

ارائه مدلی در جهت بهبود مدیریت منابع در اینترنت‌اشیاء مبتنی بر محاسبات مه با ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین و فراابتکاری

فاطمه نصیری

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
fatemeh_nsr@yahoo.com

جواد محمودیان*

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
javad.mahmoodian@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

چکیده

اینترنت‌اشیاء یک فناوری محبوب و تعاملی از حسگرها، گیت‌ها، سرورها و پلتفرم‌های دسترسی به اطلاعات است که با تکیه بر حسگرها، داده‌ها و اطلاعات پایشی را گردآوری می‌کند. اینترنت‌اشیاء با داشتن مزیت‌های مختلف به سرعت توسعه یافته و مورد استقبال قرار گرفت؛ اما با چالش‌های متعددی نیز همراه است. امنیت داده‌ها، انرژی مصرفی، زمان‌بندی، مدیریت منابع، مسیریابی و ... از جمله این چالش‌ها هستند. پژوهش حاضر با هدف ارائه مدلی در جهت بهبود مدیریت منابع در اینترنت‌اشیاء مبتنی بر محاسبات مه با ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین و فراابتکاری صورت پذیرفت. در این پژوهش بر مدیریت منابع اینترنت‌اشیاء تمرکز شده و یک راه‌حل جدید برای آن ارائه گردید. در مدل پیشنهادی، اگر درخواست کاربر حساس به تأخیر نباشد؛ به محیط ابری ارجاع داده می‌شود، اما اگر مستلزم پاسخ‌گویی بلادرنگ باشد به صورت محاسبات مه ارسال می‌گردد. در زمان سرویس‌دهی به درخواست‌ها، ابتدا وضعیت با تکیه بر سری‌های زمانی پیش‌بینی شده و در ادامه فرایند تخصیص منابع با الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی انجام می‌گیرد. روش پیشنهادی در محیط متلب پیاده‌سازی شده و کارایی آن در چهار شاخص زمان پاسخ‌گویی، هزینه، تعادل بار و بهره‌وری منابع مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد که طرح پیشنهادی پایان‌نامه در تمامی شاخص‌ها نسبت به طرح پایه برتری (Router) داشته و منابع را رویکرد مناسبی تخصیص می‌دهد. به نحوی که ۱۸ درصد در شاخص تعادل بار، ۲۳ درصد در شاخص زمان پاسخ‌گویی، ۳۱ درصد در شاخص هزینه و نهایتاً ۲۸ درصد در شاخص بهره‌وری منابع بهبود داشته است.

واژگان کلیدی

اینترنت‌اشیاء؛ رایانش ابری؛ رایانش مه؛ منابع؛ الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی.

۱- مقدمه

از ضعف امنیتی برخوردار باشد، پتانسیل آن را دارد که بر امنیت و انعطاف‌پذیری کل سیستم در سطح بین‌المللی تأثیر بگذارد. این رفتار به سادگی به علت به کارگیری گسترده دستگاه‌های متصل اینترنت‌اشیاء به وجود آمده است [۴]. علاوه بر این، قابلیت اتصال مکانیکی برخی از دستگاه‌های متصل به اینترنت‌اشیاء با دستگاه‌های دیگر، بدان معنی است که کاربران و توسعه‌دهندگان اینترنت‌اشیاء همه تعهد دارند که اطمینان حاصل کنند که دیگر کاربران و همچنین خود اینترنت را در معرض آسیب احتمالی قرار نمی‌دهند [۵]. در عصر کنونی افزایش استفاده از تلفن‌های هوشمند، علاقه‌ی کاربران به پردازش‌های سریع، افزایش تحرک در شبکه، تعمیم اتصال به اینترنت به اشیا مختلف و نزدیک شدن محاسبات و پردازش‌ها به لبه‌های شبکه از نتایج بهره‌گیری از اینترنت‌اشیاء است. این شرایط سبب شد تا محاسبات به سمت فراگیر شدن و نزدیک تر شدن به ابزارهای کاربران و اشیا

اینترنت‌اشیاء شبکه‌ای از تجهیزات الکتریکی و سنسورهای متصل به هم به منظور تبادل اطلاعات با یکدیگر است که با هدف سنجش و کنترل از راه دور استفاده می‌گردد [۱]. در این شبکه برای هر موجود یا شیء قابلیت ارسال داده از طریق شبکه‌های ارتباطی، اعم از اینترنت یا اینترنت، فراهم می‌شود و می‌توان توسط اپلیکیشن‌های موجود مجموعه‌ای از سیستم‌ها را به صورت خودکار و هوشمند کنترل و مدیریت کرد [۲]. اینترنت‌اشیاء از چندین فناوری دیگر نظیر شبکه‌ی حسگر بیسیم^۱، ارتباطات ماشین به ماشین^۲، روباتیک، فناوری‌های اینترنت، دستگاه‌های هوشمند و ... استفاده می‌نماید [۳]. اینترنت‌اشیاء مزایای زیادی برای کاربران به ارمغان آورد. ماهیت متصل دستگاه‌های اینترنت‌اشیاء به این معناست که اگر یک دستگاه

1. Sensor Wireless Network
2. Machine to Machine

* نویسنده مسئول

با تکیه بر شاخص‌های ارزیابی استاندارد بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها گویای آن است که مدل پیشنهادی مقاله، در حد قابل توجهی بهره‌وری منابع را بهبود داده است. این در حالی است که انرژی مصرفی نیز با آن کاهش یافته است [۱۰].

