مقاله علمی-ترویجی

فناوری‌های نوین در نسل ششم شبکه‌های ارتباطی

پدرام حاجی پور، عضو هیات علمی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران، hajipour@itrc.ac.ir

لیلا محمدی، عضو هیات علمی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، تهران، ایران، mohamady@itrc.ac.ir

چکیده

نیازهای رو به رشد ارتباطی که برخی با فناوری نسل پنجم شبکه ارتباطی برآورده نمی‌شوند موجب شروع تحقیقات و هدف گذاری به سمت نسل ششم شبکه ارتباطی شده است. بر اساس منابع و مراجع مختلف، پیش‌بینی شده تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت نسل پنجم شبکه ارتباطی به حد نهایی خود در استانداردهای تعریف شده امروزی برسد. شبکه‌های نسل ششم شبکه ارتباطی بیشتر براساس توسعه معماری نسل پنجم شبکه ارتباطی ایجاد خواهند شد و مزایای به‌دست‌آمده در نسل پنجم شبکه ارتباطی همانند افزایش مجاز باندهای فرکانسی و معماری بهینه شبکه غیرمتمرکز را به ارث خواهد برد. انتظار می‌رود که نسل ششم شبکه ارتباطی فناوری‌های ارتباطی که امروزه با آن‌ها آشنا هستیم را به‌روزرسانی نموده و در نتیجه عملکرد شبکه‌های مخابراتی به‌طور قابل‌توجهی ارتقا یابد. با هدف‌گذاری‌های انجام شده، شبکه ارتباطی نسل ششم دارای ویژگی‌های نرخ بیت بالا، قابلیت اطمینان بالا، تاخیر پایین، بازده انرژی بالا، راندمان طیفی بالا خواهد بود.

کلمات کلیدی: نسل ششم شبکه ارتباطی، ماهواره، تراهرتز، شبکه ناهمگون، ظرفیت کانال ارتباطی

New Technologies in the Sixth Generation of Telecommunication Networks

Pedram Hajipour, Faculty member of ICT Research Institute, Tehran, Iran, hajipour@itrc.ac.ir

Leila Mohammadi, Faculty member of ICT Research Institute, Tehran, Iran, mohamady@itrc.ac.ir

Abstract

Abstract: The growing needs of communication, some of which are not even met by fifth-generation communication network technology, have led to research and targeting of the sixth generation communication network. According to various sources and references, it is predicted that by 2030, the capacity of the fifth generation communication network will reach its final level in today's defined standards. Sixth Generation Communication Networks will be built primarily on the development of the fifth generation communication network architecture, and will inherit the benefits of the fifth generation communication network (for example, allowable frequency bandwidth and optimal decentralized network architecture). It is expected to update the communication technologies for the sixth generation of communication networks and to significantly improve the performance of telecommunication networks that we are familiar

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

with today. With the goals set, the sixth generation communication network will have the characteristics of high bit rate, high reliability, low latency, high energy efficiency and high spectral efficiency.

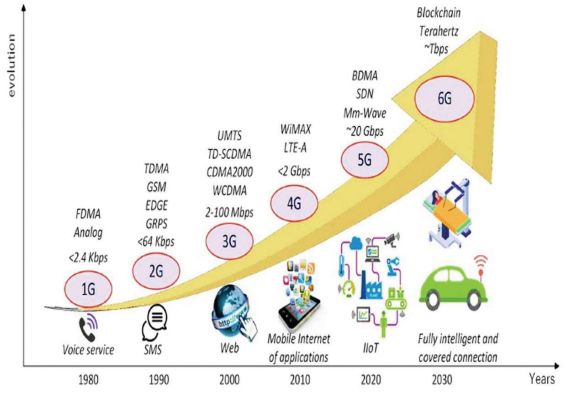
Keywords: Sixth generation communication network, satellite, terahertz, heterogeneous network, capacity of communication channel

۱- مقدمه

از زمان ظهور شبکه ارتباطات آنالوگ در دهه ۱۹۸۰میلادی، پیشرفت‌های فوق‌العاده‌ای در شبکه ارتباطات موبایل به وجود آمده است. این پیشرفت‌ها، یک فرآیند تک مرحله‌ای نیست بلکه در طول چند نسل که استانداردها، ظرفیت‌ها و شیوه‌های مختلفی دارند، رخ داده است. هر نسل به‌طور تقریبی هر ده سال یکبار معرفی شده است [۱]. ظهور نسل ششم شبکه‌های ارتباطی در میان سایر نوآوری‌های موجود، منجر به ایجاد تحول سیستم‌های بی‌سیم به سمت ارایه پوشش‌دهی پیوسته سرویس‌ها به‌وسیله تجمیع شبکه‌های زمینی با ایستگاه‌های مستقر در پلتفرم‌های غیرزمینی می‌شود. در حقیقت در آینده شبکه ارتباطات زمینی به تنهایی نمی‌تواند انعطاف‌پذیری، سازگاری و پوشش مورد نیاز برای برآورده کردن نیازهای کاربران نهایی را فراهم کند. بنابراین ایجاد یک شبکه ترکیبی زمینی و غیرزمینی به‌عنوان یک عامل کلیدی خواهد بود. تکامل شبکه ارتباطی به سمت نسل ششم و بعد از آن، باید برروی ایجاد یک معماری یکپارچه و کامل (چند لایه و چند بعدی) که در آن عناصر شبکه (مانند ماهواره، زیر ساخت‌های زمینی و...) به اشتراک گذاشته می‌شوند و ترافیک می‌تواند به‌صورت پویا مسیریابی شود، هدف‌گذاری نماید.

۲- بررسی ضرورت ایجاد نسل‌های اول تا ششم شبکه ارتباطی

شکل (۱) مشخصات نسل‌های مختلف شبکه ارتباطی را بر حسب زمان از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۳۰ میلادی نشان می‌دهد. در این بخش ابتدا به بررسی مشخصات و تاریخچه نسل‌های مختلف به‌ویژه نسل اول تا پنجم شبکه ارتباطی پرداخته و در نهایت به ضرورت ایجاد و ورود به نسل ششم و بعد از آن خواهیم پرداخت [۲].



شکل ۱: نسل‌های ارتباطی در گذر زمان [۱]

نخستین نسل شبکه ارتباطی بی‌سیم در دهه ۱۹۸۰ میلادی برای خدمات صوتی، با نرخ داده تا 2.4 kbps طراحی شد. نسل اول شبکه‌ی ارتباطی، از سیگنال آنالوگ برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کرد و از معایب این نسل مشکلاتی از قبیل Handover، قابلیت انتقال پایین داده و عدم امنیت مناسب بود [۲]. در نسل دوم ارتباطات سیار نرخ داده تا 64kbps افزایش یافت که نه تنها خدمات صوتی بهتر، بلکه خدماتی مانند سرویس پیغام کوتاه (SMS) را نیز پشتیبانی می‌کرد. استاندارد ارتباطی تلفن همراه در نسل دوم، GSM (سیستم جهانی ارتباطات تلفن همراه) نام‌گذاری شد [۳]. نسل سوم ارتباطات سیار در سال ۲۰۰۰ میلادی، با هدف انتقال داده‌های سرعت بالا پیشنهاد شد. این نسل نرخ انتقال داده دست‌کم 2Mbps و همچنین دسترسی با سرعت بالا به اینترنت را فراهم کرد [۴]. در زمان ظهور این نسل، به منظور دستیابی به رومینگ جهانی، پروژه مشارکت نسل سوم (3GPP) ایجاد شد تا استانداردهای مرتبط با سیستم‌های تلفن همراه تبیین شود [۵]. نسل چهارم ارتباطات سیار، یک شبکه مبتنی بر IP بود که در اواخر دهه ۲۰۰۰ میلادی معرفی شد، این نسل قادر به ارایه سرعت بالای داده تا 1Gbps در مسیر رو به پایین و 500Mbps در مسیر رو به بالا بود. این نسل به وضوح کارآیی طیفی را بهبود بخشید و میزان تاخیر را کاهش داد. علاوه بر این، نسل چهارم شبکه ارتباطی از طریق رومینگ خودکار، امکان تحرک ترمینال را برای ارایه خدمات بی‌سیم در هر زمان و هر مکان فراهم نمود [۶]. نسل بعدی که به‌خاطر ویژگی‌های خاص آن نسل پنجم شبکه ارتباطی نامیده شد، به‌طور تقریبی تست‌های اولیه، ساخت تجهیزات و فرآیند استانداردسازی را تکمیل کرده و به مرحله بهره‌برداری رسیده است. هدف نسل پنجم شبکه ارتباطی، توسعه انقلابی در نرخ ارسال داده‌ها، تاخیر کم، قابلیت اطمینان بالا، کارآمدی مناسب در مصرف انرژی و اتصالات گسترده در شبکه می‌باشد [۷]. 3GPP در نسخه ۱۶ عنوان کرده که استانداردسازی « فاز۲ 5G» تا پایان سال ۲۰۲۰ بسته می‌شود. این نسخه استاندارد در مورد ارتباطات بین‌المللی تلفن همراه (IMT-2020) در نسل پنجم و الزامات اتحادیه بین‌المللی ارتباط از راه دور (ITU) تدوین شده است. باندهای فرکانسی نسل پنجم شبکه ارتباطی را می‌توان به باند فرکانسی زیر یک گیگاهرتز، باند فرکانسی بین یک تا شش گیگاهرتز و بالاتر از شش گیگاهرتز تقسیم کرد. باندهای زیر یک گیگاهرتز به‌دلیل ویژگی‌های تضعیف کم سیگنال‌های منتشر شده، برای ارایه پوشش گسترده به‌ویژه برای تجهیزات اینترنت اشیا مناسب هستند. باندهای فرکانسی بین یک تا شش گیگاهرتز یک تعادل منطقی بین پوشش و نرخ داده برای خدمات ارایه می‌دهند. طیف فرکانسی بالای شش گیگاهرتز نیز پهنای باند زیادی را در دسترس قرار می‌دهند [۸-۱۰]. نسل پنجم شبکه ارتباطی، فناوری‌های دسترسی پیشرفته‌هایی مانند UFMC، FBMC مبتنی بر اصول OFDM استفاده می‌کند. همچنین فناوری‌های جدیدی مانند شبکه ناهمگن فوق متراکم، ارتباط موج میلی‌متری، شبکه چند ورودی - چند خروجی بزرگ (MIMO)، شکل موج تسهیم فرکانس متعامد مقیاس‌پذیر (OFDM)، و دسترسی چندگانه غیرمتعامد (NOMA) را هدف قرار داده تا نرخ داده انتها به انتها بالا، تاخیر پایین، و مصرف انرژی پایین را در انتقال داده داشته باشد [۱۱].

