برقراری اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی مبتنی بر زنجیرهٔ قالبی با بهره‌گیری از استنتاج فازی و ساختار Chord

نیلوفرخسروی راد[۱]، رضا احسن[۲*]، احمد شریف[۳]، علی کریمی[۴]
دانشجوی دکترای، مهندسی کامپیوتر، آزاد اسلامی، قم، ایران
استادیار دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران*
استادیار دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران
دانشجوی دکترای، مهندسی کامپیوتر، آزاد اسلامی، قم، ایران

چکیده

با پیشرفت فناوری در حوزهٔ اینترنت اشیا، شبکهٔ بین‌خودرویی[۱] تحولی در دنیای فناوری ایجاد کرده‌است. در این شبکه‌ها، گره‌ها به‌عنوان مسیریاب و میزبان فعالیت کرده و اطلاعات مسیر را بین وسایل نقلیه و RSUها به اشتراک می‌گذارند. چالش اصلی این شبکه، اعتماد به پیام‌های مبادله‌شده است که نیاز به صحت‌سنجی گره‌ها پیش از ارتباط دارد. در طرح پیشنهادی، هر وسیلهٔ نقلیه به‌محض مشاهدهٔ یک رخداد، پیامی را به‌صورت همه‌پخشی ارسال می‌کند و RSU برای اعتبارسنجی، میزان اعتماد گره فرستنده را بررسی می‌کند؛ در این راستا، برای جلوگیری از تکرار رخدادها، پیام‌های تکراری منتشر نمی‌شوند؛ به‌منظور افزایش کارایی، ساختار Chord به‌جای الگوریتم‌های اجماع زمان‌بر به‌کار گرفته شده‌است. این سامانه شامل مراحل امتیازدهی به پیام‌ها، محاسبهٔ اعتماد و تشکیل گروه‌های ارزیاب به‌وسیلهٔ RSUها است. نتایج نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان پیام‌ها در این روش شش درصد نسبت به SBTMS و یازده درصد نسبت به POW بهبود یافته‌است. این پژوهش با ترکیب VANET، فناوری زنجیرهٔ قالبی و منطق فازی، مدلی کارآمد برای افزایش قابلیت اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: شبکهٔ بین‌خودرویی، زنجیرهٔ قالبی، ساختار *Chord*، استنتاج فازی، قابلیت اعتماد.

Presenting a model for establishing trust in inter-vehicle networks based on blockchain using fuzzy inference and Chord structure

Niloufar Khosravi Rad[1], Reza Ahsan[2]*, Ahmad Sharif[3], Ali Karimi[4]
Ph.D. Candidate, Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Qom Branch, Qom, Iran[1&2]
Assistant Professor, Faculty of Computer Engineering, Islamic Azad University, Qom Branch, Qom, Iran[2*&3]

Abstract

With the swift advancement of the Internet of Things (IoT), Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) have become a crucial component in enabling smart transportation systems by supporting real-time communication between vehicles and roadside units (RSUs). In these networks, vehicles function as mobile nodes that generate and transmit data across the system. A major challenge in VANETs is ensuring the integrity and trustworthiness of shared messages, as any malicious or inaccurate information could severely impact safety and system performance. This research introduces a trust management framework that integrates VANET with blockchain technology and fuzzy logic to improve the reliability of vehicle-to-vehicle communication. When an event is detected, a vehicle instantly broadcasts a corresponding message. RSUs then evaluate the sender's trust level and verify the message before validation. To minimize communication overhead and avoid duplication, repeated messages are filtered prior to distribution. Unlike conventional trust models that depend on computationally heavy consensus mechanisms such as Proof of Work (PoW), the proposed system adopts a Chord-based distributed architecture. This approach significantly lowers processing times and boosts scalability. The framework utilizes a multi-phase trust evaluation process involving message scoring, dynamic trust

[1] VANET

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات
* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۱ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹ • نوع مطالعه: پژوهشی

calculation, and formation of evaluator groups by RSUs.Simulations reveal notable gains in message credibility: a 6% increase compared to the Score-Based Trust Management System (SBTMS) and an 11% improvement over PoW-based approaches. These results underline the effectiveness of the proposed model in achieving a balance between security, scalability, and low latency in VANET environments. By merging VANET architecture with decentralized trust mechanisms and soft computing techniques, this study presents an innovative and pragmatic solution to one of the key challenges in vehicular communications—facilitating secure, efficient, and trustworthy message exchange in highly dynamic, distributed networks.

Keywords: Blockchain, Chord structure, fuzzy inference, Inter-vehicle network, reliability.

۱-مقدمه

با پیدایش شبکه‌های رایانه‌ای با هدف ارتباط‌داشتن به‌صورت توزیع‌شده، شبکه‌های موردی مطرح شد، یک شبکهٔ سیار موردی، شامل مجموعه‌ای از گره‌های توزیع‌شده است که بدون هیچ زیرساخت و مدیریت مرکزی، یک شبکهٔ موقت را تشکیل می‌دهد[۱, ۲]. در این نوع شبکه‌ها، به‌علت ساختار پویا، بستری برای همکاری گره‌ها ایجاد خواهد شد؛ درواقع گره‌های موجود در این شبکه هم به‌عنوان مسیریاب و هم به‌عنوان میزبان فعالیت دارند[۳]؛ در این راستا ساختاری پویا از شبکه‌های بین‌خودرویی با عنوان VANET[1] مطرح شد، که نوع خاصی از شبکه‌های سیار MANET هستند و در آن وسایل نقلیه به‌صورت پویا و بدون درنظرگرفتن زیرساختی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند[۴].

حمل‌ونقل هوشمند موضوعی است که بعد از معرفی VANET، دنیای فناوری را متحول کرد؛ هوشمندسازی وسایل نقلیه و استفاده از امکانات جدید فناوری می‌تواند یک سامانهٔ حمل‌ونقل هوشمند را رقم بزند[۵، ۶]. سامانهٔ حمل‌ونقل هوشمند، به سامانه‌ای گفته می‌شود که دارای ویژگی‌هایی همچون فناوری‌های ارتباطی، کنترل و پردازش یک‌پارچهٔ اطلاعات در وسایل نقلیه و زیرساخت‌های حمل‌ونقل است[۷، ۸]. چنین سامانه‌ای برپایهٔ جمع‌آوری، پردازش، یک‌پارچه‌سازی و انتشار اطلاعات بنا شده‌است. این اطلاعات درکل، از داده‌هایی به‌دست می‌آیند که به‌صورت ایستا و یا پویا، از حس‌گرهای روی وسایل نقلیه، حس‌گرهای موجود در مسیرها، ماهواره‌ها، نقشه‌های رقمی، اطلاعات ترافیکی و همچنین وضعیت هواشناسی به‌دست آمده‌اند؛ بنابراین استفاده از این اطلاعات باعث می‌شود از وقوع سوانح جاده‌ای جلوگیری شود؛ همچنین می‌توان از آن‌ها برای بهبود ترافیک جاده‌ای و برقراری امنیت استفاده کرد[۹]. شبکه‌های بین‌خودرویی متشکل از وسایل نقلیه، RSUها است که می‌تواند اطلاعات مسیر را بین اجزای موجود در شبکه به اشتراک بگذارد. بیشتر روابط موجود در VANET مبتنی‌بر داده‌های مشارکتی، تبادل اطلاعات بین‌خودروها و تبادل اطلاعاتی با زیرساخت‌های کنار جاده‌ای است[۱۰]. هر وسیلهٔ نقلیه با مشاهدهٔ هرگونه رخداد، پیامی را برای سایر اجزا منتقل می‌کند تا آن‌ها نیز از وضعیت جاده مطلع شوند؛ درنتیجه می‌توان ویژگی‌هایی همچون پویایی شبکه، پیش‌بینی مکان خودروها، عدم محدودیت توان را برای آن نام برد[۱۱]. با توجه به اینکه عملکرد این شبکه تحت تأثیر عوامل زیادی مانند همکاری بین گره‌ها، امنیت داده‌ها، حریم خصوصی کاربر، سلامت اطلاعات مبادله‌شده و صحت و قابلیت اعتماد است[۹]؛ چالش‌هایی همچون ناپدیدشدن سیگنال‌های ارتباطی، ارتباط پایدار، برقراری ارتباط، مسیریابی، احراز هویت گره‌ها، مقاوم‌بودن در برابر حملات، قابلیت اعتماد مطرح می‌شود[۱۲, ۱۳]. برقراری اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی یکی از موضوعاتی بوده که تاکنون توسط پژوهش‌گران مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته‌است، برخی از پژوهش‌گران بدون درنظرگرفتن پویایی شبکه‌ها به بررسی میزان اعتماد گره‌ها پرداخته‌اند که کارایی چندانی نداشت[۱۴]؛ همچنین برخی نیز از روش‌های دسته‌بندی یا همان کلاسترینگ استفاده کرده‌اند که این نوع نیز خود ابهاماتی را دربردارد؛ زیرا اگر سرگروه یک کلاستر مورد حمله قرار گیرد شبکه امنیت خود را از دست می‌دهد[۱۵]. استفاده از روش‌های غیرمتمرکز و پویا که بیشتر به تعاملات بین گره‌ها اشاره دارد، روش خوبی برای برقراری ارتباط امن معرفی شده‌است، ارتباط امن یکی از پایه‌ای‌ترین زیرساخت‌ها در انواع شبکه است[۱۶]. در کنار استفاده از روش‌های غیرمتمرکز، استفاده از منطق فازی که بر اساس اعتماد مستقیم و غیرمستقیم، یک گره مورد اعتماد را به سایر گره‌ها معرفی می‌کند، کمک شایانی در ایجاد امنیت در شبکه‌های بین‌خودرویی خواهد داشت. پژوهش‌های بسیاری با هدف ارتقای قابلیت اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی صورت گرفته است و می‌توان مدیریت اعتماد موجود در شبکه‌های بین‌خودرویی را به دو دسته تقسیم کرد؛ دستهٔ نخست، رویکردهای مبتنی‌بر هوش مصنوعی، مبتنی‌بر خوشه‌بندی، یادگیری تقویتی، منطق فازی و روش‌های نظریهٔ بازی است. دستهٔ دوم رویکردهای مبتنی‌بر فناوری‌های نوظهور مبتنی‌بر Cloud، Fog، Edge، زنجیرهٔ قالبی و شبکه‌های تعریف‌شده با نرم‌افزار SDN هستند[۱۷]. استفاده از فناوری‌های جدید رویکرد محاسباتی، اعتماد کلاسیک را از نظر دقت، تجمیع و اشتراک ارزش‌های اعتماد بهبود می‌بخشد؛ از طرفی باتوجه به حجم زیاد پیام‌هایی که در این شبکه منتقل می‌شود، ذخیره‌سازی آن‌ها در یک سامانهٔ متمرکز صحیح نخواهد بود؛ زیرا با نفوذ به سامانهٔ مدیریت متمرکز کل شبکه از کار خواهد افتاد؛ درنتیجه نیاز به یک سامانهٔ ذخیره‌سازی پایدار است؛ به همین دلیل از فناوری زنجیرهٔ قالبی برای ذخیره‌سازی مانا و

[1] Vehicular Ad Hoc Network

پایدار و همیشه در دسترس استفاده شده‌است. دو نوع ساختار عمومی و خصوصی برای زنجیرهٔ قالبی وجود دارد. تمرکز ما در این پژوهش بر زنجیرهٔ قالبی خصوصی است[۱۸]. استفاده از این فناوری باعث می‌شود که امنیت پیام‌های تولیدی حفظ شود و امکان تغییر در اطلاعات ثبت‌شده نیز وجود نداشته باشد. در پژوهش [۱۹] مدلی مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای شبکه‌های بین‌خودرویی به‌منظور افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اعتماد ارائه شد، در این مدل برای محاسبهٔ اعتماد از قوانین بیزین استفاده شده‌است، ضعف این مقاله نبود توجه به سازش RSUها برای تعیین مقدار اعتماد است.

در مدل پیشنهادی، تمرکز اصلی بر برقراری اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی در شرایطی است که ممکن است واحدهای کنار جاده‌ای[1] در فرآیند اجماع دچار سازش یا نفوذ امنیتی شوند. از آنجایی که حفظ یک‌پارچگی و صحت پیام‌ها در چنین محیط‌هایی حیاتی است، ما با تلفیق سه فناوری پیشرفته شامل VANET، زنجیرهٔ قالبی و منطق فازی، یک معماری نوآورانه برای مدیریت اعتماد و تشخیص گره‌های مخرب ارائه می‌دهیم.

در این پژوهش، اعتماد[2] به‌عنوان معیاری پویا و قابل محاسبه تعریف می‌شود که نشان‌دهندهٔ میزان صحت‌سنجی رفتار یک گره (وسیلهٔ نقلیه) بر اساس تعاملات گذشته و گزارش‌های سایر گره‌ها در محیط شبکه است؛ به‌عبارت دقیق‌تر، اعتماد یک مقدار عددی است که از طریق تحلیل ویژگی‌هایی نظیر درست‌بودن پیام‌های ارسالی، تکرار پیام‌ها، تأخیر در ارسال و هم‌بستگی با داده‌های محیطی و سایر گره‌ها محاسبه می‌شود. برای مدل‌سازی و محاسبهٔ میزان اعتماد، از یک سامانهٔ استنتاج فازی استفاده می‌شود. این سامانه با دریافت ورودی‌هایی همچون میزان تأخیر، نرخ تکرار پیام‌های معتبر و اعتبار محاسبه‌شده به‌وسیلهٔ دیگر گره‌ها، یک مقدار نهایی اعتماد برای هر گره محاسبه می‌کند. این مقدار در قالب یک تراکنش به RSUها ارسال و پس از بررسی در یک زیرساخت مقاوم در برابر سازش، در زنجیرهٔ قالبی ثبت می‌شود.

برای افزایش مقیاس‌پذیری، امنیت و حفظ محرمانگی در تبادل و ذخیره‌سازی اطلاعات، از ساختار Chord بهره گرفته شد. ساختار Chord یک الگوریتم جست‌وجوی توزیع‌شده مبتنی‌بر جدول درهم‌سازی توزیع‌شده[3] است که باعث می‌شود فرآیند مکان‌یابی اطلاعات و نگاشت کلید/مقدارها در میان نودهای شبکه با پیچیدگی زمانی O (log N) و به شکلی امن انجام شود. به‌کارگیری این ساختار نه‌تنها نیاز به فرآیند پرهزینهٔ ماینینگ در زنجیره‌های قالبی سنتی را از میان برداشته، بلکه امکان دست‌کاری داده‌های ثبت‌شده حتی در صورت هک‌شدن یک یا چند RSU را نیز به‌شدت کاهش می‌دهد.

از جمله نوآوری‌های کلیدی مدل پیشنهادی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تعریف و محاسبهٔ عددی میزان اعتماد گره با رویکرد فازی و تحلیل داده‌های ورودی در سطح گره؛
- تشکیل گروه‌های ارزیاب توسط RSUها برای جلوگیری از سازش و تمرکز در فرآیند اعتبارسنجی تراکنش‌ها؛
- استفاده از زنجیرهٔ قالبی برای جلوگیری از تغییر در رخدادها و پیام‌های شبکه و حفظ یک‌پارچگی اطلاعات؛
- استفاده از ساختار Chord برای حذف نیاز به ماینینگ و افزایش محرمانگی در ذخیره‌سازی اطلاعات تراکنشی؛
- تشخیص نودهای مخرب و خارج‌سازی آن‌ها از چرخهٔ تأثیرگذاری در تصمیم‌گیری شبکه؛
- افزایش قابلیت اعتماد به پاسخ‌های RSUها حتی در شرایطی که برخی از آن‌ها دچار اختلال یا حمله شده‌اند.

درنهایت می‌توان اهداف اصلی پژوهش را به تفکیک زیر بیان کرد:

۱. مدل‌سازی کمی و کیفی مفهوم اعتماد در VANET
۲. تشخیص و ایزوله‌سازی نودهای مخرب با استفاده از منطق فازی؛
۳. پیش‌گیری از تغییر پیام‌های رخداد با بهره‌گیری از زنجیرهٔ قالبی غیرقابل تغییر
۴. افزایش قابلیت اعتماد به RSU ها از طریق حذف فرآیند ماینینگ و بهره‌برداری از Chord
۵. افزایش نرخ تشخیص صحیح پیام‌ها و کاهش پیام‌های کاذب با اتکا به سازوکار اعتماد توزیع‌شده؛
۶. حفظ محرمانگی و امنیت اطلاعات در طول مسیر انتقال و ذخیره‌سازی در معماری پیشنهادی.

۲- مفاهیم پایه

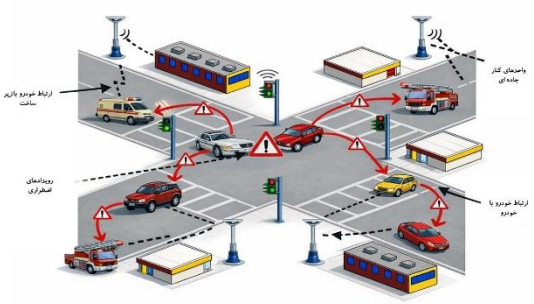
۲-۱- شبکه‌های بین‌خودرویی

شبکه‌های بین‌خودرویی، بخشی مهم از شبکه‌های ITS هستند که به‌وسیلهٔ یک ارتباط کوتاه برد در فواصل صد تا سیصد متر امکان برقراری ارتباط با دیگر وسایل نقلیه را دارند، تمام خودروها در شبکه به‌عنوان یک گره درنظر گرفته شده‌است[۱۵، ۲۰]. این ارتباط باعث برقراری امنیت و با ارسال پیام‌های داده‌ای ازجمله میزان ترافیک جاده‌ها، ارتباطات نظیربه‌نظیر باعث افزایش بازدهی جاده‌ها می‌شود. هر اتصال در شبکه‌های بین‌خودرویی وابسته به فرکانس رادیویی است، و گره‌ها برای برقراری ارتباط باید در یک راستا قرارگیرند[۲۱].

شبکه‌های بین‌خودرویی دارای سه جزء اصلی تجهیزات سخت‌افزاری، کنارجاده‌ای و نرم‌افزاری هستند. درون هر خودرو

[1] RSU
[2] Trust
[3] DHT

واحد سخت‌افزاری به‌نام OBU[1] وجود دارد که خود دارای قسمت‌های مختلف اعم از واحد ورودی و خروجی جهت دریافت اطلاعات از کاربران، واحد پردازش، واحد ارتباط سیار، واسط ارتباطی با واحد الکترونیک خودرو و زیرساخت ارتباط با سامانه‌هایی همچون مکان‌یابی است[۲۰]؛



(شکل -۱) نمایش کلی از یک شبکهٔ بین‌خودرویی
(figure-1): Inter-Vehicle Network

درواقع OBUها فراهم‌کنندهٔ سرویس‌ها هستند که برای فراهم‌کردن نرم‌افزارهای مورد نیاز خود از AU[2]ها استفاده می‌کنند[۲۲]. درکنار تجهیزات سخت‌افزاری که بر روی خودروها نصب می‌شوند، واحد سخت‌افزاری کنارجاده‌ای RSU نیز وجود دارد که در مکان‌هایی همچون تقاطع و یا نزدیک مکان‌های عمومی مثل پارکینگ‌ها قرارگرفته‌اند، این واحد در زیرساخت شبکه و همچنین دارای یک دستگاه شبکه جهت برقراری ارتباط کوتاه برد مبتنی‌بر IEEE۸۰۲.۱۱P است[۱۱]. برقراری ارتباط در شبکه‌های بین‌خودرویی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

- دستهٔ نخست، خودرو به خودرو: این نوع ارتباط از طریق یک کانال ارتباطی مستقیم جهت تبادل اطلاعات بین دو گره برقرار می‌شود. اطلاعات ارسالی شامل ترافیک موجود در مسیر، تصادف و سایر موارد است.
- دستهٔ دوم، خودرو به زیرساخت: منظور از این ارتباط، همان تبادل اطلاعات بین خودرو و واحدهای RSU است، RSUها اطلاعات خودروها را تأمین می‌کنند.
- دستهٔ سوم، ترکیبی: این نوع ارتباط شامل دو نوع ارتباط فوق است، ارتباط در این روش هم به‌صورت مستقیم و هم غیرمستقیم صورت می‌گیرد[۲۰].

