



تخصیص منابع محاسباتی در شبکه‌های مه خودرویی با رویکرد انرژی تجدید پذیر آگاه از تحرک

مانی زارعی^{۱*}، آرزو کاکائی^۲، سید مهدی جامعی^۱

*نویسنده مسئول، دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

^۱ استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ دانش‌آموخته، گروه مهندسی فناوری اطلاعات، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

رایانش مه یک مدل نوظهور از رایانش ابری است که هدف آن برآورده ساختن درخواست‌های محاسباتی در نزدیکی کاربر و یا حتی لبه شبکه است. محلی سازی خدمات پردازشی، به حداقل رساندن زمان انتقال و پردازش داده‌های بلادرنگ و پشتیبانی از تحریک‌پذیری اجزای شبکه از جمله خدمات سفارشی‌سازی شده‌ی رایانش مه محسوب می‌شود که می‌تواند با استقرار در لبه شبکه، راهکار مناسبی برای غلبه بر محدودیت‌های منابع محاسباتی باشد. تخصیص منابع محاسباتی مؤثر به درخواست‌های دریافت شده در محیط‌های پویا همچنان چالش برانگیز است. در این مقاله، یک مدل تخصیص منابع محاسباتی در شبکه مه خودرویی آگاه از تحرک مبتنی بر انرژی تجدید پذیر پیشنهاد می‌گردد. در مدل پیشنهادی از یک راهکار مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی و تابع برازندگی جهت تخصیص منابع پردازشی بهینه در لایه مه استفاده می‌شود. هدف تابع برازش، ارزیابی میزان مناسب بودن منابع مه خودرویی جهت تخصیص به گره‌های فعال شبکه به‌منظور انجام وظایف درخواستی آن‌ها است. مدل محاسباتی مه خودرویی معرفی شده شامل خودروهای درخواست دهنده، گره‌های مه و گره‌های مه خودرویی است که تعاملات منسجم اجزای این شبکه آگاه از انرژی، بیانگر بهبود توان محاسباتی مه در مدل پیشنهادی است. در بخش ارزیابی و تجزیه و تحلیل، عملکرد مدل پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی در محیط کلودسیم راستی آزمایی می‌شود. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که روش ارائه شده دارای تأثیر مطلوبی بر روی کاهش زمان اجرای وظایف (میانگین ۱۲.۵ درصد) و مصرف انرژی (میانگین ۸.۹ درصد) است.

کلمات کلیدی: انرژی تجدید پذیر، تابع برازش، تخصیص منابع محاسباتی، تخصیص منابع، رایانش مه خودرویی، رایانش مه.

۱- مقدمه

مه، پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها در نزدیکی دستگاه‌های نهایی انجام می‌شود جایی که مقدار زیادی از داده‌ها تولید می‌شوند. قرار دادن خدمات تا حد ممکن نزدیک به دستگاه‌های پایانی، ترافیک غیرضروری شبکه را حذف و انتقال توده داده‌های تولید شده توسط ابزارهای اینترنت اشیا را سرعت می‌بخشد. استقرار معماری مه یک سرویس قابل اعتماد را برای کاربران پایانی فراهم می‌کند. به‌طور خاص، مدل مه برای انواع سرویس‌های مختلف که با حساسیت تأخیر مشخص می‌شود، ضروری است. به‌طور کلی، مدل رایانش مه با تأخیر کم، توزیع جغرافیایی دستگاه‌ها، تحرک و تعداد زیادی از گره‌ها نیز شناخته می‌شود [۱].

اگرچه محیط رایانش مه برای ارائه سرویس قابل اعتماد به برنامه‌های بلادرنگ طراحی شده است، در سناریوهای خاص، مه، شمار زیادی از درخواست‌هایی را که اغلب از ظرفیتش فراتر می‌رود را نیز تجربه می‌کند؛ در نتیجه، مشکلات عملکرد پراکنده به وجود می‌آیند. برای مثال، در یک مرکز خرید چندساله که در آن تعداد زیادی از مشتریان روزانه میزبانی می‌شوند، یک سرویس مه برای ارائه خدمات

با پررنگ‌تر شدن نقش اینترنت اشیا^۱ در عصر جدید اطلاعات، داده‌های بسیاری در لبه شبکه تولید و مصرف می‌شوند. همان‌طور که قابلیت‌های محاسباتی و ارتباطی دستگاه‌های هوشمند^۲ و دستگاه‌های خودرو^۳ در حال بهبود است نیازمندی‌های خدمات رایانشی به کاربران متحرک همچنان افزایش می‌یابد [۱]. رایانش مه^۴ یک الگوی نوظهور از رایانش ابری^۵ است که هدف آن آوردن ابر نزدیک به لبه^۶ است. این الگو می‌تواند به دستگاه‌های همراه در غلبه بر محدودیت‌های محاسباتی منابع در حضور چالش‌های ابر کمک کند. چالش ابر، به حداقل رساندن زمان انتقال داده‌ها، اجرای وظیفه برای کاربر دستگاه همراه که به دلیل تحرک^۷، مکانش تغییر می‌کند و مصرف انرژی برای دستگاه‌های همراه است.

مفهوم شبکه‌های مه خودرویی^۸ نیازمند درک مفهوم مه است. مه یک پارادایم پیشرفته محاسباتی است که رایانش ابری متداول را به لبه شبکه می‌آورد. در مدل

- در مدل پیشنهادی از یک راهکار مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی و تابع برازندگی جهت تخصیص منابع پردازشی بهینه در لایه مه استفاده می‌شود. هدف تابع برازش، ارزیابی میزان مناسب بودن منابع مه خودروبی جهت تخصیص به گره‌های فعال شبکه به منظور انجام وظایف درخواستی آن‌ها است.
 - الگوریتم تخصیص منابع در مدل پیشنهادی، دو معیار، انرژی مصرفی و تأخیر را به عنوان معیارهای تخمین برازش بکار می‌برد.
- سازمان‌دهی مقاله در ادامه توضیح داده می‌شود. بخش دوم شامل دانش پیش‌زمینه است و بخش سوم پیشینه تحقیق را توضیح می‌دهد. بخش چهارم مدل شبکه را توضیح می‌دهد و معماری شبکه مه خودروبی مبتنی بر تخصیص منابع محاسباتی در بخش پنجم معرفی می‌شود. بخش ششم شامل مدل پیشنهادی است و بخش هفتم تجزیه و تحلیل یافته‌های مقاله را نشان می‌دهد. بخش هشتم شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادها آتی است.

۲- دانش پیش‌زمینه

فن‌آوری رایانش لبه که می‌تواند خدمات محاسباتی و شبکه را از سرویس‌های متمرکز دور کند، بر این اساس به عنوان یک نقطه تمرکز ظاهر می‌شود. در ادامه، برخی از پلتفرم‌های مرتبط معرفی می‌شوند.

۲-۱- رایانش فراگیر

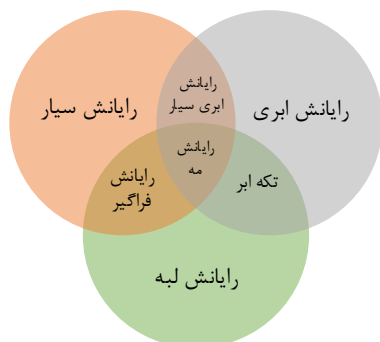
رایانش فراگیر^{۱۲} (UC) یک مفهوم محاسبات توزیع شده است و برای انجام پردازش داده‌های سبک‌وزن فراگیر استفاده می‌شود و به طور گسترده‌ای در زیست‌بوم اینترنت اشیاء مورد استفاده قرار می‌گیرد. رایانش فراگیر مدل همپوشان^{۱۳} بین رایانش سیار و رایانش لبه است.

۲-۲- تکه ابر

استیپاناریانان^{۱۴} و همکارانش مفهوم تکه‌ابر^{۱۵} را معرفی کردند: "کامپیوترهای غنی منابع، قابل اعتماد در نزدیکی حومه کاربران سیار". هدف از تکه‌ابر صریح است یعنی "آوردن ابر نزدیک‌تر. تکه‌ابر را می‌توان به عنوان همپوشانی بین رایانش ابری و رایانش لبه در نظر گرفت.

۲-۳- رایانش ابری سیار

با توجه به محبوبیت تخلیه محاسبات در یک محیط تحرک پذیر، رایانش ابری سیار موضوعی داغ است. رایانش ابری سیار^{۱۶} بخشی از این وظیفه را به صورت محلی پردازش می‌کند و باقیمانده را به یک مرکز ابر با کارایی بالا با مفهوم اصلی بهره‌وری انرژی انتقال می‌دهد. در حقیقت، رایانش ابری سیار متشکل از همپوشانی رایانش ابری و رایانش سیار است.



شکل ۱- همپوشانی پلتفرم‌های محاسباتی

۲-۴- رایانش مه

رایانش مه که در ابتدا توسط سیسکو معرفی شده است، به عنوان یک موضوع جدید مطرح شده برای حل مسائل محاسبات حساس به تأخیر ظاهر می‌شود. همانند بعضی از دیگر پلتفرم‌های رایانش لبه، رایانش مه برای پردازش داده‌ها، به جای یک ابر راه دور از منابع محاسبات محلی استفاده می‌کند. مجاورت جغرافیایی بین منبع

گوناگون به مشتریان و بازدیدکنندگان در حالی که در آنجا اوقات می‌گذرانند، ایجاد می‌شود. در طول تعطیلات آخر هفته، تعطیلات عمومی و مخصوصاً در ساعات اوج، هزاران نفر از مشتریان در مراکز خرید سیر می‌کنند و از خدمات ارائه شده استفاده می‌کنند. باین حال، منابع محاسباتی محدود در مه مانع این استفاده می‌شود.

ساده‌ترین راه برای غلبه بر این مشکل این است که زیرساخت‌های محاسباتی به منظور تطبیق با تقاضاهای اضافی از نظر مقیاس‌پذیری ارتقا یابد^{۱۷}. باین وجود، اعمال چنین سیاستی، مقادیر قابل توجهی هزینه پیش‌رو دارد. علاوه بر این، به دلیل اینکه تقاضا در طول زمان ثابت نیست، منابع محاسباتی بیش از حد پیش‌بینی شده ممکن است در دوره‌های غیر اوج بدون استفاده باقی بمانند.

مجموعه‌ای از وسایل نقلیه هوشمند که در یک مرکز خرید برای مدت‌زمان طولانی پارک شده‌اند، دارای قدرت محاسباتی فوق‌العاده‌ای هستند که در شرایط عادی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. این مجموعه وسیعی از وسایل نقلیه هوشمند می‌تواند به عنوان محاسبات، ذخیره‌سازی و منابع شبکه‌ای مکمل در نظر گرفته شود و همچنین برای خدمت‌رسانی به تعداد بسیار زیادی از درخواست‌هایی که غیرممکن است به طور مرتب با منابع مه اداره شود نیز به کار برده شود [۳].

وسایل نقلیه الکتریکی پارک شده به برق و خروجی‌های شبکه متصل می‌شوند. علاوه بر این، به صاحبان وسایل نقلیه انواع مختلفی از انگیزه‌های توصیف شده در بخش اینترنت اشیاء در عوض اعطای منابع محاسباتی وسایل نقلیه خود به ارائه‌دهنده خدمات مه نیز پیشنهاد داده می‌شود.

تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی نیز برای پیش‌بینی تعداد واقعی وسایل نقلیه پارک شده در فضای پارکینگ خاص در هر زمان خاص مورد نیاز است. با توجه به ماهیت پویایی ابر وسایل نقلیه^{۱۸}، متوسل شدن به منابع محاسباتی وسایل نقلیه، در مقایسه با مورد مه منظم، منجر به پیش ارائه اضافی^{۱۹} نمی‌شود. این به این دلیل است که تعداد مشتریان و در نتیجه، درخواست‌های آن‌ها به طور ناخودآگاه متناسب با تعداد وسایل نقلیه پارک شده بوده است. تقاضاهای بیشتر که از سوی کاربران دریافت می‌شود، وسایل نقلیه پارک شده بیشتر برای خدمت وجود خواهند داشت. علاوه بر این، یک تصویر شفاف از خدمات مه در دسترس کاربران مخصوص مه در مراکز خرید را پیش‌بینی می‌شود. به عبارت دیگر، کاربران بی‌اطلاع‌اند از اینکه کارهای محاسباتی خودشان توسط زیرساخت‌های مه خودشان پردازش می‌شود یا به ابر وسایل نقلیه مکمل محمول شده است؛ بنابراین ظرفیت منابع در مه، تأخیر، ترافیک شبکه، انرژی، زمان‌بندی و تخصیص منابع از جمله چالش‌های کلیدی در رایانش مه محسوب می‌شوند؛ و به منظور غلبه بر چالش‌های موجود اهم دستاوردهای تحقیق به صورت زیر سازمان‌دهی شده است.

- در این مقاله، یک مدل رایانش مه در یک محیط انرژی تجدید پذیر معرفی می‌شود که منابع محاسباتی خودروبی نزدیک به کاربر و دسترس پذیر هستند. مدل محاسباتی مه شامل محیط ابری، گره‌های مه، گره‌های مه خودروبی و اشیاء در لبه است که به زیرساخت دسترسی بی‌سیم متصل است.

- مدل پیشنهادی با ارائه یک طرح برای زمان‌بندی وظیفه و تخصیص منابع در مه راه‌حل جامع در جهت بهبود چالش کمبود ظرفیت منابع محاسباتی در مه و بهبود مصرف انرژی ارائه می‌دهد.

- در مدل پیشنهادی خودروهای الکتریکی به عنوان منبع انرژی در محیط‌های مه در مقاله دو سناریو در نظر گرفته می‌شوند. در سناریوی اول خودروبی که انرژی پایینی برای انجام محاسبات خود دارد، می‌تواند درخواست محاسباتی خود را به خودروی مقصد در شبکه‌های مه خودروبی واگذار کند. سناریوی دوم، حالتی است که فرض کنیم پارکینگ‌ها و مراکز شبکه‌های مه خودروبی موجود در این مقاله از ساختار انرژی خودرو به گرید پیروی می‌کند و به این صورت خودروهای بیکار در خانه‌ها یا مراکز خرید می‌توانند انرژی خود را به شبکه برق اجاره دهند با بفروشد.

مدیریت QoS، مقیاس‌پذیری، تحرک و ... به بررسی و ارزیابی مورد‌های کاربردی در این زمینه می‌پردازند. سپس معماری و الگوریتم‌هایی که سامانه‌های مه را پوشش می‌دهند را مورد پژوهش قرار می‌دهند؛ و در آخر به بیان چالش‌های مطرح‌شده در این حوزه می‌پردازند [۶]. محمد اعظم و همکارانش معماری جامعی از مه را به همراه مزایا و محدودیت‌های آن ارائه داده‌اند. نتایج ارزیابی عملکرد و تجزیه و تحلیل ارائه‌شده با استفاده از معیارهای عملکردی مانند تأخیر پردازش، هزینه پردازش و قدرت پردازش در این مطالعه، از مناسب بودن مه با توجه به اندازه وظایفی که انجام می‌شود، صحبت می‌کند [۷]. جوان لوو و همکارانش در یک مقاله، بابیان اینکه، ماشین‌های مجازی مورد استفاده برای رایانش ابری که همچنین برای رایانش مه به‌عنوان واحد منابع استفاده می‌شوند، قادر به برآورده کردن نیاز رایانش مه نیستند، معماری چند ابر به چند مه را بر اساس کانتینر^{۱۷} و پیاده‌سازی مربوط به آن را پیشنهاد کرده‌اند. آن‌ها این موضوع را برای حل چالش توسعه ابر خصوصی بیان کرده‌اند. نکته اصلی این معماری استفاده از کانتینر به‌عنوان واحد منبع برای کاهش زمان پاسخگویی به درخواست‌ها و طراحی مؤلفه عامل ابری برای حل مشکل ناشی از مستأجران^{۱۸} متعدد است. علاوه بر این، یک الگوریتم برنامه‌ریزی وظیفه بر اساس تعادل انرژی برای پیشبرد عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم^{۱۹} بدون افزایش تأخیر در وظایف پیشنهادشده است [۸].

