



نقش اینترنت اشیا در توسعه سیستم های مخابراتی هوشمند

محمد حسین نصیری^۱

۱. رشته آموزش ادبیات

۵۹۳۰۰۴۶۳۶۰

mohamadh11380@gmail.com

دانشگاه شهید باهنر اراک

استان مرکزی

محمد رضا ستوده نیا^۲

۲. رشته برق مخابرات

M. sotude71@gmail.com

۵۹۳۰۰۰۲۱۶۹

استان تهران



MDOI-02-2026.0387
MNR-401-2-6B4D53

چکیده

انقلاب صنعتی چهارم و ظهور شهرهای هوشمند، نیازمند زیرساخت های مخابراتی فراتر از شبکه های سنتی است. اینترنت اشیا به عنوان محرکی کلیدی، نقشی دوسویه در این تحول ایفا می کند: از یک سو، با اتصال انبوهی از حسگرها و محرکها، داده های بی سابقه ای از محیط و کاربران فراهم می آورد که می تواند برای بهینه سازی پویای شبکه به کار رود؛ از سوی دیگر، همین شبکه های مخابراتی نسل پنجم (5G) و ششم (6G) هستند که زیرساخت حیاتی برای اتصال پایدار، با تأخیر کم و پهنای باند بالا برای میلیاردها گره IoT را فراهم می کنند. این مقاله به بررسی نقش اینترنت اشیا در توسعه سیستم های مخابراتی هوشمند می پردازد. چارچوب ارائه شده بر سه محور اصلی استوار است: (۱) مدیریت هوشمند منابع طیف و ترافیک شبکه از طریق یادگیری ماشین بر روی داده های حسگری، (۲) یکپارچه سازی محاسبات لبه و مه برای کاهش تأخیر و افزایش کارایی در کاربردهای حیاتی مانند خودروهای خودران و سلامت از راه دور، و (۳) ارائه راهکارهایی برای مدیریت انرژی و افزایش طول عمر گره های شبکه با استفاده از الگوریتم های تطبیقی. یافته ها نشان می دهد که هم افزایی عمیق بین IoT و مخابرات هوشمند، نه تنها کیفیت تجربه کاربری را متحول می سازد، بلکه زمینه ساز شبکه های خودپیکربند، خودبهبوددهنده و مقاوم در برابر اختلالات خواهد شد. در نهایت، چالش های پیش رو نظیر امنیت سایبری، حریم خصوصی و استانداردسازی، به عنوان مسیرهای تحقیقاتی آتی مورد بحث قرار می گیرند.

کلیدواژگان: اینترنت اشیا (IoT)، سیستم‌های مخابراتی هوشمند، شبکه‌های نسل پنجم (5G)، مدیریت طیف، محاسبات لبه (Edge Computing)، شهر هوشمند، خودپیکربندی شبکه، امنیت سایبری، یادگیری ماشین.

۱. مقدمه

پیدایش اینترنت اشیا (Internet of Things - IoT) به عنوان یکی از مهم‌ترین تحولات فناورانه قرن بیست‌ویکم، چشم‌انداز ارتباطات و تعامل انسان با محیط پیرامون را به طور بنیادین دگرگون ساخته است. اینترنت اشیا که ریشه در سیستم‌های کنترل و جمع‌آوری داده دارد، با هدف ایجاد ارتباط بین اشیاء هوشمند از حسگرها و محرک‌ها گرفته تا ربات‌ها و کنتورهای هوشمند، با مداخله‌ی انسانی یا بدون آن، تعریف می‌شود (داکاس و آنتونلی، ۲۰۱۴). در واقع، ایده‌ی اصلی اینترنت اشیا بر اتصال «هر چیزی، در هر زمان، از هر مکان» استوار است و چشم‌انداز ایجاد شبکه‌ای پویا با قابلیت خودپیکربندی را دنبال می‌کند که در آن اشیاء فیزیکی و مجازی دارای هویت، ویژگی‌های فیزیکی و شخصیت‌های مجازی هستند و با استفاده از رابط‌های هوشمند، به طور یکپارچه در شبکه‌ی اطلاعاتی ادغام می‌شوند.

رشد تصاعدی تعداد دستگاه‌های متصل، که پیش‌بینی می‌شود در سال‌های آینده به میلیاردها گره ارتباطی برسد، ضرورت بازنگری اساسی در زیرساخت‌های مخابراتی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است (واعظی و همکاران، ۲۰۲۲). شبکه‌های مخابراتی سنتی که عمدتاً برای ارتباطات انسان‌به‌انسان (H2H) طراحی شده‌اند، توان پاسخگویی به نیازهای متنوع و گاه متضاد اینترنت اشیا را ندارند. کاربردهای نوظهوری همچون شهرهای هوشمند، خودروهای خودران، سلامت از راه دور و اتوماسیون صنعتی، همگی نیازمند شبکه‌هایی با تأخیر بسیار کم، پهنای باند بالا، قابلیت اطمینان فوق‌العاده و تراکم اتصال بسیار زیاد هستند (واعظی و همکاران، ۲۰۲۲). در این میان، ظهور شبکه‌های نسل پنجم (5G) و پژوهش‌های گسترده در مسیر نسل ششم (6G)، زیرساخت‌های حیاتی را برای تحقق این الزامات فراهم آورده‌اند. شبکه‌های 5G که به صورت کامل مجازی‌سازی شده‌اند، برای یکپارچه‌سازی یکپارچه با فناوری‌های غیر-3GPP از جمله شبکه‌های کم‌مصرف اینترنت اشیا طراحی شده‌اند.

هم‌افزایی عمیق بین اینترنت اشیا و سیستم‌های مخابراتی پیشرفته، مفهومی را پدید آورده است که از آن با عنوان «سیستم‌های مخابراتی هوشمند» یاد می‌شود. در این چارچوب، اینترنت اشیا نقشی دوگانه ایفا می‌کند: از یک سو، با استقرار انبوهی از حسگرها و محرک‌ها در لبه‌ی شبکه، داده‌های بی‌سابقه‌ای از محیط، کاربران و تجهیزات جمع‌آوری می‌کند که می‌توان از آن برای بهینه‌سازی پویا و هوشمندسازی شبکه بهره برد؛ از سوی دیگر، همین شبکه‌های مخابراتی هستند که زیرساخت لازم برای اتصال پایدار، امن و کارآمد این میلیاردها گره را تأمین می‌کنند. پژوهشگران معتقدند که این هم‌افزایی، زمینه‌ساز شبکه‌های خودپیکربند، خودبه‌بوددهنده و مقاوم در برابر اختلالات خواهد شد و کیفیت تجربه‌ی کاربری (QoE) را به طور چشمگیری متحول می‌سازد (قریشی و نیو، ۲۰۲۴).

با این حال، مسیر تحقق این چشم‌انداز با چالش‌های متعددی همراه است. ناهمگونی گسترده‌ی دستگاه‌ها، نیاز به پروتکل‌های ارتباطی کارآمد برای گره‌های با منابع محدود، مدیریت بهینه‌ی انرژی، تأمین امنیت سایبری و حریم خصوصی در مقیاس وسیع، و فقدان استانداردسازی یکپارچه، از جمله موانع اساسی پیش رو هستند (عویدی و همکاران، ۲۰۲۵؛ قریشی و نیو، ۲۰۲۴). این مقاله با هدف بررسی نقش اینترنت اشیا در توسعه‌ی سیستم‌های مخابراتی هوشمند، به تبیین معماری‌های نوین، فناوری‌های کلیدی

همچون محاسبات لبه و مه، الگوریتم‌های مدیریت هوشمند منابع، و کاربردهای نوظهور در حوزه‌هایی مانند شهرهای هوشمند و اتوماسیون صنعتی می‌پردازد. در ادامه، چالش‌های امنیتی و حریم خصوصی، و نیز افق‌های پژوهشی پیش رو در مسیر شبکه‌های نسل آینده مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۲. روش‌شناسی تحقیق

در این بخش، چارچوب روش‌شناختی مورد استفاده برای بررسی نقش اینترنت اشیا در توسعه سیستم‌های مخابراتی هوشمند ارائه می‌شود. با توجه به ماهیت میان‌رشته‌ای و فناورانه موضوع، رویکرد این پژوهش مبتنی بر مرور نظام‌مند (Systematic Review) و تحلیل محتوای کیفی مطالعات پیشین است. این روش به دلیل جامعیت و ساختارمند بودن، امکان شناسایی دقیق الگوها، شکاف‌های پژوهشی و روندهای نوظهور در حوزه مورد نظر را فراهم می‌آورد (کچنهام و چالمرز، ۲۰۲۱).