۳- انگیزه‌های شروع تحقیقات و توسعه نسل ششم شبکه ارتباطی

با در نظر گرفتن توسعه فعلی و در حال ظهور ارتباطات بی‌سیم، هدف‌گذاری برای نسل ششم باید برنامه‌ریزی شود. کاربردهای جدید

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

در آینـده نیـاز به نرخ داده از مرتبه ترابیت بـر ثانیه به وجود خواهد آمـد. از آن جمله می‌توان به هولوگرافی رادیویی (تصویربرداری سـه بعدی) اشـاره کرد. همچنین با افزایش نمایی و گسترش دستگاه‌های اینترنت اشـیا در آینده، ضروری اسـت که قابلیت اتصال و پوشـش اینترنت اشـیا از ظرفیت تعیین شده در نسـل پنجم شبکه ارتباطی خیلی بیشـتر شـود. به منظور امکان ارایه خدمـات نوین با توجه به ظهور کاربری‌های مختلف، تنظیمات و بهینه‌سازی شبکه و استفاده از منابع در آینده مبتنی بر روش‌های جدید با استفاده از هوش مصنوعی خواهد بود[۱۲]. با پیشـرفت فنـاوری رایانش کوانتومی، پروتکل‌های رمزنگاری کلاسـیک کنونی که بر اسـاس پیچیدگی‌های محاسباتی استوار هسـتند رمزگشایی خواهند شـد و امنیت ارتباطات و به تبع آن امنیـت ملی کشـورها در معرض خطر جدی قـرار خواهد گرفت. در مقابله با تهدید بیان شـده تاکنـون دو روش به‌طور کامل متفاوت (از بابت اصول و ابزار کار) ارایه شـده اسـت. روش نخست موسوم به رمزنگاری پسـاکوانتومی، یک روش نرم‌افزاری می‌باشـد که مبتنی بر طراحی مسـایل پیچیده ریاضی است که رایانه‌های کوانتومی نیز قادر به حـل آنها نباشـند. روش دوم تحت عنوان ارتباطـات و رمزنگاری کوانتومی مبتنی بر استفاده از اصول فیزیک کوانتوم برای انتقال کلید یـا پیام اسـت. در آینده با ایجاد شـبکه اینترنتی مبتنـی بر رایانش کوانتومی امکان ایجاد همزمانی دقیق ساعت‌ها که از الزامات ضروری ارتباطات نسل ششم شبکه ارتباطات مخابراتی می‌باشد، ایجاد خواهد شد[۱۳-۱۴].

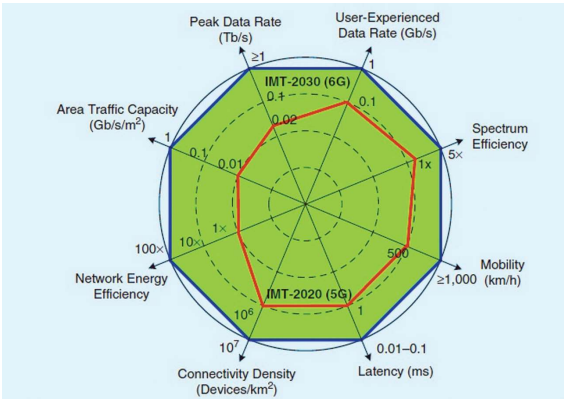
تکرارکننده‌های کوانتومی تجهیزات مهمی برای این نوع شـبکه‌ها در ارتباطات راه دور هستند. امروزه ارتباطات کوانتومی در فاصله ۷۶۰۰ کیلومتری با تکیه بر ماهواره‌های LEO تست شده است[۱].

یکی دیگر از مشـخصه‌های پیش‌بینی شـده در نسـل ششـم شبکه ارتباطی مجازی‌سـازی گسـترده تجهیـزات و به کارگیـری آنها در مدیریت شبکه ارتباطی خواهد بود. بدین ترتیب هزینه‌های تمام شده در بخش توسـعه، اجرا و نگهداری شـبکه کاهـش می‌یابد. هر چند موضوع شبکه‌های خود سـازمان ده (SON) از 4G مطرح شده اما به تدریج به واسطه نرم‌افزاری شدن فناوری‌های گسترش یافته است. در این نوع شـبکه‌ها سه عامل پیکربندی خودکار، بهینه‌سازی خودکار و همچنین اصلاح خرابی خودکار در نظر گرفته شـده که شـبکه قادر است در سطوح مختلف بیان شده هوشمندانه اقدام نماید و تجهیزات شـبکه قادرند در قالب برنامه‌های نرم‌افزاری در بازه‌های زمانی تعیین شده خود را با شرایط شبکه ارتباطی تطبیق دهند.

در این نوع شـبکه‌ها با توجه به ماهیـت آنها، تمرکز بر روی مدیریت تداخـل و توزیـع ترافیـک خواهد بود کـه با توجه به وجـود فاکتور بهینه‌سـازی خودکار در این نوع شبکه‌ها می‌توان راهکارهای مناسب را تامین نمود. SON در شـبکه‌های نسـل آتی قادر اسـت تا با توجه به محتوای تقاضای مورد انتظار هر کاربر شـامل مشخصات فنی مورد نیـاز، پوشـش رادیویی و ... کاربران را به شـکل نرم‌افزاری مدیریت نمایند. یک مشخصه مهم دیگر که شبکه‌های خود سازمان ده در نسل پنجم و بعد از آن خواهند داشـت، خود بهینه‌سـازی در تعیین مکان کاربران برای داشـتن سرویسـی مناسـب بر مبنای کیفیت سرویس بالاتر خواهد بود[۱۵-۱۸].

در نسـل ششم شـبکه ارتباطی، با توسـعه کلان‌داده، رایانش ابری، شـهر هوشمند و تجمیع شـبکه‌های چند بعدی ناهمگون متشکل از زیرسـاخت‌های زمینی، هوایی و فضایی رشـد و توسـعه پیدا خواهد کرد. در شـکل (۲) نمودار عنکبوتی نسـل پنجم و ششم به ترتیب با رنگ آبی و قرمز از دید مشـخصات فنی با یکدیگر مقایسه شده است.

