

Research Article

Distributed Data Stream Management Strategies in Internet of Things Network Architecture to Improve QoS Parameters: A Systematic Review

Mohammad farrokhzadeh Ajirlou¹  | Abbas Jalilvand^{2*} 

¹Department of Computer, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
M.farrokhzadehajirlou@iau.ir

²Department of Computer, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
Jalilvand@iau.ac.ir

Correspondence

*Abbas Jalilvand, Assistant Professor,
Department of Computer, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
Jalilvand@iau.ac.ir

Main Subjects: Distributed Data Stream Management

Received: 29 November 2025

Revised: 5 December 2025

Accepted: 16 December 2025

Abstract

The Internet of Things (IoT) has emerged as one of the most transformative concepts in information technology, aiming to connect physical objects to the internet and enable them to collect, transmit, and share data. This extensive framework has led to the development of networks of smart devices capable of autonomous interaction with each other and their surrounding environments. In recent years, the advent of decentralized approaches within IoT has significantly expanded its capabilities in data management and distributed collaboration among systems. These approaches, leveraging distributed computing, cloud computing, and service-oriented architectures, facilitate real-time and scalable data processing. However, with the dramatic increase in the number and diversity of connected devices, the massive volume of generated data poses substantial challenges in terms of data storage, processing, and stream management. This paper adopts a comprehensive review approach to examine and analyze existing methods for distributed data stream management within IoT network infrastructures. The various methodologies are evaluated based on their architecture, efficiency, quality of service (QoS) considerations, and implementation challenges.

Furthermore, the strengths and limitations of each category of approaches are elucidated. The objective of this review is to provide a holistic overview of the current state of research in distributed data management for IoT, thereby identifying future research directions aimed at enhancing the performance and efficiency of these complex systems.

Keywords: Internet of Things (IoT), Data Stream, Distributed Architecture, Quality of Service (QoS), Distributed Computing

پژوهشی

راهکارهای مدیریت جریان داده توزیع شده در ساختار شبکه اینترنت اشیاء به منظور بهبود پارامترهای کیفیت سرویس: یک مرور نظام مند

محمد فرخزاده اجیرلو^۱ | عباس جلیلود^۲

چکیده:

اینترنت اشیاء به عنوان یکی از تحول آفرین ترین مفاهیم در فناوری اطلاعات، با هدف اتصال اشیای فیزیکی به اینترنت و ایجاد امکان جمع آوری، انتقال و اشتراک گذاری داده ها میان آن ها شکل گرفته است. این ساختار گسترده موجب پدید آمدن شبکه هایی از دستگاه های هوشمند شده که قادرند به طور خودکار با یکدیگر و با محیط پیرامون تعامل داشته باشند. در سال های اخیر، ظهور رویکردهای غیرمتمرکز در اینترنت اشیاء موجب گسترش قابلیت های آن در زمینه مدیریت داده و همکاری توزیع شده میان سیستم ها شده است. این رویکردها با بهره گیری از محاسبات توزیع شده، رایانش ابری و معماری سرویس محور، امکان پردازش همزمان و مقیاس پذیر داده ها را فراهم می سازند. با افزایش چشمگیر تعداد و تنوع دستگاه های متصل، حجم عظیم داده های تولیدی چالش های قابل توجهی را در زمینه نگهداری، پردازش و مدیریت جریان داده ایجاد کرده است. مقاله حاضر با رویکردی مروری به بررسی و تحلیل عمیق رویکردهای موجود در مدیریت جریان داده توزیع شده در ساختار شبکه اینترنت اشیاء می پردازد. در این بررسی، روش های مختلف از نظر ساختار، کارایی، کیفیت خدمات و چالش های پیاده سازی به صورت مفصل مورد ارزیابی قرار گرفته و

نقاط قوت و محدودیت های هر دسته از رویکردها تبیین می گردد. هدف این مرور ارائه تصویری جامع از وضعیت فعلی پژوهش های حوزه مدیریت داده توزیع شده در اینترنت اشیاء و ترسیم مسیرهای تحقیقاتی آینده برای بهبود عملکرد و بهره وری این سیستم ها است.

کلید واژه ها: اینترنت اشیاء، جریان داده، ساختار توزیع شده، کیفیت سرویس، محاسبات توزیعی.

^۱ گروه کامپیوتر، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،
M.farrokhzadehajirlou@iau.ir

^۲ گروه کامپیوتر، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران،
Jalilvand@iau.ac.ir

نویسنده مسئول

^۳ عباس جلیلود، استاد یار، گروه کامپیوتر، واحد کرج، دانشگاه
آزاد اسلامی، کرج، ایران،
Jalilvand@iau.ac.ir

موضوع اصلی: مدیریت جریان داده توزیع شده

تاریخ دریافت: ۸ آذر ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۴ آذر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۲۵ آذر ۱۴۰۴

<https://doi.org/10.82195/ntds.2025.1226239>

۱- مقدمه

با توجه به مطالعات انجام شده، مشخص شده است که علاقه فزاینده‌ای به استفاده از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا وجود دارد که از استقرار شبکه‌های حسگر بی سیم^۱ در دهه‌های اخیر در زمینه‌های مرتبط مانند صنعت نسل چهارم، شهرهای هوشمند و زیرساخت‌های متصل به وجود آمده است. استفاده از اینترنت اشیا در این زمینه‌ها می‌تواند به مزایای قابل توجهی منجر شود، اما همچنین حجم عظیمی از داده‌ها را تولید می‌کند که باید توسط یک سیستم پردازش شود تا در بسیاری از موارد، الگوها را شناسایی کند یا فرآیندهای خاص مورد علاقه را بهینه کند. برای این منظور، داده‌های کلان^۲، یادگیری ماشین^۳ و رویکردهای یادگیری عمیق^۴ معمولاً در نظر گرفته می‌شوند که منجر به سیستم‌های پیچیده‌تر و قدرتمندتر از ساختارهای سنتی قبلی می‌شود، که همچنین به معنای چالش‌های جدید برای حل مسائل مربوطه است. علاوه بر این، برای مناطق حیاتی مانند زیرساخت های متصل، قابلیت اطمینان^۵، پایداری^۶ و مسائل امنیتی باید برای اطمینان از الزامات کاربردی خاص مورد توجه قرار گیرد[۱].

چشم انداز اینترنت اشیا بر این اصل استوار هست که به همه ساختارهای ارتباطی اجازه می‌دهد در هر زمان، هر مکان، با هر شی و هر کسی، به طور ایده‌آل با استفاده از هر مسیر، شبکه و سرویسی به هم متصل شوند. این چشم انداز اخیراً باعث ایجاد مفهوم برنامه‌های کاربردی داده‌های بزرگ اینترنت اشیا^۷ شده است که قادر به تولید میلیاردها جریان داده و ده‌ها سال داده تاریخی برای ارائه دانش مورد نیاز برای حمایت از تصمیم‌گیری به موقع هستند. این برنامه‌ها نیاز به پردازش و مدیریت داده‌های جریانی و چند بعدی از منابع داده توزیع‌شده جغرافیایی دارند که می‌توانند در قالب‌های مختلف، موجود در مکان‌های مختلف و قابل اعتماد در سطوح مختلف اطمینان در دسترس باشند[۲].

از سویی دیگر، اینترنت اشیا یک شبکه جهانی در حال ظهور از اشیا هوشمند فیزیکی-ناهمگن به هم پیوسته (مانند حسگرهای پوشیدنی، حسگرهای محیطی و دستگاه‌های متصل) است که به‌طور منحصربه‌فرد آدرس‌پذیر هستند و از طریق فناوری‌های شبکه‌ای مانند وای فای، بلوتوث و غیره در دسترس هستند. ظهور اینترنت اشیا یک الگوی جدید را تولید می‌کند که اشیا فیزیکی موجود در اینترنت را برای تشکیل شبکه‌های فراگیر ایجاد کند. این روند، به محیط‌های حسی و دارویی اجازه می‌دهد تا به محرک‌های پویا، که اغلب به عنوان سیستم‌های فیزیکی-سایبری شناخته می‌شوند، پاسخ دهند. با وجود پذیرش سریع اینترنت اشیا در صنعت، مقیاس‌پذیری^۸، انعطاف‌پذیری^۹، کارایی انرژی^{۱۰} و امنیت^{۱۱}، چالش‌های اصلی پذیرش اینترنت اشیا هستند[۳]. در واقع، محققان گزارش کردند که امنیت یکی از ده چالش برتر اینترنت اشیا به همراه مسائل چالش برانگیز حریم خصوصی و امنیت زیرساخت‌ها است. افزایش قابلیت‌های ساختارهای اینترنت اشیا برای برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل، از جمله حل مسائل هدفمند، امکان مدیریت و در نهایت بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده اینترنت اشیا را فراهم می‌کند. چنین سیستم‌هایی اغلب به توان محاسباتی قابل توجهی نیاز دارند. با توجه به مزایای بالقوه هوش توزیع شده، تعدادی از مسائل مربوط به رویکردهای عمومی هوش توزیع شده، مانند اعتماد، عدم مقیاس‌پذیری و بهره‌وری انرژی با چالش‌های قابل توجهی روبرو هست. رویکردهای سنتی ساختارهای توزیع شده، برای محیط‌های پویای اینترنت اشیا کافی نیستند. بندهای مبهم در قراردادهای

¹ Wireless Sensor Networks(WSN)

² Big data

³ Machine Learning (ML)

⁴ Deep Learning

⁵ Reliability

⁶ Stability

⁷ Big Data Applications of the IOT

⁸ Scalability

⁹ Flexibility

¹⁰ Energy Efficiency

¹¹ Security

خدمات رایانش ابری و مشخصات فنی نامشخص ممکن است منجر به ناتوانی مصرف کنندگان خدمات ابری در کشف خدمات ابری قابل اعتماد شود. در نتیجه، ساختارهای هوشمند توزیع شده در اینترنت اشیا ارائه شده است [۴].

پشتیبانی از فناوری ساختارهای هوشمند توزیع شده برای برنامه‌های اینترنت اشیا را می‌توان به پنج دسته کلی شامل محاسبات ابر^۱، محاسبات مه^۲، فناوری دفترکل توزیع‌شده^۳، محاسبات سرویس‌گرا^۴ و ترکیبی تقسیم کرد. تفاوت‌های عمده بین این دسته‌ها به این صورت است که در رایانش ابری، عملکرد پردازش ساختارهای هوشمند توزیع شده و داده‌ها توسط واحدهای منفرد کنترل می‌شود و فقط برای پردازش بیشتر به ابر ارسال می‌شود. با محاسبات مه، بخشی از عملکرد پردازش ساختارهای هوشمند توزیع شده و داده‌ها در لبه انتهایی یک شبکه که معمولاً از میکروکنترلرها و حسگرها تشکیل شده است، پردازش می‌شود. با کار کردن در لبه‌های موجود، ساختارهای مه می‌تواند منابعی مانند محاسبات و قابلیت‌های ارتباطی موجود در گره‌های حسگر را جمع‌آوری کند. با فناوری دفترکل توزیع شده، عملکرد پردازش و داده‌ها در بین تمام گره‌های شرکت کننده توزیع می‌شود. با محاسبات سرویس‌گرا، اجزای پردازشی به عنوان خدمات ارائه می‌شوند و در تمام سطوح سیستم توزیع می‌شوند [۵]. در نهایت، روش ترکیبی، ساختاری از دو یا چند دسته از چهار دسته ذکر شده در بالا است. همچنین با توجه به ناهمگونی منابع داده، ماهیت داده‌های تولید شده و ناهمگونی سرورهای پردازش داده، یک سیستم اینترنت اشیا را می‌توان به عنوان یک شبکه محاسباتی متشکل از تعداد بسیار زیادی دستگاه تولید کننده داده برای پردازش و تعداد زیادی از منابع با قابلیت مشاهده کرد. پردازش چنین داده‌هایی برای دستگاه‌ها و حسگرهای هوشمند، هر رویدادی که آنها درک می‌کنند یا ثبت می‌شود می‌تواند چالش‌انگیز باشد. این داده‌ها می‌توانند از طریق شبکه به برنامه مرکزی ارسال شوند. در این مرحله، باید تصمیم گرفته شود که داده‌ها در کدام استاندارد ایجاد شوند و چگونه از طریق شبکه ارسال شوند. همانطور که پارادایم اینترنت اشیا به بلوغ می‌رسند، مفاهیم اصلی نیز به تکامل خود ادامه می‌دهند و بینش بهتری در مورد پیاده‌سازی اینترنت اشیا در دنیای واقعی ارائه می‌دهند. با این حال، اجماع روشنی در برخی زمینه‌ها هنوز وجود ندارد، زیرا بسیاری از پیشرفت‌های فعلی راه حل‌های خاصی هستند [۶].

امروزه ادعا می‌شود که مقدار حجم داده‌های تولید شده در اینترنت اشیا به صورت تصاعدی زیاد می‌شود. بعلاوه، با ابداع اینترنت اشیا، محققان تخمین زدند که تعداد اشیا متصل، به ۵۰ میلیارد در سال ۲۰۲۵ برسند. این امر بدان معناست که مسئله طوفان داده‌ای^۵، در حال تشدید است. حال، سوال آنست که آیا فناوری‌های موجود، با سرعت کافی برای اداره تولید داده عظیم آینده، تکامل می‌یابند یا خیر. راه حل‌های ارائه شده، شامل افزایش کارکردهای شبکه و قراردادن قابلیت‌های محاسباتی و ذخیره‌سازی در لبه شبکه مبتنی بر اینترنت اشیا به صورت توزیع شده است. یعنی، به جای اینکه همه داده‌ها به سمت ابر انتقال یابد رایانش ابر را به منابع داده نزدیک‌تر شود [۷]. این امر، فقط به معنای تجمع یا متمرکزسازی داده‌های فیزیکی حس شده نمی‌باشد، بلکه عملاً با توزیع اطلاعات در محلی که پردازش‌های موثر قطعی و بی درنگ برای پیاده‌سازی وظایف لازم است، در ارتباط می‌باشد، و دیگر لازم نیست که همه عملیات پردازش و تحلیل را به ابر محول نمود.

