنولوژی جدید هستند که پتانسیل شبکه‌های بی‌سیم نسل جدید را در وسایل نقلیه ادغام می‌کنند. با توجه به ویژگی‌های این شبکه‌ها، طراحی یک پروتکل مسیریابی کارا یکی از چالش‌های بزرگ در شبکه‌های ویژه خودرویی است. در سال‌های اخیر روش‌هایی برای بهبود امنیت مسیریابی در شبکه‌های ویژه خودرویی ارائه شده است. از جمله این روش‌ها استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی، خوشه‌بندی و منطق فازی است.



شکل۲: اجزای تشکیل دهنده یک خوشه

بیتام و همکارانش [۹] یک پروتکل مسیریابی ترکیبی را که از ویژگی‌های مسیریابی مبتنی بر توپولوژی و مسیریابی مبتنی بر موقعیت استفاده می‌کند، معرفی کردند. برای مشخص کردن نوع مسیریابی، از چگالی شبکه استفاده می‌شود. زمانی که چگالی شبکه زیاد است مانند مناطق شهری، از مسیریابی مبتنی بر توپولوژی استفاده می‌شود و زمانی که چگالی شبکه کم باشد مانند بزرگراه‌ها، مسیریابی مبتنی بر موقعیت استفاده خواهد شد. مسیریابی مبتنی بر توپولوژی یک مسیریابی واکنشی است و در این پروتکل از رفتار زنبورعسل در طبیعت برای بهبود کیفیت خدمات استفاده می‌شود. زمانی که از مسیریابی مبتنی بر موقعیت استفاده می‌شود، این پروتکل برای پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر بهینه بین مبدأ و مقصد از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌کند. این پروتکل معیارهایی مانند تأخیر و نرخ تحویل بسته را بهبود می‌دهد.

جبارپور و همکارانش [۱۰] سیستم اجتناب از ازدحام خودرو براساس مورچه (AVCAS) را برای حل مسئله تراکم (ازدحام) ترافیک معرفی کرده‌اند. ازدحام و ترافیک خودروها باعث مسائلی مانند آلودگی هوا، عصبانیت راننده‌ها و افزایش هزینه و مصرف سوخت می‌شود. AVCAS یک الگوریتم هوش جمعی است که از رفتار مورچه‌ها در طبیعت برای حل مسئله ازدحام ترافیک، استفاده می‌کند. الگوریتم معرفی شده با استفاده از الگوریتم مورچگان وسایل نقلیه را به کوتاه‌ترین مسیری که حداقل ترافیک را داشته باشد، هدایت می‌کند. در این الگوریتم شبکه به‌صورت یک گراف و وسایل نقلیه به‌عنوان مورچه‌ها، درنظر گرفته می‌شوند. در مرحله کشف مسیر مقدار فرومون براساس زمان سفر، چگالی و طول هر اتصال، بروز می‌شود.

بیتام و همکارش [۱۱] یک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبورعسل برای حل مسئله کیفیت خدمات مسیریابی، ارائه داده‌اند. هدف این الگوریتم پیدا کردن مسیر بهینه از مبدأ تا مقصد است. در این روش شبکه به‌صورت یک گراف وزن‌دار درنظر گرفته شده و وزن هر اتصال براساس معیارهای کیفیت خدمات مانند هزینه، تأخیر و پهنای باند محاسبه می‌شود. سپس از الگوریتم زنبورعسل برای پیدا کردن مسیر بهینه، استفاده می‌شود. ابتدا جمعیت اولیه زنبورعسل به‌صورت تصادفی انتخاب شده و مقدار شایستگی آن محاسبه می‌شود. هر چرخه زندگی جمعیت زنبورعسل شامل دو مرحله تولید مثل و جستجوی غذا است. در مرحله تولید مثل، جمعیت جدید براساس تلفیق و جهش ایجاد می‌شود. شایستگی جمعیت ایجاد شده در مرحله جستجوی غذا ارزیابی می‌شود. به‌این‌ترتیب راه‌حل بهینه انتخاب خواهد شد.

دانگ و همکارانش [۱۲] الگوریتمی برای بهبود امنیت پروتکل مسیریابیAODV۵ پیشنهاد کرده‌اند. آن‌ها ابتدا پارامترهای الگوریتم مورچگان را برای بهبود کارایی قوانین احتمال انتخاب مسیر، تغییر داده و سپس از این الگوریتم مورچگان بهینه شده برای افزایش امنیت AODV استفاده کرده‌اند. در این الگوریتم ابتدا مقادیر اولیه فرومون، سرعت و جهت حرکت وسایل نقلیه مشخص می‌شود. سپس هر گره با بروز کردن مقدار فرومون، مسیر بهینه را انتخاب می‌کند.

عبدالوهاب و همکارانش [۱۳] با استفاده از روش‌های خوشه‌بندی۶ و الگوریتم مورچگان، یک پروتکل مسیریابی به نام VANET QoS-OLSR برای شبکه‌های ویژه خودرویی طراحی کردند. هدف این پروتکل ایجاد تعادل بین درخواست‌های کیفیت خدمات و محدودیت مربوط به حرکت سریع گره‌ها و همچنین نگهداری ثبات و پایداری شبکه در طول ارتباطات است. در این الگوریتم مقدار محلی کیفیت خدمات هر گره براساس معیارهایی مانند پهنای باند، اتصال، سرعت و فاصله بین وسایل نقلیه محاسبه شده و گره‌ایی که دارای بیشترین مقدار باشد به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. سپس سرخوشه مجموعه‌ایی از گره‌ها به نام بازپخش چند نقطه۷را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان، انتخاب می‌کند. این گره‌ها مسئول کاهش سربار ناشی از جریان پیام‌ها هستند که این کار را با حداقل کردن انتقال‌های تکراری در یک ناحیه، انجام می‌دهند. به‌منظور جلوگیری از جعل پیام‌ها از رمزنگاری استفاده می‌شود. پروتکل پیشنهادی تأخیر، نرخ تحویل بسته و سربار ارتباطی را بهبود می‌دهد.

با توجه به اینکه هر گره در شبکه‌های ویژه خودرویی می‌تواند یک کندوی زنبورعسل در نظر گرفته شود، الگوریتم زنبورعسل الگوریتمی مناسب برای مسیریابی در این شبکه‌ها است. در شبکه‌های VANET به دلیل حرکت سریع وسایل نقلیه، شکست اتصال یک رویداد بسیار متداول است. همچنین افزایش استفاده از وسایل نقلیه باعث افزایش ازدحام می‌شود. در این مقاله، با استفاده از روش‌هایی مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی، الگوریتمی برای انتخاب سرخوشه و بهبود الگوریتم زنبورعسل برای برقراری ارتباط بین وسایل نقلیه در مناطق شهری ارائه شده است. در این الگوریتم میزان پایداری و ازدحام اتصال‌ها بررسی شده و با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی میزان اعتبار هر گره و اتصال محاسبه می‌شود. یکی از چالش‌های مهم در سیستم استنتاج فازی به دست آوردن توابع عضویت بهینه است. در الگوریتم ارائه شده توابع عضویت فازی بهینه با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی به دست می‌آیند.

بخش‌های اصلی مقاله به شرح زیر است. بخش ۲ شامل پیش‌نیازهای تحقیق شامل الگوریتم زنبورعسل، نظریه مجموعه‌های

فازی و الگوریتم جستجوی گرانشی، است. در بخش ۳ پروتکل پیشنهادی ارائه می‌شود به‌طوری‌که محاسبه مقدار اعتبار هر اتصال با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، بهینه‌سازی توابع عضویت و استراتژی مسیریابی بیان می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی در بخش ۴ آورده شده است و بخش ۵ شامل نتیجه‌گیری است.

۲- پیش‌نیازهای تحقیق

در این بخش ابتدا به معرفی الگوریتم زنبور عسل پرداخته می‌شود؛ این الگوریتم از اصول جستجوی زنبور عسل در طبیعت، الهام گرفته است. سپس، با توجه به اینکه از نظریه مجموعه‌های فازی برای محاسبه مقدار اعتبار هر اتصال استفاده شده است، مروری بر مفاهیم این نظریه انجام داده و در انتهای این بخش الگوریتم جستجوی گرانشی برای بهینه‌سازی پارامترهای فازی، توضیح داده خواهد شد.