همان‌طور که در این شـکل مشخص است میزان بیشینه نرخ داده در نسل ششم شبکه ارتباطی به دست‌کم ۱ ترابیت بر ثانیه خواهد رسید که میزان ۱۰۰ برابر مقدار هدف‌گذاری شـده در نسـل پنجم خواهد بود. نرخ کاربران از ۰/۱ گیگابیت بر ثانیه به ۱ گیگابیت بر ثانیه یعنی به میزان ۱۰ برابر افزایش خواهد یافت. میزان تاخیر از ۱ میلی‌ثانیه به بازه ۰/۰۱ تا ۰/۱ میلی‌ثانیه خواهد رسـید. میزان ظرفیت ترافیک در سـطح به $1Gbps/m^2$ می‌رسد که رشد ۱۰۰ برابری را نسبت به نسل پنجم خواهد داشـت. میزان کارآیی طیف به میـزان ۵ برابر و میزان کارآیی انرژی به میزان ۱۰۰ برابر رشد خواهد داشت. در نهایت میزان تراکم اتصال ده برابر رشد خواهد داشت [۱۹].



شکل۲: مقایسه مشخصات فنی ارتباطات در نسل پنجم و ششم شبکه‌های ارتباطی [۱۹]

همچنیـن پیش‌بینی شـده که ترافیـک جهانی IP در سـال ۲۰۲۲ میلادی سـه برابر بیشـتر از سـال ۲۰۱۷ میلادی خواهـد بود و به حدود ۴۰۰ اگزابایت در ماه خواهد رسـید[۲۰]. قابل ذکر اسـت که ترافیک ناشـی از دسـتگاه‌های بی‌سـیم و موبایـل ۷۱ درصد از کل ترافیک IP را تشـکیل می‌دهد که تا حد زیادی ناشـی از گسـترش اینترنت اشـیا، افزایش دسـتگاه‌های موبایل و تبلت‌های هوشـمند و همچنیـن برنامه‌های مبتنـی بر محتوا مانند یوتیـوب و نت فلیکس است [۲۱-۲۴]. در سال‌های اخیر، به منظور تطبیق با ترافیک عظیم، مهندسان و محققان هر دو حوزه صنعتی و دانشگاهی در حال توسعه فناوری‌های نوین، انجام آزمایش‌ها و ایجاد اسـتانداردهای بین‌المللی برای نسل‌های جدید هستند.

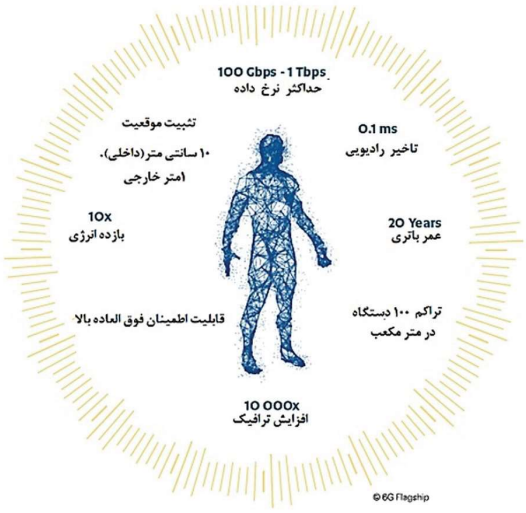
۴- گسـتره، اهـداف و شـاخص‌های کلیدی عملکردی نسـل ششم شبکه ارتباطی

هر چند بسیاری از شـاخص‌های کلیدی عملکردی (KPIs) که برای نمایش توسـعه فناوری‌های جاری و نسل پنجم شبکه ارتباطی مورد اسـتفاده قرار می‌گیرند، برای فناوری نسـل ششم شبکه ارتباطی نیز معتبر هسـتند، با این حال، شـاخص‌های کلیـدی عملکردی باید به دقـت مورد بازبینـی قرار گیرند و KPIs جدید در نظر گرفته شـوند. برای شـاخص‌های کلیدی عملکردی، برخی از نهادها و سـازمان‌های معتبـر، پیش‌نویس اولیه را برای نیازمندی‌های مورد انتظار از نسـل ششـم شبکه ارتباطی را همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده، ارایه نموده‌اند[۲۵].

۵- چالش‌هـای پیـش روی جهت تحقق نسـل ششـم شـبکه ارتباطی

نسـل ششم شبکه ارتباطی از نظر اسـتفاده از منابع زمان، فرکانس و

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]



شکل ۳: اهداف کلی مورد انتظار از نسل ششم شبکه ارتباطی[۲۵]

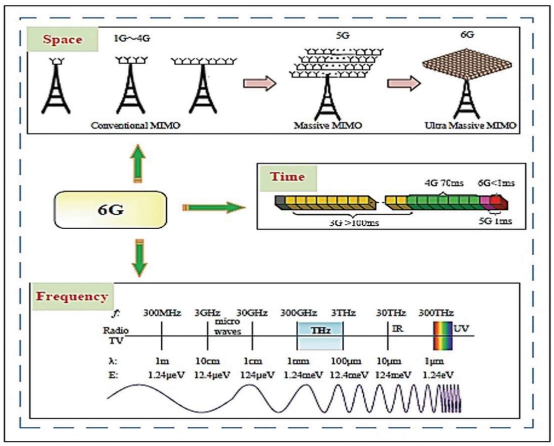
فضا به‌منظور تامین سرعت بالاتر، ظرفیت بیشتر و تاخیر کمتر برای کاربردهای آینده، فوق‌العاده خواهد بود. علاوه بر این، هنگام کار در باندهای فرکانسی بالا در این نسل مانند تراهرتز، برای حفظ ارتباطات با ظرفیت بالا نیاز به بودجه لینک کافی خواهد بود. با توجه به فرکانس بالای کاری مابین فرستنده و گیرنده، افت شدیدی در سیگنال ایجاد خواهد شد. بنابراین مقدار توان ارسالی می‌تواند مدت طول عمر باتری را کاهش دهد بنابراین این موضوع به‌ویژه در سناریوهایی که از تجهیزات غیرزمینی برای پشتیبانی از سرویس‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شود، بسیار مهم است. علاوه بر این، اثر داپلر در سرعت بالا می‌تواند باعث اختلال در سیگنال شود. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده، محدودیت منابع موضوع مهمی است بنابراین از منابع زمان، فرکانس و فضا در نسل ششم شبکه ارتباطی به صورت زیر استفاده خواهد شد:

الف) در بعد فضایی؛ برای استفاده بیشتر از چند مسیر، تعداد آنتن‌های مجهز به فرستنده و گیرنده افزایش خواهد یافت. شیوه‌هایی مانند Massive-MIMO، ممکن است صدها تا هزاران ارسال-دریافت را برای ارتباطات تراهرتز مورد استفاده قرار دهد. در[۲۶]، آنتن آرایه‌ای ۱۰۲۴تایی برای ارتباط در فرکانس تراهرتز توصیه شده است. این موضوع به‌دلیل کاهش طول موج ارسالی ممکن می‌شود. به عنوان مثال، برای ارسال و دریافت در فرکانس ۶۰ گیگاهرتز، تعداد ۱۴ آنتن را می‌توان در ابعاد۲×۱ سانتی‌متر مربعی جای داد، در حالی‌که در فرکانس 1THz، تعداد ۱۰۰۰ آنتن را می‌توان در ابعاد ۲×۱ میلی‌متر مربع جای داد.

ب) در بعد زمانی؛ نسل ششم شبکه ارتباطی حاوی تاخیر کم و دارای معماری بهبود یافته نسبت به نسل پنجم شبکه ارتباطی ارایه خواهد داد.

ج) در بعد فرکانس؛ نسل ششم شبکه ارتباطی از باند فرکانسی بالاتر نسبت به نسل‌های قبلی به منظور بهبود نرخ ارسال داده‌ها استفاده خواهد کرد. باندهای فرکانسی بالا، مانند باند تراهرتز و حتی باند فرکانسی نور مرئی برای انتقال ۱۰۰ گیگابیت بر ثانیه استفاده خواهد شد.

همچنین در نسل‌های آینده، شبکه‌های ارتباطی زمینی با سیستم‌های هوایی و ماهواره‌ای برای ایجاد شبکه‌های یکپارچه ادغام می‌شوند.