همچنین برای مدیریت حجم زیادی از داده‌ها در محیط‌های اینترنت اشیا، سیستم‌های میان‌افزار اینترنت اشیا جمع‌آوری کننده‌های داده خاص را با استفاده از فرمت‌های داده خاص و معماری‌های ذخیره‌سازی مختلف، از سیستم‌های مدیریت پایگاه داده‌های ارتباطی متمرکز گرفته تا سیستم‌های توزیع‌شده NoSQL، پیاده‌سازی می‌کنند. به طور کلی، این گردآورنده‌های داده به طور منطقی با معماری میان‌افزار مرتبط هستند. در یک ساختار مشترک برای یک نمونه سیستم اینترنت اشیا، یک یا چند مورد از این میان افزارها، دستگاه‌های اینترنت اشیا را مدیریت می‌کنند که باید داده‌ها را به یک سرور برنامه اینترنتی ارسال

¹ Cloud Computing

² Fog Computing , Edge Computing

³ Distributed Ledger Technology (DLT)

⁴ Oriented Computing

⁵ Data Storm

کنند، این سرور برنامه و دستگاه های مدیریت شده متعلق به همان سازمان است. با این حال، پیش بینی می شود که سیستم های اینترنت اشیا در آینده شامل برنامه هایی برای دسترسی به داده های جمع آوری شده از دستگاه های متعلق به افراد و سازمان های مختلف باشد. در چنین سیستم های آینده، خدمات مدیریت داده تا حد زیادی توزیع شده و قابل اعتماد برای مقابله با ناهمگونی و پشتیبانی از تجزیه و تحلیل داده ها و فرآیندهای یادگیری برای اینترنت اشیا مورد نیاز خواهد بود.

امروزه محاسبات توزیع شده در ساختارهای اینترنت اشیا به وفور استفاده می شود. سیستم توزیع شده شبکه ای است که برنامه نویسی کامپیوتر، نرم افزار و داده های آن در بیش از یک کامپیوتر پخش می شوند، اما پیام های پیچیده را از طریق گره های خود (رایانه ها) ارتباط برقرار می کنند و به یکدیگر وابسته هستند. همچنین لزوم استقرار یک سیستم توزیع شده در مدیریت ارتباطات، و از همه مهمتر داده های ارزشمند و محرمانه سازمانی در برابر حملات پیچیده، آنهم با توجه به تغییر سازوکارها و معادلات جهانی در تمامی عرصه های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی، اهمیت انجام این پژوهش را نمود بیشتری می بخشد [۸]. سازماندهی مقاله به شرح زیر است. روش شناسی مرور نظاممند در بخش دوم و در ادامه و در بخش سوم ادبیات پژوهش شامل توصیف ساختار اینترنت اشیا و جریان داده ها توصیف می شود. در ادامه و در بخش چهارم، پیشینه پژوهش شامل دو زیر بخش مطالعات مروری و مطالعات پژوهشی بررسی و راهکارهای ارائه شده در آن توصیف می شود در بخش پنجم ارزیابی و در بخش انتهایی جمع بندی و پیشنهادات آتی در این زمینه بیان می شود.

۲- روش شناسی مرور نظاممند

این مرور بر اساس استاندارد PRISMA^۱ انجام یافته و هدف، شناسایی نظاممند راهکارهای مدیریت جریان داده توزیع شده در شبکه های اینترنت اشیا با تمرکز بر بهبود پارامترهای کیفیت خدمات است.

۲-۱- استراتژی جستجو

جستجو در پایگاه های Scopus، IEEE Xplore، Civilica، Google Scholar و Web of Science با کلمات کلیدی زیر انجام شد:

- distributed data stream management IoT QoS
- real-time processing IoT data streams
- edge computing data flow IoT

۲-۲- معیارهای ورود و خروج

مقالات پژوهشی و مروری مرتبط با اینترنت اشیا توزیع شده با رویکر بهبود کیفیت خدمات و از نوع دسترسی کامل متن و ترجیحا با زبان انگلیسی نمایه شده در انتشارات معتبر بین المللی از قبیل Scopus و Web of Science معیار ورود در فهرست مراجع این پژوهش بودند و مقالات بدون تحلیل کیفیت خدمات یا غیرمعتبر و خارج از بازه ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۵ و داده های تجربی بدون مدل سازی و همچنین مقالات انتشار یافته در کنفرانس های بدون داوری کامل معیار خروج از فهرست نهایی بودند.

جدول ۱: معیار ورود و خروج منابع از/به فهرست نهایی منابع

Table 1: Criteria for the Inclusion and Exclusion of Sources from/to the Final List of Sources

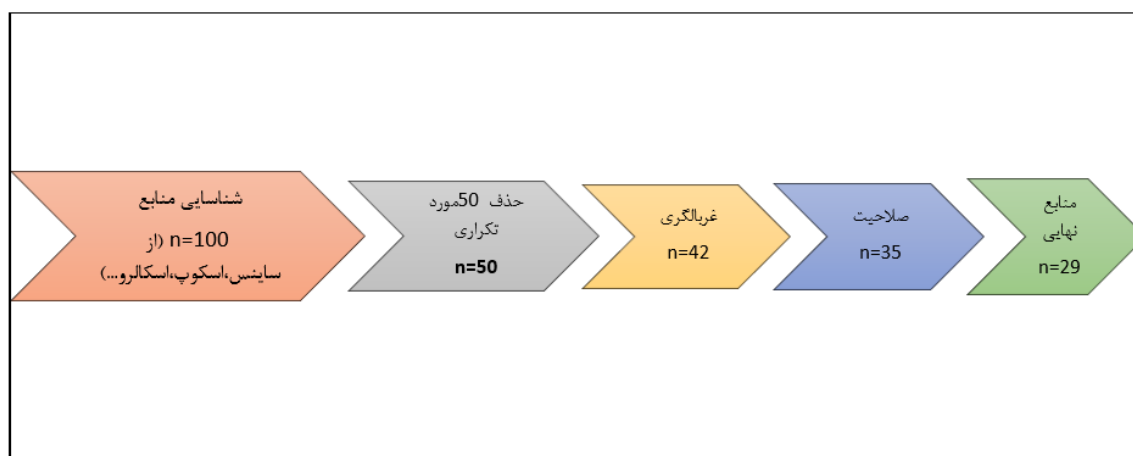
معیار خروج	معیار ورود
مقالات بدون تحلیل کیفیت خدمات توزیع شده	تمرکز بر پارامترهای کیفیت سرویس در ساختار اینترنت اشیا توزیع شده
داده های تجربی بدون مدل سازی	مقالات ۲۰۱۵ الی ۲۰۲۵

¹ Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

۳-۲- مراحل غربالگری

- فرآیند انتخاب در ۵ مرحله انجام شد:
- شناسایی ۲۵۰ رکورد
- حذف تکراری (۵۰ مورد حذف) و باقی ماندن ۲۰۰ رکورد
- غربالگری براساس پارامترها مد نظر و باقی ماندن ۴۲ مقاله
- بررسی صلاحیت نهایی براساس متن که منجر به حذف ۷ منبع شده و ۳۵ منبع دارای صلاحیت باقی ماند.
- مقالات نهایی باقیمانده شامل ۲۹ منبع معتبر

در شکل (۱) مراحل انتخاب مراجع نهایی برای پژوهش با روش استاندارد PRISMA نشان داده شده است.



شکل ۱: روش شناسی انتخاب منابع با روش PRISMA
Figure 1: Methodology for selecting sources using the PRISMA method

۳- ادبیات پژوهش

جریان داده انتقال اطلاعات از یک قسمت از سیستم به قسمت دیگر را نشان می‌دهد. نماد جریان به صورت یک مسیر است. جریان باید نامی داشته باشد که تعیین کند چه اطلاعاتی در حال جابجایی است. جریان داده، جهت جریان داده را می‌توان به سه دسته سمپلکس، نیم دوبلکس و فول دوبلکس تقسیم کرد. در طول ارتباط سمپلکس، داده‌ها تنها در یک جهت در رسانه ارتباطی جریان می‌یابند و از مبدأ به مقصد جریان دارد. نمونه‌هایی از جریان داده‌های سمپلکس پخش‌های رادیویی و تلویزیونی هستند. آنها در یک جهت از محل فرستنده به گیرنده خانگی شما می‌روند. در طول ارتباط نیمه دوطرفه، داده‌ها در هر دو جهت جریان می‌یابند، اما در یک‌زمان تنها در یک جهت در خط ارتباط داده جریان می‌یابد. منبع و مقصد به نوبت با استفاده از رسانه انجام می‌شود. در طول ارتباط دوطرفه کامل، داده‌ها در هر دو جهت به طور همزمان جریان می‌یابد. هم منبع و هم مقصد می‌توانند داده‌ها را به طور همزمان از طریق رسانه ارسال کنند. یک مثال از ارتباطات دوبلکس کامل، ارتباط با استفاده از مودم است. مودم‌ها به گونه‌ای پیکربندی شده‌اند که امکان جریان داده در هر دو جهت را به طور همزمان فراهم کنند. منبع مجاز است داده‌ها را به مقصد ارسال کند در حالی که مقصد در حال ارسال مجدد داده‌ها است. امروزه به واسطه بالا رفتن حجم اطلاعات، مدیریت جریان داده در ساختارهای توزیع شده اهمیت قابل توجهی دارد.

یک سیستم کامپیوتری توزیع شده شامل چندین مؤلفه نرم‌افزاری است که روی چندین رایانه قرار دارند، اما به صورت یک سیستم واحد اجرا می‌شوند. رایانه‌هایی که در یک سیستم توزیع شده قرار دارند می‌توانند از نظر فیزیکی به هم نزدیک باشند و توسط یک شبکه محلی به هم متصل شوند یا می‌توانند از نظر جغرافیایی دور باشند و توسط یک شبکه گسترده به هم متصل

شوند. یک سیستم توزیع شده می تواند از هر تعداد پیکربندی ممکن، مانند رایانه های بزرگ، رایانه های شخصی، ایستگاه های کاری، مینی رایانه ها و غیره تشکیل شود. هدف از محاسبات توزیع شده این است که چنین شبکه ای به عنوان یک کامپیوتر منفرد کار کند. سیستم های محاسباتی توزیع شده می توانند بر روی سخت افزاری اجرا شوند که توسط بسیاری از فروشندگان ارائه می شود و می توانند از انواع اجزای نرم افزاری مبتنی بر استاندارد استفاده کنند. چنین سیستم هایی مستقل از نرم افزارهای اساسی هستند. آنها می توانند بر روی سیستم عامل های مختلف اجرا شوند و می توانند از پروتکل های ارتباطی مختلف استفاده کنند. در این بخش از پژوهش ضمن توصیف ادبیات مربوط به پژوهش به بررسی و ارزیابی رویکردهای مدیریت داده توزیع شده با محوریت اینترنت اشیا پرداخته خواهد شد.

۳-۱- اینترنت اشیا

اینترنت اشیا یک شبکه متصل به اشیا است که در آن اشیا به صورت بی سیم از طریق حسگرهای هوشمند به هم متصل می شوند. اینترنت اشیا بدون دخالت انسان قادر به تعامل است. برخی از برنامه های اولیه اینترنت اشیا قبلاً در صنایع بهداشتی، حمل و نقل و خودرو توسعه یافته اند. در حال حاضر، فناوری های اینترنت اشیا در مراحل اولیه خود هستند. با این حال، بسیاری از پیشرفت های جدید در ادغام اشیا با حسگرها در اینترنت مبتنی بر ابر رخ داده است. توسعه اینترنت اشیا شامل بسیاری از مسائل مانند زیرساخت، ارتباطات، ارتباطها، پروتکل ها و استانداردها است. فناوری های حس بی سیم در حال ظهور به طور قابل توجهی قابلیت های حس دستگاه ها را گسترش داده اند و بنابراین مفهوم اصلی اینترنت اشیا به هوش محیطی و کنترل خودمختار گسترش می یابد. تا به امروز، تعدادی از فناوری ها مانند شبکه های حسگر بی سیم، بارکدها، سنجش هوشمند، RFID، NFC، ارتباطات بی سیم کم انرژی، رایانش ابری و غیره درگیر اینترنت اشیا هستند. تحولات این فناوری ها فناوری های جدیدی را به اینترنت اشیا می آورد. اینترنت اشیا نسل بعدی اینترنت را توصیف می کند، جایی که می توان به چیزهای فیزیکی از طریق اینترنت دسترسی پیدا کرد و شناسایی کرد. بسته به فناوری های مختلف برای پیاده سازی، تعریف اینترنت اشیا متفاوت است. با این حال، اساس اینترنت اشیا به این معناست که اشیا موجود در اینترنت اشیا را می توان به طور منحصر به فرد در نمایش های مجازی شناسایی کرد. در داخل یک اینترنت اشیا، همه چیز قادر به تبادل داده و در صورت نیاز، پردازش داده ها بر اساس طرح های از پیش تعریف شده است.

