



مرکز ملی فضای مجازی
پروژه شبکه فضای مجازی

عصر فضای مجازی سیزدهم



روندنگاری ارتباطات موبایل در گذار به نسل ششم

Mobile communication trends in the transition to the sixth generation



مرکز ملی فضای مجازی
پژوهشگاه فضای مجازی

روندنگاری ارتباطات موبایل در گذار به نسل ششم

گزارش شماره (۱۳)

مهر ماه ۱۳۹۸

تهیه شده در: پژوهشگاه فضای مجازی - گروه علوم و فناوری های نوین

تهیه کنندگان:

حمیدرضا مازندرانی (دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

سجاد مولایی (دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

ناظر علمی: محمد مهدی رضاپور

نشانی: تهران، میدان آرژانتین، خیابان بیهقی، نبش خیابان ۱۶ غربی، پلاک ۲۰، کدپستی ۱۵۱۵۶۷۴۳۱۱

<http://www.majazi.ir>

شماره تماس: ۸۶۱۲۱۰۶۱

حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مرکز ملی فضای مجازی است و استفاده از مطالب آن صرفاً با ذکر مأخذ بلامانع است.

محتوای انتشار یافته در این گزارش الزاماً بیانگر دیدگاه مرکز ملی فضای مجازی نیست

سخن تحت

فضای مجازی با شتاب شگرف و روبه‌ترایدی که در حال بطن و کسترش است تمام ساحات اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و فرهنگی زندگی بشر را در نور دیده و هر روز بخش بزرگی از زندگی واقعی را در خود فرو برده و حیات متفاوت و جدیدی به آن می‌دهد. لذا به نظری رسد دو نگاه کلان به فضای مجازی وجود دارد: نگاه اول که بالاختص در ابتدای رشد و تکوین فضای مجازی مسلط شده بود، آن را همچون ابزاری کنار سایر ابزارهای بشری تصویر می‌کرد که تنها طریقت داشت. اما نگاه دوم، در نتیجه رشد تحولات خیره‌کننده فضای مجازی و سایه‌گستری آن در حوزه‌ها و شئون بشر در یک دهه اخیر آن را چون سکویی می‌داند که بسیار فراتر از شأن ابزاری حیات انسان‌ها را سامان جدیدی داده و ادعای تمدن‌نویسی را دارد. رویکردی که از قضا از چشمان بصیر رهبر انقلاب نیز دور نمانده و انظار بی‌مدنی از فضای مجازی در ایران را مطالبه داشته‌اند.

در همین راستا گزارش‌های عصر فضای مجازی تلاش می‌کنند تا فهم سازمان‌ها و دستگاه‌های مرتبط با حوزه‌ی فضای مجازی را ارتقاء بخشیده و آن‌ها را برای مواجهه فعال و خردمندانه با تحولات این عرصه مهیا سازد.

سید ابوالحسن فیروزآبادی

دبیر شورای عالی و رئیس مرکز ملی فضای مجازی

چکیده

ارتباطات موبایل (سیار) به عنوان یک فناوری حیاتی در جوامع امروزی، همواره در حال رشد و توسعه بوده است، به نحوی که هر ده سال نسل جدیدی از آن شکل گرفته است. منظور از نسل، مجموعه‌ای از فناوری‌ها در قالب یک معماری و ساختار است که با نسل قبلی تفاوت ویژه‌ای دارد. در حال حاضر، نسل پنجم ارتباطات موبایل (5G) در حال تجاری‌سازی و عرضه به بازار است. از طرفی، نسل چهارم (4G) که تحت عنوان LTE استانداردسازی شده، به بلوغ خود رسیده است. در این میان، علی‌رغم نیاز به سرمایه‌گذاری در مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با شبکه 5G، شایسته است سیاست‌گذاران نسبت به آن چه که پس از 5G اتفاق خواهد افتاد، آگاهی و پیش‌زمینه لازم را داشته باشند. در این گزارش نیز هدف آن است که روند تغییرات در نسل‌های قبلی موبایل بررسی شده و بر همین اساس، تصویری از نسل‌های آتی ارتباطات موبایل از لحاظ قابلیت‌ها و فناوری‌های محقق‌ساز ترسیم گردد. این مهم، در برخی منابع پژوهشی با عنوان "فراتر از 5G (Beyond 5G)" یا "ارتباطات موبایل نسل ۶ (6G)" یاد می‌شود و یک حوزه جدید پژوهشی برای محققان کشور محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: نسل‌های ارتباطی موبایل، نسل پنجم ارتباطات موبایل (5G)، نسل ششم ارتباطات موبایل (6G)

فهرست مطالب

مقدمه	۱
۱-۱-ارتباطات موبایل در یک نگاه	۱
۱-۲-هدف گزارش	۱
۱-۳-ساختار گزارش	۲
فصل ۲-تاریخچه تحول نسل های ارتباطات موبایل تا قبل از نسل پنجم	۲
۲-۱-نسل اول تا چهارم: از ارتباط صوتی تا اینترنت پهن باند موبایل	۲
۲-۲-افزایش نرخ انتقال داده: یک روند دائمی	۴
۲-۳-کاربردهای جدید و زمینه سازی برای نسل پنجم موبایل	۵
۲-۳-۱-ارتباطات اضطراری	۵
۲-۳-۲-قطار سرعت بالا	۶
۲-۳-۳-سیستمی با تعداد انبوه از دستگاه ها	۶
۲-۳-۴-شهر هوشمند	۶
۲-۳-۵-استادیوم	۷
۲-۴-نشان گرهای کلیدی کارایی حائز اهمیت در گذار به 5G	۷
۲-۴-۱-در دسترس بودن	۷
۲-۴-۲-چگالی ارتباطات	۷
۲-۴-۳-هزینه	۸
۲-۴-۴-مصرف انرژی	۸
۲-۴-۵-گذردهی تجربه شده توسط کاربر	۸
۲-۴-۶-تأخیر	۸