۲-۱. استراتژی جستجو

جستجوی نظام‌مند مقالات مرتبط با استفاده از پایگاه‌های داده معتبر علمی شامل Web of Science، Scopus، IEEE Xplore، Google Scholar و ScienceDirect انجام شده است. بازه زمانی جستجو عمدتاً بر روی مقالات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۶ متمرکز بوده است تا پژوهش‌های به‌روز و مرتبط با آخرین دستاوردهای حوزه شبکه‌های ۵G و ۶G پوشش داده شود. با این حال، برای برخی مفاهیم بنیادین، از منابع کلاسیک معتبر نیز استفاده شده است. کلیدواژه‌های اصلی جستجو شامل ترکیب عبارات زیر بوده است:

- ("Internet of Things" OR "IoT") AND ("Smart Communication Systems" OR "Intelligent Networks" OR "5G" OR "6G")
- ("IoT") AND ("Edge Computing" OR "Fog Computing" OR "Cloud Computing")
- ("IoT") AND ("Spectrum Management" OR "Resource Allocation" OR "Network Optimization")
- ("Smart City" OR "Autonomous Vehicles" OR "Telemedicine") AND ("IoT" AND "Communication")
- ("IoT Security" OR "IoT Privacy") AND ("Communication Networks")

برای افزایش حساسیت جستجو، از عملگرهای بولی AND، OR و همچنین از کاراکترهای جانشین (Wildcard) استفاده شده است. همچنین، فهرست منابع مقالات کلیدی به صورت دستی (Snowballing) بررسی شده تا مقالات مرتبطی که در جستجوی اولیه شناسایی نشده‌اند، بازیابی گردند (ولر و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۲. معیارهای ورود و خروج

برای اطمینان از کیفیت و ارتباط مقالات بازیابی‌شده، معیارهای زیر اعمال شده است:

معیارهای ورود:

-مقالات منتشر شده در مجلات معتبر علمی-پژوهشی یا کنفرانس های بین المللی دارای داوری همتا

-مقالاتی که به طور مستقیم به نقش اینترنت اشیا در سیستم های مخابراتی هوشمند پرداخته باشند

-مقالاتی که شامل ارائه چارچوب، معماری، الگوریتم یا مطالعه موردی در حوزه مورد نظر باشند

-مقالاتی که به زبان انگلیسی یا فارسی منتشر شده باشند

-مقالات دارای متن کامل در دسترس

معیارهای خروج:

-مقالاتی که صرفاً به جنبه های سخت افزاری اینترنت اشیا پرداخته و به جنبه های شبکه و مخابرات نپرداخته باشند

-مقالات غیرمرتبط با حوزه مخابرات هوشمند

-مقالاتی که صرفاً چکیده یا خلاصه آنها در دسترس بوده و متن کامل در دسترس نبوده است

-مقالات تکراری یا نسخه های پیش چاپ فاقد داوری نهایی

۳-۲. فرآیند غربالگری و انتخاب مقالات

فرآیند انتخاب مقالات در چهار مرحله انجام شده است که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است:

مرحله اول - شناسایی: در این مرحله، مجموعاً ۵۸۷ مقاله از طریق جستجوی پایگاه های داده شناسایی شدند. همچنین ۴۲ مقاله از طریق بررسی دستی فهرست منابع (Snowballing) به مجموعه اضافه شدند که مجموع را به ۶۲۹ مقاله رساند.

مرحله دوم - حذف موارد تکراری: پس از حذف ۱۳۴ مقاله تکراری، ۴۹۵ مقاله باقی ماندند.

مرحله سوم - غربالگری اولیه (بر اساس عنوان و چکیده): در این مرحله، عنوان و چکیده مقالات توسط دو داور مستقل بررسی شد. مقالاتی که معیارهای ورود را نداشتند، حذف شدند. در این مرحله ۲۸۷ مقاله حذف و ۲۰۸ مقاله برای ارزیابی کامل انتخاب شدند. میزان توافق بین دو داور (Cohen's Kappa) برابر با ۰/۸۶ محاسبه شد که نشان دهنده توافق بسیار خوب است (لندیس و کخ، ۱۹۷۷).

مرحله چهارم - ارزیابی کامل (متن کامل): در این مرحله، متن کامل ۲۰۸ مقاله به دقت مطالعه و بر اساس معیارهای ورود و خروج، ۱۲۴ مقاله به عنوان مقالات نهایی برای تحلیل انتخاب شدند.

۴-۲. روش تحلیل داده ها

پس از انتخاب مقالات نهایی، تحلیل محتوای کیفی با رویکرد تحلیل مضمون (Thematic Analysis) انجام شده است. این روش شامل شش مرحله اصلی است: آشنایی با داده ها، تولید کدهای اولیه، جستجوی مضامین، مرور مضامین، تعریف و نام گذاری مضامین،

و در نهایت نگارش گزارش (براون و کلارک، ۲۰۰۶). کدگذاری اولیه با استفاده از نرم افزار MAXQDA انجام شده و مضامین اصلی استخراج شده عبارتند از:

۱. معماری های نوین مخابراتی مبتنی بر (IoT شامل محاسبات لبه، مه و ابر)
۲. مدیریت هوشمند منابع شبکه (طیف، توان، محاسبات و ذخیره سازی)
۳. کاربردهای کلیدی در حوزه های شهر هوشمند، حمل و نقل هوشمند و سلامت الکترونیک
۴. چالش های امنیتی و حریم خصوصی در شبکه های IoT
۵. فناوری های توانمندساز شامل یادگیری ماشین، شبکه های تعریف شده نرم افزاری (SDN) و مجازی سازی توابع شبکه (NFV)

۲-۵. تحلیل کتاب سنجی

به منظور شناسایی روندهای پژوهشی، هم نویسندگی و شبکه های استنادی، تحلیل کتاب سنجی با استفاده از نرم افزار VOSviewer انجام شده است. این تحلیل شامل بررسی هم وقوع کلیدواژه ها، هم نویسندگی کشورها و مؤسسات، و تحلیل استنادی مقالات است. تحلیل کتاب سنجی به شناسایی شکاف های پژوهشی و مسیرهای تحقیقاتی پررونق کمک شایانی کرده است (وان اک و والتمن، ۲۰۱۰).

۲-۶. محدودیت های پژوهش

- پژوهش حاضر با محدودیت هایی مواجه بوده است که عبارتند از:
- دسترسی محدود به برخی مقالات پشت درگاه های پرداخت (Paywall)
- غالب بودن مقالات به زبان انگلیسی و احتمال چشم پوشی از پژوهش های ارزشمند در سایر زبان ها
- پویایی و تغییر سریع فناوری که ممکن است برخی از یافته ها را سریعاً منسوخ سازد
- تمرکز عمدتاً بر جنبه های نرم افزاری و معماری و کم توجهی نسبی به جنبه های سخت افزاری و فیزیکی

۳. یافته های پژوهش

در این بخش، یافته های حاصل از مرور نظام مند ۱۲۴ مقاله علمی-پژوهشی در حوزه نقش اینترنت اشیا در توسعه سیستم های مخابراتی هوشمند ارائه می شود. یافته ها بر اساس پنج مضمون اصلی استخراج شده از تحلیل محتوای کیفی، سازماندهی شده اند.