برای برآورده کردن نیازهای تأخیر پایین خدمات محاسباتی جدید خودرویی که نیاز به محاسبات زیاد دارند، تخلیه بار به سرورهای لبه یا ابر به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر شناخته‌شده است. چنگ و همکاران، یک مدل همکاری انتها-لبه-ابر برای تخلیه بار محاسباتی در شبکه‌های خودرویی مبتنی بر مه (FVNETs) با ادغام خودروها با منابع آزاد به‌عنوان تجهیزات کاربری مه (F-UEs) پیشنهاد دادند. در روش پیشنهادی به‌منظور بهینه‌سازی منابع انتها-لبه-ابر به‌صورت تطبیقی در موارد بار مختلف، یک چارچوب رزرو و تخصیص منابع دو تایم‌اسکیل پیشنهادشده است. در این چارچوب، ابتدا مسئله تحریکی دینامیک F-UE بر اساس بازی استکلبرگ با سرور ابر به‌عنوان رهبر و چندین F-UE به‌عنوان دنبال‌کنندگان فرموله شده است و سپس یک الگوریتم تکراری پیشنهادشده تا تعادل استکلبرگ قیمت و رزرو منابع محاسباتی دستیابی یابد. در یک مقیاس زمانی کوچک‌تر، مسئله تخصیص مشترک منابع ارتباطی و محاسباتی به یک بازی چندعاملی تصادفی تبدیل می‌شود و یک الگوریتم توزیعی مبتنی بر یادگیری ژرف تقویتی چندعاملی ملایم توسعه داده می‌شود تا میزان تأخیر کل را کمینه کند. وقتی که عملکرد تأخیر بدتر می‌شود، بهینه‌سازی تحریکی F-UE فعال می‌شود تا منابع بیشتری از F-UE را رزرو کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تمامیت محاسباتی انجام‌شده توسط این چارچوب تخلیه بار محاسباتی انتها-لبه-ابر در FVNETs نسبت به مدل‌های پایه در مورد میانگین تأخیر بهبود می‌آورد [۹].

مقالات تحلیل‌شده در این بخش از نظر چالش، فن مورد استفاده، ابزار شبیه‌سازی یا پیاده‌سازی، دیتاست، معیارهای ارزیابی، مزایا و معایب در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۲- کارهای انجام‌گرفته در زمینه زمان‌بندی وظیفه و تخصیص منابع در مه

یانگ و همکارانش، یک چارچوب رایانش مه کارآمد انرژی در شبکه‌های مه همگن را پیشنهاد می‌کنند که از همکاری میان گره‌های دستگاه کاربر استفاده می‌کند، اما هر گره می‌تواند قابلیت محاسبات ناهمگن و کیفیت شبکه را داشته باشد.

آن‌ها همچنین بر اساس فرمول‌بندی مسئله و تجزیه و تحلیل نظری، یک الگوریتم کم پیچیدگی برنامه‌ریزی وظیفه ماکزیمم کارآمد انرژی^{۲۰} (MEETS) را برای دستیابی به برنامه‌ریزی وظیفه کارآمد انرژی در میان گره‌های همگن توسعه می‌دهند که می‌تواند استراتژی انتخاب طرح مدولاسیون^{۲۱} و تخصیص برش‌های زمانی تخلیه را برای برنامه‌ریزی وظیفه با استفاده از اشتراک طیف از شبکه اولیه را

داده و پردازنده‌ها تأخیر انتقال را کاهش می‌دهد. شکل ۱ مدلی از همپوشانی پلتفرم‌های محاسباتی کلاسیک را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، همپوشانی رایانش ابری سیار، تکه ابر و رایانش فراگیر، رایانش مه است.

رایانش مه یک زیرساخت محاسباتی توزیع‌شده نوظهور است که هدف آن تحقق محاسبات نزدیک به منابع داده است که تأخیر و هزینه ارسال داده‌ها را نسبت به یک ابر راه دور کاهش می‌دهد و مناسب کاربردها بلادرنگ است. این ویژگی و مزایای مربوط به آن برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا، مخصوصاً سرویس‌های حساس به تأخیر و مأموریتی مهم مناسب است [۴].

هدف رایانش مه قرار دادن امکان اجرای وظایف محاسباتی پیچیده به‌طور مستقیم در لبه شبکه برای دستگاه‌های همراه است. مزایای رایانش مه عبارت است از نزدیکی به کاربران نهایی، آگاهی مکانی، تأخیر کم و پشتیبانی از جابه‌جایی است [۵]. با این حال، رایانش مه در بسیاری از سطوح چالش‌هایی را به وجود آورد که از مهم‌ترین و ابتدایی‌ترین آن‌ها نیز کمبود ظرفیت منابع محاسباتی بوده است. در برخی موارد، ظرفیت رایانش مه با افزایش تعداد درخواست‌های کاربران، به‌ویژه در ساعات اوج استفاده، در هم می‌شکند و این امر می‌تواند منجر به تضعیف حاد عملکرد شود [۲]. جدول ۱ یک مقایسه از ارائه خدمات در پلتفرم‌های محاسباتی تکه ابر، رایانش ابری، رایانش فراگیر و مه را نشان می‌دهد [۴].

جدول ۱- مقایسه سرویس‌های پلتفرم‌های محاسباتی

ویژگی پلتفرم	تحرک	آزادی	هزینه	توان محاسباتی	تأخیر
تکه ابر	متوسط	_____	متوسط	بالا	متوسط
رایانش سیار	بالا	_____	بالا	بسیار بالا	بالا
رایانش فراگیر	بالا	بالا	پایین	پایین	پایین
مه	بالا	متوسط	پایین	متوسط	پایین

۳-۳- پیشینه پژوهش

این مقاله، سعی بر ارائه راهکارهایی برای بهبود دو مسئله کلیدی کمبود ظرفیت در مه و تخصیص منابع در مه دارد. پس می‌توان محدودده کارهای انجام‌شده در این زمینه را به دو بخش کارهای انجام‌شده در زمینه بهبود مسائل مربوط به کمبود ظرفیت در مه و کارهای انجام‌شده در زمینه زمان‌بندی و تخصیص منابع در مه تقسیم کرد. تحقیقات کمتری این مسائل را به‌صورت هم‌زمان پوشش داده‌اند و همچنین هیچ تحقیقی به بررسی این دو مسئله به‌صورت هم‌زمان در زیست‌بوم پیشنهادی ما نپرداخته است. در ادامه ابتدا به بررسی کارهای انجام‌گرفته در زمینه کمبود ظرفیت در مه می‌پردازیم و راهکارهایی که پیش‌تر محققان برای این موضوع پیشنهاد داده‌اند، سپس به بررسی پژوهش‌هایی می‌پردازیم که هدف آن‌ها زمان‌بندی وظیفه و تخصیص منابع در مه بوده است.

۳-۱- کارهای انجام‌گرفته در زمینه کمبود ظرفیت در مه

یانگ لی و همکارانش در یک مقاله، ویژگی‌های رایانش مه را عنوان کرده‌اند و تفاوت‌های آن نسبت به دیگر پلتفرم‌های مشابه را بیان کرده‌اند. ابتدا یک معماری از رایانش مه در هر دو جنبه محاسباتی و شبکه ارائه‌شده است. سپس، یک چارچوب برای تخصیص منابع و کاهش تأخیر پیشنهادشده است. در همین حال، تحمل نقص و حفظ حریم خصوصی، هر دو در چارچوب با راه‌حل‌های بالقوه مربوطه و با روش‌های بهینه‌سازی در نظر گرفته‌شده است. در نهایت، آن‌ها چارچوب را تحت یک سناریوی کاربردی و الگوریتم ژنتیک ترکیب‌شده با یک رویکرد نمونه‌گیری توزیع دیریکله نیز ارزیابی می‌کنند [۴]. کارلا مورادیان و همکارانش در مقاله‌ای، یک بررسی جامع در مورد رایانش مه ارائه می‌دهند و با توجه به مجموعه‌ای مختصر از معیارهای ارزیابی، وضعیت تأخیر را به‌طور انتقادی بررسی می‌کند. با در نظر گرفتن فاکتورهای همگونی،

به استراتژی‌های برنامه‌ریزی سنتی کسب می‌کند. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که هر دو احتمال دسترسی طیف و پهنای باند طیف موجود تأثیر مثبتی بر عملکرد سیستم بر اساس استراتژی زمان‌بندی کارآمد انرژی دارند [۱۰].

نیز به‌طور کارآمد استخراج کند. در ادامه آن‌ها عملکرد الگوریتم رایانش مه مبتنی بر MEETS را از طریق شبیه‌سازی‌های گسترده ارزیابی می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم برنامه‌ریزی پیشنهادی با توجه به مصرف انرژی محاسباتی با پارامترهای مختلف سیستم، عملکرد برجسته‌ای در کارایی انرژی نسبت

جدول ۲- مقایسه و خلاصه مقالات مرتبط با کمبود ظرفیت در مه

مرجع	چالش موجود	فن مورد استفاده	ابزار شبیه‌سازی یا پیاده‌سازی	دیتاست	معیارهای ارزیابی	مزایا	معایب
[4]	کاهش تأخیر	محاسبات مه و تخصیص منابع برای کاهش تأخیر	شبیه‌ساز نامشخص است	نامشخص	تأخیر	افزایش کارایی و کاهش هزینه در ارتباط با ارسال داده به ابر	مقیاس‌پذیری کم
[7]	ادغام ابر و اینترنت اشیا	محاسبات در مه و ادغام با مدل محاسبات ابری	شبیه‌ساز نامشخص است	نامشخص	تأخیر پردازش، هزینه پردازش، توان پردازش	افزایش دسترسی به دستگاه‌های اینترنت اشیا و ایجاد خدمات بهبود یافته بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده	نیاز به میان‌افزار بین ابر و دستگاه‌های اینترنت اشیا
[8]	ضعف در تطابق با توسعه ابر خصوصی، استفاده از ماشین‌های مجازی به‌عنوان واحد منبع	معماری چند ابر به چند مه ابر و طراحی دو نوع مدل سرویس با استفاده از کانتینرها	شبیه‌سازی با استفاده از MySQL و SysBench	استفاده از تصاویر جمع‌آوری شده	مصرف انرژی، تعویق سرویس	کاهش تعویق سرویس، بهبود بهره‌وری مه ابرها، افزایش عمر دوره‌ای شبکه‌های حسگر برق از طریق توازن انرژی	پیچیدگی مدیریت و اجرای سیستم و افزایش هزینه
[۹]	تخصیص منابع بهینه	مدل همکاری انتها-لیه-ابر و استراتژی تخصیص منابع	شبیه‌ساز نامشخص است	نامشخص	کاهش میانگین تأخیر	افزایش کارایی انتها-لیه-ابر و کاهش تأخیر میانگین	پیچیدگی‌های مدل و محاسبات سنگین

جدول ۳- مقایسه و خلاصه مقالات مرتبط با گروه زمان‌بندی وظیفه و تخصیص منابع در مه

رفرنس	چالش موجود	فن مورد استفاده	ابزار شبیه‌سازی یا پیاده‌سازی	دیتاست	معیارهای ارزیابی	مزایا	معایب
[۱۰]	نبود مه‌ابر یکپارچه	فن‌های دسترسی به طیف شناور شناختی	شبیه‌ساز نامشخص است	نامشخص	کارایی انرژی کلی	بهره‌وری بالاتر در برنامه‌ها و خدمات هوش مصنوعی IoT، همکاری مؤثر بین توده‌های هم‌جواری	پیچیدگی در مدیریت و اجرای معماری، افزایش هزینه‌ها و مصرف منابع بیشتر
[۱۱]	محدودیت منابع و خدمات با تأخیر کم	استفاده از فناوری‌های مجازی‌سازی در زمینه زمان‌بندی و مدیریت منابع مه‌ابر	شبیه‌سازی با استفاده از Linpack	پنج مجموعه داده با الگوریتم تصادفی تولید کرد و اندازه مجموعه داده‌ها ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۵۰۰۰ است.	تأخیر	کاهش تأخیر و بهبود هم‌زمانی در مه‌ابرها	پیچیدگی، نیاز به پشتیبانی نرم‌افزاری، تأخیر در انجام وظایف، محدودیت‌های منابع و وابستگی به پارامترهای مختلف هستند.
[۱]	توسعه زیرساخت توزیع شده در لبه شبکه	تخصیص و مدیریت منابع مه‌ابر	شبیه‌سازی با استفاده از iFogSim و CloudSim	نامشخص	زمان پاسخ، تأخیر	بهبود زمان پاسخ و دسترسی با تأخیر کمتر به درخواست‌های برنامه‌ها	عدم توجه به مقیاس‌پذیری
[۱۲]	تأخیر و انتقال داده بزرگ در پردازش مبتنی بر ابر	استفاده از محاسبات مه غبار وسایل نقلیه	شبیه‌سازی با استفاده از ابزارهای SUMO، OMNeT++، veins-gym، Veins	داده‌های شبیه‌سازی شامل مشخصات وسایل نقلیه و وظایف	درصد انجام وظایف به‌موقع، از دست رفتن پکت، زمان انتظار، تأخیر نقطه‌به‌نقطه	بهبود درصد وظایف به‌موقع انجام شده و کاهش از دست رفتن پکت، زمان انتظار و تأخیر	عدم توجه به انرژی مصرفی
[۱۳]	تخصیص منابع برای شبکه‌های محاسباتی لبه مه وسایل نقلیه	مدل استکلبرگ و همکاری خودروها	پیاده‌سازی	نامشخص	بهبود کارایی انرژی و تصمیم‌گیری تخلیه بار	افزایش بهره‌وری منابع خودروها و کاهش مصرف انرژی	مسائل پیچیده در همکاری بین اشخاص و تنظیم مکانیسم معامله

بهبود استفاده از منابع گره‌های مه و کاهش تأخیرهای کار طراحی کردند. سرانجام، ارزیابی‌ها نشان داد که الگوریتم زمان‌بندی می‌تواند ۵٪ تعداد کارهای پذیرفته شده را افزایش دهد و مکانیسم تخصیص مجدد می‌تواند به‌طور قابل توجهی حدود ۱۰٪ زمان اجرا را برای هر وظیفه کاهش دهد [۱۱]. لویز بیتنکورت و همکارانش، مسئله تخصیص منابع را با توجه به زیر ساختار سلسله مراتبی متشکل از ظرفیت لبه و مراکز داده ابر و تجزیه و تحلیل کلاس‌های برنامه همراه باسیاست‌های مختلف زمان‌بندی بحث می‌کنند. آن‌ها برای مقابله با این چالش، تعدادی از رویکردهای

لوخیوین و همکارانش در یک سناریوی خاص، کانتینر را به‌عنوان واحد وظیفه تعیین کرده‌اند تا از این طریق منابع محاسباتی به دستگاه‌های ترمینال ارائه شود. سپس، بر اساس ویژگی‌های کانتینر، فرایند برنامه‌ریزی وظیفه را الگوبرداری کرده‌اند، الگوریتم زمان‌بندی وظیفه جدید را پیشنهاد و طرح تغییر مکان منابع را برای بهبود استفاده از منابع گره‌های مه مهیا و برای کاهش تأخیر در وظیفه طراحی کرده‌اند. آن‌ها در این مقاله بر اساس ویژگی‌های کانتینر، فرایند زمان‌بندی کار را مدل کردند، الگوریتم جدید برنامه‌ریزی کار را پیشنهاد دادند و طرح تغییر مکان منابع را برای

زمان‌بندی را ارائه می‌دهند که در چارچوب یک زیرساخت رایانش مه، تحرک کاربر و ظرفیت محاسبات در لبه را در نظر می‌گیرد. در ادامه همچنین مزایای ترکیب کلاس‌های برنامه باسیاست‌های زمان‌بندی در سناریوهایی که این روش‌های زمان‌بندی را نشان می‌دهند، خصوصاً در زمینه تحرک کاربر را بررسی کرده‌اند [۱].