اینترنت اشیا مجموعه وسیعی از ایده ها را درگیر می کند که از دیدگاه های مختلف پیچیده و در هم تنیده شده اند. مفاهیم کلیدی که به عنوان پایه ای برای کشف فرصت ها و چالش های اینترنت اشیا عمل می کنند عبارتند از:

تعاریف اینترنت اشیا: اصطلاح اینترنت اشیا عموماً به سناریوهایی اشاره دارد که در آن اتصال شبکه و قابلیت محاسبات به اشیا، حسگرها و موارد روزمره که معمولاً رایانه ها در نظر گرفته نمی شوند، گسترش می یابد. این دستگاه ها برای تولید، تبادل و مصرف داده ها با کمترین مداخله انسانی هستند. با این حال، هیچ تعریف واحد و جهانی وجود ندارد.

فناوری های فعال: مفهوم ترکیب رایانه ها، حسگرها و شبکه ها برای نظارت و کنترل دستگاه ها برای دهه ها وجود داشته است. با این حال، تلاقی اخیر چندین روند بازار فناوری، اینترنت اشیا را به واقعیت گسترده نزدیکتر می کند. اینها عبارتند از اتصال همه جا، پذیرش گسترده شبکه مبتنی بر IP، اقتصاد محاسباتی، کوچک سازی، پیشرفت در تجزیه و تحلیل داده ها، و ظهور محاسبات ابری.

مدل های اتصال: پیاده سازی های اینترنت اشیا از مدل های ارتباطی فنی مختلفی استفاده می کنند که هر کدام ویژگی های خاص خود را دارند. چهار مدل ارتباطی رایج توصیف شده توسط هیئت معماری اینترنت عبارتند از: ساختار ماشین به ماشین^۱

¹ Device-to-Device

دستگاه به ماشین، ماشین به دروازه^۱ و یک اند به اشتراک گذاری^۲. این مدل‌ها انعطاف‌پذیری را در روش‌هایی که دستگاه‌های اینترنت اشیا می‌توانند متصل شوند و ارزشی برای کاربر فراهم کنند، برجسته می‌کنند.

پتانسیل دگرگونی: اگر پیش‌بینی‌ها و گرایش‌ها به سمت اینترنت اشیا به واقعیت تبدیل شود، ممکن است تغییری در تفکر در مورد پیامدها و مسائل در دنیایی ایجاد شود که رایج‌ترین تعامل با اینترنت از تعامل غیرفعال با اشیا متصل به جای تعامل فعال با محتوا ناشی می‌شود. تحقق بالقوه این نتیجه - یک "دنیای بیش از حد متصل" - گواهی بر ماهیت همه منظوره خود معماری اینترنت است، که محدودیت‌های ذاتی برای برنامه‌ها یا خدماتی که می‌توانند از این فناوری استفاده کنند، ایجاد نمی‌کند.

۳-۲- جریان داده توزیع شده در اینترنت اشیا

تعداد روزافزون ساختارهای اینترنت اشیا جریان پیوسته‌ای از مقادیر زیادی از تکه‌های داده را ایجاد می‌کند که معمولاً دارای مهر زمانی و احتمالاً مهر جغرافیایی هستند. این داده‌ها می‌توانند به شکل جفت‌های کلید-مقدار ساده باشند یا ممکن است حاوی محتوای صوتی/تصویری/ویدئویی غنی باشند. پیچیدگی ساختاری تکه‌های داده و ویژگی‌های جریان داده می‌تواند به طور قابل توجهی با توجه به محتوای داده متفاوت باشد. این مجموعه داده عظیم و ناهمگن، که توسط محیط‌های اینترنت اشیا ایجاد شده است، چالش‌های متعددی را در مورد ذخیره‌سازی و پردازش ارائه می‌کند. در این زمینه، حجم داده تولید شده و مصرف شده توسط برنامه‌های اینترنت اشیا را می‌توان با عنوان روند مدیریت داده مشخص کرد. از آنجایی که دستگاه‌ها/حسگرهای اینترنت اشیا رویدادهای بی‌درنگ را ضبط می‌کنند، این دستگاه‌ها حجم بالایی از داده‌های بسیار متنوع را با سرعت بالا تولید می‌کنند. پس از آن، این داده‌های جمع‌آوری شده نیاز به تجزیه و تحلیل برای استخراج دانش دارند. حتی زمانی که این پردازش می‌تواند در یک محیط محاسباتی سنتی (سرورهای متمرکز) انجام شود، این حالت عملیاتی مستعد محدودیت ظرفیت در رابطه با قدرت پردازش و حجم ذخیره‌سازی است.

در نقطه مقابل، محیط‌های توزیع شده در حال ظهور با ویژگی‌های مناسب‌تر، از جمله ابزار مقیاس‌پذیری و پردازش موازی، برای غلبه بر محدودیت‌های ذکر شده در معماری‌های متمرکز وجود دارد. بیشتر تعاریف داده‌های بزرگ بر روی ویژگی‌های حجم، تنوع و سرعت تمرکز کرده‌اند. با این حال، مفهوم داده‌های بزرگ تکامل یافته است تا ویژگی‌هایی شامل صحت یا اعتبار، ارزش، نوسانات و تجسم را شامل شوند. صحت یا اعتبار مستلزم آن است که داده‌ها قابل تأیید و درست باشند. ارزش به اهمیت، ارزش یا سودمندی اطلاعات به دست آمده از بهره‌برداری از داده‌های بزرگ مرتبط است. ناپایداری به معنای داده اشاره دارد که دائماً در حال تغییر است و تجسم به همه وسایلی مربوط می‌شود که حجم وسیعی از داده‌ها را به گونه‌ای قابل درک و خواندن آسان می‌کند.

با توجه به مطالعات مشخص شده است که معماری توزیع شده هیچ فرم اتصال ثابتی ندارد. بیش از یک مسیر از نقطه ارسال تا نقطه دریافت وجود دارد. هنگام برقراری ارتباط، شبکه مسیر واقعی را با توجه به وضعیت پویای هر گره انتخاب می‌کند. تابع کنترل ارتباطات در هر گره توزیع شده است. مدیریت منابع داده پراکنده در هر گره بسیار پیچیده است. به دلیل وجود مسیرهای متعدد بین گره‌ها، زمانی که برخی از گره‌ها و لینک‌ها از کار می‌افتند، همچنان می‌توان از ارتباط با قابلیت اطمینان بالا اطمینان حاصل کرد.

سیستم توزیع شده یک ساختار شبکه و سیستم نرم افزاری است که بر روی شبکه ساخته شده است. با توجه به ویژگی‌های نرم افزار، سیستم توزیع شده از انسجام و شفافیت بالایی برخوردار است. برنامه‌های کاربردی توزیع شده در اینترنت اشیا به نرم افزارهای سطح بالا تعلق دارند. میزان استقلال بالا به مدیریت پایگاه داده محلی اشاره دارد. شفافیت به این معنی است که هر

¹ Device-to-Gateway

² Back-End Data-Sharing

گره پایگاه داده توزیع شده برای برنامه کاربر شفاف است. مسیرهای زیادی بین هر گره در شبکه وجود دارد که یک ساختار توزیع شده را تشکیل می دهد. طرح اتصال توزیع شده اینترنت اشیاء ایجاد می شود که می تواند جلسه شبکه را از برنامه مشتری به پایگاه داده تحقق بخشد. این پایگاه داده توزیع شده و مدیریت فرآیند توزیع شده را برای خدمات با استفاده از پروتکل ارتباطی با پشتیبانی گسترده یا رابط برنامه کاربردی (API) فراهم می کند.

سیستم توزیع شده مجموعه ای از کامپیوترهای مستقل است، اما برای کاربران سیستم، سیستم مانند یک کامپیوتر است. از نظر سخت افزاری دو معنی دارد، هر کامپیوتر مستقل است. از دیدگاه نرم افزاری، کاربران کل سیستم را به صورت یک کامپیوتر می بینند. ویژگی های اصلی سیستم توزیع شده به شرح زیر است. منابع سیستم شفافیت توسط همه رایانه ها به اشتراک گذاشته می شود. کاربران هر رایانه نه تنها می توانند از منابع این رایانه بلکه از منابع رایانه های دیگر موجود در سیستم توزیع شده (شامل پردازنده، فایل ها، چاپگرها و غیره) استفاده کنند. هویت چندین کامپیوتر در سیستم می تواند برای تکمیل یک کار مشترک با یکدیگر همکاری کنند، یا یک برنامه می تواند بر روی چندین کامپیوتر توزیع شود تا به صورت موازی اجرا شوند. قابلیت ارتباط هر دو کامپیوتر در سیستم می تواند اطلاعات را از طریق ارتباط مبادله کنند.

متداول ترین مدل مورد استفاده در سیستم برنامه های کاربردی توزیع شده، مدل مشتری / سرور است. مدل کلاینت/سرور اجازه تقسیم موثر وظایف را می دهد و چندین برنامه مختلف با هم کار می کنند تا کارایی سیستم را بهبود بخشند و بار شبکه را متعادل کنند. مدل کلاینت / سرور نیز ممکن است بر اساس اتصال آن تقسیم شود، و اگر برنامه به یک پایگاه داده یا شبکه در حال استفاده متصل باشد، مشتری متصل است. اگر برنامه ای استفاده می شود اما به پایگاه داده یا شبکه متصل نیست، مشتری قطع شده است. در مدل کلاینت/سرور، چهار معماری اصلی و روش اتصال وجود دارد:

یک معماری سنتی در برنامه های کاربردی کلاینت/سرور سنتی، یک سرور پایگاه داده توابع مدیریت داده را پیاده سازی می کند و یک برنامه مشتری دیگر توابع دیگر را پیاده سازی می کند. منطق تجاری اغلب در رویه های ذخیره شده و محرک های برنامه های کاربردی مشتری و میزبان پایگاه داده تقسیم می شود.

سرور پایگاه داده ساختار سه لایه عملکرد مدیریت داده را درک می کند، برنامه کاربردی لایه میانی منطق تجاری رایج را درک می کند و جزء رابط رابط کاربر را فراهم می کند.

یک برنامه کلاینت متصل برنامه ای است که همیشه اتصال به پایگاه داده یا شبکه را حفظ می کند. برنامه به درخواست کاربر برای پردازش اطلاعات در زمان واقعی پاسخ می دهد و اطلاعات پردازش شده را در پایگاه داده به روز می کند.

برنامه قطع شده یک برنامه آفلاین است که به کاربران امکان می دهد داده ها را بدون اتصال مستقیم به شبکه یا انبار داده شرکت پردازش کنند. پردازش داده ها را به روشی متفاوت از استفاده از پردازش تراکنش بلادرنگ امکان می دهد. روش معمول دریافت داده ها در یک دوره زمانی معین و پردازش دسته ای، پردازش تراکنش در انبار داده محلی است، انبار باید بتواند به نوعی از عملیات تکراری دست یابد. برنامه های دو لایه معمولاً به خوبی با تعداد زیادی از کاربران سازگار نیستند. هنگامی که تعداد کاربران افزایش می یابد، پیاده سازی منطق تجاری در رویه ذخیره شده منجر به رقابت پایگاه داده می شود. مشتریان همچنین باید با سرعت بالا به سرور پایگاه داده متصل شوند. کاربردهای سه لایه معمولاً مقیاس بهتری نسبت به کاربردهای دو لایه دارند.

در لایه میانی، منطق کسب و کار به جای محرک ها یا رویه های ذخیره شده پیاده سازی می شود، که تعداد پرس و جوهای پایگاه داده و رقابت پایگاه داده را به شدت کاهش می دهد. هنگامی که عملیات پایگاه داده از لایه میانی عبور می کند، زمان پاسخگویی کاربر افزایش می یابد. با این حال، اگرچه مقداردی اولیه لایه میانی باعث کاهش عملیات اولیه می شود، عملیات بعدی بسیار سریعتر خواهد بود. مدل سه لایه پیچیده تر است و توانایی متغیر مقیاس و انعطاف پذیری بهتری دارد. از آنجایی که محرک ها

منطق تجاری را اعمال نمی‌کنند، عملیات درج و به‌روزرسانی سریع و کارآمد هستند و سرور پایگاه داده می‌تواند بارهای سنگین‌تر را با اختلاف کمتری مدیریت کند. با معماری مشتری متصل، اجرای ردیف متوسط یا دوم را می‌توان از راه دور اجرا کرد و کاربران نیازی به کنار هم قرار دادن آنها در ماشین‌های خود ندارند، که به کاهش پیچیدگی در ماشین‌های راه دور کمک می‌کند.

ویژگی‌های متمایز فناوری‌های اینترنت اشیا نیازمند یک ارتباط مبادله‌ای پیچیده‌تر در مقابل محاسبات است. به طور خاص، تعداد زیادی سنسور و الزامات سخت‌گیرانه کیفیت سرویس، تکنیک‌های توزیع‌شده جدیدی را می‌طلبد. با افزایش حجم حسگر، زیرساخت‌های محاسبات توزیع‌شده اینترنت اشیا باید شامل گره‌هایی نزدیک به لبه باشد که تجزیه و تحلیل داده‌ها را برای خوشه‌ای از حسگرها تسهیل می‌کند. آنها همچنین باید تجزیه و تحلیل لبه را انجام دهند تا داده‌های ارسال شده به هسته را از خواندن با فرکانس بالا کاهش دهند و پهنای باند مورد نیاز را کاهش دهند. در نهایت، آنها باید تضمین کنند که تجربه مشتری به خطر نیفتد، که به تکنیک‌های قوی جدید با الزامات سخت‌گیرانه کیفیت سرویس و تأخیر نیاز دارد. الگوی نوظهور محاسبات مه امکان برآورده کردن این الزامات را با انتقال سرویس‌های ذخیره‌سازی و محاسباتی به لبه شبکه یا حتی به دستگاه‌های انتهایی (به عنوان مثال به یک هاب داده یا یک نقطه دسترسی هوشمند) می‌دهد. در نتیجه، استقرار اینترنت اشیا نیازمند رویکردهای انتزاعی یا چند عاملی جدید برای توزیع وظایف بین لبه‌ها و ابر، تکنیک‌ها و استانداردهای ارتباطی جدید برای به اشتراک گذاری اطلاعات به منظور افزایش کارایی طیف در عین حفظ ثبات و در دسترس بودن داده‌ها و متا داده‌ها، سیاست‌ها، و قابلیت‌های سخت‌افزاری/نرم‌افزاری جدید برای کمک به هماهنگ‌سازی در پایگاه‌های داده توزیع شده هست.

