

مروری بر معماری‌های میان‌افزار اینترنت اشیا با تأکید بر ناهمگونی، قابلیت همکاری و امنیت

فرهنگ پدیداران مقدم

استادیار گروه کامپیوتر، مجتمع آموزش عالی فنی مهندسی اسفراین
padidaran@esfarayen.ac.ir

مصطفی ضیغمی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه غیردولتی اشراق بجنورد
mostafaZeighami@outlook.com

چکیده

با گسترش روزافزون اینترنت اشیا و به‌کارگیری گسترده آن در حوزه‌هایی نظیر شهرهای هوشمند، سلامت، صنعت و محیط‌زیست، چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت دستگاه‌ها، یکپارچه‌سازی داده‌ها، قابلیت همکاری و امنیت به‌وجود آمده است. ناهمگونی ذاتی تجهیزات، پروتکل‌ها و قالب‌های داده در سامانه‌های اینترنت اشیا، طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های مقیاس‌پذیر و ایمن را با پیچیدگی‌های فراوانی مواجه کرده است. در این میان، میان‌افزار اینترنت اشیا به‌عنوان یک لایه واسطه حیاتی، نقش کلیدی در تسهیل ارتباط میان لایه فیزیکی و لایه کاربردی ایفا می‌کند و بستری برای مدیریت دستگاه‌ها، پردازش داده‌ها و ارائه خدمات فراهم می‌سازد. این مقاله با هدف ارائه یک مرور جامع بر معماری‌های میان‌افزار اینترنت اشیا، تمرکز خود را بر سه چالش اساسی شامل ناهمگونی، قابلیت همکاری و امنیت قرار داده است. ابتدا مفاهیم پایه و معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا تشریح شده و سپس رویکردهای مختلف معماری مورد استفاده در این حوزه بررسی می‌شوند. در ادامه، مقالات منتخب بر اساس میزان پوشش‌دهی این چالش‌ها مورد تحلیل تطبیقی قرار گرفته و راهکارهای ارائه‌شده برای مدیریت ناهمگونی سخت‌افزاری، پروتکلی و داده‌ای ارزیابی می‌گردند. همچنین نقش فناوری‌هایی نظیر معماری مبتنی بر سرویس، پلتفرم‌های چارچوب‌محور و رویکردهای معناگرا در ارتقای قابلیت همکاری میان سامانه‌های اینترنت اشیا مورد توجه قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، با توجه به حساسیت داده‌ها و گستردگی سطح حمله در این سامانه‌ها، چالش‌های امنیتی مرتبط با میان‌افزار اینترنت اشیا و میزان توجه معماری‌های موجود به امنیت لایه‌ای و انتهابه‌انتهای مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اگرچه بسیاری از معماری‌های میان‌افزار توانسته‌اند بخشی از مشکلات ناهمگونی و تعامل‌پذیری را کاهش دهند، اما همچنان خلأهایی جدی در زمینه یکپارچگی امنیت، استانداردسازی و مقیاس‌پذیری وجود دارد. در نهایت، این مقاله با شناسایی چالش‌های باز و مسیرهای پژوهشی آینده، چارچوبی تحلیلی برای طراحی و توسعه میان‌افزارهای کارآمدتر، امن‌تر و سازگارتر با نیازهای روبه‌رشد اینترنت اشیا ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: میان‌افزار اینترنت اشیا، معماری میان‌افزار، ناهمگونی، قابلیت همکاری، امنیت

مقدمه

اینترنت اشیا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارادایم‌های فناوری نوین، با هدف اتصال اشیای فیزیکی به فضای دیجیتال و امکان تبادل داده میان آن‌ها شکل گرفته است و امروزه در حوزه‌های متنوعی نظیر شهرهای هوشمند، سلامت الکترونیکی، صنعت هوشمند و پایش محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. با وجود مزایای قابل توجه این فناوری، ماهیت ناهمگون سامانه‌های اینترنت اشیا از نظر نوع دستگاه‌ها، پروتکل‌های ارتباطی، قالب‌های داده و الزامات کاربردی، طراحی و پیاده‌سازی این سامانه‌ها را با چالش‌های جدی مواجه ساخته است. دستگاه‌های اینترنت اشیا غالباً دارای منابع محدود پردازشی و ذخیره‌سازی هستند و از فناوری‌های ارتباطی متنوعی بهره می‌برند که همین امر مدیریت، یکپارچه‌سازی و تعامل‌پذیری میان آن‌ها را پیچیده می‌کند.

در این میان، میان‌افزار اینترنت اشیا به‌عنوان یک لایه نرم‌افزاری واسط میان لایه فیزیکی و لایه کاربردی، نقش اساسی در کاهش پیچیدگی‌های ذاتی این سامانه‌ها ایفا می‌کند [۱]. میان‌افزار با فراهم‌سازی قابلیت‌هایی نظیر مدیریت دستگاه‌ها، یکپارچه‌سازی داده‌ها، ترجمه پروتکل‌ها و ارائه رابط‌های استاندارد، بستری مناسب برای توسعه و اجرای کاربردهای اینترنت اشیا فراهم می‌سازد. به عبارت دیگر، میان‌افزار تلاش می‌کند تا ناهمگونی موجود در سطح سخت‌افزار و شبکه را از دید توسعه‌دهندگان و کاربران نهایی پنهان کرده و امکان تعامل یکنواخت با سامانه را فراهم آورد.