۸	۲-۴-۷-قابلیت اطمینان
۹	۲-۴-۸-امنیت
۹	۲-۴-۹-چگالی حجم ترافیک
۱۱	فصل ۳-ویژگی های متمایزکننده ارتباطات موبایل نسل پنجم
۱۱	۳-۱-پیش گفتار
۱۲	۳-۲-سرویس های شبکه 5G
۱۴	۳-۳-فناوری های محقق ساز 5G
۱۵	۳-۳-۱-شبکه نرم افزار محور بی سیم
۱۵	۳-۳-۲-مجازی سازی کارکردهای شبکه
۱۶	۳-۳-۳-امواج میلی متری
۱۷	۳-۳-۴-فشرده سازی در شبکه 5G: ایستگاه های پایه کوچک، رله و ارتباطات دستگاه به دستگاه
۱۸	۳-۳-۵-هوشمندسازی شبکه سلولی
۱۹	فصل ۴-شبکه موبایل پس از نسل پنجم
۱۹	۴-۱-پیش گفتار
۲۰	۴-۲-گزارش اتحادیه جهانی مخابرات
۲۰	۴-۲-۱-کاربردهای نوظهور در شبکه
۲۱	۴-۲-۲-خدمات مخابراتی جدید و زیرساخت مدرن
۲۳	۴-۳-چشم اندازی از شبکه های نسل ششم (6G)
۲۳	۴-۳-۱-کاربردهای پیشران (محرك)
۲۴	۴-۳-۲-گرایش های فناورانه پیشران
۲۶	۴-۳-۳-فناوری های محقق ساز

۴-۴-شبکه: خط مقدم بعدی در ارتباطات موبایل	۲۷
۴-۴-۱-نیاز به زیرساخت‌های جدید ارتباطی	۲۸
۴-۴-۲-هوش مصنوعی فراگیر و مدیریت جامع منابع شبکه، محاسبات، کشینگ و کنترل (C4)	۲۸
۴-۴-۳-مکانیزم‌های توزیع‌شده و تعبیه‌شده امنیت و حریم‌شخصی	۲۹
۴-۴-۴-ارتباط از طریق امواج زیر تراهرتز و امواج نوری	۲۹
۴-۵-شبکه 6G از نگاه انسان‌محور	۳۰
۴-۵-۱-تأثیرات عوامل غیرفنی بر روند حرکت به سوی 6G	۳۲
۴-۶-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری	۳۲
واژه‌نامه	۳۴

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- ارتباطات موبایل در یک نگاه

ارتباطات موبایل (یا ارتباطات سیار) به راستی تحولی شگرف در کیفیت زندگی بشر ایجاد نموده است. این سیستم ارتباطی در ابتدا با هدف برقراری تماس صوتی بین کاربران مجهز به گوشی‌های موبایل عرضه شد و پس از آن به تدریج دامنه کاربرد آن وسعت پیدا کرد، تا جایی که امروزه کاربران قادر به اتصال به اینترنت پرسرعت بر روی گوشی‌های هوشمند خود هستند و در عین حال می‌توانند با هر کاربری در هر نقطه زمین تماس صوتی و یا تصویری برقرار نمایند.

با این حال، گویی اشتیاق بشر حد و مرزی ندارد و همواره به دنبال تجربه‌های جدید است. در این راستا، اتصال انبوهی از اشیاء هوشمند به شبکه (که بدان اینترنت اشیا^۱ می‌گویند) یکی از کاربردهای جدیدی است که انسان برای شبکه‌های موبایل متصور شده است. همچنین، شیوه‌های نوین برقراری ارتباط از جمله تماس تصویری کیفیت بالا و حتی ارتباط هلوگرافیک^۲ اخیراً مورد استقبال قرار گرفته است.

هر کاربرد جدیدی که برای شبکه موبایل تعریف می‌شود، معیارهای کلیدی خاص خود را از نظر نرخ تبادل داده، تأخیر، مصرف انرژی، تعداد اتصالات در واحد سطح دارد. برای دستیابی به معیارهای کلیدی مورد نیاز که امکان ارائه کاربردهای نوظهور را برآورده می‌سازد، تغییر در معماری و ساختار شبکه ضمن بهره‌گیری از فناوری‌های جدید ضروری است. در واقع، اگر کاربردهای جدید را به منزله تقاضا و نوآوری در شبکه را به منزله عرضه در نظر بگیریم، ارتباطات موبایل به مثابه یک بازار است که عرضه و تقاضا دائماً یکدیگر را تحریک می‌نمایند.

روند توسعه ارتباطات موبایل تاکنون به این صورت بوده که هر ده سال نسل^۳ جدیدی از آن شکل گرفته است. منظور از نسل، مجموعه‌ای از فناوری‌ها در قالب یک معماری و ساختار است که با نسل قبلی تفاوت ویژه‌ای دارد. بر همین اساس هر نسل قادر به ارائه مجموعه‌ای از کاربردها است که نسل قبلی توانایی ارائه آن را ندارد. برای مثال، دسترسی به اینترنت پرسرعت (پهن‌بند) یکی از امکاناتی است که برای نخستین بار در نسل چهارم ارتباطات موبایل عرضه گردید.

۱-۲- هدف گزارش

در حال حاضر، نسل پنجم ارتباطات موبایل (5G) در حال تجاری‌سازی و عرضه به بازار است. از طرفی، نسل چهارم (4G) که تحت عنوان LTE استانداردسازی شده، به بلوغ خود رسیده است. نسل‌های دوم و سوم نیز در سال‌های آینده به تدریج جای خود را به نسل‌های بعدی واگذار خواهند کرد.

^۱ Internet of Things

^۲ ارتباطات هلوگرافیک ارتباطاتی است که در آن یک تجسم سه بعدی از سوژه در مقابل چشمان غیرمسلح بیننده پدیدار می‌شود.