۳-۱. معماری های نوین مخابراتی مبتنی بر اینترنت اشیا

یافته ها نشان می دهد که معماری های سنتی سه لایه ای (ادراک، شبکه و کاربرد) اینترنت اشیا، پاسخگوی نیازهای شبکه های مخابراتی هوشمند نسل جدید نیستند (گوبی و همکاران، ۲۰۱۳؛ لی و همکاران، ۲۰۱۵). پژوهش های مورد بررسی، همگی بر ضرورت گذار

به معماری های چندلایه و توزیع شده تأکید دارند که در آن، پردازش و تحلیل داده از مرکز ابری به لبه های شبکه نزدیک تر شده است (عظزوری و همکاران، ۲۰۱۰).

پردازش در لبه و مه: بیش از ۷۵ درصد از مقالات بررسی شده، پردازش در لبه را به عنوان یک مؤلفه جدایی ناپذیر از سیستم های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا معرفی کرده اند. در این رویکرد، گره های لبه که در نزدیکی کاربران نهایی و دستگاه های اینترنت اشیا مستقر می شوند، وظیفه پردازش اولیه داده، کاهش تأخیر و فیلترسازی اطلاعات را بر عهده می گیرند (رن و ژانگ، ۲۰۲۳؛ شو و لی، ۲۰۲۴). برای نمونه، پژوهش ها نشان داده است که با انتقال پردازش های سنگین یادگیری ماشین به گره های لبه و استفاده از مدل های فشرده شده، می توان تأخیر پایان به پایان را در کاربردهای حساس به زمان مانند خودروهای خودران تا کمتر از ۱۰ میلی ثانیه کاهش داد (چن و همکاران، ۲۰۱۹). این امر در حالی است که در معماری مبتنی بر ابر محض، همین تأخیر معمولاً بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی ثانیه است.

پردازش مه که به عنوان لایه ای میانی بین لبه و ابر تعریف می شود، نقش تسهیل گری در مدیریت داده های با حجم بالا دارد. یافته ها حاکی از آن است که در کاربردهای شهر هوشمند، لایه مه با تجمیع داده های دریافتی از هزاران حسگر، انجام تحلیل های آماری اولیه و ارسال فقط داده های خلاصه شده به مرکز ابری، می تواند پهنای باند مصرفی را تا ۶۰ درصد کاهش دهد (نیزام و زینال، ۲۰۲۳). همچنین، شبکه های قابل برنامه ریزی و مجازی سازی کارکردهای شبکه، به عنوان بسترهای توانمندساز، انعطاف پذیری بالایی در پیکربندی پویای مسیرهای داده و تخصیص منابع بر اساس الگوهای ترافیک لحظه ای فراهم کرده اند (خان و همکاران، ۲۰۲۰).

شایان ذکر است که رویکرد ترکیبی ابر-مه-لبه، به عنوان یک معماری سه لایه، در حدود ۴۰ درصد از مقالات پیشنهاد شده است. در این چارچوب، تصمیم گیری های حیاتی و نیازمند پردازش سنگین در ابر، تصمیم گیری های نیمه حیاتی در مه، و تصمیم گیری های بی درنگ (زیر ۵ میلی ثانیه) در لبه انجام می شود. این توزیع هوشمندانه وظایف، علاوه بر کاهش تأخیر، به افزایش طول عمر گره های اینترنت اشیا با مصرف بهینه انرژی نیز کمک شایانی می کند (رزا و همکاران، ۲۰۲۱).

۲-۳. مدیریت هوشمند منابع شبکه

مدیریت منابع شبکه اعم از باند فرکانسی، توان، پردازش و حافظه، یکی از چالش برانگیزترین حوزه هایی است که در ۸۲ درصد از مقالات بررسی شده به آن پرداخته شده است (سارکر، ۲۰۲۲). یافته ها در این حوزه به سه دسته اصلی تقسیم می شود:

مدیریت باند فرکانسی: افزایش روزافزون تعداد دستگاه های متصل، فشار بی سابقه ای بر منابع باند فرکانسی که ماهیتاً محدود هستند، وارد آورده است (واعظی و همکاران، ۲۰۲۲). پژوهش های متعدد نشان می دهد که رویکردهای سنتی تخصیص ثابت باند، بازدهی بسیار پایینی دارند و قادر به پاسخگویی به نیازهای پویای شبکه های مخابراتی هوشمند نیستند. در مقابل، دسترسی پویا به باند فرکانسی مبتنی بر داده های حسگری، به عنوان راهکار اصلی مطرح شده است. در این روش، گره های اینترنت اشیا مجهز به حسگرهای طیف سنجی، به صورت لحظه ای وضعیت اشغال باندهای فرکانسی را پایش می کنند و از شکاف های موجود برای ارسال داده استفاده می کنند (لیو و همکاران، ۲۰۲۴).

یافته‌های تحلیل کتاب‌سنجی نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیری پاداش‌محور عمیق در سه سال اخیر، بیش از سایر روش‌های یادگیری ماشین در مدیریت باند فرکانسی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این الگوریتم‌ها با تعامل با محیط شبکه و دریافت پاداش از کیفیت ارتباط، به تدریج سیاست‌های بهینه‌ی تخصیص باند را یاد می‌گیرند (لیو و همکاران، ۲۰۲۴). در یکی از مطالعات مورد بررسی، یک عامل یادگیرنده توانسته است بازده استفاده از باند فرکانسی را در یک شبکه‌ی ناهمگون شامل گره‌های نسل پنجم و اینترنت اشیا، به میزان ۳۸ درصد نسبت به روش‌های ثابت بهبود بخشد و در عین حال، تداخل بین کاربران را تا ۴۵ درصد کاهش دهد.

تخصیص توان و مدیریت انرژی: یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در شبکه‌های عظیم اینترنت اشیا که شامل میلیون‌ها گره با منبع انرژی محدود (اغلب باتری) هستند، مدیریت مصرف انرژی است (رزا و همکاران، ۲۰۲۱). یافته‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم‌های تطبیقی مبتنی بر یادگیری ماشین، با تنظیم پویای توان ارسال بر اساس فاصله، شرایط کانال و تراکم ترافیک، می‌توانند مصرف انرژی کلی شبکه را تا ۳۰ درصد کاهش دهند.

در این راستا، مفهوم «ارتباطات سبز» در بیش از نیمی از مقالات مورد تأکید قرار گرفته است. راهکارهای ارائه‌شده شامل طراحی پروتکل‌های دسترسی به رسانه با مصرف توان پایین، استفاده از سازوکارهای بهره‌برداری انرژی از منابع محیطی مانند خورشید یا ارتفاعات، و بهینه‌سازی چرخه‌های کاری گره‌ها بر اساس الگوهای ترافیکی است (رزا و همکاران، ۲۰۲۱). قابل ذکر است که پژوهش‌ها نشان داده است با ترکیب پیش‌بینی ترافیک و بهینه‌سازی چرخه‌ی کاری، می‌توان عمر باتری گره‌های اینترنت اشیا را تا دو برابر افزایش داد بدون آنکه کیفیت خدمات به طور محسوسی کاهش یابد.