یکی از چالش‌های بنیادین در طراحی میان‌افزارهای اینترنت اشیا، ناهمگونی است که در سطوح مختلفی از جمله سخت‌افزاری، ارتباطی و داده‌ای بروز می‌یابد. تنوع گسترده سنسورها، عملگرها و پروتکل‌های ارتباطی موجب شده است که دستیابی به یک چارچوب یکپارچه و انعطاف‌پذیر به مسئله‌ای پیچیده تبدیل شود. در کنار ناهمگونی، قابلیت همکاری میان سامانه‌ها و پلتفرم‌های مختلف اینترنت اشیا نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا بسیاری از کاربردهای نوین نیازمند تبادل داده و تعامل میان سامانه‌های مستقل و ناهمگون هستند. فقدان استانداردهای مشترک و رویکردهای سازگار، این تعامل‌پذیری را با محدودیت مواجه می‌سازد. از سوی دیگر، امنیت به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین الزامات سامانه‌های اینترنت اشیا مطرح است. گستردگی سطح حمله، محدودیت منابع دستگاه‌ها و ماهیت توزیع‌شده این سامانه‌ها، پیاده‌سازی سازوکارهای امنیتی جامع را دشوار کرده است. میان‌افزار اینترنت اشیا می‌تواند نقشی کلیدی در پیاده‌سازی سیاست‌های امنیتی، حفاظت از داده‌ها و کنترل دسترسی ایفا کند، اما بسیاری از معماری‌های موجود تنها به‌صورت جزئی به این موضوع پرداخته‌اند.

با توجه به اهمیت این چالش‌ها، در سال‌های اخیر معماری‌ها و رویکردهای متنوعی برای طراحی میان‌افزار اینترنت اشیا پیشنهاد شده است که هر یک تلاش کرده‌اند بخشی از مشکلات ناهمگونی، تعامل‌پذیری و امنیت را برطرف سازند. با این حال، تنوع این رویکردها و تمرکز متفاوت آن‌ها، ضرورت انجام یک بررسی و تحلیل جامع را برجسته می‌سازد. از این‌رو، این مقاله با هدف مرور و تحلیل معماری‌های میان‌افزار اینترنت اشیا، تمرکز خود را بر سه محور اساسی ناهمگونی، قابلیت همکاری و امنیت قرار داده و تلاش می‌کند با ارائه یک چارچوب تحلیلی منسجم، دیدگاهی ساخت‌یافته برای بررسی و مقایسه پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه فراهم آورد. این رویکرد زمینه‌ساز شناسایی خلأهای موجود و ترسیم مسیرهای پژوهشی آینده در طراحی میان‌افزارهای کارآمدتر برای اینترنت اشیا خواهد بود.

۱- معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

۱-۱- چارچوب مفهومی معماری میان‌افزار اینترنت اشیا

معماری میان‌افزار اینترنت اشیا بر پایه ارائه یک دید کلان و ساخت‌یافته از اجزای اصلی سامانه‌های IoT شکل گرفته است. این چارچوب مفهومی تلاش می‌کند نقش میان‌افزار را به‌عنوان هسته مرکزی در مدیریت ناهمگونی، تسهیل تعامل‌پذیری و پشتیبانی از الزامات امنیتی تبیین کند. در این معماری، میان‌افزار نه‌تنها به‌عنوان یک لایه فنی، بلکه به‌عنوان عنصر هماهنگ‌کننده میان لایه‌های مختلف سامانه در نظر گرفته می‌شود [1].

۱-۲- تعریف میان‌افزار اینترنت اشیا

میان‌افزار اینترنت اشیا به‌عنوان یک لایه نرم‌افزاری واسط میان لایه فیزیکی شامل دستگاه‌ها و حسگرها و لایه کاربردی تعریف می‌شود که وظیفه آن مدیریت پیچیدگی‌های ارتباطی، یکپارچه‌سازی داده‌ها و فراهم‌سازی رابط‌های استاندارد برای توسعه کاربردها است. این لایه با پنهان‌سازی جزئیات ناهمگون سخت‌افزاری و ارتباطی، امکان تعامل یکنواخت با سامانه را برای توسعه‌دهندگان و کاربران نهایی فراهم می‌سازد [1].

۱-۳- ساختار لایه‌ای معماری میان‌افزار اینترنت اشیا

معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا معمولاً بر یک ساختار لایه‌ای استوار است که شامل سه لایه اصلی می‌باشد: لایه اتصال، لایه میان‌افزار و لایه کاربردی. لایه اتصال شامل دستگاه‌ها، حسگرها و پروتکل‌های ارتباطی متنوع است و منشأ اصلی ناهمگونی در سامانه محسوب می‌شود. لایه میان‌افزار به‌عنوان هسته سامانه، مسئول مدیریت دستگاه‌ها، پردازش داده‌ها، ترجمه پروتکل‌ها و اعمال سیاست‌های امنیتی است. لایه کاربردی نیز شامل سرویس‌ها و برنامه‌هایی است که از داده‌ها و قابلیت‌های سامانه بهره‌برداری می‌کنند [1].

۱-۴- بلوک‌های کلیدی در معماری میان‌افزار

در چارچوب معماری میان‌افزار اینترنت اشیا، مجموعه‌ای از بلوک‌های کلیدی قابل شناسایی است که هر یک وظیفه‌ای مشخص بر عهده دارند. این بلوک‌ها شامل مدیریت اتصال و نرمال‌سازی داده‌ها، مدیریت دستگاه‌ها، پردازش و مدیریت رویدادها، ذخیره‌سازی داده، رابط‌های خارجی و ابزارهای توسعه کاربرد، تحلیل داده و مصورسازی و همچنین مکانیزم‌های امنیتی هستند. تعامل هماهنگ این بلوک‌ها زمینه‌ساز پیاده‌سازی یک میان‌افزار منعطف و مقیاس‌پذیر می‌شود [1].

۱-۵- ناهمگونی، تعامل‌پذیری و امنیت در معماری میان‌افزار

در معماری میان‌افزار اینترنت اشیا، ناهمگونی به‌عنوان یک ویژگی ذاتی سامانه‌ها شناخته می‌شود که مدیریت آن عمدتاً در لایه میان‌افزار انجام می‌گیرد. تعامل‌پذیری نیز به توانایی سامانه در برقراری ارتباط میان اجزای ناهمگون و تعامل با سامانه‌های خارجی اشاره دارد. امنیت، در کنار این دو مؤلفه، به‌عنوان یکی از الزامات اساسی معماری مطرح است و باید در تمامی لایه‌های سامانه مورد توجه قرار گیرد، هرچند در بسیاری از پیاده‌سازی‌های موجود، این مؤلفه به‌صورت کامل و یکپارچه محقق نشده است.