مزایای کاربرد توزیع شده در اینترنت اشیا به شرح زیر است:

- منابع کمیاب را می‌توان به اشتراک گذاشت.
- محاسبات توزیع شده می‌تواند بار محاسباتی را در چندین رایانه متعادل کند.
- بهترین برنامه برای اجرا روی کامپیوتر است
- محاسبات توزیع شده مشکلی است که برای حل آن به قدرت محاسباتی عظیمی نیاز دارد
- ساختار موجود به بسیاری از قطعات کوچک تقسیم می‌شود و سپس این قطعات برای پردازش به رایانه‌های زیادی اختصاص می‌یابد.
- نتیجه نهایی با ادغام این نتایج محاسباتی به‌دست می‌آید.

هدف اصلی سیستم توزیع شده تحقق استقلال سایت و به اشتراک گذاری شفاف جهانی داده‌ها، بدون استفاده از گره‌ها در شبکه برای بهبود عملکرد پردازش سیستم است. به منظور رفع نیازهای کاربرد و ویژگی‌های توزیع بخش، گره‌ها به طور کلی توسط LAN یا WAN متصل می‌شوند، بنابراین پهنای باند شبکه کم است و سربار ارتباط نقطه برگشت زیاد است. در پردازش پرس‌وجو، انتقال داده بین گره‌ها باید تا حد امکان کاهش یابد. در سیستم پایگاه داده توزیع شده، هر گره می‌تواند تراکنش جهانی را از طریق شبکه تکمیل کند و هر گره دارای استقلال سایت است و هر سایت یک سیستم پایگاه داده مستقل است.

۴- مرور مطالعات انجام شده در حوزه راهکارهای مدیریت جریان داده توزیع شده در ساختار شبکه اینترنت اشیا

در سال‌های اخیر، رشد انفجاری داده‌ها در بسترهای مختلف از جمله شبکه‌های اجتماعی، سامانه‌های اینترنت اشیا و محیط‌های محاسبات ابری، چالش‌های متعددی را در حوزه مدیریت جریان داده ایجاد کرده است. مهم‌ترین چالش‌ها مربوط به حفظ کیفیت سرویس در شرایط پویای جریان داده و توزیع‌پذیری زیرساخت‌هاست. بررسی ادبیات پژوهشی اخیر بیانگر آن است که محققان برای بهبود کارایی این سامانه‌ها، راهکارهایی با تمرکز بر تأخیر کم، سرعت پردازش بالا، قابلیت اطمینان، مصرف

انرژی بهینه و زمان اجرای کوتاه تر ارائه کرده اند که در ادامه در دو زیر بخش مجزا مقالات مروری مرتبط و مقالات پژوهشی مرتبط به صورت مفصل بررسی خواهند شد.

۴-۱- مرور مطالعات مروری پیشین

در این بخش ما مقالات مروری مهم را در حوزه مدیریت جریان داده با رویکرد مقایسه پارامترهای کیفیت سرویس بررسی خواهیم کرد و مزایا و معایب هر کدام تشریح خواهد شد و در انتها جدول مقایسه ای مربوط به آنها را جهت درک موضوع ترسیم خواهیم نمود.

در مرجع [۹] به مرور جامع الگوریتم های تحلیل جریان های بزرگ داده پرداخته و نقاط ضعف و قوت رویکردهای مختلف پردازش هم زمان را بررسی می کند. نویسندگان بر نقش قابلیت مقیاس پذیری، تحمل خطا و کاهش تأخیر پردازش تأکید دارند. تحلیل ها نشان می دهد که استفاده از چارچوب های موازی مانند Apache Storm و Spark Streaming توانسته اند بهبود قابل توجهی در سرعت اجرا و نرخ تاخیر پایین تر به همراه داشته باشند، اما عیب آن هزینه انرژی و زمان تنظیم سیستم در مقیاس بزرگ همچنان چالش برانگیز است.

در مقاله [۱۰] به تحلیل ساختارهای معماری پردازش بی درنگ جریان های بزرگ داده پرداخته و تمرکز ویژه ای بر مقایسه پارامترهای تاخیر و قابلیت اطمینان دارد. نویسندگان بیان می کنند که انتخاب روش مناسب بافرگذاری و توازن بار میان نودها می تواند نرخ تاخیر را تا ۶۰٪ کاهش دهد، اما ایراد آن هزینه انرژی در سیستم های مبتنی بر ابری نسبت به لبه بالاتر است. در نتیجه، ترکیب پردازش ابری و لبه ای به عنوان راهکار بهینه برای کاهش مصرف انرژی و حفظ قابلیت اطمینان پیشنهاد می شود.

در کار تحقیقاتی [۱۱] مجموعه ای از الگوریتم های خوشه بندی جریان داده را از نظر سرعت پردازش، زمان اجرا، و قابلیت اطمینان در حضور نویز و تغییر مفهوم بررسی کرده است. نتایج نشان می دهد الگوریتم CEDAS با حفظ دقت طبقه بندی، سرعت پردازش ثابتی را تا ابعاد داده های بسیار بالا (بیش از ۱۰,۰۰۰ بعد) ارائه می دهد، در حالی که عیب آن مصرف انرژی و زمان اجرا در الگوریتم های DenStream و CluStream به شکل افزایشی نسبت به ابعاد داده رشد می کند. همچنین CEDAS برای داده های با نرخ ورودی بالا، از قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به روش های غیرانطباقی برخوردار است.

در مقاله [۱۲] با تمرکز بر سامانه های اینترنت اشیا، ضمن مروری جامع در خصوص موضوع، رویکردی کیفیت محور برای مدیریت داده های جریان ارائه کرده است. نویسندگان بر اهمیت بهینه سازی مصرف انرژی در فرآیند ارتباطات داده ای تأکید دارند و نشان داده اند که ادغام روش های edge computing و data aggregation می تواند مصرف انرژی را تا ۳۰٪ کاهش دهد، بدون اینکه بر قابلیت اطمینان یا سرعت پردازش تأثیر منفی بگذارد. همچنین مکانیزم های هوشمند تخصیص منابع از طریق یادگیری ماشین برای کاهش نرخ تأخیر زمانی در انتقال داده ها پیشنهاد شده است.

در مرجع [۱۳] به بررسی رویکردهای توزیع شده در پردازش جریان داده و محاسبات لبه ای پرداخته است. تمرکز اصلی بر انعطاف پذیری منابع و اثر آن بر قابلیت اطمینان و زمان اجرا است. نتایج پژوهش نشان می دهد سیستم هایی مانند ChronoStream، MigCEP و FUGU با بهره گیری از روش های مهاجرت پویا و توازن بار به شکل افقی، تأخیر زمانی را به طور معناداری کاهش می دهند، اما معایب آنها در محیط های ابر-لبه ترکیبی، مصرف انرژی و پیچیدگی اجرایی نیازمند بهینه سازی بیشتری است.

در مجموع، بررسی کارهای مروری در رابطه با موعوع پژوهش نشان می دهد که در طراحی سامانه های مدیریت جریان داده، ایجاد توازن میان سرعت اجرا، قابلیت اطمینان، زمان اجرا و مصرف انرژی از اهمیت حیاتی برخوردار است. پژوهش های اخیر به

سمت استفاده از معماری‌های توزیع‌شده و هوش‌محور^۱ حرکت کرده‌اند تا بتوانند بهینه‌سازی‌های چندهدفه در پارامترهای کیفیت خدمات را تحقق بخشند. جدول (۲) مقایسه مختصری از مقالات مروری ذکر شده در بخش ۴-۱ را با محورهای زیر را نشان می‌دهد:

- قابلیت اطمینان
- سرعت اجرا
- نرخ تأخیر
- مصرف انرژی
- زمان اجرا

جدول ۲: مقایسه مقالات مروری ذکر شده در بخش ۴-۱

Table 2: Comparison of review articles mentioned in section 4-1

مرجع مربوطه	عنوان مقاله	قابلیت اطمینان	سرعت اجرا	نرخ تأخیر	مصرف انرژی	زمان اجرا	فناوری یا چارچوب غالب
[۹]	Big Data Stream Analysis	بالا (تحمل خطا)	زیاد	متوسط	متوسط	طولانی در تنظیم اولیه	Apache Storm, Spark
[۱۰]	Real-Time Big Data Stream Processing	متوسط رو به بالا	زیاد	کم (تا ۶۰٪ کاهش)	بالا در ابر، پایین در لبه	متوسط	Cloud + Edge Hybrid
[۱۱]	Comparative Study of Stream Clustering	بالا در داده‌های پوشش‌دار	زیاد در CEDAS	متوسط	پایین در CEDAS، بالا در CluStream	ثابت تا ابعاد بالا	CEDAS, DenStream, CluStream
[۱۲]	Quality-Focused IoT Data Management	خیلی بالا	متوسط	پایین	بسیار بهینه (کاهش ۳۰٪)	بهینه	IoT + Edge Computing
[۱۳]	Distributed Data Stream Processing & Edge Computing	بالا اما وابسته به منابع	زیاد	بسیار کم	متوسط	بهینه در حالت ابر/لبه ترکیبی	ChronoStream, MigCEP, FUGU

۲-۴- مرور مطالعات پژوهشی پیشین

تاکنون سامانه‌های مختلفی برای مدیریت جریان داده توزیع شده در ساختار شبکه اینترنت اشیاء شده‌اند که در ادامه برخی از این سامانه‌ها به همراه مزایا و معایب آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

در آینده نزدیک، تعداد اشیاء متصل به اینترنت بین ۲۶ تا ۵۰ میلیارد دستگاه پیش بینی می‌شود. انتظار می‌رود این رقم به دلیل تولید دستگاه‌های کوچک قابل حمل که سبک وزن، انرژی و مقرون به صرفه هستند، حتی بیشتر نیز افزایش یابد. در مقاله گروه تحقیقاتی برزن و همکارانش [۱۴] کل معماری IoT-fog-cloud مدل‌سازی می‌شود، مسئله استفاده از فرایندها و ساختار سرویس‌های توزیع شده با استفاده از برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح مختلط (MILP) فرمول‌بندی شده و کل مصرف انرژی به طور مشترک برای پردازش توزیع شده و شبکه به حداقل می‌رسد. در این پژوهش الگوی پردازش توزیع شده برای تنظیمات طراحی ارزیابی شد تا به ترتیب راه‌حل‌هایی برای پایه ساختارهای بلندمدت و کوتاه‌مدت ارائه گردد. علاوه بر این، چهار جنبه از مسئله مکان‌یابی پردازش اینترنت اشیاء شامل خدمات اینترنت اشیاء با وظایف غیرقابل تقسیم، خدمات اینترنت اشیاء با وظایف قابل تقسیم، تأثیر سربار پردازش مورد نیاز برای ارتباطات بین سرویس و استقرار ویژه مراکز داده هدف (SP-DC) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که برای مشکل ظرفیت در ساختار پردازش توزیع شده، تقسیم کار باعث صرفه جویی در توان تا ۸۶٪

¹ AI-driven stream management

می‌شود. علاوه بر این، مشاهده می‌شود که هزینه‌های سربار ناشی از ارتباطات بین‌سروپرسی به میزان زیادی بر تعداد کل تقسیم‌ها تأثیر می‌گذارد. هر چقدر هم که ضریب سربار ناچیز باشد، نتایج نشان داد که این یک موضوع پیش پا افتاده نیست و از این رو باید توجه زیادی به این بخش برای استفاده بهینه از منابع موجود در لبه شبکه شود [۱۵].

محاسبات ابر و مه، ساختارهای جدیدی هستند که در آنها پردازش داده‌ها در یا در لبه شبکه‌ها برای کاهش بار سرور ابری اجرا می‌شود. با این حال، هردوی این ساختارها، هنوز به سرورهای قدرتمند در لبه شبکه‌ها نیاز دارند که هزینه‌های اضافی را برای استقرار تحمیل می‌کنند. گروه تحقیقاتی ناکاتورا و همکارانش [۱۶] پلتفرمی به نام جریان اطلاعاتی اشیاء (IFoT) پیشنهاد کردند که دارای یک ساختار پردازش توزیع شده بوده و تحلیل جریان‌های داده را در نزدیکی منابع خود به طور موثر انجام می‌دهد. در IFoT، پردازش وظایف برای سرورهای ابری به یک سیستم توزیع شده ad-hoc متشکل از دستگاه‌های اینترنت اشیاء مجاورت برای پردازش جریان بلادرنگ توزیع شده واگذار می‌شود. نتایج ارزیابی نشان دهنده کارایی بالای ساختار پیشنهادی در اینترنت اشیاء توزیع شده به منظور بهبود مصرف انرژی هست.

در پژوهشی، گروه تحقیقاتی چوچوتاکو [۱۷] یک موتور پردازش رویداد پیچیده بر اساس پردازش توزیعی ارائه کردند که هدف آن دستیابی به دستگاه‌های اینترنت اشیاء هوشمند به روشی کاملاً توزیع شده است. آنها یک مکانیسم شبه منبع را برای پوشش طیف گسترده‌ای از پردازش و پیش نیازهای منسوخ شده از مشخصات منبع به طور همزمان معرفی کردند. رویکرد پیشنهادی می‌تواند از سرریز داده‌ها و مسائل مربوط به حریم خصوصی جلوگیری کند و پردازش کاملاً توزیع شده می‌تواند قدرت دستگاه‌های اینترنت اشیاء را افزایش دهد. برای دستیابی به این ویژگی در منابع حجیم، یک مسئله بهینه‌سازی پردازش تخصیص وظایف و تحویل جریان در این پژوهش ارائه شده و یک مکانیسم توزیع بار کاری کاملاً مستقل پیشنهاد گردید. یک شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ با یک سناریوی واقعی ساختمان هوشمند نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با یک ساختار متمرکز، حدود ۶.۶ برابر حجم جریان کمتر و ۲ برابر نرخ تلفات کمتری را به دست می‌آورد.