در یک پلتفرم مدیریت منابع برای اینترنت اشیا پیشنهاد شده که مبتنی بر فناوری مجازی‌سازی است. این پلتفرم یک محیط پشتیبانی برای ساخت و استقرار برنامه‌های کاربردی ابری اینترنت اشیا فراهم می‌کند. در این مقاله استقرار سرویس مبتنی بر کانتینر به عنوان یک مسأله NP-Hard در نظر گرفته شده است. به نحوی که هدف آن استقرار یک کانتینر شامل کیفیت خدمات و هزینه‌های ابر می‌باشد. پژوهشگران بر این باور هستند که برای متعادل کردن شاخص‌های موصوف لازم است؛ زمان پاسخ‌گویی سرویس به حداقل برسد و استفاده از منابع مرکز داده ابری بهبود داده شود. آنها برای حل مسأله‌ی طرح‌شده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات تسریع شده استفاده کرده‌اند. الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن رابطه‌ی بین سرویس‌ها، کانتینرها را فراخوانی می‌کند تا سربر انتقال سرویس کاهش و استفاده از منابع بهبود یابد. بررسی نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که راهبرد پیشنهادی به‌طور قابل توجهی عملکرد سیستم را در شاخص‌هایی مانند سربر انتقال، تجمع کانتینر و استفاده از منابع را بهبود دهد [۱۱].

در یک روش جدید برای کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه‌ی برق ناهمگون ارائه شده که برای دستیابی به هدف ترسیم شده از رویکرد تخلیه‌ی وظایف و تخصیص منابع در کنار بهره‌مندی از یک سرور هوایی استفاده می‌کند. پژوهشگران چالش اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه‌ی برق را در قالب یک مسأله‌ی بهینه‌سازی (برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط^۷) مطرح کرده و برای حل آن از روش رویکرد ترکیبی استفاده کرده‌اند. تابع بهینه‌سازی این مدل ترکیبی از دو شاخص تأخیر و انرژی مصرفی است. برای این منظور مسأله‌ی بهینه‌سازی طراحی شده با بهره‌گیری از رویکرد لیاپانوف به سه زیرمسأله تبدیل می‌شود. زیرمسأله‌ی اول، تخلیه‌ی وظایف و تخصیص منابع محاسباتی محلی در سمت کاربر است که با روش ضریب لاگرانژی حل می‌شود. دومین زیرمسأله نیز استفاده‌ی مجدد از کانال (آگاه از صف) می‌باشد که برای حل آن تئوری تطبیق اتخاذ می‌گردد. نهایتاً سومین زیرمسأله تخصیص منابع سرور هوایی است که برای آن از رویکرد حریصانه استفاده می‌شود. بررسی نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاله می‌تواند از نظر مصرف انرژی، بازده طیف، عقب‌ماندگی کار، تأخیر و پیچیدگی محاسباتی عملکرد قابل قبولی ارائه دهد [۱۲].

پیش برود. برای پیاده‌سازی این مهم، ابر به لبه‌هایی نیازمند است که به محاسبات نزدیک‌تر شده باشند [۶]. مفهوم محاسبات لبه^۱، محاسبات و پردازش‌ها را از هسته‌ی شبکه به سمت لبه پیش می‌برد. محاسبات مه در حال حاضر توجه زیادی را از سوی محققان به خود جلب کرده است. این محاسبات به عنوان توسعه‌ای بر رایانش ابری است که به صورت سرویس‌دهی توسط گره‌های لبه در شبکه انجام می‌شود [۷]. با توجه به فراوانی کاربران، سرویس‌دهنده نیاز به مدیریت بارکاری و بهره‌گیری بهینه از منابع دارد. ارائه‌ی راهکاری مناسب جهت تخصیص مطمئن منابع به درخواست‌ها در کمترین زمان پاسخ به این درخواست‌ها چالش بزرگی در محاسبات ابری است. تخصیص بهینه‌ی منابع در جهت کاهش زمان پاسخ، نقش مهمی در عملکرد محاسبات مه ایفاء می‌کند [۸]. محاسبات ابری با مصرف انرژی مناسب و حفظ رضایت کاربر (براساس رعایت ضرب‌الاجل درخواست‌ها و انجام وظایف در مهلت تعیین‌شده)، مؤثر و صحیح‌تر عمل می‌کند. هدف تعادل بار، بهینه‌سازی کارکرد و بازدهی و در حین کاهش زمان عکس‌العمل است. در پژوهش پیشنهادی به منظور تخصیص مناسب منابع در اینترنت اشیا مبتنی بر رایانش مه از یک رویکرد ترکیبی و مبتنی بر الگوریتم‌های فرا ابتکاری و یادگیری ماشین استفاده خواهد شد.

۲- مروری بر کارهای پیشین

در این پژوهشگران یک روش مبتنی بر یادگیری تقویتی عمیق برای تخلیه‌ی وظایف و مدیریت منابع اینترنت اشیا، پیشنهاد کرده‌اند. روش پیشنهادی مقاله، سیاست تخلیه وظایف را براساس اطلاعات محیط و فرایند مدیریت منابع را براساس الگوریتم بهینه‌سازی سالپ^۲ انجام می‌دهد. لازم به ذکر است فاز تخلیه وظایف مبتنی بر پیش‌بینی یادگیری تقویتی عمیق بوده و مدل پیشنهادی برای انجام پیش‌بینی بر ظرفیت سرورهای ابری تمرکز دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی کمترین نرخ تأخیر و مصرف انرژی را دارد. به نحوی که در شاخص بهره‌وری منابع عملکرد آن در مقایسه با روش‌های تخلیه‌ی کامل محلی و تخلیه‌ی کامل، به ترتیب ۹۲ درصد، ۱۷ درصد بهبود داشته است [۹].