۲-۲-زنجیرهٔ قالبی

معماری موجود در بین شبکه‌های رایانه‌ای را می‌توان به دو صورت متمرکز و توزیع‌شده دسته‌بندی کرد، معماری متمرکز قدمت و شهرت بالایی دارد و از یک پایگاه داده برای ذخیره‌سازی اطلاعات موجود در شبکه نیز استفاده می‌کند؛ درمقابل خطر این مدل نسبت به مدل توزیع‌شده بیشتر است؛ زیرا با حمله به پایگاه‌داده شبکه منحل می‌شود؛ بنابراین با گذشت زمان شبکه‌ها باتوجه به معماری توزیع‌شده ساخته شده‌اند[۲۳, ۲۴]. زنجیرهٔ قالبی یک نمونه از شبکهٔ توزیع‌شده است، که هر گره پایگاه داده کل شبکه را در خود ذخیره کرده‌است و ارتباط بین آن‌ها به‌صورت p2p است[۲۵]؛ در واقع زنجیرهٔ قالبی یک دفترکل توزیع‌شده[3]یا همان پایگاه‌دادهٔ توزیع‌شده است که تراکنش‌های صورت‌گرفته در آن به‌وسیلهٔ تمامی گره‌ها بررسی می‌شود و ذخیرهٔ آن باتوجه به نظر اجماعی از گره‌ها صورت می‌گیرد[۲۶]. یک معماری شش‌لایه برای زنجیرهٔ قالبی ارائه شده که هر لایه وظایفی دارد، لایهٔ داده وظیفهٔ ایجاد بلاک، رمزگذاری، تابع درهم‌سازی و برچسب زمانی، لایهٔ شبکه وظیفهٔ انتشار اطلاعات در شبکه و تأیید اعتبارداده‌ها، لایهٔ اجماع وظیفه اجرای الگوریتم‌های اجماع که دارای الگوریتم‌هایی جهت رسیدن به یک توافق کلی بر روی یک بلاک و در شبکه‌هایی که گره‌های غیرقابل اعتماد نیز در آن وجود دارد است. لایهٔ انگیزه وظیفهٔ تعیین سازوکارهای توزیع، لایهٔ قرارداد شامل قوانین، الگوریتم‌ها و قراردادهای هوشمند قابل برنامه‌ریزی است و لایهٔ کاربرد وظیفهٔ سناریوهای مختلف برنامه‌های کاربردی را برعهده دارد[۲۷]. باتوجه به مفاهیم ارائه‌شده، لایهٔ اجماع و داده دو لایهٔ مهم در این فناوری محسوب می‌شوند[۲۳, ۲۸]؛ چرا که وظیفهٔ تأیید تراکنش‌ها و ایجاد اعتماد در لایهٔ اجماع مورد بررسی قرارمی‌گیرد. هر گره برای انجام فعالیت خود اطلاعات مورد نیاز خود را در یک تراکنش ثبت می‌کند و آن را با کلید خصوصی خود رمز و به‌عنوان یک تراکنش آن را برای شبکهٔ زنجیرهٔ قالبی ارسال می‌کند[۱۷]. تمامی تراکنش‌ها در شبکهٔ زنجیرهٔ قالبی منتشر می‌شود و گره‌های اعتبارسنج وظیفهٔ بررسی اعتبار تراکنش‌ها و ایجاد بلاک را برعهده دارند؛ درنتیجه تراکنش‌ها درون بلاک ذخیره و با استفاده از تابع درهم‌سازی که با مقدار درهم‌سازی بلاک پیشین ترکیب شده‌است رمز می‌شوند؛ باتوجه به این فرایند اگر گرهی قصد تغییر اطلاعات در هر بلوک را داشته باشد به‌سرعت قابل شناسایی است[۲۹]. هر بلاک در زنجیرهٔ قالبی شامل اطلاعاتی ازجمله؛ نسخهٔ بلاک[4] برای نمایش قوانین مورداستفاده در اعتبارسنجی، درخت مرکل که مقدار درهم‌سازی تمام تراکنش‌های موجود در یک بلاک را مشخص می‌کند، برچسب زمانی[5] نشان‌دهندهٔ زمان کنونی یک بلاک، فیلد N Bit که نشان‌دهندهٔ حد آستانهٔ هدف برای یک درهم‌سازی و سختی شبکه است، فیلد Nonce یک فیلد چهار بیتی که با صفر شروع و نسبت به سختی شبکه مقدار متفاوتی خواهد داشت. مقدار درهم‌سازی بلاک والد مقدار درهم‌سازی‌شده ۲۵۶ بیتی که به بلاک پیشین اشاره دارد[۳۰]، است

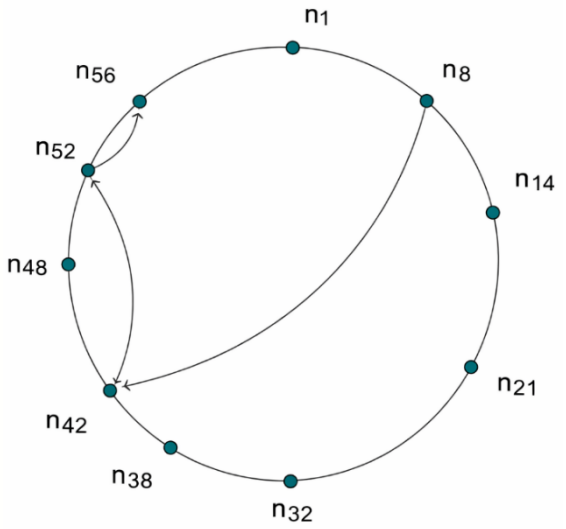
[1] On-Board Unit
[2] Application Unit
[3] Distributed Ledger
[4] Block version
[5] Time stamp

۲-۳- منطق فازی

منطق فازی اشاره به نمایش مفاهیم مبهم با یک درجه درستی و نادرستی دارد. گزاره‌های مورداستفاده در منطق فازی به‌طور کامل درست و یا نادرست نیستند، بلکه دارای درجهٔ درستی و نادرستی هستند[۳۱]؛ برای مثال اگر یک گزاره درست باشد برای آن مقدار یک و اگر نادرست باشد مقدار صفر لحاظ می‌شود؛ درنتیجه میزان صحت یا نادرستی یک گزاره همواره بین صفر تا یک است[۳۲]. در تئوری فازی به‌جای استفاده از اعداد، متغیرهای زبانی[1] کاربرد دارند[۳۳]؛ درواقع یک مجموعهٔ فازی شامل اعضایی است که با یک درجه عضویت نسبی به مجموعه متعلق‌اند[۳۴]. منطق فازی دارای چهار بخش قوانین پایه است که این بخش مسئولیت کنترل تصمیم‌های یک سامانه را بر اساس یک سری قاعده، مبتنی‌بر اگر و آن‌گاه دارد. روند فازی‌سازی، شامل اطلاعاتی است که باید مورد پردازش قرار گیرند و به اعداد فازی تبدیل شوند. واحد استنتاج که دارای سامانه‌های متعددی، ازجمله سامانهٔ ممدانی[2] که بیشتر برای پشتیبانی از تصمیم‌ها و تفسیرهای قوانین استفاده می‌شوند، سوگنو[3] که در سامانه‌های کنترلی و سامانه‌هایی که نیازمند محاسبات ریاضی هستند، اشاره کرد و روند غیرفازی آخرین مرحله از فازی‌سازی است، که تمام اطلاعات فازی به اطلاعات عددی و کمی تبدیل می‌شود[۳۴]. استفاده از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت در داده‌ها در مطالعات مختلف مورد توجه قرار گرفته است؛ بهرای مثال، در یک پژوهش منتشرشده در نشریهٔ پردازش علائم و داده‌ها، روشی برای تعیین توابع عضویت فازی بر اساس ویژگی‌های آماری داده‌ها ارائه شده‌است که نشان می‌دهد بهره‌گیری از این توابع می‌تواند دقت تصمیم‌گیری را در محیط‌های دارای عدم قطعیت و داده‌های نوفه‌ای به‌طور قابل توجهی بهبود دهد[۵۱]. این ویژگی، استفاده از منطق فازی را به گزینه‌ای مناسب برای ارزیابی اعتماد و اعتبار پیام‌ها در شبکه‌های *VANET* تبدیل می‌کند.

۲-۴-ساختار Chord

الگوریتم Chord یک الگوریتم هش توزیع‌شدهٔ غیرمتمرکز برای اتصال نودها در یک شبکهٔ نظیربه‌نظیر است. این الگوریتم به‌طور یک‌نواخت یک کلید را به یک نود نگاشت می‌کند. کلیدها و نودها هرکدام داری یک شناسهٔ m بیتی هستند[۳۵]. نودها به‌صورت یک حلقهٔ منطقی سازمان‌دهی می‌شوند و هر نود دارای یک مجموعه از اشاره‌گرها به نودهای همسایهٔ خود است که در یک فضای لگاریتمی در اطراف حلقه قرارمی‌گیرند؛ همچنین هر نود یک پیوند به نود بعدی و پیشین خود دارد. جدول مسیریابی Chord که در اصطلاح جدول بندانگشتی[4] نام دارد، برای هر نود جداگانه ساخته می‌شود و هر نود را قادر به دسترسی به سایر نودهای دورتر در حلقه با پیمایش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌سازد[۳۶]. موقعیت هر نود در حلقه از صفر تا 2^{m-1} شماره‌گذاری و کلید k به Successor(k) انتصاب داده می‌شود و نودی است که شناسهٔ آن برابر یا دنباله‌رو شناسهٔ k است. اگر در شبکهٔ N نود و k کلید وجود داشته باشد، هر نود مسئول k/N کلید خواهد بود. شکل (۲) نمونه‌ای از حلقهٔ Chord را نمایش می‌دهد[۳۷].



(شکل- ۲): حلقه‌ای از ساختار Chord
(Figure-2): Cord structure

در حالت پایدار، هر نود شرکت‌کننده در شبکه Chord، اطلاعاتی در حدود O(logN) در مورد نودهای دیگر را نگهداری می‌کند و همچنین عمل جست‌وجو را از طریق O(log N) پیام انجام می‌دهد. با ورود نودها به شبکه و یا جدایی آن‌ها از شبکه، الگوریتم Chord تضمین می‌کند که جست‌وجوی هر داده در مرتبه‌ای کمتر از $O(\log^2 N)$ انجام می‌شود[۳۸].

۳-بررسی کارهای پیشین

در [۳۹] یک سامانهٔ مدیریت اعتماد مبتنی‌بر فناوری زنجیرهٔ قالبی برای شبکه‌های بین‌خودرویی پیشنهاد شده‌است. در این سامانه وسایل نقلیه در شبکه ابتدا اطلاعات پیرامون خود را جمع‌آوری و سپس اطلاعات معتبر را در RSUهای مجاور آپلود می‌کنند. برای جلوگیری از بارگذاری پیام‌های نادرست به‌وسیلهٔ وسایل نقلیهٔ مخرب، این مقاله یک مدل راستی‌آزمایی مبتنی‌بر یادگیری عمیق را طراحی کرده تا قابلیت اعتماد پیام‌های بارگذاری‌شده را محاسبه و امتیازات اعتبار خودروها را با استفاده از نتایج محاسبه‌شده به‌دست آورد و بر این اساس خودروهای مخرب را شناسایی کند؛ علاوه‌بر این، یک چهارچوب زنجیرهٔ قالبی عمومی با الگوریتم اجماع اثبات اعتماد[5] پیشنهاد کرد. در این طرح برای وسایل نقلیه با گزارش

[1] Linguistic Variables
[2] Mamdani
[3] Sugeno
[4] Finger table
[5] POT

اطلاعات معتبر پاداش و برای اطلاعات نامعتبر جریمه درنظر گرفته شده‌است. در [۴۰] یک طرح جدید برای اشتراک‌گذاری امن داده‌های ترافیکی با ادغام زنجیرهٔ قالبی و الگوریتم امضای قابل ردیابی برای ایمن‌سازی پیام‌های ارسالی ارائه شد. این طرح از قرارداد هوشمند برای ردیابی وسایل نقلیهٔ غیرقانونی و بازگرداندن نتایج به مقامات مورد اعتماد استفاده می‌کند. مقامات مورد اعتماد منبع پیام امضا را نگه می‌دارد و مجازات‌ها را تعیین می‌کند.

مقالهٔ [۴۱] یک سامانهٔ شهرت غیرمتمرکز را بر اساس یک کنسرسیوم زنجیرهٔ قالبی و قراردادهای هوشمند به‌نام BRS4 VANETs توصیف می‌کند. این سامانه قابلیت اطمینان داده‌های تولیدشده به‌وسیلهٔ یک وسیلهٔ نقلیه را تجزیه‌وتحلیل، رفتارهای مخرب را شناسایی و به تصمیم‌گیری کمک می‌کند. در [۴۲] پژوهش‌گران برای حفظ حریم خصوصی مکان، در شبکه‌های خودرویی هوشمند یک مدل مدیریت اعتماد ارائه کرده‌اند که مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی است. در این طرح وسایل نقلیه می‌توانند برای درخواست LBS بدون افشای هیچ‌گونه اطلاعات شخصی از گواهی استفاده کنند. به‌منظور تضمین حریم خصوصی و امنیت وسایل نقلیه، یک منطقهٔ ناشناس نیز ایجاد کرده‌اند. در [۴۳] پژوهش‌گران یک سازوکار خوشه‌بندی را پیشنهاد می‌کنند که امنیت را فراهم و کیفیت را پس از فرمول‌بندی خوشه بر اساس مؤلفه‌های ازپیش تعریف‌شده حفظ می‌کند. برای رسیدگی به حملات احتمالی در محیط VANET، سازوکار پیشنهادی از زنجیرهٔ قالبی برای رمزگذاری محاسبات از مؤلفه‌های اعتماد استفاده می‌کند. درجهٔ اعتماد خاصی از یک وسیلهٔ نقلیه به‌وسیلهٔ ایستگاه پایه ارزیابی می‌شود، این فرایند با رویکرد زنجیرهٔ قالبی رمزگذاری و برای استفادهٔ بیشتر به واحدهای کنار جاده‌ای منتقل می‌شود.

در [۴۴] پژوهش‌گران یک طرح احراز هویت امن را پیشنهاد کرده‌اند که به وسایل نقلیه اجازه می‌دهد تا پیام‌های ناشناس را به RSU ارسال و حریم خصوصی را حفظ کند، در این مقاله مدلی از مدیریت اعتماد پیشنهاد شده‌است که RSU می‌تواند قابل اعتمادبودن گره‌های خودرو و داده‌های ترافیک را تأیید کند؛ بنابراین، طرح اعتماد به RSU اجازه می‌دهد تا وسایل نقلیهٔ مخرب ارسال‌کنندهٔ اطلاعات نادرست را شناسایی، گزارش‌های دریافتی از وسایل نقلیه را ارزیابی و فقط رویدادهای واقعی را پخش کند.

در [۴۵] یک چهارچوب مدیریت اعتماد مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی پیشنهاد شده‌است. هدف آن محاسبهٔ معیار اعتماد جهانی و ذخیره‌کردن در زنجیرهٔ قالبی برای هر وسیلهٔ نقلیه است. مدل پیشنهادی این مقاله بر اساس سه مرحلهٔ ارزیابی معیارهای اعتماد، تجمیع معیارهای اعتماد، تولید و اعتبارسنجی بلوک‌ها ساخته شده‌است. هر وسیلهٔ نقلیه معیار اعتماد همسایگان خود را بر اساس پیام‌های دریافتی، ارزیابی می‌کند؛ سپس ماینرها معیارهای اعتماد دریافتی از وسایل نقلیهٔ دیگر را جمع‌آوری کرده تا یک معیار اعتماد جمعی برای هر وسیلهٔ نقلیه را محاسبه کنند. معیار اعتماد جمع‌آوری‌شده در یک بلوک امضاشده به‌وسیلهٔ ماینر بسته‌بندی؛ درنتیجه پس از حل POW به زنجیرهٔ قالبی اضافه می‌شود. با این مشکل شروع سرد نیز حل خواهد شد. در [۴۶] پژوهش‌گران زنجیرهٔ‌های قالبی مختلفی را برای احراز هویت، ذخیرهٔ مقادیر اعتماد و پیام رویدادهای تأییدشده، طراحی کرده‌اند. طرح مدیریت اعتماد پیشنهادی، ارزش کل اعتماد یک وسیلهٔ نقلیه را با استفاده از تجربیات مستقیم و اطلاعات غیرمستقیم در مورد فرستندگان محاسبه می‌کند. این روش به شناسایی وسایل نقلیهٔ مخرب و پیام‌های جعلی که تولید شده‌است، کمک می‌کند. در [۱۷] یک چهارچوب زنجیرهٔ قالبی بیومتریک برای ایمن‌سازی اشتراک داده‌ها در بین وسایل نقلیه در VANET و حفظ داده‌های مجسمه‌ای در یک سامانه معمولی و قابل اعتماد طراحی شده‌است. در چهارچوب پیشنهادی، اطلاعات بیومتریک برای حفظ سابقهٔ هویت واقعی فرستندهٔ پیام، درنتیجه حفظ حریم خصوصی و ارائهٔ ناشناس‌بودن مشروط استفاده می‌شود. رویکرد پیشنهادی امنیت و اعتماد را در بین وسایل نقلیه در VANET و همچنین قابلیت ردیابی هویت در صورت لزوم را فراهم می‌کند. در پژوهش [۱۹] مدلی مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای شبکه‌های بین‌خودرویی به‌منظور افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اعتماد ارائه شد، در این مدل برای محاسبهٔ اعتماد از قوانین بیزین و برای ذخیره‌سازی پیام‌ها از ساختار توزیع‌شده زنجیرهٔ قالبی استفاده شده‌است؛ این پژوهش باعث افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اعتماد در یک شبکهٔ بین‌خودرویی شد، اما ضعف این مقاله بی‌توجهی به سازش RSUها برای تعیین مقدار اعتماد است؛ لذا باتوجه به بررسی‌هایی که انجام شد، در این پژوهش تلاش شد تا راه‌کاری با هدف افزایش قابلیت اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی با بهره‌گیری از استنتاج فازی جهت محاسبهٔ اعتماد مستقیم و غیرمستقیم و ساختار کورد جهت برقرارنشدن سازش بین RSUها ارائه شود. در سال ۲۰۲۵ مقالهٔ [۴۷] ارائه شد که هدف آن ترکیب قابلیت‌های شفاف و تغییرناپذیری زنجیرهٔ قالبی با قدرت پیش‌بینی مدل‌های یادگیری ماشین بود تا یک چهارچوب پویا برای مدیریت اعتماد در VANET به‌دست آورد، در این پژوهش رفتار خودروها شامل مؤلفه‌هایی مانند تأخیر پیام، کیفیت ارسال و صحت اطلاعات به‌وسیلهٔ مدل ML مورد بررسی نیز قرار گرفت. مقالهٔ [۴۸] یک سامانه مدیریت اعتماد نوآورانه با نام **TrCoin**را برای شبکه‌های بین‌خودرویی معرفی می‌کند. TrCoin با بهره‌گیری از فناوری زنجیرهٔ قالبی و یک ارز