اخیراً اینترنت اشیاء برای ساخت یک محیط هوشمند با همکاری دستگاه‌های مختلف در حال مطالعه است. با این حال، سیستم‌های موجود، سیستم‌های متمرکزی هستند که داده‌های حسگر اندازه‌گیری شده را در زمان واقعی به سرور منتقل می‌کنند و آن را از طریق مقدار آستانه پردازش می‌کنند. با افزایش مقیاس سیستم، این عیب وجود دارد که میزان داده‌هایی که سرور باید مدیریت کند افزایش می‌یابد و شما باید یک سرور با مشخصات بالا را پیکربندی کنید. گروه تحقیقاتی کیم و همکارانش [۱۸] یک سیستم پردازش توزیع شده اینترنت اشیاء بر اساس الگوریتم تخصیص منابع را برای حل این مشکل پیشنهاد می‌کنند. سیستم پیشنهادی داده‌های حسگر اندازه‌گیری شده را به صورت بلادرنگ به سرور منتقل نمی‌کند و کار را از طریق مقدار آستانه در دستگاه تأیید نمی‌کند. هنگامی که یک کار رخ می‌دهد، کار را با دستگاه‌های دیگر به اشتراک بگذارید و پردازش توزیع شده است. منابع مورد نیاز را از سرور درخواست کنید. بر این اساس، انتظار می‌رود در یک محیط هوشمند که استفاده از منابع سرور کاهش یافته و به طور مداوم تغییر می‌کند، گسترش آن آسان باشد.

شبکه‌های حسگر در همه جا مورد استفاده قرار گرفته و حجم زیادی از داده‌ها را با سرعت‌های فزاینده تولید می‌کنند. سیستم‌های پردازش جریان رویداد توزیع شده، به نوبه خود، نوع خاصی از سیستم‌ها هستند که به محققان و متخصصان کمک می‌کنند تا پردازش رویداد را موازی کنند. بنابراین، آن‌ها قابلیت‌هایی را برای متخصصان فراهم می‌کنند تا بینش‌ها و تصمیم‌گیری‌های سریع را در زمان واقعی و در بالای جریان‌های داده‌های متعدد ایجاد کنند. با این حال، سیستم‌های فعلی برای پردازش در مقیاس بزرگ بر روی اینترنت اشیاء و بارهای کاری شبکه حسگر تمرکز نمی‌کنند، که باعث می‌شود با افزایش حجم کار، عملکرد به سرعت کاهش یابد. به منظور پردازش رویدادهای مقیاس بزرگ با صدک تأخیر قابل قبول و توان عملیاتی بالا، سیستم‌های خاصی مانند سیستم‌های پردازش جریان رویداد توزیع شده مورد نیاز است. گروه تحقیقاتی کاروالحو و

همکارانش [۱۹] یک معماری برای بارهای کاری داده‌های اینترنت اشیاء، در ترکیبی از منابع داده شبکه‌های حسگر و سیستم‌های پردازش جریان رویداد توزیع شده، با تمرکز بر پروفایل‌های داده شبکه هوشمند، پیشنهاد کردند. در ارزیابی‌ها، این سیستم قادر به پردازش حداکثر ۴۵ هزار پیام در ثانیه با استفاده از ۸ گره پردازشی بود، در حالی که تاخیرهای پایداری را برای میکرو دسته‌های بالای ۳۰ ثانیه فراهم می‌کرد.

رشد گسترده داده‌های بزرگ و تکامل فناوری‌های اینترنت اشیاء شهرها را قادر می‌سازد تا اطلاعات ارزشمندی را از حجم زیادی از داده‌های تولید شده در زمان واقعی بدست آورند. در یک شهر هوشمند، دستگاه‌های مختلف اینترنت اشیاء به طور مداوم جریان‌هایی از داده‌ها را تولید می‌کنند که باید در مدت زمان کوتاهی تجزیه و تحلیل شوند. با استفاده از تکنیک کلان داده چارچوب‌های پردازش جریان توزیع شده ظرفیت پردازش داده‌های بی‌درنگ را برای شهرهای هوشمند دارند. گروه تحقیقاتی نصیری و همکارانش [۲۰] کاربرد بکارگیری چارچوب‌های پردازش جریان توزیع شده را در لایه پردازش داده شهر هوشمند و ارزیابی وضعیت فعلی پذیرش و بلوغ آن‌ها در بین برنامه‌های اینترنت اشیاء را بررسی می‌کنند. آزمایش‌ها بر ارزیابی عملکرد سه DSPF، یعنی Apache Storm، Apache Spark Streaming و Apache Flink تمرکز دارند. با توجه به نتایج به دست آمده، انتخاب یک چارچوب مناسب در لایه تجزیه و تحلیل داده‌های یک شهر هوشمند نیاز به دانش کافی در مورد ویژگی‌های برنامه‌های هدف دارد. در نهایت، مشخص می‌شود که هر یک از چارچوب‌های مورد مطالعه در اینجا مزایا و معایب خود را دارند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که Storm و Flink عملکرد بسیار مشابهی دارند، و Spark Streaming، تأخیر بسیار بالاتری دارد، در حالی که توان عملیاتی بالاتری را ارائه می‌کند.

اینترنت اشیاء به عنوان بخشی از زیرساخت‌ها برای پیشبرد طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی که شامل اتصال بسیاری از دستگاه‌های هوشمند است، در حال ظهور است که منجر به ایجاد جوامع هوشمند می‌شود. با توجه به محدودیت شدید در منابع محاسباتی دستگاه‌های اینترنت اشیاء، بارگیری وظایف برنامه‌های مختلف که نیاز به منابع محاسباتی قابل توجهی برای سیستم‌های محاسباتی با منابع محاسباتی کافی دارند، مانند سرورها، سیستم‌های ابری یا مراکز داده برای پردازش، معمول است. با این حال، روش بارگذاری خاموش از مشکلات تاخیر بالا و تراکم شبکه در زیرساخت‌های اینترنت اشیاء رنج می‌برد. اخیراً محاسبات لبه برای کاهش اثرات منفی این مشکلات پدیدار شده است. با این حال، محاسبات لبه دارای معایبی است، مانند محدودیت منابع محاسباتی برخی از دستگاه‌های محاسباتی لبه و بار نامتعادل در بین این دستگاه‌ها. به منظور بررسی موثر پتانسیل محاسبات لبه برای پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء، لازم است مدیریت کار کارآمد در شبکه‌های محاسبات لبه هست. گروه تحقیقاتی سانگ و همکارانش [۲۱]، رویکردی برای توزیع دوره‌ای وظایف ورودی در شبکه محاسبات لبه ارائه می‌شود تا تعداد وظایفی که می‌توانند در شبکه محاسبات لبه پردازش شوند، افزایش می‌یابد و الزامات کیفیت خدمات وظایف تکمیل شده در شبکه محاسبات لبه برآورده می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی برای نشان دادن بهبود استفاده از این رویکرد در افزایش تعداد وظایف تکمیل شده در شبکه محاسبات لبه ارائه شده‌اند.

برای پیشرفت اینترنت اشیاء و نسل بعدی وب، برنامه‌های کاربردی مختلفی برای پردازش داده‌های ساختار یافته یا بدون ساختار ظاهر شده‌اند. تأخیر، دقت، تعادل بار، تمرکز و موارد دیگر مسائلی هستند که در لایه ابری انتقال داده‌های اینترنت اشیاء وجود دارد. یادگیری ماشینی یک فناوری در حال ظهور برای تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ در برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء است. تکنیک‌های سنتی تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها دارای محدودیت‌های متعددی هستند، مانند تمرکز و مدیریت بار در حجم عظیمی از داده‌ها. این مقاله چارچوب تجزیه و تحلیل کلان داده‌های توزیع شده مبتنی بر یادگیری ماشین را برای وب نسل بعدی در اینترنت اشیاء معرفی می‌کند. گروه تحقیقاتی کومار و همکارانش [۲۲] از استخراج ویژگی و مقیاس داده در الگوی لایه لبه برای پردازش داده‌ها استفاده کردند. در لایه ابری برای طبقه بندی و تجزیه و تحلیل کلان داده در اینترنت اشیاء استفاده می‌شود. ارزیابی تجربی نشان می‌دهد که چارچوب توزیع شده پیشنهادی نسبت به چارچوب سنتی عملکرد قابل اعتمادتری دارد.

در آینده نزدیک، تعداد اشیاء متصل به اینترنت بین ۲۶ تا ۵۰ میلیارد دستگاه پیش‌بینی می‌شود. انتظار می‌رود این رقم به دلیل تولید دستگاه‌های کوچک قابل حمل که سبک وزن، انرژی و مقرون به‌صرفه هستند، حتی بیشتر نیز افزایش یابد. گروه تحقیقاتی یوسف و همکارانش [۱۴]، کل معماری IoT-fog-cloud را مدل‌سازی می‌کنند و مسئله قرارگیری سرویس با استفاده از برنامه‌نویسی خطی عدد صحیح را مختلط فرمول‌بندی کرده و کل مصرف برق به طور مشترک برای پردازش و شبکه به حداقل می‌رسد. در این پژوهش الگوی پردازش توزیع‌شده را برای تنظیمات طراحی بدون ظرفیت و با ظرفیت‌سازی ارزیابی شده تا به ترتیب راه‌حلی برای پایه بلندمدت و کوتاه‌مدت ارائه شوند. علاوه بر این، چهار جنبه از مشکل قرار دادن پردازش اینترنت اشیاء شامل خدمات اینترنت اشیاء با وظایف غیرقابل تقسیم، خدمات اینترنت اشیاء با وظایف قابل تقسیم، تأثیر هزینه‌های سربار پردازش مورد نیاز برای ارتباطات بین سرویس و استقرار ویژه مراکز داده هدف (SP-DC) بر خلاف مرکز داده معمولی همه منظوره (GP-DC) در شبکه اصلی ارزیابی می‌شود. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که برای مسئله ظرفیت‌سازی، تقسیم کار باعث صرفه‌جویی در توان تا ۸۶ درصد در مقایسه با ۴۶ درصد با وظایف غیرقابل تقسیم می‌شود. علاوه بر این، مشاهده می‌شود که هزینه‌های سربار ناشی از ارتباطات بین‌سرویس به میزان زیادی بر تعداد کل تقسیم‌ها تأثیر می‌گذارد. هر چقدر هم که ضریب سربار بسیار ناچیز باشد، نتایج نشان داد که این یک موضوع پیش پا افتاده نیست و از این رو باید توجه زیادی به این حوزه برای استفاده بهینه از منابع موجود در لبه شبکه شود.

افزایش تعداد دستگاه‌ها و سرویس‌های اینترنت اشیاء باعث می‌شود افراد بتوانند دنیای واقعی را حس کنند و با آن‌ها تصمیمات بهینه بگیرند یا کارهای پیچیده را انجام دهند. با این حال، تأخیر ناشی از شبکه‌های بی‌سیم ناپایدار و خرابی‌های محاسباتی ناشی از منابع محدود، توسعه اینترنت اشیاء را محدود می‌کند. یک رویکرد محبوب برای حل این مشکل، ایجاد یک سیستم ارائه خدمات اینترنت اشیاء بر اساس مدل محاسبات لبه‌سیار است. در مدل محاسبات لبه‌سیار، سرورهای لبه زیادی با نقاط دسترسی از طریق شبکه‌های بی‌سیم قرار می‌گیرند. با کمک سرویس‌های کش در سرورهای لبه، می‌توان تأخیر را کاهش داد و محاسبات را بارگذاری کرد. خدمات کش باید با دقت انتخاب شوند تا بسیاری از درخواست‌ها بدون بارگذاری بیش از حد منابع در سرورهای لبه برآورده شوند. در مقاله گروه تحقیقاتی دنگ و همکارانش [۲۳]، یک خط مشی کش سرویس بهینه را با استفاده از قابلیت ترکیب سرویس‌ها برای بهبود عملکرد سیستم‌های ارائه خدمات پیشنهاد می‌کند. یک سری آزمایش برای ارزیابی عملکرد رویکرد خود انجام دادند. نتیجه نشان می‌دهد که رویکرد آنها می‌تواند میانگین زمان پاسخگویی این خدمات اینترنت اشیاء را بهبود بخشد.