در پژوهشگران یک رویکرد بهینه‌سازی چندهدفه را برای مدیریت منابع در اینترنت اشیا رادیوشناختی^۳ پیشنهاد کرده‌اند که هدف آن بهره‌وری انرژی^۴ و بازده طیفی^۵ است. پیشنهاد این مقاله برای فرایند بهینه‌سازی الگوریتم ترکیبی جستجوی تابو بهبود یافته با تبرید تدریجی^۶ و راهبرد انتخاب جواب بهینه، جبهه‌ی پارتو می‌باشد. اما در رویکرد پارتو فرایند تصمیم‌گیری مبتنی بر استنتاج فازی است. عملکرد مدل پیشنهادی

7. Mixed Integer Nonlinear Programming

1. Fog Computing(FC)
2. Salp Swarm Algorithm
3. Cognitive Radio-Based Internet of Things Networks
4. Energy Efficiency
5. Spectral Efficiency
6. Hybrid Tabu Search-Based Stimulated Algorithm



شکل ۱- مدل لایه‌ای معماری اینترنت‌اشیاء

- سلامت الکترونیک: بطور مشخص با کمک اینترنت‌اشیاء فرایندهای مراقبت پزشکی آسان‌تر شده و خدمات درمانی از طریق هوشمندتر شدن سیستم، ارتقاء می‌یابند. بطور مشخص، اینترنت‌اشیاء بستری برای تحقق اهداف حوزه ارتقاء کیفی زندگی در تسهیل زندگی روزمره افراد معلول و درگیر بیماری‌های مزمن، فراهم می‌آورد. همچنین این فناوری ارائه خدمات درمانی فراگیر و کم‌هزینه‌تر را ممکن می‌سازد.
- شهر هوشمند: در یک شهر هوشمند از اطلاعات و فناوری‌های ارتباطی برای دستیابی به اهدافی مانند افزایش کیفیت و کارایی خدمات شهری، کاهش هزینه‌ها و مصرف منابع و نهایتاً تسهیل ارتباط مابین شهروندان و نهادهای حاکمیتی استفاده می‌شود.
- خانه هوشمند: برای اینترنت‌اشیاء مبتنی بر بستر ابری می‌توان کاربردهای زیادی در محیط خانه متصور شد. در واقع با ترکیب قابلیت‌های تجهیزات نهفته در محیط خانه و بستر ابری، انجام خودکار بسیاری از فعالیت‌های خانگی وجود دارد. همچنین امکان اتصال به وسایل منزل از طریق اینترنت به منظور مانیتورینگ رفتار آنها از راه دور (برای مثال، مانیتورینگ میزان انرژی مصرفی وسایل منزل و بکارگیری این اطلاعات برای بهبود الگوی مصرف برق) یا کنترل آنها از راه دور (برای مثال، مدیریت هوشمند روشنایی، گرما و تهویه هوا) وجود دارد.
- امنیت شهری (نظارت تصویری): بستر ابری در حوزه نظارت تصویری، زیرساخت لازم برای ذخیره‌سازی (داده حجیم ویدئویی)، مدیریت و پردازش (اجرای الگوریتم‌های سنگین بازنمایی الگو و بینایی ماشین) محتوای ویدئویی جمع‌آوری شده از سنسورهای ویدئویی (دوربین‌های مبتنی بر IP) را فراهم می‌کند. این سیستم‌ها در کاربردهای امنیتی مختلفی مطرح هستند. این مدل بعضاً ویدئو به‌عنوان سرویس شناخته می‌شود.

بررسی کارهای پیشین گویای آن است که پژوهشگران مدل‌های مختلفی را برای تخصیص و مدیریت منابع اینترنت‌اشیاء بکار گرفته‌اند. در این میان برخی از آنها بر مدل‌های فرااکتشافی اکتفا کرده‌اند. برخی نیز بر مدل‌های یادگیری ماشین تمرکز داشته‌اند. در حوزه یادگیری ماشین اغلب مدل‌ها مبتنی بر یادگیری تقویتی و یادگیری عمیق و یا یادگیری عمیق تقویتی است. این درحالیست که مدل‌های ترکیبی دیگری نیز پیشنهاد شده است. کارهایی پیشینی که در این پایان‌نامه بررسی شده‌اند را در یک نگاه جامع به جهت مزایا و معایب بررسی کرده است.

جدول ۱- مزایا و معایب

مقاله	روش	مزایا	معایب
اویانگ و همکاران (۲۰۲۲)	الگوریتم‌های فرااکتشافی	کاهش سربار انتقال و بهره‌وری منابع	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی
کین و همکاران (۲۰۲۲)	یادگیری تقویتی	کاهش مصرف انرژی، کاهش تأخیر و پیچیدگی محاسباتی کم	وابستگی مدل پیشنهادی به حجم داده‌های شبکه
رزنبرگر و همکاران (۲۰۲۲)	یادگیری عمیق تقویتی	انرژی مصرفی بهینه و قابلیت اطمینان بیشتر	پیچیدگی محاسباتی بالا
علی و همکاران (۲۰۲۲)	یادگیری تقویتی پویا	انرژی مصرفی بهینه و قابلیت اطمینان بیشتر	پیچیدگی محاسباتی بالا
دونگ و همکاران (۲۰۲۳)	گرادینان نزولی	کاهش تأخیر و مصرف انرژی بهینه	وابستگی مدل پیشنهادی به حجم داده‌های شبکه
فان و همکاران (۲۰۲۳)	یادگیری تقویتی	بهره‌وری منابع و کاهش تأخیر	وابستگی مدل پیشنهادی به حجم داده‌های شبکه
لی و همکاران (۲۰۲۳)	یادگیری تقویتی	کاهش تأخیر، بهبود کیفیت خدمات و زمان پاسخگویی کم	وابستگی مدل پیشنهادی به حجم داده‌های شبکه
چای و همکاران (۲۰۲۳)	گراف چرخه‌ای غیرجهت‌دار	کاهش مصرف انرژی، بهره‌وری منابع، کاهش هزینه	پیچیدگی محاسباتی بالا
آقاپور و همکاران (۲۰۲۳)	یادگیری تقویتی عمیق	کمترین نرخ تأخیر، مصرف انرژی بهینه و بهره‌وری منابع	پیچیدگی محاسباتی بالا
لطیفی و همکاران (۲۰۲۲)	بهینه‌سازی چند هدفه	انرژی مصرفی	گرفتار شدن در بهینه‌های محلی