(جدول-۱) مقایسهٔ کارهای پیشین پژوهش‌گران

(Table-1): Comparison of previous works of researchers

مقاله	عنوان	نکات کلیدی	ویژگی	محدودیت	نوآوری نسبت به پژوهش
۳۹	سامانه مدیریت اعتماد مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای شبکه‌های بین‌خودرویی	جمع‌آوری اطلاعات به‌وسیلهٔ وسایل نقلیه و بارگذاری به RSUها، مدل راستی‌آزمایی مبتنی‌بر یادگیری عمیق	شناسایی خودروهای مخرب، سامانه پاداش و جریمه	نیاز به داده‌های معتبر برای عملکرد بهینه	استفاده از یادگیری عمیق برای ارزیابی اعتماد، فاقد سامانه فازی و ساختار کمیته‌ای RSU برای اجماع سریع
۴۰	اشتراک‌گذاری امن داده‌های ترافیکی	ادغام زنجیرهٔ قالبی و الگوریتم امضای قابل ردیابی	استفاده از قرارداد هوشمند برای ردیابی وسایل نقلیهٔ غیرقانونی	وابستگی به مقامات مورد اعتماد برای تعیین مجازات	تمرکز بر ردیابی خودروها، فاقد تعامل فازی بین گره‌ها و ساختار Chord برای بهبود امنیت و مقیاس‌پذیری
۴۱	سامانه شهرت غیرمتمرکز (BRS4 VANETs)	تجزیه‌وتحلیل قابلیت اطمینان داده‌ها و شناسایی رفتارهای مخرب	استفاده از کنسرسیوم زنجیرهٔ قالبی و قراردادهای هوشمند	محدودیت در مقیاس‌پذیری و نیاز به همکاری بین وسایل نقلیه	مدیریت اعتماد غیرمتمرکز، اما فاقد سامانه فازی و کمیته‌های RSU برای کاهش خطا و افزایش اعتماد
۴۲	مدل مدیریت اعتماد برای حفظ حریم خصوصی مکان	درخواست LBS بدون افشای اطلاعات شخصی	ایجاد منطقهٔ ناشناس برای وسایل نقلیه	پیچیدگی در پیاده‌سازی و مدیریت حریم خصوصی	تمرکز بر حفظ حریم مکان، بدون بهره‌گیری از سامانه فازی و اجماع مبتنی‌بر کمیتهٔ RSU
۴۳	سازوکار خوشه‌بندی برای امنیت در VANET	فرمول‌بندی خوشه بر اساس مؤلفه‌های ازپیش تعریف‌شده	استفاده از زنجیرهٔ قالبی برای رمزگذاری محاسبات	ممکن است در برابر حملات پیشرفته آسیب‌پذیر باشد	استفاده از خوشه‌بندی، اما فاقد استنتاج فازی و الگوریتم Chord برای کاهش تأخیر و بهبود امنیت
۴۴	طرح احراز هویت امن برای وسایل نقلیه	ارسال پیام‌های ناشناس به RSU	ارزیابی قابل اعتمادبودن گره‌های خودرو	چالش‌های مربوط به مدیریت هویت و ناشناسی	تمرکز بر ناشناسی، اما فاقد سامانه فازی و کمیته‌های RSU برای اجماع و افزایش اعتماد شبکه
۴۵	چهارچوب مدیریت اعتماد مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی	محاسبهٔ معیار اعتماد جهانی و ذخیره در زنجیرهٔ قالبی	ارزیابی اعتماد همسایگان و جمع‌آوری داده‌ها	نیاز به فرآیندهای محاسباتی سنگین	ثبت اعتماد در زنجیرهٔ قالبی، اما فاقد سامانه فازی و ساختار Chord برای کاهش پیچیدگی و زمان پردازش
۴۶	طراحی زنجیرهٔ‌های قالبی مختلف برای احراز هویت	محاسبهٔ ارزش کل اعتماد یک وسیلهٔ نقلیه	شناسایی وسایل نقلیه مخرب و پیام‌های جعلی	نیاز به تجربیات مستقیم و اطلاعات غیرمستقیم	تمرکز بر احراز هویت، فاقد ارزیابی اعتماد غیرمستقیم با منطق فازی و کمیته‌های RSU
۱۷	چهارچوب زنجیرهٔ قالبی بیومتریک	استفاده از اطلاعات بیومتریک برای حفظ هویت	امنیت و اعتماد در VANET	نیاز به زیرساخت‌های بیومتریک و چالش‌های حریم خصوصی	استفاده از بیومتریک برای امنیت، اما فاقد تعاملات فازی و ساختار Chord برای بهبود اجماع
۱۹	مدل مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای افزایش مقیاس‌پذیری	استفاده از قوانین بیزین برای محاسبهٔ اعتماد	افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اعتماد	نداشتن توجه به سازش RSUها در تعیین مقدار اعتماد	افزایش مقیاس‌پذیری، اما بدون سامانه فازی و کمیته‌های RSU برای اجماع امن
۴۷	چهارچوب یادگیری ماشین مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای	استفاده از الگوریتم ML برای ایجاد نمرهٔ	دقت بالا، انعطاف‌پذیری بالا در مواجهه با	نبود شفافیت در نحوهٔ مقابله با حملات	استفاده از ML و زنجیرهٔ قالبی، اما فاقد ساختار

مقاله	عنوان	نکات کلیدی	ویژگی	محدودیت	نوآوری نسبت به پژوهش
	مدیریت اعتماد در شبکه‌های بین خودرویی	اعتماد و استفاده از زنجیرهٔ قالبی برای ثبت نمرات اعتماد	رفتارهای جدید، مقیاس‌پذیری مناسب	نوظهور، ترکیب ML و زنجیرهٔ قالبی کارایی بالایی اما باید بررسی شود آیا در شرایط واقعی نیز قابل قبول است.	Chord و کمیته‌های RSU برای کاهش پیچیدگی و تأخیر
۴۸	یک سامانه مدیریت اعتماد قوی مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای VANET (TrCoin) (۲۰۲۵)	استفاده از زنجیرهٔ قالبی برای ثبت پیام‌ها و اعتمادسازی، ترکیب ارز داخلی و سیاست پاداش و تنبیه	انعطاف‌پذیری بالا در مواجهه با حملات Sybil و نشر اطلاعات کاذب	استفاده از زنجیرهٔ قالبی باعث افزایش تأخیر و هزینهٔ محاسباتی در شرایط بلادرنگ می‌شود، بی‌توجهی به همکاری چند نود برای خراب‌کاری	مقابله با حملات Sybil، اما فاقد سامانه فازی و Chord برای اجماع سریع و کاهش سربار محاسباتی
۴۹	انتخاب نقطهٔ دسترسی سیار چند مسیره مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای VANETهای امن G۵ [۴۹]	ادغام زنجیرهٔ قالبی و انتخاب چند مسیری multi-path MAP selection	افزایش اعتماد بدون سرور مرکزی به‌علت استفاده از زنجیرهٔ قالبی، امکان گسترش برای شبکه‌های آینده‌نگر	هزینهٔ بالای پردازش در محیط‌های واقعی، تحلیل امنیتی محدود به حملهٔ sybil و نداشتن تمرکز بر روی سایر حملات	قابلیت multi-path برای اعتماد، اما فاقد سامانه فازی و کمیتهٔ RSU برای بهبود اجماع
۵۰	چهارچوب مدیریت اعتماد برای شبکه‌های موردی وسایل نقلیه [۵۰]	بهره‌گیری از دستگاه‌های ضد خراب‌کاری TPD	ارسال‌نکردن مداوم امتیاز اعتماد در پیام‌ها، کاهش بار شبکه، افزایش امنیت با ارزیابی قوی و سریع در مبدأ و TPDبه‌وسیلهٔ تصمیم‌گیری هوشمند RSUبه‌وسیلهٔ	وابستگی به سخت‌افزار خاص (TPD)	کاهش سربار شبکه با TPD، اما فاقد سامانه فازی و Chord برای اجماع امن و مدیریت تراکنش‌ها

رقمی داخلی، سازوکاری برای ارزیابی اعتماد پیام‌ها در شبکه فراهم می‌سازد. سامانه پیشنهادی توانایی تشخیص اطلاعات نادرست را دارد و با اعمال سیاست‌های پاداش و تنبیه، رفتار نودها را بهبود می‌بخشد. مقالهٔ [۴۹] یک راه‌کار مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی برای انتخاب چندگانه و ایمن MAP[1] در شبکه‌های خودرویی مبتنی‌بر G۵ ارائه می‌دهد. به‌جای انتخاب یک مسیر یا نقطهٔ دسترسی، سامانه به‌صورت multi-path و پویا عمل می‌کند و چند مسیر مطمئن را برای ارتباطات در VANET انتخاب می‌کند. هدف مقاله افزایش امنیت و کاهش تأخیر در دسترسی خودروها به منابع شبکه (برای مثال سرورها یا RSUها)، به‌ویژه در برابر حملات Sybil و دیگر تهدیدهای رایج در VANET است. مقالهٔ [۵۰] به مدیریت اعتماد در شبکه‌های متحرک خودرو با ارائهٔ یک چهارچوب اعتماد مبتنی‌بر محل تولید پیام پرداخته است، با توجه به کنترل اعتماد در مبدأ پیام، به‌علت ارسال‌نشدن مداوم امتیاز اعتمادها کاهش سربار شبکه وجود دارد. در برخی مطالعات، ترکیب روش‌های یادگیری ماشین و منطق فازی برای تحلیل داده‌های پیچیده مورد استفاده قرار گرفته است؛ برای مثال، در [۵۲] یک مدل عصبی-فازی برای پیش‌بینی داده‌ها ارائه شده‌است که دقت بالایی در محیط‌های پویا نشان می‌دهد. در ادامه یک جدول از کارهای پیشین مورد مطالعه در طی سال‌های اخیر ارائه شده‌است.

۴- روش پیشنهادی

پس از بررسی چالش‌های اصلی شبکه‌های بین‌خودرویی شامل اعتماد، امنیت و مقیاس‌پذیری، روش پیشنهادی این پژوهش ارائه می‌شود؛ در این روش، با درنظرگرفتن فرض‌هایی نظیر تجهیز تمامی گره‌های شبکه به فرستنده و گیرندهٔ بی‌سیم، اختصاص شناسه[2] و شمارنده به رخدادهای شبکه و نیز تجهیز گره‌ها به GPS برای

[1] Mobile Access Point

[2] ID

موقعیت‌یابی و شناسایی همسایگان، عملکرد سامانه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

هر گره با دریافت اطلاعات از همسایگان خود، فهرست به‌روزشده‌ای از گره‌های همسایه نگه‌داری می‌کند؛ درصورتی‌که گرهی در بازه زمانی مشخص، پیامی از همسایگان خود دریافت نکند، از محدودهٔ ارتباطی آن‌ها حذف می‌شود.

مبنای اصلی تصمیم‌گیری در این شبکه، اطلاعات دریافتی از گره‌های همسایه است. در طرح پیشنهادی، هر وسیلهٔ نقلیه در صورت مشاهدهٔ یک رخداد در محدودهٔ دید خود، پیامی شامل شناسهٔ رخداد و موقعیت جغرافیایی آن را به‌صورت همه‌پخشی به سایر وسایل نقلیه ارسال می‌کند؛ از آنجا که چند وسیلهٔ نقلیه ممکن است رخداد مشابهی را گزارش دهند، گرهٔ دریافت‌کننده برای اعتبارسنجی رخداد، از ایستگاه کنار جاده میزان اعتماد گره فرستنده را درخواست می‌کند؛ سپس، هر گره میزان اعتماد محاسبه‌شدهٔ خود را برای RSU ارسال می‌کند تا در پایگاه داده اعتماد ثبت شود.

در ادامه، برای به‌روزرسانی اطلاعات در شبکه، گره‌ها پیام معتبر را برای سایر وسایل نقلیه در شعاع ارتباطی خود ارسال می‌کنند؛ در صورتی‌که رخدادی با شناسهٔ خاص پیش‌تر به‌وسیلهٔ یک گره گزارش شده باشد، پیام مشابه تحت عنوان «پایش اولیه» مجدد منتشر نمی‌شود. این سازوکار علاوه‌بر کاهش حجم داده‌های تکراری، موجب کنترل کهنگی پیام‌ها و جلوگیری از انتشار داده‌های قدیمی می‌شود.

به‌دلیل حجم بالای اطلاعات و محدودیت زمانی در محیط‌های بین‌خودرویی، استفاده از الگوریتم‌های اجماع سنتی مانند PoW یا PoS کارایی کافی ندارد؛ ازاین‌رو در ساختار پیشنهادی، فرآیند ماینینگ حذف و ساختار حلقوی Chord جایگزین آن شده‌است تا سرعت تأیید تراکنش‌ها افزایش یابد؛ همچنین، به‌منظور تسریع فرآیند اجماع، گروه‌های ارزیاب در سطح RSU تشکیل می‌شوند که وظیفهٔ آن‌ها بررسی و تأیید تراکنش‌های دریافتی و ارسال نهایی آن‌ها به زنجیرهٔ بلوکی است.

درمجموع، سامانه مدیریت اعتماد مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی پیشنهادی شامل مراحل زیر است:

۱.امتیازدهی به پیام‌ها و ارسال نتایج به RSU

۲.محاسبهٔ میزان اعتماد خالص و کل توسط RSU

۳.تشکیل گروه‌های ارزیاب در سطح RSUها

۴.اعتبارسنجی نهایی و ذخیره‌سازی در زنجیرهٔ بلوکی

شکل (۳) نمودار جعبه‌ای کلی این فرآیند را نشان می‌دهد، که در آن ارتباط میان گره‌های وسایل نقلیه، RSUها و زنجیرهٔ قالبی به تفکیک مرحله نمایش داده شده‌است.

(شکل- ۳) نمودار جعبه‌ای روش پیشنهادی
(figure-3): Block diagram of the proposed method

•گره‌های وسایل نقلیه[1]: این مؤلفه مسئول مشاهدهٔ رخدادها در شعاع دید خود، ارسال پیام‌های همه‌پخشی به دیگر وسایل نقلیه و محاسبهٔ اعتماد به فرستندهٔ پیام است؛ همچنین پیام‌های معتبر دریافت‌شده را پردازش کرده و درصورت نیاز به‌روزرسانی به RSU ارسال می‌کند.

•RSU: نقش پایگاه دادهٔ اعتماد و مدیریت تراکنش‌ها را ایفا، گزارش‌های اعتماد از وسایل نقلیه را دریافت، اعتماد خالص و کل را محاسبه و گروه‌های ارزیاب را برای اعتبارسنجی نهایی تراکنش‌ها سازماندهی می‌کنند.

•گروه‌های ارزیاب[2]: این گروه‌ها مسئول بررسی تراکنش‌های دریافتی، اعتبارسنجی آن‌ها و ارسال نتایج به زنجیرهٔ قالبی هستند تا فرآیند اجماع سریع و امن انجام شود.

•زنجیرهٔ قالبی[3]: ذخیره‌سازی تراکنش‌های تأییدشده، تضمین تغییرنکردن اطلاعات و ثبت نهایی اعتبار رخدادها.

•مسیر جریان داده: نشان‌دهندهٔ مسیر انتقال اطلاعات از وسیلهٔ نقلیه به RSU؛ سپس به گروه ارزیاب و درنهایت ثبت در زنجیرهٔ قالبی است، که مراحل مشاهده، ارسال، اعتبارسنجی و ذخیره‌سازی را به‌وضوح مشخص می‌کند.

در این شکل مسیر جریان داده، نحوهٔ تبادل پیام‌های اعتماد و ساختار گروه‌های ارزیاب مشخص شده‌است تا درک سازوکار سامانه برای خوانندگان آسان‌تر شود.

۴-۱- امتیازدهی به پیام‌های دریافت‌شده و ارسال به RSU

فرآیند امتیازدهی پیام‌ها بر مبنای رفتار و موقعیت وسایل نقلیه در محیط شبکهٔ بین‌خودرویی انجام می‌شود. هر وسیلهٔ نقلیه، درصورت مشاهدهٔ رخدادی خاص در مسیر خود، آن را به‌صورت پیام همگانی برای وسایل نقلیهٔ اطراف ارسال می‌کند.

هر پیام ارسالی به‌صورت چندتایی (v_s, LL, e, m) تعریف می‌شود که در آن:

• v_s شناسهٔ فرستندهٔ پیام

• LL مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) محل رخداد

• e نوع رخداد (مانند تصادف، انسداد مسیر یا تغییر شرایط جوی)

• m شناسه یکتای پیام که ترکیبی از نوع رخداد، موقعیت و زمان وقوع است

به‌طور طبیعی، پیام‌هایی که از وسایل نقلیهٔ نزدیک‌تر به محل حادثه ارسال می‌شوند، معتبرتر از پیام‌های دریافتی از وسایل نقلیهٔ دورتر هستند. برای ارزیابی این اعتبار، گره گیرنده با استفاده از معادلهٔ (۱) مقدار اعتماد C_s پیام را نسبت به فرستندهٔ v_s محاسبه می‌کند.

$$C_s = \frac{2}{1+e^{s(g-(d_s)^{-1})}} - 1 \qquad (۱)$$

در این رابطه:

• C_s میزان اعتماد به پیام ارسال‌شده از گره v_s

• d_s فاصلهٔ بین فرستندهٔ پیام و محل حادثه

• g: نقطهٔ عطف تابع سیگموئید که میزان حساسیت تغییر اعتماد را کنترل می‌کند.

• s: ضریب شیب تابع که شدت کاهش اعتماد با فاصله را تعیین می‌کند.

مؤلفهٔ d_s بر اساس رابطهٔ هندسی زیر محاسبه می‌شود:

$$d_s = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \qquad (۲)$$

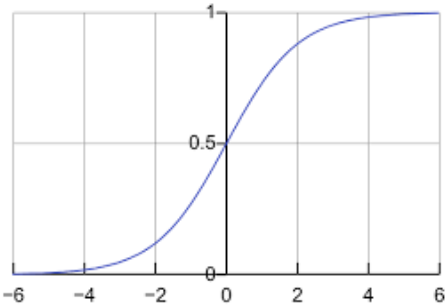
که در آن i نشان‌دهندهٔ موقعیت گره ارسال‌کننده و j نشان‌دهندهٔ مختصات محل حادثه است؛ در صورتی‌که گرهی پیامی ارسال نکند، مقدار $C_s = 0$ در نظر گرفته می‌شود؛ درمقابل، اگر پیام از گرهی با بالاترین میزان اعتبار دریافت شود، Cs= 1 خواهد بود.

تابع به‌کاررفته در معادلهٔ (۱) برگرفته از تابع سیگموئید[4] است که به‌طور گسترده در مدل‌سازی رفتارهای احتمالی و غیرخطی استفاده می‌شود. شکل (۴) نمایی از تابع سیگموئید است، که نقش کاهش اعتماد به پیام‌ها با افزایش فاصلهٔ گره‌ها از رخداد را نشان می‌دهد.

• ورودی تابع، فاصلهٔ بین گره فرستندهٔ پیام و رخداد واقعی است.

•خروجی تابع، وزن تأثیر پیام بر محاسبهٔ اعتماد نهایی را تعیین می‌کند.

• این مکانیزم، مانع از تأثیرگذاری بیش‌ازحد پیام‌های دوردست و نادرست بر اعتماد شبکه می‌شود.



(شکل- ۴): تابع سیگموئید و تغییرات آن با فاصله از محل حادثه
(Figure-4): Sigmoid function

[1] Vehicles/Nodes
[2] Committee Groups
[3] Blockchain
[4] Sigmoid Function

همان‌گونه که در شکل مشخص است، در نواحی نزدیک به محل حادثه (پیش از نقطهٔ عطف g) میزان اعتماد به‌طورتقریبی ثابت و بالا باقی می‌ماند، اما با افزایش فاصله و عبور از نقطهٔ عطف، اعتماد به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد. این رفتار در معادلهٔ (۳) تابع استاندارد سیگموئید نشان داده شده‌است:

$$C_s = \frac{1}{1+e^{-t}} \qquad (۳)$$

که در آن t مؤلفهٔ نرمال‌شده است که بیان‌کنندهٔ فاصلهٔ نسبی و شدت تغییرات اعتماد نسبت به مرکز حادثه است؛ به‌منظور شفاف‌سازی ساختار داده‌ها در فرآیند امتیازدهی، جدول (۲) جزئیات هر زمینهٔ موجود در پیام را نشان می‌دهد.

(جدول -۲) اطلاعات داده‌ها در طرح پیشنهادی

(table-2): Data information in the proposed plan

اطلاعات	توضیحات
v_s	شناسهٔ فرستندهٔ پیام
LL	طول و عرض جغرافیایی حادثه
e	نوع رخداد
m	اطلاعات پیام

این مرحله از سامانه، مبنای اصلی فرآیند مدیریت اعتماد در طرح پیشنهادی است؛ زیرا با استفاده از فاصلهٔ مکانی و ویژگی‌های پیام، اعتبار اولیهٔ پیام‌ها محاسبه و سپس برای تحلیل‌های بعدی به RSU ارسال می‌شود. در گام بعد، RSUها بر اساس مقادیر Cs جمع‌آوری‌شده از وسایل نقلیه، میانگین اعتماد هر گره را محاسبه و برای ذخیره‌سازی در زنجیرهٔ قالبی آماده می‌سازند.

۴-۲-محاسبهٔ اعتماد کل

همان‌گونه که در بخش پیشین بیان شد، هرگره دریافت‌کننده برای ارزیابی اعتبار پیام، از نزدیک‌ترین RSU میزان اعتماد به فرستنده را درخواست می‌کند؛ بنابراین، یکی از مؤلفه‌های اصلی در مدل پیشنهادی، میزان اعتماد گره‌هاست که با نماد Tنمایش داده می‌شود.

محاسبهٔ اعتماد در این پژوهش بر اساس دو نوع تعامل انجام می‌گیرد:

۱. اعتماد مستقیم[1]: زمانی‌که دو گره پیش‌تر با یکدیگر تعامل داشته‌اند،

۲. اعتماد غیرمستقیم[2]: زمانی‌که بین دو گره تعامل مستقیمی وجود ندارد و اعتماد از طریق گره‌های واسط تخمین زده می‌شود.

[1]Direct Trust
[2] UnDirect Trust

اعتماد میان گره‌ها به دو عامل وابسته است:

- وزن داده[3]: که بیان‌کنندهٔ اهمیت نوع پیام ارسالی است.
- زمان تعاملات[4]: که نقش آن در به‌روزرسانی اعتماد پررنگ‌تر است؛ زیرا تعاملات جدیدتر وزن بیشتری نسبت به تعاملات قدیمی دارند.