۲-۱- معرفی الگوریتم زنبور عسل

زنبورهای عسل حشرات اجتماعی هستند که به‌صورت گروهی زندگی می‌کنند و مهارت ایجاد تصمیم‌های گروهی را دارند. گروه زنبورعسل یکی از گروه‌های بسیار جالب در طبیعت است. در هر گروه وظایفی مانند رسیدگی به نوزادان، ذخیره‌سازی، بازیابی و توزیع عسل و گرده، ارتباط و جستجو انجام می‌شود. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده رفتار هوشمند زنبورها است. اجتماع زنبورها به‌طورکلی شامل یک ملکه، هزاران زنبورعسل نر، چندین هزار زنبور ماده عقیم به نام کارگر و چندین زنبور جوان است [۱۴].

الگوریتم زنبورعسل از رفتار زنبورعسل برای جستجوی غذا، پیروی می‌کند. در طبیعت وقتی زنبورهای عسل در جستجوی غذا هستند، زنبور ملکه مجموعه‌ای از زنبورها را به نام مأمور اکتشاف (دیده‌بان) برای جستجوی غذا انتخاب می‌کند. زنبورهای دیده‌بان مناطق همسایه را که تحت نفوذشان است برای منبع مناسب غذا جستجو می‌کنند. جهت حرکت زنبورها کاملاً تصادفی است و اطلاعات را برای یک مسیر غذا جمع‌آوری می‌کنند. بعد از کامل شدن جستجوشان، زنبورهای دیده‌بان به کندو برمی‌گردند و با انجام رقصی خاص اطلاعات جمع‌آوری کرده را گزارش می‌دهند. با این رقص درصد تراکم غذا روی منطقه و جهت ناحیه جستجو، نشان داده می‌شود. بنابراین مناسب‌ترین زنبور دیده‌بان، که بهترین ناحیه منبع غذا را پیدا کرده است، انتخاب می‌شود. گام بعدی در جستجوی غذا فرستادن زنبورهای پیرو در بهترین موقعیت منابع غذا، برای انتقال غذا، است. در نتیجه مراحل جستجوی غذا توسط زنبور عسل در طبیعت را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد [۱۵]:

- تولید یک جمعیت زنبورهای دیده‌بان.
- فرستادن آن‌ها برای جستجوی ناحیه‌های مجاور.
- تکرار تا هیچ نتیجه‌ای پیدا نشود.
- محاسبه ناحیه جستجوی زنبور دیده‌بان.
- انتخاب بهترین محل‌های ممکن از مناطق جستجوی زنبور دیده‌بان.
- انتخاب زنبورهای دیده‌بان با بهترین کیفیت پیدا شده.
- دوباره اختصاص دادن زنبورهای باقی‌مانده برای جستجوهای بیشتر.

۲-۲- نظریه مجموعه‌های فازی

نظریه مجموعه‌های فازی و منطق فازی اولین بار توسط پرفسور لطفی عسگرزاده در مقاله‌ای به نام «مجموعه‌های فازی» در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. هدف اولیه او در آن زمان، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. او مفاهیم و اصلاحاتی همچون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود [۱۶، ۱۷].

بعضی از مفاهیم اصلی در منطق فازی عبارتند از: مجموعه فازی، توابع عضویت و قوانین اگر-آنگاه. فرض کنید U مجموعه مرجع باشد، زیرمجموعه‌ای مانند A از آن را فازی می‌نامیم هرگاه عضویت هر عنصر $u \in U$ در A را بتوان به‌صورتی در فاصله واحد [۰،۱] درجه‌بندی کرد. عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع $\mu(u)$ مشخص می‌شود که u نمایانگر یک عضو مشخص و μ تابعی فازی است. تابع عضویت یک مجموعه فازی تعمیم‌یافته تابع مشخصه در مجموعه‌های معمولی است. برای هر مجموعه U، تابع عضویت آن مجموعه تابعی است از U نسبت به بازه [۰،۱]. تابع عضویت مجموعه فازی A معمولاً به‌صورت μ_A نمایش داده می‌شود که برای هر عنصر $u \in U$، مقدار $\mu_A(u)$ درجه عضویت u در مجموعه فازی A است. تعدادی از توابع عضویت عبارتند از: توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای و گاوسی. قوانین اگر-آنگاه برای فرموله‌بندی دستورات شرطی منطق فازی استفاده می‌شوند [۱۷، ۱۸].

استنتاج فازی فرآیندی است که در آن به کمک یک مشاهده و با استفاده از مجموعه‌ای از قواعد فازی که بیان‌گر ارتباط بین متغیرهای سیستم هستند، می‌توان یک نتیجه بامعنی و محتملاً غیردقیق به دست آورد. دو نوع سیستم استنتاج فازی وجود دارد: ممدانی و سوگنو، که در تعیین خروجی باهم تفاوت دارند. فرآیند استنتاج فازی شامل ۴ مرحله اصلی است: فازی کردن ورودی‌ها، پایگاه قوانین ، به کار بردن روش استلزام و غیرفازی سازی. در مرحله فازی کردن ورودی‌ها، درجه عضویت هر یک از ورودی‌ها از طریق توابع عضویت مشخص می‌شود. بعد از فازی کردن ورودی‌ها، قوانین مورد استفاده برای تصمیم‌گیری، مشخص می‌شوند. بعد از مشخص شدن قوانین، روش استلزام به‌کاربرده می‌شود، که ورودی فرآیند استلزام عدد داده شده توسط مقدم و خروجی یک مجموعه فازی است. آخرین مرحله استنتاج فازی، غیرفازی سازی است، که ورودی فرآیند غیرفازی سازی یک مجموعه فازی و خروجی آن یک مقدار عددی است [۱۸]. در این مقاله از سیستم استنتاج ممدانی و توابع عضویت ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Trapezoid(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x > d \quad x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \le x < b \\ 1 & b \le x \le c \\ \frac{x-d}{c-d} & c \le x \le d \end{cases} \quad (۱)$$

که a، b، c و d اعداد حقیقی هستند.

۳-۲- الگوریتم جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی [۱۹] با الهام از قانون گرانش نیوتن نوشته شده است. در این الگوریتم، بهینه‌یابی با استفاده از طرح قوانین گرانشی در طبیعت و حرکت در یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته انجام می‌شود. در الگوریتم جستجوی گرانشی، عامل‌های جستجو کننده، مجموعه‌ای از اجرام می‌باشند. هر جرم چهار مشخصه دارد: موقعیت جرم، جرم گرانشی فعال، جرم گرانشی غیرفعال و جرم اینرسی. موقعیت جرم، نقطه‌ای در فضا است که جوابی از مسئله است و اطلاعات مربوط به برازندگی هر جرم، در قالب جرم‌های گرانشی و اینرسی ذخیره می‌شوند.

در این الگوریتم فضای سیستم به‌صورت یک دستگاه مختصات چندبعدی در فضای تعریف مسئله، مشخص می‌شود، که هر نقطه از فضا یک جواب مسئله است. قوانین حاکم بر سیستم قانون گرانش و قوانین حرکت هستند. این سیستم را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از N جرم تصور کرد که موقعیت بعد d از جرم i با x_i^d نشان داده می‌شود.

$$X_i = \left(x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n\right) \quad for\ i = 1,2, \dots, N \quad (۲)$$

در این سیستم، به جرم i از سوی جرم j در جهت بعد d در زمان t نیرویی به‌اندازه $F_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. مقدار این نیرو طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$F_{ij}^d(t) = G(t)\frac{M_{pi}(t).M_{aj}(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}\left(x_j^d(t) - x_i^d(t)\right) \quad (۳)$$

که $M_{aj}(t)$ و $M_{pi}(t)$ به ترتیب جرم گرانشی فعال جرم j و جرم گرانشی غیرفعال جرم i می‌باشند. $G(t)$ ثابت گرانش در زمان t و ε یک عدد ثابت کوچک است. R_{ij} فاصله بین دو جرم i و j است که طبق معادله (۴) با استفاده از فاصله اقلیدسی محاسبه می‌شود. $x_i^d(t)$ و $x_j^d(t)$ به ترتیب موقعیت بعد d از جرم i و جرم j در زمان t هستند.