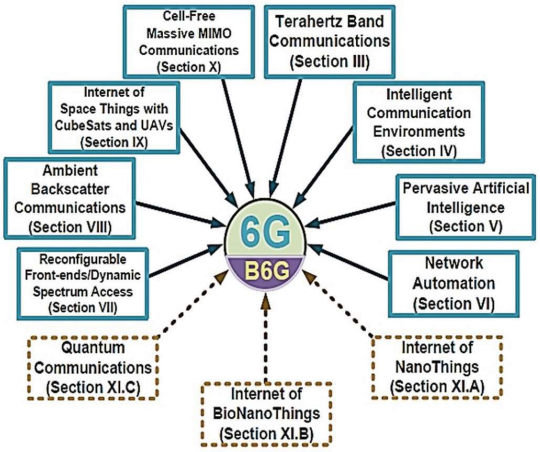


شکل۴: طرح نسل ششم شبکه ارتباطی بر مبنای منابع زمان، فرکانس و فضا[۲۷]

۶- فناوری‌های پیش‌بینی شده در نسل ششم شبکه‌های ارتباطی

در راستای تحقق نسل ششم شبکه ارتباطی، به این نکته اشاره می‌کنیم که راه‌حل‌های توانمندسازی متعددی در این نسل در نظر گرفته‌شده و به طور فعال مورد مطالعه قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل (۵) نشان‌داده شده است، بخشی از این فناوری‌ها همانند: ارتباطات در باند فرکانسی تراهرتز با پهنای باند زیاد، محیط‌های ارتباطی هوشمند، هوش مصنوعی فراگیر، اتوماسیون شبکه در مقیاس بزرگ، ارتباطات با تعداد آنتن زیاد ورودی- خروجی در حالت بدون سلولی، اینترنت اشیا فضایی با کمک ماهواره‌های مکعبی، پهپادها و ...، ارتباطات ایجاد شده از طریق لامسه (حسی) در محیط، دسترسی پویا به منابع طیفی با پیکربندی قابل تنظیم و...

البته فناوری‌های نوید بخش دیگری که انتظار می‌رود آینده ارتباطات را تغییر دهند، و در شکل (۵) آورده شده که هنوز به اندازه کافی برای نسل ششم شبکه ارتباطی بالغ نیستند. نمونه این فناوری‌ها عبارتند از: اینترنت اشیا نانو، اینترنت اشیا زیستی و ارتباطات کوانتومی.



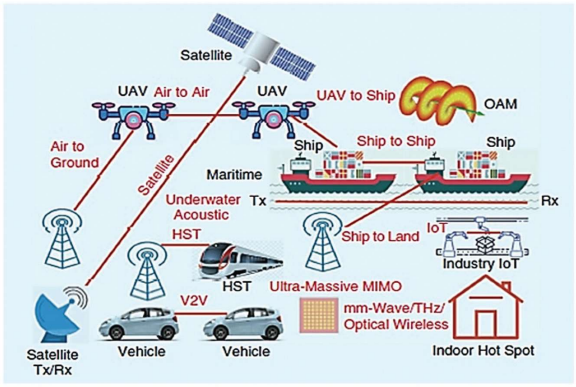
شکل۵: فناوری‌های پیش‌بینی شده برای نسل ششم مخابراتی و بعد از آن [۲۸]

۷- معماری پیشنهادی برای نسل ششم شبکه ارتباطی

در نسل ششم شبکه ارتباطی، تراکم اتصال به دلیل استفاده از شبکه‌های بسیار ناهمگن، سناریوهای متنوع ارتباطی و داشتن پهنای باند بزرگ در باندهای فرکانسی بالا، ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

همچنین بـه دلیل وجـود ماهواره‌های پرظرفیـت و پهپادها، میزان تحرک به بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر بر سـاعت خواهد رسـید. سـاختار شـبکه‌های ارتباطی نسل ششـم، دارای تغییرات جدید که متکی به فناوری‌های جدید هسـتند. این تغییـرات جدید را می‌توان به‌صورت پوشـش جهانی در طیف وسـیعی از فرکانس، برنامه‌های کاربردی و امنیت قـوی در ارتباطات شـبکه خلاصه کرد. برای تامین پوشـش جهانی، شـبکه‌های ارتباطی نسـل ششم، از شـبکه‌های ترکیبی در سـه بعد فضا، هوا، زمین که شامل سیستم ماهواره، پهپاد، شبکه‌های زمینی، ارتباطـات زیرزمینی، ارتباطات دریایی و ارتباطات صوتی زیر آب، بهره‌مند خواهد شد (شکل ۶).

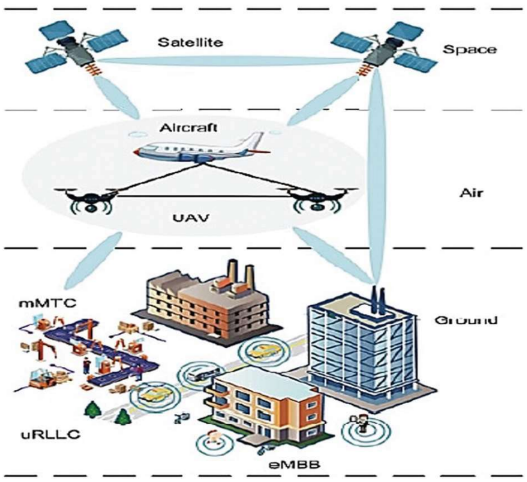


شکل ۶: انواع مختلف کانالهای ارتباطی بی سیم در نسل ششم شبکه ارتباطی[۲۹]

در ادامه به بررسی برخی از کانال‌های ارتباطی در معماری نسل ششم شبکه ارتباطی در بعد فضا می‌پردازیم:

الف) بکارگیری وسـیله نقلیه هوایی بدون سرنشـین(UAV): پهپاد یا هواپیماهای بدون سرنشـین یک عنصر مهم در ارتباطات بی‌سـیم نسـل ششم شبکه ارتباطی خواهد بود. در بسیاری از موارد، ارتباطات بی‌سیم با نرخ داده بالا با استفاده از فناوری پهپاد ارایه خواهد شد. در آینده ایستگاه‌های پایه بر روی پهپادها نصب خواهند شد تا ارتباطات سـلولی ایجاد کنند. یک پهپاد دارای ویژگی‌های خاصی است که در زیرساخت ایستگاه‌های پایه ثابت یافت نمی‌شود، مانند استقرار آسان، خـط دید قـوی و درجات آزادی ارتباطات با تحرک کنترل‌شـده. در شـرایط اضطراری مانند بلایای طبیعی، اسـتفاده از زیرسـاخت‌های ارتباطی زمینی از نظر اقتصادی امکان‌پذیر نیست و گاهی اوقات ارایه هر گونه خدماتی در محیط‌های دور افتاده ممکن نیسـت. پهپادها به راحتی می‌توانند این شـرایط را کنترل کنند. بنابراین، فناوری پهپاد به‌عنوان یکی از فناوری‌های مهم برای ارتباطات نسـل ششـم شبکه ارتباطی شـناخته شـده اسـت. در نتیجه، کاربر بدون نیـاز به ایجاد تنظیمات دسـتی در دسـتگاه به طور یکپارچه از یک شبکه به شبکه دیگر حرکت خواهد کـرد[۳۰]. به طور خاص، همان‌طور که در[۳۱] بیان شـده، انواع وسـایل نقلیه هوایی، مانند بالون، کشـتی هوایی و وسیله نقلیه هوایی بدون سرنشین به پویایی شبکه نسل ششم شبکه ارتباطی و چند لایه شدن ساختار شبکه ارتباطی کمک خواهد کرد.

ب) بکارگیری ارتباطات ماهواره‌ای : در یک شـبکه سـلولی سـنتی، ارتباطـات به‌طور معمول بین تجهیزات زمینی مانند تلفن‌های همراه، ایستگاه‌ها و ماشین‌ها رخ می‌دهد. در سال‌های آینده، با توسعه علم و فناوری، دستگاه‌های بیشتری نیاز به دسترسی به شبکه ارتباطی برای پشـتیبانی از برنامه‌های کاربردی و دریافت سرویس‌های جدید دارند. شـبکه ارتباطی بی‌سیم کنونی پوشـش محدودی دارد. به‌طور کلی، ماهواره‌ها می‌توانند برای کمک به ایسـتگاه‌های پایه موجود در ایجاد پوشـش بی‌سیم با ظرفیت بالا بکار گرفته شـوند. به عنوان مثال، در مناطق روسـتایی یا اقیانوس‌ها یا هنگامی که برج‌ها خارج از سرویس هسـتند، فراهم کنند. همچنین هنگامی که فاصله بین دو زیرساخت زمینی افزایش یابد، اتصال بین دو سـایت از طریق فیبر نوری ممکن اسـت بسـیار گران تمام شـود. در این حالت ارتباطـات ماهواره‌ای، می‌تواند با انتقال سـیگنال‌های کاربر از طریق شـبکه فضایی-هوایی -زمینی، پوشـش مناسـب و اتصال دسترسـی با ظرفیت بالا را برای دسـتگاه‌های روی زمین و هـوا فراهم کنـد[۳۳-۳۲]. در[۳۴]، یک معماری یکپارچه بالقوه از شـبکه فضایی-زمینی (STN) متشـکل از ماهواره، هواپیماها، پهپادها و تجهیزات زمینی را مطابق با شـکل (۷) معرفی شده است.