۱-۶- نقش معماری مرجع در تحلیل و مقایسه پژوهش‌ها

چارچوب معماری میان‌افزار اینترنت اشیا، به‌عنوان یک مبنای تحلیلی، امکان بررسی و مقایسه رویکردهای مختلف ارائه‌شده در پژوهش‌های پیشین را فراهم می‌سازد. در این پژوهش، مطالعات منتخب [۷-۲] بر اساس میزان پوشش بلوک‌های کلیدی، نحوه مواجهه با ناهمگونی، سطح تعامل‌پذیری و توجه به الزامات امنیتی، در نسبت با این معماری مرجع مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. چنین رویکردی زمینه‌ساز یک مقایسه ساخت‌یافته و منسجم میان معماری‌های مختلف میان‌افزار اینترنت اشیا می‌شود.

۲- مروری بر فناوری‌های میان‌افزار برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم در مسیر اینترنت اشیا

۲-۱- جایگاه میان‌افزار در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

این مقاله [2] میان‌افزار را به‌عنوان لایه‌ای واسط میان گره‌های حسگر و لایه کاربردی معرفی می‌کند که وظیفه آن پنهان‌سازی پیچیدگی‌های ارتباطی و سیستمی است. با توجه به محدودیت‌های شدید منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، نویسندگان تأکید می‌کنند که میان‌افزار باید سبک، تطبیق‌پذیر و قادر به مدیریت منابع باشد. در این چارچوب، شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌عنوان یکی از ارکان اصلی اینترنت اشیا در نظر گرفته شده و نقش میان‌افزار در تسهیل ادغام آن‌ها با سامانه‌های گسترده‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد.

۲-۲- رویکردهای معماری و طبقه‌بندی میان‌افزار

یکی از بخش‌های محوری این مقاله [2]، ارائه یک طبقه‌بندی مفهومی از میان‌افزارهای شبکه‌های حسگر بی‌سیم است. در این طبقه‌بندی، رویکردهای مبتنی بر داده، رویداد، سرویس و مجازی‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند. این دسته‌بندی نشان می‌دهد که هر رویکرد تلاش می‌کند بخشی از پیچیدگی‌های مدیریت شبکه، پردازش داده و تعامل با کاربردها را کاهش دهد، اما هیچ‌یک به‌تنهایی پاسخگوی تمام نیازهای اینترنت اشیا نیست.

۲-۳- چالش ناهمگونی و تعامل‌پذیری

این مقاله [2] ناهمگونی را یکی از چالش‌های اساسی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و ادغام آن‌ها با اینترنت اشیا می‌داند. این ناهمگونی در سطوح مختلفی از جمله سخت‌افزار حسگرها، پروتکل‌های ارتباطی و قالب‌های داده مشاهده می‌شود. نویسندگان نشان می‌دهند که بسیاری از میان‌افزارهای بررسی‌شده تنها بر یک یا دو سطح از این ناهمگونی تمرکز دارند و در ایجاد تعامل‌پذیری گسترده میان سامانه‌های ناهمگون با محدودیت مواجه‌اند. از این منظر، تعامل‌پذیری بیشتر به‌صورت محلی و محدود تحقق یافته است.

۲-۴- تحلیل انتقادی در نسبت با معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

در مقایسه با معماری مرجع ارائه‌شده در مقاله [1]، این مقاله [2] دیدی جزئی‌نگر و متمرکز بر لایه پایین سامانه ارائه می‌دهد. تمرکز اصلی آن بر شبکه‌های حسگر بی‌سیم است و کمتر به تعامل با لایه‌های بالاتر، نظیر کاربردها و پلتفرم‌های ابری، پرداخته می‌شود. همچنین، امنیت بیشتر به‌عنوان یک چالش مطرح شده و راهکار جامعی برای پیاده‌سازی امنیت یکپارچه ارائه نمی‌گردد. از این رو، این مقاله را می‌توان مکملی برای مقاله [1] دانست که نقاط ضعف و محدودیت‌های عملی در سطح شبکه‌های حسگر را برجسته می‌سازد.

۳- تحلیل تطبیقی پلتفرم‌های میان‌افزار اینترنت اشیا

۳-۱- تمرکز معماری محور در پلتفرم‌های میان‌افزار

این مقاله [3] میان‌افزار اینترنت اشیا را در قالب پلتفرم‌های عملیاتی مورد بررسی قرار می‌دهد و تمرکز آن بر تحلیل معماری سامانه‌هایی است که در محیط‌های واقعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برخلاف رویکردهای مفهومی یا نظری، نویسندگان با تمرکز بر ساختار درونی پلتفرم‌ها، نحوه تعامل اجزای مختلف سامانه شامل مدیریت دستگاه، مدیریت داده و لایه‌های ارتباطی را بررسی می‌کنند. این نگاه معماری محور امکان ارزیابی قابلیت‌های واقعی میان‌افزارها در مقیاس عملیاتی را فراهم می‌سازد.

۳-۲- مقایسه قابلیت‌های کلیدی پلتفرم‌های میان‌افزار

در این مقاله [3]، چندین پلتفرم شناخته‌شده میان‌افزار اینترنت اشیا مورد مقایسه قرار می‌گیرند. معیارهای مقایسه شامل پشتیبانی از پروتکل‌های ارتباطی، مدیریت اتصال دستگاه‌ها، قابلیت یکپارچه‌سازی داده‌ها و سطح تعامل با لایه کاربردی است. نتایج

این مقایسه نشان می‌دهد که هر پلتفرم با توجه به هدف طراحی خود، بر مجموعه‌ای خاص از قابلیت‌ها تمرکز دارد و هیچ‌یک راه‌حلی جامع برای پوشش تمامی نیازهای اینترنت اشیا ارائه نمی‌دهد. این موضوع بیانگر نبود یک استاندارد غالب و یکپارچه در طراحی میان‌افزارهای اینترنت اشیا است.