$$R_{ij}(t) = \left\|X_i(t), X_j(t)\right\|_2 \quad (۴)$$

بنابراین، نیروی وارد بر جرم i در جهت d در زمان t برابر است با مجموع ضریب‌های تصادفی نیروهایی که توسط K جرم برتر بر جرم i وارد می‌شوند. این نیرو طبق معادله زیر به دست می‌آید. در این معادله، $rand_j$ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۰-۱] است. در الگوریتم‌های جمعیتی، ابتدا نیاز به جستجوی فراگیر فضا است و الگوریتم باید در تکرارهای اولیه به جستجوی هر چه بهتر فضا بپردازد. با توجه به اینکه با گذشت زمان توانایی کشف الگوریتم بیشتر می‌شود، الگوریتم به کمک یافته‌های جمعیت به سمت نقاط بهینه حرکت می‌کند. در الگوریتم جستجوی گرانشی، تنظیم مناسب کاوش و بهره‌وری، براساس تأثیر گذاری انتخابی اجرام است. به‌این‌ترتیب از مجموعه K جرم برتر جمعیت در معادله (۵) استفاده می‌شود.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in Kbest, j \neq i} rand_j\, F_{ij}^d(t) \quad (۵)$$

شتاب جرم i در جهت بعد d در زمان t، طبق قانون دوم نیوتن، متناسب است با نیروی وارد بر آن جرم در جهت d-ام، بخش بر جرم اینرسی آن‌که در معادله زیر بیان شده است:

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (۶)$$

که $M_{ii}(t)$ جرم اینرسی جسم i است.

سرعت بعدی هر جرم و موقعیت جدید بعد d از جرم i، به ترتیب طبق معادله‌های (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند.

$$v_i^d(t+1) = rand_i.\, v_i^d(t).\, a_i^d(t) \quad (۷)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (۸)$$

که $rand_i$ اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۰-۱] است که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو استفاده شده است.

ثابت گرانش، طبق معادله‌های زیر، از یک مقدار اولیه شروع می‌شود و با گذشت زمان مقدار آن کاهش پیدا می‌کند:

$$G(t) = G(G_0, t) \quad (۹)$$

$$G(t) = G_0 e^{-\alpha \frac{t}{T}} \quad (۱۰)$$

در معادله (۱۰)، G_0 ثابت گرانش اولیه، α یک ثابت مثبت و T کل تکرارهای الگوریتم است.

در الگوریتم جستجوی گرانشی، اجرام گرانشی و اینرسی برابر در نظر گرفته شده و برای تنظیم آن‌ها، از مقدار تابع هدف اجرام استفاده می‌شود،که در معادلات (۱۱) تا (۱۳) بیان شده است. با توجه به این معادله‌ها، به اجرام با شایستگی بهتر، جرم بیشتری نسبت داده می‌شود.

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \quad i = 1,2, \dots, N \quad (۱۱)$$

$$q_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (۱۲)$$

$$M_i(t) = \frac{q_i(t)}{\sum_{j=1}^{N} q_i(t)} \quad (۱۳)$$

که $fit_i(t)$ میزان برازندگی جرم i در زمان t است. $best(t)$ و $worst(t)$ به ترتیب بهترین و بدترین مقدار شایستگی هستند. برای محاسبه بهترین و بدترین مقدار شایستگی، در مسائل کمینه‌یابی می‌توان از معادله‌های (۱۴) و (۱۵) استفاده کرد، درحالی‌که در مسائل بیشینه‌یابی این مقادیر طبق معادله‌های (۱۶) و (۱۷) تعریف می‌شوند.

$$best(t) = \min_{j\in\{1,\dots,N\}} fit_j(t) \quad (۱۴)$$

$$worst(t) = \max_{j\in\{1,\dots,N\}} fit_j(t) \quad (۱۵)$$

$$best(t) = \max_{j\in\{1,\dots,N\}} fit_j(t) \quad (۱۶)$$

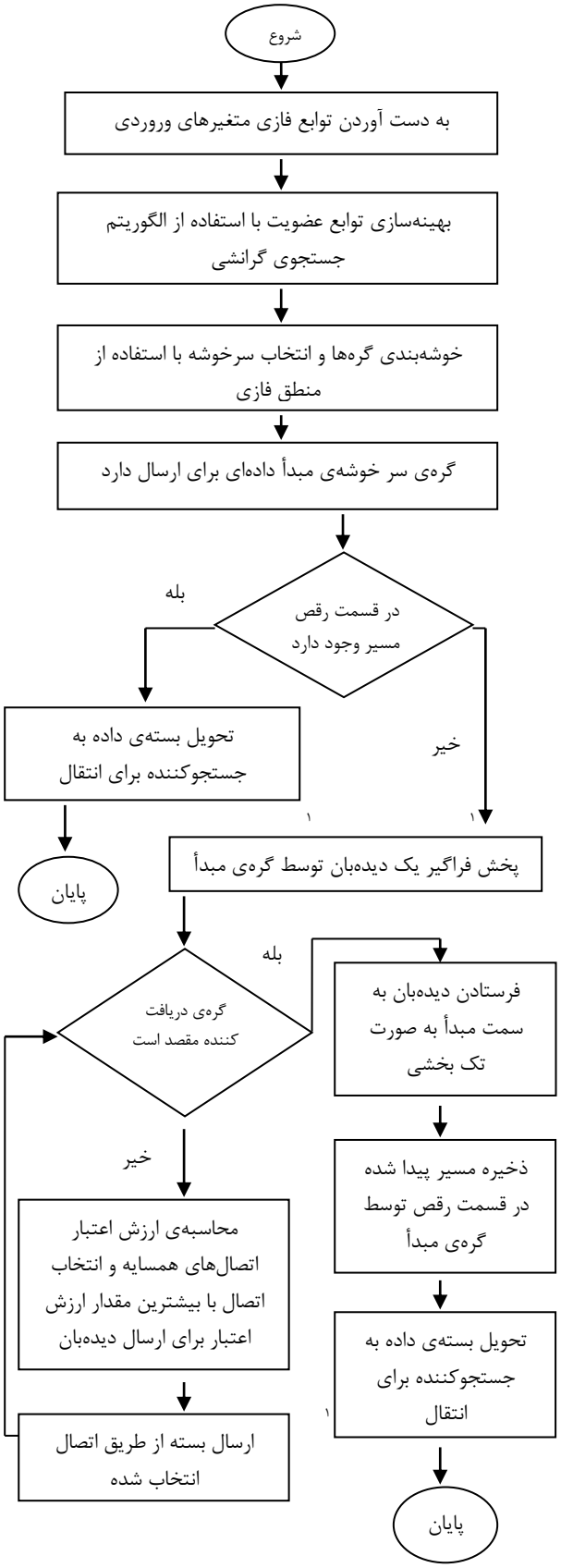
$$worst(t) = \min_{j\in\{1,\dots,N\}} fit_j(t) \quad (۱۷)$$

۳- معرفی پروتکل پیشنهادی: FB_VANET

در این بخش، پروتکل پیشنهادی که یک پروتکل مسیریابی الهام گرفته از رفتار زنبورعسل است، توضیح داده می‌شود. با الهام از رفتار ارتباطی زنبورهای عسل هنگام جستجوی غذا، محیط VANET می‌تواند به‌عنوان یک کندوی زنبورعسل در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه وسایل نقلیه روی جاده‌ها می‌توانند خوشه‌بندی شوند، مسیریابی براساس خوشه‌بندی برای شبکه‌های ویژه خودرویی مناسب است. در این پروتکل به‌منظور انتخاب گره مطلوب به‌عنوان سرخوشه، میزان اعتبار گره‌ها بررسی می‌شود. درواقع با استفاده از پهنای باند، قدرت سیگنال دریافتی و سطح ازدحام به‌عنوان ورودی‌های سیستم استنتاج فازی به هر گره و اتصال در شبکه یک ارزش اعتبار نسبت داده و گره‌ایی که بیشترین میزان اعتبار را دارد به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود. برای تنظیم و تعدیل توابع عضویت استفاده شده در سیستم استنتاج فازی، الگوریتم جستجوی گرانشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرتبه پیچیدگی پروتکل پیشنهادی $O(n^2)$ است. شکل ۳ فلوچارت مربوط به روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۳-۱- مدل پیشنهادی برای تعیین ارزش اعتبار

در این مدل، با استفاده از معیارهای مختلف تحت محیط فازی به هر اتصال یک ارزش اعتبار اختصاص داده می‌شود. معیارهای مورد استفاده عبارتند از: پهنای باند، قدرت سیگنال دریافتی و سطح ازدحام. پهنای باند برای ارزیابی سطح توانایی گره در ارائه خدمات برای انتقال بسته استفاده می‌شود، درحالی‌که قدرت سیگنال دریافتی و سطح ازدحام به ترتیب میزان پایداری و ازدحام اتصال را مشخص می‌کنند. در روش پیشنهادی، بعد از تعریف قوانین زبانی فازی، توابع عضویت مطابق با هر معیار در مجموعه زبانی تعریف می‌شوند. رتبه معیارها می‌تواند با جملات زبانی مانند خیلی کم(VL) ، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH) ارزیابی شود [۲۰، ۲۱]. همان‌طور که قبلاً گفته شد، مهم‌ترین بخش از سیستم استنتاج فازی مشخص کردن توابع عضویت فازی متغیرهای ورودی و قوانین فازی است.