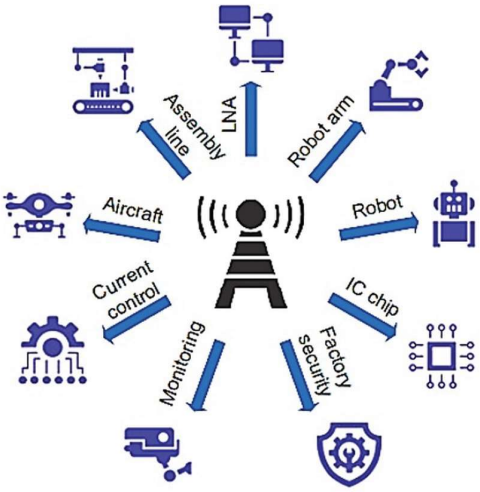
شکل۷: استفاده از ماهواره‌ها در شبکه ناهمگون نسل ششم شبکه ارتباطی[۳۵]

با توجـه به پیشـرفت‌هایی که در زمینـه طراحی بخـش مخابراتی ماهواره‌هـای جدید انجام شـده می‌توان با منظومه‌هـای ماهواره‌ای غیرزمین آهنگ، مانند مگامنظومه‌های ماهواره‌ای شرکت Space-X و یـا One web با میزان تاخیری در حدود ۲۰ تا ۳۰ میلی‌ثانیه، می‌توان این نوع سرویس‌ها را در شبکه‌های ارتباطی در آینده تامین نمود.

ج) ایجاد اینترنت همه چیز(IoE): یکپارچه‌سـازی و هماهنگی میان تعداد زیادی از عناصر و سنسـورهای محاسـباتی، اشیا یا دستگاه‌ها، افـراد، فرآیندهـا و داده‌ها با اسـتفاده از زیرسـاخت اینترنت امکان پذیر خواهد بود. در مقایسـه با نسل چهارم شـبکه ارتباطی، چگالی اتصال در نسـل پنجم شبکه ارتباطی تا ۱۰ برابر افزایش می‌یابد. قابل پیش‌بینی اسـت که تراکم اتصال در نسل ششم شبکه ارتباطی بیشتر شـود. این امر فرصت‌های بیشـتری را برای ساخت یک شبکه جدید بـه نام اینترنت صنعتـی از چیزها فراهم می‌کنـد. همان طور که در شـکل (۸) نشـان داده شده، این نوع شـبکه، اطلاعات بلادرنگ را از حسـگرهای مختلف جمع‌آوری می‌کند و آن‌ها را به موقع و سـریع به بخش‌های مختلف مورد نیاز انتقال می‌دهد. در برخی کاربردها همانند خودروهای خودران، لازمه این امر داشتن نرخ داده بسیار بالا و تاخیر بسـیار پایین و قابلیـت اطمینان بالا خواهد بود. علاوه بر این، نسـل ششـم شـبکه ارتباطی می‌تواند نرخ داده 1Tbps و تاخیری به میزان ۰/۱ میلـی ثانیه را برای پشـتیبانی از این شـبکه فراهم کند. انتظار مـی‌رود که تا سـال ۲۰۲۴ میلادی، ۴/۱ میلیـارد اتصال IoT وجود داشته باشد. به طور کلی اینترنت اشیا به‌طور معمول در مورد وسایل فیزیکی یا اشیا است و با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کند، اما IoE هوش شبکه را معرفی می‌کند تا تمام افراد، داده‌ها، فرآیندها و اشیا فیزیکی

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

را به یک سیستم متصل کند. مطابق با شکل (۸)، IoE در نسل ششم برای جوامع هوشمند مانند خودروهای هوشمند، بهداشت هوشمند و صنایع هوشمند استفاده خواهد شد[۳۰].



شکل۸: تجهیزات بکار رفته در اینترنت اشیا برای نسل ششم شبکه ارتباطی[۳۵]

به طورکلی، فناوری‌های نسل ششم شبکه ارتباطی قادر به افزایش قابل‌توجه ظرفیت شبکه هستند. میزان این افزایش ظرفیت را می‌توان بر اساس رابطه ظرفیت با در نظر گرفتن تداخل و سایر محدودیت‌ها بیان نمود. همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده، می‌توان با افزایش پهنای باند سیگنال، توان سیگنال، تعداد کانال در دامنه‌های فضا، زمان و فرکانس، تعداد عناصر پوشش دهنده در شبکه ارتباطی در نسل ششم یا پوشش و همچنین کاهش تداخل و نویز، ظرفیت مجموع را افزایش داد[۲۹].

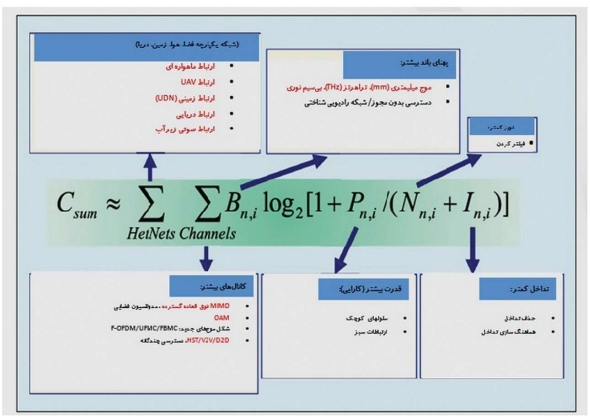
۸- بازه فرکانسی تعیین شده برای نسل پنجم شبکه ارتباطی و بعد از آن

باید توجه داشت که فرکانس یک منبع بسیار با ارزش و محدود برای ارتباطات بی‌سیم است. از آنجا که باندهای فرکانسی پایین (زیر ۶ گیگاهرتز) به شدت شلوغ هستند در WRC-15، چند باند زیر ۱۰۰ گیگاهرتز به‌عنوان باندهای کاندید بالقوه برای نسل پنجم شبکه ارتباطی، مانند باندهای ۶۶ تا ۷۶ گیگاهرتز با پهنای باند ۱۰ گیگاهرتز در نظر گرفته شدند. در WRC-19، ITU باندهای موج میلی‌متری بیشتری اضافه کرد، یعنی ۲۴/۲۵ تا۲۷/۵، ۳۷ تا۴۳/۵، ۴۵/۵ تا۴۷، ۴۷/۲ تا۴۸/۲و ۶۶ تا۷۱ گیگاهرتز. در این فرایند، چندین باند موج میلی‌متری برای 5G به دلیل وجود طیف‌های پهن و پیوسته برای پشتیبانی از هدف نسل پنجم شبکه ارتباطی با بیشینه نرخ داده‌های ۲۰ گیگابیت بر ثانیه تعیین شده است. امروزه، استفاده از باند فرکانسی زیر ۱۰۰ گیگاهرتز برای پشتیبانی از نرخ داده 1Tbps و بیشتر، یک چالش اساسی محسوب می‌شود. با این حال، در باندهای تراهرتز (۰/۱ تا۱۰ تراهرتزی)، منابع طیفی بیشتری می‌توانند برای ارتباطات بی‌سیم استفاده شوند. در جدول(۱)، می‌توان دید که به‌طور کلی پهنای باند ۱۳۷ گیگاهرتز موجود است. این امر نشان می‌دهد که باند فرکانسی تراهرتز یک راهکار امیدوار کننده برای رسیدن به نرخ داده در مرتبه ترابیت بر ثانیه برای نسل ششم شبکه ارتباطی است[۳۵].

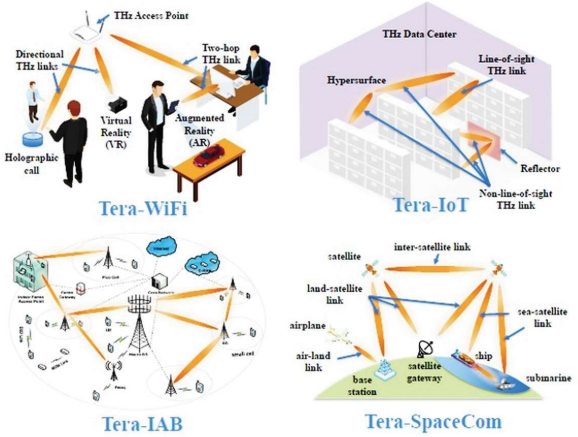
جدول۱: باندهای فرکانسی تراهرتز مشخص شده در WRC-19[۳۴]

Frequency range (GHz)	Contiguous bandwidth (GHz)
275-296	21
306-313	7
318-333	15
356-450	94

باند تراهرتز می‌تواند مشکل کمبود منابع طیفی را در آینده حل کرده و ظرفیت سیستم‌های بی‌سیم کنونی را بسیار افزایش دهد [۳۵]. کاربردهای امیدوارکننده مختلفی مانند سیستمTbps WLAN (Tera-WiFi)، Tbps Internet-of-Things (Tera-IoT) در مرکز داده بی‌سیم، دسترسی بکهال یکپارچه Tbps در شبکه‌های بی‌سیم (Tera-IAB)و شبکه ارتباطات فضایی بی‌سیم پهن باند فوق وسیع(Tera-SpaceCom) پیش‌بینی شده است. همان‌طور که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، علاوه بر این کاربردهای بزرگ در مقیاس کوچک و بزرگ، باند تراهرتز می‌تواند برای اتصالات بی‌سیم در شبکه‌های نانو ماشین به‌کار رود تا شبکه‌های بی‌سیم (WiNoC) و اینترنت اشیا نانو Internet of Nano-thing (IoNT) را فعال کند[۳۶].