^۳ Generation

در این میان، علی‌رغم نیاز به سرمایه‌گذاری در مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با شبکه 5G، شایسته است سیاست‌گذاران نسبت به آن چه که پس از 5G اتفاق خواهد افتاد، آگاهی و پیش‌زمینه لازم را داشته باشند. در این گزارش نیز هدف آن است که روند تغییرات در نسل‌های قبلی موبایل بررسی شده و بر همین اساس، تصویری از نسل‌های آتی ارتباطات موبایل از لحاظ قابلیت‌ها و فناوری‌های محقق‌ساز ترسیم گردد. این مهم، در برخی منابع پژوهشی با عنوان "فراتر از 5G (Beyond 5G)" یا "ارتباطات موبایل نسل ۶ (6G)" یاد می‌شود و یک حوزه جدید پژوهشی برای محققان کشور محسوب می‌شود.

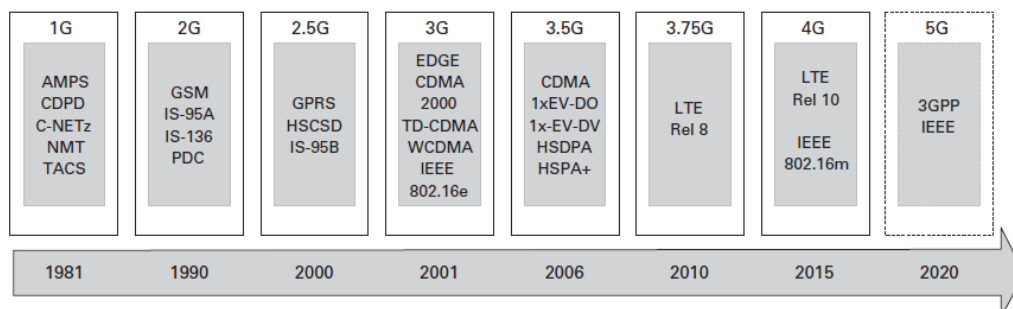
۳-۱- ساختار گزارش

در فصل دوم گزارش، تاریخچه تحول نسل‌های ارتباطات موبایل تا قبل از نسل پنجم به طور اجمالی و با تمرکز بر روی روند تغییرات بررسی می‌گردد. در فصل سوم شبکه 5G به طور خاص مورد واکاوی قرار می‌گیرد و تلاش می‌گردد ویژگی‌های متمایزکننده آن نسبت به نسل‌های قبلی تبیین گردد. سپس در فصل چهارم تلاش خواهد شد تصویری از آینده ارتباطات موبایل (با تمرکز بر روی 6G) ترسیم شود. البته هر آن چه که در ارتباط با نسل‌های آینده گفته خواهد شد قطعی نبوده و ممکن است اختراع یک فناوری جدید یا شرایط حاکم بر بازار معادلات را بر هم زند. در بخش آخر فصل چهارم موضوعات مطروحه جمع‌بندی شده است. واژه‌نامه و فهرست مراجع در انتهای گزارش در دسترس است.

فصل ۲- تاریخچه تحول نسل‌های ارتباطات موبایل تا قبل از نسل پنجم

۲-۱- نسل اول تا چهارم: از ارتباط صوتی تا اینترنت پهن‌بند موبایل

در ابتدای دهه هشتاد، نخستین سیستم‌های ارتباطی موبایل به صورت استاندارد عرضه تجاری گردید، که در حال حاضر بدان نسل اول ارتباطات موبایل (1G) اطلاق می‌شود. البته همان‌گونه که در **Error! Reference source not found.** دیده می‌شود، ۵ استاندارد مختلف در مناطق مختلف جهان برای آن وجود داشت. شبکه 1G از نوع آنالوگ بود، و از مدارهای آنالوگ برای ارسال و دریافت اطلاعات استفاده می‌کرد که مشخصاً تنها برای انتقال صوت مناسب بود.



نسل بعدی، که استاندارد غالب آن یعنی GSM در اروپا تدوین شده بود، در ابتدای دهه نود میلادی عرضه شد. البته برای 2G سه استاندارد دیگر نیز وجود داشت، که هیچ کدام به موفقیت GSM دست نیافتند. 2G اولین نسل شبکه موبایل دیجیتال بود، که این فلسفه فکری یعنی ارتباطات دیجیتال تاکنون ادامه یافته است. با این حال، ممکن است در آینده ارتباطات کوانتومی دوباره بنیان اصلی انتقال اطلاعات را تغییر دهند. استاندارد GSM با پهنای باند ۲۰۰ کیلوهرتز، حداکثر نرخ ۹,۶ کیلوبیت بر ثانیه را فراهم می‌ساخت. این نرخ برای انتقال صدای انسان کاملاً مناسب بود، اما در خصوص انتقال داده کارکرد ضعیفی داشت و منحصر به ارسال و دریافت پیامک (SMS) بود (که البته در آن زمان پیشرفت بزرگی محسوب می‌شد). تفاوت مهم دیگر میان نسل اول و دوم، در نحوه تقسیم منابع شبکه بین کاربران بود. در نسل اول، فضای فرکانسی بین کاربران تقسیم می‌شد (تکنیک دسترسی چندگانه بر مبنای فرکانس FDMA^۱) و در نسل دوم فضای فرکانسی و زمان بین کاربران تقسیم می‌شد (ترکیبی از تکنیک‌های FDMA و TDMA^۲). چنانچه خواهیم دید، نحوه تخصیص منابع شبکه (فرکانس، زمان، کد، مکان) یکی از تفاوت‌های مهم میان هر نسل با نسل قبلی خود محسوب می‌شود.

در ابتدای هزاره سوم میلادی، نسل سوم ارتباطات موبایل (3G) با هدف ارائه خدمات تبادل داده با نرخ ۱۴۴ کیلوبیت بر ثانیه ارائه شد. در این نسل، یک فناوری جدید ارائه شد که در آن کاربران در فضای کد از همدیگر متمایز می‌شدند. فناوری مذکور، که CDMA^۳ نام گرفته است، بدین صورت کار می‌کند که به هر کاربر یک کد شبه تصادفی اختصاص داده می‌شود که حتی اگر اطلاعات آن کاربر روی یک فرکانس مشترک با سایر کاربران و هم‌زمان با آن‌ها ارسال شود، تداخلی رخ نمی‌دهد. با این حال CDMA مشکلاتی از نظر فنی داشت که باعث شد در آینده کنار گذاشته شود. این موضوع به خوبی نشان می‌دهد هر تغییری الزاماً پایدار نیست و این واقعیت در نسل‌های بعدی نیز صدق می‌کند.