سرویس‌ها و کاربردهای اینترنت‌اشیاء در حوزه‌های متنوعی مطرح هستند، که از آن جمله می‌توان به موارد ساختمان، انرژی، خانه و مشتری، سلامت، صنعت، حمل و نقل، خرده‌فروشی، امنیت عمومی، شبکه و فناوری اطلاعات اشاره کرد. محبوب‌ترین کاربردها به ترتیب عبارتند از: ابزارهای پوششی، شهر هوشمند، خانه هوشمند، اینترنت صنعتی، توزیع هوشمند برق، خودرو متصل، سلامت، کشاورزی و دامپروری، خرده‌فروشی، زنجیره تأمین. در ادامه توضیحات مربوط به برخی از این کاربردها آمده است.

پردازش، حافظه‌ی ذخیره‌سازی و پهنای باند) توسط مؤلفه‌ی تحلیل نیازمندی‌های برنامه‌ی کاربردی^۱ استخراج می‌گردد. همچنین این مؤلفه وضعیت ترافیک درخواستی برنامه را از لحاظ بلادرنگ بودن تعیین می‌کند. در صورتی که کاربرد موردنظر بلادرنگ نباشد و در مقابل تأخیر تا حدودی مقاوم باشد، درخواست به محیط ابری ارجاع داده می‌شود، اما اگر برنامه‌ی کاربردی موردنظر نیاز به پاسخ‌گویی بلادرنگ داشته باشد و حساس به تأخیر باشد، به صورت محاسبات مه با آن برخورد خواهد شد و به یکی از کلودلت‌ها^۲ نگاشت خواهد شد.

کلودلت یکی از میان افزارهای سوئیفت اوپن استک است که توسط فراکلود توسعه داده شده و می‌تواند پردازش‌ها در مجاورت داده‌ها را در یک محیط ایزوله انجام دهد. به این صورت که می‌توان کدها (مثلاً به جاوا یا پایتون) را روی سرور شیء سوئیفت آپلود و آنها را روی داده‌هایی که در سیستم ذخیره‌سازی سوئیفت قرار دارند اجرا کرد. کلودلت برای اجرای کدهای خود از فناوری داکر استفاده می‌نماید که این داکرها در محیطی ایزوله و بر روی سرورهای ذخیره‌سازی (استورج) کدها را اجرا می‌کنند. البته استورج برای پردازش‌هایی که حافظه یا پردازش زیادی نیاز دارند توصیه نمی‌شود. کلودلت می‌تواند پردازش‌ها را به دو روش آنالین و آفلاین انجام دهد:

- پردازش آنالین: در این روش پردازش‌های به صورت بلادرنگ انجام می‌شود و خروجی نیز در همان زمان تولید می‌گردد. از این روش می‌توان برای کاربردهایی که نیاز به دریافت نتیجه پردازش همزمان با درخواست، استفاده کرد.

- پردازش آفلاین: در این روش کاربر درخواست خود برای پردازش به فراکلود ارسال می‌کند، فراکلود آن درخواست را در صف انتظار جهت پردازش قرار داده تا در زمان مناسب آن را اجرا کند. فراکلود به محض آماده‌شدن نتیجه به کاربر اطلاع داده و کاربر می‌تواند نتیجه پردازش خود را دریافت کند.

در زمان سرویس‌دهی به درخواست‌ها، مؤلفه‌ی ارزیابی موجودی منابع^۳ منابع^۴ در کلودلت‌ها به صورت مستمر میزان موجودی منابع در لبه‌های شبکه را کنترل شده و آخرین وضعیت منابع در اختیار مؤلفه‌ی رتبه‌بندی کلودلت‌ها^۴ قرار می‌گیرد. در طرح پیشنهادی، برای فاز اول، میانگین بارکاری کلودلت‌های مختلف (درخواست‌های کاربران) در برهه‌های قبلی ثبت و براساس آن بارکاری در برهه زمانی بعدی پیش‌بینی می‌شود. برای این کار در پنجره‌های زمانی مشخص، تعداد درخواست‌های ورودی پایش خواهد شد. رویکردی که برای پیش‌بینی در نظر گرفته شده یادگیری ماشین و سری زمانی است. در فاز دوم برای انتخاب بهترین تخصیص منابع جهت سرویس‌دهی به کاربران محیط IoT، از یک الگوریتم

- خدمات خودرویی: بکارگیری فناوری‌های اینترنت اشیا در حوزه خدمات خودرویی و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از سنسورهای خودرویی کاربردهای مختلفی را به همراه دارد که از آن جمله می‌توان به افزایش امنیت جاده‌ها، کنترل ترافیک و پارک، گارانتی، تعمیر و نگهداری خودرو، اشاره کرد. طی سال‌های گذشته کارهای مختلفی در حوزه توسعه بستر ابر خودرویی انجام شده است که هدف آنها فراهم کردن سرویس‌های بلادرنگ، ارزان، امن و مبتنی بر تقاضا از طریق انواع مختلف خدمات ابری است. چالش‌های اصلی این حوزه عبارتند از: تعداد زیاد خودروها و تغییرات عمده تعداد خودروهای متقاضی (که نیازمند مقیاس‌پذیری سیستم است)، سرعت متغیر حرکت خودروها، عدم وجود استاندارد جهانی برای تعامل سیستم‌های مختلف، امنیت و حریم خصوصی.