در شبکه‌های بین‌خودرویی، داده‌ها به سه دستهٔ کلی تقسیم می‌شوند:

- داده‌های تفریحی: مانند پیام‌های تبلیغاتی یا اطلاع‌رسانی عمومی.
- داده‌های کاربردی: شامل هشدارهای ترافیکی و وضعیت جاده.
- داده‌های امنیتی: مربوط به هشدار تصادف و شرایط بحرانی.

هر دسته، وزن مخصوصی دارد که نشان‌دهندهٔ اهمیت پیام در محاسبهٔ اعتماد است. داده‌های امنیتی بالاترین وزن را دارند و داده‌های تفریحی کمترین وزن را دارند. این وزن‌دهی در محاسبهٔ اعتماد مستقیم و غیرمستقیم بین گره‌ها استفاده می‌شود. مقادیر پیش‌فرض این وزن‌ها در شکل(۵) نشان داده شده‌است.

(شکل- ۵) مقدار پیش فرض وزن بسته‌های داده در طرح پیشنهادی

(Figure -5): Default value of data packet weight in the proposed scheme

از آنجا که تعاملات جدیدتر باید اثر بیشتری در اعتماد کلی داشته باشند، از ضریب تضعیف زمانی ρ استفاده می‌شود. این ضریب به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد تا تأثیر تعاملات قدیمی‌تر کم‌تر شود. مقدار وزن تعامل kام از معادلZ (۴) محاسبه می‌شود:

$$f_k = \rho^{n-k} \quad 0 < \rho < 1, 1 \le k \le n \qquad (۴)$$

در رابطهٔ بالا مقدار n تعداد تعاملات بین دو گره، k تعامل جاری و ρ با مقدار بین صفر و یک ضریب تضعیف را نشان می‌دهد.

الف) محاسبهٔ اعتماد مستقیم

اعتماد مستقیم بین دو گره a و b باتوجه به وزن داده و زمان تعاملات از معادلهٔ (۵) محاسبه می‌شود:

$$DT(a,b) = \frac{\sum_{k=1}^{n} Flag(k)(f_k + w_d)}{\sum_{k=1}^{n}(f_k + w_d)} \qquad (۵)$$

[3] Data Weight
[4] Interaction Time

که در آن:

- w_d : وزن نوع داده بر اساس شکل (۵)
- f_k : وزن تعامل k بر اساس زمان
- Flag(k) : نشان‌دهندهٔ نوع رفتار گره b در تعامل kام است؛ به‌طوری که:
- در رفتار نرمال، Flag(k)=1،
- در رفتار مخرب یا غیرقابل اعتماد Flag(k)=0.

به این ترتیب، اعتماد مستقیم در واقع میانگین وزنی از تعاملات موفق گذشته است.

ب) محاسبهٔ اعتماد غیرمستقیم

در صورتی‌که دو گره تاکنون تعاملی نداشته باشند، اعتماد میان آن‌ها با استفاده از توصیه‌ها و مشاهدات گره‌های میانی (همسایه‌های مشترک) محاسبه می‌شود. اعتماد غیرمستقیم از معادلهٔ (۶) به‌دست می‌آید:

$$\mathbf{UDT(a,b)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathbf{DT(a,N_i)(N_i,b)}}{\sum_{i=1}^{n} \mathbf{DT(a,N_i)}} \quad \mathbf{N_i \neq b} \qquad (۶)$$

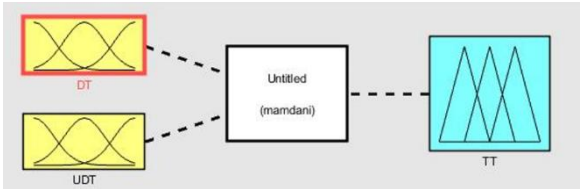
در این رابطه N_i نشان‌دهندهٔ iامین همسایهٔ گرهa است که همسایهٔ مشترک بین دو گره a و b نیز است؛ درنتیجه، اعتماد غیرمستقیم درواقع میانگین وزنی اعتمادهای منتقل‌شده از گره‌های واسط معتبر است.

ج) ترکیب اعتماد مستقیم و غیرمستقیم با سامانه فازی:

باتوجه به اینکه مقدار اعتماد همواره مقداری بین صفر و یک دارد و دارای ابهام است، برای ترکیب و تفسیر بهتر دو مقدار DT و UDT از سامانه استنتاج فازی ممدانی[1] استفاده شده‌است. این سامانه شامل سه مرحلهٔ اصلی است:

- فازی‌سازی[2]

ورودی‌ها شامل اعتماد مستقیم و غیرمستقیم هستند. هر ورودی با سه سطح زبانی کم، متوسط، زیاد تعریف می‌شود. تابع عضویت هر سطح با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی‌شده در محیط MATLAB تعیین شده‌است. شکل (۶) فرآیند فازی‌سازی را نمایش می‌دهد.



(شکل-۶) : فرایند فازی‌سازی رسم‌شده در برنامهٔ متلب برای طرح پیشنهادی

(Figure-6): Fuzzification process in the proposed design

[1] Mamdani Fuzzy Inference System
[2] Fuzzification

- اعمال قوانین فازی[3]: قوانین تصمیم‌گیری سامانه به‌صورت اگر/آن‌گاه طراحی شده‌اند. به‌طور کلی، دوازده قانون اصلی در جدول (۳) نمایش داده شده‌اند که برمبنای میانگین اعتماد مستقیم و غیرمستقیم مقدار نهایی اعتماد تعیین می‌شود.

(جدول -۳) اطلاعات داده‌ها در طرح پیشنهادی

(Table-3): Data information in the proposed plan

قانون	اعتماد مستقیم	اعتمادغیرمستقیم	اعتمادنهایی
۱	کمتر از $\frac{\text{Avg DT}}{2}$	کمتر از $\frac{Avg\ UDT}{2}$	خیلی کم
۲	کمتر از $\frac{\text{Avg DT}}{2}$	کمتر از Avg UDT	کم
۳	کمتر از $\frac{\text{Avg DT}}{2}$	بیشتر از Avg UDT	کم
۴	کمتر از Avg DT	کمتر از $\frac{\text{Avg UDT}}{2}$	کم
۵	کمتر از $Avg\ DT$	کمتر از Avg UDT	متوسط
۶	کمتر از Avg DT	بیشتر از Avg UDT	متوسط
۷	بیشتر از Avg DT و کمتر از $3 \times \frac{\text{Avg DT}}{2}$	کمتر از $\frac{\text{Avg UDT}}{2}$	متوسط
۸	بیشتر از Avg DT و کمتر از $3 \times \frac{\text{Avg DT}}{2}$	کمتر از Avg UDT	زیاد
۹	بیشتر از Avg DT و کمتر از $3 \times \frac{\text{Avg DT}}{2}$	بیشتر از Avg UDT	زیاد
۱۰	بیشتر از $3 \times \frac{\text{Avg DT}}{2}$	کمتر از $\frac{\text{Avg UDT}}{2}$	زیاد
۱۱	بیشتر از $3 \times \frac{\text{Avg DT}}{2}$	کمتر از Avg UDT	خیلی زیاد
۱۲	بیشتر از $3 \times \frac{\text{Avg DT}}{2}$	بیشتر از Avg UDT	خیلی زیاد

- دفازی‌سازی[4]: پس از اعمال قوانین، برای به‌دست‌آوردن یک مقدار عددی از اعتماد نهایی، از روش مرکز ثقل[5] استفاده شده‌است. تابع فازی‌سازی در معادله (۷) تعریف شده‌است:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu(x_i)} \qquad (۷)$$

در رابطهٔ بالا x_i نشان‌دهندهٔ متغیر فازی و $\mu(x_i)$ تابع عضویت متناظر با آن است. این روش باعث می‌شود مقدار نهایی اعتماد T به‌صورت نرم و پیوسته بین صفر و یک تغییر کند. از آنجا که احتمال نفوذ یا حمله به‌RSU ها وجود دارد، مقادیر اعتماد محاسبه‌شده تنها در یک RSU ذخیره نمی‌شوند. در ساختار پیشنهادی، هر مقدار اعتماد در چند RSU هم‌جوار نیز ثبت می‌شود تا در صورت

[3] Rule Evaluation
[4] Defuzzification
[5] Centroid

خراب‌کاری یا حمله به یکی از RSUها، داده‌های اعتماد معتبر باقی بمانند و فرآیند تصمیم‌گیری دچار اختلال نشود.

۴-۳-ایجاد گروه‌های ارزیاب (کمیته‌ها) به‌وسیلهٔ RSU

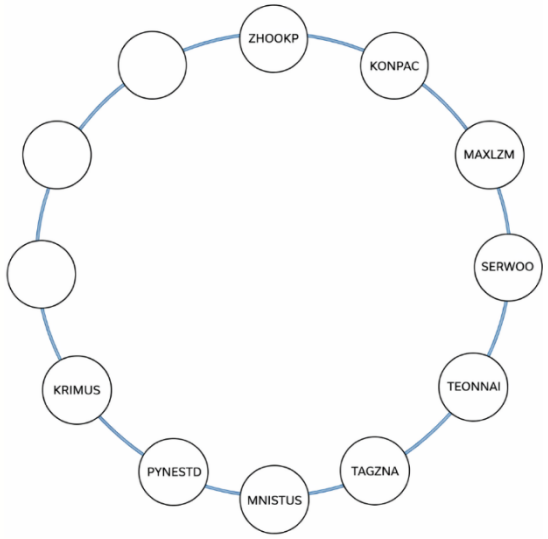
در این مرحله، هر ایستگاه کنار جاده به‌صورت محلی شناسهٔ مخصوص به‌خود را ایجاد می‌کند. این شناسه از ترکیب آدرس IP و یک کلید خارجی به‌دست آمده و در فرآیند احراز هویت مبتنی‌بر ساختار Chord مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار Chord به‌عنوان یکی از روش‌های جداسازی و توزیع مسئولیت در شبکه‌های همتابه‌همتا[1]، امکان تقسیم وظایف و ایجاد امنیت بالا در سطح غیرمتمرکز را فراهم می‌سازد.

در فرآیند تشکیل گروه‌ها، از یک الگوریتم تکه‌بندی یا تقسیم‌بندی تصادفی استفاده می‌شود. در ابتدای هر مرحله، تابع درهم‌سازی[2] مقدار تصادفی اولیه را برابر با ۳۲ بایت صفر در نظر می‌گیرد. استفاده از این مقدار تصادفی باعث می‌شود معادله غیرقابل پیش‌بینی باشد و بدین ترتیب از بروز حملات Sybil در شبکه جلوگیری می‌شود. تابع درهم‌سازی فرآیندی یک‌طرفه است که داده‌های ورودی با هر اندازه را به یک رشته خروجی با اندازهٔ ثابت تبدیل می‌کند. مقدار خروجی حاصل از تابع درهم‌سازی را مقدار هش می‌نامند که امکان بازگرداندن آن به دادهٔ اولیه وجود ندارد. هدف از استفاده از الگوریتم‌های درهم‌سازی، افزایش امنیت داده‌ها، اطمینان از صحت انتقال اطلاعات و تسریع فرآیند جست‌وجو در پایگاه‌های داده توزیع شده‌است. الگوریتم‌های MD5 و SHA ازجمله متداول‌ترین توابع درهم‌سازی در این زمینه‌اند. این فرآیند در رابطهٔ (۸) نمایش داده شده‌است:

$$f(x) = y \qquad (۸)$$

که در آن x دادهٔ ورودی و y مقدار هش حاصل از آن است.

در طرح پیشنهادی، خروجی حاصل از درهم‌سازی بر روی ساختار Chord نگاشت می‌شود؛ در این ساختار، هر RSU به یک انباره[3] در شبکه تخصیص می‌یابد. این انباره‌ها به‌عنوان محل اجرای عملیات رمزگذاری، رمزگشایی و ذخیرهٔ کلیدهای رمز مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ درواقع، کمیته‌ها به‌منزلهٔ همین انباره‌ها هستند و اعضای آن‌ها همان RSUهای موجود در شبکه هستند. فرآیند تشکیل کمیته‌ها نیز با تکیه‌بر تابع درهم‌سازی یک‌نواخت[4] انجام می‌گیرد. این ساختار به‌صورت عمومی و توزیع‌شده در اختیار تمام نهادهای شبکه قرار دارد تا از تمرکزگرایی جلوگیری شده و نقطهٔ آسیب‌پذیر واحدی در شبکه وجود نداشته باشد. شکل (۷) ساختار Chord و نحوهٔ ذخیرهٔ کلیدهای رمز در انباره‌ها را نشان می‌دهد که هر RSU یک شناسهٔ محلی منحصربه‌فرد از طریق IP و کلید خارجی اختصاصی دریافت می‌کند. این شناسه‌ها و کلیدها در ساختار Chord نگه‌داری می‌شوند تا فرآیند احراز هویت و اجماع توزیع‌شده تسهیل شود. Chord امکان نگاشت شناسه‌ها به RSUهای مسئول ذخیره‌سازی را فراهم و نقاط آسیب‌پذیر متمرکز را حذف می‌کند. نقش این ساختار، تضمین امنیت اطلاعات و جلوگیری از حملات Sybil و دست‌کاری داده‌ها است.



(شکل-۷) انبارهای روی ساختار Chord برای نگه‌داری کلیدهای رمز

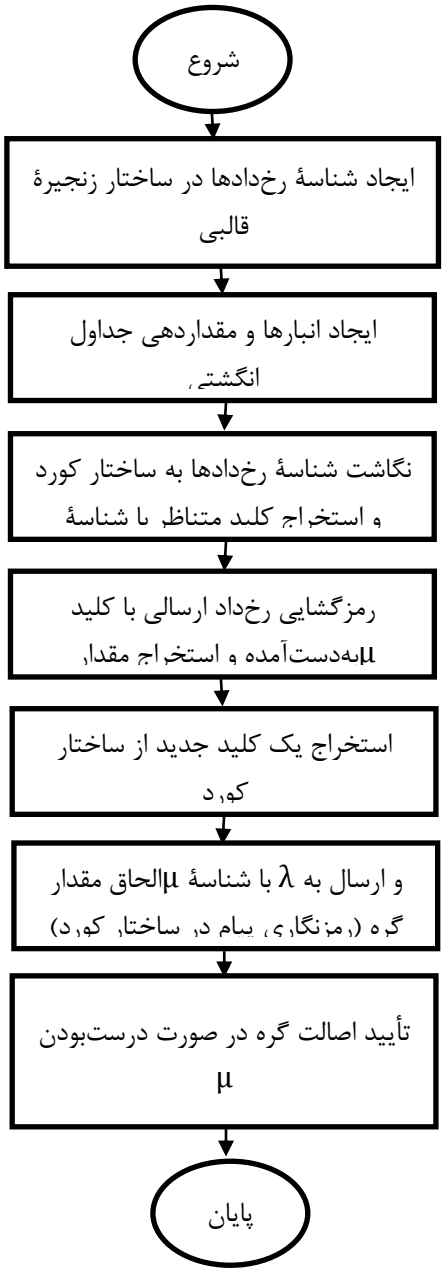
(Figure-7): Storage on the Chord structure for storing encryption keys

با استفاده از ساختار Chord، RSUها قادر خواهند بود صحت و اصالت اطلاعات ثبت‌شده در بستر زنجیرهٔ قالبی را تأیید کنند. این کار از طریق سازوکار رمزگذاری و رمزگشایی مبتنی‌بر احراز هویت توزیع‌شده انجام می‌شود. به‌کمک این ساختار، هر RSU می‌تواند از معتبربودن فرستنده یا گیرندهٔ پیام اطمینان حاصل کرده و درصورت نیاز با مراجعه به سوابق تراکنش‌های گذشته، تصمیم‌گیری دقیق‌تری درخصوص صحت داده انجام دهد.

طرح پیشنهادی از الگوی Chord توزیع‌شده بهره می‌برد؛ به این معنا که برای هر RSU یک زیرساخت Chordاختصاصی در نظر گرفته می‌شود. هدف از این

[1] P2P
[2] Hash Function
[3] Repository
[4] Consistent Hashing

طراحی، کاهش احتمال سازش[1] در فرآیند اجماع و کاستن از پیچیدگی محاسباتی است. این ساختار می‌تواند به‌صورت لایه‌ای بالاتر از سامانه متمرکز عمل کرده و در بازه‌های زمانی منظم (روزانه، هفتگی یا ماهانه) برای افزایش امنیت شبکه به‌روزرسانی شود.



(شکل-۸): فرآیند احراز هویت در ساختار Chord
(Figure-8): Authentication process in chord structure

پس از تولید شناسهٔ رخدادها در زنجیرهٔ قالبی، انباره‌ها تعریف و جداول انگشتی[2] مقداردهی اولیه می‌شوند؛ سپس شناسهٔ رخداد در ساختار Chord نگاشت یافته و فرآیند احراز هویت انجام می‌شود. در این ساختار، شناسه‌ها به‌صورت مدور و بر مبنای پیمانهٔ 2^m مرتب‌سازی شده و هر گره محدودهٔ خاصی از فضای شناسه‌ها را اشغال می‌کند. شکل (۸) نحوهٔ احراز هویت در ساختار Chord را نمایش می‌دهد، که در آن رخدادها به شناسه تبدیل شده و در ساختار Chord نگاشت می‌شوند. RSUهای مسئول با استفاده از شناسه‌های نگه‌داری‌شده و کلیدهای رمز، صحت تراکنش‌ها را تأیید می‌کنند. گروه‌های ارزیاب، تراکنش‌ها را بررسی و در صورت صحت، آن‌ها را به زنجیرهٔ قالبی ارسال می‌کنند. این فرآیند، پاسخ RSUها را در جریان اجماع مخفی نگه می‌دارد و از سازش در شبکه جلوگیری می‌کند.

در ادامه، پالایه‌های ذخیره‌سازی بر اساس داده‌های درهم‌سازی‌شده در ساختار قرار می‌گیرند. سامانه Chord قادر است عملیات درج، حذف، جست‌وجو و به‌روزرسانی زوج‌های کلید–مقدار[3] را به‌صورت توزیع‌شده و کارآمد انجام دهد. این ساختار از درهم‌سازی یک‌نواخت برای تخصیص کلیدها به گره‌های RSU استفاده می‌کند. درصورت بروز خرابی در یکی از گره‌ها، داده‌های آن به‌صورت خودکار به گره پیشین منتقل می‌شود.

به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان، در طرح پیشنهادی برای ساختار Chord یک نسخهٔ پشتیبان[4] نیز در نظر گرفته شده‌است. نسخهٔ پشتیبان به‌صورت پیش‌فرض پس از گذشت تعداد معینی از چرخه‌های شبکهٔ دور به‌روزرسانی می‌شود و درصورت بروز اشکال در ساختار اصلی، کنترل شبکه به نسخهٔ پشتیبان منتقل خواهد شد؛ درنهایت، پس از احراز هویت RSUها و تعیین شناسه‌ها، این گره‌ها بر اساس مجاورت جغرافیایی و فاصلهٔ فیزیکی اقدام به تشکیل گروه یا کمیته‌های ارزیاب[5] می‌کنند. شاخص تعیین‌کننده در این فرآیند، فاصلهٔ میان‌RSUها است؛ به‌طوری‌که اگر فاصلهٔ بین دو RSU از مقدار آستانهٔ مشخصی کمتر باشد، در یک خوشه[6] قرار گرفته و به‌عنوان اعضای یک کمیته شناخته می‌شوند. این کمیته‌ها وظیفهٔ بررسی و تأیید صحت رخدادها را برعهده دارند. تنها RSUهایی که فاصلهٔ آن‌ها از مقدار آستانه کمتر است، مجاز به شرکت در تشکیل کمیته و تأیید نهایی رویدادها خواهند بود.

۴-۴-اعتبارسنجی

پس از ارسال تراکنش‌ها به کمیتهٔ ارزیابی، فرآیند اعتبارسنجی تراکنش‌ها آغاز می‌شود. در این مرحله، گره دریافت‌کنندهٔ تراکنش، آن را برای بررسی و ارزیابی به اعضای

[1] Collusion
[2] Finger Tables
[3] key–value pairs
[4] Backup Chord
[5] Evaluator Committees
[6] Cluster

گروه ارزیاب ارسال می‌کند. هر RSU که پیام تراکنش را دریافت کند، یک پیام تأیید به سایر اعضای گروه ارسال کرده و در انتظار دریافت تأیید از سوی آن‌ها باقی می‌ماند.

پس از آن‌که تعداد کافی از اعضای کمیته پیام‌های تأیید را ارسال کردند، تراکنش مورد نظر به‌عنوان تراکنش معتبر[1] شناخته می‌شود. در ادامه، کمیتهٔ ارزیابی تراکنش را برای گروه نهایی[2] ارسال می‌کند. وظیفهٔ گروه نهایی، بررسی صحت امضاهای رقمی اعضای کمیتهٔ ارزیاب و اطمینان از اصالت فرایند اجماع است. پس از تأیید نهایی، تراکنش در قالب یک بلوک جدید به زنجیرهٔ قالبی شبکهٔ بین‌خودرویی افزوده می‌شود.