جمیل و همکاران یک الگوریتم تخصیص منابع و برنامه‌ریزی وظایف هوش مصنوعی مبتنی بر PPO به نام IRATS برای شبکه‌های مه غبار وسایل نقلیه ارائه دادند. محققین مسئله تخصیص منابع را به‌عنوان یک فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف فرموله می‌کنند تا زمان انتظار و تأخیر وظایف را کمینه کنند. برای وسایل نقلیه اشتراک منابع خالی خود، آن‌ها یک برنامه‌ریز وظایف برای اجرای مرتب وظایف دریافتی به ترتیب اولویت آن‌ها با استفاده از صف‌های چند سطحی طراحی کردند. محققین شبیه‌سازی‌های گسترده‌ای با استفاده از SUMO، OMNeT++، Veins و -veins-gym انجام دادند تا اثربخشی الگوریتم ارائه‌شده را تأیید کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی بهبود درصد وظایف به‌موقع انجام‌شده و کاهش از دست رفتن بسته، زمان انتظار و تأخیر نقطه‌به‌نقطه را نسبت به الگوریتم‌های تصادفی، موجود با در نظر گرفتن اولویت وظیفه و مدت‌زمان اتصال وسایل نقلیه دارد [۱۲].

یانگ و همکاران به مسئله تخلیه بار وظایف محاسباتی به سرورهای محاسباتی موبایل (MEC) در دسترس در لبه شبکه به علت کارایی محاسباتی بالا و تأخیر ارتباطی پایین آن‌ها پرداختند. در مرحله اول، یک مکانیسم تحریکی مبتنی بر قرارداد طراحی شد تا خودروها را به ارائه منابع آزاد خود ترغیب کند. خودروها در این مرحله موظف نیستند منابع خود را به اشتراک بگذارند و اطلاعات شخصی خود را (مانند زمان انتظار و میزان منابع) روشن کنند. در مراحل دوم و سوم، با استفاده از تئوری بازی استکلبرگ، استراتژی‌های قیمت‌گذاری طراحی‌شده‌اند که به حاصل خواهی همه اطراف کمک می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که مکانیسم تحریکی پیشنهادی مؤثر است و روندهای مصرف انرژی و تصمیم‌گیری‌های تخلیه بار کاربران با پارامترهای مختلف را نشان می‌دهد و مقایسه عملکرد بین چارچوب ما و مدل تخلیه بار MEC موجود در شبکه‌های خودرویی را ارائه می‌دهد [۱۳].

مقالات تحلیل‌شده در این بخش از نظر چالش، فن مورد استفاده، ابزار شبیه‌سازی یا پیاده‌سازی، دیتاست، معیارهای ارزیابی، مزایا و معایب در جدول ۳ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۳- کارهای انجام‌گرفته در زمینه تخصیص منابع در محیط رایانش مه خودرویی

ژنیو ژوو و همکارانش در پژوهشی به بررسی تخصیص منابع و بهینه‌سازی انتساب وظیفه در رایانش مه خودرویی در یک روش انطباق قرارداد می‌پردازند. ابتدا، یک مکانیسم تشویقی کارآمد بر اساس مدل‌سازی نظری قرارداد پیشنهاد داده شده است. این قرارداد برای ویژگی منحصربه‌فرد هر نوع وسیله نقلیه تنظیم شده است تا سود مورد انتظار ایستگاه پایه را به حداکثر برساند. در مرحله بعد، مسئله تعیین تکلیف را به یک مسئله تطبیق دوطرفه بین وسایل نقلیه و تجهیزات کاربر تبدیل شده است. مسئله فرموله شده توسط الگوریتم تطبیق پایدار مبتنی بر قیمت‌گذاری و فهرست‌های ترجیحی به‌صورت پویا به‌روز شده "پیشنهاد" و "افزایش قیمت" حل می‌شود. سرانجام، نتایج عددی در این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از طرح پیشنهادی می‌توان پیشرفت چشمگیری در عملکرد داشت [۱۴].

ونکان مائو و همکارانش در مقاله‌ای بابیان اینکه، برنامه‌ریزی ظرفیت، تصمیم می‌گیرد کجا و چه مقدار منابع محاسباتی تخصیص یابد، این موضوع را یک چالش باز و مهم در VFC عنوان می‌کند. در ادامه عنوان می‌دارد پیچیدگی این مشکل ناشی از پویایی مکانی - زمانی ترافیک وسایل نقلیه، تقاضای منابع محاسباتی متفاوت تولیدشده توسط برنامه‌های کاربردی خودرو و تحرک گره‌های مه است؛ و برای حل چالش‌های فوق، یک چارچوب برنامه‌ریزی ظرفیت مبتنی بر داده را پیشنهاد می‌کند که استقرار گره‌های مه ثابت و متحرک را برای به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی تحت

محدودیت‌های کیفیت خدمات، با در نظر گرفتن تغییرات مکانی و زمانی در هم تقاضا و هم عرضه بهینه می‌کند. توزیع مکانی - زمانی ترافیک وسایل نقلیه و تقاضای منابع محاسباتی را مدل می‌کند. در ادامه از یک الگوریتم اکتشافی و برنامه‌ریزی خطی برای یافتن راه‌حل بهینه هزینه استفاده می‌کند. اثرات الگوهای ترافیکی را بر روی برنامه‌ریزی‌های ظرفیت و صرفه‌جویی در هزینه VFC بالقوه ارزیابی می‌کند؛ و به‌عنوان نتیجه اعلام می‌دارد که تراکم ترافیک بالا و تغییرات ساعتی قابل توجه منجر به استقرار متراکم گره‌های مه سیار می‌شود و باعث صرفه‌جویی بیشتر در هزینه‌های عملیاتی در درازمدت می‌شود [۱۵].

حسین و همکارانش در مقاله‌ای باهدف یافتن موقعیت و ظرفیت بهینه گره‌های مه برای به حداقل رساندن تأخیر کلی شبکه و مصرف انرژی به بررسی مدل رایانش مه خودرویی پرداختند [۱۶].

هوو و همکارانش یک چارچوب مدل شده با شبکه مبتنی بر نرم‌افزار و محاسبات به‌وسیله نقلیه به کمک اینترنت را پیشنهاد کردند که در آن از بهینه‌سازی تحمل نقص ازدحام ذرات برای تخلیه محاسبات جزئی و تخصیص وظیفه قابل‌اطمینان استفاده می‌کند [۱۷].

ساتیش و همکارانش یک مسئله زمان‌بندی خودرو کارآمد انرژی برای تخلیه وظایف به گره‌های مه سیار را با توجه به محدودیت‌های مهلت انجام‌وظیفه و در دسترس بودن منابع ارائه می‌کند؛ و برای حل مشکل ناشی از افزایش تعداد وسایل نقلیه در پوشش RSU، یک الگوریتم زمان‌بندی باسیاست یادگیری مبتنی بر تقویت همراه با الگوریتم اکتشافی حریصانه مبتنی بر منطق فازی، به نام یادگیری تقویت فازی پیشنهاد می‌کند. در این مقاله آزمایش‌هایی برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی انجام شده است و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم یادگیری تقویت فازی پیشنهادی از سایر الگوریتم‌های زمان‌بندی مانند اولین خدمت اولیه، زمان‌بندی نرخ یکنواخت، تخصیص وظایف فازی و توزیع شده با فرآیند توزیع شده بهتر عمل می‌کند [۱۸].

تفسیری و همکارانش، با در نظر گرفتن محیط رایانش ابری به‌عنوان یک بازار برای منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی سعی بر ارائه یک مکانیسم برای پاسخگویی به چالش تخصیص و تأمین منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی پرداخته‌اند. آن‌ها در این تحقیق یک بازار مبتنی بر حراج دوگانه ترکیبی را مورد مطالعه قرار داده‌اند که در آن یک کارگزار، تخصیص ماشین مجازی ارائه‌دهندگان را با توجه به درخواست کاربران انجام می‌دهد. مسئله تخصیص پیشنهادی به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح باهدف به حداکثر رساندن سود کل کاربران و ارائه‌دهندگان صورت می‌گیرد. آن‌ها نشان داده‌اند که مدل پیشنهادی خصوصیات مطلوبی را شامل می‌شود: انصاف، کارایی اقتصادی و کارایی تخصیص. علاوه بر این، به دلیل پیچیدگی زیاد مدل پیشنهادی، یک الگوریتم تخصیص منابع ابتکاری با پیچیدگی زمان شبه خطی ارائه شده است. نتایج ارزیابی‌ها، توافق خوب الگوریتم ابتکاری با مدل بهینه‌سازی از نظر عملکرد تخصیص را تأیید می‌کند. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی با استفاده از CloudSim نشان می‌دهد که در مقایسه با کارهای قبلی انجام‌شده در این زمینه، الگوریتم پیشنهادی سود ارائه‌دهندگان و کاربران را افزایش می‌دهد و هدر رفتن منابع را کاهش می‌دهد [۱۹].

همچنین کیتینگ پنگ و همکارانش، یک سازوکار حراج دوگانه مبتنی بر چند ویژگی را در سناریوی VFC طراحی کرده‌اند. سازوکار حراج پیشنهادی نه تنها قیمت را در نظر می‌گیرد بلکه در تعیین برندگان، ویژگی‌های غیر قیمت را نیز در نظر می‌گیرد که می‌تواند انطباق منطقی‌تری بین گره‌های مه و وسایل نقلیه ایجاد کند. علاوه بر این، مکانیسم حراج پیشنهادی می‌تواند خصوصیات اقتصادی زیر را برآورده کند: کارایی محاسباتی، عقلانیت فردی، تراز بودجه و راستی. برای تأیید مکانیسم حراج، سناریوی VFC را با استفاده از VISSIM که ابزاری برای اجرای شبیه‌سازی شبکه خودرو است، شبیه‌سازی شده است. سپس سیستم حراج پیشنهادی را با زبان برنامه‌نویسی JAVA پیاده‌سازی و با استفاده از داده‌های محرک استخراج شده از VISSIM، اثربخشی و کارایی مکانیسم حراج دوگانه بررسی شده است. نتایج تجربی برای این تحقیق نشان می‌دهد که مکانیسم پیشنهادی می‌تواند ویژگی‌های پیشنهادی را برآورده کند [۲۰]. هم‌هان زو و همکاران یک روش

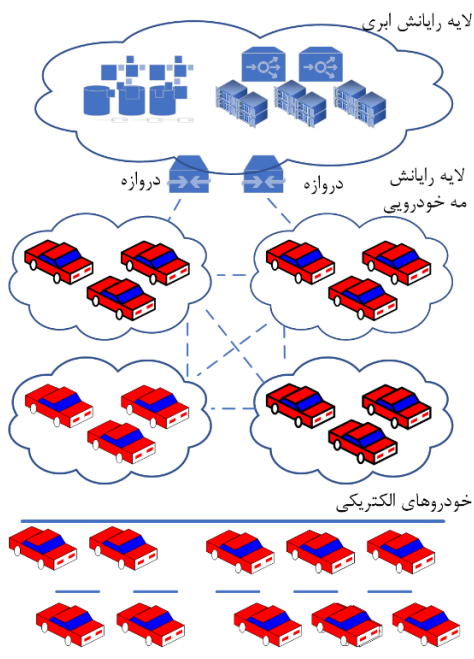
تحرک و بازگشت انرژی ارائه دادند. نویسندگان یک الگوریتم بارگذاری و تخصیص منبع آگاه از تحرک آنلاین بر اساس بهینه‌سازی لیپانوف و برنامه‌نویسی نیمه معین پیشنهاد دادند. این الگوریتم بدون نیاز به دانش قبلی از تحرک کاربر، مدل بازگشت انرژی و شرایط کانال، طرح تخلیه را بهینه می‌کند. تحلیل نظری و نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم پیشنهادی به‌طور مؤثر هزینه خدمات سیستم و طول صف انرژی را متعادل نمود و از دیگر الگوریتم‌های معیار تخلیه در هزینه خدمات سیستم و تلفات بسته بهتر عمل کرد [۲۲]. اگرچه در این الگوریتم رهیافت بازگشت انرژی دیده‌شده است ولی تحرک اشیا پیرامون زیرساخت‌های ارتباطی است و با نقشه حرکتی خودروهای الکتریکی طبق نقشه جاده سازگار نیست؛ بنابراین مدل پیشنهادی قادر به تشخیص ارتباطات ضعیف و یا قوی نیست و لذا وزن دهی ارتباطی تحقق نمی‌یابد.

تجمیعی برای بهبود منابع محاسباتی، ارتباطی و ذخیره‌سازی در شبکه‌های خودرویی ارائه کردند. تخصیص منابع در این مدل با رویکرد هوش مصنوعی و با توجه به مدل حرکتی خودروها و محدودیت زمان ارتباطی صورت گرفت. نویسندگان از یک روش مبتنی بر تابع پاداش آگاه از تحرک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات کلاسیک مبتنی بر دوره زمانی مقیاس بزرگ و از روش یادگیری تقویتی سازگار با دوره زمانی کوتاه استفاده کردند [۲۱]. با توجه به پیش فرض تحرک پذیری خودروها و استفاده از زمانبندی کوتاه در تخصیص منابع محاسباتی مدل پیشنهادی قادر به ارائه خدمات پردازشی منسجم با رویکرد مه خودرویی نیست. علاوه بر این، مدل پیشنهادی برای خودروهای الکتریکی سفارشی‌سازی نشده است و به دلیل در نظر گرفتن مدل حرکتی خودروها، رهیافت مناسبی را برای بازگشت انرژی ارائه نمی‌دهد. هم‌وانگ و همکاران یک روش مدیریت منابع محاسباتی در شبکه اینترنت اشیا با پشتیبانی

جدول ۴- مقایسه و خلاصه مقالات مرتبط با گروه تخصیص منابع در محیط رایانش مه خودرویی