شکل۹: اثر گذاری فناوری‌های امکان‌پذیر نسل ششم شبکه ارتباطی در افزایش ظرفیت[۲۹]



شکل۱۰: کاربری‌های احتمالی باند تراهرتز در نسل ششم شبکه ارتباطی[۳۷]

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

۹-معرفی برخی از فناوری‌های مورد استفاده در نسل ششم شبکه ارتباطی در باند فرکانسی تراهرتز

الف) فرستنده و گیرنده تراهرتز: اگر چه مطالعه باند فرکانسی تراهرتز از دهه ۱۹۹۰ به‌طور گسترده مورد توجه قرار گرفته است، اما عدم وجود فرستنده‌های سیگنال توان بالا و آشکارسازهای حساسیت بالا که در دمای اتاق کار کنند، برای چندین دهه یک چالش بزرگ برای ارتباطات تراهرتز بوده است. بسیاری از پیشرفت‌های اخیر در مسیر فناوری مختلف به‌طور مشترک توانسته شکاف ایجاد شده در بکارگیری تراهرتز را پر کنند. به‌عنوان مثال، فناوری‌های الکترونیکی [۳۸] شامل فناوری سیلیکون CMOS، فناوری سیلیکون ژرمانیم BiCMOS، و ترانزیستور انتقال الکترونی در حجم بالا مبتنی بر نیمه‌هادی III - V (HEMT)، ترانزیستور دو قطبی حاوی چند نقطه اتصال (HBT) و فناوری دیود شاتکی بسیار پیشرفته هستند و می‌توانند براساس منابع موجود، به‌عنوان تقویت‌کننده‌ها و ترکیب‌کننده‌ها در فرکانس‌های مجاور نسبت به فرکانس اصلی عمل کنند. با این فناوری‌ها، سیگنال‌های تراهرتز اصولا با استفاده از تبدیل فرکانس‌های پایین‌تر از طریق زنجیره‌های ضرب‌کننده‌های فرکانسی تولید می‌شوند.

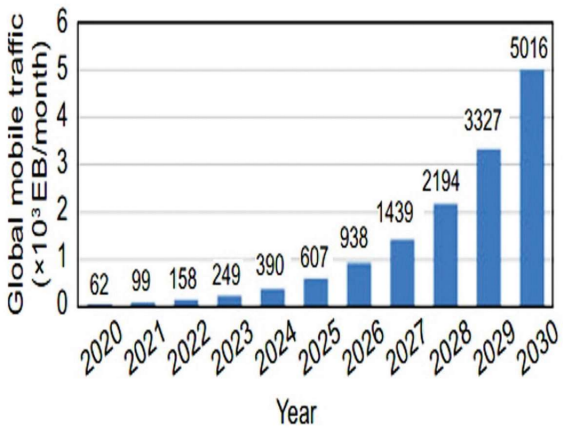
ب) آرایه‌های آنتن تراهرتز: توان انتقال پایین فرستنده و گیرنده‌های تراهرتز، استفاده از آنتن‌های جهت‌دار را ممکن می‌سازد. چندین طرح متداول آنتن، از جمله آنتن‌های شیپوری مورب، آنتن‌های بازتابنده Cass grain و آنتن‌های لنزی از نظر تجاری در فرکانس‌های زیر یک تراهرتز در دسترس هستند. این ویژگی همچنین امکان طرح‌های نوآورانه بیشتری در آنتن‌های چند بازتابنده و آنتن‌های یکپارچه با لنز را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، مواد نانو جدید می‌توانند برای طراحی نوع جدیدی از آنتن‌ها مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، گرافین می‌تواند برای تولید نانوآنتن‌های پلاسمونی که از سیگنال‌های تراهرتز پرتو می‌گیرند، مورد استفاده قرار گیرد[۳۹].

ج) سطوح هوشمند قابل پیکربندی (RIS) تراهرتز: علاوه بر استفاده از آرایه‌های آنتن در ارسال و دریافت، RIS را می‌توان برای کنترل انتشار سیگنال‌های تراهرتز، سفارشی کردن جذب موج الکترومغناطیسی، انعکاس، پلاریزاسیون و تغییر فاز مورد استفاده قرار داد. در مقایسه با رفلکتورها یا رله‌های معمولی، RIS امکان سفارشی‌سازی پویا و دقیق انتشار الکترومغناطیسی را فراهم می‌کند که توسط مجموعه عظیمی از اتم‌های رسانا و عناصر سوییچ بر روی یک لایه دی‌الکتریک تحقق می‌یابد. ایده RIS همچنین برای ارتباطات خانگی مایکروویو پیشنهاد شده است[۳۷].

۱۰- معرفی برخی از پروژه‌های جهانی در خصوص نسل ششم شبکه ارتباطی

گزارش‌های ITU میزان ترافیک جهانی داده مطابق با شکل(۱۱) بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ میلادی تخمین زده است (ITU-R 2015). پیش‌بینی می شود که تعداد اشتراک‌های جهانی موبایل در سال ۲۰۲۵ به ۱۳/۸ میلیارد و در سال ۲۰۳۰ به ۱۷/۱ میلیارد اشتراک برسد[۴۰].

علاوه براین، تخمین زده می شود که میزان ترافیک جهانی موبایل در هر ماه، از جمله ترافیک ماشین به ماشین به ۶۰۷ اگزابایت (EB) در سال ۲۰۲۵ و ۵۰۱۶ اگزابایت در سال ۲۰۳۰ برسد، درحالی‌که در سال ۲۰۲۰ فقط 62 EB است. افزایش ترافیک در اثر توسعه این سرویس‌ها در آیندهای نه چندان دور فراتر از ظرفیت نسل پنجم شبکه ارتباطی خواهد بود. از نسل چهارم شبکه ارتباطی به نسل



شکل ۱۱: برآورد ترافیک جهانی موبایل در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ (شامل ترافیک ماشین به ماشین(M2M))[۴۰]

پنجم شبکه ارتباطی، نرخ پیک داده از مرتبه مگابیت بر ثانیه (Mbps) به گیگابیت بر ثانیه (Gbps) افزایش می‌یابد و انتظار می‌رود نرخ داده نسل ششم شبکه ارتباطی برای پاسخگویی به چالش افزایش مستمر ترافیک به ترابیت بر ثانیه (Tbps) برسد[۴۱]. در سپتامبر ۲۰۱۷، اتحادیه اروپا پروژه‌هایی را برای تحقیق در مورد استفاده از ارتباطات تراهرتز (THz)، ارتباطات نور مرئی و باند رادیویی D (رنج فرکانسی ۱۱۰ تا ۱۷۰ گیگاهرتز) را برای شبکه‌های ارتباطی فراتر از 5G (BG5) آغاز کرده است. در سال ۲۰۱۸ میلادی، پروژه «جامعه و اکوسیستم هوشمند بیسیم مبتنی بر نسل ششم شبکه ارتباطی» به عنوان یکی از دو پروژه پرچمدار در یک برنامه تحقیقاتی ملی با بودجه دولت فنلاند در دانشگاه اولو انتخاب شد همچنین در جولای ۲۰۱۸، گروه کاری ITU-T برای فناوری‌های شبکه ۲۰۳۰ (FGNET-2030) تشکیل شد که هدف آن بررسی توانایی شبکه‌ها برای سال ۲۰۳۰ میلادی و بعد از آن است. در دسامبر ۲۰۱۸، چندین شرکت ارتباطی در چین، از جمله شرکت ارتباطات موبایل چین (CMCC)، هواوی و اوپو پروژهایی را با عنوان «چشم‌انداز و نیاز سیستم‌های B5G »آغاز کردند. در نوامبر ۲۰۱۹، وزارت علوم و فناوری چین اعلام کرد که یک گروه تحقیق و توسعه ملی برای نسل ششم شبکه ارتباطی ایجاد کرده است. در مارس ۲۰۱۹، کمیسیون ارتباطات فدرال (FCC) امریکا مجوزهای طیف آزمایشی را برای نسل ششم شبکه ارتباطی باز کرده است. در ژوئن ۲۰۱۹، اعلام شد که Korea Telecom (KT) و دانشگاه‌های ملی سئول در توسعه و استانداردسازی فناوری‌های ارتباطات از راه دور نسل ششم شبکه ارتباطی همکاری خواهند کرد[۳۴].