مدیریت پردازش و حافظه: با گسترش کاربردهای مبتنی بر یادگیری عمیق در لبه، مدیریت منابع پردازشی و حافظه به چالشی جدید تبدیل شده است (شو و لی، ۲۰۲۴). یافته‌ها نشان می‌دهد که تکنیک‌های فشرده‌سازی مدل، انتقال دانش و پیرایش شبکه‌های عصبی، امکان اجرای مدل‌های پیچیده یادگیری ماشین را روی گره‌های لبه با حافظه و پردازش محدود فراهم می‌کنند. در یکی از مطالعات، یک مدل تشخیص ناهنجاری در شبکه با استفاده از انتقال دانش، به حجم ۱۵ درصد مدل اصلی فشرده شده است در حالی که دقت آن تنها ۳ درصد کاهش یافته است.

۳-۳. کاربردهای کلیدی در حوزه‌های مختلف

مرور نظام‌مند مقالات نشان می‌دهد که حوزه‌های کاربرد سیستم‌های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا را می‌توان به پنج دسته‌ی اصلی تقسیم کرد که به ترتیب فراوانی عبارتند از: شهر هوشمند (۳۲ درصد)، ترابری هوشمند (۲۴ درصد)، سلامت الکترونیک (۱۸ درصد)، خودکارسازی صنعتی و شبکه‌های هوشمند انرژی (۱۶ درصد)، و کشاورزی دقیق و محیط‌زیست (۱۰ درصد).

شهر هوشمند: در حوزه شهر هوشمند، بیشترین تمرکز بر مدیریت ترافیک، روشنایی هوشمند معابر، مدیریت پسماند و نظارت بر آلودگی هوا بوده است (نیزام و زینال، ۲۰۲۳). یافته‌ها نشان می‌دهد که استقرار شبکه‌های حسگر بی‌سیم با قابلیت ارتباط مبتنی بر نسل پنجم و اینترنت اشیا باندباریک، امکان جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از سطح شهر را فراهم آورده است. در یک مطالعه‌ی موردی



در شهر بارسلونا، استفاده از سیستم‌های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا برای مدیریت چراغ‌های راهنمایی، میانگین زمان سفر درون‌شهری را ۲۱ درصد کاهش داده است. همچنین، سیستم‌های روشنایی هوشمند که شدت نور را بر اساس حضور عابر و خودرو تنظیم می‌کنند، توانسته‌اند مصرف انرژی روشنایی معابر را تا ۴۰ درصد کاهش دهند (نیزام و زینال، ۲۰۲۳).

یکی از جالب‌ترین یافته‌ها در این حوزه، استفاده از شبکه‌های حسگر صوتی برای تشخیص موقعیت و نوع وسایل نقلیه اضطراری (آمبولانس، آتش‌نشانی) و اولویت‌دهی به آنها در تقاطع‌ها است. این سیستم که مبتنی بر پردازش سیگنال در لبه و ارسال فرمان به چراغ‌های راهنمایی است، تأخیر پاسخگویی به مأموریت‌های اورژانسی را به طور متوسط ۳۰ ثانیه کاهش داده است که در شرایط بحرانی، تفاوت قابل توجهی محسوب می‌شود.

ترابری هوشمند: خودروهای خودران و شبکه‌های ارتباطی خودرو-به-خودرو و خودرو-به-زیرساخت از موضوعات پرتکرار در مقالات این حوزه بوده‌اند (چن و همکاران، ۲۰۱۹). در شبکه‌های خودرویی، تأخیر بسیار کم (زیر ۱۰ میلی‌ثانیه) و قابلیت اطمینان بالا (بیش از ۹۹/۹۹ درصد) از الزامات حیاتی محسوب می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب پردازش لبه با شبکه‌های نسل پنجم و بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیش‌بینی مسیر مبتنی بر یادگیری عمیق، می‌تواند احتمال برخورد خودروهای خودران را تا ۶۰ درصد کاهش دهد (چن و همکاران، ۲۰۱۹).

در مطالعات دیگر، سیستم‌های پارک هوشمند مبتنی بر حسگرهای حضور در فضاهای پارکینگ، اطلاعات لحظه‌ای از وضعیت پارکینگ‌ها را از طریق شبکه‌های مخابراتی به رانندگان ارسال می‌کنند (نیزام و زینال، ۲۰۲۳). این سیستم‌ها نه تنها زمان جستجوی پارکینگ را کاهش می‌دهند، بلکه با کاهش ترافیک ناشی از جستجوی پارکینگ، به کاهش آلودگی هوا نیز کمک شایانی می‌کنند. یکی از پژوهش‌ها نشان داده است که پیاده‌سازی چنین سیستمی در یک منطقه‌ی پرتردد شهری، زمان جستجوی پارکینگ را از ۱۲ دقیقه به ۴ دقیقه کاهش داده است.

سلامت الکترونیک: شیوع پاندمی کووید-۱۹، توجه پژوهشگران را به سیستم‌های مخابراتی هوشمند برای مراقبت‌های بهداشتی از راه دور معطوف کرده است (حسین و محمد، ۲۰۲۰). یافته‌ها نشان می‌دهد که شبکه‌های حسگر پوشیدنی که علائم حیاتی بیماران مانند ضربان قلب، فشار خون، سطح اکسیژن خون و الکتروکاردیوگرام را به صورت بی‌درنگ پایش می‌کنند، به شرط برخورداری از زیرساخت مخابراتی با تأخیر کم و قابل اطمینان، می‌توانند نقش مهمی در مدیریت بیماران مزمن و سالمندان داشته باشند (حسین و محمد، ۲۰۲۰). در چندین مطالعه، سیستم‌های هشداردهنده مبتنی بر یادگیری ماشین که روی گره‌های لبه اجرا می‌شوند، با تحلیل الگوهای علائم حیاتی، حملات قلبی قریب‌الوقوع را تا ۴۵ ثانیه قبل از وقوع پیش‌بینی کرده‌اند و با ارسال هشدار به تیم درمانی، جان بیماران را نجات داده‌اند.

از دیگر کاربردهای مهم در این حوزه، تصویربرداری پزشکی از راه دور است که به پزشکان متخصص امکان می‌دهد تصاویر باکیفیت را از نقاط دورافتاده دریافت و تشخیص دهند. این کاربرد که نیازمند پهنای باند بالا و تأخیر کم است، با ظهور شبکه‌های نسل پنجم و معماری‌های لبه، به شکلی عملیاتی درآمده است. با این حال، پژوهشگران تأکید دارند که چالش‌های امنیتی و حریم خصوصی در داده‌های پزشکی، یک مانع جدی پیش روی توسعه‌ی این کاربردهاست که نیازمند طراحی پروتکل‌های رمزنگاری سبک و کارآمد است (محمود و بدوی، ۲۰۲۴).



خودکارسازی صنعتی و شبکه‌های هوشمند انرژی: در حوزه صنعت، اینترنت اشیا صنعتی و شبکه‌های مخابراتی هوشمند، انقلابی در پایش وضعیت ماشین‌آلات، تعمیرات پیش‌بینی‌پذیر و کنترل فرآیندهای تولید ایجاد کرده‌اند (رن و ژانگ، ۲۰۲۳). یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم با قابلیت ارتباط کم‌تأخیر و پرمصرفیت در کارخانجات هوشمند، امکان تشخیص عیوب ماشین‌آلات را در مراحل اولیه فراهم می‌کند و از توقف‌های ناگهانی و پرهزینه خط تولید جلوگیری می‌نماید. در یک مطالعه، پیاده‌سازی سیستم پایش وضعیت مبتنی بر اینترنت اشیا در یک کارخانه فولاد، هزینه‌های تعمیرات و نگهداری را ۳۰ درصد و زمان توقف ناخواسته را ۴۵ درصد کاهش داده است (رن و ژانگ، ۲۰۲۳).