۳-۳- بررسی ناهمگونی و قابلیت همکاری در سطح پلتفرم

در این مقاله [۳] ناهمگونی بیشتر در قالب تفاوت میان پلتفرم‌ها و نحوه تعامل آن‌ها با دستگاه‌ها و کاربردهای مختلف مطرح می‌شود. نویسندگان نشان می‌دهند که اگرچه برخی پلتفرم‌ها امکان پشتیبانی از چندین پروتکل و فناوری ارتباطی را فراهم کرده‌اند، اما تعامل‌پذیری میان پلتفرم‌های مختلف همچنان محدود است. قابلیت همکاری عمده‌تر درون پلتفرمی محقق شده و تبادل داده و سرویس میان سامانه‌های ناهمگون به صورت کامل پشتیبانی نمی‌شود. این مسئله به عنوان یکی از موانع اصلی توسعه اکوسیستم‌های باز اینترنت اشیا مطرح می‌گردد.

۳-۴- جایگاه امنیت در پلتفرم‌های بررسی شده

در این مقاله [۳] امنیت به عنوان یکی از معیارهای مقایسه مطرح می‌شود، اما تحلیل آن در سطح کلی باقی می‌ماند. پلتفرم‌ها از نظر مکانیزم‌های پایه‌ای نظیر احراز هویت، کنترل دسترسی و حفاظت از داده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، با این حال، امنیت به صورت یکپارچه و لایه‌ای در معماری میان‌افزارها نهادینه نشده است. این موضوع نشان می‌دهد که امنیت بیشتر به عنوان یک قابلیت افزوده در نظر گرفته شده تا یک جزء بنیادین از طراحی معماری.

۳-۵- تحلیل مقاله در نسبت با معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

در مقایسه با مقاله [۱]، این مقاله [۳] تمرکز خود را از ارائه چارچوب مفهومی به سمت بررسی عملی پلتفرم‌های موجود سوق می‌دهد. در حالی که مقاله [1] به تعریف اجزای اساسی و بلوک‌های کلیدی میان‌افزار می‌پردازد، این مقاله نشان می‌دهد که در پیاده‌سازی‌های واقعی، بسیاری از این اجزا به صورت ناقص یا پراکنده پیاده‌سازی شده‌اند. از این منظر، مقاله حاضر شکاف میان معماری‌های نظری و پلتفرم‌های عملیاتی را برجسته می‌سازد و نقش مکملی در ارزیابی واقع‌گرایانه میان‌افزارهای اینترنت اشیا ایفا می‌کند.

۴- معماری میان‌افزار مبتنی بر سرویس برای مدیریت ناهمگونی در اینترنت اشیا

۴-۱- رویکرد معماری مبتنی بر سرویس در میان‌افزار اینترنت اشیا

این مقاله [۴] معماری میان‌افزار اینترنت اشیا را بر پایه معماری سرویس‌گرا ارائه می‌دهد و هدف اصلی آن کاهش پیچیدگی ناشی از ناهمگونی در سامانه‌های اینترنت اشیا است. در این رویکرد، قابلیت‌های دستگاه‌ها و منابع شبکه‌ای به صورت سرویس‌های مستقل مدل‌سازی می‌شوند و از طریق رابط‌های استاندارد در اختیار لایه‌های بالاتر قرار می‌گیرند. چنین معماری‌ای تلاش می‌کند وابستگی مستقیم میان کاربردها و جزئیات پیاده‌سازی سخت‌افزار را کاهش داده و انعطاف‌پذیری سامانه را افزایش دهد. به طور کلی، معماری پیشنهادی شامل لایه‌ای برای انتزاع دستگاه‌ها، یک لایه سرویس‌گرا برای ارائه قابلیت‌ها و رابط‌هایی استاندارد برای تعامل با لایه کاربردی است.

۴-۲- مدیریت ناهمگونی در سطوح مختلف سامانه

تمرکز اصلی این مقاله [۴] بر مسئله ناهمگونی است که در سطوح مختلفی از جمله نوع دستگاه‌ها، فناوری‌های ارتباطی و سیستم‌عامل‌های مورد استفاده بروز می‌یابد. نویسندگان با استفاده از معماری سرویس‌گرا، این ناهمگونی را از طریق انتزاع سرویس‌ها و استفاده از رابط‌های یکنواخت مدیریت می‌کنند. در این چارچوب، تفاوت‌های سخت‌افزاری و ارتباطی در لایه‌های پایین پنهان شده و تعامل با سامانه از طریق سرویس‌های همگن انجام می‌گیرد. این رویکرد امکان توسعه و افزودن دستگاه‌های جدید را بدون تغییر

اساسی در لایه کاربردی فراهم می‌سازد.

۳-۴- قابلیت همکاری و یکپارچه‌سازی سرویس‌ها

در این مقاله [۴]، قابلیت همکاری عمدتاً در قالب تعامل میان سرویس‌ها تعریف می‌شود. معماری پیشنهادی تلاش می‌کند با تکیه بر سرویس‌های وب و رابط‌های مبتنی بر REST، امکان برقراری ارتباط میان اجزای ناهمگون سامانه را فراهم آورد. با این حال، تعامل‌پذیری ارائه‌شده بیشتر درون چارچوب میان‌افزار تحقق می‌یابد و ارتباط با پلتفرم‌های خارجی یا سامانه‌های مستقل دیگر به‌صورت محدود مورد توجه قرار گرفته است. از این منظر، قابلیت همکاری در سطح محلی تقویت شده، اما تعامل‌پذیری گسترده بین‌سامانه‌ای همچنان چالش برانگیز باقی می‌ماند.

۴-۴- جایگاه امنیت در معماری پیشنهادی

در این مقاله [۴] امنیت به‌عنوان یکی از الزامات معماری میان‌افزار مطرح می‌شود، اما تمرکز اصلی آن بر مدیریت ناهمگونی باقی می‌ماند. مکانیزم‌های امنیتی نظیر کنترل دسترسی و مدیریت ارتباطات امن به‌صورت کلی مورد اشاره قرار گرفته‌اند، با این حال، یک چارچوب امنیتی یکپارچه و لایه‌ای در معماری ارائه نشده است. این موضوع نشان می‌دهد که امنیت بیشتر به‌عنوان یک قابلیت تکمیلی در نظر گرفته شده و نه یک مؤلفه بنیادین در طراحی معماری.