شکل ۳: فلوچارت پروتکل پیشنهادی

در این مدل فازی، سه متغیر ورودی و یک متغیر خروجی وجود دارد که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۱-۳- پهنای باند

پهنای باند نرخ انتقال داده توسط یک اتصال شبکه است که با بیت در ثانیه (کیلوبیت در ثانیه و ...) اندازه‌گیری می‌شود [۲۲]. پهنای باند یکی از عناصر تأثیرگذار در سرعت یک شبکه است. زمانی که گره‌ایی پهنای باند لازم برای ارسال بسته‌ها را نداشته باشد، سطح توانایی آن برای ارائه خدمات انتقال داده کم می‌شود. بنابراین، میزان اعتبار این گره کاهش پیدا می‌کند. رابطه بین پهنای باند و ارزش اعتبار را می‌توان با قوانین زیر بیان کرد، که ارزش اعتبار با پهنای باند نسبت مستقیم دارد. این متغیر ورودی به ۵ مجموعه فازی تقسیم می‌شود، که در جدول ۱ نشان داده شده است.

قانون ۱: **اگر** پهنای‌باند خیلی زیاد باشد، **آنگاه** ارزش اعتبار خیلی زیاد است.

قانون ۲: **اگر** پهنای‌باند زیاد باشد، **آنگاه** ارزش اعتبار زیاد است.

قانون ۳: **اگر** پهنای‌باند متوسط باشد، **آنگاه** ارزش اعتبار متوسط است.

قانون ۴: **اگر** پهنای‌باند کم باشد، **آنگاه** ارزش اعتبار کم است.

قانون ۵: **اگر** پهنای‌باند خیلی کم باشد، **آنگاه** ارزش اعتبار خیلی کم است.

جدول۱: کلاس‌بندی پهنای باند

متغیر ورودی	محدوده	مجموعه فازی
پهنای باند	۰-۰/۲	خیلی کم
	۰/۰-۱/۴	کم
	۰/۰-۳/۷	متوسط
	۰/۰-۶/۹	زیاد
	۰/۱-۸	خیلی زیاد

۲-۱-۳- قدرت سیگنال دریافتی

به‌دلیل ویژگی‌های شبکه‌های ویژه خودرویی مانند سرعت زیاد گره‌ها و تغییر سریع توپولوژی، شکست اتصال در این شبکه‌ها یک رویداد بسیار متداول است. در روش پیشنهادی، برای پیش‌بینی شکست اتصال، میزان پایداری هر اتصال با استفاده از قدرت سیگنال دریافتی محاسبه می‌شود. در این روش، هر گره بسته INFO را در شبکه پخش فراگیر می‌کند. این بسته حاوی فیلدهای افزایش آنتن ، ازدحام، حداکثر قدرت انتقال و حداکثر سرعت مجاز است. زمانی‌که یک گره بسته INFO را دریافت می‌کند، اطلاعات مربوط به گره فرستنده را در جدول همسایگی خود ذخیره کرده و براساس این اطلاعات قدرت سیگنال دریافتی را به‌صورت زیر محاسبه می‌کند [۲۳].

$$RSSM_i = \begin{cases} 0 & if\ RSS_{ix} < Th_i \\ \left(1 - \frac{Th_i}{RSS_{ix}}\right) & if\ RSS_{ix} \geq Th_i \end{cases} \quad (۱۸)$$

که RSS_{ix} قدرت سیگنال دریافت شده از همسایه i-ام از فاصله x و Th_i حد آستانه قدرت سیگنال دریافت شده از همسایه i-ام است که به ترتیب با استفاده از معادله‌های (۱۹) و (۲۰) محاسبه می‌شوند [۲۳].

$$RSS_{ix} = \frac{G_r * G_t * S_t}{\left(4\pi * \frac{x}{\gamma}\right)^2} \quad (۱۹)$$

$$Th_i = \frac{G_r * G_t * S_t}{(4\pi * 0.9054R/\gamma)^2} \quad (۲۰)$$

که G_r، G_t و S_t به ترتیب افزایش آنتن دریافت‌کننده، افزایش آنتن فرستنده و حداکثر قدرت انتقال آنتن فرستنده می‌باشند. γ طول موج استفاده شده در شبکه VANET و R محدوده انتقال آنتن است. با توجه به اینکه پیکربندی شبکه به‌طور مکرر تغییر می‌کند، بسته INFO در فواصل معینی پخش فراگیر شده و مقدار قدرت سیگنال دریافتی به‌روز می‌شود. رابطه بین قدرت سیگنال دریافتی و ارزش اعتبار که یک رابطه مستقیم است را می‌توان با قوانین زیر بیان کرد. این متغیر ورودی نیز شامل ۵ مجموعه فازی است که در جدول ۲ مشخص شده‌اند.

قانون ۱: **اگر** قدرت سیگنال دریافتی خیلی زیاد باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار خیلی زیاد است.

قانون ۲: **اگر** قدرت سیگنال دریافتی زیاد باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار زیاد است.

قانون ۳: **اگر** قدرت سیگنال دریافتی متوسط باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار متوسط است.

قانون ۴: **اگر** قدرت سیگنال دریافتی کم باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار کم است.

قانون ۵: **اگر** قدرت سیگنال دریافتی خیلی کم باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار خیلی کم است.

جدول ۲: کلاس‌بندی قدرت سیگنال دریافتی

متغیر ورودی	محدوده	مجموعه فازی
قدرت سیگنال دریافتی	۰-۰/۱	خیلی کم
	۰/۰-۰۹/۲	کم
	۰/۰-۱۵/۵	متوسط
	۰/۰-۴/۷۵	زیاد
	۰/۱-۷	خیلی زیاد

۳-۱-۳-[۷]سطح ازدحام [۱]

هر گره، سطح ازدحام یک اتصال را براساس چگالی وسایل نقلیه و میانگین سرعت سفر پیش‌بینی‌شده آن اتصال محاسبه می‌کند. بنابراین مقدار معیار ازدحام یک اتصال با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود [۱۰]:

$$CM_{ij} = \left(1 - D_{ij}\right) + \left(\frac{PTS_{ij}}{\varphi}\right) \quad (۲۱)$$

که D_{ij} و PTS_{ij} به ترتیب چگالی وسایل نقلیه و سرعت سفر روی اتصال (i, j) می‌باشند. همچنین، φ ماکزیمم سرعت در مناطق شهری است. برای محاسبه چگالی وسایل نقلیه از معادله زیر استفاده می‌شود [۱۰]:

$$D_{ij} = \frac{NV_{ij}}{MAX_NV_{ij}} \quad (۲۲)$$

که NV_{ij} تعداد وسایل نقلیه بر روی اتصال (i, j) است و MAX_NV_{ij} ماکزیمم ظرفیت اتصال (i, j) است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MAX_NV_{ij} = \frac{R}{L_v + \Delta L} \quad (۲۳)$$

در این معادله، R نشان دهنده محدوده انتقال است و L_v و ΔL به ترتیب میانگین طول وسایل نقلیه و میانگین فاصله بین دو وسیله نقلیه پشت سر هم می‌باشند.