در حوزه شبکه‌های هوشمند انرژی، کنتورهای هوشمند، شبکه‌های توزیع و تولید پراکنده انرژی، و سیستم‌های مدیریت مصرف از موضوعات پرتکرار هستند. یافته‌ها نشان می‌دهد که با استقرار شبکه‌های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا، امکان مدیریت دوطرفه انرژی (تولیدکننده به مصرف‌کننده و بالعکس) فراهم می‌شود. سیستم‌های پاسخگویی به تقاضا که بر اساس قیمت‌گذاری پویا و پیش‌بینی مصرف، بار شبکه را متعادل می‌کنند، توانسته‌اند پیک مصرف شبکه‌های برق را تا ۱۵ درصد کاهش دهند و از خاموشی‌های گسترده جلوگیری کنند (رن و ژانگ، ۲۰۲۳).

۳-۴. چالش‌های امنیتی و حریم خصوصی

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، توجه گسترده (بیش از ۶۵ درصد مقالات) به چالش‌های امنیتی و حریم خصوصی در شبکه‌های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا است (عویدی و همکاران، ۲۰۲۵؛ قریشی و نیو، ۲۰۲۴). این چالش‌ها در سطوح مختلفی قابل بررسی هستند:

سطح لایه فیزیکی و دسترسی: حملات سایبری مانند جنگ‌افزار الکترونیکی، اختلال‌گذاری و رهگیری سیگنال، از تهدیدات جدی در این لایه محسوب می‌شوند (خان و همکاران، ۲۰۲۰). پژوهش‌ها نشان داده است که با افزایش تعداد گره‌های اینترنت اشیا، سطح حمله نیز به طور تصاعدی افزایش می‌یابد. طراحی سیستم‌های مخابراتی مقاوم و دارای سازوکارهای تشخیص نفوذ در لایه فیزیکی، از موضوعات کلیدی مطالعات جدید است. در این راستا، استفاده از تکنیک‌های پخش‌سازی طیف و تغییر الگوی ارسال مبتنی بر کلیدهای رمزنگاری پویا، به عنوان راهکارهای مؤثر مطرح شده‌اند (خان و همکاران، ۲۰۲۰).

سطح شبکه و ارتباطات: پروتکل‌های ارتباطی اینترنت اشیا که عمدتاً برای گره‌های با منابع محدود طراحی شده‌اند، آسیب‌پذیری‌های امنیتی متعددی دارند (عویدی و همکاران، ۲۰۲۵). یافته‌ها نشان می‌دهد که حملات مرد میانی، جعل هویت و حملات تزریق داده، از شایع‌ترین حملات در این سطح هستند. در پاسخ به این چالش‌ها، پژوهشگران پروتکل‌های امنیتی سبک‌وزن مبتنی بر رمزنگاری منحنی بیضوی و تابع درهم‌سازی را پیشنهاد کرده‌اند که ضمن تأمین امنیت، بار محاسباتی قابل قبولی بر گره‌های با توان پردازشی محدود تحمیل می‌کنند (محمود و بدوی، ۲۰۲۴). یکی از مطالعات، یک پروتکل احراز هویت دوطرفه و توزیع کلید ارائه کرده است که با هزینه‌ی محاسباتی ۴۰ درصد کمتر نسبت به پروتکل‌های مشابه، امنیت قابل مقایسه‌ای را فراهم می‌آورد.

سطح کاربرد و داده: در این سطح، چالش‌های حریم خصوصی داده‌های جمع‌آوری‌شده از کاربران و محیط، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (قریشی و نیو، ۲۰۲۴). داده‌های جمع‌آوری‌شده در شهرهای هوشمند و سیستم‌های سلامت الکترونیک، حاوی اطلاعات بسیار حساسی درباره‌ی رفتار، موقعیت و وضعیت سلامتی افراد هستند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که حتی داده‌های به ظاهر ناشناس نیز با

استفاده از تکنیک های بازشناسایی می توانند به هویت افراد متصل شوند. در پاسخ به این تهدید، تکنیک های حفظ حریم خصوصی مانند حریم خصوصی تفاضلی، رمزنگاری هم ریخت و یادگیری هم سو به عنوان راهکارهای امیدبخش مطرح شده اند (قریشی و نیو، ۲۰۲۴).

یادگیری هم سو که در آن مدل های یادگیری ماشین بدون انتقال داده های خام کاربران و صرفاً با به اشتراک گذاری پارامترهای مدل، آموزش داده می شوند، در سه سال اخیر رشد چشمگیری داشته است (رن و ژانگ، ۲۰۲۳). در یکی از پژوهش های بررسی شده، یک سیستم تشخیص ناهنجاری در شبکه های قدرت مبتنی بر یادگیری هم سو طراحی شده است که ضمن دستیابی به دقتی مشابه روش های متمرکز، حریم خصوصی داده های مصرف کنندگان را به طور کامل حفظ می کند.

چالش های راهبری و یکپارچه سازی: نبود استانداردهای یکپارچه و جامع در حوزه امنیت اینترنت اشیا و شبکه های مخابراتی هوشمند، یکی از موانع جدی پیش روی توسعه این فناوری هاست (قریشی و نیو، ۲۰۲۴). یافته ها نشان می دهد که تنوع پروتکل ها، بسترها و معماری های مختلف، مدیریت امنیت را با پیچیدگی فراوانی مواجه ساخته است. پژوهشگران بر ضرورت تدوین چارچوب های امنیتی مرجع و استانداردهای باز در سطح بین المللی تأکید دارند تا هم افزایی و هم کاری بین سیستم های مختلف افزایش یابد.

۳-۵. فناوری های توانمندساز و روندهای نوظهور

بر اساس یافته های این پژوهش، فناوری های توانمندساز زیر به عنوان محرک های اصلی تحول در سیستم های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا شناسایی شده اند:

یادگیری ماشین و هوش مصنوعی: کاربرد یادگیری ماشین در تمام لایه های شبکه های مخابراتی هوشمند گسترش یافته است. از پیش بینی ترافیک شبکه و تخصیص پویای منابع گرفته تا تشخیص ناهنجاری و مقابله با حملات سایبری، همگی از الگوریتم های یادگیری ماشین بهره می برند (سارکر، ۲۰۲۲). یافته های تحلیل کتاب سنجی نشان می دهد که یادگیری عمیق و یادگیری پاداش محور پرمخاطب ترین الگوریتم های مورد استفاده هستند. با این حال، چالش هایی مانند نیاز به داده های برچسب گذاری شده، هزینه ی محاسباتی بالا و تفسیرپذیری محدود مدل های عمیق، همچنان به عنوان موانع کاربرد گسترده ی آنها مطرح هستند. در مقابل، یادگیری هم سو و یادگیری ماشین کوچک مقیاس به عنوان روندهای نوظهور، نویدبخش رفع برخی از این چالش ها هستند (شو و لی، ۲۰۲۴).

شبکه های نسل پنجم و ششم: تقریباً تمامی مقالاتی که به زیرساخت مخابراتی اشاره کرده اند، نسل پنجم را به عنوان بستر اصلی ارتباطات هوشمند معرفی کرده اند (واعظی و همکاران، ۲۰۲۲). ویژگی های کلیدی نسل پنجم شامل تأخیر بسیار کم (زیر ۱ میلی ثانیه در حالت ایده آل)، پهنای باند بالا (تا ۲۰ گیگابیت بر ثانیه) و تراکم اتصال بسیار زیاد (تا یک میلیون دستگاه در کیلومتر مربع) است که نیازهای متنوع اینترنت اشیا را پوشش می دهد (واعظی و همکاران، ۲۰۲۲). در این میان، فناوری های شبکه سازی برش و ارتباطات گونه گوناگون به عنوان قابلیت های کلیدی نسل پنجم برای پشتیبانی از کاربردهای مختلف اینترنت اشیا مطرح شده اند (همکاران، ۲۰۲۰).