۵-۴- تحلیل مقاله در نسبت با معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

در مقایسه با معماری مرجع ارائه‌شده در مقاله [۱]، این مقاله [۴] تمرکز خود را بر یکی از چالش‌های کلیدی، یعنی ناهمگونی، محدود کرده و راهکاری معماری محور برای آن پیشنهاد می‌دهد. در حالی که مقاله [1] مجموعه‌ای از بلوک‌های کلیدی میان‌افزار را در سطح کلان معرفی می‌کند، این مقاله نشان می‌دهد که معماری سرویس‌گرا می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای عملی برای پیاده‌سازی این بلوک‌ها مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، عدم توجه کافی به امنیت یکپارچه و تعامل‌پذیری بین‌پلتفرمی، این معماری را به راهکاری مکمل و نه جامع تبدیل می‌کند.

۵- میان‌افزار In.IoT: یک معماری نوین برای مدیریت و یکپارچه‌سازی سامانه‌های اینترنت اشیا

۱-۱- ایده محوری و رویکرد طراحی میان‌افزار In.IoT

در این مقاله [۵]، یک میان‌افزار جدید با عنوان In.IoT معرفی می‌شود که هدف اصلی آن ارائه بستری یکپارچه برای مدیریت دستگاه‌ها، داده‌ها و سرویس‌ها در سامانه‌های اینترنت اشیا است. رویکرد طراحی In.IoT بر ارائه یک لایه میانی منعطف متمرکز است که بتواند میان محیط‌های ناهمگون فیزیکی و لایه‌های کاربردی ارتباطی پایدار و ساخت‌یافته برقرار کند. برخلاف برخی معماری‌های کلاسیک که تنها بر یک جنبه خاص تمرکز دارند، In.IoT تلاش می‌کند چندین نیاز اساسی سامانه‌های IoT را به‌صورت هم‌زمان پوشش دهد.

۲-۲- معماری لایه‌ای و اجزای اصلی In.IoT

معماری پیشنهادی In.IoT به‌صورت لایه‌ای طراحی شده است و شامل اجزایی برای مدیریت ارتباطات، پردازش داده و تعامل با کاربردها می‌باشد. این معماری تلاش می‌کند جداسازی مناسبی میان لایه‌های مختلف ایجاد کند تا تغییرات در یک لایه، کمترین تأثیر را بر سایر بخش‌ها داشته باشد. چنین ساختاری امکان توسعه‌پذیری و نگهداشت آسان‌تر سامانه را فراهم می‌سازد و In.IoT را به یک چارچوب قابل استفاده در سناریوهای متنوع اینترنت اشیا تبدیل می‌کند.

۳-۳- مواجهه با ناهمگونی و یکپارچه‌سازی داده

در In.IoT، ناهمگونی به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی اینترنت اشیا مورد توجه قرار گرفته است. این میان‌افزار با استفاده

از مکانیزم‌های انتزاع و یکپارچه‌سازی، تفاوت‌های موجود میان دستگاه‌ها و منابع داده را پنهان می‌کند. تمرکز اصلی بر فراهم‌سازی یک رابط یکنواخت برای تعامل با داده‌ها و سرویس‌ها است، به گونه‌ای که کاربردها بدون نیاز به آگاهی از جزئیات سخت‌افزاری یا پروتکلی بتوانند از قابلیت‌های سامانه استفاده کنند. با این حال، این یکپارچه‌سازی بیشتر در سطح ساختاری انجام می‌شود و به لایه‌های معنایی داده کمتر پرداخته شده است.

۴-۵- قابلیت همکاری و تعامل با لایه کاربردی

قابلیت همکاری در این مقاله [۵] عمدتاً در قالب تعامل میان میان‌افزار و کاربردها مطرح می‌شود. In.IoT با ارائه رابط‌های استاندارد، امکان دسترسی کاربردها به داده‌ها و سرویس‌های سامانه را فراهم می‌کند. این رویکرد موجب تسهیل توسعه کاربردهای اینترنت اشیا می‌شود، اما تعامل‌پذیری میان سامانه‌های مستقل یا پلتفرم‌های ناهمگون دیگر به صورت محدود مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، قابلیت همکاری بیشتر درون چارچوب In.IoT تحقق می‌یابد تا در سطح اکوسیستم‌های گسترده اینترنت اشیا.

۵-۵- جایگاه امنیت در معماری In.IoT

امنیت در معماری In.IoT به عنوان یکی از نیازهای سامانه مطرح شده، اما تمرکز این مقاله [۵] بیشتر بر جنبه‌های معماری و یکپارچه‌سازی است. مکانیزم‌های امنیتی به صورت کلی و در سطح مفهومی مطرح می‌شوند و جزئیات پیاده‌سازی یک چارچوب امنیتی جامع ارائه نمی‌گردد. این موضوع نشان می‌دهد که امنیت در In.IoT هنوز به عنوان یک مؤلفه تکمیلی تلقی شده و به طور کامل در تمامی لایه‌های معماری نهادینه نشده است.

۵-۶- تحلیل مقاله در نسبت با معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

در مقایسه با معماری مرجع مطرح شده در مقاله [۱۱]، In.IoT گامی فراتر از معماری‌های صرفاً مفهومی برداشته و یک چارچوب مشخص برای پیاده‌سازی میان‌افزار اینترنت اشیا ارائه می‌دهد. این مقاله [۵] برخی از بلوک‌های کلیدی معماری مرجع، نظیر مدیریت دستگاه و یکپارچه‌سازی داده، را به صورت عملی‌تر پوشش می‌دهد. با این حال، عدم تمرکز عمیق بر امنیت یکپارچه و تعامل‌پذیری بین پلتفرمی سبب می‌شود که In.IoT بیشتر به عنوان یک راهکار معماری مکمل و میان‌مرحله‌ای در مسیر تکامل میان‌افزارهای اینترنت اشیا در نظر گرفته شود.