برای محاسبه سرعت سفر بر روی یک اتصال از تاریخچه سرعت سفر و سرعت سفر اخیر استفاده می‌شود که به ترتیب براساس معادله (۲۴) و (۲۵) محاسبه می‌شوند [۱۰]:

$$HTS_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{n-1} CTS_{ij}^{t}}{n-1} \quad (۲۴)$$

$$CTS_{ij} = LL_{ij} \times NV_{ij} \quad (۲۵)$$

که LL_{ij} و NV_{ij} به ترتیب طول اتصال (i, j) و تعداد وسایل نقلیه بر روی اتصال (i, j) هستند. در نتیجه سرعت سفر اتصال (i, j) برابر است با:

$$PTS_{ij} = \alpha * HTS_{ij} + \beta * CTS_{ij} \quad (۲۶)$$

که α و β به ترتیب فاکتورهای وزنی برای HTS و CTS هستند.

اگر سطح ازدحام یک اتصال زیاد باشد، ارزش اعتبار آن کاهش می‌یابد. بنابراین رابطه بین سطح ازدحام و ارزش اعتبار یک رابطه معکوس است که با استفاده از قوانین زیر بیان می‌شود. مانند دو متغیر ورودی قبلی، سطح ازدحام نیز طبق جدول ۳ به ۵ مجموعه فازی تقسیم می‌شود.

قانون ۱: **اگر** سطح ازدحام خیلی زیاد باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار خیلی کم است.

قانون ۲: **اگر** سطح ازدحام زیاد باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار کم است.

قانون ۳: **اگر** سطح ازدحام متوسط باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار متوسط است.

قانون ۴: **اگر** سطح ازدحام کم باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار زیاد است.

قانون ۵: **اگر** سطح ازدحام خیلی کم باشد، **آن‌گاه** ارزش اعتبار خیلی زیاد است.

جدول ۳: کلاس‌بندی ازدحام

متغیر ورودی	محدوده	مجموعه فازی
ازدحام	۰-۰/۱	خیلی کم
	۰/۰-۰۸/۲۵	کم
	۰/۰-۲۴/۵	متوسط
	۰/۰-۴۵/۷۵	زیاد
	۰/۱-۷	خیلی زیاد

۴-۱-۳- ارزش اعتبار

در این مدل، متغیر خروجی ارزش اعتبار اتصال است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$v(i,j) = wb * BW(i,j) + wr * RSSM(i,j) + wc * revCM(i,j) \quad (۲۷)$$
$$wb + wr + wc = 1$$

که $BW(i,j)$، $RSSM(i,j)$ و $revCM(i,j)$ به ترتیب مطابق تابع عضویت پهنای باند، قدرت سیگنال دریافتی و معکوس مقدار سطح ازدحام می‌باشند. همچنین، wb، wr و wc به ترتیب فاکتورهای وزنی برای آن‌ها هستند. در نهایت ارزش اعتبار اتصال، V، با استفاده از روش غیرفازی سازی میانگین محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه رابطه ارزش اعتبار با پهنای باند و قدرت سیگنال دریافتی، یک رابطه مستقیم و با سطح ازدحام یک رابطه معکوس است؛ در معادله (۲۷) از معکوس مقدار سطح ازدحام استفاده می‌شود، که به‌صورت زیر است:

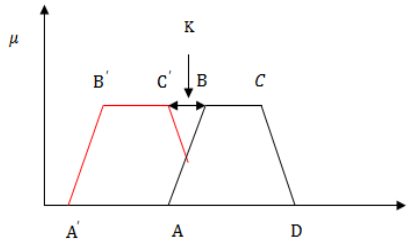
اگر $CM = (a, b, c, d)$، آنگاه $revCM = (1-d, 1-c, 1-b, 1-a)$

۲-۳- بهینه‌سازی توابع عضویت

طراحی یک سیستم استنتاج فازی مطلوب، وابسته به توابع عضویت و قوانین است. درواقع، نقطه شروع ساخت یک سیستم فازی به دست آوردن توابع عضویت و مجموعه‌ای از قوانین اگر-آنگاه با استفاده از دانش فرد خبره است. به دست آوردن توابع عضویت بهینه یکی از چالش‌های سیستم استنتاج فازی است. سیستم‌های فازی می‌توانند به‌عنوان یک مسئله فضای جستجو در نظرگرفته شوند، که هر نقطه در این فضا مطابق با یک مجموعه قوانین و توابع عضویت است [۲۴]. به همین دلیل می‌توان از الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم جستجوی گرانشی برای جستجو در این فضای جستجو استفاده کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه این الگوریتم‌ها در [۱۹]، الگوریتم جستجوی گرانشی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک و بهنه‌سازی ازدحام ذرات کارایی بالاتری در حل مسائل بهینه‌سازی دارد. از این‌رو، از الگوریتم جستجوی گرانشی برای بهینه‌سازی توابع عضویت استفاده شده است. با توجه به شکل ۴، هر تابع عضویت فازی ذوزنقه‌ایی با چهار پارامتر مشخص می‌شود. برای تعدیل توابع عضویت از معادله‌های زیر استفاده می‌شود:

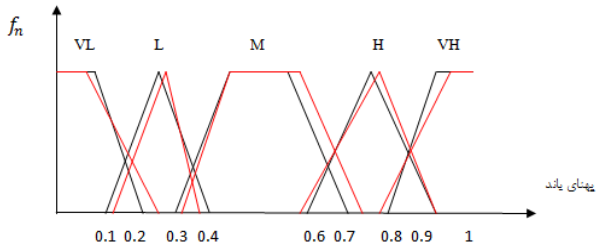
$$A' = (A + k_i) - w_i \quad (۲۸)$$
$$B' = (B + k_i) - w_i \quad (۲۹)$$
$$C' = (C + k_i) - w_i \quad (۳۰)$$
$$D' = (D + k_i) - w_i \quad (۳۱)$$

که k_i و w_i ضرایب تعدیل هستند. k_i میزان جابجایی تابع عضویت را مشخص می‌کند و w_i نشان دهنده میزان جمع شدن یا گسترده شدن تابع عضویت است. در روش پیشنهادی برای پیدا کردن مقادیر بهینه ضرایب تعدیل از الگوریتم جستجوی گرانشی استفاده می‌کنیم.

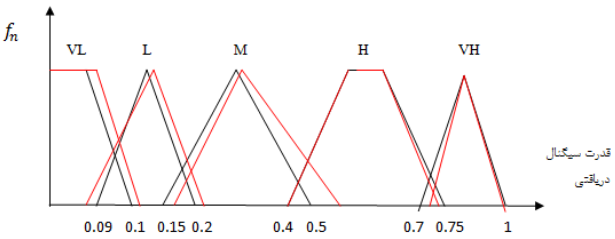


شکل ۴: پارامترهای تابع عضویت ذوزنقه‌ای

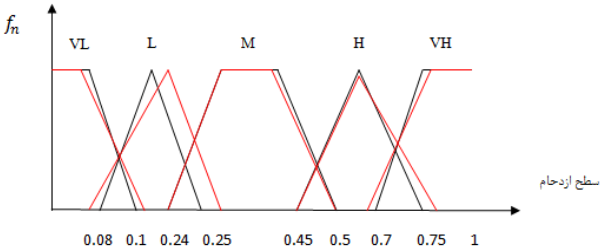
توابع عضویت متغیرهای ورودی سیستم استنتاج فازی در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. در این شکل خطوط مشکی توابع عضویت قبل از بهینه‌سازی و خطوط قرمز توابع عضویت بعد از بهینه‌سازی را نشان می‌دهند.