مغایب	مزایا	معیارهای ارزیابی	دیتاست	ابزار شبیه‌سازی یا پیاده‌سازی	فن مورد استفاده	چالش موجود	رفرنس
عملکرد تأخیر در مدت طولانی باید مورد مطالعه قرار گیرد	کمینه کردن تأخیر شبکه افزایش بهبود عملکرد شبکه و کاهش تأخیر پردازش	منابع محاسباتی مشترک، سودمندی وسایل نقلیه، بهره‌مندی از ایستگاه پایه تأخیر در شبکه	نامشخص	شبیه‌ساز نامشخص است	مدل سازی تنوری کنترکت و الگوریتم مطابقت پایدار	نیاز به ایجاد مکانیسم‌های تخصیص وظیفه کارآمد	[۱۴]
پیچیدگی مدل‌سازی و برنامه‌ریزی ظرفیت در محیط دینامیک ترافیک وسایل نقلیه و حرکت گروه‌های مهاجر.	کاهش تأخیر شبکه و افزایش کارایی هزینه‌ها در مدت طولانی	بهینه‌سازی هزینه‌های نصب و عملیاتی با در نظر گرفتن تغییرات فضایی-زمانی	داده‌های ترافیک واقعی و پروفایل‌های برنامه‌ها	پیاده‌سازی	انتقال محاسبات به لبه اینترنت (VFC)	محدودیت‌های دقیق تأخیر در برنامه‌های وسایل نقلیه	[۱۵]
پیچیدگی مسئله و زمان حل NP	بهبود عملکرد شبکه و کاهش مصرف انرژی	کمینه کردن تأخیر شبکه و مصرف انرژی	نامشخص	پیاده‌سازی با استفاده از GAMS CPLEX Solver	مدل برنامه‌ریزی خطی صحیح (ILP)	پیچیدگی برنامه‌ریزی شبکه ماشینی مهاجری VFC	[۱۶]
عدم تبیین دقیق از ابزارهای شبیه‌سازی و دیتاست	کاهش تأخیر و افزایش قابلیت اطمینان برای برنامه‌های حساس به تأخیر	کمینه کردن تأخیر و افزایش قابلیت اطمینان	ایجاد یک دیتاست	پیاده‌سازی با استفاده از MATLAB	ادغام گروه‌های محاسباتی لبه سیار و ثابت با استفاده از مفهوم SDN	تأخیر افزونه ابر برای برنامه‌های حساس به تأخیر	[۱۷]
عدم تبیین دقیق از ابزارهای شبیه‌سازی و دیتاست	عملکرد بهتر نسبت به الگوریتم‌های متداول دیگر مانند RMS و FCFS	کاهش تأخیر و افزایش قابلیت اطمینان	نامشخص	شبیه‌سازی با استفاده از Python	الگوریتم زمان‌بندی مبتنی بر یادگیری تقویتی (Fuzzy Reinforcement Learning) و فرا ابتکاری حریمانه	چالش‌های مرتبط با انتقال وظایف در VFC	[۱۸]
پیچیدگی مدل تخصیص منابع بهینه‌سازی و نیاز به الگوریتم‌های تخصیص منابع تقریبی	افزایش سود ارائه‌دهندگان و کاربران، کاهش تلف منابع	راستگویی، عدالت، کارایی اقتصادی، کارایی تخصیص	نامشخص	شبیه‌سازی با استفاده از ابزار CloudSim	مدل سازی برنامه‌ریزی خطی دودویی، الگوریتم تخصیص منابع ابتکاری	تخصیص منابع مبتنی بر مزایده دوگانه	[۱۹]
تعقیب و تحقیق مکانیسم‌های مزایده دقیق تر و مدل‌های شبیه‌سازی دقیق تر	ارائه مکانیسم مزایده برای VFC، مدیریت منابع منصفانه	کارایی محاسباتی، عقلانیت فردی، تعادل بودجه، راستگویی	داده‌های رانندگی	شبیه‌سازی با استفاده از ابزار VISSIM	مکانیسم مزایده مبتنی بر چند ویژگی	مزایده در VFC	[۲۰]
پیچیدگی پیاده‌سازی در دو مقیاس زمانی مختلف	افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها در شبکه‌های وسایل نقلیه	عملکرد سیستم، کیفیت خدمات	داده‌های ترافیک و حرکت وسایل نقلیه	نتایج عددی بدون معرفی ابزار پیاده‌سازی	ترکیب ارتباطات، ذخیره‌سازی و محاسبات چارچوب چند مقیاسی مبتنی بر هوش مصنوعی یادگیری تقویتی عمیق و بهینه‌سازی کره‌سوارانه ذرات	مدیریت منابع در شبکه‌های وسایل نقلیه	[۲۱]
پیچیدگی طرح پیشنهادی	بهبود عملکرد سیستم با توازن مناسب بین هزینه خدمات و طول صف انرژی	هزینه خدمات در مدت طولانی، تعداد خدمات ارائه‌شده	داده‌های مربوط به مصرف انرژی و حرکت دستگاه‌های IoT	شبیه‌ساز نامشخص است	بهینه‌سازی رفتار دستگاه‌های محدود به نظره و انرژی محدود از طریق الگوریتم OMORA الگوریتم بهینه‌سازی Lyapunov و برنامه‌ریزی نیمه معین (SDP)	طراحی شبکه‌های IoT یا MEC و EH	[۲۲]

نیاز به فناوری‌های پیشرفته‌تر، نیاز به تنظیمات پیچیده	نسبت به الگوریتم‌های موجود بهبود فراوانی ارائه می‌دهد	کاهش هزینه سیستم، افزایش نرخ تکمیل وظایف	دو مجموعه داده واقعی	شبیه‌سازی و پیاده‌سازی صورت گرفته	ترانسفورمر و TPDMAAC	بار بالای سرورهای لبه	[۲۳]
---	---	--	----------------------	-----------------------------------	----------------------	-----------------------	------



شکل ۲- ساختار شبکه مفروض در مدل پیشنهادی تخصیص منابع در شبکه‌های مه خودرویی آگاه از انرژی

علاوه بر این، به صاحبان وسایل نقلیه انواع مختلفی از انگیزه‌ها برای اشتراک‌گذاری منابع خودرو پیشنهاد داده می‌شود. برای جلوگیری از هرگونه ازدحام در کل ناحیه‌ی پارکینگ، تنها یک منطقه خاص به ابر خودرو اختصاص داده شده است. حداکثر ظرفیت منطقه شبکه مه خودرویی بر طبق نیاز منابع محاسباتی پیش‌بینی شده تعیین می‌شود. به‌علاوه تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی نیز برای پیش‌بینی تعداد واقعی وسایل نقلیه پارک شده در فضای پارکینگ خاص در هر زمان خاص مورد نیاز است. با توجه به ماهیت پویای منابع محاسباتی خودرویی، متوسل شدن به منابع محاسباتی وسایل نقلیه، در مقایسه با مورد مه هنگامی که مجبور به توسعه بودیم، منجر به مسئله پیش‌ارائه بیش‌ازحد نمی‌شود. این موضوع به این دلیل است که تعداد مشتریان و در نتیجه، درخواست‌های آن‌ها به‌طور شهودی متناسب با تعداد وسایل نقلیه پارک شده بوده است. تقاضاهای بیشتر که از سوی کاربران دریافت می‌شود، وسایل نقلیه بیشتری برای خدمت وجود خواهند داشت [۳].

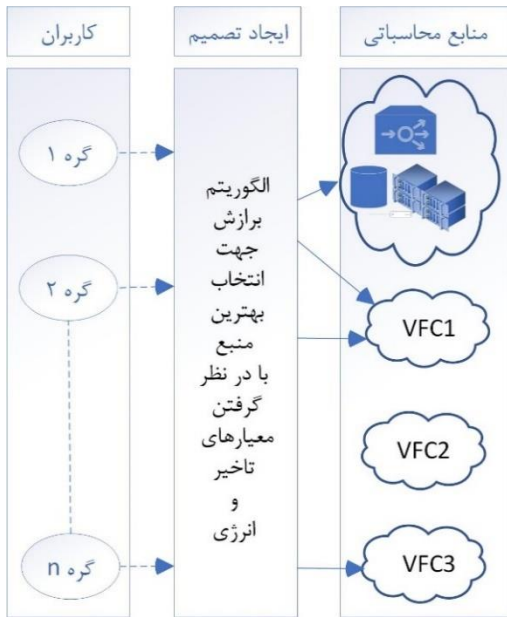
۵- معماری شبکه مه خودرویی

چراغوب پیشنهادی ارائه شده در این مقاله بر روی شبکه‌های مه خودرویی با منابع محاسباتی گره‌های مه، تمرکز می‌کند. سیستم محاسباتی ابری با وجود داشتن کارایی و مزایای متعدد، با مشکلاتی از قبیل کمبود پهنای باند، هزینه بالا و گاهی کیفیت پایین در سرویس‌دهی به کاربران خود مواجه است. هم‌زمان با رواج یافتن اینترنت اشیا و گسترش آن از طریق اتصال تجهیزات مختلف به اینترنت و همچنین مبادله حجم عظیم داده‌ها از طریق این تجهیزات، این مسئله بیشتر از پیش احساس می‌شود. به‌منظور حل این مسائل و باهدف تسهیل اجرای وظایف پردازشی تجهیزات اینترنت اشیا، معماری جدیدی تحت عنوان رایانش مه را معرفی شد. این معماری محاسباتی، با پردازش وظایف و اطلاعات اشیا در کامپیوترها و تجهیزات نزدیک به آن‌ها، مسئله محدودیت پهنای باند را برطرف می‌نماید. بدین ترتیب، نیاز به اتصال منابع راه دور در ساختار ابر از میان برداشته خواهد شد. شکل ۲، ساختار یک شبکه مفروض بر اساس معماری محاسباتی مه را نمایش می‌دهد. در این ساختار، لایه مه

گائو و همکاران یک روش جدید برای اجرای فرآیند تخلیه کار در محیط مه خودرویی ارائه دادند [۲۳]. در این روش، خودروهای متحرک توانایی ارائه خدمات با تأخیر بسیار پایین برای وظایف محاسباتی مهم را دارند. با این حال، سرورهای لبه در مواقع فراوانی خودروها و انجام تخلیه کار بار زیادی را تحمل کنند که باعث می‌شود وظایف زیادی تجربه زمان‌های پردازش طولانی یا حتی رد شدن شوند، به‌ویژه در مورد وظایفی که به تأخیر حساس هستند. برای حل این مشکلات، یک روش تخلیه کار غیرمتمرکز مبتنی بر شبکه چندعاملی بازیگر-انتقادی (TPDMAAC) ارائه شده است. این روش ابتدا یک شبکه پیش‌بینی دنباله‌ای طولانی مبتنی بر ترانسفورمر (TFSFN) معرفی می‌کند که به پیش‌بینی تأخیر صف جاری و آینده سرورهای لبه برای حل مشکل بار نامعلوم می‌پردازد. سپس، شبکه بازیگری با استفاده از شبکه استخراج ویژگی زمانی مبتنی بر مبدل (TFEN) و شبکه جداسازی سیاست (PDN) مجدداً طراحی می‌شود. TTFEN با استفاده از مبدل که توکن‌های مختلفی را از ورودی خام می‌پذیرد، به اندازه ورودی‌های مختلف سازگاری دارد. مقالات تحلیل شده در این بخش از نظر مقایسه چالش، فن مورد استفاده، ابزار شبیه‌سازی یا پیاده‌سازی، دیتاست، معیارهای ارزیابی، مزایا و معایب در جدول ۴ مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

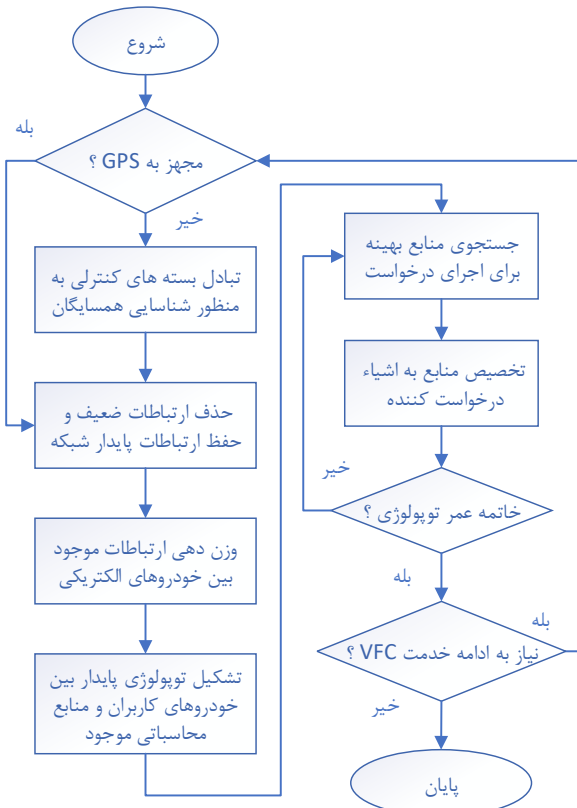
۴- مدل شبکه

در استفاده کارآمد از مدل‌های محاسباتی مه همچنان با چالش‌هایی مواجه هستیم. تخصیص منابع مه، اصلی‌ترین چالش پیش رو در استفاده صحیح از این مدل محاسباتی است. با توجه به این مشکلات، یک مدل تخصیص منابع محاسباتی مه آگاه از انرژی و مبتنی بر تحرک، به‌منظور بهبود تجربه کاربری در شبکه‌های مه خودرویی ارائه می‌گردد. یک مجموعه‌ای از وسایل نقلیه هوشمند که در یک مرکز خرید برای مدت‌زمان طولانی پارک شده‌اند، دارای قدرت محاسباتی فوق‌العاده‌ای است که در شرایط عادی مورد استفاده قرار نگرفته است. این مجموعه وسیعی از وسایل نقلیه هوشمند می‌تواند به‌عنوان محاسبات، ذخیره‌سازی و منابع شبکه‌ای مکمل در نظر گرفته شود و همچنین برای خدمت‌رسانی به تعداد بسیار زیادی از درخواست‌هایی که غیرممکن است به‌طور مرتب با منابع مه اداره شود نیز به‌کاربرده شود. در حالی که آن‌ها پارک شده‌اند، وسایل نقلیه به برق و خروجی‌های شبکه، متصل می‌شوند.



شکل ۳- معماری مدل پیشنهادی تخصیص منابع در شبکه‌های مه خودرویی

- در مدل پیشنهادی این فرآیند از طریق گام‌های اصلی زیر انجام خواهد پذیرفت.
۱. تعیین ساختار توپولوژی موقعیت خودروها در هر لحظه نسبت به هم برای ایجاد شبکه مه خودرویی
 ۲. تخصیص منابع پردازشی بهینه مه خودرویی بر اساس راهکار برنامه‌ریزی خطی
 - شکل ۴ تصویر فلوجارت مراحل مدل پیشنهادی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- مراحل مدل پیشنهادی

۶-۱ الزامات تشکیل شبکه مه خودرویی و ساختار توپولوژی خودروهای شبکه

به صورت یک واسط در بین ابر و اینترنت اشیاء وظیفه جمع‌آوری داده، پردازش آن و تحویل نتایج را بر عهده دارد.

این ساختار، به عنوان مدل سیستم مفروض در این تحقیق در نظر گرفته خواهد شد. بر اساس شکل ۲، ساختار سیستم مفروض در این تحقیق از اجزای: ابر، مه خودرویی و وسایل نقلیه الکتریکی که شامل تجهیزات نهایی اینترنت اشیاء است، تشکیل شده است. در مدل پیشنهادی، مجموعه خودروهای الکتریکی، ساختار اینترنت اشیاء را ایجاد کرده و در واقع، مجموعه‌ای از حسگرها و تجهیزات نصب شده در وسایل نقلیه خودرویی می‌باشند. این تجهیزات انتهایی از توان پردازشی پایینی برخوردار می‌باشند. این تجهیزات، وظایف پردازشی خود را جهت پردازش به منابع رایانش مه ارسال می‌کنند. در این سناریو، لایه مه یک‌لایه متشکل از منابع پردازشی بوده که از نظر فیزیکی بین ابر و اینترنت اشیاء قرار دارد. بدین ترتیب، مدل سیستم مفروض در این تحقیق، یک شبکه مه خودرویی خواهد بود. مسئله اساسی در این معماری که به عنوان مسئله مورد بحث در این تحقیق در نظر گرفته شده است، ظرفیت ذخیره-سازی و پردازش و بازیابی سریع داده‌های شبکه در کمترین زمان ممکن است. در این مقاله، از یک راهکار مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی^{۲۲} برای حل مسئله تخصیص منابع محاسباتی بهینه مه استفاده شده است. در مدل پیشنهادی، تابع برآزش در مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس معیارهای «مصرف انرژی» و «تأخیر ارتباطی» توصیف خواهد شد. بدین ترتیب، خودروهای الکتریکی به عنوان اشیاء، بجای اینکه وظایف پردازشی خود را به صورت محلی انجام دهند یا مجبور به تخلیه وظایف خود به یک ابر راه دور باشند، آن را به شبکه‌های مه خودرویی انتقال داده تا از مصرف انرژی و افزایش هزینه محاسبات جلوگیری شود. این راهکار می‌تواند میزان کیفیت سرویس-دهی به کاربران را افزایش داده و موجب بهبود تجربه کاربری در استفاده از مدل محاسباتی مه گردد.