همچنین، در حدود ۲۰ درصد از مقالات، به چشم انداز شبکه های نسل ششم که افق آن دهه ی ۲۰۳۰ ترسیم شده است، اشاره شده است (یانگ و وانگ، ۲۰۲۲). نسل ششم با وعده هایی همچون ارتباطات مبتنی بر بسامد تراهرتز، یکپارچه سازی هوش مصنوعی در همه ی لایه های شبکه، ارتباطات سه بعدی (زمین، هوا و فضا) و توانایی پشتیبانی از کاربردهای فراتر مانند واقعیت افزوده ی فراگیر و اینترنت لامسه ای معرفی شده است (یانگ و وانگ، ۲۰۲۲). پژوهشگران معتقدند که نسل ششم با بهره گیری عمیق از هوش مصنوعی، شبکه ای کاملاً خودآگاه و خودمدیریت شونده را به وجود خواهد آورد که در آن، نقش اینترنت اشیا نه فقط به عنوان تولیدکننده داده، بلکه به عنوان عنصری فعال در تصمیم گیری و کنترل شبکه، پررنگ تر خواهد شد.

زنجیره بلوکی و دفتر کل توزیع شده: اگرچه کاربرد زنجیره بلوکی در شبکه های مخابراتی هوشمند نسبت به سایر فناوری ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (حدود ۱۵ درصد مقالات)، اما رشد فزاینده ای دارد (محمود و بدوی، ۲۰۲۴).

زنجیره بلوکی به دلیل ویژگی های منحصر به فردی چون غیرمتمرکز بودن، تغییرناپذیری، شفافیت و قابلیت قراردادهای هوشمند، می تواند راهکارهای جذابی برای چالش های امنیتی، احراز هویت و مدیریت هویت در شبکه های عظیم اینترنت اشیا ارائه دهد (محمود و بدوی، ۲۰۲۴). در یک مطالعه، یک چارچوب مبتنی بر زنجیره بلوکی برای مدیریت هویت و مجوزدهی گره های اینترنت اشیا در یک شبکه ی مخابراتی هوشمند طراحی شده است که بدون نیاز به مرجع مرکزی، امکان احراز هویت امن و غیرقابل انکار را فراهم می کند. با این حال، چالش های گسترش پذیری و توان مصرفی بالای زنجیره بلوکی، به ویژه در نسخه های اثبات کار، از موانع اصلی کاربرد گسترده ی آن در شبکه های اینترنت اشیا با گره های محدود از نظر انرژی است. پژوهشگران بر روی نسخه های سبک وزن زنجیره بلوکی و الگوریتم های اجماع کارآمدتر متمرکز شده اند.

هوش مصنوعی داده ساز: از جمله روندهای بسیار نوظهور که در مقالات سال های اخیر (۲۰۲۴ به بعد) دیده می شود، کاربرد مدل های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی داده ساز در شبکه های مخابراتی است (وو و لی، ۲۰۲۳). این مدل ها می توانند برای تولید داده های ساختگی جهت آموزش مدل های یادگیری ماشین در شرایط کم داده، تولید کد خودکار برای پیکربندی شبکه، یا حتی به عنوان رابط کاربری طبیعی برای مدیریت و عیب یابی شبکه مورد استفاده قرار گیرند (وو و لی، ۲۰۲۳). هرچند این حوزه هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد، اما پتانسیل بالایی برای تحول در نحوه ی مدیریت و تعامل با سیستم های مخابراتی هوشمند دارد.

۳-۶. شکاف های پژوهشی و مسیرهای آینده

مرور نظام مند مقالات، چند شکاف پژوهشی مهم را آشکار می سازد که می توانند مسیر تحقیقات آینده را تعیین کنند:

نخست، با وجود پژوهش های فراوان در حوزه مدیریت باند فرکانسی و تخصیص منابع، کمتر مطالعه ای به مدیریت هماهنگ و یکپارچه ی همه ی منابع (باند، توان، پردازش و حافظه) به صورت همزمان پرداخته است. بیشتر پژوهش ها هر یک از این منابع را به صورت مجزا بهینه سازی کرده اند، در حالی که در عمل، این منابع به شدت به هم وابسته هستند و بهینه سازی جداگانه ممکن است به زیربهینگی کلی منجر شود (سارکر، ۲۰۲۲).

دوم، با وجود تأکید فراوان بر اهمیت امنیت و حریم خصوصی، بیشتر راهکارهای ارائه شده در محیط های آزمایشگاهی و شبیه سازی اعتبارسنجی شده اند و تعداد مطالعاتی که در محیط های واقعی و در مقیاس بزرگ پیاده سازی شده اند، بسیار اندک است (عویدی و

همکاران، ۲۰۲۵). این شکاف بین پژوهش و عمل، یکی از موانع اصلی تجاری سازی فناوری های امنیتی در شبکه های اینترنت اشیا محسوب می شود.

سوم، اگرچه یادگیری هم سو به عنوان راهکاری برای حفظ حریم خصوصی مطرح شده است، اما چالش های جدیدی مانند حملات مسمومیت مدل و ناهمگونی داده ها در شبکه های ناهمگون اینترنت اشیا، کمتر مورد بررسی قرار گرفته اند (رن و ژانگ، ۲۰۲۳). پژوهش های آینده باید به طراحی الگوریتم های مقاوم در برابر حملات و سازگار با داده های ناهمگون بپردازند.

چهارم، تأثیرات زیستی و انسانی شبکه های مخابراتی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا، به ویژه در مورد امواج فرکانس بالا در شبکه های نسل ششم، در مقالات بسیار کم تعداد بوده و نیازمند پژوهش های میان رشته ای گسترده ای است (یانگ و وانگ، ۲۰۲۲).

پنجم، اکثر پژوهش ها بر روی کاربردهای شهری و صنعتی متمرکز شده اند و کاربردهای اینترنت اشیا در حوزه های کمتر توسعه یافته مانند مدیریت بلایای طبیعی، کمک رسانی در بحران ها و توسعه ی روستایی، بسیار کم توجه بوده است.

در نهایت، با وجود رشد سریع هوش مصنوعی داده ساز، پژوهش در مورد کاربردهای این فناوری در شبکه های مخابراتی هوشمند هنوز در مراحل جنینی است و نیازمند بررسی های عمیق تری در زمینه های امنیت، قابلیت اطمینان و تفسیرپذیری است (وو و لی، ۲۰۲۳).

در پاسخ به این چالش ها، پژوهشگران راهکارهای متعددی از جمله رمزنگاری سبک وزن، حریم خصوصی تفاضلی، یادگیری هم سو و زنجیره بلوکی را پیشنهاد کرده اند (محمود و بدوی، ۲۰۲۴؛ رن و ژانگ، ۲۰۲۳). با این حال، آنچه از تحلیل مقالات برمی آید، وجود شکاف عمیق بین پژوهش های آزمایشگاهی و پیاده سازی در مقیاس واقعی است. اکثر راهکارهای ارائه شده در محیط های شبیه سازی اعتبارسنجی شده اند و تعداد مطالعاتی که کارایی این راهکارها را در محیط های عملیاتی و در مقیاس بزرگ آزمایش کرده اند، بسیار اندک است. این شکاف، یکی از موانع اصلی تجاری سازی فناوری های امنیتی در شبکه های اینترنت اشیا محسوب می شود و نیازمند توجه ویژه ی پژوهشگران و سیاست گذاران است.

فناوری های توانمندساز و هم افزایی فناورانه: یافته ها نشان می دهد که تحول در سیستم های مخابراتی هوشمند، حاصل هم افزایی چندین فناوری توانمندساز است. یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، شبکه های نسل پنجم و ششم، زنجیره بلوکی و هوش مصنوعی داده ساز، هر یک به نوعی در این تحول سهیم هستند (سارکر، ۲۰۲۲؛ واعظی و همکاران، ۲۰۲۲؛ محمود و بدوی، ۲۰۲۴؛ وو و لی، ۲۰۲۳).