نسل چهارم ارتباطات موبایل (4G) تقریباً در اواخر دهه‌ی اول قرن بیست و یکم معرفی شد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این نسل از ارتباطات موبایل، استفاده از تکنیک OFDMA^۴ بود. در این تکنیک نیز همانند تکنیک FDMA، فضای فرکانسی بین کاربران تقسیم می‌شود ولی با این تفاوت که ابتدا پردازش‌هایی روی سیگنال کاربران انجام می‌شود، تا در حوزه فرکانس نسبت به یکدیگر متعامد بشوند. متعامد بودن سیگنال‌ها در حوزه فرکانس دستگاه‌های گیرنده را قادر می‌سازد تا بتوانند علی‌رغم وجود نویز و تداخل،

^۱ Frequency Division Multiple Access: تکنیکی برای دریافت اطلاعات از چندین کاربر، به نحوی که هر کاربر در یک بازه فرکانسی مستقل اطلاعات را تبادل نماید.

^۲ Time Division Multiple Access: تکنیکی برای دریافت اطلاعات از چندین کاربر، به نحوی که هر کاربر در یک بازه زمانی مستقل اطلاعات را تبادل نماید.

^۳ Code Division Multiple Access

^۴ Orthogonal FDMA

سیگنال موردنظرشان را جداسازی کرده و دریافت نمایند. در نتیجه این روش منجر به استفاده بهینه از طیف فرکانسی و بالا رفتن نرخ انتقال داده می‌شود.^۱

این نسل از ارتباطات موبایل در چندین نسخه در طول چندین سال تحت عنوان استاندارد LTE ارائه شد که در هر نسخه تغییراتی در راستای اهداف تعیین‌شده اعمال گردیده است. نسخه‌ی اول (Release ۸) در اواخر سال ۲۰۰۷ ارائه شد. از تغییرات و پیشرفت‌هایی که در این نسخه نسبت به نسل‌های قبلی اعمال شده است می‌توان به افزایش نرخ ارسال داده به ۲۳۶ Mbps، افزایش کارایی طیفی^۲ (با واحد بیت بر هرتز) و کاهش تأخیر ارسال اطلاعات به کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه اشاره کرد. در ادامه در Release ۱۰ فناوری استفاده از چند آنتن در فرستنده و گیرنده (MIMO) ارائه شد.^۳ در این نسخه در حالت ارتباط فراسو^۴ درجه‌ی ۴*۴ از فناوری MIMO استفاده شد. بدین معنی که در گیرنده و فرستنده بجای یک آنتن، ۴ آنتن استفاده شده است. همچنین در حالت فرسوسو^۵ درجه‌ی ۸*۸ استفاده شده است. استفاده از این فناوری باعث افزایش نرخ ارسال داده در بهترین حالت در حالت فراسو به ۱,۵ Gbps و در حالت فرسوسو به ۳ Gbps شد.

در Release ۱۱، از محدوده‌ی فرکانسی جدیدی در راستای افزایش نرخ ارسال اطلاعات استفاده شده است. همچنین فناوری ارسال و دریافت چند نقطه‌ای هماهنگ‌شده^۶ (CoMP) نیز استفاده شده است. در Release ۱۲ که در سال ۲۰۱۵ ارائه شد، استفاده از شبکه‌های ناهمگون^۷ نیز در ساختار ارتباطات موبایل امکان پذیر شد. همچنین درجه‌ی استفاده از فناوری MIMO نیز نسبت به نسخه‌های قبلی، افزایش یافت که طبیعتاً باعث افزایش نرخ ارسال داده شد. در نسخه‌ی ۱۳ نیز راه‌حل‌های جدیدی مانند NB-IoT برای حمایت و پشتیبانی از ارتباطات گسترده‌ی دستگاه‌ها (MTC) مانند حسگرها و عملگرها^۸، ارائه شد.

۲-۲- افزایش نرخ انتقال داده: یک روند دائمی

با بررسی روند تغییرات در نسل‌های اول تا چهارم، به طور کلی می‌توان گفت افزایش نرخ انتقال داده در ارتباطات موبایل (که همواره مورد تقاضای مصرف‌کنندگان بوده است) از طریق سه راهکار امکان‌پذیر شده است:

^۱ البته OFDMA نیز مشکلاتی از جمله حساسیت بالا به نویز دارد که منجر به مطرح شدن تکنیک‌های ارسال غیرمتعامد همچون NOMA برای 5G شده است [13]. با این حال، OFDMA همچنان گزینه اصلی در نسل پنجم محسوب می‌شود (البته با درجات آزادی بیشتر در تنظیم پارامترها) و تکنیک‌های جدید در کنار OFDMA استفاده خواهند شد.

^۲ Spectral Efficiency

^۳ شرح کارکرد فناوری MIMO و سایر فناوری‌های ذکرشده در این بخش، از حوزه گزارش فراتر است و خواننده علاقه‌مند می‌تواند به مرجع [1] برای مطالعه بیش‌تر مراجعه نماید.

^۴ Uplink: ارتباط از کاربر به ایستگاه پایه

^۵ Downlink: ارتباط از ایستگاه پایه به کاربر

^۶ coordinated multi-point: ارسال و دریافت اطلاعات از سوی چند ایستگاه پایه به صورت هماهنگ با یکدیگر و با هدف کاهش تداخل

^۷ Heterogeneous Network (HetNet): شبکه‌هایی که در آنها اندازه سلولها یکسان نیست. این موضوع در فصل ۳ توضیح داده شده است.