۱۱- نتیجه گیری

در سال ۲۰۲۵ میلادی، نسل پنجم شبکه ارتباطی به طور گسترده در سراسر جهان گسترش خواهد یافت. با توجه به نقشه راه نسل‌های جدید شبکه‌های مخابراتی، هدف گذاری برای نسل ششم شبکه ارتباطی و تحقیقات در این زمینه از سال ۲۰۱۷ شروع شده و فناوری‌های و منابع فرکانسی جدید به ویژه تراهرتز برای استفاده در نسل ششم شبکه مخابراتی پیشنهاد شده‌اند.

مشابه نسل‌های قبلی، استقرار گسترده نسل پنجم شبکه ارتباطی بلافاصله رخ نخواهد داد بلکه توسعه آن تدریجی خواهد بود. بنابراین، نسخه‌های تکمیلی نسل پنجم شبکه ارتباطی ممکن است پس از سال ۲۰۲۵ میلادی با عنوان فراتر از نسل پنجم (B5G) شبکه ارتباطی نیز ارایه گردد. با در نظر گرفتن توسعه کنونی و در حال ظهور

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

ارتباطات نسل پنجم شبکه ارتباطی، تصور میشود که نسل ششم شبکه ارتباطی شامل سه جنبه اصلی ارتباطات موبایل فراپهن باند، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی (AI) باشد. در همین راستا، محققان و طراحان شبکه‌های نوین ارتباطی بدنبال یک ساختار چند لایه و چند بعدی برای نسل ششم شبکه ارتباطی هستند که بتوانند ضمن تامین پوشش جهانی، الزامات مورد نیاز را برآورده نمایند. با توجه به آینده جایگاه ارتباطات ماهواره‌ای، توسعه ماهواره‌های با ظرفیت بالا و همچنین مگامنظومه‌های ماهواره‌ای مورد توجه جدی قرار گرفته است. چالش رفتن از ساختار تک ماهواره‌ای به ساختار شبکه ارتباطی نوین شامل چندین ماهواره در ارتفاعات مداری مختلف و ایجاد مکانیزم ارتباط و تبادل داده بدون ایجاد تداخل عملکردی بین آن‌ها از طریق لینک‌های افقی در میان ماهواره‌هایی که در ارتفاع یکسان هستند و در لینک‌های عمودی مابین ماهواره‌هایی که که در ارتفاع مختلف حرکت می‌کنند و همچنین با پهپادها می‌بایست در نسل ششم شبکه ارتباطی مورد توجه قرار گیرد.

۱۲- واژگان کلمات اختصاری بکار رفته در مقاله

معادل فارسی	لغات انگلیسی
پروژه مشارکت نسل سوم	3rd Generation Partnership Project (3GPP)
هوش مصنوعی	Artificial intelligence (AI)
بکهال	Backhaul
فراتر از نسل پنجم	Beyound 5G (B5G)
رایانش ابری	Cloud computing
شرکت ارتباطات موبایل چین	China Mobile Communications Corporation (CMCC)
ماهواره مکعبی	Cube satellite
بازده انرژی	Energy efficiency (EE)
کمیسیون ارتباطات فدرال	Federal Communications Commission (FCC)
اتحادیه بین‌المللی مخابرات	International telecommunication union (ITU)
اینترنت اشیا	Internet of things (IoT)
اینترنت همه چیز	Internet of every things(IoE)
اینترنت اشیا نانو	Internet of Nano-thing (IoNT)
شاخص کلیدی عملکردی	Key performance indicator(KPI)
موج میلیمتری	Millimeter wave (MM wave)
چند ورودی- چند خروجی	Multi- input Multi-output (MIMO)
دسترسی چندگانه غیر متعامد	Non orthogonal multiple access (NOMA)
تسهیم فرکانس متعامد	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM
سطح هوشمند قابل پیکربندی	Reconfigurable intelligent surface (RIS)
شبکه فضایی-زمینی	Space-terresterial network(STN)
سرویس پیغام کوتاه	Short message service (SMS)
شبکه خود سازمان ده	Self-Organizing Networks (SON)
نسل ششم	Sixth generation (6G)
راندمان طیفی	Spectral efficiency (SE)
پهپاد	Unmanned aerial vehicle (UAV)
فرا پهن باند	Ultra wide band (UWB)

مراجع

[1]T.Huang , W.Yang, J. Wu,J. Ma, X. Zhang, D.Zhang," A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies:, Dol: 10.1109/ ACCESS.2019.2957648, IEEE Access, pp.175758-175768, December 2019.

[2]A. Gupta and E. R. K. Jha, "A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies", IEEE Access, vol. 3, pp. 1206-1232, July 2015.

[3]K. David and H. Berndt, "6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G?" IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 72-80, September 2018.

[4]P. Sharma, "Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network", International Journal Computer Science and Mobile Computing, vol. 2, no. 8, pp. 47-53, August 2013.

[5]A. U. Gawas, "An overview on evolution of mobile wireless communication networks: 1G-6G," International Journal Recent Innovation Trends Computer Communication, vol. 3, no. 5, pp. 3130-3133, May 2015.

[6]J. Parikh and A. Basu, "LTE advanced: The 4G mobile broadband technology", International Journal Computer Application, vol. 13, no. 5, pp. 17_21, January 2010.

[7]M. Sha_, A. F. Molisch, P. J. Smith, T. Haustein, P. Zhu, P. De Silva, F. Tufvesson, A. Benjebbour, and G. Wunder, "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice", IEEE Journal Sel. Areas Communication, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221, June 2017.

[8]L.Zhang, Y.Liang1,"6G Visions: Mobile Ultra-Broadband, Super Internet of Things, and Artificial Intelligence", china communications, vol.16.no.8, pp.1-14, August 2019.

[۹] رقیه جدا، لیلا مجذوبی، سوسن موذنی، محمد دین‌دوست، لیلا محمدی.«نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی(5G) فرصتها چالشها، الزامات پیاده‌سازی» انتشارات موسسه آموزشی تالیف ارشدان. شابک .9786222756338 . صفحات ۲۳۸-۱. ۱۳۹۹.

[۱۰] حسین افتخاری، وحید عابدی فر، رقیه جدا، پروین سجودی سر درود، لیلا محمدی. «بکارگیری روش تحلیل هم رخدادی واژگان برای تجزیه و تحلیل نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی(5G)»هشتمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، عمران و باز آفرینی شهری، آذر ۱۳۹۷.

[۱۱] رقیه جدا، لیلا محمدی، و همکاران، «برنامه جامع برای توسعه نسل پنجم شبکه ارتباطی ایران» پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات ۱۳۹۵-۱۳۹۶

[12]S. Junaid Nawaz, S.Krishna Sharma, S. Wyne, M. N. Patwary, et al., "Quantum machine learning for 6G communication networks: State-of-the-art and vision for the future," IEEE Access, vol.7,pp. 46317-46350,Aprill 2019.

[۱۳] سارا توفیقی، مهدی هاشمی،" کاربرد فناوریهای کوانتومی در نسل پنجم و ششم ارتباطات" پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، بهمن ماه ۱۳۹۹.

[14]S.Wehner,D.Elkouss and R.Hanson, "Quantum internet: A vision for the road ahead," Science 362.6412 ,pp.1-9,October 2018.

[15]S.Ha¨ma¨la¨inen, H.Sanneck, C.Sartori". LTE self-organizing networks (SON): network management automation for operational efficiency, John Wiley & Sons, Ltd, Print ISBN: 9781119970675, pp.1-422, 2012.

[16]J.Ramiro and K.Hamied. "Self-organizing networks, self-planning, self-optimization and self-healing for GSM, UMTS and LTE" John Wiley & Sons, Ltd, Print ISBN: 9780470973523, pp.1-309, 2012.

[17]M.Agiwal, A.Roy and N.Saxena", Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol.18, no.3, pp.1617-1655, February 2016.