- مدیریت هوشمند انرژی و شبکه هوشمند توزیع برق: ترکیب بستر ابری و اینترنت اشیا کاربردهای متنوعی را در حوزه مدیریت هوشمند توزیع انرژی ممکن می‌سازد. اغلب توان حسگری، پردازشی و قابلیت‌های شبکه‌ای سنسورهای این حوزه محدود است. لذا برای پردازش اطلاعات و اتخاذ تصمیمات جامع، نیازمند قابلیت‌های بستر ابری هستیم. ناهمگونی سنسورها، اندازه بزرگ داده، نرخ جمع‌آوری داده، تأخیر متغیر، یکپارچه‌سازی داده‌های جمع‌آوری شده از منابع مختلف با مالکیت متفاوت، امنیت و حریم خصوصی از چالش‌های این حوزه هستند.

- تدارکات هوشمند: فناوری‌های اینترنت اشیا مبتنی بر بستر ابری، سناریوهای جذاب جدیدی را در حوزه تدارکات هوشمند معرفی می‌کنند. بطور کلی مدیریت آسان و خودکار زمان، هزینه و مسیر انتقال کالاها از مبدأ تا مقصد (به کمک فناوری‌های موقعیت‌یابی) را فراهم می‌آورند. چالش این حوزه عمدتاً مرتبط با ناهمگون بودن منابع بوده که راهکارهای آن مجازی‌سازی و انتخاب سرویس می‌باشند

- مانیتورینگ محیطی: ترکیب بستر ابری و اینترنت اشیا می‌تواند به توسعه سریع‌تر کاربردهای متنوع مانیتورینگ محیطی همچون اندازه‌گیری سطح آب، میزان آلودگی هوا، رطوبت خاک، شرایط نور محیط، تشخیص وقوع آتش‌سوزی و ردیابی حیوانات، اشاره کرد. همچنین می‌توان به مانیتورینگ امنیت غذایی، آبیاری قطره‌ای، محافظت و نگهداری از درختان و جنگل‌ها اشاره کرد. چالش‌های اصلی این حوزه شرایط محیطی متغیر و امنیت سنسورهای محیطی (که از نظر فیزیکی هم در معرض تهدید هستند) است

۳- روش پیشنهادی

در مدل پیشنهادی، ابتدا درخواست کاربر به صورت یک جریان کاری (شامل وابستگی بین وظایف) و در قالب یک نمودار DAG به سیستم داده می‌شود. به ازای هر درخواست ابتدا نیازمندی‌های منابع مختلف (قدرت

1. Applications Requirement Analysis
2. Cloudlet
3. Cloudlets Resources Analysis
4. Cloudlets Ranking

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای شبیه‌سازی طرح پیشنهادی از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۶ استفاده شده است. مشخصه‌های سیستم (نیازمندی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری) برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مشخصات سیستم جهت پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

مشخصات	مقدار
CPU	Core i7
RAM	8 GB
OS	Windows 7
MATLAB	R2016

جدول ۳- معرفی متغیرهای شبیه‌سازی

ساختار	متغیر	مقدار
شبکه	تعداد گره‌های مه	۲۰
	تعداد وظایف	۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰
	زمان شبیه‌سازی	۵۰ دور
	بیشینه بار گره‌ها	۲۰
	ابعاد محیط	۵۰۰ در ۵۰۰
بهینه‌سازی عقاب طلایی	تعداد جمعیت اولیه	۵۰
	تعداد دفعات تکرار الگوریتم	۱۰۰
	نوع الگوریتم بهینه‌سازی	گسسته

در فرایند شبیه‌سازی پارامترهایی برای طرح پیشنهادی وجود دارد که مقدار این پارامترها در نتایج و عملکرد طرح تأثیر دارند. جدول ۳ این پارامترها را نشان می‌دهد.

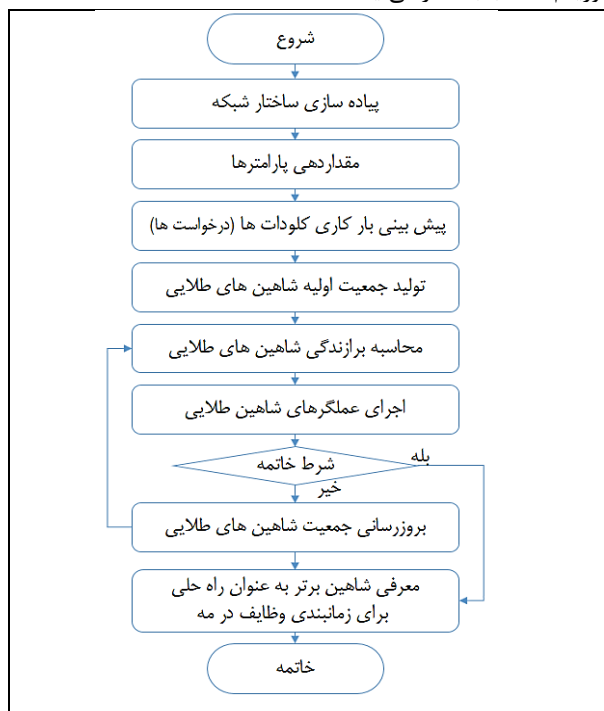
برای ارزیابی روش پیشنهادی از چهار شاخص عمومی و مطرح در اینترنت‌اشیاء و رایانش مه استفاده شده است. این شاخص‌ها قابلیت اطمینان، انرژی مصرفی، زمان پاسخ‌گویی و مهلت زمانی انجام وظایف هستند. جدول ۴ این شاخص‌ها را معرفی و تعریف کرده است.