^۸ Actuator

نخستین راهکار، روی آوردن به طیف فرکانسی جدید و بالاتر است. طبق قانونی معروف به قانون شانون در تئوری اطلاعات، حداکثر نرخ انتقال داده ارتباط مستقیمی با پهنای باند دارد و لذا استفاده از طیف فرکانسی بالاتر، پهنای باند بیش‌تری را به ارمغان می‌آورد و در نتیجه یک راهکار بدیهی برای افزایش نرخ انتقال داده به شمار می‌آید. چنان‌چه خواهیم دید، این راهکار در گذار به نسل پنجم نیز اتخاذ شده است و در نسل ششم نیز احتمالاً مورد توجه باشد.

دومین راهکار مربوط به ایجاد تغییرات در لایه‌های مختلف شبکه و استفاده از فناوری‌های متنوع برای دسترسی است که به عنوان نمونه همانطور که بیان شد انتخاب فناوری CDMA در نسل سوم را می‌توانیم در این دسته از راهکارها قرار دهیم. اگر افزایش پهنای باند را با واحد هرتز محاسبه کنیم، راهکار دوم بیت بر ثانیه بر هرتز (bit/s/Hz) را افزایش می‌دهد؛ یعنی به ازای یک میزان مشخص فرکانس، بتوان بیت‌های بیش‌تری از اطلاعات را در واحد زمان انتقال داد. این راهکار در نسل‌های قبلی بسیار تأثیرگذار بوده است، اما چون حد بالایی آن از لحاظ تئوری محدود است، در گذار به نسل پنجم و پس از آن، اهمیت کم‌تری نسبت به دو مورد دیگر بخصوص مورد سوم دارد.

راهکار سوم مربوط به متراکم‌سازی (یا فشرده‌سازی)^۱ شبکه با استفاده از سلول‌های کوچک و به اصطلاح مهندسان شبکه استفاده مجدد از فرکانس^۲ است. این تکنیک که در فصل بعدی بیش‌تر بررسی خواهد شد، در گذشته کمتر مورد توجه بوده است، اما در گذار به نسل پنجم و پس از آن اهمیت فراوانی خواهد داشت. این تکنیک به نوعی نرخ انتقال داده به ازای یک فرکانس مشخص را در واحد سطح افزایش می‌دهد و با واحد بیت بر ثانیه بر هرتز بر مترمربع (bit/s/Hz/m²) سنجیده می‌شود.

۳-۲- کاربردهای جدید و زمینه‌سازی برای نسل پنجم موبایل

اگر چه 4G نرخ انتقال داده بسیار بالاتری نسبت به گذشته ارائه می‌دهد، با این حال برای برخی کاربردها کافی نیست. مهم‌تر این که نرخ انتقال داده تنها معیار مهم نبوده و معیارهای دیگری نیز به مرور زمان اهمیت یافته است. در ادامه این بخش، چند نمونه از کاربردهای جدید شرح داده می‌شود که 4G توانایی ارائه آن‌ها را اصلاً ندارد یا فقط در شرایط خاصی (مثلاً نزدیک بودن به ایستگاه پایه) قابلیت دارد. در بخش بعدی، معیارهای کلیدی معرفی خواهد شد که در 5G مورد توجه قرار گرفته است و در کنار نرخ بالا، ارائه کاربردهای زیر را ممکن می‌سازد.

^۱ Densification: نصب تعداد بیشتری از ایستگاه‌های پایه در یک مکان

^۲ Frequency Reuse

۲-۳-۱- ارتباطات اضطراری

ارتباطات اضطراری شامل ارتباطاتی می‌شود که در زمان‌های بخصوصی مانند وقایع طبیعی مورد نیاز است و دارای ویژگی‌های مخصوصی مانند سرعت تبادل اطلاعات بالا و تأخیر کم است. این نوع ارتباطات نیازمند سطح دسترسی بالا و همچنین مصرف انرژی بهینه است. سطح دسترسی بالا به این معنی که تحت هر شرایطی و در هر زمان برقراری ارتباط میسر باشد. به عنوان نمونه زمانی که یک مصدوم در هنگام وقوع زلزله در زیر آوار گرفتار شده است امکان برقراری ارتباط و دریافت سیگنال از مصدوم وجود داشته باشد. شایان ذکر است که به هر میزان سطح دسترسی و برقراری ارتباط بالا باشد احتمال نجات پیدا کردن مصدوم نیز بالا خواهد بود. در مورد مصرف انرژی بهینه نیز این واقعیت وجود دارد که هرچقدر مصرف انرژی در این نوع ارتباطات بهینه‌تر باشد، زمان بیشتری برای جستجوی مصدومان خواهیم داشت و این عملکرد باعث بیشتر شدن احتمال نجات مصدوم خواهد بود.

۲-۳-۲- قطار سرعت بالا

امروزه مسافرانی که با قطار سرعت بالا یا هر وسیله‌ی نقلیه سرعت بالا مسافرت می‌کنند، این انتظار را دارند که در حین سفر همان فعالیت‌های عادی را که در داخل خانه با استفاده از اینترنت انجام می‌دانند را داشته باشند. از این فعالیت‌ها می‌توانیم به تماشای ویدیو با کیفیت بالا، بازی کردن و سرگرمی‌های اینترنتی، انجام فعالیت‌های کاری و دسترسی از راه دور به فضای ابری یا یک جلسه‌ی کاری مجازی، اشاره کرد. در تمامی این نوع خواسته‌ها یک چالش اساسی این است که نیازمندی کاربر به نحوی برطرف شود که یک کیفیت تجربه‌ی^۱ خوب در کاربر نهاده شده شود.

۲-۳-۳- سیستمی با تعداد انبوه از دستگاه‌ها

در مواردی که با توجه به اهداف از پیش تعیین شده، تعداد زیادی دستگاه را در یک محدوده‌ی جغرافیایی وسیع قرار می‌دهیم، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها مربوط به جمع‌آوری اطلاعات خواهد بود. شایان ذکر است که در سیستم‌هایی با این ویژگی ساختاری که جمع‌آوری اطلاعات و در ادامه تحلیل این اطلاعات به درستی انجام شود، کیفیت تجربه‌ی کاربری و سرویس‌دهی بالایی خواهیم داشت. نمونه‌ای از راهکارهای جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات در سیستم‌های یاد شده، استفاده از حسگرها و عملگرها است. برای ارائه‌ی یک نمونه از این نوع سیستم‌ها می‌توانیم به سیستم‌های پایش‌گر اشاره کنیم.