[18]S.Hong; J.Brand; J.Choi; M.Jain and et.al". Applications of self-interference cancellation in 5G and beyond",IEEE communications magazine,vol.52,no.2, February 2014.

[19]Z. Zhang, Y.Xiao, Z.Ma, M.Xiao, Z.Ding, X.Lei,GK. Karagiannidis, and P.Fan", 6G Wireless networks Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies", vehicular technology magazine, Dol: 10.1109/MVT.2019.2921208, vol.14, no.3,pp.1-14,September 2019.

[20]Cisco, Visual Networking Index, Nov. 2018, white paper at Cisco.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]

ادامه از صفحه ۷۷

vol. 8, pp. 73992-74001, 2020.
[24] B. Pang and L. Lee, "Seeing stars: Exploiting class relationships for sentiment categorization with respect to rating scales," arXiv preprint cs/0506075, 2005.
[25] R. Socher et al., "Recursive deep models for semantic compositionality over a sentiment treebank," in Proceedings of the 2013 conference on empirical methods in natural language processing, 2013, pp. 1631-1642.
[26] A. Maas, R. E. Daly, P. T. Pham, D. Huang, A. Y. Ng, and C. Potts, "Learning word vectors for sentiment analysis," in Proceedings of the 49th annual meeting of the association for computational linguistics: Human language technologies, 2011, pp. 142-150.
[27] B. Roshanfekr, S. Khadivi, and M. Rahmati, "Sentiment analysis using deep learning on Persian texts," in 2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2017, pp. 1503-1508: IEEE.
[28] J. Chung, C. Gulcehre, K. Cho, and Y. Bengio, "Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling," in NIPS 2014 Workshop on Deep Learning, December 2014, 2014, no. Conference contribution.
[29] S. Yu, D. Liu, W. Zhu, Y. Zhang, and S. Zhao, "Attention-based LSTM, GRU and CNN for short text classification," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 39, no. 1, pp. 333-340, 2020.
[30] M. Zulqarnain, R. Ghazali, M. G. Ghouse, and M. F. Mushtaq, "Efficient processing of GRU based on word embedding for text classification," JOIV: International Journal on Informatics Visualization, vol. 3, no. 4, pp. 377-383, 2019.
[31] M. Zulqarnain, R. Ghazali, Y. M. M. Hassim, and M. Rehan, "Text classification based on gated recurrent unit combines with support vector machine," International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708), vol. 10, 2020.
[32] Q. Tang, J. Chen, H. Lu, Y. Du, and K. Yang, "Full Attention-Based Bi-GRU Neural Network for News Text Classification," in 2019 IEEE 5th International Conference on Computer and Communications (ICCC), 2019, pp. 1970-1974: IEEE.
[33] Z. Yang, D. Yang, C. Dyer, X. He, A. Smola, and E. Hovy, "Hierarchical attention networks for document classification," in Proceedings of the 2016 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies, 2016, pp. 1480-1489.
[34] K. S. Tai, R. Socher, and C. D. Manning, "Improved Semantic Representations From Tree-Structured Long Short-Term Memory Networks," Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 1: Long Papers), no. Conference Proceedings, pp. 1556-1566, 2015.
[35] Z. Geng, G. Chen, Y. Han, G. Lu, and F. Li, "Semantic relation extraction using sequential and tree-structured LSTM with attention," Information Sciences, vol. 509, pp. 183-192, 2020.
[36] W. Yu, M. Yi, X. Huang, X. Yi, and Q. Yuan, "Make It Directly: Event Extraction Based on Tree-LSTM and Bi-GRU," IEEE Access, vol. 8, pp. 14344-14354, 2020.

***

com.
[21]M. R. Palattella , M. Dohler, A. Grieco, G. Rizzo, J. Torsner, T. Engel, and L. Ladid, "Internet of things in the 5G era: enablers, architecture, and business models," IEEE Journal Sel. Areas Communication, vol. 34, no. 3, pp. 510-527, March 2016.
[22] L. Zhang, J. Liu, M. Xiao, G. Wu, Y.-C. Liang, and S. Li, "Performance analysis and optimization in downlink NOMA systems with cooperative full-duplex relaying," IEEE J. Select. Areas Communication, vol. 35, no. 10, pp. 2398-2412, October 2017.
[23]L. Zhang, M. Xiao, G. Wu, M. Alam, Y.-C. Liang, and S. Li, "A survey of advanced techniques for spectrum sharing in 5G networks," IEEE Wireless Communication, vol. 24, no. 5, pp. 44-51, October 2017.
[24]L. Zhang, Y.-C. Liang, and M. Xiao, "Spectrum sharing for internet of things: A survey," IEEE Wireless Communication, Dol: 10.1109/MWC.2018.1800259, vol.26, no.3, pp.132-139, June 2019.
[25]M. Latva-aho, K.Leppänen ,"Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence (white paper), 6G Flagship, University of Oulu, Oulu Editor:, ISBN: 978-952-62-2353-7,Sep 2019.
[26] I. F. Akyildiz et al., "Combating the Distance Problem in the Millimeter Wave and Terahertz Frequency Bands," IEEE Commun. Mag., vol. 56, no. 6, pp. 102–108, June 2018.
[27]P.Yang, Y.Xiao, M.Xiao and S.Li," 6G Wireless Communications: Vision and Potential Techniques", IEEE Network, Dol:10.1109/MNET.2019.1800418,pp.70-75,July 2019.
[28]I. Akyildiz, A.kak, A.Shuainie," 6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems",IEEE Access, Dol: 10.1109/ACCESS. 2020.3010896, vol.8, pp. 133995-134030, July 2020.
[29]C-X. Wang and etal."6G Wireless Channel Measurements and Models: Trends and Challenges", Vehicular Technology Magazine, vol.15, no.4, pp.22-32, Dec.2020.
[30]M.Chowdhury, Md. Shahjalal, S.Ahmed, and Y.Min Jang," 6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research Directions", Open, vol.1, pp.955-975, July2020.
[31]S. Sekander et al., "Multi-Tier Drone Architecture for 5G/ B5G Cellular Networks: Challenges, Trends, and Prospects," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 3, pp. 96–103, Mar. 2018.
[32]P. Hajipour, A. Shahzadi, S. Ghazi-Maghrebi, "Interference mitigation for a heterogeneous satellite network based on spatial angle and transmission power", International Journal of Electronics and Communications, pp.131-138, January 2019.
[33]P. Hajipour, A. Shahzadi, S. Ghazi-Maghrebi, "Improved performance for a heterogeneous satellite-cooperative network with best relay node selection", China Communications, Vol. 16, No. 5, pp.93-105, June 2019.
[34H. Yao et al., "The Space-Terrestrial Integrated Network: An Overview," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 9, pp. 178–85, September 2018.
[35]J.Zhang, P. Tang, L.Yu, T. Jiang, L.Tian,"Channel measurements and models for 6G: current status and future outlook", Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, vol.21, no.1, pp.39-61, March 2020.
[36]V.Petrov, J.Kokkoniemi, D.Moltchanov, J.Lehtomaki, Y.Koucheryavy, M.Juntti,"Last meter indoor terahertz wireless access:Performance insights and implementation roadmap," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 6, pp. 158–165, June 2018.
[37]Z. Chen, X. Ma, B. Zhang, Y. Zhang, Z. Niu, N. Kuang, W. Chen, L. Li, and S. Li, "A Survey on Terahertz Communications," China Communications, vol. 16, no. 2, pp. 1–35, Feburary 2019.
[38]C.Han, Y.Wu, Z.Chen and X.Wang," Terahertz Communications (TeraCom): Challenges and Impact on 6G Wireless Systems", arXiv: 1912.06040v2 [eess.SP] 13, December 2019.
[39]T. W. Crowe, W. R. Deal, M. Schr¨oter, C.-K. C. Tzuang, and K. Wu, "Terahertz RF Electronics and System Integration," Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 6, pp. 985–989, June 2017.
[40]J. M. Jornet and I. F. Akyildiz, "Graphene-based plasmonic nano antenna for terahertz band communication in nano networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31, no. 12, pp. 685–694, December 2013, US Patent: 9,643,841 B2. [Online]. Available:http://www.acsu.buffalo.edu/_jmjornet/patents /2017/p1.pdf.
[41]ITU-R, 2015. IMT Traffic Estimates for the Years 2020 to 2030. Report M.2370, ITU-R, Geneva, Switzerland.
[42]CMRI, 2019. The Outlook and Demand Report for 2030+. China Mobile Research Institute, Beijing (in Chinese). https://cmri.chinamobile.com/news/5985.html [Accessed on Jan.4.2020].

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2025-08-21]