الف) تابع عضویت پهنای باند



ب) تابع عضویت قدرت سیگنال دریافتی



ج) تابع عضویت سطح ازدحام

شکل ۵: تابع عضویت متغیرهای ورودی

۳-۳- استراتژی مسیریابی

هر گره در شبکه‌های ویژه خودرویی شامل یک کندو است که از سه قسمت تشکیل شده است: طبقه بسته‌بندی، ورودی و طبقه رقص. طبقه بسته‌بندی یک واسط لایه انتقال، قسمت ورودی یک واسط لایه MAC و طبقه رقص شامل اطلاعات مسیریابی است [۲۵]. روش پروتکل پیشنهاد شده به‌طورکلی به شرح زیر است:

- خوشه‌بندی گره‌ها و انتخاب سرخوشه براساس میزان ارزش اعتبار گره‌ها که با استفاده از مدل توضیح داده شده در بخش ۳-۱ محاسبه می‌شود.
- زمانی که گره سرخوشه مبدأ (S) داده‌ای برای ارسال به گره سرخوشه مقصد (D) دارد، ابتدا قسمت رقص را برای پیدا کردن مسیر مناسب جستجو می‌کند، اگر مسیری به مقصد مورد نظر پیدا کرد، بسته داده را برای انتقال به جستجوکننده تحویل می‌دهد.
- در غیر این صورت، گره S با پخش فراگیر یک دیده‌بان فرآیند کشف و انتخاب مسیر را آغاز می‌کند.
- پس از کشف مسیر، زمانی که دیده‌بان به گره مبدأ برمی‌گردد، مسیر پیدا شده در قسمت رقص گره مبدأ ذخیره می‌شود.
- اگر بیش از یک مسیر به مقصد موردنظر وجود داشته باشد، گره مبدأ مسیر با کمترین تعداد گام را انتخاب می‌کند.
- اگر مسیرهای کشف شده تعداد گام مساوی داشته باشند، مسیری که بیشترین ارزش اعتبار را داشته باشد انتخاب می‌شود.
- اگر مسیرها هم تعداد گام مساوی و هم ارزش اعتبار برابر داشته باشند، گره مبدأ به‌طور تصادفی مسیری را انتخاب می‌کند.
- در طول مرحله کشف مسیر، هر گره میانی ارزش اعتبار اتصال‌های همسایه را براساس مدل توضیح داده شده در بخش ۳-۱ محاسبه کرده و اتصالی را که بیشترین مقدار ارزش اعتبار را داشته باشد، انتخاب می‌کند.
- پس از انتخاب مسیر، گره مبدأ (S) بسته داده را برای انتقال به مقصد موردنظر به جستجوکننده تحویل می‌دهد.
- جستجوکننده در طول مسیر اطلاعات مربوط به حالت شبکه را جمع‌آوری می‌کند و زمانی که به گره مبدأ بازگشت، از این اطلاعات برای محاسبه عدد رقص استفاده می‌کند.

در بخش زیر فرآیند کشف و انتخاب مسیر را شرح می‌دهیم.

۱-۳-۳- فرآیند کشف مسیر

زمانی که یک گره سرخوشه مسیری را برای ارسال داده به مقصد خاص نیاز داشته باشد، اما مسیری به مقصد موردنظر در قسمت رقص این گره وجود نداشته باشد، عملیات کشف مسیر آغاز می‌شود. سرخوشه مبدأ برای کشف مسیر دیده‌بان روبه‌جلو را به همه اتصال‌های ذخیره‌شده در جدول همسایگی، پخش فراگیر می‌کند. جدول همسایگی شامل اطلاعات مربوط به میزان پایداری و سطح ازدحام

اتصال‌های مربوط به گره‌های همسایه، است. این دیده‌بان روبه‌جلو حاوی فیلدهای شناسه مبدأ، شناسه مقصد، نوع، لیستی از شناسه گره‌های میانی (مسیر منبع) و ارزش اعتبار الحاق شده با گره‌های میانی است. مقدار اولیه ارزش اعتبار هر اتصال، ۱ در نظر گرفته می‌شود. زمانی که یک گره، دیده‌بان روبه‌جلو را دریافت می‌کند، با استفاده از مدل فازی توضیح داده شده در بخش ۳-۱، ارزش اعتبار اتصال‌های همسایه را محاسبه کرده و اتصالی که دارای بیشترین مقدار ارزش اعتبار است، انتخاب می‌کند. هر گره میانی شناسه خود را به مسیر منبع در دیده‌بان روبه‌جلو الحاق کرده و ارزش اعتبار به‌دست‌آمده را در مقدار فیلد ارزش اعتبار ضرب کرده و آن را به‌روزرسانی می‌کند. سپس این گره بسته را از طریق اتصال انتخاب شده، ارسال می‌کند. زمانی که دیده‌بان روبه‌جلو به سر خوشه مقصد می‌رسد شامل لیست گره‌ها در طول مسیر و مقدار ارزش اعتبار اتصال‌های مسیر است.

الگوریتم (۱): پروتکل مسیریابی FB_VANET

برای همه (دیده‌بان روبه‌جلوی فرستاده شده از سرخوشه مبدأ به سمت سرخوشه مقصد) {

اگر (دیده‌بان روبه‌جلو توسط گره i دریافت شده است) **آنگاه** {

محاسبه مقدار ارزش اعتبار برای همه اتصال‌های ذخیره‌شده در جدول همسایگی.

اگر (گره i گره مقصد نیست) **آنگاه** {

پیدا کردن اتصالی که بیشترین مقدار ارزش اعتبار را دارد.

الحاق کردن شناسه گره i به مسیر منبع.

ضرب ارزش اعتبار به‌دست‌آمده در مقدار فیلد مربوط به ارزش اعتبار در دیده‌بان روبه‌جلو.

ارسال بسته از طریق اتصال انتخاب شده.

در غیر این صورت

ایجاد دیده‌بان رو به عقب توسط سرخوشه مقصد

{

{

}

برای همه (دیده‌بان رو به عقب از مقصد به سمت مبدأ) {

اگر (دیده‌بان رو به عقب توسط گره i دریافت شده است) **آنگاه** {

اگر (گره i مقصد مربوط به دیده‌بان رو به عقب است) **آنگاه** {

ذخیره کردن اطلاعات این بسته در قسمت رقص گره

انتخاب مسیر با بیشترین مقدار ارزش اعتبار اتصال‌ها

{

اگر (گره i مبدأ مربوط به دیده‌بان رو به عقب نیست) **آنگاه**

تک‌بخشی کردن دیده‌بان رو به عقب

{

{

شکل ۶: شبه کد فرآیند کشف مسیر پروتکل پیشنهادی

سرخوشه مقصد معکوس مسیر منبع را در دیده‌بان رو به عقب قرار داده و آن را به‌صورت تک‌بخشی به سمت سرخوشه مبدأ ارسال می‌کند. زمانی که سرخوشه مبدأ یک دیده‌بان رو به عقب را دریافت می‌کند، مسیر کشف‌شده را به جستجوکننده‌ها اعلام می‌کند. یک جستجوکننده بسته داده را دریافت کرده و سپس آن را از طریق مسیر کشف‌شده به مقصد موردنظر منتقل می‌کند. در شکل ۶ شبه کد مربوط به فرآیند کشف مسیر در پروتکل پیشنهادی نشان داده شده است.

۴- شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش، نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی پروتکل پیشنهادی را نشان داده و این پروتکل را با پروتکل VANET QoS-OLSR، AODV و الگوریتم زنبورعسل مقایسه خواهیم کرد.

۴-۱- تنظیمات محیط شبیه‌سازی

برای انجام شبیه‌سازی از جعبه‌ابزار TrueTime نرم‌افزار متلب [۲۶، ۲۷] و شبیه‌ساز ترافیک SUMO [۲۸] استفاده شده است. SUMO یک شبیه‌ساز ترافیک است که با استفاده از کدهای XML ویژگی‌های شبکه مانند تعداد گره‌ها، توپولوژی، سرعت و جهت را مشخص می‌کند. بنابراین، برای تولید ترافیک وسایل نقلیه از SUMO 0.12.0 استفاده کرده و قسمتی از نقشه شهر کرمان به‌عنوان توپولوژی مناطق شهری، انتخاب شده است. محدوده فیزیکی شبیه‌سازی ناحیه ۷۰۰ ×۷۰۰ مترمربع است و تعداد گره‌ها از ۳۰ تا ۵۰ افزایش می‌یابند. جهت تولید ترافیک از سرویس CBR[۱] استفاده می‌شود. پارامترها و تنظیمات پیش‌فرض برای انجام شبیه‌سازی در جدول ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۴: پارامترها و تنظیمات شبیه‌سازی