به صورت کلی در اینگونه سیستم‌ها چالش‌های دیگری مانند هزینه کم، طول عمر باتری بالا وجود دارد. از طرف دیگر طبیعی است که این تعداد از دستگاه‌ها حجم زیادی ترافیک داده‌ای را ایجاد خواهند کرد که کنترل این ترافیک نیز چالش‌برانگیز خواهد بود.

۲-۳-۴- شهر هوشمند

امروزه، چشم‌انداز بسیاری از جنبه‌های رفتاری شهروندی در جهت هوشمند شدن است. به عنوان نمونه می‌توانیم به خانه‌های هوشمند، دفترکار هوشمند، ساختمان هوشمند و حتی کنترل ترافیک هوشمند اشاره

^۱ Quality of Experience

داشته باشیم. همه‌ی این جنبه‌ها در کنار هم موجب شکل‌گیری شهر هوشمند خواهند شد. یکی اساسی‌ترین موضوعات در شهر هوشمند، ارتباطات بین ادوات هوشمند و شهروندان است که دارای چالش‌های بسیاری از جمله کنترل توان ادوات، سرعت ارتباطات و انواع ارتباطات است. از طرف دیگر به دلیل گستردگی ادوات هوشمند و همچنین تعداد شهروندان، چالش مهم کنترل و تحلیل ترافیک بالایی از داده‌ها را خواهیم داشت.

۲-۳-۵- استادیوم

به صورت عمومی، در یک استادیوم تعدادی زیادی از مردم برای تماشای یک اتفاق ورزشی یا هر اتفاق هماهنگ شده‌ی دیگر کنار هم جمع می‌شوند. در اینگونه موارد، ممکن است تعدادی از تماشاگران تصمیم داشته باشند که با یک کیفیت سرویس بالا، داده‌های چندرسانه‌ای خود را با همدیگر از طریق بستر ارتباطات موبایل تبادل کنند. این درخواست‌ها باعث تولید ترافیک داده‌ای بالا خواهد شد که می‌تواند بسیار چالش برانگیز باشد. نکته‌ی بسیار مهم و قابل توجه در اینجا این است که درخواست این ترافیک توسط تماشاگران به صورت تقریباً همزمان انجام خواهد گرفت که کنترل و سرویس‌دهی در این موارد بسیار چالش برانگیزتر خواهد بود.

۲-۴- نشان‌گرهای کلیدی کارایی^۱ حائز اهمیت در گذار به 5G

نشان‌گرهای کلیدی کارایی (KPIs) که به موازات نرخ تبادل اطلاعات در 5G اهمیت بالایی خواهد داشت، شامل مواردی است که در این بخش معرفی می‌شود. البته منظور این نیست که در نسل‌های قبلی چنین معیارهایی اهمیت نداشته است، بلکه کاربردهای جدید که در بخش قبل معرفی شد، اهمیت آن‌ها را افزایش داده است. گفتنی است این معیارها پس از نسل پنجم نیز همچنان بهبود خواهند یافت تا کاربردهای آینده را پوشش دهند.

۲-۴-۱- در دسترس بودن^۲

در دسترس بودن در حوزه شبکه‌ها و ارتباطات موبایل، به درصدی از کاربران و لینک‌های بین آن‌ها گفته می‌شود که به کیفیت سرویس و کیفیت تجربه‌ی کاربری مدنظر خود در یک ناحیه‌ی جغرافیایی تعیین شده در یک بازه‌ی زمانی معین رسیده باشند.

^۱ Key Performance Indicator

^۲ Availability

^۳ Connection density

۲-۴-۲- چگالی ارتباطات^۳

به تعداد دستگاه‌ها و لینک‌های بین آن‌ها که به صورت همزمان در یک محیط محدود و بازه زمانی تعریف شده فعال باشند، چگالی ارتباطات گفته می‌شود. در کاربردهایی مثل استادیوم ورزشی و یا یک کارخانه پر از تجهیزات متصل به شبکه چگالی ارتباط بسیار بالا است (حتی در حد اینکه به طور متوسط هر مترمربع یک دستگاه متصل به شبکه باشد).

۲-۴-۳- هزینه

در ارتباطات موبایل و سایر زمینه‌ها، هزینه به روش‌های مختلف تعریف می‌شود. به صورت کلی می‌توانیم چنین بیان کنیم که هزینه‌ی کل شامل هزینه‌ی زیرساخت، هزینه‌ی نیازمندی‌های تجهیزاتی کاربران نهایی و همچنین حق اشتراک مربوط به فرکانس است. این واقعیت وجود دارد که اگر کیفیت سرویس کاربران x درصد بهبود یابد، الزاماً آن‌ها حاضر به پرداخت x درصد پول بیش‌تر نیستند و در نتیجه باید تلاش کرد هزینه‌های ثابت و متغیر سرویس شبکه کاهش یابد تا مقرون به صرفه شود.

۲-۴-۴- مصرف انرژی

اصولاً تعریف مصرف انرژی در محیط‌های شهری و بزرگ با محیط‌های کوچک‌تر و بیرون شهری متفاوت است. در محیط‌های بزرگ‌تر و شهری، مصرف انرژی به ازای هر واحد (بیت) اطلاعاتی تعریف می‌شود و در محیط‌های کوچک‌تر به ازای واحد مساحتی (منطقه‌ای) تعریف می‌شود.

۲-۴-۵- گذردهی تجربه‌شده توسط کاربر^۱

گذردهی تجربه‌شده توسط کاربر بر اساس مقدار کل ترافیک داده‌ای (شامل سیگنال‌های کنترلی) که یک کاربر یا دستگاه در لایه‌ی MAC در یک بازه زمانی مشخص بدست می‌آورد محاسبه می‌شود.