توسعه سریع یادگیری عمیق و کاربردهای گسترده اینترنت اشیاء دستگاه‌ها را هوشمندتر از قبل کرده است و آنها را قادر می‌سازد تا وظایف هوشمندانه‌تری را انجام دهند. با این حال، برای هر دستگاه اینترنت اشیاء به دلیل توانایی محاسباتی محدود، آموزش و اجرای مستقل مدل‌های یادگیری عمیق چالش برانگیز است. گروه تحقیقاتی خی و همکارانش [۲۴]، یک شبکه اینترنت اشیاء را در نظر می‌گیرند که در آن پلت فرم ابر/لبه آموزش و به‌روزرسانی مدل ارتباطات معنایی مبتنی بر یادگیری عمیق (DeepSC) را انجام می‌دهد در حالی که دستگاه‌های اینترنت اشیاء جمع‌آوری و انتقال داده‌ها را بر اساس مدل آموزش دیده انجام می‌دهند. برای مقرون به صرفه کردن آن برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء، در این پژوهش یک سیستم ارتباط معنایی توزیع‌شده مبتنی بر یادگیری عمیق یادگیری عمیق به نام L-DeepSC برای انتقال متن با پیچیدگی کم پیشنهاد شد، جایی که انتقال داده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء به ابر/لبه در سطح معنایی برای بهبود کارایی انتقال کار می‌کند. به ویژه، با هرس کردن افزونگی مدل و کاهش وضوح وزن، L-DeepSC برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء مقرون به صرفه می‌شود و پهنای باند مورد نیاز برای انتقال وزن مدل بین دستگاه‌های اینترنت اشیاء و ابر/لبه به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. از طریق تجزیه و تحلیل اثرات کانال‌های محو شدن در انتشار به جلو و انتشار به عقب در طول آموزش L-DeepSC، در این پژوهش یک پردازش آموزشی به کمک اطلاعات وضعیت کانال (CSI) توسعه داده می‌شود تا اثرات کانال‌های محو شده بر انتقال را کاهش داد. شبیه‌سازی نشان

می‌دهد که L-DeepSC پیشنهادی به عملکرد رقابتی در مقایسه با روش‌های سنتی، به ویژه در ناحیه سیگنال به نویز کم (SNR) دست می‌یابد.

تولید کلان داده در اینترنت اشیاء به دلیل استقرار گسترده حسگرها و دستگاه‌های موجود مشهود است. با این حال، پردازش کلان داده به دلیل محدودیت منابع محاسباتی، شبکه و ذخیره‌سازی در دستگاه‌های اینترنت اشیاء چالش برانگیز است. انتظار می‌رود که تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ اطلاعاتی در سطح عملیاتی و مشتری در سیستم‌های اینترنت اشیاء ارائه کند. اگرچه مطالعات متعددی در مورد اینترنت اشیاء و تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ وجود دارد، تنها چند مطالعه همگرایی این دو پارادایم را بررسی کرده‌اند. در مطالعه رحمان و همکارانش [۲۵]، فناوری‌ها، الگوریتم‌ها و تکنیک‌های اخیر تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ بررسی شد که می‌تواند منجر به توسعه سیستم‌های هوشمند اینترنت اشیاء شود. در این پژوهش با طبقه‌بندی و دسته‌بندی متون بر اساس پارامترهای مهم (مانند منابع داده، ابزارهای تجزیه و تحلیل، تکنیک‌های تجزیه و تحلیل، الزامات، برنامه‌های کاربردی تحلیل صنعتی و انواع تجزیه و تحلیل) یک طبقه‌بندی ایجاد شد. در این پژوهش چارچوب‌ها و مطالعات موردی شرکت‌های مختلفی را که از ساختارهای مدیریت منابع بهره‌مند شده‌اند، ارائه شدند. در این پژوهش همچنین فرصت‌های قابل توجهی را که توسط تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ در اینترنت اشیاء معرفی شده است، ارائه شدند. در این پژوهش چالش‌های ضروری شناسایی شده و در مورد آنها بحث شد که باید به آنها پرداخته شود و به عنوان جهت‌های تحقیقاتی آینده خدمت می‌کنند.

با کاربرد عمیق اینترنت اشیاء، بسیاری از فناوری‌های نوظهور چشم‌انداز صنعت جهانی را در مقیاسی بی‌سابقه تغییر می‌دهند. در عین حال، آنها همچنین فرصتی را برای توسعه مدیریت هوشمند برای عبور از گلوگاه فراهم می‌کنند. پیشنهاد و تکامل مفهوم مدیریت هوشمند، توسعه فناوری مدیریت را پیشرفته‌تر می‌کند. بنابراین، معرفی فناوری اینترنت اشیاء به مدیریت هوشمند اهمیت و ارزش تحقیقاتی بسیار مهمی دارد. در پژوهش خیاجوانگ و همکارانش [۲۶]، تحقیقی در مورد منشاء و وضعیت فعلی فناوری اینترنت اشیاء در داخل و خارج از کشور انجام شد و نظریه‌های مربوطه و فناوری‌های پیشرفته فناوری اینترنت اشیاء درک گردید. در ادامه ترکیب با فناوری PLC/OPC، طراحی و یکپارچه سازی سیستم نرم‌افزاری و سیستم سخت‌افزاری محقق می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که ماژول‌های سیستم برای ارائه مدیریت اطلاعات شرکت، تحلیل پیش‌بینی چند عاملی کارکنان، و ارزیابی کارایی دسته‌ای کارآمد، آزمایش شده‌اند که ارزش مشخصی برای مدیریت داده‌های شرکت و تجزیه و تحلیل داده‌ها و کاوی دارد و کارایی شرکت را بیش از ۳۰ درصد بهبود می‌بخشد.

امروزه با پیشرفت سریع سیستم‌های مبتنی بر اینترنت و توزیع شده مانند محاسبات ابری، شبکه‌های همتا به همتا و اینترنت اشیاء، تقریباً در هر زمینه مهندسی و تجاری پیشرفت‌های قابل توجهی ایجاد شده است. بر اساس اینترنت اشیاء، شهرهای هوشمند با استفاده از پردازش هوشمند اطلاعات، اتصال جهانی، سنجش همه جا و نظارت در زمان واقعی شکل می‌گیرند. صرفه‌جویی در انرژی یکی از مسائل مهم در توسعه اینترنت اشیاء کنونی به دلیل استقامت ضعیف باتری اشیاء اینترنت اشیاء است. طی سال‌های گذشته، با رشد انفجاری شهرهای هوشمند، طیف وسیعی از مطالعات در رابطه با بهره‌وری انرژی انجام شده است. تنوع داده‌های پراکنده و منابع چندگانه در توسعه سناریوهای اینترنت اشیاء استفاده می‌شود. به منظور استفاده بهینه از این داده‌ها برای بهبود خدمات اینترنت اشیاء، ترکیب داده‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. منابع شبکه را ذخیره می‌کند، کارایی انتقال داده را بهبود می‌بخشد و اطلاعات مفید را از داده‌های خام استخراج می‌کند. تا جایی که مطالعات نشان داده است، هنوز یک مطالعه جامع و نظام‌مند در مورد بررسی و تحلیل تکنیک‌های همجوشی داده‌های کارآمد انرژی در اینترنت اشیاء وجود ندارد. بنابراین، گروه تحقیقاتی پورقبله و همکارانش [۲۷] در صدد است تا با استفاده از روشی نظام‌مند به این شکاف بپردازد. نتایج پژوهش نشان دهنده کارایی بالای روش پیشنهادی نسبت به رویکردهای مقایسه شده است.

روسازی بخش مهمی از زیرساخت های حمل و نقل است. به منظور حفظ روسازی قبل از آسیب و بهبود کیفیت خدمات، توسعه یک سیستم پایش اطلاعات روسازی هوشمند و بادوام ضروری است. با این حال، نظارت بر پاسخ دینامیکی روسازی بسیار پرهزینه، به راحتی منسوخ شده و از نظر آماری اضافی است. ظهور فناوری اینترنت اشیا (IoT) نوید تغییر آن را می دهد. در مقاله گروه تحقیقاتی بی و همکارانش [۲۸]، یک معماری از یک سیستم نظارت بر اینترنت اشیا جاده توزیع شده پیشنهاد شده است که دارای یک لایه اکتساب، یک لایه پیش پردازش، یک لایه پردازش، یک لایه تعامل، یک لایه انرژی و یک لایه شبکه است. سپس، یک نمونه اولیه سیستم نظارت بر لرزش روسازی بی سیم مبتنی بر اینترنت اشیا، که از تعدادی گره حسگر بی سیم، یک دروازه، یک سرور راه دور و یک مرورگر تشکیل شده است، توسعه می یابد. در نهایت، پیش پردازش داده ها، ارتباطات بی سیم، همگام سازی زمانی، پردازش داده ها و تجسم، که نشان دهنده کلید یک سیستم موثر هستند، آزمایش و مورد بحث قرار می گیرند. نمونه اولیه سیستم نظارت بر لرزش روسازی بی سیم، طرحی قابل اجرا برای ارتقای سیستم اینترنت اشیا و کاربرد آن در زیرساخت های جاده ای ارائه می کند. در آینده، هر جاده هوشمند دارای یک سیستم نظارت بی سیم اینترنت اشیا برای نظارت بر ترافیک، محیط و اطلاعات روسازی خواهد بود که به فعال کردن راهنمایی ترافیک، کنترل سیگنال، هشدار خطر، تصمیم گیری علمی تعمیر و نگهداری کمک می کند.

با توجه به ورود سریع، پویا و مداوم جریان های داده به محیط سبز اینترنت اشیا، توزیع احتمال جریان های داده در طول زمان تغییر می کند. در سناریوهای واقعی اینترنت اشیا مانند تشخیص وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین و کنترل سوئیچ چراغ هوشمند، تغییرات توزیع داده ها دقت مدل آموزش دیده را برای طبقه بندی مشکلات جریان داده کاهش داده است، و شناسایی مزاحمان پنهان و پیش بینی روشن یا خاموش بودن لامپ های کم مصرف در ساختمان های هوشمند را چالش برانگیز می کند. در مقاله گروه تحقیقاتی جیانگ و همکارانش [۲۹]، یک روش طبقه بندی گروهی افزایشی برای بهبود دقت پیش بینی اینترنت اشیا سبز پیشنهاد شده است. به طور خاص، یک طبقه بندی کننده مبتنی بر قوانین فازی با یک الگوریتم وزن دهی پویا برای بهبود دقت طبقه بندی ترکیب می شود.

سامانه های مدیریت داده در ساختارهای اینترنت اشیا به ویژه با محوریت توزیع شده از اهمیت بالایی برخوردار هستند زیرا استفاده از یک مدیریت داده در ساختارهای اینترنت اشیا در اینترنت اشیا توزیع شده مناسب می تواند به صورت قابل توجهی کارایی، امنیت و قابلیت اطمینان را افزایش دهد. تاکنون راهکارهای مختلفی در این زمینه ارائه شده است که هر کدام مزایا و معایب خود را دارند. در این بخش برخی از راهکارهای مدیریت داده معرفی شدند. در جدول (۳) یک مقایسه کلی از رویکردهای ارائه شده با تمرکز بر پارامترهای کیفیت خدمات بررسی شده است و در جدول (۴) نیز مقایسه کلی با تمرکز بر بیان معایب و مزایای رویکردها آورده شده است. در ادامه به بررسی کارایی روش های موجود از نظر پارامترهای قابل مقایسه پرداخته می شود.

جدول ۳: پارامترهای قابل ارزیابی در رویکردهای بررسی شده

Table 3: Evaluatable Parameters in the Reviewed Approaches

نویسنده و مرجع	قابلیت اطمینان	سرعت اجرا	زمان اجرا	مصرف انرژی	زمان پاسخ
برزن و همکارانش [۱۴]	*	*		*	
ناکاتورا و همکارانش [۱۶]		*	*	*	
چوچوتاگو [۱۷]	*	*		*	
کیم و همکارانش [۱۸]		*	*		
کاروالحو و همکارانش [۱۹]	*	*		*	

نصیری و همکارانش [۲۰]	*	*	*	*
سانگ و همکارانش [۲۱]	*	*	*	*
کومار و همکارانش [۱۵]	*	*	*	*
دنگ و همکارانش [۲۳]	*	*	*	*
خی و کوین [۲۴]	*	*	*	*
رحمان و همکارانش [۲۵]	*	*	*	*
خیابانگ و لی [۲۶]	*	*	*	*
پورقبله و همکارانش [۲۷]	*	*	*	*
بی و همکارانش [۲۸]	*	*	*	*
جیانگ و همکارانش [۲۹]	*	*	*	*

جدول ۴: جدول مقایسه رویکردهای بررسی شده در بخش ۴-۲

Table 4: Comparison table of the approaches reviewed in Section 4-2

ردیف	نویسندگان یا منبع	رویکرد اصلی	مزایا کلیدی	معایب/چالش‌ها	نتایج برجسته
۱	برزن و همکاران	IoT-fog-cloud MILP	حداقل‌سازی انرژی؛ پردازش و شبکه؛ صرفه‌جویی تا ۸۶٪ با تقسیم وظایف	هزینه سربار ارتباطات بین‌سرویس؛ نیاز به توجه به لبه شبکه	راه‌حل‌های کوتاه/بلندمدت؛ تأثیر سربار بر تقسیم‌ها
۲	ناکاتورا و همکاران	پلتفرم IFoT با پردازش ad-hoc	تحلیل جریان نزدیک منبع؛ بهبود مصرف انرژی	وابستگی به دستگاه‌های مجاور	کارایی بالا در اینترنت اشیاء توزیع‌شده
۳	چوچوتاگو	موتور پردازش رویداد پیچیده توزیع‌شده	جلوگیری از سرریز داده و حفظ حریم خصوصی؛ افزایش قدرت دستگاه‌ها	نیاز به بهینه‌سازی تخصیص وظایف	۶.۶ برابر حجم جریان کمتر و ۲ برابر تلفات کمتر VS متمرکز
۴	کیم و همکاران	سیستم توزیع‌شده بر اساس الگوریتم تخصیص منابع	کاهش بار سرور؛ پردازش بلادرنگ بدون انتقال کامل داده	درخواست منابع از سرور در صورت نیاز	گسترش آسان در محیط هوشمند
۵	کاروالحو و همکاران	معماری برای بارهای کاری حسگر با DSP	پردازش ۴۵k پیام/ثانیه با ۸ گره؛ تأخیر پایدار	تمرکز محدود بر مقیاس بزرگ IoT	مناسب پروفایل‌های شبکه هوشمند
۶	نصیری و همکاران	ارزیابی DSPF- Storm (Spark, Flink)	ظرفیت پردازش بی‌درنگ شهر هوشمند	تأخیر بالا در Spark نیاز به دانش برنامه	Storm/Flink Spark مشابه؛ توان بالا
۷	سانگ و همکاران	توزیع دوره‌ای وظایف در edge computing	افزایش وظایف پردازش‌شده؛ QoS بهتر	محدودیت منابع edge؛ بار نامتعادل	بهبود تکمیل وظایف