فرآیند بالا اطمینان می‌دهد که هر تراکنش پیش از ثبت در زنجیرهٔ قالبی، چندین مرحله بررسی و اعتبارسنجی را پشت سر گذاشته و در برابر حملات جعل، دست‌کاری داده یا ارسال اطلاعات مخرب مقاوم باشد.

اعتبارسنجی تراکنش‌ها، نقش تعیین‌کننده‌ای در مشخص‌کردن وضعیت رخدادهای ثبت‌شده در شبکه دارد. این وضعیت می‌تواند یکی از دو حالت زیر را نشان دهد:

۱. وضعیت پایشی[3]: در این حالت، تراکنش‌های ثبت‌شده نشان‌دهندهٔ رخدادهای واقعی و معتبر در شبکه هستند، مانند گزارش وقوع تصادف، اعلام خرابی مسیر یا ثبت تراکم ترافیک.

۲. وضعیت معیوب یا مخرب[4]: در این حالت، تراکنش شامل داده‌های اشتباه، غیرواقعی یا حاصل رفتارهای بدخواهانه از سوی گره‌های مخرب است. چنین داده‌هایی با توجه به سامانه امتیازدهی و اعتماد پیشین (بخش ۱-۴ و ۲-۴)، شناسایی شده و از ورود به زنجیرهٔ قالبی جلوگیری می‌شود؛ درنتیجه، فرآیند اعتبارسنجی در طرح پیشنهادی علاوه‌بر تضمین صحت و اصالت تراکنش‌ها، باعث افزایش اعتماد میان RSUها و بهبود کیفیت تصمیم‌گیری در سطح شبکهٔ بین‌خودرویی می‌شود؛ بدین ترتیب، تنها داده‌های معتبر و دارای پشتوانهٔ محاسباتی و فازی، اجازهٔ ثبت در دفترکل توزیع‌شده (زنجیرهٔ قالبی) را خواهند داشت.

۴-۵-پیاده‌سازی مدل

ره‌یافت پیشنهادی این پژوهش به‌منظور ارزیابی عملکرد و تحلیل رفتار سامانه مدیریت اعتماد مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی در شبکه‌های بین‌خودرویی، در محیط برنامه‌نویسی MATLAB R2023b پیاده‌سازی و شبیه‌سازی شده‌است. این محیط به‌دلیل دارابودن کتاب‌خانه‌های قدرتمند برای تحلیل داده، مدل‌سازی سامانه‌های هوشمند و پیاده‌سازی الگوریتم‌های فازی و ریاضی، گزینه‌ای مناسب برای انجام این پژوهش محسوب می‌شود.

در این بخش، به‌منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی، یک شبکهٔ بین‌خودرویی در ابعاد مشخص طراحی شده‌است. در این شبکه، تعداد RSUها ثابت و به‌صورت تصادفی در نواحی مختلف محیط توزیع شده‌اند .وسایل نقلیه (گره‌ها) نیز به‌صورت تصادفی در محدودهٔ شبکه قرار گرفته و با سرعت‌های متغیر شروع به حرکت می‌کنند. رخدادهایی همچون خرابی جاده، ازدحام ترافیکی و وقوع تصادف نیز به‌طور تصادفی در محیط رخ می‌دهند تا سناریوهای مختلف شبکه مورد آزمون قرار گیرد.

هر گره با مشاهدهٔ رخدادی در محدودهٔ خود، یک پیام همه‌پخشی[5] برای سایر وسایل نقلیهٔ مجاور ارسال می‌کند. پیام‌های دریافتی بر اساس الگوریتم امتیازدهی و سامانه فازی اعتمادسنجی (مطابق بخش‌های ۱-۴ و ۲-۴)، تحلیل شده و نتیجهٔ نهایی برای تصمیم‌گیری در سطح RSUها ذخیره می‌شود.

رویکرد پیشنهادی در فاز پیاده‌سازی شامل مجموعه‌ای از مؤلفه‌های کلیدی است که مقداردهی صحیح آن‌ها برای تکرارپذیری نتایج ضروری است. جدول (۴) مؤلفه‌های اصلی شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

(جدول -۴) مؤلفه‌های شبیه‌سازی
(Table-4): Simulation parameters

مؤلفه	مقدار	توضیحات
زمان شبیه‌سازی	۳۰۰ دور	تعداد چرخه‌های زمانی اجرای مدل
تعداد RSU	۲۰	واحدهای کنار جاده‌ای ثابت در محیط
تعداد گره‌ها	۱۰۰۰	گره‌های متحرک در شبکهٔ بین‌خودرویی
ابعاد محیط	۱۰۰۰×۱۰۰۰	ناحیهٔ فیزیکی شبیه‌سازی
توان ارسال سیگنال	۲۰۰ متر	محدودهٔ ارتباطی هر وسیلهٔ نقلیه
تعداد رخدادها	۱۰۰	شامل خرابی، تصادف و ازدحام ترافیکی

[1] Valid Transaction
[2] Final Committee
[3] Monitoring State
[4] Faulty State
[5] Broadcast Message

برای اجرای شبیه‌سازی، الگوریتم پیشنهادی در قالب شبه‌کد[1] زیر پیاده‌سازی شده‌است. این شبه‌کد شامل مراحل تولید گره‌ها، تولید رخدادها، ارسال پیام‌ها، محاسبهٔ اعتماد، تشکیل گروه‌های ارزیاب و ثبت نتایج در زنجیرهٔ قالبی است.

(جدول-۵): شبه کد روش پیشنهادی

(table-5): Pseudo code of the proposed method

Algorithm 1: Proposed SBTFC method

```
Define network parameters (Number of RSUs, Vehicles, Communication range)
Initialize Chord structure for key management
FOR each vehicle v in Vehicles:
    Sense events in local vicinity
    Set event priority (delay-sensitive or not)
    IF event is delay-sensitive:
        Process event at edge
    ELSE:
        Process event in cloud
    Broadcast event message with EventID and Timestamp
    IF message already broadcasted:
        Skip message distribution
    ELSE:
        Broadcast message to neighboring vehicles
    FOR each receiving vehicle r:
        Allocate points to message
        Request trust rate of sender from RSU
        Verify message content
        Send computed trust rate to RSU
    RSUs calculate vehicle trust
    RSUs form assessment groups
    Evaluator groups perform consensus on messages
    Final confirmation of message in network
    Register vehicle trust and confirmed transactions in blockchain using Chord
    Send confirmed message to vehicles within communication radius
END FOR
```

۵- تجزیه‌وتحلیل

در این بخش، عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با طرح پایه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌است؛ هدف از این تحلیل، ارزیابی میزان بهبود اعتماد، قابلیت اطمینان و کارایی محاسباتی در طرح پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود است.

به‌منظور انجام این تحلیل، تلاش شده‌است به پرسش‌های کلیدی زیر پاسخ داده شود:

- در رخدادهای مختلف، سطح اعتماد به RSUها در طرح پیشنهادی و طرح پایه چه تفاوتی دارد؟
- میزان قابلیت اطمینان کمیته‌های ارزیاب مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی در هر دو مدل چگونه است؟
- افزایش تعداد رخدادها چه تأثیری بر میزان اعتماد و عملکرد سامانه دارد؟
- پیچیدگی محاسباتی طرح پیشنهادی نسبت به طرح پایه در چه سطحی قرار دارد؟

۵-۱-معرفی طرح پایه[2]

طرح پایهٔ مورد استفاده برای مقایسه، مدل SBTMS ارائه‌شده توسط قاجار و همکاران (۲۰۲۱) است[۱۹]. در این مدل، با استفاده از فناوری زنجیرهٔ قالبی، یک معماری غیرمتمرکز برای مدیریت اعتماد در شبکه‌های بین‌خودرویی ارائه شده‌است.

در این رویکرد، هر وسیلهٔ نقلیه با تکیه‌بر رابطهٔ بیز[3]، اعتبار پیام‌های دریافتی را محاسبه و نتایج را به نزدیک‌ترین RSU ارسال می‌کند. RSUها پس از جمع‌آوری داده‌های اعتماد از وسایل نقلیه، با استفاده از سازوکار اجماع، مقدار اعتماد خالص[4] را محاسبه و در زنجیرهٔ قالبی ذخیره می‌کنند.

این مدل توانسته است چالش متمرکزبودن شبکه‌ها و فقدان اعتماد متقابل بین واحدهای VANET را تا حدی برطرف کند؛ با این‌حال، از آنجا که در SBTMS سازوکار اجماع نیازمند هماهنگی گسترده بین تمام RSUهاست، پیچیدگی محاسباتی بالا و افزایش تأخیر در اعتبارسنجی تراکنش‌ها ازجمله نقاط ضعف آن محسوب می‌شود.

۵-۲-تحلیل عملکرد طرح پیشنهادی در مقایسه با مدل پایه

در طرح پیشنهادی، برخلاف مدل SBTMS، فرآیند محاسبه و مدیریت اعتماد از طریق ترکیب محاسبات فازی، سامانه ارزیابی چندسطحی و ساختار Chord در RSUها انجام می‌شود. این ترکیب باعث شده‌است تا:

۱. محاسبهٔ اعتماد برای پیام‌ها دقیق‌تر و پویاتر انجام گیرد.

۲. بار محاسباتی شبکه به‌صورت توزیع‌شده میان RSUها تقسیم شود.

۳. فرآیند اجماع و اعتبارسنجی تراکنش‌ها با سرعت بیشتری انجام پذیرد.

۴. امکان تشکیل کمیته‌های محلی برای ارزیابی تراکنش‌ها فراهم شود که این امر از ایجاد گلوگاه[5] در شبکه جلوگیری می‌کند.

[1] Pseudocode

[2] SBTMS
[3] Bayesian Trust Model
[4] Net Trust
[5] Bottleneck

در این رویکرد، هر گره پس از دریافت پیام، با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) میزان اعتماد به پیام دریافتی را محاسبه و سپس باتوجه به معادلهٔ (۴) و (۵) مبتنی‌بر منطق فازی، اعتماد به فرستندهٔ پیام را تعیین و درنهایت، گره میزان اعتماد خود را برای RSU ارسال می‌کند تا فرآیند اجماع محلی در سطح RSU و گروه‌های ارزیاب انجام گیرد.

بدین ترتیب، طرح پیشنهادی در مقایسه با مدل پایه، ضمن حفظ دقت در محاسبات اعتماد، توانسته است:

- تأخیر محاسباتی[1] را کاهش دهد،
- قابلیت اطمینان به داده‌ها[2] را افزایش دهد،
- و قابلیت مقیاس‌پذیری[3] شبکه را بهبود بخشد.

۵-۳-مؤلفه‌های ارزیابی و شاخص‌های مقایسه

برای تحلیل عملکرد دو مدل، شاخص‌های زیر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند:

(جدول -۶) مؤلفه‌های ارزیابی و شاخص‌های مقایسه
(Table-6): Evaluation parameters and comparison indicators

شاخص ارزیابی	توضیحات	انتظار در مدل پیشنهادی
میانگین سطح اعتماد[4]	میانگین مقدار اعتماد محاسبه‌شده به‌وسیلهٔ گره‌ها نسبت به RSU ها	افزایش نسبت به مدل پایه
نرخ صحت پیام‌ها[5]	نسبت پیام‌های معتبر به کل پیام‌های ارسال‌شده در شبکه	افزایش قابل توجه
تأخیر محاسباتی[6]	مدت زمان بین دریافت پیام تا ثبت در زنجیرهٔ قالبی	کاهش محسوس
پیچیدگی محاسباتی[7]	تعداد عملیات محاسباتی برای هر بلوک تراکنش	کمتر از مدل پایه
پایداری شبکه[8]	مقاومت سامانه در برابر گره‌های مخرب و داده‌های پرت	افزایش چشم‌گیر

۵-۴-جمع‌بندی تحلیلی

نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی به‌واسطهٔ استفاده از سامانه فازی برای تصمیم‌گیری تطبیقی و ساختار Chord برای توزیع فرآیند اجماع، از انعطاف‌پذیری و پایداری بیشتری نسبت به مدل پایهٔ SBTMS برخوردار است؛ در حالی‌که مدل پایه در مقیاس‌های بزرگ دچار افزایش تأخیر و سربار محاسباتی می‌شود، مدل پیشنهادی با تقسیم وظایف بین RSU ها، نه‌تنها بار شبکه را کاهش می‌دهد، بلکه باعث افزایش دقت و سرعت در اعتبارسنجی داده‌ها می‌شود.

به‌اختصار می‌توان بیان کرد که سامانه مدیریت اعتماد پیشنهادی در مقایسه با طرح پایه:

- اعتمادپذیری شبکه را افزایش داده،
- تأخیر و پیچیدگی محاسباتی را کاهش داده،
- و در برابر گره‌های مخرب و حملات داده‌های جعلی مقاوم‌تر عمل کرده‌است.

تحلیل‌های انجام‌شده نشان‌دهندهٔ برتری طرح پیشنهادی در شاخص‌های اصلی اعتماد، کارایی و امنیت نسبت به مدل پایه است. در بخش بعدی (نتایج و نمودارها)، به‌صورت کمی و تصویری، میزان این بهبود برای مؤلفه‌های مختلف ارائه می‌شود.

۶-شبیه‌سازی و تحلیل نمودارها

۶-۱- نرخ اعتماد

همان‌طور که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، RSUها نقش اصلی در محاسبه و مدیریت میزان اعتماد در شبکه را برعهده دارند؛ پس از دریافت تراکنش‌ها از گره‌ها، هر RSU با استفاده از روابط تعریف‌شده در مدل پیشنهادی، اعتماد مستقیم را نسبت به گره‌های فرستنده محاسبه کرده و نتیجه را در بلاک ثبت می‌کند.

در مدل پیشنهادی، فرآیند ثبت این محاسبات در بلاک‌ها به گونه‌ای انجام می‌شود که هر RSU تنها پس از تأیید کمیتهٔ ارزیاب قادر به افزودن بلاک جدید به زنجیره خواهد بود. این سازوکار باعث جلوگیری از ورود مقادیر جعلی به شبکه می‌شود. یانگ و همکاران [۲۶] در پژوهش خود، مدلی به‌نام POW[9] را پیشنهاد کردند که در آن، هر RSUپس از محاسبهٔ میزان اعتماد، بلاکی جدید برای ذخیرهٔ محاسبات خود ایجاد می‌کند. این طرح به‌عنوان مدل پایهٔ دوم در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته‌است؛ باوجود نوآوری در مدل POW، ضعف اصلی آن، اتکای زیاد به صداقت RSUها است. در این طرح، هر RSU می‌تواند برای افزایش تعداد بلاک‌های ثبت‌شده در زنجیره، مقادیر جعلی اعتماد را وارد کند؛ زیرا سایر گره‌ها به محتوای تراکنش‌ها دسترسی مستقیم ندارند.

مقالهٔ پایهٔ [۱۷] با استفاده از الگوریتم تکه‌بندی و انتشار همگانی پیام‌ها، تا حد زیادی این مشکل را برطرف کرده‌است؛ زیرا در این روش، تشکیل هر بلاک منوط به تأیید یک کمیته

[1] Computation Delay
[2] Data Reliability
[3] Scalability
[4] Average Trust Level
[5] Message Validity Rate
[6] Processing Delay
[7] Computational Complexity
[8] Network Stability
[9] Proof of Work

ازRSU ها است؛ با این‌حال، این روش نیز به‌دلیل افزایش پیچیدگی محاسباتی و نبود هماهنگی کامل بیRSUها، در شرایط پرترافیک یا مقیاس بزرگ با چالش روبه‌رو می‌شود؛ درنتیجه، در این پژوهش، عملکرد سه مدل زیر در شاخص نرخ اعتماد مورد مقایسه قرار گرفته‌است:

- مدل POW [۷]
- مدل SBTMS [۱۹]
- مدل پیشنهادی SBTFC (سامانه فازی مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی)

رابطهٔ محاسبهٔ نرخ اعتماد کلی در شبکه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\boldsymbol{R} = \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{UT_i} \qquad (۱۰)$$

که در آن:

- **UT** مقدار اعتماد کل به گره iام است،
- N تعداد کل گره‌های موجود در شبکه است.

این شاخص، نشان‌دهندهٔ میزان کلی اعتماد RSUها به گره‌ها در هر مرحله از شبیه‌سازی است.

الف) رخدادهای تصادفات[1]

در این آزمایش، عملکرد مدل‌ها در تشخیص رخدادهای مربوط به تصادفات جاده‌ای بررسی شده‌است. هر RSU، پس از مشاهدهٔ رخداد، قابلیت اطمینان داده‌های گزارش‌شده را ارزیابی کرده و نتیجه را در شبکه منتشر می‌کند.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، در مقایسه با مدل‌های پایه، نرخ خطای پایین‌تری در تشخیص رخدادهای تصادف دارد و میزان اعتماد به RSUها در طول زمان به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. در فازهای ابتدایی شبیه‌سازی، میزان اعتماد در مدل پیشنهادی و مدل پایه به‌طور تقریبی مشابه است؛ اما از دور هشتم به بعد، به‌دلیل استفاده از سامانه استنتاج فازی، عملکرد مدل پیشنهادی به‌صورت قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد.

در این ساختار، هر وسیلهٔ نقلیه پس از دریافت پیام رخداد، میزان اعتماد به فرستنده را از RSU مربوطه درخواست کرده و با استفاده از آن، مقدار نهایی اعتماد خود را محاسبه و دوباره به RSU ارسال، سپس، RSU نتایج اعتماد را در شبکه به‌صورت همه‌پخشی میان سایر RSUها منتشر می‌کند تا اطلاعات اعتماد در کل شبکه به‌روزرسانی شود. در نتیجهٔ این همکاری میان اجزای شبکه، نرخ اعتماد با افزایش زمان و افزایش تعداد تعاملات میان گره‌ها، روندی صعودی پیدا می‌کند.

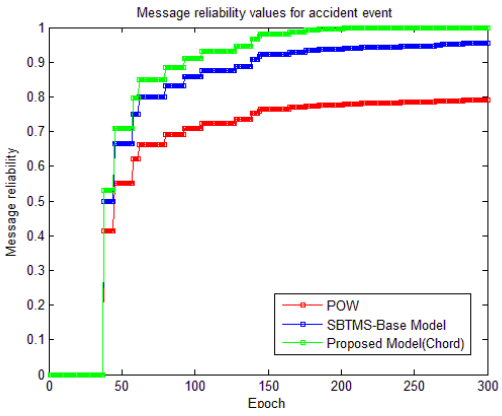
بر اساس نمودار (۱)، با گذشت زمان، مقدار نرخ اعتماد در مدل پیشنهادی پیوسته افزایش یافته و از حدود راند ۳۹ به بعد رشد محسوسی را نشان می‌دهد. در انتهای شبیه‌سازی (راند ۲۰۲)، نرخ اعتماد در مدل SBTFC به بیشینهٔ مقدار خود یعنی ۱.۰ رسیده‌است.

در مقایسه با دو مدل پایه:

- نرخ اعتماد در مدل پیشنهادی نسبت به SBTMSحدود چهاردرصد بیشتر بوده‌است.
- و نسبت به مدل POW، ۲۱درصد افزایش را نشان می‌دهد.

این نتایج نشان‌دهندهٔ آن است که استفاده از کمیته‌های ارزیاب مبتنی‌بر Chord و استنتاج فازی پویا باعث افزایش پایداری و صحت در فرآیند تشخیص رخدادها و جلوگیری از ورود داده‌های جعلی شده‌است.

به‌اختصار، نرخ اعتماد بالاتر در مدل پیشنهادی نشان‌دهندهٔ بهبود چشم‌گیر دقت در ارزیابی پیام‌های شبکه، کاهش داده‌های غیرقابل اعتماد و افزایش هماهنگی میان RSUها در محیط‌های پویا و واقعی است. نمودار (۱) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد.



(نمودار-۱): ارزیابی نرخ اعتماد به پایش رخدادهای تصادف
(Chart-1): Assessing the confidence rate in accident event monitoring

ب) رخدادهای ترافیک[2]

در این آزمایش، عملکرد مدل پیشنهادی در تشخیص و ارزیابی رخدادهای مربوط به ترافیک جاده‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌است؛ هدف از این ارزیابی، مقایسهٔ میزان اعتماد شبکه به گره‌های گزارش‌دهندهٔ رخداد ترافیکی در مدل پیشنهادی و دو مدل پایهٔ SBTMS و POW است.