۶- میان‌افزار اینترنت اشیا مبتنی بر گراف دانش برای رفع ناهمگونی و تعامل‌پذیری

۶-۱- تغییر رویکرد از معماری ساختاری به معماری معناگرا

این مقاله [۶] رویکردی متفاوت نسبت به مقالات پیشین اتخاذ می‌کند و به جای تمرکز بر معماری لایه‌ای یا سرویس‌گرا، مسئله اینترنت اشیا را از منظر معنا و دانش مورد بررسی قرار می‌دهد. ایده محوری مقاله بر این اساس استوار است که بخش قابل توجهی از مشکلات ناهمگونی و عدم تعامل‌پذیری، نه صرفاً ناشی از تفاوت‌های پروتکلی یا ساختاری، بلکه حاصل نبود درک مشترک معنایی میان سامانه‌ها است. از این رو، نویسندگان استفاده از گراف دانش را به عنوان هسته اصلی میان‌افزار پیشنهاد می‌دهند.

۶-۲- مدل‌سازی دانش و انتزاع دستگاه‌ها در قالب گراف

در معماری پیشنهادی، هر دستگاه اینترنت اشیا، قابلیت‌ها، داده‌ها و روابط آن با سایر اجزا در قالب یک گراف دانش مدل‌سازی می‌شود. این مدل‌سازی مبتنی بر مفاهیم هستی‌شناسی و روابط معنایی است که امکان نمایش یکنواخت اطلاعات دستگاه‌های ناهمگون را فراهم می‌سازد. با این رویکرد، تعامل با دستگاه‌ها به جای وابستگی به رابط‌ها و API‌های متنوع، از طریق پرس‌وجو و به روزرسانی دانش در گراف انجام می‌شود که سطح انتزاع بالاتری نسبت به معماری‌های متداول ارائه می‌دهد.

۶-۳- حل مسئله ناهمگونی و تعامل‌پذیری در سطح معنایی

تمرکز اصلی این مقاله [۶] بر حل ناهمگونی و تعامل‌پذیری در سطحی عمیق‌تر از مقالات پیشین است. ناهمگونی سخت‌افزاری،

ارتباطی و داده‌ای از طریق نگاشت دستگاه‌ها و داده‌ها به یک مدل دانش مشترک مدیریت می‌شود. بدین ترتیب، سامانه‌های مختلف بدون نیاز به آگاهی از جزئیات پیاده‌سازی یکدیگر قادر به تبادل اطلاعات و تعامل خواهند بود. این رویکرد، تعامل‌پذیری را از سطح محلی و درون‌پلتفرمی به سطحی میان‌سامانه‌ای و مفهومی ارتقا می‌دهد.

۴-۶- نقش لایه‌های میانی و کاهش شکاف ارتباطی

این مقاله [۶] با معرفی لایه‌های میانی اضافی در معماری میان‌افزار، تلاش می‌کند شکاف میان دستگاه‌های ساده با پروتکل‌های محدود و سامانه‌های پیشرفته اینترنت اشیا را کاهش دهد. این لایه‌ها نقش واسطی میان دنیای فیزیکی و لایه دانش ایفا می‌کنند و داده‌های خام را به مفاهیم قابل درک در گراف دانش تبدیل می‌نمایند. این سازوکار به‌ویژه در سناریوهایی با دستگاه‌های قدیمی یا کم‌منبع اهمیت می‌یابد.

۵-۶- جایگاه امنیت در میان‌افزار مبتنی بر گراف دانش

در این مقاله [۶] امنیت به‌صورت ضمنی و در قالب کنترل دسترسی و مدیریت دانش مطرح می‌شود. استفاده از مدل دانش متمرکز امکان اعمال سیاست‌های کنترلی مبتنی بر معنا را فراهم می‌سازد، اما تمرکز اصلی مقاله بر تعامل‌پذیری و ناهمگونی قرار داده شده است. در نتیجه، هرچند ظرفیت بالقوه‌ای برای پیاده‌سازی سیاست‌های امنیتی پیشرفته وجود دارد، اما یک چارچوب امنیتی جامع و لایه‌ای به‌صورت صریح ارائه نمی‌شود.

۶-۶- تحلیل مقاله در نسبت با معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

در مقایسه با معماری مرجع مطرح‌شده در مقاله [۱]، این مقاله [۶] گامی فراتر برداشته و برخی از بلوک‌های کلیدی میان‌افزار، به‌ویژه یکپارچه‌سازی و تعامل‌پذیری، را در سطح معنایی بازتعریف می‌کند. در حالی که مقاله [۱] تعامل‌پذیری را عمدتاً در سطح معماری و رابط‌ها بررسی می‌کند، این مقاله نشان می‌دهد که بدون یک مدل دانش مشترک، تعامل‌پذیری کامل قابل تحقق نیست. از این رو، این رویکرد را می‌توان پیشرفته‌ترین و آینده‌نگرانه‌ترین مسیر در تکامل معماری‌های میان‌افزار اینترنت اشیا دانست، هرچند پیچیدگی پیاده‌سازی و ملاحظات امنیتی آن نیازمند پژوهش‌های تکمیلی است.

۷- میان‌افزار مبتنی بر معماری سرویس‌گرا برای مدیریت ناهمگونی در اینترنت اشیا

۱-۷- نگاه عملیاتی به ناهمگونی در اینترنت اشیا

در این مقاله [۷]، ناهمگونی اینترنت اشیا نه به‌عنوان یک مسئله صرفاً معماری، بلکه به‌عنوان یک مشکل عملیاتی در محیط‌های واقعی مورد توجه قرار گرفته است. نویسندگان تأکید می‌کنند که بسیاری از سامانه‌های IoT به‌صورت عمودی و وابسته به فروشنده توسعه یافته‌اند و همین امر موجب تشدید ناهمگونی در سطح دستگاه‌ها، رابط‌ها و قالب‌های داده شده است. از این منظر، میان‌افزار باید بتواند نقش یک لایه تطبیق‌دهنده عملی را میان این اجزای ناهمگون ایفا کند.

۲-۷- معماری سرویس‌گرا و نقش گیت‌وی هوشمند

هسته اصلی راهکار پیشنهادی این مقاله [۷]، استفاده از معماری سرویس‌گرا به‌همراه یک گیت‌وی هوشمند است. در این معماری، دستگاه‌ها و منابع ناهمگون از طریق گیت‌وی به میان‌افزار متصل شده و قابلیت‌های آن‌ها در قالب سرویس‌های استاندارد ارائه می‌شود. گیت‌وی وظیفه مدیریت ارتباطات، تطبیق پروتکل‌ها و یکپارچه‌سازی داده‌ها را بر عهده دارد و میان‌افزار با تکیه بر سرویس‌های REST، دسترسی یکنواختی برای کاربردها فراهم می‌سازد. این رویکرد به‌طور خاص برای محیط‌هایی با تنوع بالای فناوری‌های ارتباطی طراحی شده است.