۶-۲ رویکرد پیشنهادی برای تخصیص منابع محاسباتی در شبکه‌های مه خودرویی

معماری مطرح شده در این مقاله، یک زیرساخت شامل چندین محیط محاسباتی مه خودرویی و ابر است. امروزه تعداد بسیار زیادی از وسایل نقلیه در نقاط مختلف به صورت مجتمع پارک هستند که همکاری این وسایل نقلیه پارک شده مقدار زیادی از منابع محاسباتی بیکار را فراهم می‌کند. محیط‌های محاسباتی مه خودرویی مفروض در این مقاله شامل مجموعه‌ای از وسایل نقلیه ثابت و متحرک در مکان‌های مختلف یک شهر است؛ بنابراین، گره‌های یک محیط فرضی خودروهای در حال عبور یا پارک شده هستند که فرض می‌شود هر خودرو یک منبع پردازشی با توان عملیاتی محدود می‌باشند و هر خودرو در این شبکه ممکن است دارای تعدادی وظیفه پردازشی جهت اجرا باشد. در راهکار پیشنهادی ضمن ایجاد یک بستر ارتباطی قابل اعتماد برای اجزای شبکه؛ سازوکاری برای تعیین منابع پردازشی بهینه در بستر مه خودرویی ارائه می‌گردد. شکل ۳، یک ساختار ساده از پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در معماری مفروض را نشان می‌دهد. بر این اساس، معماری مفروض شامل خودروهای الکتریکی درخواست کننده منبع محاسباتی بانام گره است که خود می‌تواند یکی از گره‌های موجود در هر کدام از محیط‌های رایانش مه خودرویی باشد، مجموعه‌ای از منابع خودروهایی که با ارتباطات فعال در یک شبکه مه خودرویی (VFC) قرار گرفته‌اند و همچنین تعدادی منبع پردازشی در ابر است. در مدل پیشنهادی، هر خودرو دارای وظایف پردازشی، مناسبترین منابع محاسباتی در لایه مه را بر اساس خصوصیات موقعیتی خود و پردازشی منبع مه، جهت اجرای وظایف خود انتخاب می‌کند. لازم به ذکر است که اگر پردازش داده توسط منابع پردازشی در لبه مه امکان پذیر نباشد، داده جهت پردازش به منابع واقع در لایه‌های بالاتر یعنی ابر ارسال خواهد شد.

$$W(i, j) = \frac{R_i + R_j}{D_{i,j}} + T_{i,j} \quad (1)$$

در رابطه فوق، پارامترهای R_i و R_j به ترتیب مشخص کننده برد رادیویی دو گره i و j می باشند. همچنین $D_{i,j}$ نشان دهنده فاصله بین این دو گره خواهد بود. در نهایت، $T_{i,j}$ نشان دهنده مقدار تخمین زده شده برای پایداری ارتباط بین دو گره i و j است و به صورت زیر محاسبه می شود [۲۰]:

$$T_{i,j} = \frac{[-(ab+cd) + \sqrt{[(a^2+c^2)r^2] - (ad-bc)^2}}{(a^2+b^2)} \quad (2)$$

$$a = v_i^t \cos \theta_i^t - v_j^t \cos \theta_j^t$$

$$b = x_i^t - x_j^t$$

$$c = v_i^t \sin \theta_i^t - v_j^t \sin \theta_j^t$$

$$d = y_i^t - y_j^t$$

در رابطه بالا (x_i^t, y_i^t) بیانگر مختصات گره i و (x_j^t, y_j^t) بیانگر مختصات گره j در زمان t بوده و r نشان دهنده مینیمم برد رادیویی دو گره است. همچنین v_i^t سرعت گره i را نشان داده و θ_i^t زاویه حرکت این گره است. در رابطه ۱، مقدار $W(i, j)$ نشان دهنده ارزش ارتباط دو گره i و j خواهد بود [۲۰]. مدل پیشنهادی از مقادیر وزن محاسبه شده برای ساخت درخت پوشا استفاده خواهد نمود. با توجه به اینکه مقدار وزن بیشتر در رابطه ۱، نشان دهنده ارزش بالاتر ارتباط است. لذا در مدل پیشنهادی، مسئله ساخت توپولوژی شبکه به مسئله ساخت درخت پوشای ماکزیمم بدل خواهد شد.

در مدل پیشنهادی، فرآیند ساخت درخت پوشای ماکزیمم توسط گره مرکزی با استفاده از الگوریتم پریم صورت می پذیرد. توپولوژی تشکیل شده در این فرآیند فاقد گام بوده و شامل ارتباطات دارای بیشترین مقدار وزن (بیشترین پایداری لینک و کمترین فواصل) خواهد بود. شبه کد زیر، نحوه ساخت درخت در مدل پیشنهادی را نمایش می دهد:

Algorithm ۱: Prim's Maximum Spanning Tree Creation

```

ReachSet = {};
UnReachSet = {1, 2, ..., N-1};
SpanningTree = {};
while (UnReachSet != empty)
{
    Find edge e = (x, y) such that:
        ۱. x ∈ ReachSet
        ۲. y ∈ UnReachSet
        ۳. e has biggest cost
    SpanningTree = SpanningTree U {e};
    ReachSet = ReachSet U {y};
    UnReachSet = UnReachSet - {y};
}

```

شکل ۵- ساخت درخت پوشا با الگوریتم پریم

۶-۲- تخصیص منابع پردازشی بهینه مه خودرویی با استفاده

از برنامه ریزی خطی

همان طور که پیش از این اشاره شد، در مدل پیشنهادی از یک راهکار مبتنی بر برنامه ریزی خطی و تابع برازندگی جهت تخصیص منابع پردازشی بهینه در لایه مه استفاده می شود. در ادامه این بخش به تشریح فرآیند تخصیص منابع مه به گره های متقاضی سرویس خواهیم پرداخت. در ادامه، خودروهای شبکه (گره های فعال) را به صورت مجموعه $O = [O_1, O_2, \dots, O_N]$ در نظر خواهیم گرفت که در آن، N مشخص کننده تعداد گره های فعال است. مجموعه منابع مه را نیز به صورت مجموعه $E = [n_1, \dots, n_c]$ نمایش می دهیم. در این مجموعه تعداد منابع پردازشی شبکه مه خودرویی به صورت C نمایش داده شده است؛ به صورتی که n_k مشخص کننده منبع پردازشی k ام خواهد بود. هدف الگوریتم پیشنهادی، اختصاص بهینه اعضای مجموعه E به هریک از وظایف محاسباتی متعلق به اعضای O است. در طی این فرآیند تخصیص باید بتوان ضمن حفظ بهینگی پاسخ نهایی، محدودیت های مسئله را نیز رعایت نمود. بدین ترتیب، مدل برنامه ریزی خطی در الگوریتم

در گام اول مدل پیشنهادی، یک ساختار توپولوژی به منظور تعیین زیرساخت ارتباطی مطمئن بین خودروهای شبکه ایجاد خواهد شد. بدین منظور، ابتدا باید به شناسایی لیست همسایگان هر گره فعال در شبکه پرداخت. در صورتی که گره های محیط، متصل به شبکه سیستم موقعیت آب جهانی باشند هر گره در هر لحظه به راحتی موقعیت گره های مجاور را می تواند مشاهده کند. در غیر این صورت اگر گره های موجود در محیط، متصل به شبکه جهانی نباشد شناسایی گره های مجاور با مبادله بسته های کنترلی Hello انجام می شود. در این فرآیند، هر گره شناسه یکتای خود را در محتوای بسته کنترلی ذخیره کرده و سپس با همه پخش 23 این پیام، وجود خود را به گره های مجاور اطلاع می دهد. هر گره فعال، با دریافت این پیام، شناسه گره فرستنده را به لیست همسایگان خود اضافه خواهد نمود. در طی این مبادلات، قدرت سیگنال دریافتی از هر گره مجاور نیز اندازه گیری شده و توسط گره ثبت می شود. با تکرار این فرآیند، هر گره فعال یک لیست حاوی شناسه همسایگان خود و همچنین قدرت سیگنال دریافتی از آن ها را تولید خواهد نمود. در گام بعدی، گره های شبکه به مبادله لیست همسایگان خود پرداخته تا بدین صورت ارتباطات بی کیفیت شبکه شناسایی و حذف شود. بدین منظور، هر گره فعال قدرت سیگنال دریافتی از گره های همسایه را به سمت آن ها ارسال خواهد کرد. قدرت سیگنال دریافتی گره B توسط گره A را به صورت $RSSI_{AB}$ نشان می دهیم. با تبادل مقادیر قدرت سیگنال، هر یک از گره های A و B از سطح قدرت سیگنال دریافتی خود توسط گره دیگر مطلع خواهند شد. در چنین شرایطی، یک گره مانند A کیفیت ارتباط خود با گره B را بر اساس شرایط زیر ارزیابی می کند:

- با در اختیار داشتن قدرت سیگنال دریافتی در ارتباط بین A و B ، گره فعال A میانگین قدرت سیگنال دو طرف ارتباط را به صورت $R_{AVG} = \frac{RSSI_{AB} + RSSI_{BA}}{2}$ محاسبه می کند. با این کار می توان اثر مخرب نویز در ارزیابی سیگنال را تا حدودی کاهش داد.

- اگر میانگین قدرت سیگنال R_{AVG} از آستانه P بیشتر باشد، آنگاه ارتباط بین دو گره A و B از کیفیت کافی برخوردار بوده و به صورت یک ارتباط فعال محسوب می شود. در غیر این صورت، ارتباط بین دو گره نادیده گرفته می شود.
- اگر ارتباط بین A و B کیفیت لازم را نداشته باشد، آنگاه گره های فعال A و B ، یکدیگر را از لیست همسایگان خود حذف می کنند.

با اجرای این روند توسط هریک از گره های شبکه، یک مجموعه از لینک های ارتباطی با کیفیت مناسب بین گره های فعال شبکه ایجاد می شود. در ادامه، به منظور ایجاد ساختار توپولوژی، ارتباطات ضروری شبکه به صورت یک ساختار درختی توصیف می شود و از این ارتباطات به منظور تبادل داده استفاده می گردد. ساخت توپولوژی درختی در مدل پیشنهادی از طریق وزن دهی ارتباطات و ایجاد ساختار درخت پوشای مینیمم انجام می شود. بدین ترتیب، هر گره فعال در شبکه خصوصیات خود شامل: شناسه، اطلاعات موقعیتی و برد رادیویی را در به وسیله یک بسته کنترلی به گره های فعال واقع در همسایگی خود ارسال می نماید. با دریافت بسته کنترلی ساخت توپولوژی توسط هر گره همسایه، این اطلاعات به همسایه با بیشترین درجه همسایگی (گره با بیشترین تعداد ارتباط) ارسال می شود. در صورت تکرار این فرآیند، بسته های کنترلی ساخت توپولوژی به گره با بیشترین درجه همسایگی ارسال می شود. این گره، گره مرکزی نامیده می شود. پس از دریافت تمامی بسته های کنترلی ساخت توپولوژی توسط گره مرکزی، یک نما از الگوی ارتباطی گره های شبکه توسط گره مرکزی ایجاد می شود و این گره قادر است تا گراف مجاورت گره های فعال شبکه را ایجاد کند.

با ساخت گراف مجاورت شبکه توسط گره مرکزی، این گره ارتباطات فعال شبکه را وزن دهی می کند. در مدل پیشنهادی، وزن ارتباط بین گره های i و j با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود:

در رابطه (۶)، $D_{i,j}$ نشان‌دهنده تأخیر ارتباطی بین دو گره بوده و پارامترهای ω و φ به ترتیب مشخص‌کننده نسبت و ثابت تأخیر و $Dcom_j$ نشان‌دهنده زمان مصرف‌شده برای پردازش وظیفه در منبع محاسباتی می‌باشند. بر اساس معیارهای فوق، در مدل پیشنهادی تابع برازندگی به صورت رابطه زیر توصیف می‌گردد:

$$C = \alpha \times En + (1 - \alpha) \times De \quad (7)$$

در رابطه (۷)، مقادیر En و De به ترتیب نشان‌دهنده انرژی مصرفی و تأخیر تخمین زده‌شده در ارتباط است. همچنین ضریب α مشخص‌کننده ضریب اهمیت انرژی و تأخیر در ارزیابی برآزش خواهد بود و که در اینجا می‌توان مقدار آن برابر با ۰.۵ در نظر گرفت تا ضریب اهمیت هر دو یکسان تلقی شود. تغییر این پارامتر می‌تواند به کاربر در تنظیم اولویت خود برای کاهش تأخیر و مصرف انرژی کمک کند. به طوری که در صورت اولویت مصرف بهینه‌ی انرژی برای یک کاربر، انتخاب مقدار بالای α در رابطه فوق می‌تواند موجب انتخاب بهترین منبع پردازشی باشد.

۲-۲-۶- محدودیت‌های تخصیص منابع در چارچوب مدل

پیشنهادی

محدودیت‌ها، مجموعه معادلات یا نامعادلاتی هستند که شرایط صحت هر یک از متغیرهای مسئله و پاسخ ایجادشده را تشریح می‌کنند. در مسئله تخصیص منابع محاسباتی به وظایف گره‌ها از طریق الگوریتم برنامه‌ریزی خطی دو محدودیت وجود خواهد داشت. در ادامه به فرموله کردن هر یک از این محدودیت‌ها خواهیم پرداخت.

۱) هر وظیفه متعلق به یک گره فقط در یک سرویس‌دهنده مه اجرا شود:

به هر وظیفه پردازشی در گره‌های شبکه باید یک سرویس‌دهنده مه اختصاص داده شود. وظیفه پردازشی، کوچک‌ترین جزء قابل اجرا در مسئله مورد بحث در این تحقیق است. در نتیجه نمی‌توان یک وظیفه پردازشی را به دو یا چندپخش تقسیم نموده و هر بخش را در یک سرویس‌دهنده مه اجرا نمود؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که به هر وظیفه پردازشی باید دقیقاً یک سرویس‌دهنده مه جهت اجرا اختصاص داده شود. این محدودیت می‌تواند به صورت زیر فرموله شود:

$$|E(o_k^i)| = 1 \quad (8)$$

در رابطه (۸)، O_k^i نشان‌دهنده وظیفه پردازشی k متعلق به شیء i است و $|E(O_k^i)|$ نشان‌دهنده تعداد سرویس‌دهندگان اختصاص داده‌شده برای اجرای این وظیفه در مه است.

۲) مجموع وظایف اختصاص یافته به یک سرویس‌دهنده مه از توانایی آن

بیشتر نباشد: هدف از اعمال این محدودیت، عملیاتی بودن یک راه‌حل کشف‌شده توسط مدل پیشنهادی در شرایط واقعی است. براین اساس، یک سرویس‌دهنده مه نمی‌تواند وظایف پردازشی را اجرا کند که از توان پردازشی آن خارج باشد. بدین ترتیب اگر مجموعه وظایف تخصیص داده‌شده به سرویس‌دهنده لبه i را برابر با D_j و ظرفیت این منبع پردازشی را با Z_j نشان دهیم، می‌توان این محدودیت را به صورت زیر نوشت:

$$C_j \geq D_j \quad (9)$$

۳-۲-۶- محاسبه پیچیدگی زمانی

همان‌طور که در تشریح رویکرد پیشنهادی بیان شد، مهم‌ترین قدم، ساخت توپولوژی شبکه از طریق وزن دهی ارتباطات ماشین‌ها و ایجاد ساختار درخت پوشای

پیشنهادی از طریق دو مؤلفه، تابع برآزش و محدودیت‌های تخصیص منابع در چارچوب پیشنهادی مقاله توصیف می‌شود. فن برنامه‌ریزی خطی برای برآورده کردن محدودیت‌های مسئله و دستیابی به حالت بهینه تخصیص، از تابع برآزش استفاده می‌کند. در ادامه هر یک از این دو مؤلفه توضیح داده می‌شود.