۸	کومار و همکاران	چارچوب ML توزیع شده edge-cloud	استخراج ویژگی در لبه؛ تحلیل کلان داده	مسائل تأخیر/تمرکز در cloud سنتی	عملکرد قابل اعتمادتر VS سنتی
۹	دنگ و همکاران	سیاست کش سرویس با ترکیب سرویس ها	کاهش تأخیر و بارگذاری محاسباتی	انتخاب دقیق خدمات کش	بهبود میانگین زمان پاسخگویی
۱۰	خی و همکاران	L-DeepSC semantic communication برای	مقرون به صرفه برای دستگاه ها؛ کاهش پهنای باند	اثرات کانال محو	عملکرد رقابتی در SNR کم
۱۱	رحمان و همکاران	بررسی فناوری های big data در IoT	طبقه بندی الگوریتم ها/چارچوب ها؛ جهت های آینده	همگرایی محدود IoT/big data	فرصت ها و چالش های عملیاتی
۱۲	خیاجوانگ و همکاران	یکپارچه سازی IoT با PLC/OPC	بهبود کارایی شرکت < ۳۰٪؛ تحلیل پیش بینی	نیاز به طراحی سخت نرم افزار	مدیریت هوشمند داده
۱۳	پورقبله و همکاران	همجوشی داده کارآمد انرژی	صرفه جویی منابع؛ بهبود انتقال	عدم مطالعه نظام مند پیشین	کارایی بالا VS مقایسه ها
۱۴	یی و همکاران	سیستم نظارت جاده توزیع شده	لایه های اکتساب/پردازش/انرژی؛ نظارت بی سیم	همگام سازی زمانی/ارتباطات	طرح قابل اجرا برای جاده هوشمند
۱۵	جیانگ و همکاران	طبقه بندی گروهی افزایشی فازی	بهبود دقت در توزیع پویا داده	تغییرات توزیع در سناریوهای واقعی	مناسب IoT سبز (پهپاد/چراغ)

۵- ارزیابی کارایی

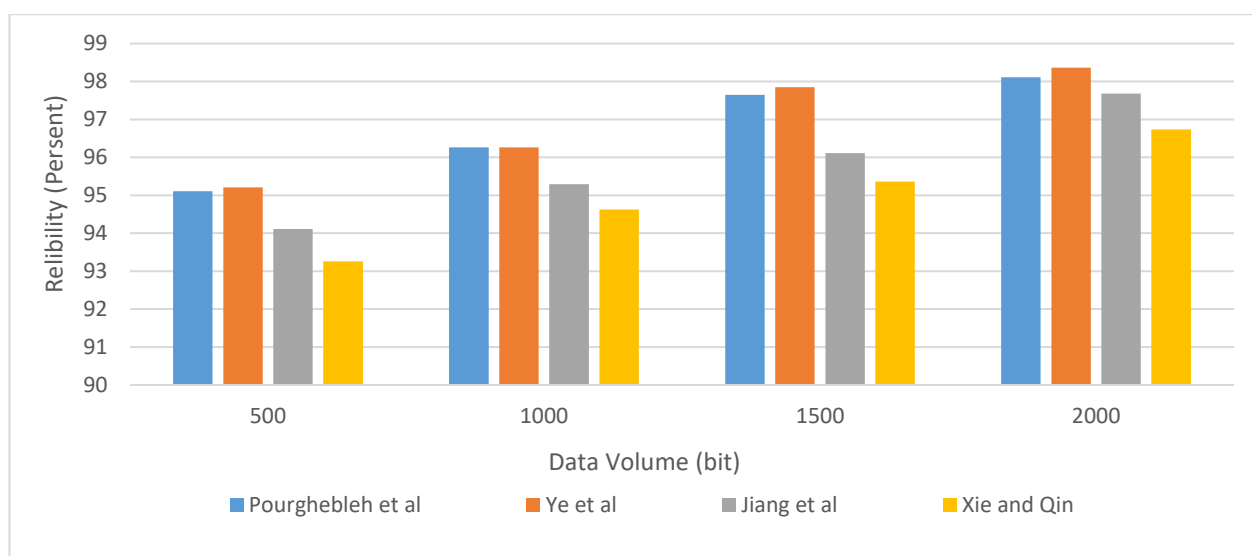
در این بخش از مقاله به بررسی ارزیابی کارایی رویکردهای محبوب از نظر پارامترهای مختلف پرداخته خواهد شد. در این مقاله، رویکردهای ارائه شده توسط گروه تحقیقاتی پورقبله و همکارانش [۲۷]، گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، گروه جیانگ و همکارانش [۲۹] و در نهایت گروه تحقیقاتی خی و همکارانش [۲۴] در مولفه های قابلیت اطمینان، سرعت اجرا، زمان اجرا، مصرف انرژی و نرخ تأخیر باهم مقایسه شده و نتایج به صورت نمودار ارائه می شوند. در این ارزیابی، از نرم افزار متلب برای شبیه سازی استفاده شده است. همانطور که در جدول (۵) نشان داده شد، اندازه شبکه ۱۰۰ در ۱۰۰ متر در نظر گرفته شده است. شعاع ارتباطی برای هر گره در ساختارهای ارتباطی، ۱۲ متر و تعداد گره ها برای کل شبکه ۱۰۰ مورد در نظر گرفته شد. اندازه هر بسته ۲۰۰۰ بیت و انرژی اولیه برای گره ها ۱ ژول در نظر گرفته شد. در نهایت نرخ انتقال در شبکه و انتقال بسته به ترتیب ۱۰۰۰ مگابیت در ثانیه و ۱۰ مگابیت در ثانیه در نظر گرفته شد. همچنین برای ارزیابی روش پیشنهادی و رویکرد مقایسه شده و همچنین اجرای کدهای شبیه سازی، از یک سیستم خانگی با سیستم عامل ویندوز ۱۰ شرکت مایکروسافت به نسخه ۶۴ بیتی پردازنده زنون ۲ هسته ای و رم پردازشی ۸ گیگابایتی استفاده شد. در ادامه نتایج حاصل از ارزیابی ها به صورت نمودار ارائه شده و هریک به صورت خلاصه شرح داده می شوند.

جدول ۵: پارامترهای شبیه سازی رویکردهای ارائه شده
Table 5: Simulation Parameters of the Proposed Approaches

پارامترهای ارزیابی	مقادیر پارامتر
اندازه شبکه (زمینه سنجش)	۱۰۰ متر * ۱۰۰ متر
تعداد گره های شبکه	۱۰۰ گره
سرعت حرکت اشیاء	۰ تا ۰.۵ متر در ثانیه

۱۲ متر	سطح شعاع ارتباطی
۱ ژول	انرژی اولیه هر گره
۵۰۰ تا ۲۰۰۰ بیت	اندازه هر بسته
۴	ابعاد شبکه (M)
۲۵۰۰ ژول	انرژی راه انداز شبکه
۱۰۰۰ مگابیت در ثانیه	توان انتقالی در شبکه
۱۰ مگابیت در ثانیه	نرخ انتقال بسته در شبکه
۳۰۰ تکرار	تعداد تکرار

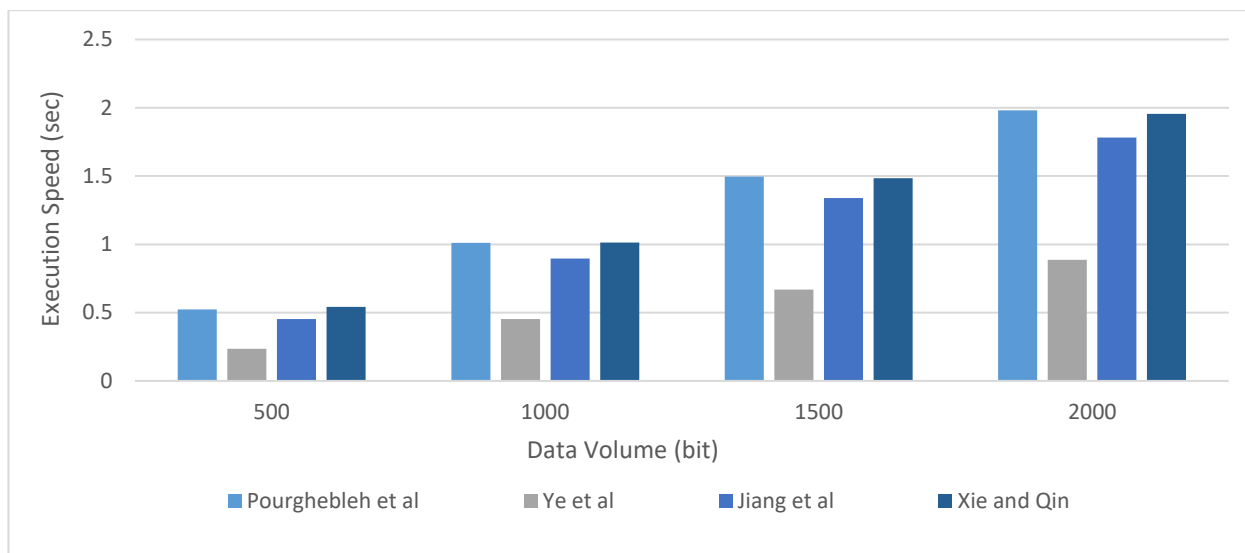
در گام اول به بررسی پارامتر قابلیت اطمینان بین رویکردهای ارائه شده در زمینه مدیریت جریان داده پرداخته شده است. نتایج ارزیابی برای رویکردهای پیشنهادی در مقیاس‌های مختلف داده‌ای در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: مقایسه قابلیت اطمینان رویکردهای ارزیابی شده

Figure 2: Comparison of the reliability of the evaluated approaches

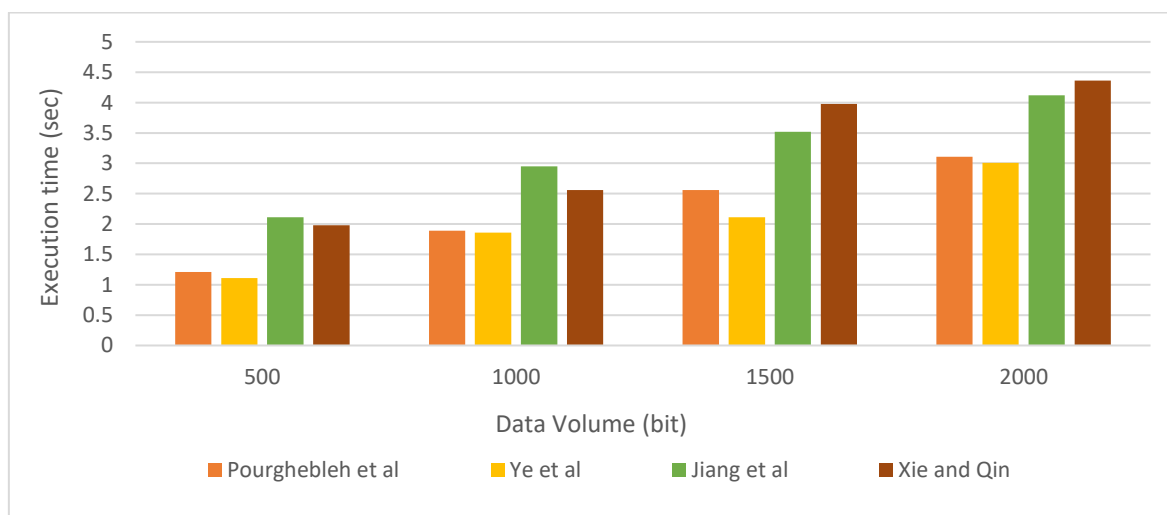
بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸] قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به رویکردهای مشابه دارد. با توجه به این که روش پیشنهادی این گروه تحقیقاتی از یک سیستم مدیریت جریان داده توزیعی لایه‌بندی شده استفاده کرده است و قادر به کاهش افزونگی اطلاعات بر اساس لایه پیش پردازش هست، از این رو، قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به رویکردهای مقایسه ارائه می‌کند. در ادامه سرعت اجرا برای رویکردهای پیشنهادی ارائه شده توسط پورقبله و همکارانش [۲۷]، گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، گروه جیانگ و همکارانش [۲۹] و در نهایت گروه تحقیقاتی خی و همکارانش [۲۴] مقایسه شده و نتایج به صورت شکل (۳) ارائه شدند.