۳-۷- تعامل‌پذیری و محدودیت‌های یکپارچه‌سازی

قابلیت همکاری در این مقاله [۷] عمدتاً از طریق ارائه سرویس‌های وب و رابط‌های یکنواخت محقق می‌شود. تعامل‌پذیری میان

اجزای متصل به یک گیتوی به‌خوبی پشتیبانی می‌شود، اما این تعامل در سطح اکوسیستم‌های بزرگ‌تر اینترنت اشیا همچنان محدود باقی می‌ماند. در واقع، یکپارچه‌سازی ارائه‌شده بیشتر محلی و وابسته به گیتوی است و تعامل میان سامانه‌های مستقل یا پلتفرم‌های متفاوت به‌صورت بنیادین حل نمی‌شود.

۷-۴- جایگاه امنیت در راهکار پیشنهادی

امنیت در این مقاله [۷] به‌عنوان یکی از نیازهای سامانه مطرح می‌شود، اما تمرکز اصلی آن بر مسائل ارتباطی و ناهمگونی باقی می‌ماند. مکانیزم‌های امنیتی پایه نظیر کنترل دسترسی و ارتباط امن مورد اشاره قرار گرفته‌اند، با این حال، امنیت به‌صورت یکپارچه و در تمامی لایه‌های میان‌افزار نهادینه نشده است. این موضوع نشان می‌دهد که امنیت در این رویکرد بیشتر نقش پشتیبان دارد تا عنصر اصلی طراحی.

۷-۵- تحلیل مقاله در نسبت با معماری مرجع میان‌افزار اینترنت اشیا

در مقایسه با معماری مرجع مطرح‌شده در مقاله [۱]، این مقاله [۷] تمرکز خود را بر پیاده‌سازی عملی میان‌افزار در محیط‌های ناهمگون و مبتنی بر گیتوی قرار داده است. در حالی که مقاله [1] دیدی جامع و کلان نسبت به اجزای میان‌افزار ارائه می‌دهد، این مقاله نشان می‌دهد که در عمل، بسیاری از راهکارها به استفاده از گیتوی و معماری سرویس‌گرا محدود می‌شوند. از این‌رو، این مقاله را می‌توان به‌عنوان نمونه‌ای از راهکارهای عملی و قابل پیاده‌سازی دانست که اگرچه بخشی از چالش ناهمگونی را حل می‌کنند، اما از نظر تعامل‌پذیری گسترده و امنیت یکپارچه همچنان با محدودیت مواجه‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

مقاله منبع	مزایا	معایب
Middleware Architectures for IoT Enhancing... [1]	ارائه یک چارچوب معماری کلان و ساخت‌یافته برای میان‌افزار اینترنت اشیا؛ پوشش هم‌زمان مفاهیم ناهمگونی، تعامل‌پذیری و امنیت در سطح معماری؛ مناسب به‌عنوان مرجع مفهومی برای تحلیل و مقایسه معماری‌های مختلف	تمرکز عمدتاً مفهومی و عدم ارائه جزئیات پیاده‌سازی عملی؛ بررسی امنیت بیشتر در سطح الزامات و معماری و نه مکانیزم‌های اجرایی؛ فقدان ارزیابی تجربی یا مطالعه موردی عملی
Middleware Technologies for Smart Wireless... [2]	ارائه دید جامع و طبقه‌بندی‌شده از میان‌افزارهای WSN؛ تبیین چالش‌های ناشی از محدودیت منابع؛ مناسب برای ایجاد درک پایه از نقش میان‌افزار در گذار به IoT	تمرکز محدود بر لایه حسگر؛ عدم ارائه معماری جامع برای کل اکوسیستم IoT؛ بررسی سطحی امنیت و تعامل‌پذیری
A Comparative Analysis of Current IoT Middleware [3]	مقایسه عملی پلتفرم‌های واقعی IoT؛ شناسایی شکاف بین معماری‌های نظری و پیاده‌سازی‌های عملی؛ مناسب برای ارزیابی قابلیت‌های موجود	فقدان چارچوب مفهومی منسجم؛ تمرکز محدود بر تعامل‌پذیری بین پلتفرمی؛ امنیت به‌صورت افزوده و غیرلازم بررسی شده
A Middleware based on Service Oriented... [4]	استفاده از معماری سرویس‌گرا برای کاهش ناهمگونی؛ افزایش انعطاف‌پذیری و توسعه‌پذیری؛ انتزاع مناسب از جزئیات سخت‌افزاری	تعامل‌پذیری عمدتاً درون سامانه‌ای؛ وابستگی به معماری SOA کلاسیک؛ عدم ارائه چارچوب امنیتی یکپارچه
In.IoT – A New Middleware for IOT [5]	ارائه معماری مشخص و لایه‌ای؛ پوشش هم‌زمان مدیریت دستگاه و داده؛ مناسب برای پیاده‌سازی عملی	تمرکز محدود بر تعامل‌پذیری بین سامانه‌ها؛ یکپارچه‌سازی در سطح ساختاری نه معنایی؛ امنیت به‌صورت مفهومی مطرح شده
Knowledge-Graph-based IOT Middleware [6]	حل ریشه‌ای ناهمگونی و تعامل‌پذیری در سطح معنایی؛ استفاده از گراف دانش و هستی‌شناسی؛ مناسب برای اکوسیستم‌های باز و پیچیده	پیچیدگی بالای پیاده‌سازی؛ سربار پردازشی؛ نبود چارچوب امنیتی صریح و عملیاتی
A Middleware based on Service Oriented... [7]	نگاه عملی و مبتنی بر گیت‌وی؛ قابلیت پیاده‌سازی در محیط‌های واقعی؛ مدیریت مناسب ناهمگونی ارتباطی	وابستگی شدید به گیت‌وی؛ تعامل‌پذیری محدود به محیط محلی؛ مقیاس‌پذیری و امنیت یکپارچه به‌طور کامل پوشش داده نشده