۶-۲-۱- تابع برآزش

هدف تابع برآزش، ارزیابی میزان مناسب بودن منابع مه خودرویی جهت تخصیص به گره‌های فعال شبکه به منظور انجام وظایف درخواستی آن‌ها است. در مدل پیشنهادی هدف انتخاب پاسخ‌هایی است که عمل تخصیص منابع به گره‌های متقاضی سرویس را به صورت بهینه انجام دهد. در راهکار پیشنهادی از دو معیار «مصرف انرژی» و «تأخیر» برای دستیابی به این هدف استفاده می‌شود؛ بنابراین الگوریتم تخصیص منابع در مدل پیشنهادی، دو معیار: انرژی مصرفی و تأخیر را به عنوان معیارهای تخمین برآزش بکار می‌برد. بدین ترتیب، در مدل پیشنهادی معیارهای ارزیابی برازندگی به شیوه‌ی زیر فرموله می‌شود:

الف) میزان انرژی مصرفی: کمینه کردن انرژی مصرفی، حالت مطلوب در فرآیند انتخاب منبع است؛ به بیان ساده‌تر، انتخاب منبع محاسباتی در اولویت خواهد بود که مصرف انرژی کمتری را (هم از جنبه مبادله و هم از جنبه پردازش داده) در پی داشته باشد. استفاده از این معیار موجب کاهش هزینه نهایی نیز می‌شود. در مدل پیشنهادی از مدل مصرف انرژی زیر برای تخمین این معیار استفاده می‌شود. در تحلیل زیر، انرژی مصرفی برای ارسال داده در طی یک گام ارتباطی k را بررسی می‌شود. در این حالت، مقدار انرژی لازم برای مبادله k بیت داده در هر گام ارتباطی برابر است با:

$$E_{radio}(k) = k \times (E_{elec} + E_{amp} \cdot d^{\alpha}) + k \times E_{elec} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، d نشان‌دهنده فاصله گام، E_{elec} برابر با انرژی مصرفی برای تبادل هر بیت داده در مدارهای فرستنده و گیرنده و E_{amp} انرژی مصرفی برای ارسال هر بیت داده در تقویت‌کننده انرژی RF است [۲۴]. از طرف دیگر، به منظور تخمین انرژی مصرفی جهت انجام محاسبات، باید فرآیندهای محاسباتی پایه در واحد پردازش مرکزی هر گره را در نظر گرفت. در این حالت، انرژی مصرفی ناشی از محاسبات در یک گره برابر است با:

$$E_{comp} = N_{add} \epsilon_{add} + N_{sht} \epsilon_{sht} + N_{cmp} \epsilon_{cmp} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، N_{add} ، N_{sht} و N_{cmp} به ترتیب نشان‌دهنده تعداد عملیات جمع، شیفت و مقایسه می‌باشند و ϵ_{add} ، ϵ_{sht} و ϵ_{cmp} نیز به ترتیب معرف میزان انرژی مصرف‌شده برای هر عمل جمع، شیفت و مقایسه هستند. بدین ترتیب، انرژی مصرفی کل در یک گام ارتباطی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$En = E_{radio} + E_{comp} \quad (5)$$

ب) تأخیر: دومین معیار در ارزیابی برآزش توسط راهکار برنامه‌ریزی خطی پیشنهادی، معیار تأخیر است. بدین منظور، تأخیر ارتباط با منبع محاسباتی (خود گره، مه خودرویی یا ابر) به عنوان هدف در نظر گرفته می‌شود. تأخیر ارتباط با یک منبع محاسباتی مانند i عبارت است از: بازه زمانی از لحظه اقدام به ارسال داده تا لحظه تحویل موفق و تصدیق دریافت آن. تأخیر کل برابر است با تأخیر ارسال از i به j به علاوه تأخیر (زمان) پردازش صورت گرفته در j که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$De_i = \left[\frac{D_{ij}}{\omega} \times \varphi \right] + Dcom_j \quad (6)$$

۷-۲-۲- محیط و شبیه‌ساز مراحل نصب شبیه‌ساز

کارهای انجام گرفته در یک سیستم با سیستم عامل ویندوز ۶۴ بیتی و با حافظه 8G کامپایلر و اجرا شده است. ابتدا NetBeans که یک ابزار برای برنامه‌نویسی جاوا هست نصب شد. سپس با دانلود کتابخانه‌های کلودسیم از سایت رسمی کلودسیم و اجرای آن در محیط برنامه‌نویسی NetBean پروسه شبیه‌سازی آغاز شد. با تحقیقاتی که در کارهای انجام گرفته از طریق مقالات و نمونه‌های سایت کلودسیم و ... انجام شد، کتابخانه و کلاس‌های مرتبط با پروژه خود که تخصیص منابع، انرژی و تأخیر است، شناسایی شد و سعی بر آن شد که متناسب با پروژه خود در این کلاس‌ها و توابع، تغییرات لازم انجام و در کنار آن کلاس‌های موردنیاز جدید تعریف شود تا پیاده‌سازی روش تحقق یابد. همچنین کد برنامه شبیه‌سازی از طریق [۲۷] قابل دسترس است.

برای نگهداری و استفاده داده‌های این برنامه، ملزم به استفاده از یک دیتابیس برای انجام کار خود هستیم. متناسب با حجم داده‌های ذخیره شده، از دو ماژول apache و mysql در xampp استفاده می‌شود که داده‌ها را به صورت محلی^{۲۷} ذخیره خواهد کرد و در برنامه از آن استفاده می‌شود.

۷-۳- سناریو انجام شده در مدل پیشنهادی

همان‌طور که در شکل ۲ تشریح شد، ساختار سیستم مفروض در این مقاله از اجزای: ابر، مه خودرویی و وسایل نقلیه الکتریکی که شامل تجهیزات نهایی اینترنت اشیاء است، تشکیل شده است. در مدل پیشنهادی، مجموعه خودروهای الکتریکی، ساختار اینترنت اشیاء را ایجاد کرده و در واقع، مجموعه‌ای از حسگرها و تجهیزات نصب شده در وسایل نقلیه خودرویی می‌باشند. این تجهیزات انتهایی از توان پردازشی پایینی برخوردار می‌باشند. این تجهیزات، وظایف پردازشی خود را جهت پردازش به منابع محاسباتی مه ارسال می‌کنند. این وظایف پردازشی در این بخش با عنوان کار شناخته خواهد شد که دارای طول کار، حافظه موردنیاز پردازشی و اولویت انرژی یا تأخیر است. در این سناریو، لایه مه یک لایه متشکل از منابع پردازشی بوده که از نظر فیزیکی بین ابر و اینترنت اشیاء قرار دارد. بدین ترتیب، مدل سیستم مفروض در این تحقیق، یک شبکه مه خودرویی خواهد بود؛ که جهت انتقال این مفهوم به شبیه‌ساز از مفهوم دیتاستر در شبیه‌ساز کلود سیم استفاده خواهیم کرد که شامل هاست-ها^{۲۸} یا ماشین‌های فیزیکی^{۲۹} برای ایجاد شبکه مه خودرویی است.

مسئله اساسی در این معماری که به عنوان مسئله مورد بحث در این تحقیق در نظر گرفته شده است، ظرفیت ذخیره‌سازی و پردازش و بازیابی سریع داده‌های شبکه در کمترین زمان ممکن است. در این مقاله، از یک راهکار مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی برای حل مسئله تخصیص منابع محاسباتی بهینه مه استفاده شده است. در مدل پیشنهادی، تابع برازش در مدل برنامه‌ریزی خطی بر اساس معیارهای «مصرف انرژی» و «تأخیر ارتباطی» توصیف خواهد شد. بدین ترتیب، خودروهای الکتریکی به عنوان اشیاء، بجای اینکه وظایف پردازشی خود را به صورت محلی انجام دهند یا مجبور به تخلیه وظایف خود به یک ابر راه دور باشند، آن را به شبکه‌های مه خودرویی انتقال داده تا از مصرف انرژی و افزایش هزینه محاسبات جلوگیری شود. این راهکار می‌تواند میزان کیفیت سرویس‌دهی به کاربران را افزایش داده و موجب بهبود تجربه کاربری در استفاده از مدل محاسباتی مه گردد.

مسئله حائز اهمیت برای اعمال روش این مقاله در شبیه‌ساز، پیاده‌سازی تابع برازش پیشنهادی جهت انتخاب بهترین منبع محاسباتی برای اجرای درخواست ارسالی از وسیله نقلیه درخواست‌کننده است. برای این منظور ماشین‌های فیزیکی با منابع پردازشی، ذخیره‌سازی و پهنای باند ارتباطی در نظر گرفته می‌شود. به هنگام دریافت یک درخواست به عنوان کار در شبیه‌ساز با خصیصه‌های طول کار، حافظه موردنیاز پردازشی و اولویت انرژی یا تأخیر و با در اختیار قرار دادن بخشی از منابع خود به عنوان یک ماشین مجازی^{۳۰}، یک برآورد مناسب از پارامترهای انرژی و تأخیر را جهت ارزیابی توسط تابع برازش ارائه می‌دهد. این گونه تابع برازش مه خودرویی

ماکزیمم است و فرآیند ساخت درخت پوشای ماکزیمم توسط گره مرکزی با استفاده از الگوریتم پریم صورت می‌پذیرد. پیاده‌سازی این الگوریتم با استفاده از ساختار داده هیپ دودویی و نمایش فهرست مجارت صورت گرفته است که دارای پیچیدگی زمانی $O(E \log N)$ است که در N تعداد گره‌ها و E تعداد ارتباطات است. در خصوص مراحل دیگر از قبیل شناسایی همسایگان و همچنین شناسایی حذف ارتباطات ضعیف، با پیچیدگی زمانی $O(N)$ مواجه هستیم. بنابراین؛ پیچیدگی زمانی کل، تحت تأثیر الگوریتم پریم برای ساخت درخت پوشای ماکزیمم است و در مجموع می‌توان گفت پیچیدگی زمانی کل $O(E \log N)$ خواهد بود.

۷- تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

در این بخش ابتدا شبیه‌ساز کلودسیم^{۲۶} که برای ارزیابی مدل پیشنهادی به کار گرفته شده است، معرفی می‌شود و سپس مدل پیشنهادی نسبت به مدل‌های پایه ارزیابی و مقایسه می‌شود [۲۵]. فاکتورهای ارزیابی عبارت‌اند از انرژی مصرفی و همچنین زمان اتمام کار.

۷-۱- محیط شبیه‌سازی

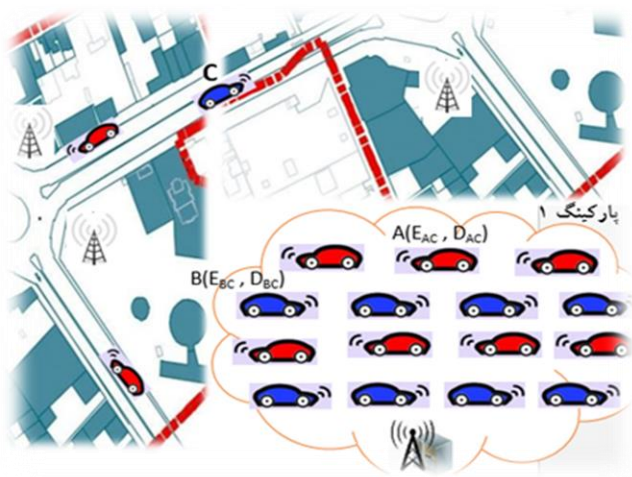
کلودسیم یک کتابخانه منبع باز و رایگان برای شبیه‌سازی سناریوهای رایانش ابری است که در آزمایشگاه ابری در دپارتمان علوم کامپیوتر و مهندسی نرم‌افزار دانشگاه ملبورن طراحی شده است. کتابخانه کلودسیم، کلاس‌های اصلی برای تعریف مراکز داده، ماشین‌های مجازی، کاربرها، کاربرها، منابع محاسباتی و سیاست‌هایی برای مدیریت بخش‌های متنوع یک سیستم (برای مثال زمان بندی) را فراهم می‌کند. این اجزا می‌توانند توسط کاربران برای ارزیابی استراتژی‌های جدید در به کارگیری ابرها (سیاست‌ها، الگوریتم‌ها زمان بندی، سیاست‌های توزیع بار و نگاشت و غیره) کنار همدیگر قرار بگیرند. کلودسیم همچنین می‌تواند برای ارزیابی مؤثر بودن استراتژی‌ها از نقطه نظرهای مختلف به کار رود، از هزینه یا سود گرفته تا تسریع زمان اجرای کاربرد. کلودسیم همچنین از ارزیابی سیاست‌های Green IT پشتیبانی می‌کند. هیچ محدودیتی در به کارگیری کلودسیم وجود ندارد: کلاس‌ها می‌توانند توسعه یابند و یا جایگزین شوند، سیاست‌های جدید می‌توانند افزوده شده و سناریوهای جدید می‌توانند نوشته شوند. کلودسیم مثل بلوک‌های سازنده‌ای می‌ماند که با آن می‌توان محیط ابری شبیه‌سازی خود را ایجاد نمود [۲۶].

۷-۲- مراحل پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در کلودسیم

این بخش شامل تمامی مراحل پیاده‌سازی مدل پیشنهادی انجام شده است؛ که به صورت مرحله به مرحله تشریح می‌شود. پیاده‌سازی انجام گرفته در این مقاله، تخصیص منابع مه خودرویی با در نظر گرفتن دو معیار انرژی و تأخیر است. مدل پیشنهادی به این صورت است که از یک تابع برازش که معیارهای تأخیر، انرژی و یک ضریب α که اولویت درخواست‌ها را از نظر ارجحیت انرژی و تأخیر در نظر می‌گیرد، استفاده می‌شود. به این صورت تابع برازش پیشنهادی مشخص می‌کند که کدام منبع محاسباتی در مه خودرویی مناسب انجام درخواستی است که از ماشین x دریافت شده است.

۷-۲-۱- معرفی ابزار و محیط ارزیابی

در تحقیقاتی که انجام شد بسیاری از مقالات مشابه که در حوزه تخصیص منابع و زمان بندی مه کارکرده‌اند، از شبیه‌ساز کلودسیم برای ارزیابی و پیاده‌سازی تحقیقات خود استفاده کرده‌اند. کلودسیم یک کتابخانه منبع باز و رایگان برای شبیه‌سازی سناریوهای رایانش ابری است که زبان برنامه‌نویسی آن جاوا است و شامل کتابخانه‌ها و کلاس‌ها و توابع کاربردی بسیاری برای پیاده‌سازی روش‌های زمان بندی و تخصیص منابع است؛ که بر این اساس پیاده‌سازی انجام گرفته در این مقاله هم با شبیه‌ساز کلودسیم انجام گرفت.



در جدول ۷ مشخصات میزبان‌های فیزیکی در شبکه‌های مه خودرویی مورد استفاده در آزمایش، نمایش داده شده است. در این جدول واحد پردازنده بر اساس MIPS (تعداد دستورات در واحد ثانیه)، حافظه برحسب مگابایت و پهنای باند برحسب گیگابایت بر ثانیه است.

جدول ۷- مشخصات میزبان‌های فیزیکی در شبکه‌های مه خودرویی در شبیه‌ساز

مقدار	ماشین‌های فیزیکی
۲۶۶۰-۲۸۶۰	پردازنده (Mips)
۱۰۲۴-۴۰۹۶	حافظه (MB)
۱-۱	پهنای باند شبکه (GB/s)

۸- ارزیابی و مقایسه

جهت ارزیابی مدل پیشنهادی دو حالت در نظر گرفته شده است، این دو حالت به شرح زیر است:

- در حالت اول تعداد منابع متغیر است و متناسب با تعداد وظایف و ماشین‌های مجازی مه خودرویی تغییر می‌کند.
- در حالت دوم تعداد منابع ثابت است و فقط ماشین‌های مجازی مه خودرویی متناسب با تعداد درخواست‌ها تغییر می‌کند.

برای انجام مقایسه و راستی آزمایی، مدل پیشنهادی (ProposedVFC^{۳۳}) با روش ارائه شده در مقاله پایه [۲۵] به نام از LBMS^{۳۳} و همچنین DDCP^{۳۴} که در [۱۵] ارائه شده است مقایسه می‌شود. در مدل LBMS از یک روش زمان‌بندی وظیفه فرااكتشافی برای تعادل بارکاری با تأثیر از الگوریتم کرم شب‌تاب استفاده شده است. در ادامه با توجه به نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی، نشان داده شده است که مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل LBMS در دو حالتی که تعداد منابع ثابت بوده و نیز همچنین متناسب با تعداد درخواست‌ها و ماشین‌های مجازی مه خودرویی تغییر می‌کند، در بهبود پارامترهایی نظیر انرژی مصرفی و زمان اتمام بهتر عمل کرده است. در نظر گرفتن این نکته مهم است که روش LBMS که برای مقایسه با مدل پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته شده است، روشی است که تخصیص درست و مناسبی از درخواست‌ها انجام نداده است و معیارهای بهبود بهره‌وری جهت کاهش مصرف انرژی را در نظر نگرفته است. در مدل پیشنهادی علاوه بر معیار انرژی مصرفی، معیار تأخیر نیز در نظر گرفته شده است. در ادامه نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی و مقایسه نشان داده می‌شود.

۸-۱- تحلیل و ارزیابی مدل پیشنهادی باحالت اول

شکل ۷، انرژی مصرفی مدل پیشنهادی و دو روش مورد مقایسه را هنگامی که تعداد منابع متناسب با تعداد درخواست‌ها تغییر می‌کند نمایش می‌دهد.