در فرآیند شبیه‌سازی، هر RSU پس از دریافت داده‌های مربوط به تراکم ترافیک از وسایل نقلیه، آن‌ها را با داده‌های سایرRSU ها مقایسه کرده و با استفاده از سامانه استنتاج فازی، میزان اعتماد نهایی[3] را برای هر رخداد محاسبه می‌کند؛ سپس، این اطلاعات از طریق

[1] Accident Events

[2] Traffic Events
[3] Final Trust Rate

زنجیرهٔ قالبی میان سایر RSUها منتشر می‌شود تا در سطح شبکه، هماهنگی و سازگاری اطلاعات ایجاد شود.

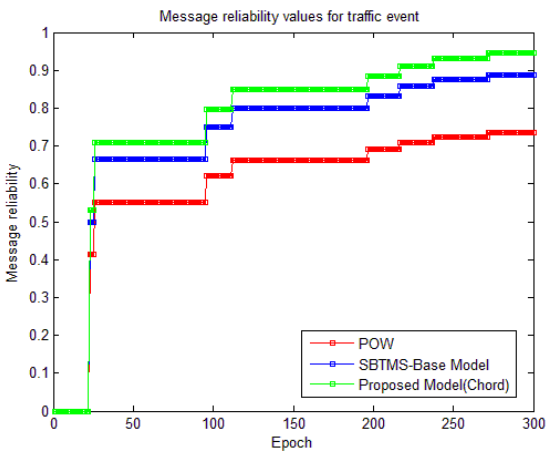
نتایج به‌دست‌آمده از اجرای شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در رخدادهای ترافیکی نیز، نرخ اعتماد شبکه روندی صعودی و باثبات دارد. در مراحل ابتدایی شبیه‌سازی (تا حدود راند ۱۹)، اختلاف قابل‌توجهی میان روش‌ها مشاهده نمی‌شود و تمامی مدل‌ها در بازهی مشابه از نظر اعتماد عمل می‌کنند؛ با این‌حال، از راندهای میانی به‌بعد، به‌ویژه با افزایش تراکم داده‌ها و تعاملات میان RSU ها، مدل پیشنهادی به‌دلیل بهره‌گیری از سازوکار ارزیابی گروهی[1] و منطق فازی پویا، توانایی بهتری در تشخیص رخدادهای واقعی از داده‌های پرت یا جعلی نشان می‌دهد.

در پایان فرآیند شبیه‌سازی، مقادیر کمی نرخ اعتماد به‌صورت زیر اندازه‌گیری شده‌است:

- مدل پیشنهادی (SBTFC) ۹۵ درصد
- مدل پایهٔ (SBTMS) ۸۹ درصد
- مدل پایهٔ (POW) ۷۴ درصد

افزایش شش درصدی نسبت به مدل SBTMS و ۲۱ درصدی نسبت به مدل POW، نشان‌دهندهٔ بهبود معنادار در پایداری اعتماد و دقت تشخیص رخدادهای ترافیکی در طرح پیشنهادی است.

این نتایج تأیید می‌کنند که در شرایطی که ترافیک جاده‌ای سنگین و پویا است، به‌کارگیری ترکیب سازوکار زنجیرهٔ قالبی غیرمتمرکز، سامانه فازی ممدانی و ساختار Chordدر مدل پیشنهادی باعث می‌شود داده‌های مخرب یا نادرست با دقت بیشتری شناسایی و حذف شوند؛ درنتیجه، شبکه از نظر اعتمادپذیری، مقاومت در برابر داده‌های جعلی و هماهنگی بین RSU ها، عملکردی پایدار و برتر دارد.



(نمودار- ۲): ارزیابی نرخ اعتماد به پایش رخدادهای ترافیک

(Chart-2): Assessing the trust rate of traffic event monitoring

[1] Committee-based Validation

ج) رخدادهای خرابی جاده[2]

در این آزمایش، عملکرد مدل پیشنهادی در تشخیص و ارزیابی رخدادهای مرتبط با خرابی جاده‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌است. هدف، سنجش توانایی مدل در تفکیک رخدادهای واقعی از داده‌های پرت یا خطاهای ناشی از حس‌گرها و وسایل نقلیه است. فرآیند شبیه‌سازی مشابه دو سناریوی پیشین (تصادف و ترافیک) انجام شده‌است؛ با این تفاوت که در این بخش نوع رخدادها شامل شکستگی سطح جاده، وجود چاله‌ها و ناهنجاری‌های مسیر بوده‌است که به‌وسیلهٔ وسایل نقلیه در حین عبور شناسایی و به RSUهای مجاور گزارش می‌شود.

هر RSU پس از دریافت پیام رخداد، با استفاده از تابع اعتماد محلی (بر اساس روابط یک تا هفت) و سازوکار استنتاج فازی، میزان اعتماد به فرستنده و درستی داده را محاسبه می‌کند؛ سپس مقادیر نهایی به کمیتهٔ ارزیابی ارسال می‌شود تا در زنجیرهٔ قالبی ثبت شوند.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با دو مدل پایهٔ SBTMS و POW توانایی بالاتری در شناسایی و تأیید رخدادهای خرابی جاده دارد. در سه راند ابتدایی شبیه‌سازی، تفاوت محسوسی میان مدل‌ها مشاهده نمی‌شود؛ اما از راندهای میانی به بعد، با افزایش تعاملات بین RSUها و وسایل نقلیه، دقت مدل پیشنهادی به‌شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد.

در راند ۹۲ از اجرای شبیه‌سازی، مقدار قابلیت اطمینان مدل پیشنهادی به بیشینهٔ مقدار خود یعنی صد درصد می‌رسد؛ در حالی‌که در همین نقطه:

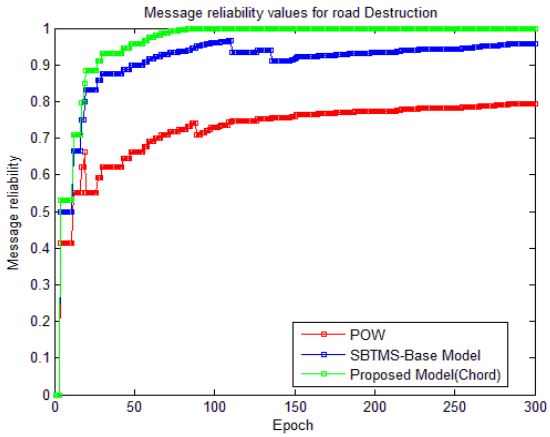
- قابلیت اطمینان مدل SBTMS برابر با ۹۵ درصد؛
- و مدل POW برابر با ۷۳ درصد است.

این تفاوت بیان‌کنندهٔ توانایی بالاتر مدل پیشنهادی در مدیریت داده‌های نوفه‌دار، حذف خطاهای ناشی از فاصلهٔ زیاد گره‌ها و مقابله با داده‌های جعلی است.

همانند دو سناریوی پیشین، روند تغییرات نرخ اعتماد در این آزمایش نیز صعودی است و با گذشت زمان، شبکه به یک وضعیت پایدار و هم‌گرا می‌رسد. پس از گذشت حدود راند سه، افزایش چشم‌گیری در نرخ اعتماد مشاهده می‌شود و از راند ۲۸۸ به بعد، هر سه مدل به حالت کمابیش پایدار دست می‌یابند. این رفتار نشان‌دهندهٔ خودتنظیمی و پایداری مدل پیشنهادی در برابر نوسانات ترافیکی و تغییرات محیطی است. درکل، استفاده از سامانه فازی، ساختار Chord و گروه‌های ارزیاب RSU موجب می‌شود که روش پیشنهادی در تشخیص رخدادهای خرابی جاده از

[2] Road Damage Events

دقت و اعتمادپذیری بالاتری نسبت به روش‌های پایه برخوردار باشد.



(نمودار- ۳): ارزیابی نرخ اعتماد به پایش رخدادهای خرابی جاده

(Chart-3): Assessing the confidence rate in monitoring road damage events

د) تعداد رخدادهای متفاوت[1]

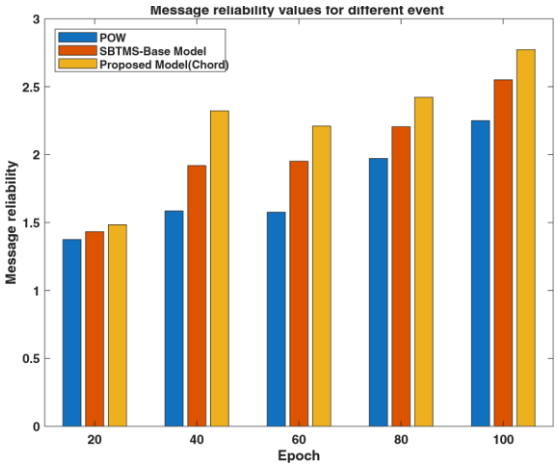
در این آزمایش، هدف بررسی تأثیر تعداد رخدادهای هم‌زمان و متنوع بر عملکرد مدل پیشنهادی و مدل‌های پایه است. در این سناریو، رخدادها به‌وسیلهٔ RSUها شناسایی شده و برای صحت‌سنجی و تأیید امضا به کمیتهٔ ارزیابی ارسال می‌شوند؛ پس از تأیید نهایی، تراکنش مربوط به رخداد در زنجیرهٔ قالبی ثبت می‌شود.

برای ارزیابی دقیق‌تر، شبیه‌سازی در پنج سطح مختلف از نظر تعداد رخداد انجام شده‌است: ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ رخداد. هر مجموعه از رخدادها ترکیبی از سه نوع اصلی یعنی خرابی جاده، ترافیک و تصادف بوده‌است تا شرایط نزدیک به واقعیت در شبکهٔ بین‌خودرویی شبیه‌سازی شود.

نتایج آزمایش نشان می‌دهد که با افزایش تعداد رخدادها، مدل پیشنهادی (SBTFC) همچنان قادر است با پایداری و دقت بالا، رخدادهای صحیح را شناسایی و تأیید کند؛ این در حالی است که در مدل‌های پایه SBTMS و POW با افزایش حجم رخدادها، نرخ اعتماد کاهش محسوسی پیدا می‌کند. دلیل این امر، افزایش بار محاسباتی در فرآیند اجماع و محدودیت در هماهنگی بین RSUها در مدل‌های پایه است؛ در حالی‌که مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم تقسیم‌بندی مبتنی‌بر ساختار Chord و کمیته‌های محلی، توانسته است بار پردازشی را بین RSUها توزیع و از ازدحام محاسباتی جلوگیری کند.

بر اساس نتایج، در بیشترین مقدار آزمایش (صد رخداد)، میزان قابلیت اطمینان میانگین RSUها در مدل پیشنهادی حدود ۹۳درصد بوده‌است؛ در حالی‌که در مدل SBTMSاین مقدار ۸۵ درصد و در مدل POW حدود ۶۸ درصد گزارش شده‌است. این اختلاف نشان‌دهندهٔ افزایش هشت تا ۲۵ درصدی دقت و اعتماد شبکه در مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های پایه است.

به‌طور خلاصه، نتایج این سناریو نشان می‌دهد که حتی در صورت افزایش حجم رخدادها و بار تراکنش‌های شبکه، پایداری، هماهنگی و دقت مدل پیشنهادی در سطح بالایی حفظ می‌شود و سامانه توانایی مدیریت رخدادهای متنوع را بدون افت محسوس در اعتماد دارد.



(نمودار- ۴): ارزیابی نرخ اعتماد به پایش رخدادهای متفاوت

(Chart-4): Assessing the confidence rate in monitoring different events

همان‌گونه که در نمودار (۴) مشاهده می‌شود، میانگین قابلیت اطمینان ره‌یافت پیشنهادی (SBTFC) در مقایسه با دو طرح پایه، به‌شکل محسوسی بهبود یافته است؛ این افزایش به‌ویژه در بازه‌هایی که تعداد رخدادها زیاد، (بیش از شصت رخداد)، چشم‌گیرتر است.

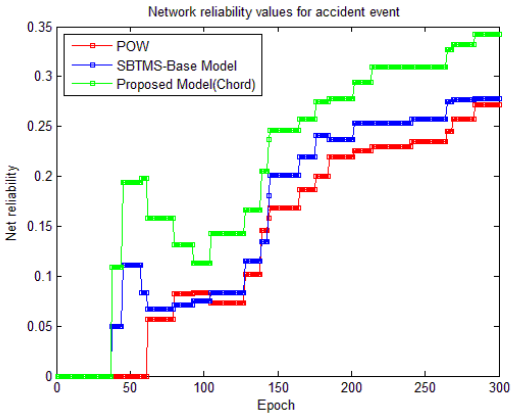
نتایج کمی شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میانگین قابلیت اطمینان به پیام‌ها در مدل پیشنهادی برابر با ۲.۳، در مدل SBTMS برابر با ۲.۱۶ و در مدل POW برابر با ۲.۰۴ بوده، به‌عبارت دیگر، ره‌یافت پیشنهادی در مقایسه با مدل SBTMS حدود شش درصد و در مقایسه با مدل POWحدود یازده درصد بهبود در شاخص اعتماد ایجاد کرده‌است. این یافته‌ها نشان‌دهندهٔ توانایی مدل پیشنهادی در افزایش پایداری شبکه، بهبود هماهنگی بین RSUها، و کاهش نرخ خطا در تشخیص رخدادها است.

درمجموع، این نتایج اثبات می‌کند که ترکیب ساختار مبتنی‌بر کمیته‌های ارزیابی و منطق فازی در مدل SBTFCنقش کلیدی در ارتقای اعتماد سامانه بین‌خودرویی ایفا می‌کند و مدل را در مقایسه با ره‌یافت‌های پایه، از نظر قابلیت اطمینان، دقت و پایداری عملکرد در سطح بالاتری قرار می‌دهد.

[1] Number of Different Events

۶-۲-اعتماد به کمیته‌های مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی

در این سناریو، عملکرد رهیافت پیشنهادی (SBTFC) و دو مدل پایهٔ SBTMS و POW از نظر اعتماد به کمیته‌های مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. شاخص ارزیابی، میزان قابلیت اطمینان کمیته‌ها در تأیید تراکنش‌ها و ثبت رخدادها در زنجیرهٔ قالبی است. این تحلیل برای سه نوع رخداد اصلی شبکه بین‌خودرویی انجام شد: تصادف، خرابی جاده و ترافیک، که نتایج آن در نمودارهای (۵ تا ۷) نمایش داده شده‌است.



(نمودار- ۵): اعتماد به کمیته‌ها در رخدادهای مربوط به تصادفات

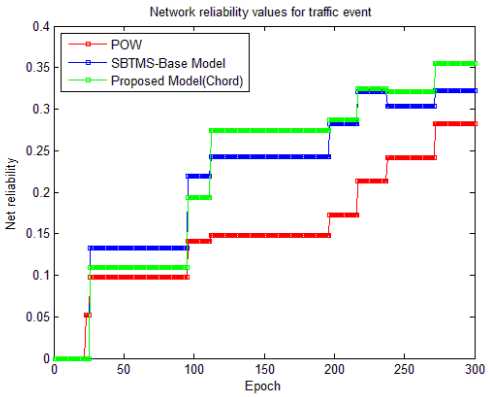
(Chart-5): Trust in committees in accident-related incidents

الف) رخدادهای تصادف

همان‌گونه که در نمودار (۵) نشان داده شده‌است، نرخ اعتماد به کمیته‌ها در رهیافت پیشنهادی در مقایسه با مدل‌های پایه بالاتر است. تا راند ۴۶، تمام رهیافت‌ها وضعیت یکسانی داشته و نرخ اعتماد کمابیش صفر بوده‌است؛ اما پس از این راند، اعتماد کمیته‌ها در مدل پیشنهادی افزایش یافته و در راند پایانی به ۰.۳۴ می‌رسد؛ در حالی‌که در مدل SBTMS مقدار آن ۰.۲۸ و در مدل POW برابر با ۰.۲۷ است. این اختلاف نشان‌دهندهٔ اثرگذاری سازوکار کمیته‌های محلی و الگوریتم فازی در افزایش دقت تأیید تراکنش‌ها است.

ب) رخدادهای ترافیک

در بررسی رخدادهای ترافیک (نمودار۶)، روند مشابهی مشاهده می‌شود. تا راند ۱۸، همهٔ رهیافت‌ها وضعیت مشابهی دارند و نرخ اعتماد تقریباً صفر است. از راند ۱۱۴ به بعد، نرخ اعتماد کمیته‌ها در مدل پیشنهادی نسبت به دو مدل پایه بهتر می‌شود؛ به گونه‌ای که در راند پایانی، نرخ اعتماد مدل پیشنهادی ۰.۳۷، مدل SBTMS ۰.۳۳ و مدل POW ۰.۲۹ است.

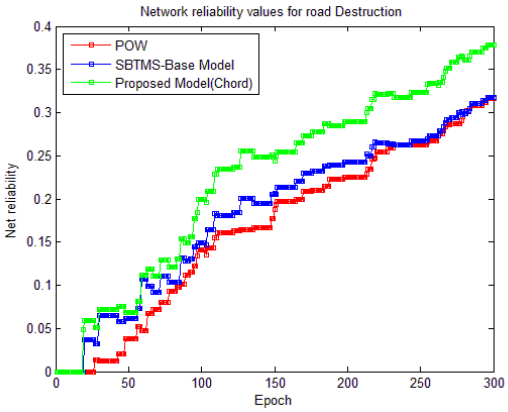


(نمودار- ۶): اعتماد به کمیته‌ها در رخدادهای مربوط به ترافیک

(Chart-6): Trust in committees in traffic incidents

ج) رخدادهای خرابی جاده

نمودار (۷) عملکرد مدل‌ها در رخدادهای خرابی جاده را نشان می‌دهد. مشابه دو سناریوی پیشین، تا راند پانزده تمام رهیافت‌ها وضعیت برابر و نرخ اعتماد حدود صفر است. از این راند به بعد، رهیافت پیشنهادی افزایش قابل توجهی در اعتماد کمیته‌ها نشان می‌دهد و در راند پایانی، نرخ اعتماد به ۰.۳۸ می‌رسد؛ در حالی‌که برای مدل‌های SBTMSو POW مقدار برابر با ۰.۳۳ است.

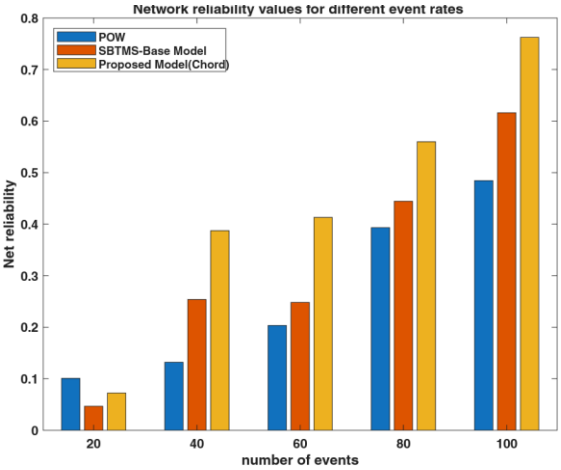


(نمودار- ۷): اعتماد به کمیته‌ها در رخدادهای مربوط به خرابی جاده

(Chart-7): Trust in committees in road damage incidents

د) میانگین اعتماد به کمیته‌ها برای رخدادهای مختلف

علاوه‌بر سناریوهای مجزا، میانگین اعتماد کمیته‌ها برای مجموعه‌ای ترکیبی از رخدادهای تصادف، خرابی جاده و ترافیک نیز بررسی شد؛ در نمودار (۸). نتایج نشان می‌دهد که رهیافت پیشنهادی با میانگین اعتماد ۰.۳۶ در مقایسه با مدل‌های پایه، توانسته است قابلیت اطمینان بالاتری را فراهم کند. در همین حالت، میانگین اعتماد برای SBTMS برابر با ۰.۳۷ و برای POW برابر با ۰.۲۷ گزارش شده‌است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که سازوکار کمیته‌های محلی و استفاده از سامانه فازی و ساختار Chord موجب افزایش پایداری، صحت و قابلیت اعتماد تراکنش‌ها در زنجیرهٔ قالبی شبکهٔ بین‌خودرویی می‌شود.



(نمودار- ۸): اعتماد به کمیته‌ها در رخدادهای مختلف

(Chart-8): Trust in committees in various events

۶-۳-پیچیدگی محاسباتی

در این سناریو، رهیافت پیشنهادی (SBTFC) و دو مدل پایه SBTMS وPOW در شرایط به‌طورکامل یکسان و مشابه پیاده‌سازی شده‌اند و پیچیدگی محاسباتی آن‌ها باتوجه به تعداد رخدادهای شبکهٔ بین‌خودرویی و وسایل نقلیه مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. نتایج این بررسی در نمودار (۹) نمایش داده شده‌است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میانگین پیچیدگی محاسباتی در مدل پیشنهادی، در مقایسه با مدل‌های پایه، کمتر است. به‌طور دقیق، رهیافت پیشنهادی در مقایسه با SBTMS حدود شش درصد کاهش و در مقایسه با POW حدود پنج درصد کاهش در پیچیدگی محاسباتی نشان می‌دهد.