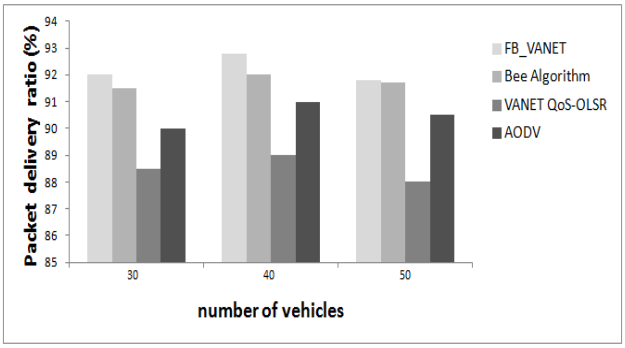
پارامتر شبیه‌سازی	مقدار
زمان شبیه‌سازی	۱۰۰ ثانیه
محدوده ناحیه شبیه‌سازی	۷۰۰ ۷۰۰× مترمربع
مدل ترافیکی	CBR
محدوده انتقال	۲۵۰ متر
اندازه بسته‌ها	۵۱۲ بایت
توپولوژی	مناطق شهری
شبیه‌ساز ترافیک	SUMO
تعداد گره‌ها	۳۰، ۴۰، ۵۰
پهنای باند	۱ مگابیت بر ثانیه
MAC/PHY	IEEE 802.11p
α در PTS_{ij}	۰/۴
β در PTS_{ij}	۰/۶
$v(i,j)$در (wb,wr,wc)	(۰/۰،۲/۰،۴/۴)
φ در CM_{ij}	۶۰ کیلومتر بر ساعت
تعداد جمعیت اولیه در الگوریتم GSA	۲۰
تعداد تکرار در الگوریتم GSA	۱۰

۲-۴- نتایج شبیه‌سازی

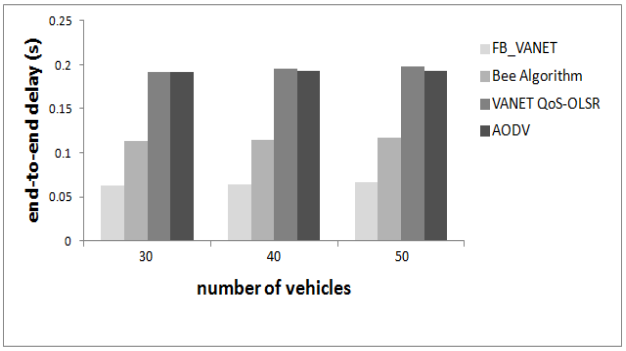
از معیارهای زیر برای مقایسه کارایی پروتکل پیشنهادی با AODV، الگوریتم زنبورعسل و VANET QoS-OLSR استفاده شده است.

- **نرخ تحویل بسته:** نسبت تعداد بسته‌هایی که به‌طور موفق توسط گره مقصد دریافت شده به تعداد کل بسته‌هایی که از هر گره برای آن مقصد ارسال می‌شود.
- **تأخیر:** اختلاف بین زمانی که یک بسته داده به‌وسیله گره مقصد دریافت شده و زمانی که این بسته توسط گره مبدأ فرستاده شده است. این اختلاف ناشی از این است که گره مبدأ به دلیل نداشتن مسیری به مقصد، نیاز به انجام فرآیند کشف مسیر دارد و بسته داده باید تا کشف مسیر در گره مبدأ منتظر بماند (زمان انتظار واکنشی).
- **بازده:** اگر تعداد y بیت در زمان t به یک گره تحویل داده شود، بازده آن گره به‌صورت $\frac{y}{t}$ تعریف می‌شود. این تعریف به الگوریتمی که تعداد یکسانی از بیت‌ها را در زمان کمتر تحویل دهد، بازدهی بیشتری اختصاص می‌دهد.
- **کنترل سربار:** تعداد کل کنترل بایت‌هایی که توسط همه گره‌ها در شبکه انتقال داده می‌شوند.
- **درصد پایداری:** نسبت تعداد گره‌هایی که در یک بازه زمانی خاص در یک خوشه باقی می‌مانند. اگر درصد پایداری بیش از ٪۶۰ باشد، خوشه پایدار در نظر گرفته می‌شود.

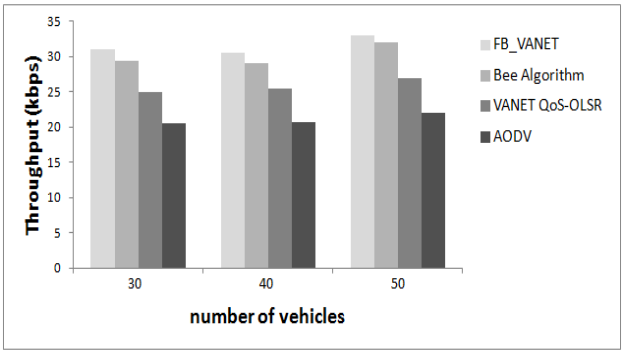
نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های ۷ تا ۱۱ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، با توجه به بررسی قدرت سیگنال دریافتی و سطح ازدحام در فرآیند کشف مسیر، نرخ تحویل بسته پروتکل پیشنهادی از سایر پروتکل‌ها بیشتر است. شکل ۸ تأخیر را نشان می‌دهد، که تأخیر پروتکل پیشنهادی از بقیه پروتکل‌های مقایسه شده، کمتر است. با توجه به تحلیل شکل ۹، بازده FB_VANET بیشتر از VANET QoS-OLSR، AODV و الگوریتم زنبورعسل است.



شکل ۷: مقایسه FB_VANET با VANET QoS-OLSR، الگوریتم زنبورعسل و AODV با معیار نرخ تحویل بسته

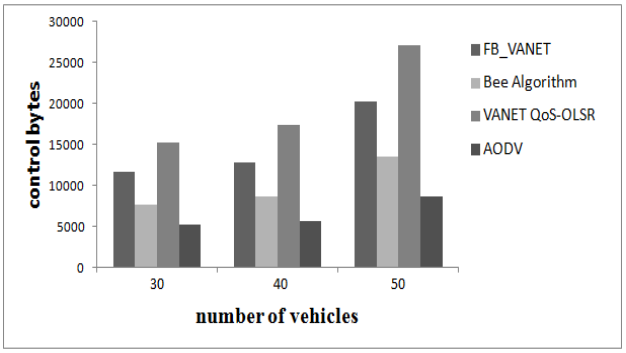


شکل ۸: مقایسه FB_VANET با VANET QoS-OLSR، الگوریتم زنبورعسل و AODV با معیار تأخیر

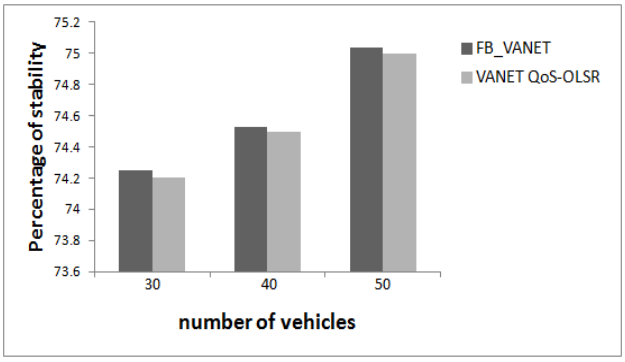


شکل ۹: مقایسه FB_VANET با VANET QoS-OLSR، الگوریتم زنبورعسل و AODV با معیار بازده

در شکل ۱۰ کنترل سربار نشان داده شده است. FB_VANET در مقایسه با AODV و الگوریتم زنبور عسل به دلیل حمل ارزش اعتبار اتصال‌ها و اطلاعات مربوط به میزان پایداری و ازدحام در سرآیند بسته‌ها، دارای سربار بیشتری است. در شکل ۱۱ درصد پایداری روش پیشنهادی و پروتکل VANET QoS-OLSR، که پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی هستند، نشان داده شده است. به دلیل بررسی پهنای باند، میزان پایداری و ازدحام، درصد پایداری FB_VANET از VANET QoS-OLSR کمی بیشتر است.