جدول ۱: مقایسه مزایا و معایب معماری‌های میان‌افزار اینترنت اشیا

بررسی تطبیقی شش مقاله منتخب در حوزه میان‌افزار اینترنت اشیا نشان می‌دهد که پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه مسیری تکاملی را از راهکارهای ساده و لایه‌پایین به سمت معماری‌های پیچیده‌تر و انتزاعی‌تر طی کرده‌اند. مقالاتی که تمرکز آن‌ها بر شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مقایسه پلتفرم‌های عملیاتی است، عمدتاً بر مدیریت محدودیت منابع، پشتیبانی از پروتکل‌های متنوع و یکپارچه‌سازی اولیه داده‌ها تأکید دارند. این دسته از پژوهش‌ها اگرچه دید مناسبی از وضعیت موجود و چالش‌های عملی ارائه می‌دهند، اما در مواجهه با ناهمگونی گسترده و تعامل‌پذیری در مقیاس کلان اینترنت اشیا، راهکارهای محدودی ارائه می‌کنند.

در ادامه این مسیر، معماری‌های مبتنی بر سرویس به‌عنوان پاسخی ساختاری به مسئله ناهمگونی مطرح شده‌اند. این رویکردها با انتزاع قابلیت‌های دستگاه‌ها در قالب سرویس‌های استاندارد، توانسته‌اند وابستگی میان لایه کاربردی و جزئیات سخت‌افزاری را کاهش دهند و انعطاف‌پذیری سامانه را افزایش دهند. با این حال، تحلیل مقالات نشان می‌دهد که تعامل‌پذیری در این معماری‌ها عمدتاً به سطح درون‌سامانه‌ای محدود شده و ارتباط میان پلتفرم‌ها و اکوسیستم‌های مستقل اینترنت اشیا همچنان با چالش مواجه است. علاوه بر این، امنیت در اغلب این راهکارها به‌عنوان یک قابلیت تکمیلی در نظر گرفته شده و کمتر به‌صورت یک مؤلفه بنیادین و لایه‌ای در طراحی معماری نهادینه شده است.

معماری‌های پیشنهادی جدیدتر نظیر In.IoT [۵] تلاش کرده‌اند با ارائه ساختارهای لایه‌ای و چارچوب‌های مشخص، فاصله میان مدل‌های مفهومی و پیاده‌سازی‌های عملی را کاهش دهند. این رویکردها گامی رو به جلو در جهت پوشش هم‌زمان مدیریت دستگاه، داده و ارتباط با لایه کاربردی محسوب می‌شوند، اما همچنان در زمینه تعامل‌پذیری بین‌سامانه‌ای و یکپارچه‌سازی معنایی داده‌ها با محدودیت مواجه‌اند. در مقابل، میان‌افزارهای مبتنی بر گراف دانش [۶] رویکردی بنیادین‌تر اتخاذ کرده و مسئله ناهمگونی و تعامل‌پذیری را در سطح معنایی مورد توجه قرار داده‌اند. این رویکردها نشان می‌دهند که بدون وجود یک مدل دانش مشترک، دستیابی به تعامل‌پذیری واقعی در اکوسیستم‌های پیچیده اینترنت اشیا دشوار خواهد بود، هرچند پیچیدگی پیاده‌سازی و سربار پردازشی آن‌ها چالش‌های جدیدی ایجاد می‌کند.

در مجموع، نتایج این بررسی نشان می‌دهد که هیچ‌یک از معماری‌های میان‌افزار مورد مطالعه به‌تنهایی قادر به پاسخ‌گویی هم‌زمان به سه چالش اساسی ناهمگونی، قابلیت همکاری و امنیت نیستند. اغلب راهکارها بر یک یا دو جنبه تمرکز داشته و از ارائه یک چارچوب جامع و یکپارچه بازمانده‌اند. این امر بیانگر نیاز به معماری‌های میان‌افزار آینده‌نگر است که ضمن بهره‌گیری از رویکردهای ساختاری و معناگرا، امنیت را به‌عنوان یک مؤلفه ذاتی در تمامی لایه‌های سامانه در نظر بگیرند. از این منظر، نتایج این مقاله می‌تواند مبنایی برای پژوهش‌های آینده در جهت طراحی میان‌افزارهایی مقیاس‌پذیر، تعامل‌پذیر و امن‌تر برای اینترنت اشیا فراهم آورد.

منابع

- [1] Middleware Architectures for IoT Enhancing Security and Interoperability. (2019). *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. Vol. 10. No. 8. 3275–3290.
- [2] Middleware Technologies for Smart Wireless Sensor Networks towards Internet of Things: A Comparative Review. (2020). *Wireless Personal Communications*. Vol. 114. No. 4. 2941–2972.
- [3] A Comparative Analysis of Current IoT Middleware Platforms. (2021). *Proceedings of the 8th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*. 2021. 1–8.
- [4] A Middleware based on Service Oriented Architecture for Heterogeneity Issues within the Internet of Things (MSOAH-IoT). (2019). *Journal of Network and Computer Applications*. Vol. 135. 20–35.
- [5] In.IoT—A New Middleware for Internet of Things. (2021). *IEEE Internet of Things Journal*. Vol. 8. No. 10. 8139–8153.



<https://icaics.ir>
info@icaics.ir

اولین کنفرانس بین‌المللی هوش مصنوعی
و علوم کامپیوتری نو ظهور: از الگوریتم تا آینده‌نگری

**First International Conference on Artificial Intelligence
and Emerging Computer Science: From Algorithm to Foresight**

March 17, 2026-GEORGIA

۲۶ اسفند ماه ۱۴۰۴ - گرجستان

- [6] Knowledge-Graph-based Internet of Things Middleware. (2020). *IEEE Access*. Vol. 8. 149469–149486.
- [7] A Middleware based on Service Oriented Architecture for Heterogeneity. (2018). *International Journal of Distributed Sensor Networks*. Vol. 14. No. 6. 1–14.