جدول ۴- معرفی شاخص‌های ارزیابی طرح پیشنهادی

شاخص	توضیحات شاخص	مدل‌سازی شاخص
درجه عدم تعادل سلول‌های مه	معیاری برای نشان دادن توزیع متعادل بار در سلول‌های مه می‌باشد. این معیار، میانگین عدم تعادل و ناهماهنگی بار بین سلول‌های مه را نشان می‌دهد.	$DI = \frac{1}{T_{avg}}(T_{max} - T_{min})$
زمان پاسخ‌گویی	میانگین زمان اجرای کل وظایف، فاصله زمانی است که طی آن کلیه وظایف آغاز می‌شوند و پایان می‌پذیرند.	$MS = \frac{1}{T} \sum_1^T (F_t - S_t)$
هزینه	نشان‌دهنده میزان هزینه‌ای است که بابت مصرف انرژی تمامی نودهای مه فعال گرفته می‌شود.	$C = \sum CE_i$
بهره‌وری	میزان mips (توان پردازشی) تخصیص یافته به سرویس‌ها در گره‌های مه تقسیم بر mips شبکه را بهره‌وری می‌گویند. mips سرعت پردازنده مه را نشان می‌دهد که واحد آن میلیون دستورالعمل در واحد ثانیه می‌باشد.	$U = \frac{1}{N_{counc}} \sum \frac{Allocated_MIPS}{Avalable_MIPS}$

فرااکتشافی جدید استفاده خواهد شد. چون فرایند تخصیص منابع یک مسأله NP-Hard بوده و برای چنین مسائلی استفاده از الگوریتم‌های فرااکتشافی یک راه‌حل کارآمد می‌باشد.

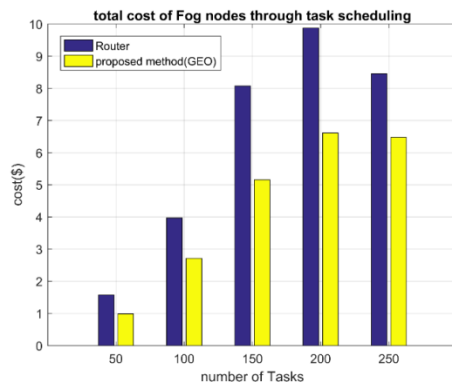
الگوریتم‌های فرااکتشافی زیادی برای مسائل NP-Hard مطرح شده است. هر یک از این الگوریتم‌ها مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند. اما در میان الگوریتم‌های مختلف، الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی یک الگوریتم مناسب به‌شمار می‌آید.



شکل ۲- فلوچارت روش پیشنهادی

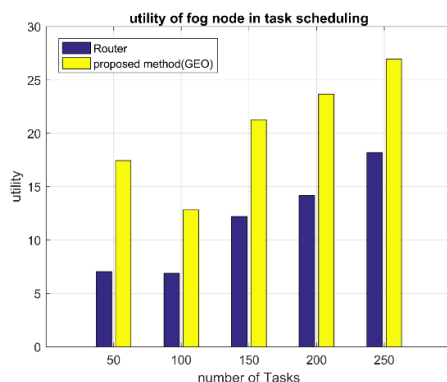
این الگوریتم از طبیعت بوده و هوش عقاب‌های طلایی در شکار الهام گرفته شده است. عقاب‌های طلایی در مراحل ابتدایی شکار اغلب در اطراف طعمه چرخیده و در مراحل پایانی به آن حمله می‌کنند. عقاب طلایی دو مؤلفه جستجو و حمله را به نحوی تنظیم می‌کند که در کمترین زمان طعمه را در ناحیه موردنظر شکار کند. الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی این رفتار را مدل‌سازی کرده تا با تکیه بر آن اکتشاف (جستجوی طعمه) و بهره‌برداری (استثمار طعمه) مناسبی در دست‌یافتن به بهینه‌سازی سراسری داشته باشد. این الگوریتم در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی کمتر در بهینه‌های محلی رفتار شده و نتایج مناسبی ارائه می‌دهد. همچنین با توجه به تعداد کم پارامترهای کنترلی، همواره برای مسائل مختلف یک الگوریتم مناسب محسوب می‌شود. از دیگر قابلیت‌های این الگوریتم نیز می‌توان به همراهی مناسب جواب‌ها اشاره کرد. کارایی این الگوریتم بر روی ۳۳ بنچ مارک و یک آزمون مقیاس‌پذیری تست و تأیید شده و نتایج گویای برتری الگوریتم GEO است. شکل ۱ فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

می‌باشد. به نحوی که هزینه با طرح پیشنهادی پایان‌نامه (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۳] به صورت میانگین ۳۱ درصد کاهش یافته است. لازم به ذکر است در طرح پیشنهادی و طرح پایه تقریباً با افزایش تعداد وظایف، هزینه نیز افزایش یافته است؛ این امر گویای آن است که در هر دو مدل هزینه با افزایش تعداد وظایف ارتباط مستقیم دارد. نمودار ۷ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. در شاخص هزینه، پروتکل و روشی مطلوب به شمار می‌آید که هزینه‌ی کمتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته باشد.



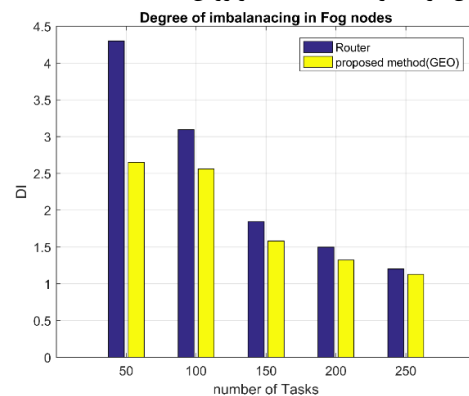
نمودار ۳- بررسی هزینه طرح پیشنهادی و طرح پایه (شاخص هزینه، پروتکل و روشی مطلوب)

بررسی کارایی طرح پایه و طرح پیشنهادی با شاخص بهره‌وری نشان می‌دهد که به صورت میانگین بهره‌وری سیستم با طرح پیشنهادی، نسبت به طرح پایه بهتر می‌باشد. به نحوی که بهره‌وری سیستم با طرح پیشنهادی پایان‌نامه (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۳] به صورت میانگین ۲۸ درصد افزایش یافته است. لازم به ذکر است در هر دو طرح پیشنهادی و طرح پایه با افزایش تعداد وظایف، تقریباً بهره‌وری سیستم نیز افزایش یافته است. این امر گویای آن است که با افزایش وظایف بهره‌وری سیستم نیز افزایش می‌یابد. نمودار ۸ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. در شاخص بهره‌وری سیستم، پروتکل و روشی مطلوب به شمار می‌آید که بهره‌وری سیستم بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته باشد.