نکته ی جالب توجه، هم افزایی بین این فناوری هاست. برای نمونه، یادگیری ماشین برای مدیریت هوشمند منابع در شبکه های نسل پنجم به کار می رود و زنجیره بلوکی برای تأمین امنیت این شبکه ها پیشنهاد می شود. همچنین، هوش مصنوعی داده ساز می تواند داده های ساختگی را برای آموزش مدل های یادگیری ماشین در شرایط کم داده تولید کند و این مدل ها نیز به نوبه ی خود، شبکه های نسل ششم را هوشمندتر می سازند. این هم افزایی، نشان از پیچیدگی و چندبعدی بودن تحول در سیستم های مخابراتی هوشمند دارد و ضرورت رویکردهای میان رشته ای در پژوهش های آینده را آشکار می سازد.

هوش مصنوعی داده ساز و افق های نوین: هوش مصنوعی داده ساز (وو و لی، ۲۰۲۳) به عنوان یک روند بسیار نوظهور، پتانسیل بالایی برای تحول در نحوه ی مدیریت و تعامل با شبکه های مخابراتی هوشمند دارد. این فناوری می تواند از تولید داده های آموزشی برای مدل های یادگیری ماشین گرفته تا تولید کد خودکار برای پیکربندی شبکه و ایجاد رابط های کاربری طبیعی، نقش های متعددی ایفا کند. با این حال، همان گونه که یافته های این پژوهش نشان می دهد، این حوزه هنوز در مراحل جنینی قرار دارد و پژوهش های اندکی به کاربردهای آن در شبکه های مخابراتی پرداخته اند. سؤالات اساسی درباره ی امنیت، قابلیت اطمینان، تفسیرپذیری و سوگیری های احتمالی این مدل ها، همچنان بی پاسخ مانده است و نیازمند پژوهش های بنیادی و گسترده ای است.

شکاف های پژوهشی و ضرورت تحقیقات آینده: یافته های این پژوهش، چند شکاف پژوهشی مهم را آشکار ساخت که می توانند مسیر تحقیقات آینده را تعیین کنند. نخست، کمبود پژوهش های جامع در زمینه ی مدیریت هماهنگ همه ی منابع شبکه (باند، توان، پردازش و حافظه) به صورت همزمان، یک چالش جدی محسوب می شود. دوم، شکاف عمیق بین پژوهش های آزمایشگاهی و پیاده سازی در مقیاس واقعی، به ویژه در حوزه ی امنیت، نیازمند توجه ویژه است. سوم، چالش های جدیدی که با ظهور یادگیری هم سو مانند حملات مسمومیت مدل و ناهمگونی داده ها پدید آمده اند، کمتر مورد بررسی قرار گرفته اند. چهارم، تأثیرات زیستی و انسانی شبکه های نسل ششم با امواج فرکانس بالا، یک حوزه ی پژوهشی کم توجه اما حیاتی است. پنجم، کاربردهای اینترنت اشیا در حوزه های کمتر توسعه یافته مانند مدیریت بلایای طبیعی و توسعه ی روستایی، بسیار کم توجه بوده است. در نهایت، کاربردهای هوش مصنوعی داده ساز در شبکه های مخابراتی، یک حوزه ی کاملاً نوظهور با پرسش های بنیادی حل نشده است.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش اینترنت اشیا در توسعه سیستم های مخابراتی هوشمند، از طریق مرور نظام مند ۱۲۴ مقاله علمی-پژوهشی انجام شد. یافته های این مطالعه نشان می دهد که اینترنت اشیا به عنوان موتور محرکه ی تحول در شبکه های مخابراتی، نقشی دوگانه و حیاتی ایفا می کند. از یک سو، با فراهم آوردن داده های بی نظیر از محیط و کاربران، امکان هوشمندسازی، بهینه سازی پویا و خودمدیریتی شبکه را فراهم می آورد؛ از سوی دیگر، خود این شبکه های مخابراتی پیشرفته هستند که زیرساخت لازم برای اتصال پایدار، امن و کارآمد میلیاردها گره اینترنت اشیا را تأمین می کنند. این هم افزایی عمیق، چشم انداز شبکه های خودپیکربند، خودبهبوددهنده و مقاوم در برابر اختلالات را به واقعیت نزدیک تر ساخته است.

پیشنهادهای پژوهشی

بر اساس یافته ها و شکاف های پژوهشی شناسایی شده، پیشنهادات زیر برای تحقیقات آینده ارائه می شود:

پیشنهادهای کوتاه مدت (۱ تا ۳ سال):

۱. طراحی الگوریتم های مدیریت یکپارچه ی منابع: با توجه به وابستگی متقابل باند فرکانسی، توان، پردازش و حافظه، پژوهش های آینده باید به سمت طراحی الگوریتم هایی حرکت کنند که همه ی این منابع را به صورت هماهنگ و همزمان بهینه سازی کنند. رویکردهای مبتنی بر بهینه سازی چندهدفه و یادگیری پاداش محور می توانند در این زمینه مفید واقع شوند.

۲. اعتبارسنجی راهکارهای امنیتی در محیط‌های واقعی: پژوهشگران باید راهکارهای امنیتی و حریم خصوصی را از محیط‌های شبیه‌سازی و آزمایشگاهی به محیط‌های واقعی و در مقیاس بزرگ ببرند. ایجاد بسترهای آزمایشی در مقیاس شهری و صنعتی برای ارزیابی عملکرد راهکارهای امنیتی در شرایط عملیاتی، از نیازهای اساسی است.

۳. توسعه‌ی الگوریتم‌های یادگیری هم‌سوی مقاوم در برابر حملات: با توجه به رشد کاربرد یادگیری هم‌سو در شبکه‌های اینترنت اشیا، پژوهش‌های بیشتری برای طراحی الگوریتم‌های مقاوم در برابر حملات مسمومیت مدل و سازگار با داده‌های ناهمگون مورد نیاز است (رن و ژانگ، ۲۰۲۳).

پیشنهادهای میان‌مدت (۳ تا ۵ سال):

۴. پژوهش در مورد کاربردهای کمتر توسعه‌یافته: با وجود تمرکز زیاد بر کاربردهای شهری و صنعتی، حوزه‌هایی مانند مدیریت بلایای طبیعی، کمک‌رسانی در بحران‌ها، توسعه‌ی روستایی و کشاورزی دقیق در مناطق کمتر برخوردار، نیازمند پژوهش‌های جدی‌تری هستند. طراحی شبکه‌های مخابراتی مقاوم و کم‌هزینه برای این کاربردها، می‌تواند تأثیرات اجتماعی چشمگیری داشته باشد.

۵. بررسی تأثیرات زیستی و انسانی شبکه‌های نسل ششم: با نزدیک شدن به عصر شبکه‌های نسل ششم و استفاده از باندهای فرکانسی ترازتر، پژوهش‌های میان‌رشته‌ای برای بررسی تأثیرات این امواج بر سلامت انسان و محیط‌زیست ضروری است (یانگ و وانگ، ۲۰۲۲). همچنین، ابعاد اجتماعی، اقتصادی و اخلاقی گسترش شبکه‌های مخابراتی هوشمند باید مورد توجه قرار گیرد.

۶. طراحی معماری‌های امنیتی مبتنی بر زنجیره‌بلوکی سبک‌وزن: با وجود پتانسیل بالای زنجیره‌بلوکی برای تأمین امنیت و حریم خصوصی، چالش‌های گسترش‌پذیری و مصرف انرژی بالای آن، موانع جدی محسوب می‌شوند. پژوهش‌های آینده باید بر روی طراحی زنجیره‌بلوکی‌های سبک‌وزن با الگوریتم‌های اجماع کارآمد و مناسب برای گره‌های با منابع محدود متمرکز شوند (محمود و بدوی، ۲۰۲۴).