شکل ۱۰: مقایسه FB_VANET با VANET QoS-OLSR، الگوریتم زنبورعسل و AODV با معیار کنترل سربار



شکل ۱۱: مقایسه FB_VANET با VANET QoS-OLSR با معیار درصد پایداری

۵- نتیجه

دراین مقاله، با به‌کارگیری نظریه مجموعه‌های فازی، پروتکل مسیریابی جدیدی برای شبکه‌های ویژه خودرویی معرفی شده است. این پروتکل با استفاده از پهنای باند، قدرت سیگنال دریافتی و سطح ازدحام به هر اتصال یک ارزش اعتبار نسبت می‌دهد. پهنای باند برای ارزیابی سطح توانایی گره در ارائه خدمات استفاده شده و قدرت سیگنال دریافتی و ازدحام به ترتیب پایداری و میزان ازدحام اتصال را مشخص می‌کنند. با توجه به اینکه به دست آوردن توابع عضویت یکی از چالش‌های طراحی سیستم استنتاج فازی مطلوب است، برای تعدیل توابع عضویت از الگوریتم جستجوی گرانشی استفاده شده است. برای ارزیابی و بررسی کارایی پروتکل پیشنهادی، این پروتکل با پروتکل AODV، الگوریتم زنبورعسل و VANET QoS-OLSR مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی و مقایسه الگوریتم‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب نشان می‌دهد نرخ تحویل بسته و بازده پروتکل پیشنهادی از بقیه پروتکل‌های مقایسه شده بیشتر است. همچنین تأخیر انتها به انتها پروتکل پیشنهادی نسبت به پروتکل‌های مقایسه شده، کمتر است. درصد پایداری پروتکل پیشنهادی تقریباً با پروتکل VANET QoS-OLSR برابر است. به‌هرحال، پروتکل پیشنهادی به دلیل حمل میزان پایداری، ازدحام و ارزش اعتبار اتصال‌ها دارای سربار بیشتری در مقایسه با AODV و الگوریتم زنبورعسل است.

با توجه به اینکه پروتکل پیشنهادی برای مناطق شهری طراحی‌شده است، می‌تواند برای استفاده در بزرگراه‌ها گسترش داده شود. همچنین درخواست‌های کیفیت سرویس دیگر مانند امنیت و محرمانگی را پوشش دهد.

مراجع

[1] S. Al-Sultan, M. M. Al-Doori, A. H. Al-Bayatti and H. Zedan, "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network," Network and Computer Applications, vol. 37, pp. 380-392, 2014.

[2] شهرام جمالی و توفان سماپور، «کنترل ازدحام مبتنی بر تخمین در شبکه‌های موردی بی‌سیم،» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۳، شماره ۱، صفحات ۱۴-۱، ۱۳۹۲.

[3] B. T. Sharef, R. A. Alsaqour and M. Ismail, "Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey," Network and Computer Applications, vol. 40, pp. 363–396, 2014.

[4] B. Mokhtar and M. Azab, "Survey on security issues in Vehicular Ad Hoc Networks," Alexandria Engineering, 2015, http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2015.07.011.

[5] S. J. Elias. M. N. B. M. Warip, B. Ahmad and A. H. A. Halim, "A comparative study of IEEE 802.11 standards for non-safety spplications on Vehicular Ad Hoc Networks: a congestion control perspective," Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, San Francisco, USA, 2014.

[6] مریم کاکاوند میرزایی و جلیل سیفعلی هرسینی، «طراحی یک مکانیسم تدافعی برای بهبود امنیت در لایه فیزیکی با رویکرد نظریه بازی‌ها: کاربرد در شبکه‌های اقتضایی خودرویی،» مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۱، صفحات ۲۲۰-۲۱۱، ۱۳۹۶.

[7] S. Panichpapiboon and W. Pattara-Atikom, "A review of information dissemination protocols for vehicular ad hoc networks," Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 14, pp. 784-798, 2012.

[8] R.S. Bali, N. Kumar and J.J.P.C. Rodrigues, "Clustering in vehicular ad hoc networks: taxonomy, challenges and solutions", Vehicular Communications, vol. 1, pp. 134-152, 2014.

[9] S. Bitam, A, Mellouk and S. Zeadally, "HyBR: A Hybrid Bio-inspired Bee swarm routing protocol for safety applications in vehicular ad hoc networks (VANETs)," Systems Architecture, vol. 59, pp. 953-967, 2013.

[10] M. R. Jabbarpour, A. Jalooli, E. Shaghaghi, R. M. Noor, L. Rothkrantz, R. H. Khokhar and N. B. Anuar, "Ant-based vehicle congestion avoidance system using vehicular networks," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 36, pp. 303-319, 2014.

[11] S. Bitam and A. Mellouk, "Bee life-based multi constraints multicast routing optimization for vehicular ad hoc networks," Network and Computer Applications, vol. 36, pp. 981-991, 2013.

[12] H. Dong, X. Zhao, L. Qu, X. Chi and X. Cui, "Multi-hop routing optimization method based on improved ant algorithm for vehicle to roadside network," Bionic Engineering, vol. 11, pp. 490-496, 2014.

[13] O. A. Wahab, H. Otrok and A. Mourad, "VANET QoS-OLSR: QoS-based clustering protocol for vehicular ad hoc networks," Computer Communications, vol. 36, pp. 1422-1435, 2013.

[14] D. Karaboga and B. Akay, "A survey: Algorithms simulating bee swarm intelligence," Artificial Intelligence Review, vol. 31, pp. 61-85, 2009.

[15] S. K. Dhurandher, S. Misra, P. Pruthi, S. Singhal and S. Aggarwal, "Using bee algorithm for peer-to-peer file searching in mobile ad hoc networks," Network and Computer Applications, vol. 34, pp. 1498-1508, 2011.

[16] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Information and control, vol. 8, pp. 338–353, 1965.

[17] اسفندیار اسلامی، ***منطق فازی و کاربردهای آن***، دانشگاه شهید باهنر کرمان، چاپ اول، ۱۳۹۱.

[18] L. A. Zadeh, *Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB*, MathWorks, 2001.

[19] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour and S. Saryazdi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm," Information Sciences, vol. 179, pp. 2232-2248, 2009.

of coronary artery disease," Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 11657-11665, 2012.
[25] H. F. Wedde, M. Farooq, T. Pannenbaecker and B. Vogel, "BeeAdHoc: An energy efficient routing algorithm for mobile ad hoc networks inspired by bee behavior," Proceedings of the ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference, pp.153-160, 2005.
[26] A. Cervin, D. Henriksson and M. Ohlin, *TrueTime 2.0 beta-Reference Manual*, Department of Automatic Control Lund University, 2010.
[27] S. K. Shah, D. D. Vishwakarma and S. J. Rane, "Graphical user interface based SOFTAODV simulator for WANET using MATLAB/TrueTime," Computer Applications, vol. 46, pp. 34-37, 2012.
[28] D. Krajzewicz, J. Erdmann, M. Behrisch and L. Bieker, "Recent development and applications of SUMO—Simulation of Urban Mobility," Advances in Systems and Measurements, vol. 5, pp. 128–138, 2012.
[20] M. Kuchaki Rafsanjani and H. Fatemidokht, "FBeeAdHoc: A secure routing protocol for BeeAdHoc based on fuzzy logic in MANETs," Electronics and Communications (AEÜ), vol. 69, pp. 1613-1621, 2015.
[21] H. Fatemidokht and M. Kuchaki Rafsanjani, "F-Ant: An effective routing protocol for ant colony optimization based on fuzzy logic in vehicular ad hoc networks ," Neural Computing and Applications, DOI: 10.1007/s00521-016-2631-y, (Accepted).
[22] http://en.wikipedia.org/wiki/Bandwidth (computing)
[23] S. Chatterjee and S. Das, "Ant colony optimization based enhanced dynamic source routing algorithm for mobile Ad-hoc network," Information Sciences, vol. 295, pp. 67–90, 2015.
[24] S. Muthukaruppan and M. J. Er, "A hybrid particle swarm optimization based fuzzy expert system for the diagnosis

زیرنویس‌ها

[1] Intelligent Transportation System (ITS)
[2] Vehicular Ad hoc Networks (VANET)
[3] Vehicle to Vehicle (V2V)
[4] Vehicle to Infrastructure (V2I)
[5] Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV)
[6] Clustering
[7] MultiPoint Relay (MPR)
[8] Link
[9] Gravitational Search Algorithm (GSA)
[10] Scouts
[11] Follower bees
[12] Rule base
[13] Fuzzy Bee algorithm for Vehicular Ad hoc Network (FB_VANET)
[14] Received Signal Strength Metric (RSSM)
[15] Congestion Metric (CM)
[16] Linguistic
[17] Antenna Gain
[18] Dance number
[19] Constant Bit Rate (CBR)
[20] Reactive wait time