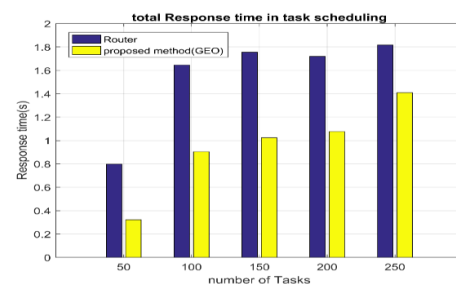
نمودار ۴- بررسی هزینه طرح پیشنهادی و طرح پایه (شاخص بهره‌وری سیستم، پروتکل و روشی مطلوب)

بررسی کارایی طرح پایه و طرح پیشنهادی با شاخص عدم تعادل بار نشان می‌دهد که به صورت میانگین تعادل بار طرح پیشنهادی، نسبت به طرح پایه بهتر می‌باشد. به نحوی که عدم تعادل بار با طرح پیشنهادی پایان‌نامه (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۳] به صورت میانگین ۱۸ درصد کاهش یافته است. لازم به ذکر است در هر دو طرح پیشنهادی با افزایش تعداد وظایف، عدم تعادل بار نیز کاهش می‌یابد. لذا می‌توان گفت که عدم تعادل بار با تعداد وظایف رابطه‌ی عکس دارد. نمودار ۵ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. در شاخص عدم تعادل بار، پروتکل و روشی مطلوب به شمار می‌آید که عدم تعادل بار کمتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته باشد.



نمودار ۱- بررسی عدم تعادل طرح پیشنهادی و طرح پایه

بررسی کارایی طرح پایه و طرح پیشنهادی با شاخص زمان پاسخگویی نشان می‌دهد که به صورت میانگین زمان پاسخگویی طرح پیشنهادی، نسبت به طرح پایه بهتر می‌باشد. به نحوی که زمان پاسخگویی با طرح پیشنهادی پایان‌نامه (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۳] به صورت میانگین ۲۳ درصد کاهش یافته است. لازم به ذکر است در طرح پیشنهادی با افزایش تعداد وظایف، زمان پاسخگویی نیز کاهش یافته است؛ اما این الگو برای طرح پایه صادق نبوده و زمان پاسخگویی در طرح پایه به ازای افزایش تعداد وظایف نوسان دارد. اما در تعداد وظایف پایین، زمان پاسخگویی کمتر است. نمودار ۶ نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. در شاخص زمان پاسخگویی، پروتکل و روشی مطلوب به شمار می‌آید که زمان پاسخگویی کمتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته باشد.



نمودار ۲- بررسی زمان پاسخگویی طرح پیشنهادی و طرح پایه

بررسی کارایی طرح پایه و طرح پیشنهادی با شاخص هزینه نشان می‌دهد که به صورت میانگین هزینه طرح پیشنهادی، نسبت به طرح پایه بهتر

۵- محدودیت‌ها و چشم‌اندازهای توسعه

تخصیص منابع موجود با هدف کیفیت بخشی ارائه سرویس در محیط اینترنت اشیا چالش مهم و کلیدی است. در واقع تخصیص منابع یک وظیفه فرایندی مهم در سیستم‌های توزیع شده مثل ابر است و تأثیر زیادی روی کارایی سیستم دارد. در رایانش ابری کاربران مایلند که با یک حداقل تضمین کیفیت سرویس، کمترین قیمت ممکن را بپردازند و تهیه کنندگان به دنبال بازگشت حداکثر مقدار سود و سرمایه هستند. از طرفی چون موجودیت منابع و میزان بارکاری به صورت پویا تغییر می‌کند این رفتار پویا، سرویس دهندگان و کاربران را با چالش‌هایی مواجه می‌سازد. دو مسأله اصلی تأمین نیازمندی‌های کیفیت خدمات و سطح قابل قبول کارایی و بهره‌وری سیستم، از جمله عواملی هستند که باید جهت حفظ رضایت‌مندی طرفین در نظر گرفته شوند. از آنجا که مدل‌های ریاضی با افزایش فضای جستجوی مسأله، با افزایش متغیرها و محدودیت‌ها روبرو می‌شود، حل مسأله تخصیص منابع تجهیزات اینترنت اشیا در خانه‌های هوشمند با استفاده از روش‌های سنتی نیازمند صرف زمان بالایی است. از طرفی اغلب الگوریتم‌های ارائه شده بر روی بهینه‌سازی انرژی مصرفی تمرکز کرده‌اند و قیودی مانند بهره‌وری منابع و زمان پاسخ بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است.

در روش پیشنهادی با ترکیب یادگیری ماشین و الگوریتم فرامکاشفه‌ای یک روش جدید برای مدیریت منابع در اینترنت اشیا مبتنی بر پردازش مه ارائه خواهد شد. در این رویکرد قبل از فرایند تخصیص منابع به سلول‌های مه، الگوریتم یادگیری ماشین یک پیش‌بینی از ترافیک بار در سلول‌های مه انجام داده و براساس پیش‌بینی انجام شده، فرایند تخصیص منابع انجام می‌گیرد. در فاز تخصیص منابع نیز به منظور افزایش بهره‌وری سیستم از رویکرد فرامکاشفه‌ای استفاده خواهد شد. انتظار می‌رود روش پیشنهادی بتواند عملکرد سیستم را در شاخص‌هایی مانند استفاده از پهنای باند، تأخیر انتها به انتها، انرژی مصرفی، تعادل بار و زمان پاسخ ارتقاء دهد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