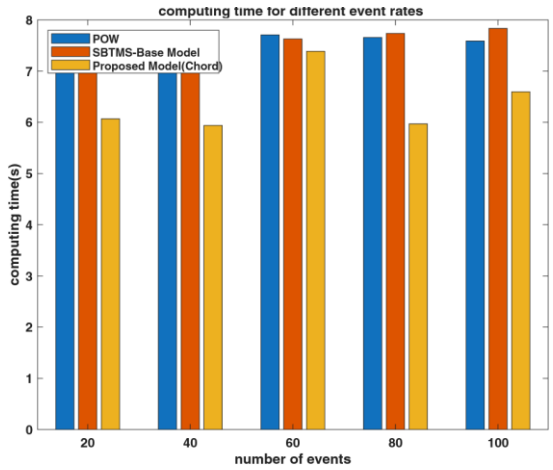
این کاهش پیچیدگی ناشی از استفاده از الگوریتم تقسیم‌بندی مبتنی‌بر ساختار Chord و کمیته‌های محلی برای اعتبارسنجی تراکنش‌ها است که اجازه می‌دهد بار پردازشی بینRSU ها توزیع شده و از محاسبات زائد جلوگیری شود؛ درنتیجه، حتی با افزایش تعداد رخدادها، زمان پردازش و منابع محاسباتی مورد نیاز بهینه باقی می‌ماند و شبکه توانایی مدیریت تراکنش‌ها و رخدادهای متعدد را بدون افت عملکرد دارد.

به‌اختصار، نتایج این تحلیل نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی نه‌تنها قابلیت اعتماد و دقت بالاتری نسبت به مدل‌های پایه دارد، بلکه بهینه‌تر و کارآمدتر از نظر محاسباتی نیز عمل می‌کند.

۶-۴-بررسی اعتماد در طول زمان

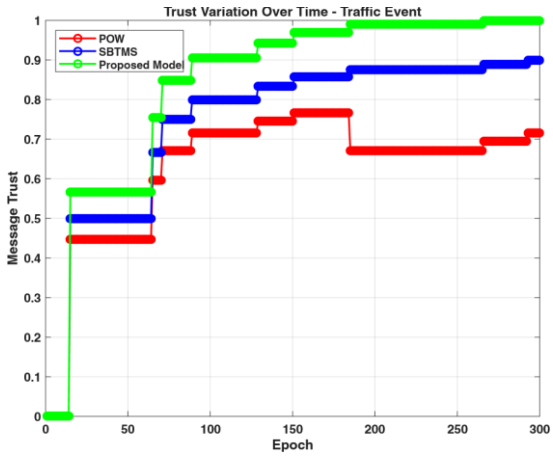
در ادامه به بررسی اعتماد در طول زمان برای سه نوع رخداد ترافیک، تصادف و خرابی جاده پرداخته شده‌است.

نمودار (۱۰)، روند تغییرات نرخ اعتماد پیام در طول زمان را برای سه مدل POW، SBTMS و مدل پیشنهادی در سناریوی رخدادهای ترافیکی نمایش می‌دهد. در مراحل ابتدایی شبیه‌سازی، هر سه مدل عملکردی تا حدودی مشابه دارند، اما با افزایش تعداد تعاملات و پیچیدگی داده‌ها، مدل پیشنهادی به‌واسطهٔ بهره‌گیری از سامانه فازی و سازوکار ارزیابی گروهی، به‌طور پیوسته نرخ اعتماد بالاتری را حفظ می‌کند. از حدود راند بیست به‌بعد، اختلاف عملکرد مدل‌ها نمایان‌تر می‌شود و مدل پیشنهادی با شیب صعودی ملایم، به نرخ اعتماد نزدیک به ۱.۰ می‌رسد؛ درمقابل، مدل POW دچار نوسانات بیشتری شده و در نرخ‌های بالای رخداد، کاهش اعتماد را تجربه می‌کند. این نمودار نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در محیط‌های پرترافیک، از پایداری و دقت بالاتری در ارزیابی پیام‌ها برخوردار است و نسبت به مدل‌های پایه، اعتمادپذیری شبکه را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد.



(نمودار- ۹): پیچیدگی محاسباتی مدل

(Chart-9): Computational complexity of the model

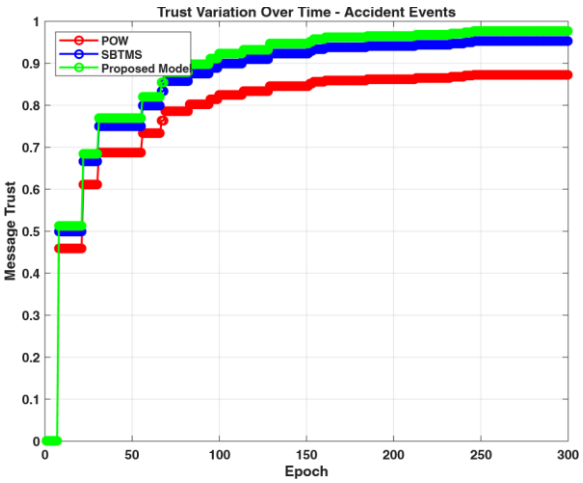


(نمودار- ۱۰): تغییرات اعتماد پیام در طول زمان- ترافیک

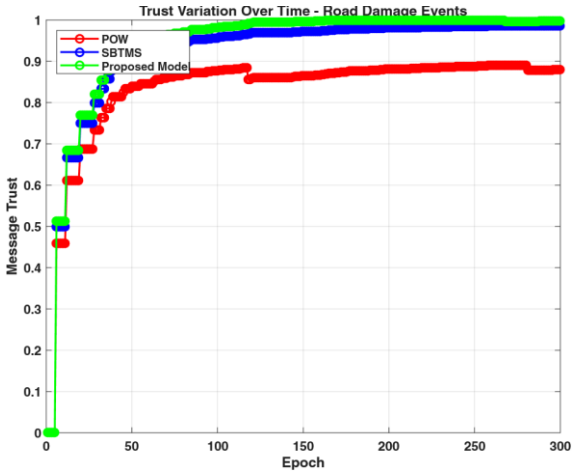
(Chart-10): Trust Variation Over Time - Traffic Event

نمودارهای (۱۱) و (۱۲) به‌ترتیب تغییرات نرخ اعتماد پیام در طول زمان را برای رخدادهای تصادف و خرابی جاده نمایش می‌دهند. در هر دو سناریو، مدل پیشنهادی با گذشت

زمان و افزایش تعاملات میان گره‌ها، نرخ اعتماد بالاتری نسبت به مدل‌های پایه حفظ می‌کند. این روند صعودی نشان‌دهندهٔ پایداری و دقت بالاتر مدل پیشنهادی در ارزیابی پیام‌ها در شرایط متنوع و چالش‌برانگیز شبکه است.



(نمودار- ۱۱): تغییرات اعتماد پیام در طول زمان- تصادف
(Chart-11): Trust Variation Over Time - Accident Event



(نمودار-۱۲): تغییرات اعتماد پیام در طول زمان- خرابی جاده
(Chart-12): Trust Variation Over Time – Road Damage Event

در ادامه، مدل پیشنهادی باتوجه به موقعیت مکانی گره‌ها بررسی شد. نمودار (۱۳) رابطهٔ بین فاصلهٔ فیزیکی گره‌ها و میزان اعتماد مستقیم آن‌ها را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله، اعتماد مستقیم به‌طور نسبی کاهش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که گره‌های نزدیک به یکدیگر، به‌دلیل تعاملات بیشتر و مشاهدهٔ مستقیم رخدادها، اعتماد بالاتری دارند؛ درحالی‌که گره‌های دورتر به‌دلیل کاهش ارتباط مستقیم و احتمال خطا یا تأخیر در دریافت داده‌ها، اعتماد کمتری دارند.

این رابطهٔ منفی میان فاصله و اعتماد، صحت و اعتبار مدل پیشنهادی را در ارزیابی دقیق و پویا بر اساس موقعیت مکانی گره‌ها تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که مدل قادر است اعتماد را به‌صورت تطبیقی و واقع‌گرایانه محاسبه کند.

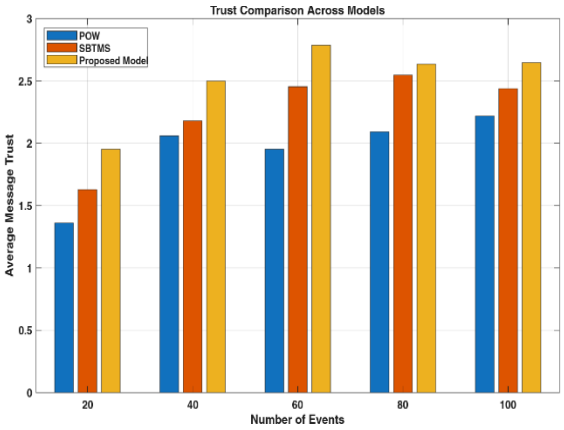
(نمودار-۱۳): نمای کلی از فاصلهٔ فیزیکی گره‌ها و اعتماد مستقیم
(Chart-13): Trust vs. Distance Between Nodes

در بخش پایانی، عملکرد کلی سه مدل بررسی شده‌است. نمودار (۴) میانگین نرخ اعتماد پیام را در سناریوهای مختلف برای سه مدل POW، SBTMS و مدل پیشنهادی نشان می‌دهد، که محور افقی تعداد رویدادهای شبیه‌سازی‌شده و محور عمودی میانگین اعتماد پیام در هر مدل را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل پیشنهادی در تمامی سناریوها عملکرد برتری دارد و میانگین اعتماد بالاتری را حفظ می‌کند. این برتری به‌ویژه در سناریوهایی با تعداد رویداد بیشتر و شرایط پرترافیک و پیچیده، برجسته است. عملکرد بهتر مدل پیشنهادی ناشی از بهره‌گیری از سامانه فازی تطبیقی و ساختار توزیع‌شدهٔ Chord در فرآیند اجماع است که دقت ارزیابی پیام‌ها را افزایش داده و تأثیر داده‌های جعلی را کاهش می‌دهد؛ در کل، نمودار (۱۴) نشان‌دهندهٔ پایداری و مقیاس‌پذیری بالای مدل پیشنهادی در محیط‌های متغیر و چالش‌برانگیز شبکه است.

نمودار (۱۵) قابلیت اطمینان شبکه را در سناریوهای مختلف برای مدل‌های POW، SBTMS و مدل پیشنهادی نمایش می‌دهد، که محور افقی تعداد رویدادهای شبیه‌سازی‌شده و محور عمودی مقدار قابلیت اطمینان محاسبه‌شده در هر مدل را مشخص می‌کند؛ همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل پیشنهادی در تمامی سناریوها از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار است و این برتری در سناریوهای پرترافیک و پیچیده، برجسته‌تر می‌شود. عملکرد برتر مدل پیشنهادی به‌دلیل استفاده از سازوکار اجماع مبتنی‌بر کمیته‌های ارزیاب، منطق فازی تطبیقی و ساختار توزیع‌شدهٔ Chord است که موجب کاهش خطاهای محاسباتی، حذف داده‌های نادرست و افزایش هماهنگی میان RSUها می‌شود. درمجموع، نمودار (۱۵)

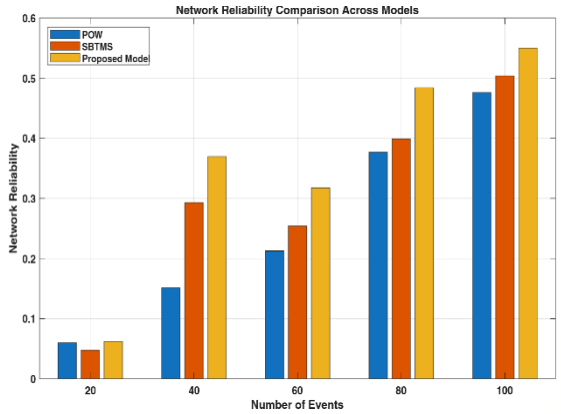
نشان‌دهندهٔ پایداری و دقت بالای مدل پیشنهادی در حفظ قابلیت اطمینان شبکه تحت شرایط متغیر و چالش‌برانگیز است.

نمودار (۱۶) زمان اجرای محاسباتی مدل‌های POW، SBTMS و مدل پیشنهادی را در سناریوهایی با تعداد رویداد متفاوت نشان می‌دهد، که محور افقی تعداد رویدادهای شبیه‌سازی‌شده و محور عمودی زمان اجرای الگوریتم‌ها (بر حسب ثانیه) را نمایش می‌دهد؛ همان‌طور که دیده می‌شود، مدل POW به‌دلیل ساختار ساده‌تر زمان اجرای کمتری دارد، اما دقت و قابلیت اطمینان پایین‌تری ارائه می‌دهد. مدل SBTMS با افزایش تعداد رویدادها، رشد قابل توجهی در زمان اجرا نشان می‌دهد که ضعف مقیاس‌پذیری آن را آشکار می‌کند؛ درمقابل، مدل پیشنهادی باوجود پیچیدگی بیشتر، به‌واسطهٔ تقسیم وظایف بین RSUها و استفاده از ساختار Chord، زمان اجرای متعادلی را حفظ کرده‌است و حتی در سناریوهای پرترافیک نیز عملکرد مناسبی ارائه می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی علاوه‌بر دقت و قابلیت اطمینان بالا، از نظر زمان اجرا نیز در شرایط واقعی شبکه پایدار و بهینه عمل می‌کند.



(نمودار-۱۴): میانگین اعتماد پیام در مدل‌ها

(Chart-14): Average message confidence in models

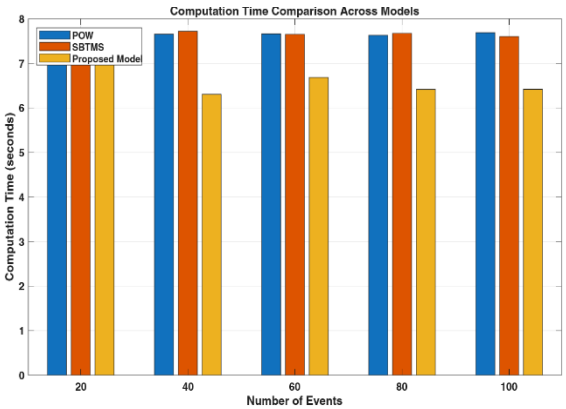


(نمودار-۱۵): قابلیت اطمینان شبکه در مدل‌ها

Network reliability in models:)Chart-15(

۵-۶-تحلیل رسمی مدل پیشنهادی SBTFC

در این بخش، امنیت مدل پیشنهادی مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی و سامانه فازی (SBTFC) از منظر مقاومت در برابر حملات متداول شبکه‌های بین‌خودرویی مورد بررسی قرار گرفته‌است. هدف، ارزیابی پایداری و قابلیت اطمینان ساختار کمیته‌ای RSUها در مواجهه با حملات رایج از قبیل Sybil، DoS و Replay است.



(نمودار-۱۶): زمان اجرای الگوریتم‌ها

(Chart-16): Algorithm execution time

مدل پیشنهادی با ترکیب چهار مؤلفهٔ اصلی شامل زنجیرهٔ قالبی غیرمتمرکز، سامانه استنتاج فازی، ساختار کمیته‌ای RSU و الگوریتم درهم‌سازی Chord طراحی شده‌است تا ضمن کاهش پیچیدگی محاسباتی، مقاومت امنیتی شبکه را افزایش دهد.

۶-۶ مقاومت در برابر حملهٔ Sybil

در حملات Sybil، مهاجم با ایجاد چندین هویت جعلی تلاش می‌کند فرآیند تصمیم‌گیری شبکه را مختل کند.

در مدلSBTFC، شناسهٔ هر RSU بر اساس درهم‌سازی ترکیبی از آدرس IP، کلید عمومی و عدد تصادفی ۳۲ بایتی در ساختار Chord تولید می‌شود. این شناسه در زمان عضویت گره به‌وسیلهٔ کمیته‌های RSU اعتبارسنجی می‌شود.

از آنجا که مقدار درهم‌سازی یک‌طرفه و غیرقابل پیش‌بینی است، تولید هویت‌های جعلی یا تکراری در عمل غیرممکن است؛ علاوه‌براین، نتایج احراز هویت در دفترکل زنجیرهٔ قالبی ذخیره می‌شود و هیچ گرهی قادر به تغییر یا جعل اطلاعات ثبت‌شده نیست؛ درنتیجه، مدل پیشنهادی در برابر حملات Sybil از مقاومت بسیار بالایی برخوردار است و امکان نفوذ با هویت‌های متعدد وجود ندارد.

۷-۶ مقاومت در برابر حملهٔ DoS (انکار سرویس)

در حملات DoS، مهاجم با ارسال حجم زیادی از درخواست‌های غیرواقعی، منابع شبکه را اشباع و مانع از ارائهٔ خدمات به گره‌های سالم می‌شود.

در طرح SBTFC، سه سازوکار مکمل برای مقابله با این نوع حمله درنظر گرفته شده‌است:

۱. توزیع بار پردازشی میان کمیته‌های RSU باعث حذف نقاط متمرکز و کاهش احتمال اشباع منابع می‌شود.
۲. مدل اعتماد تطبیقی فازی[1] سبب می‌شود پیام‌های مشکوک یا غیرمعتبر توسط RSUها شناسایی و حذف شوند.
۳. در صورت تشخیص رفتار غیرعادی، هشدار امنیتی از طریق زنجیرهٔ قالبی به سایر RSUها منتقل و گره مهاجم در سطح شبکه مسدود می‌شود.

این ساختار، انعطاف‌پذیری بالایی در برابر حملات انکار سرویس ایجاد می‌کند و عملکرد سامانه را پایدار نگه می‌دارد.

۶-۸-مقاومت در برابر حملهٔ بازپخش پیام[2]

در حملهٔ Replay، مهاجم با ضبط پیام معتبر و بازپخش آن در زمانی دیگر، قصد ایجاد اختلال یا انتشار داده‌های نادرست دارد.

در مدل پیشنهادی، هر پیام دارای شناسه یکتای پیام m_i است که از ترکیب نوع حادثه، مختصات مکانی و مهر زمان[3] تولید می‌شود. این شناسه در زنجیرهٔ قالبی ثبت و در فرآیند اعتبارسنجی بررسی می‌شود.

درصورت مشاهدهٔ شناسهٔ تکراری، کمیتهٔ مربوطه پیام را مردود اعلام کرده و از درج آن در بلاک جلوگیری می‌کند؛ همچنین سامانه فازی اطمینان باعث می‌شود پیام‌های مشابه با وزن اعتماد کمتر ارزیابی و حذف شوند؛ بنابراین احتمال موفقیت حملات بازپخش پیام در این مدل نزدیک به صفر است.

۶-۹-تحلیل جامع امنیتی

نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی SBTFC در مقایسه با رهیافت‌های پایهٔ SBTMS و POW از نظر احراز هویت، تمامیت داده‌ها، مقاومت در برابر جعل و جلوگیری از حملات توزیع‌شده برتری محسوسی دارد.

ترکیب چهار لایهٔ امنیتی شامل:

۱. درهم‌سازی غیرقابل معکوس Chord
۲. کمیته‌های تأییدکنندهٔ RSU با ساختار اجماع مبتنی‌بر زنجیرهٔ قالبی،
۳. سامانه استنتاج فازی برای تصمیم‌گیری هوشمند در خصوص اعتبار داده‌ها،
۴. سازوکار انتشار امن و غیرمتمرکز پیام‌ها

باعث شده‌است که مدل پیشنهادی ضمن حفظ کارایی محاسباتی، امنیت و قابلیت اعتماد بالاتری را در شبکه‌های بین‌خودرویی فراهم آورد.

[1] Fuzzy Trust
[2] Replay
[3] Timestamp

۷-بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش، یک چهارچوب هوشمند و ایمن برای شبکه‌های بین‌خودرویی مبتنی‌بر ترکیب فناوری زنجیرهٔ قالبی، منطق فازی و ساختار توزیع‌شدهٔ Chord ارائه شد. هدف از این مدل، افزایش قابلیت اعتماد، کاهش پیچیدگی محاسباتی و حذف نقاط متمرکز آسیب‌پذیر در زیرساخت ارتباطی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند[4] بود.