تصمیم می‌گیرد که کدام ک از این برآوردهای انرژی و تأخیر VM های این ماشین‌های فیزیکی، قادر به پاسخگویی مناسب به درخواست کاربر درخواست‌کننده است. در شکل ۶ بخشی از یک محیط مفروض مه خودرویی متشکل از یک پارکینگ ماشین‌های الکتریکی و هیبریدی قابل مشاهده است. هریک از اجزاء موجود در این تصویر به شرح ذیل است.

- خودرو C کاربر ارسال‌کننده درخواست به مه خودرویی است.
- درخواست خودرو C معادل یک کار در شبیه‌ساز کلودسیم پیاده‌سازی شده در این مقاله است.
- پارکینگ ۱ یک مه خودرویی مفروض در این پژوهش است.
- مه خودرویی مفروض در این مقاله، دیتاستر ایجاد شده در شبیه‌ساز کلودسیم است.
- خودروهای E و B خودروهای موجود در مه خودرویی هستند که دریافت‌کننده درخواست از خودرو C می‌باشند.
- خودروهای E و B ماشین‌های فیزیکی موجود در شبیه‌ساز کلودسیم هستند.

که با توجه به شکل ۶ در صورتی که خودرو C درخواستی را برای دریافت خدمات به پارکینگ ۱ مورد نمایش در شکل، ه محیط مه خودرویی مفروض است، ارسال کند. تابع برازش پیاده شده در مه تصمیم خواهد گرفت که کدام ک از ماشین‌های A به ترتیب با انرژی و تأخیر E_{AC}, D_{AC} ماشین B به ترتیب با انرژی و تأخیر E_{BC}, D_{BC} و یا دیگر ماشین X موجود در مه با انرژی و تأخیر E_{XC}, D_{XC} می‌تواند پاسخ مناسبی برای درخواست منبع خودرو C به‌عنوان کار آرسالی ماشین C با خصیصه‌های طول کار، حافظه موردنیاز پردازشی و اولویت انرژی یا تأخیر a باشد.

شکل ۶- محیط مفروض مه خودرویی متشکل از یک پارکینگ ماشین‌های الکتریکی و هیبریدی

۷-۴- داده‌ها و پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌ساز

تنظیمات و پیکربندی مورد استفاده در روند پیاده‌سازی و ارزیابی مدل پیشنهادی، شامل پارامترهای اطلاعات درخواست‌ها، ماشین‌های مجازی شبکه‌های مه خودرویی و میزبان‌های فیزیکی شبکه‌های مه خودرویی است که به ترتیب در جدول‌های زیر به نمایش گذاشته شده است. در جدول ۵ مشخصات درخواست‌ها نشان داده شده است.

جدول ۵- مشخصات درخواست‌ها در شبیه‌ساز

پارامتر	مقدار
طول (حجم کار) درخواست	۵۰۰۰-۱۵۰۰۰
میزان حافظه درخواست	۱-۱۰۰ (MB)

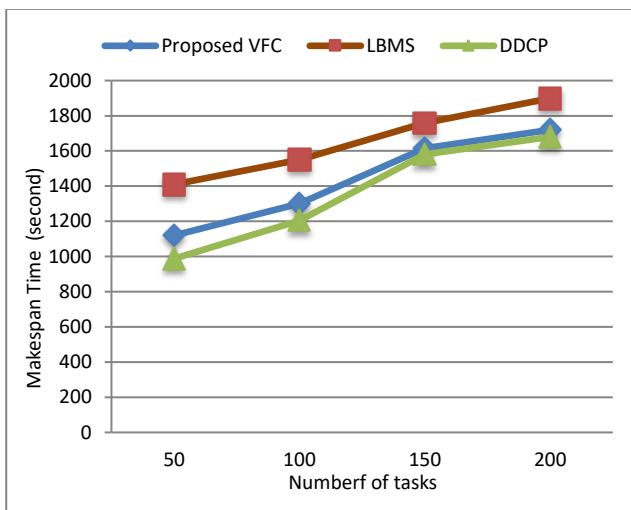
در جدول ۶ مشخصات ماشین‌های مجازی شبکه‌های مه خودرویی مورد استفاده در آزمایش، نمایش داده شده است. در این جدول واحد پردازنده بر اساس MIPS (تعداد دستورات در واحد ثانیه)، PE، تعداد هسته‌ها و حافظه ماشین مجازی مه خودرویی برحسب مگابایت را نمایش می‌دهد.

جدول ۶- مشخصات ماشین‌های مجازی مه خودرویی در شبیه‌سازی

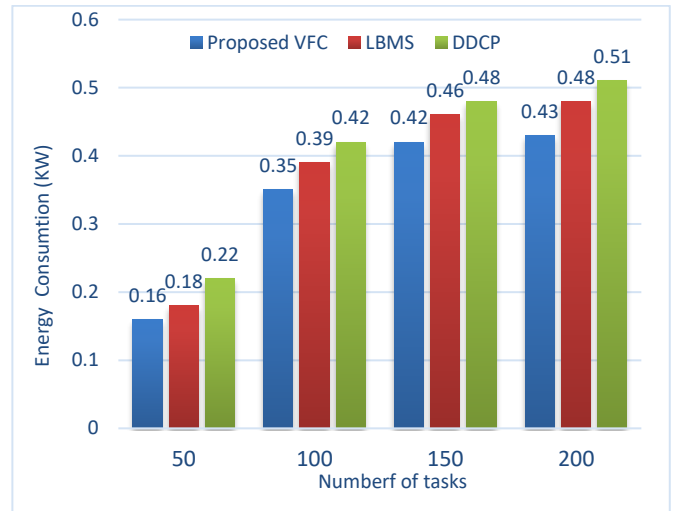
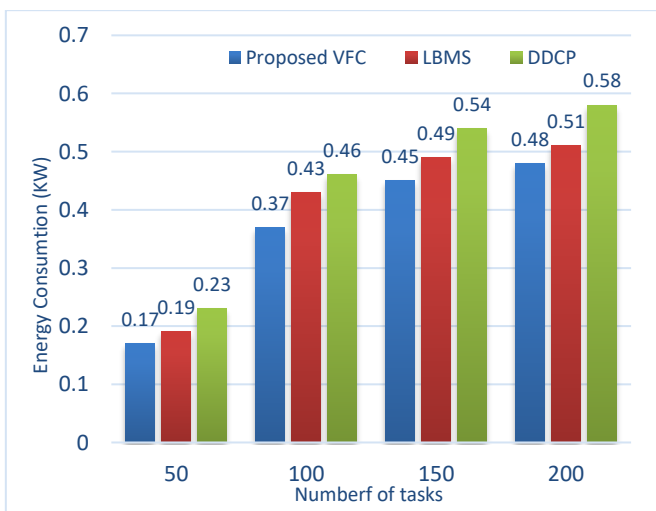
پارامتر	مقدار
MIPS of processing element	۲۵۰۰-۱۵۰۰
Number of PE per VFVM ^{۳۱}	۱-۱
VFVM RAM	۱۷۰۰-۸۷۰

مجازی می‌خورد رویی با همان مقدار ثابت باقی می‌ماند نشان می‌دهد. تعداد منابع یا همان میزبان‌های فیزیکی در این حالت ۱۰۰ عدد در نظر گرفته شده است. با توجه به نمودار شکل ۹، مدل پیشنهادی در حالت دوم نیز انرژی کمتری در مقایسه با دو روش مورد مقایسه دارد. علت این کاهش این بوده است که در روش پیشنهادی (ProposedVFC) به تخصیص منابع محاسباتی در شبکه‌های می‌خورد رویی پرداخته است. مدل پیشنهادی شامل دو مرحله اصلی، تعیین ساختار توپولوژی موقعیت خودروها در هر لحظه نسبت به هم برای ایجاد شبکه می‌خورد رویی و تخصیص منابع پردازشی بهینه می‌خورد رویی بر اساس راهکار برنامه‌ریزی خطی است. در نهایت برای تحقق یافتن این راهکار برنامه‌ریزی خطی در چارچوب مقاله خود، یک تابع برازش با استفاده از دو معیار تأخیر و انرژی، با اعمال محدودیت‌های تخصیص منابع در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در خصوص نمودار شکل ۷ نیز بیان شد، در روش DDCP بجای کاهش مصرف انرژی، تمرکز اصلی بر روی به حداقل سازی هزینه است.

در شکل ۱۰، به بررسی حالت دوم نتایج به دست آمده زمان اتمام برای حالتی که تعداد منابع ثابت است و با تغییر درخواست‌ها و ماشین‌های مجازی می‌خورد رویی با همان مقدار ثابت باقی می‌ماند، پرداخته می‌شود. تعداد منابع یا همان میزبان‌های فیزیکی در این حالت نیز ۱۰۰ عدد در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۱۰، محور افقی نمودار، تعداد درخواست‌ها و ماشین‌های مجازی می‌خورد رویی می‌باشند و محور عمودی زمان Makespan بر حسب ثانیه را نمایش می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه زمان اتمام مبتنی بر تعداد منابع متغیر، ماشین‌های مجازی متغیر و درخواست‌های متغیر



شکل ۷- مقایسه انرژی مصرفی مبتنی بر تعداد منابع متغیر، ماشین‌های مجازی متغیر و درخواست‌های متغیر

با توجه به شکل ۷ تعداد درخواست‌ها، ماشین‌های مجازی می‌خورد رویی و میزبان‌های فیزیکی در شبکه می‌خورد رویی بر روی محور X و انرژی مصرفی بر حسب کیلووات بر روی محور Y نشان داده شده است. عملکرد مدل پیشنهادی (ProposedVFC) در کاهش انرژی مصرفی با متغیر بودن تعداد منابع و درخواست‌ها در مقایسه با دو روش مورد مقایسه (DDCP و LBMS) بهتر است. در روش DDCP تمرکز اصلی بر روی به حداقل سازی هزینه بوده است و نه کاهش مصرف انرژی. در مدل پیشنهادی سعی می‌شود با استفاده از تابع هدف چند معیاره مناسب‌ترین منابع می‌خورد رویی جهت تخصیص به گره‌های فعال شبکه به منظور انجام وظایف درخواستی تخصیص داده شود. در مدل پیشنهادی هدف انتخاب پاسخ‌هایی است که عمل تخصیص منابع به گره‌های متقاضی سرویس را به صورت بهینه انجام دهد. در نتیجه با در نظر گرفتن چند معیار در تابع هدف و استفاده بهینه از منابع میزبان‌های فیزیکی از افزایش مصرف انرژی جلوگیری شده است و کاهش مصرف انرژی را نسبت به LBMS ایجاد کند.

در شکل ۸، زمان اتمام با توجه به حالت اول هنگامی که تعداد منابع متناسب با تعداد درخواست‌ها و ماشین‌های مجازی می‌خورد رویی می‌پردازد. در نمودار شکل ۸ محور افقی تعداد درخواست‌ها، ماشین‌های مجازی و میزبان‌های فیزیکی و محور عمودی زمان Makespan بر حسب ثانیه است. در نمودار شکل ۸، مدل پیشنهادی (ProposedVFC) در حالت‌های مختلف و با تعداد ماشین‌های مجازی متفاوت بهتر از روش LBMS عمل کرده است؛ زیرا در روش ProposedVFC با تلفیق و در نظر گرفتن دو معیار در تابع هدف و استفاده بهینه از منابع و تخصیص به منابع بر اساس محاسبه برازش، کارایی و زمان اتمام جهت بهینه‌سازی یک مسئله چندهدفه را بهبود دادیم و توانستیم در بهبود زمان اتمام تأثیر گذار باشیم. روش DDCP نیز با توجه به تمرکز بر روی معیار زمان، از هر دو روش دیگر بهتر عمل کرده است. البته با افزایش تعداد وظایف، این تفاوت بین زمان اتمام در روش پیشنهادی و روش DDCP کمتر شده است. با توجه به اینکه در روش پیشنهادی هدف اصلی ایجاد مصالحه بین دو معیار انرژی مصرفی و زمان تأخیر است، این تفاوت در زمان اتمام نسبت به روش DDCP معقول به نظر می‌رسد.

۸-۲- تحلیل و ارزیابی مدل پیشنهادی با حالت دوم

در ادامه به بررسی و مقایسه زمان اتمام و انرژی مصرفی مدل پیشنهادی می‌پردازیم. در حالت دوم تعداد منابع محاسباتی ثابت در نظر گرفته شده است. ماشین‌های مجازی می‌خورد رویی و درخواست‌ها متناسب با هم تغییر می‌کنند. نمودار شکل ۹ نتایج به دست آمده انرژی مصرفی در مدل پیشنهادی و دو روش مورد مقایسه را در حالت دوم که تعداد منابع ثابت است و با تغییر درخواست‌ها و ماشین‌های

است ولی با در نظر گرفتن ۱۵۰ و ۲۰۰ گره، مدل پیشنهادی بهتر از هر دو روش عمل کرده است. مدل پیشنهادی با ساخت درخت پوشا و به دست آوردن توپولوژی شبکه، در حالت تعداد بالای گره‌ها به زمان همگرایی بهتری دست می‌یابد. با توجه به اینکه در روش DDCP علاوه بر معیار زمان، بر روی به حداقل رساندن هزینه‌های نصب و عملیات، با در نظر گرفتن تغییرات مکانی-زمانی در تقاضا و عرضه تمرکز شده است، زمان همگرایی با در نظر گرفتن بیش از ۱۰۰ گره، کمی بیشتر از روش پیشنهادی شده است. در روش LBMS نیز که از الگوریتم فرا اکتشافی کرم شب‌تاب استفاده شده است، زمان همگرایی از هر دو روش دیگر بیشتر شده است.

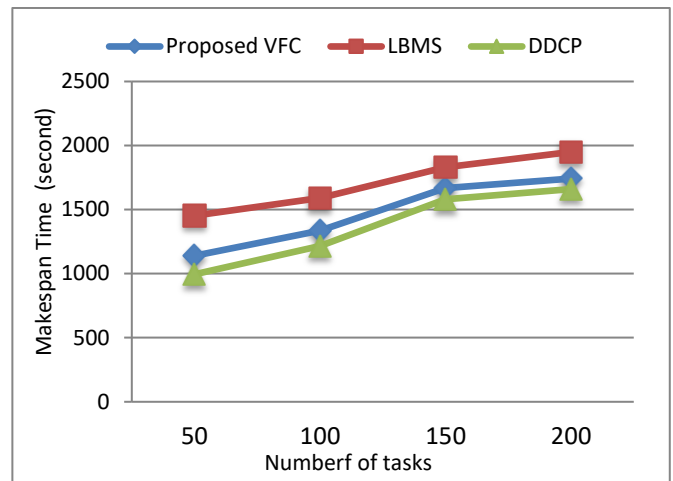
۹- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

تمرکز این مقاله، بر ارائه راهکارهایی برای بهبود دو مسئله کلیدی کمبود ظرفیت در مه و تخصیص منابع در مه است. تحقیقات کمتری این چالش‌های مطرح در محیط مه را به صورت هم‌زمان پوشش داده‌اند و همچنین تحقیقی به بررسی این دو مسئله به صورت هم‌زمان در اکوسیستم پیشنهادی ما نپرداخته است. اکوسیستم پیشنهادی ما، شامل خودروهای الکتریکی است که از باتری‌های قابل شارژ به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند؛ که با توجه به پیشرفت فناوری باتری‌ها، خطرات زیست‌محیطی همچون آلودگی هوا را کاهش می‌دهد. در خصوص استفاده از خودروهای الکتریکی به عنوان منبع انرژی در محیط‌های مه در مقاله دو سناریو در نظر گرفته شده است. سناریوی اول مربوط به خودرویی است که انرژی پایینی برای انجام محاسبات خود دارد، پس می‌تواند درخواست محاسباتی خود را به علت کمبود انرژی خودروی مبدأ به خودروی مقصد در شبکه‌های مه خودرویی واگذار کند. سناریوی دوم، حالتی است که فرض کنیم پارکینگ‌ها و مراکز شبکه‌های مه خودرویی موجود در این مقاله از ساختار انرژی خودرو به گرید پیروی می‌کند و به این صورت خودروهای بیکار در خانه‌ها یا مراکز خرید می‌توانند انرژی خود را به شبکه برق اجاره دهند یا بفروشند؛ و به این صورت اکوسیستم پیشنهادی ما به درستی می‌تواند از شبکه برق هوشمند تجدید پذیر جهت تأمین انرژی خودروهای الکتریکی استفاده کند. تخصیص منابع مه، اصلی‌ترین چالش پیش رو در استفاده صحیح از مدل رایانش مه است. با در نظر گرفتن این چالش، با معرفی و بررسی شبکه‌های مه خودرویی، یک مدل تخصیص منابع محاسباتی مه آگاه از انرژی و مبتنی بر تحرک، به منظور بهبود تجربه کاربری در شبکه‌های مه خودرویی ارائه شده است.