روش پیشنهادی پژوهش برای بهبود مدیریت منابع اینترنت اشیا در محیط متلب پیاده‌سازی شده و کارایی آن در چهار شاخص استاندارد زمان پاسخ‌گویی، هزینه، تعادل بار و بهره‌وری منابع مورد ارزیابی قرار گرفته است. تفسیر نتایج برای مدل پیشنهادی پژوهش که یک الگوی ترکیبی و مبتنی بر یادگیری ماشین و الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی می‌باشد؛ و مقایسه کارایی آن با طرح پایه که روتر نام دارد نشان داد:

- عدم تعادل بار با طرح پیشنهادی پژوهش (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۴] به صورت میانگین ۱۸ درصد کاهش یافته است.
- زمان پاسخ‌گویی با طرح پیشنهادی پژوهش (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۴] به صورت میانگین ۲۳ درصد کاهش یافته است.
- هزینه با طرح پیشنهادی پژوهش (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۴] به صورت میانگین ۳۱ درصد کاهش یافته است.

- بهره‌وری سیستم با طرح پیشنهادی پژوهش (GEO) نسبت به طرح پایه (ROUTER) [۱۴] به صورت میانگین ۲۸ درصد افزایش یافته است.

در این پژوهش کارایی طرح پیشنهادی با چهار شاخص استاندارد زمان پاسخ‌گویی، هزینه، تعادل بار و بهره‌وری منابع مورد ارزیابی قرار گرفت. این در حالی است که برای مدل‌های مشابه شاخص‌های دیگری نیز مانند انرژی مصرفی، ترافیک، تخطی از زمان مقرر و ... مطرح می‌باشد. بر همین اساس پیشنهاد می‌شود در کارهای آینده کارایی مدل با شاخص‌های دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

در این پژوهش الگوی پیشنهادی با الگوریتم بهینه‌سازی عقاب طلایی پیاده‌سازی شد. درحالی‌که برای سال‌های اخیر الگوریتم‌های دیگری نیز مانند خرگوش مصنوعی، پلیکان، گورکن عسلخوار و ... نیز ارائه شده است. پیشنهاد می‌گردد مدل پیشنهادی با این الگوریتم‌ها نیز پیاده‌سازی شود.

۷- مراجع

- 1- U. Z. A. Hamid, H. Zamzuri, and D. K. Limbu, "Internet of vehicle (IoV) applications in expediting the implementation of smart highway of autonomous vehicle: A survey," in *Performativity in Internet of Things*: Springer, 2019, pp. 137-157.
- 2- P. Podder, M. Mondal, S. Bharati, and P. K. Paul, "Review on the security threats of internet of things," *arXiv preprint arXiv:2101.05614*, 2021.
- 3- S. Enshaeifar et al., "The internet of things for dementia care," *IEEE Internet Computing*, vol. 22, no. 1, pp. 8-1, 7, 2017.
- 4- K. B. Kiadehi, A. M. Rahmani, and A. S. Molahosseini, "A fault-tolerant architecture for internet-of-things based on software-defined networks," *Telecommunication Systems*, vol. 77, no. 1, pp. 155-169, 2021.
- 5- J. Zhang, S. Rajendran, Z. Sun, R. Woods, and L. Hanzo, "Physical layer security for the Internet of Things: Authentication and key generation," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 5, pp. 92-98, 2019.
- 6- Z. Sang, R. Fang, H. Lei, J. Yan, D. Yang, and Y. Wang, "The Internet of Things Based Fault Tolerant Redundancy for Energy Router in the Interacted and Interconnected Micro Grid," *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, vol. 29, no. 07n08, p. 2040019, 2020.
- 7- S. Wang, Y. Ruan, Y. Tu, S. Wagle, C. G. Brinton, and C. Joe-Wong, "Network-aware optimization of distributed learning for fog computing," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2021.
- 8- D. Tychalas and H. Karatz, "A scheduling algorithm for a fog computing system with bag-of-tasks jobs: Simulation and performance evaluation," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 98, p. 101982, 2020.
- 9- Z. Aghapour, S. Sharifian, and H. Taheri, "Task offloading and resource allocation algorithm based on deep reinforcement learning for distributed AI execution tasks in IoT edge computing environments," *Computer Networks*, p. 109577, 2023.
- 10- S. Latif et al., "An efficient pareto optimal resource allocation scheme in cognitive radio-based internet of things networks," *Sensors*, vol. 22, no. 2, p. 451, 2022.
- 11- M. Ouyang, J. Xi, W. Bai, and K. Li, "Band-Area Resource Management Platform and Accelerated Particle Swarm Optimization Algorithm for Container Deployment in Internet-of-Things Cloud," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 86844-86863, 2022.
- 12- P. Qin, Y. Fu, X. Zhao, K. Wu, J. Liu, and M. Wang, "Optimal task offloading and resource allocation for C-NOMA heterogeneous air-ground integrated power Internet of Things

- networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 21, no. 11, pp. 9276-9292, 2022.
- 13- H. Kharrufa, H. A. Al-Kashoash, and A. H. Kemp, "RPL-based routing protocols in IoT applications: A Review," IEEE Sensors Journal, vol. 19, no. 15, pp. 5952-5967, 2019.
- 14- L. Dong, W. He, and H. Yao, "Task Offloading and Resource Allocation for Tasks with Varied Requirements in Mobile Edge Computing Networks," Electronics, vol. 12, no. 2, p. 366, 2023.
- 15- W. Fan, Z. Chen, Z. Hao, F. Wu, and Y. a. Liu, "Joint Task Offloading and Resource Allocation for Quality-Aware Edge-Assisted Machine Learning Task Inference," IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2023.
- 16- F. Chai, Q. Zhang, H. Yao, X. Xin, R. Gao, and M. Guizani, "Joint Multi-task Offloading and Resource Allocation for Mobile Edge Computing Systems in Satellite IoT," IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2023.