شکل ۳: مقایسه سرعت اجرا رویکردهای ارزیابی شده

Figure 3: Comparison of the execution speed of the evaluated approaches

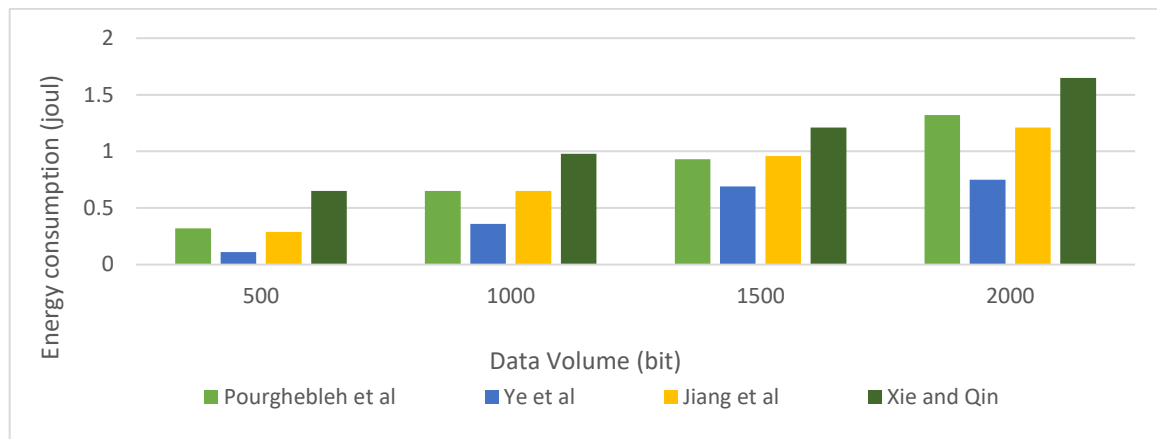
بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می شود که سرعت اجرا در تمامی مقیاس های موجود برای روش پیشنهادی گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸] نسبت به رویکردهای مقایسه شده دیگر، بهتر است. با توجه به این که رویکرد پیشنهادی یی و همکارانش، با اجرای ساختار لایه ای از بروز بهینه محلی جلوگیری می کند، از این رو می توان کارایی این رویکرد را توجیه نمود. در ادامه به بررسی و ارزیابی زمان اجرا برای رویکردهای گروه تحقیقاتی پورقبه و همکارانش [۲۷]، گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، گروه جیانگ و همکارانش [۲۹] و در نهایت گروه تحقیقاتی خی و همکارانش [۲۴] ارائه شده و نتایج به دست آمده باهم مقایسه می شوند. نتایج ارزیابی در شکل (۴) نشان داده شده است. بر اساس مشاهدات موجود، مشخص می شود که روش گروه تحقیقاتی یی و همکارانش نسبت به رویکردهای دیگر زمان اجرای بهتری دارد. با توجه به این که روش پیشنهادی یی و همکارانش از یک فرایند مدیریت جریان داده لایه ای به منظور پردازش اطلاعات استفاده کرده و همچنین قادر به پیش پردازش و حذف افزونگی در اطلاعات هست، از این رو زمان اجرای پایین تری نسبت به رویکردهای مشابه دارد.



شکل ۴: مقایسه زمان اجرا رویکردهای ارزیابی شده

Figure 4: Comparison of the execution time of the evaluated approaches

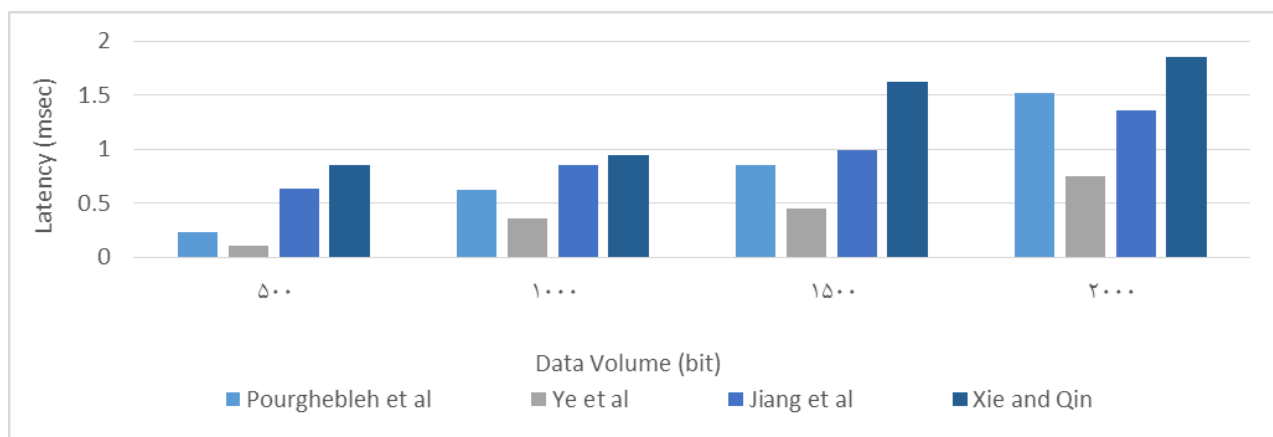
در ادامه ارزیابی‌ها، نتایج مربوط به مصرف انرژی برای راهکارهای ارائه شده توسط گروه تحقیقاتی پورقبله و همکارانش [۲۷]، گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، گروه جیانگ و همکارانش [۲۹] و در نهایت گروه تحقیقاتی خی و همکارانش [۲۴] بیان شده و نتایج به صورت نمودار برای حجم مختلف از جریان داده مقایسه شد. نتایج ارزیابی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: مقایسه مصرف انرژی رویکردهای ارزیابی شده

Figure 5: Comparison of energy consumption of the evaluated approach

بر اساس نتایج ارزیابی مشاهده می‌شود که انرژی مصرفی رویکرد پیشنهادی گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، نسبت به رویکردهای مقایسه شده سطح بهتری دارد. با توجه این که در رویکرد پیشنهادی یی و همکاران از یک لایه انرژی به منظور مدیریت مصرف انرژی در ساختار گره‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شود، از این رو می‌توان به این نتیجه دست یافت که روش پیشنهادی یی و همکارانش نسبت به رویکردهای مقایسه شده، مصرف انرژی بهتری دارد. در نهایت مولفه تأخیر برای رویکردهای ارائه شده توسط گروه تحقیقاتی پورقبله و همکارانش [۲۷]، گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، گروه جیانگ و همکارانش [۲۹] و در نهایت گروه تحقیقاتی خی و همکارانش [۲۴] مقایسه شده و نتایج به صورت نمودار (۶) ارائه می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که نرخ تأخیر برای روش پیشنهادی گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، نسبت به سایر رویکردها سطح پایین‌تری دارد و از این رو کارایی بهتری نسبت به سایر رویکردها ارائه می‌کند.



شکل ۶: مقایسه نرخ تأخیر رویکردهای ارزیابی شده

Figure 6: Comparison of the delay rate of the evaluated approaches

۶- جمع بندی و پیشنهادات آتی

مجموعه ای از دستگاه ها و ساختارهای مبتنی بر اینترنت اشیا حجم عظیمی از داده ها را در شهرهای هوشمند تولید می کنند که نیاز به پردازش فوری دارند. ابزارهای تجزیه و تحلیل داده های بزرگ ظرفیت مدیریت حجم زیادی از داده های تولید شده از دستگاه های اینترنت اشیا را دارند که جریان پیوسته ای از اطلاعات را ایجاد می کنند. پلتفرم های پردازش کلان داده های زیادی وجود دارد که برای اهداف خاص طراحی شده اند. در عصر اینترنت اشیا و شهرهای هوشمند، مقایسه رفتار چارچوب های پردازش جریان توزیع شده موجود و بررسی کاربرد استفاده از آنها برای پردازش حجم بالای داده های تولید شده در شهرهای هوشمند جالب است. در این مقاله یک مقایسه کلی بین رویکردهای موجود در زمینه مدیریت جریان داده ارائه شده است تا نشان داده شود که کدام پلتفرم ها کارایی مناسب تری دارند. نتایج ارزیابی نشان داد که روش پیشنهادی گروه تحقیقاتی گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸] نسبت به رویکردهای مقایسه شده کارایی بالاتری در مدیریت جریان توزیع شده ارائه می کند. به عنوان پیشنهاد کار آتی می توان به استفاده از رویکردهای تکاملی به منظور بهبود نرخ سرعت و زمان تاخیر در الگوریتم پیشنهادی گروه تحقیقاتی گروه تحقیقاتی یی و همکارانش [۲۸]، اشاره کرد.

مراجع

- [1] H. Cai, B. Xu, L. Jiang, and A. V. Vasilakos, "IoT-based big data storage systems in cloud computing: perspectives and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 75-87, 2016.
- [2] G. Bedi, G. K. Venayagamoorthy, R. Singh, R. R. Brooks, and K.-C. Wang, "Review of Internet of Things (IoT) in electric power and energy systems," *IEEE Internet of things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 847-870, 2018.
- [3] A. Mukherjee, H. S. Paul, S. Dey, and A. Banerjee, "ANGELS for distributed analytics in IoT," in *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2014: IEEE, pp. 565-570.
- [4] Y.-S. Jeong and S.-H. Sim, "Hierarchical multipath blockchain based IoT information management techniques for efficient distributed processing of intelligent IoT information," *Sensors*, vol. 21, no. 6, p. 2049, 2021.
- [5] K. Yasumoto, H. Yamaguchi, and H. Shigeno, "Survey of real-time processing technologies of iot data streams," *Journal of Information Processing*, vol. 24, no. 2, pp. 195-202, 2016.
- [6] L. Wang and R. Ranjan, "Processing distributed internet of things data in clouds," *IEEE Cloud Computing*, vol. 2, no. 1, pp. 76-80, 2015.
- [7] Y. Jin, Y. Liu, and W. Si, "Editorial for the special issue on "intelligent agent distributed signal processing for IoT"," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 447-449, 2020.
- [8] H. Yang and F. Wang, "Wireless network intrusion detection based on improved convolutional neural network," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 64366-64374, 2019.
- [9] T. Kolajo, O. Daramola, and A. Adebisi, "Big data stream analysis: a systematic literature review," *Journal of Big Data*, vol. 6, no. 1, pp. 1-30, 2019.
- [10] E. Mehmood and T. Anees, "Challenges and solutions for processing real-time big data stream: a systematic literature review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 119123-119143, 2020.
- [11] A. Zubaroğlu and V. Atalay, "Data stream clustering: a review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 54, no. 2, pp. 1201-1236, 2021.
- [12] M. S. Abdalzaher, M. Krichen, M. Shaaban, and M. M. Fouda. "Quality-Focused Internet of Things Data Management: A Survey, Perspectives, Open Issues, and Challenges." (accessed.
- [13] M. D. de Assuncao, A. da Silva Veith, and R. Buyya, "Distributed data stream processing and edge computing: A survey on resource elasticity and future directions," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 103, pp. 1-17, 2018.

- [14] B. A. Yosuf, M. Musa, T. Elgorashi, and J. Elmirghani, "Energy efficient distributed processing for IoT," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 161080-161108, 2020.
- [15] X. Zeng, S. K. Garg, P. Strazdins, P. P. Jayaraman, D. Georgakopoulos, and R. Ranjan, "IOTSim: A simulator for analysing IoT applications," *Journal of Systems Architecture*, vol. 72, pp. 93-107, 2017.
- [16] Y. Nakamura, H. Suwa, Y. Arakawa, H. Yamaguchi, and K. Yasumoto, "Middleware for proximity distributed real-time processing of IoT data flows," in *2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 2016: IEEE, pp. 771-772.
- [17] S. Choochotkaew, H. Yamaguchi, T. Higashino, M. Shibuya, and T. Hasegawa, "EdgeCEP: Fully-distributed complex event processing on IoT edges," in *2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 2017: IEEE, pp. 121-129.
- [18] C. Kim, H. Kim, and H. Jung, "IoT distributed processing system based on resource allocation algorithm," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, no. 24, pp. 15050-15054, 2017.
- [19] O. Carvalho, E. Roloff, and P. O. Navaux, "A distributed stream processing based architecture for IoT smart grids monitoring," in *Companion proceedings of the 10th international conference on utility and cloud computing*, 2017, pp. 9-14.
- [20] H. Nasiri, S. Nasehi, and M. Goudarzi, "Evaluation of distributed stream processing frameworks for IoT applications in Smart Cities," *Journal of Big Data*, vol. 6, no. 1, p. 52, 2019.
- [21] Y. Song, S. S. Yau, R. Yu, X. Zhang, and G. Xue, "An approach to QoS-based task distribution in edge computing networks for IoT applications," in *2017 IEEE international conference on edge computing (EDGE)*, 2017: IEEE, pp. 32-39.
- [22] S. K. Singh, J. Cha, T. W. Kim, and J. H. Park, "Machine learning based distributed big data analysis framework for next generation web in IoT," *Computer Science and Information Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 597-618, 2021.
- [23] S. Deng, Z. Xiang, J. Yin, J. Taheri, and A. Y. Zomaya, "Composition-driven IoT service provisioning in distributed edges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 54258-54269, 2018.
- [24] H. Xie and Z. Qin, "A lite distributed semantic communication system for Internet of Things," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 39, no. 1, pp. 142-153, 2020.
- [25] M. H. ur Rehman, I. Yaqoob, K. Salah, M. Imran, P. P. Jayaraman, and C. Perera, "The role of big data analytics in industrial Internet of Things," *Future Generation Computer Systems*, vol. 99, pp. 247-259, 2019.
- [26] X. Lv and M. Li, "Application and research of the intelligent management system based on internet of things technology in the era of big data," *Mobile Information Systems*, vol. 2021, no. 1, p. 6515792, 2021.
- [27] B. Pourghebleh, N. Hekmati, Z. Davoudnia, and M. Sadeghi, "A roadmap towards energy-efficient data fusion methods in the Internet of Things," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 34, no. 15, p. e6959, 2022.
- [28] Z. Ye, Y. Wei, J. Li, G. Yan, and L. Wang, "A distributed pavement monitoring system based on Internet of Things," *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, vol. 9, no. 2, pp. 305-317, 2022.
- [29] J. Jiang, F. Liu, W. W. Ng, Q. Tang, W. Wang, and Q.-V. Pham, "Dynamic incremental ensemble fuzzy classifier for data streams in green internet of things," *IEEE transactions on green communications and networking*, vol. 6, no. 3, pp. 1316-1329, 2022.