در مدل پیشنهادی از یک راهکار مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی و تابع برازندگی جهت تخصیص منابع پردازشی بهینه در لایه مه استفاده می‌شود. هدف تابع برازش، ارزیابی میزان مناسب بودن منابع مه خودرویی جهت تخصیص به گره‌های فعال شبکه به منظور انجام وظایف درخواستی آن‌ها است. در مدل پیشنهادی هدف انتخاب پاسخ‌هایی است که عمل تخصیص منابع به گره‌های متقاضی سرویس را به صورت بهینه انجام دهد. در راهکار پیشنهادی از دو معیار «مصرف انرژی» و «تأخیر» برای دستیابی به این هدف استفاده می‌شود؛ بنابراین الگوریتم تخصیص منابع در مدل پیشنهادی، دو معیار، انرژی مصرفی و تأخیر را به عنوان معیارهای تخمین برازش بکار برده است.

در نهایت به ارزیابی روش پیشنهادی با روش‌های مورد مقایسه در محیط رایانش مه پرداخته شد. کارایی مدل پیشنهادی، از نظر دستیابی به اهداف کاهش زمان و میزان انرژی مصرفی در مقایسه با دو روش دیگر مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل و ارزیابی نمودار حاصل از نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در پارامترهای بیان شده بهبود داشته است. علت این کاهش این است که در مدل پیشنهادی یک تابع برازش با استفاده از دو معیار تأخیر و انرژی، با اعمال محدودیت‌های تخصیص منابع در چارچوب پیشنهادی در نظر گرفته شده است. همچنین با در نظر گرفتن اولویت برای درخواست‌ها، در تابع برازش و در نظر گرفتن تابع برازش چندمعیاره توانستیم زمان اتمام و مصرف انرژی را کاهش دهیم.

شکل ۹- مقایسه انرژی مصرفی مبتنی بر تعداد منابع ثابت و درخواست‌های متغیر و ماشین‌های مجازی متغیر

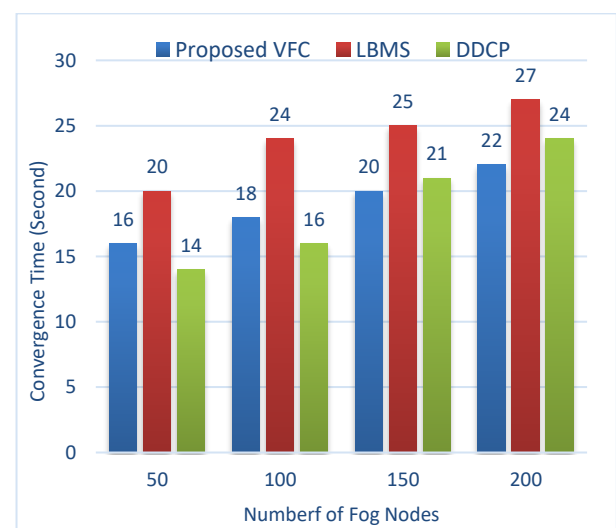


شکل ۱۰- مقایسه زمان اتمام مبتنی بر تعداد منابع ثابت، درخواست‌های متغیر و ماشین‌های مجازی متغیر

همان‌طور که از نمودارها مشخص است، زمان اتمام مدل پیشنهادی از LBMS کمتر است. با توجه به نمودارها، مدل پیشنهادی با ارائه راهکارهای زمان‌بندی با در نظر گرفتن آگاهی از تحرک و همچنین طبقه‌بندی نوع درخواست‌های کاربر بر اساس معیارهای تأخیر، انرژی، ظرفیت، ترافیک شبکه و احتمال تحرک کاربر در یک محیط انرژی تجدید پذیر، سعی در بهبود چالش‌های زمان اتمام و انرژی مصرفی دارد. روش DDCP نیز با توجه به تمرکز بر روی معیار زمان، از هر دو روش دیگر بهتر عمل کرده است همان‌طور که در خصوص نمودار شکل ۸ نیز بیان شد، با توجه به اینکه در روش پیشنهادی هدف اصلی ایجاد مصالحه بین دو معیار انرژی مصرفی و زمان تأخیر است، این تفاوت در زمان اتمام نسبت به روش DDCP معقول به نظر می‌رسد.

۸-۳- تحلیل و ارزیابی زمان همگرایی مدل پیشنهادی

در ادامه به تحلیل زمان همگرایی مدل پیشنهادی در مقایسه با دو روش مورد مقایسه LBMS و DDCP می‌پردازیم. در شکل ۱۱ زمان همگرایی هر سه روش در مقایسه با تعداد گره‌های مه مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۱- مقایسه زمان همگرایی مقایسه زمان همگرایی با در نظر گرفتن تعداد گره‌های مه مختلف

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در روش DDCP، در حالتی که تعداد گره‌های مه تا ۱۰۰ در نظر گرفته شود، زمان همگرایی آن از هر دو روش بهتر

- vehicular fog network," *Ad Hoc Networks*, vol. 141, p. 103090, 2023/03/15/ 2023.
- [13] Y. Li, B. Yang, H. Wu, Q. Han, C. Chen, and X. Guan, "Joint Offloading Decision and Resource Allocation for Vehicular Fog-Edge Computing Networks: A Contract-Stackelberg Approach," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, pp. 15969-15982, 2022.
- [14] Z. Zhou, P. Liu, J. Feng, Y. Zhang, S. Mumtaz, and J. Rodriguez, "Computation resource allocation and task assignment optimization in vehicular fog computing: A contract-matching approach," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, pp. 3113-3125, 2019.
- [15] W. Mao, O. U. Akgul, A. Mehrabi, B. Cho, Y. Xiao, and A. Ylä-Jääski, "Data-driven capacity planning for vehicular fog computing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, pp. 13179-13194, 2022.
- [16] M. M. Hussain, M. S. Alam, and M. S. Beg, "Vehicular fog computing-planning and design," *Procedia Computer Science*, vol. 167, pp. 2570-2580, 2020.
- [17] X. Hou, Z. Ren, J. Wang, W. Cheng, Y. Ren, K.-C. Chen, et al., "Reliable computation offloading for edge-computing-enabled software-defined IoV," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, pp. 7097-7111, 2020.
- [18] S. Vemireddy and R. R. Rout, "Fuzzy Reinforcement Learning for energy efficient task offloading in Vehicular Fog Computing," *Computer Networks*, vol. 199, p. 108463, 2021.
- [19] S. A. Tafhiri and S. Yousefi, "Combinatorial double auction-based resource allocation mechanism in cloud computing market," *Journal of Systems and Software*, vol. 137, pp. 322-334, 2018.
- [20] X. Peng, K. Ota, and M. Dong, "Multiattribute-based double auction toward resource allocation in vehicular fog computing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, pp. 3094-3103, 2020.
- [21] R. Q. Hu and L. J. I. T. o. V. T. Hanzo, "Twin-timescale artificial intelligence aided mobility-aware edge caching and computing in vehicular networks," vol. 68, pp. 3086-3099, 2019.
- [22] H. Hu, Q. Wang, R. Q. Hu, and H. J. I. I. o. T. J. Zhu, "Mobility-aware offloading and resource allocation in a MEC-enabled IoT network with energy harvesting," vol. 8, pp. 17541-17556, 2021.
- [23] Z. Gao, L. Yang, and Y. Dai, "Fast Adaptive Task Offloading and Resource Allocation via Multiagent Reinforcement Learning in Heterogeneous Vehicular Fog Computing," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, pp. 6818-6835, 2023.
- [24] N. Zaman, L. Tang Jung, and M. M. Yasin, "Enhancing energy efficiency of wireless sensor network through the design of energy efficient routing protocol," *Journal of Sensors*, vol. 2016, 2016.
- [25] M. Aruna, D. Bhanu, and S. Karthik, "An improved load balanced metaheuristic scheduling in cloud," *Cluster Computing*, vol. 22, pp. 10873-10881, 2019.
- [26] R. N. Calheiros, R. Ranjan, A. Beloglazov, C. A. De Rose, and R. Buyya, "CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms," *Software: Practice and experience*, vol. 41, pp. 23-50, 2011.
- در کارهای آتی و با مطالعات گسترده‌تر در زمینه فاکتورهای بهینه‌سازی خطی تخصیص منابع در محیط‌های مطرح محاسباتی آینده، روش‌های تخصیص منابع را مورد تحلیل دقیق‌تر قرار می‌دهیم. طی سال‌های آینده هوش مصنوعی موتور پیشرفته گسترش فناوری‌های نوین از جمله محیط‌های پیچیده و پویای شبکه‌های مهد خودرویی محسوب خواهد شد. لذا پیشنهاد می‌شود با در نظر گرفتن پیشرفت‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و ورود آن به تمامی عرصه‌های فناوری، در کنار راهکارهای بلادرنگ و قابل‌اطمینان نظیر نسل پنجم تلفن همراه به بررسی ایده‌های ابتکاری در زمینه‌ی عرصه جدید محاسبات و منابع محاسباتی پیچیده پرداخته شود.

۹- مآخذ

- [1] L. F. Bittencourt, J. Diaz-Montes, R. Buyya, O. F. Rana, and M. J. I. C. C. Parashar, "Mobility-aware application scheduling in fog computing," vol. 4, pp. 26-35, 2017.
- [2] Q. Li, L. Zhao, J. Gao, H. Liang, L. Zhao, and X. Tang, "SMDP-based coordinated virtual machine allocations in cloud-fog computing systems," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, pp. 1977-1988, 2018.
- [3] M. Sookhak, F. R. Yu, Y. He, H. Talebian, N. S. Safa, N. Zhao, et al., "Fog vehicular computing: Augmentation of fog computing using vehicular cloud computing," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 12, pp. 55-64, 2017.
- [4] Y. Liu, J. E. Fieldsend, and G. Min, "A framework of fog computing: Architecture, challenges, and optimization," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 25445-25454, 2017.
- [5] K.-K. R. Choo, R. Lu, L. Chen, and X. Yi, "A foggy research future: Advances and future opportunities in fog computing research," vol. 78, ed: Elsevier, 2018, pp. 677-679.
- [6] C. Mouradian, D. Naboulsi, S. Yangui, R. H. Glitho, M. J. Morrow, and P. A. Polakos, "A comprehensive survey on fog computing: State-of-the-art and research challenges," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 20, pp. 416-464, 2017.
- [7] M. Aazam, S. Zeadally, and K. A. Harras, "Fog computing architecture, evaluation, and future research directions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, pp. 46-52, 2018.
- [8] J. Luo, L. Yin, J. Hu, C. Wang, X. Liu, X. Fan, et al., "Container-based fog computing architecture and energy-balancing scheduling algorithm for energy IoT," *Future Generation Computer Systems*, vol. 97, pp. 50-60, 2019.
- [9] X. Zhang, M. Peng, S. Yan, and Y. Sun, "Joint Communication and Computation Resource Allocation in Fog-Based Vehicular Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, pp. 13195-13208, 2022.
- [10] Y. Yang, K. Wang, G. Zhang, X. Chen, X. Luo, and M.-T. Zhou, "MEETS: Maximal energy efficient task scheduling in homogeneous fog networks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, pp. 4076-4087, 2018.
- [11] L. Yin, J. Luo, and H. Luo, "Tasks scheduling and resource allocation in fog computing based on containers for smart manufacturing," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, pp. 4712-4721, 2018.
- [12] B. Jamil, H. Ijaz, M. Shojafar, and K. Munir, "IRATS: A DRL-based intelligent priority and deadline-aware online resource allocation and task scheduling algorithm in a

¹ Internet of Things

² Smart devices

³ in-vehicle systems

⁴ Fog computing

⁵ Cloud computing

-
- ⁶ Edge
 - ⁷ Mobility
 - ⁸ Vehicular Fog Computing
 - ⁹ Scale up
 - ¹⁰ Vehicular cloud
 - ¹¹ Overprovisioning
 - ¹² Ubiquitous Computing
 - ¹³ Overlap
 - ¹⁴ Satyanarayanan
 - ¹⁵ Cloudlet
 - ¹⁶ Mobile Cloud Computing
 - ¹⁷ Container
 - ¹⁸ Multiple tenants
 - ¹⁹ Wireless sensor network
 - ²⁰ Maximal energy-efficient task scheduling
 - ²¹ Modulation scheme
 - ²² Linear Programming
 - ²³ Broadcast
 - ²⁴ Hop
 - ²⁵ RF power amplifier
 - ²⁶ Cloudsim
 - ²⁷ Local
 - ²⁸ Hosts
 - ²⁹ Physical machines
 - ³⁰ Virtual machine
 - ³¹ Vehicular Fog Virtual Machine
 - ³² Proposed Vehicular Fog Computing
 - ³³ Load Balanced Metaheuristic Scheduling
 - ³⁴ Data-driven capacity planning

Computing Resource Allocation in Vehicular Fog Networks with a Mobility-aware Renewable Energy Approach

Abstract-Fog computing is an emerging model of cloud computing that aims to meet computing demands at the edge of the network. Minimizing the time of data transfer, performing tasks for the user on the move, which changes due to the mobility of his location, network traffic and energy consumption for mobile devices, are the main and challenging reasons for the emergence of fog computing. This model can help devices at the edge of the network to overcome the limitations of computing resources. However, providing the optimal performance of allocating computing resources to received requests in the fog computing environment is challenging. In this paper, a vehicular fog computing model is introduced in a framework based on renewable energy, which can make the fog computing power available closer to the user's vehicle. The vehicular fog computing model consists of requesting vehicles, fog nodes, and vehicular fog nodes connected to the wireless access infrastructure. In the modeling section, the plan of allocation of computing resources is introduced by considering the criteria of delay and energy consumption. In the evaluation and analysis section, the performance of this method is evaluated through simulation in Cloudsim environment. The evaluation results show that the presented method has a favorable effect on reducing the time of execution of tasks and energy consumption.

Keywords: vehicular fog computing; fog computing; cloud computing; resource allocation; computational resource allocation; renewable energy; cloudsim; fitting function

معرفی نویسندگان:



مانی زارعی تحصیلات خود را در رشته مهندسی کامپیوتر سخت‌افزار و معماری کامپیوتر به انجام رسانده و اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس است. تحقیقات موردعلاقه نامبرده شامل شبکه‌های خودرویی، حمل‌ونقل هوشمند، اینترنت خودرویی، شبکه‌های بی‌سیم، سامانه‌های توزیع‌شده و اینترنت اشیا است. آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: m.zarei@srbiau.ac.ir



آرزو کاکائی لیسانس خود را در رشته مهندسی فناوری اطلاعات از دانشگاه کردستان اخذ نموده و اکنون دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات گرایش شبکه دانشگاه آزاد اسلامی علوم و تحقیقات تهران است. تحقیقات موردعلاقه نامبرده محاسبات ابری، محاسبات مه و شبکه‌های مه خودرویی است. آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: arezoo.kakaei@srbiau.ac.ir



سید مهدی جامعی تحصیلات خود را در رشته مهندسی کامپیوتر نرم‌افزار انجام رسانده و اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس است. تحقیقات موردعلاقه نامبرده شامل محاسبات ابری و مه، سامانه‌های توزیع‌شده، سامانه‌های هوشمند، یادگیری عمیق، الگوریتم‌های هوش ازدحام و سامانه‌های توصیه‌کننده است. آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از: Sm.jameii@iau.ac.ir