۲-۴-۶- تأخیر

تأخیر را می‌توان به دو صورت تعریف کرد. تعریف اول به صورت one-trip-time است که در آن تأخیر برابر است با مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک بسته‌ی داده‌ای که توسط فرستنده ارسال شده است به گیرنده‌ی نهایی برسد. تعریف دوم نیز به صورت round-trip-time است که در آن تأخیر برابر است با مدت زمانی که یک فرستنده یک بسته‌ی داده‌ای را به یک گیرنده ارسال کرده تا زمانی که پیام تصدیق (ACK) آن را دریافت کند.

^۱ Experienced user throughput

^۲ Reliability

۲-۴-۷- قابلیت اطمینان^۲

مقدار احتمالی که یک تعداد معین از بسته‌ها قبل از اتمام زمان انقضای تعیین شده و به صورت موفقیت آمیز از یک فرستنده به یک گیرنده‌ی نهایی برسد را میزان قابلیت اطمینان می‌گویند.

۲-۴-۸- امنیت

امنیت در اکثر مراجع در سه محور محرمانگی (عدم افشای اطلاعات به افراد غیرمرتبط)، صحت (عدم تغییر غیرمجاز در داده و کارکرد سیستم) و احراز اصالت (تأیید هویت کاربران شبکه) تعریف شده است. در شبکه‌های بیسیم با توجه به استفاده از فضای آزاد به عنوان کانال انتقال اطلاعات و دسترسی کاربران به شبکه در هر مکان دلخواه، امنیت چالش مهمی محسوب می‌شود. به طور خاص در شبکه‌های موبایل نسل جدید، با توجه به اتصال اشیاء و گسترده بودن آن‌ها در سطح جهانی، امنیت اهمیت بیشتری خواهد داشت.

۲-۴-۹- چگالی حجم ترافیک^۱

چگالی حجم ترافیک به صورت کل ترافیک مبادله شده بین تمام دستگاه‌ها در یک بازه‌ی زمانی مشخص و در یک محیط معین، تعریف می‌شود.

در جدول ۱-۲ ارتباط میان معیارهای کلیدی فوق و کاربردهای معرفی شده در بخش قبلی و بعضی دیگر از کاربردهای جدید شبکه موبایل را مشخص می‌سازد.

جدول ۱-۲- ارتباط میان معیارهای کلیدی و کاربردهای شبکه موبایل

کاربرد	نیازمندی	مقدار مطلوب
وسایل نقلیه خودران	تاخیر	۵ میلی ثانیه
	در دسترس بودن	۹۹.۹۹۹ درصد
	قابلیت اطمینان	۹۹.۹۹۹ درصد
ارتباطات اضطراری	در دسترس بودن	۹۹.۹۹ درصد
	بهره‌وری انرژی	یک هفته طول عمر باتری
اتوماسیون صنایع	تأخیر	کمتر از ۵ میلی ثانیه
	قابلیت اطمینان	نرخ گم شدن بسته‌ی کمتر از 10^{-9}
قطار پرسرعت	چگالی ترافیک	در فراسو 50 Gbps/km^2 در فروسو 100 Gbps/km^2

^۱ Traffic volume density

	بهره‌وری کاربری	در فراسو ۲۵ Gbps در فروسو ۵۰ Gbps
	موبایل بودن	۵۰۰ Km/h
	تأخیر	۱۰ میلی ثانیه
رویدادهای بزرگ در فضای باز	بهره‌وری کاربری	۳۰ Mbps
	چگالی ترافیک	۹۰۰ Gbps/km ²
	چگالی ارتباطات	4 مشترک در هر m ²
	قابلیت اطمینان	بیشتر از ۹۹ درصد
تعداد انبوهی دستگاه در یک فضای گسترده	چگالی ارتباطات	۱۰۰۰۰۰۰ دستگاه در هر km ²
	در دسترس بودن	۹۹.۹۹ درصد
	بهره‌وری انرژی	۱۰ سال عمر باتری
رسانه بر حسب تقاضا	بهره‌وری کاربری	۱۵ Mbps
	تأخیر	۵ s در شروع کار ۲۰۰ ms بعد از وقفه احتمالی
	چگالی ارتباطات	۴۰۰۰ دستگاه در هر km ²
	چگالی ترافیک	۶۰ Gbps/km ²
	در دسترس بودن	۹۵ درصد
جراحی از راه دور	تأخیر	کمتر از ۱ ms
	قابلیت اطمینان	۹۹.۹۹۹ درصد
شهر هوشمند	بهره‌وری کاربری	در فراسو ۶۰ Mbps در فروسو ۳۰۰ Mbps
	چگالی ترافیک	۷۰۰ Gbps/km ²
	چگالی ارتباطات	۲۰۰۰۰۰ دستگاه در هر km ²
استادیوم	بهره‌وری کاربری	۲۰ Mbps تا ۰,۳ Mbps
	چگالی ترافیک	۱۰ Mbps/km ² تا ۰,۱ Mbps/km ²

حفاظت از راه دور در شبکه هوشمند برق	تأخیر	۸ ms
	قابلیت اطمینان	۹۹.۹۹۹ درصد
واقعیت افزوده ^۱ / واقعیت مجازی ^۲	بهره‌وری کاربری	۴ Gbps تا ۲۸ Gbps
	تأخیر	۱۰ ms (اندازه گیری به روش RTT)