باتوجه به پویایی بالای گره‌ها و فقدان اعتماد ذاتی در محیط شبکه‌های بین‌خودرویی، طراحی یک سازوکار اعتماد توزیع‌شده و غیرمتمرکز ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. مدل پیشنهادی (SBTFC) با استفاده از سامانهٔ فازی برای محاسبهٔ اعتماد مستقیم و غیرمستقیم و زنجیرهٔ قالبی جهت ثبت تغییرناپذیر تراکنش‌ها، توانست پایداری و قابلیت اطمینان شبکه را به‌طور چشم‌گیری بهبود دهد؛ افزون‌براین، با بهره‌گیری از الگوریتم Chord در تشکیل کمیته‌های RSU و تخصیص کلیدهای رمز، خطر حملات جعل هویت و سازش در فرآیند اجماع کاهش یافت و امکان شناسایی رخدادها (نظیر تصادف، خرابی جاده و ازدحام ترافیکی) با دقت بالاتری فراهم شد.

نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که روش پیشنهادی، در مقایسه با طرح‌های پایهٔ SBTMS و POW، میانگین نرخ اعتماد و قابلیت اطمینان را به‌ترتیب شش و یازده درصد افزایش داده و درعین‌حال پیچیدگی محاسباتی را پنج تا شش درصد کاهش داده‌است. این نتایج مؤید آن است که حذف فرآیند ماینینگ و جایگزینی آن با ساختار Chord، ضمن حفظ امنیت، موجب تسریع در اجماع و کاهش مصرف منابع محاسباتی در شبکه شده‌است.

از نگاه کاربردی، رهیافت پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان هسته‌ای قابل اتکا برای مدیریت داده و اعتماد در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند به‌کار گرفته شود. در خودروهای خودران و ناوگان‌های مشارکتی[5]، این چهارچوب قادر است در زمان واقعی، اعتماد میان وسایل نقلیه را ارزیابی کرده و با اطمینان از صحت پیام‌های مبادله‌شده، تصمیم‌گیری‌های خودکار را ایمن‌تر کند؛ همچنین با به‌کارگیری این مدل در زیرساخت‌های شهری هوشمند، می‌توان تبادل اطلاعات بین ایستگاه‌های RSU، مراکز کنترل ترافیک و سرویس‌های ابری را با امنیت بالا و بدون وابستگی به نهاد متمرکز انجام داد.

در راستای توسعه‌های آینده، ترکیب رهیافت پیشنهادی با فناوری‌های پردازش لبه[6] و رایانش مه[7]

[4] ITS
[5] Collaborative Driving
[6] Edge Computing
[7] Fog Computing

پیشنهاد می‌شود تا با انتقال بخشی از پردازش به نزدیک‌ترین RSU یا گره خودرویی، تأخیر شبکه کاهش و واکنش به رخدادها در زمان واقعی امکان‌پذیر شود؛ همچنین می‌توان از ساختارهای هم‌ارز با Chord مانند Pastry یا Kademlia برای بهبود توازن بار و مقیاس‌پذیری استفاده کرد؛ در کل، مدل ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان یک چهارچوب پایه برای طراحی سامانه‌های اعتمادپذیر در خودروهای خودران، ناوگان‌های هوشمند و شبکه‌های حمل‌ونقل آینده مورد استفاده قرار گیرد و گامی مؤثر در مسیر تحقق شهرهای هوشمند ایمن و پایدار باشد.

باوجود نتایج مطلوب مدل پیشنهادی SBTFC، همچنان محدودیت‌هایی وجود دارد که در توسعه‌های آینده باید مورد توجه قرار گیرد. نخست آنکه عملکرد مدل تا حدی به تراکم و دردسترس‌بودن ایستگاه‌های کنار جاده وابسته است. در نواحی با پوشش اندک RSU، فرآیند تشکیل کمیته‌های ارزیاب و احراز هویت گره‌ها ممکن است با تأخیر یا افت دقت مواجه شود؛ بنابراین برای افزایش پایداری، ترکیب این مدل با نودهای سیار جانشین[1] یا زیرساخت‌های ابری سبک‌وزن پیشنهاد می‌شود.

دوم، استفاده از زنجیرهٔ قالبی خصوصی هرچند امنیت و کنترل را افزایش می‌دهد، اما موجب افزایش سربار ذخیره‌سازی و پردازش تراکنش‌ها درRSUها می‌شود. این مسئله به‌ویژه در سناریوهای پرتراکنش یا در محیط‌هایی با محدودیت توان محاسباتی، می‌تواند کارایی سامانه را کاهش دهد.

سوم، مدل پیشنهادی به‌دلیل بهره‌گیری از ساختار Chord برای مدیریت شناسه‌ها و توزیع کلیدها، در شبکه‌های بسیار بزرگ ممکن است با چالش نگه‌داری جداول انگشتی و به‌روزرسانی مستمر مواجه شود که بر زمان هم‌گرایی و پایداری شبکه اثر می‌گذارد.

درنهایت، از آنجا که منطق فازی به قوانین ازپیش تعریف‌شده وابسته است، در شرایط غیرقابل پیش‌بینی (مانند رفتارهای تصادفی رانندگان یا حملات ترکیبی) ممکن است دقت تصمیم‌گیری کاهش یابد. توسعهٔ یک سامانه یادگیری تطبیقی [2] یا ادغام با یادگیری تقویتی[3] می‌تواند این محدودیت را برطرف کند.

با درنظرگرفتن این چالش‌ها، پژوهش‌های آتی می‌توانند با طراحی ساختارهای هیبریدی مبتنی‌بر Edge–Fog Computing و زنجیرهٔ قالبی سبک‌وزن، کارایی و پایداری طرح را در محیط‌های واقعی خودروهای خودران و سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند ارتقا دهند.

[1] Mobile Agents
[2] Adaptive Learning-based Fuzzy System
[3] Reinforcement Learning

۸-مراجع 8-References

[1] S. Jiang, Z. Huang, and Y. Ji, "Adaptive UAV-assisted geographic routing with q-learning in VANET," *IEEE Communications Letters,* vol. 25, no. 4, pp. 1358-1362, 2020.

[2] Y. Liang, E. Luo, and Y. Liu, "Physically secure and conditional-privacy authenticated key agreement for VANETs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* 2023.

[3] N. Hu, X. Qin, N. Ma, Y. Liu, Y. Yao, and P. Zhang, "Energy-efficient Caching and Task offloading for Timely Status Updates in UAV-assisted VANETs," *arXiv preprint arXiv:2205.00692,* 2022.

[4] M. M. Hamdi, Y. A. Yussen, and A. S. Mustafa, "Integrity and Authentications for service security in vehicular ad hoc networks (VANETs): A Review," in *2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 2021, pp. 1-7: IEEE.

[5] H. Bangui, M. Ge, and B. Buhnova, "A hybrid machine learning model for intrusion detection in VANET," *Computing,* vol. 104, no. 3, pp. 503-531, 2022.

[6] K. Rashid, Y. Saeed, A. Ali, F. Jamil, R. Alkanhel, and A. Muthanna, "An Adaptive Real-Time Malicious Node Detection Framework Using Machine Learning in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs)," *Sensors,* vol. 23, no. 5, p. 2594, 2023.

[7] Y. He, D. Zhai, F. Huang, D. Wang, X. Tang, and R. Zhang, "Joint task offloading, resource allocation, and security assurance for mobile edge computing-enabled UAV-assisted VANETs," *Remote Sensing,* vol. 13, no. 8, p. 1547, 2021.

[8] M. Fotros, J. Rezazadeh, and O. Ameri Sianaki, "A survey on vanets routing protocols for iot intelligent transportation systems," in *Workshops of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 2020, pp. 1097-1115: Springer.

[9] M. M. Hamdi, L. Audah, S. A. Rashid, A. H. Mohammed, S. Alani, and A. S. Mustafa, "A review of applications, characteristics and challenges in vehicular ad hoc networks (VANETs)," in *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 2020, pp. 1-7: IEEE.

[10] R. Rajeswari and S. Rajesh, "Enhance Security and Privacy in VANET Based Sensor Monitoring and Emergency Services," *Cybernetics and Systems,* pp. 1-22, 2023.

[11] B. Hou, Y. Xin, H. Zhu, Y. Yang, and J. Yang, "VANET Secure Reputation Evaluation & Management Model Based on Double Layer Blockchain," *Applied Sciences,* vol. 13, no. 9, p. 5733, 2023.

[12] A.-S. K. Pathan, *Security of self-organizing networks: MANET, WSN, WMN, VANET*. CRC press, 2016.

[13] S. Yogarayan, S. F. A. Razak, A. Azman, M. F. A. Abdullah, S. Z. Ibrahim, and K. J. Raman, "A review of routing protocols for vehicular ad-hoc networks (VANETs)," in *2020 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 2020, pp. 1-7: IEEE.

[14] A. P. Mdee, M. T. R. Khan, J. Seo, and D. Kim, "Security compliant and cooperative pseudonyms swapping for location privacy preservation in VANETs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* 2023.

[15] M. A. Al-Shareeda and S. Manickam, "A Systematic Literature Review on Security of Vehicular Ad-hoc Network (VANET) based on VEINS Framework," *IEEE Access,* 2023.

[16] مجاهد، محمد مهدی، حسنی کرباسی، امیر، دری نوگورانی ،، صادق، کیاکجوری، علیرضا، «پروتکلی برای ارتباطات گمنام احراز اصالت شده با رمزنگاری پساکوانتومی و قراردادهای هوشمند»، *مجلهٔ مهندسی برق دانشگاه تبریز*، ۵۳ (۱)، ۴۹-۵۹، فروردین ۱۴۰۲.

[16] M. M. Mojahid, A. Hassani Karbasi, S. Dari Nogurani, A. Kiakjori, "A protocol for authenticated anonymous communications with post-quantum cryptography and smart contracts", *Journal of Electricity of Tabriz University*, Vol. 53, No. 1, pp. 49-59, 2023.

[17] A. Alharthi, *Blockchain Based Security and Trust Mechanisms for Vehicular Ad hoc Networks*. Lancaster University (United Kingdom), 2023.

[18]مهدی خان، روزبه، خالقی بیزکی، حسین، طباطبایی، سیدغلام حسین، «تخصیص منابع برش‌های شبکه با استفاده از زنجیرهٔ بلوکی در شبکه‌های چندین دامنه‌ای»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*،۵۴ (۱)، ۷۳-۸۵، اردیبهشت ۱۴۰۳.

[18] R. Mehdi Khan, H. Khaleghi Bizeki, S. G. H. Tabatabaei, "Resource Allocation of Network Slices Using Blockchain in Multi-Domain Networks", Journal of Electrical Engineering, University of Tabriz,

[19] F. Ghovanlooy Ghajar, J. Salimi Sratakhti, and A. Sikora, "Sbtms: Scalable blockchain trust management system for vanet," *Applied Sciences,* vol. 11, no. 24, p. 11947, 2021.

[20] B. Sekhar *et al.*, "Artificial neural network-based secured communication strategy for vehicular ad hoc network," *Soft Computing,* vol. 27, no. 1, pp. 297-309, 2023.

[21] H. Amari, Z. Abou Elhouda, L. Khoukhi, and L. H. Belguith, "Trust Management in Vehicular Ad-hoc Networks: Extensive Survey," *IEEE Access,* 2023.

[22] J. Zhang, H. Fang, H. Zhong, J. Cui, and D. He, "Blockchain-Assisted Privacy-Preserving Traffic Route Management Scheme for Fog-Based Vehicular Ad-Hoc Networks," *IEEE Transactions on Network and Service Management,* 2023.

[23] J. Grover, "Security of Vehicular Ad Hoc Networks using blockchain: A comprehensive review," *Vehicular Communications,* vol. 34, p. 100458, 2022.

[24] X. Feng, K. Cui, H. Jiang, and Z. Li, "EBAS: An Efficient Blockchain-Based Authentication Scheme for Secure Communication in Vehicular Ad Hoc Network," *Symmetry,* vol. 14, no. 6, p. 1230, 2022.

[25] A. S. Akhter, M. Ahmed, A. Anwar, A. S. Shah, A.-S. K. Pathan, and A. Zengin, "Blockchain in vehicular ad hoc networks: Applications, challenges and solutions," *International Journal of Sensor Networks,* vol. 40, no. 2, pp. 94-130, 2022.

[26] Y. Yang, D. He, H. Wang, and L. Zhou, "An efficient blockchain-based batch verification scheme for vehicular ad hoc networks," *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies,* vol. 33, no. 5, p. e3857, 2022.

[27] X. Li and X. Yin, "Blockchain-based group key agreement protocol for vehicular ad hoc networks," *Computer Communications,* vol. 183, pp. 107-120, 2022.

[28] C. Lin, D. He, X. Huang, N. Kumar, and K.-K. R. Choo, "BCPPA: A blockchain-based conditional privacy-preserving authentication protocol for vehicular ad hoc networks," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* vol. 22, no. 12, pp. 7408-7420, 2020.

[29] S. P. Singh and G. H. Sastry, "Blockchain-Enabled Security in Vehicular Ad Hoc Network Check for updates," *Advances in Data Science and Computing Technologies: Select Proceedings of ASDC 2022,* vol. 1056, p. 181, 2023.

[30] M. Azath and V. Singh, "An approach to preventing vehicular ad-hoc networks from malicious nodes based on blockchain," *Review of Computer Engineering Research,* vol. 10, no. 1, pp. 16-27, 2023.

[31] A. Ansari, "The basics of fuzzy logic: A tutorial review," *COMPUTER EDUCATION-STAFFORD-COMPUTER EDUCATION GROUP-*, vol. 88, pp. 5-8, 1998.

[32] D.-G. Zhang, C.-H. Ni, J. Zhang, T. Zhang, and Z.-H. Zhang, "New method of vehicle cooperative communication based on fuzzy logic and signaling game strategy," *Future Generation Computer Systems,* 2022.

[33] X. Zhang, J. Lai, and A. J. Moshayedi, "Traffic data security sharing scheme based on blockchain and traceable ring signature for VANETs," *Peer-to-Peer Networking and Applications,* pp. 1-18, 2023.

[34] H. Panchal and S. Gajjar, "Fuzzy Logic-Based Cluster Head Selection an Underwater Wireless Sensor Network: A Survey," in *Communication and Intelligent Systems: Proceedings of ICCIS 2021*: Springer, 2022, pp. 661-673.

[35] S. Kniesburges, A. Koutsopoulos, and C. Scheideler, "Re-chord: a self-stabilizing chord overlay network," *Theory of Computing Systems,* vol. 55, no. 3, pp. 591-612, 2014.

[36] H. Thakkar and S. Ujjwal, "The Successful Key Division Using Chord, Pastry, and Kadmelia," in *2023 International Conference on Applied Intelligence and Sustainable Computing (ICAISC)*, 2023, pp. 1-8: IEEE.

[37] H. Li, Y. Li, Q. Zhang, and Z. Yang, "Contact-aware Multiple-Layer CHORD for routing in Large-scale Satellite Networks," in *2023 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC)*, 2023, pp. 1-6: IEEE.

[38] C.-P. Balatsouras, A. Karras, C. Karras, D. Tsolis, and S. Sioutas, "Wichord: A chord protocol application on p2p lora wireless sensor networks," in *2022 13th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)*, 2022, pp. 1-8: IEEE.

[39] S. Wang, Y. Hu, and G. Qi, "Blockchain and deep learning based trust management for

Internet of Vehicles," *Simulation Modelling Practice and Theory,* vol. 120, p. 102627, 2022.
[40] X. Zhang, J. Lai, and A. J. Moshayedi, "Traffic data security sharing scheme based on blockchain and traceable ring signature for VANETs," *Peer-to-Peer Networking and Applications,* pp. 1-18, 2023.
[41] C. P. Fernandes, C. Montez, D. D. Adriano, A. Boukerche, and M. S. Wangham, "A blockchain-based reputation system for trusted vanet nodes," *Ad Hoc Networks,* vol. 140, p. 103071, 2023.
[42] B. Li, R. Liang, D. Zhu, W. Chen, and Q. Lin, "Blockchain-based trust management model for location privacy preserving in VANET," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,* vol. 22, no. 6, pp. 3765-3775, 2020.
[43] K. A. Awan, I. U. Din, and A. Almogren, "A blockchain-assisted trusted clustering mechanism for IoT-enabled smart transportation system," *Sustainability,* vol. 14, no. 22, p. 14889, 2022.
[44] W. Ahmed, W. Di, and D. Mukathe, "Privacy-preserving blockchain-based authentication and trust management in VANETs," *IET Networks,* vol. 11, no. 3-4, pp. 89-111, 2022.
[45] T. Gazdar, O. Alboqomi, and A. Munshi, "A Decentralized Blockchain-Based Trust Management Framework for Vehicular Ad Hoc Networks," *Smart Cities,* vol. 5, no. 1, pp. 348-363, 2022.
[46] W. Ahmed, D. Wu, and D. Mukathie, "Blockchain-Assisted Trust Management Scheme for Securing VANETs," *KSII Transactions on Internet & Information Systems,* vol. 16, no. 2, 2022.
[47] G. Anand, Lawal, Blockchain-Assisted Machine Learning Framework for Trust Management in VANETs (March 20, 2025). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=5321428 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5321428
[48]Ehsan Memary, Chien-Chung Shen, Hao Guo, and Mark Nejad, "TrCoin: A Blockchain-Based Robust Trust Management System for VANET". ACM J. Auton. Transport. Syst. 2, 3, Article 13 (September 2025), 20 pages. https://doi.org/10.1145/3729430
[49] Journal Article, "Blockchain-Based Multi-Path Mobile Access Point Selection for Secure 5G VANETs", Zhang, Zhiou, Guo, Weian,Li, Li, Li, Dongyang, arXiv preprint arXiv:2411.03371, 2024
[50] Journal Article, "A trust management framework for vehicular ad hoc networks", Shahariar, Rezvi, Phillips, Chris,arXiv preprint arXiv:2405.04885,2024
[51] خداقلی، منا، دولتی، اردشیر، حسین زاده، علی، شمس الکتابی، خشایار، «روشی جدید برای عضویت‌دهی به داده‌ها و شناسایی نوفه و داده‌های پرت با استفاده از ماشین بردار پشتیبان فازی»، فصلنامهٔ پردازش علائم و داده ها، ۱۵ (۱)، ۱۰۱-۱۱۲، پاییز ۱۳۹۷.
[51]Khodagholi M, Dolati A, Hosseinzadeh A, Shamsolketabi K. "A New Method to Determine Data Membership and Find Noise and Outlier Data Using Fuzzy Support Vector Machine", *Journal of signal and data processing*, 2018; 15 (۱) :101-112 .URL: http://jsdp.rcisp.ac.ir/article-1-394-en.html
[52] کبریائی، حامد، کمالی نژاد، حوراء، نجار اعرابی، بابک، « پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت با انتخاب ورودی به روش LLE و موتور پیش‌بینی ترکیبی RBF-Fuzzy»، فصلنامهٔ پردازش علائم و داده ها، ۱۶ (۱)، ۴۱-۵۶، بهار ۱۳۹۸.
[52] Kebriaei H, Kamalinejad H, Nadjar Araabi B. "Short term load forecast by using Locally Linear Embedding manifold learning and a hybrid RBF-Fuzzy network", *Journal of signal and data processing*, 2019; 16 (1) :41-56. URL: http://jsdp.rcisp.ac.ir/article-1-776-en.html

نیلوفر خسروی راد مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه شهاب دانش قم دریافت کرد. ایشان در حال حاضر دانشجوی مقطع دکترای دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم است.
نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
Niloufarkhosravirad73@gmail.com

رضا احسن مدرک دکترای خود را از دانشگاه قم در گرایش مهندسی فناوری اطلاعات دریافت و مدرک کارشناسی ارشد خود را در گرایش مهندسی کامپیوتر هوش مصنوعی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و مدرک کارشناسی خود را در گرایش نرم‌افزار دانشگاه صنعتی سجاد دریافت کرده‌است. ایشان در حال حاضر استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم و رئیس دانشکدهٔ مهارت و کارآفرینی است.
نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
ahsan.ac.ir@gmial.com

احمد شریف مدرک دکترای خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم در گرایش مهندسی کامپیوتر دریافت و مدرک کارشناسی ارشد خود را در گرایش مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و مدرک کارشناسی خود را در گرایش نرم‌افزار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک دریافت کرده‌است. ایشان در حال حاضر استادیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی کامپیوتر، مدیر گروه مهندسی کامپیوتر دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم است.
نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
asharif@iau.ac.ir

علی کریمی مدرک کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه آزاد اسلامی قم در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر در سال ۱۴۰۳ دریافت کرده‌است. ایشان در حال حاضر دانشجوی دکترای مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار واحد قم و کارمند سازمان فناوری و اطلاعات شهرداری قم در سمت رئیس ادارهٔ زیرساخت است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:
a.alikarimi91@gmail.com