پیشنهادهای بلندمدت (۵ تا ۱۰ سال):

۷. یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی داده‌ساز در شبکه‌های مخابراتی: با توجه به رشد سریع مدل‌های زبانی بزرگ و هوش مصنوعی داده‌ساز، پژوهش‌های بنیادی برای استفاده از این فناوری در تولید داده‌های آموزشی، تولید کد خودکار برای پیکربندی شبکه، و ایجاد رابط‌های کاربری طبیعی برای مدیریت شبکه، ضروری است (وو و لی، ۲۰۲۳). این پژوهش‌ها باید به جنبه‌های امنیت، قابلیت اطمینان و تفسیرپذیری این مدل‌ها نیز بپردازند.

۸. طراحی شبکه‌های خودآگاه و خودمدیریت‌شونده برای نسل ششم: با چشم‌انداز شبکه‌های نسل ششم که در آن هوش مصنوعی در همه‌ی لایه‌های شبکه یکپارچه خواهد شد، پژوهش‌های بلندمدتی برای طراحی شبکه‌هایی با قابلیت خودآگاهی، خودپیکربندی، خودبهبوددهی و خوددرمانی مورد نیاز است. این شبکه‌ها باید بتوانند بدون دخالت انسان، با تغییرات محیط و ترافیک سازگار شوند و تصمیم‌گیری‌های هوشمندانه انجام دهند.

۹. استانداردسازی و چارچوب های حقوقی و اخلاقی: با گسترش روزافزون شبکه های مخابراتی هوشمند و اینترنت اشیا، تدوین استانداردهای یکپارچه و چارچوب های حقوقی و اخلاقی در سطح بین المللی، از نیازهای اساسی است. پژوهشگران حوزه های حقوق، اخلاق و سیاست گذاری باید در کنار متخصصان فنی، به تدوین این چارچوب ها بپردازند تا ضمن حفظ حریم خصوصی و امنیت شهروندان، از توسعه ای متوازن و عادلانه ای این فناوری ها حمایت کنند.

۴-۴. پیشنهادات اجرایی و سیاست گذاری

علاوه بر پیشنهادات پژوهشی، بر اساس یافته های این پژوهش، پیشنهادات اجرایی زیر برای سیاست گذاران، برنامه ریزان و مجریان حوزه ی فناوری اطلاعات و ارتباطات ارائه می شود:

۱. سرمایه گذاری در زیرساخت های شبکه های نسل پنجم: با توجه به نقش حیاتی شبکه های نسل پنجم به عنوان بستر اصلی ارتباطات هوشمند، دولت ها و بخش خصوصی باید سرمایه گذاری گسترده ای در توسعه ی زیرساخت های این شبکه ها، به ویژه در مناطق کمتر برخوردار، انجام دهند (واعظی و همکاران، ۲۰۲۲).

۲. ایجاد بسترهای آزمایشی در مقیاس شهری: برای پر کردن شکاف بین پژوهش و عمل، ایجاد بسترهای آزمایشی در مقیاس واقعی شهری و صنعتی که در آن فناوری های نوین مخابراتی و اینترنت اشیا در شرایط عملیاتی آزمایش و اعتبارسنجی شوند، ضروری است.

۴-۵. جمع بندی نهایی

در پایان، می توان گفت که اینترنت اشیا و سیستم های مخابراتی هوشمند، دو روی یک سکه هستند که در هم تنیدگی عمیق، آینده ی ارتباطات و تعامل انسان با محیط را شکل خواهند داد. همان گونه که اینترنت در سه دهه ی گذشته، جهان را دگرگون ساخت، هم افزایی اینترنت اشیا و شبکه های مخابراتی هوشمند نیز انقلابی به مراتب عمیق تر و فراگیرتر را نوید می دهد. از شهرهایی که خود را مدیریت می کنند تا خودروهایی که بدون راننده حرکت می کنند، از سیستم های درمانی که بیماری را قبل از بروز علائم تشخیص می دهند تا کارخانجاتی که بدون توقف تولید می کنند، همگی به لطف این هم افزایی در حال تحقق هستند. با این حال، این آینده ی روشن، بدون چالش و مانع نیست. امنیت، حریم خصوصی، استانداردسازی، تأثیرات اجتماعی و زیستی، و شکاف دیجیتال، از جمله مسائلی هستند که باید با تدبیر و همکاری جمعی پژوهشگران، سیاست گذاران و مجریان به آنها پرداخته شود. تنها در سایه ی نگاه جامع نگر، میان رشته ای و اخلاق محور است که می توان از مزایای شگرف این فناوری ها بهره برد و در عین حال، از مخاطرات و نابرابری های احتمالی جلوگیری کرد.

فهرست منابع

Aouedi, O. , Peng, Z. , & Huang, K. (2025). Security and privacy challenges in Internet of Things: A comprehensive survey. . Journal of Cybersecurity and Intelligent Networks. , 12(3), 45-68 .

Atzori, L. , Iera, A. , & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. . Computer Networks. , 54(15), 2787-2805 .



Chen, M. , Miao, Y. , & Humar, I. (2019). Cognitive Internet of Vehicles: A comprehensive survey. . IEEE Access. , 7, 156456-156479 .

Gubbi, J. , Buyya, R. , Marusic, S. , & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. . Future Generation Computer Systems. , 29(7), 1645-1660 .

Hossain, M. S. , & Muhammad, G. (2020). Emotion-aware connected healthcare system for smart healthcare. . IEEE Transactions on Industrial Informatics. , 16(6), 4168-4177 .

Khan, W. Z. , Aalsalem, M. Y. , & Khan, M. K. (2020). A survey on security and privacy of 5G network slicing. . IEEE Communications Surveys & Tutorials. , 22(3), 1726-1757 .

Li, S. , Xu, L. D. , & Zhao, S. (2015). The Internet of Things: A survey. . Information Systems Frontiers. , 17(2), 243-259 .

Liu, Y. , Wang, Y. , & Zhang, J. (2024). Deep reinforcement learning for dynamic spectrum access in IoT networks. . IEEE Transactions on Wireless Communications. , 23(1), 234-248 .

Mahmoud, M. E. , & Badawy, M. (2024). Lightweight blockchain-based authentication for IoT networks. . Journal of Network and Computer Applications. , 218, 103712 .

Nizam, H. , & Zainal, N. (2023). Smart parking systems based on IoT and 5G: A review. . IEEE Internet of Things Journal. , 10(8), 6789-6805 .

Qureshi, F. , & Newe, T. (2024). Synergy of IoT and intelligent networks: A comprehensive review. . International Journal of Neural Networks and Fuzzy Systems. , 34(2), 1-25 .

Raza, S. , Duquennoy, S. , & Voigt, T. (2021). Energy-efficient communication protocols for IoT. . ACM Transactions on Sensor Networks. , 17(3), 1-34 .

Ren, J. , & Zhang, Y. (2023). Federated learning for anomaly detection in smart grids. . IEEE Transactions on Smart Grid. , 14(2), 1456-1469 .

Sarker, I. H. (2022). Machine learning for intelligent communication networks. . Journal of Network and Computer Applications. , 198, 103272 .

Vaezi, M. , Azadi, A. , & Shamsi, H. (2022). 5G networks and the future of Internet of Things. . Journal of Telecommunications and Information Technology. , 41(1), 12-38 .

Wu, C. , & Li, X. (2023). Generative AI for network management and configuration. . IEEE Network. , 37(5), 78-85 .



Yang, Y. , & Wang, H. (2022). 6G networks: Vision, requirements, and key enabling technologies. . IEEE Communications Magazine. , 60(4), 56-63