فصل ۳ – ویژگی‌های متمایزکننده ارتباطات موبایل نسل پنجم

۳-۱- پیش‌گفتار

شبکه‌های موبایل از زمان پیدایش به طور پیوسته تکامل یافته‌اند، چنان که حدوداً هر دهه نسل جدیدی از شبکه‌های موبایل استانداردسازی شده است. در حال حاضر، شبکه موبایل نسل پنجم^۳ (5G) با هدف برآورده‌سازی نیازمندی‌های نوظهور کاربران در حال شکل‌گیری است. از جمله این نیازمندی‌ها می‌توان به نرخ تبادل داده خیلی بالا اشاره کرد. البته این نیازمندی در شبکه نسل چهارم (4G) نیز وجود داشت، که با بهره‌گیری از فناوری‌های گوناگون تا حد امکان بدان پاسخ داده شد. با این حال کاربردهای جدید نظیر واقعیت مجازی نیاز به نرخ‌های در مرتبه گیگابیت بر ثانیه را پدید آورده است که شبکه 5G بایستی آن را فراهم نماید. نیازمندی دیگر، پشتیبانی از ارتباطات با چگالی مکانی بالا است که با توجه به رواج یافتن اینترنت اشیا (IoT) مطرح شده است. در اینترنت اشیا، انبوهی از اشیاء هوشمند به شبکه متصل می‌شوند تا از طریق تبادل داده با محیط، تصمیمات بهتری بگیرند. دسته دیگری از کاربردها، تحت عنوان کاربردهای مأموریت‌حیاتی^۴ (برای مثال جراحی از راه دور)، نیاز به تأخیر ناچیز و قابلیت اطمینان بالا را ایجاد نموده‌اند.

به منظور برآورده‌سازی نیازمندی‌های کاربران شبکه 5G، طیف متنوعی از فناوری‌ها و رویکردهای نوین پیشنهاد شده است. شماری از فناوری‌ها و رویکردهای مورد توجه پژوهشگران و فعالان صنعت در مراجع [1] و [2] شرح داده شده است. یکی از رویکردهای مهم، فشرده‌سازی شبکه از طریق پیاده‌سازی ایستگاه‌های پایه

^۱ Augmented Reality (AR)

^۲ Virtual Reality (VR)

^۳ Fifth Generation Cellular Networks

^۴ Mission Critical Applications

کوچک^۱ (SBS) است. SBSها به موازات ایستگاههای پایه اصلی به کاربران سرویس می‌دهند و با کوتاه‌سازی فاصله بین کاربر و ایستگاه پایه، موجب افزایش ظرفیت شبکه و نیز کاهش مصرف توان می‌گردند. به بیان دیگر، در این رویکرد استفاده مجدد از فرکانس^۲ افزایش می‌یابد، چرا که با کاهش توان ارسالی، هر فرکانس می‌تواند در فواصل نزدیک به هم مجدداً استفاده شود.

در همین راستا، بهره‌گیری از رله‌ها و ارتباطات دستگاه به دستگاه^۳ (D2D) نیز مزایای نسبتاً مشابهی دارد که در شبکه‌های نسل پنجم مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، تعبیه SBSها، رله‌ها و ارتباطات D2D در شبکه یک نوع ناهمگونی^۴ را پدید می‌آورد که متعاقباً چالش‌هایی را در زمینه تخصیص منابع ایجاد می‌کند. برای نمونه، چنان‌چه SBSها بر روی فرکانس ایستگاه پایه اصلی کار کنند، روی آن‌ها تداخل ایجاد می‌کنند. گوناگونی ماهیت نیازمندی‌ها در شبکه 5G، چالش دیگری است که در برابر پژوهشگران قرار دارد. اگرچه فناوری‌های متنوعی برای بهبود شاخص‌های کارایی مختلف نظیر ظرفیت ارسال، تأخیر، مصرف انرژی و هزینه اقتصادی پیشنهاد شده است، با این حال بازنگری در معماری لایه‌های مختلف شبکه نیز ضرورت دارد. واضح است که یک معماری تطبیق‌پذیر^۵ و انعطاف‌پذیر^۶ مورد نیاز است تا بتوان سرویس‌های متنوع را بر بستر یک شبکه یکپارچه ارائه داد. البته تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری (که نسل‌های قبلی شبکه موبایل فاقد آن هستند)، پیچیدگی‌هایی را در زمینه مدیریت شبکه موبایل پدید می‌آورد که پیش از این وجود نداشته است و در عین حال یک حوزه جدید برای پژوهش و نوآوری به شمار می‌آید.

۲-۳- سرویس‌های شبکه 5G

شبکه 5G بر خلاف نسل‌های پیشین شبکه‌های موبایل از جمله LTE، سرویس‌های گوناگونی را به کاربران متناسب با نیاز آن‌ها ارائه می‌دهد. سرویس‌های ارائه شده توسط شبکه 5G از منظر نیازمندی به KPIهای مختلف، تفاوت‌های عمده‌ای دارند. سند IMT 2020 که چشم‌انداز شبکه نسل پنجم موبایل را تدوین نموده است، سرویس‌های موجود را به سه دسته تقسیم‌بندی می‌کند [3]:

موبایل پهن‌بند ارتقایافته (eMBB): این سرویس نرخ داده بسیار زیاد و تأخیر ارسال کم را برای کاربران فراهم می‌نماید. سرویس eMBB در راستای همان سرویس MBB در نسل چهارم شبکه‌های موبایل است، با این تفاوت که کارایی بالاتری دارد و نیز کاربران با تحرک بالا (برای مثال مسافران قطار پرسرعت) را پشتیبانی می‌نماید.

^۱ Small Base Station

^۲ Frequency Reuse

^۳ Device-to-Device Communications

^۴ Heterogeneity

^۵ Versatile

^۶ Flexible

ارتباطات از نوع ماشین گسترده (mMTC): این سرویس از تعداد انبوهی دستگاه‌های متصل به شبکه که حساسیت زیادی به تأخیر نداشته باشند، پشتیبانی می‌کند. این سرویس برای پیاده‌سازی کاربردهای مرتبط با اینترنت اشیاء نظیر کنتورهای هوشمند برق مناسب است.

ارتباطات فوق‌العاده قابل اطمینان و با تأخیر کم (uRLLC): این سرویس برای کاربردهایی که حساسیت زیادی به تأخیر و قابلیت اطمینان دارند در نظر گرفته شده است. جراحی از راه دور و سیستم حمل‌ونقل هوشمند دو نمونه از کاربردهایی است که می‌توانند از سرویس uRLLC بهره ببرند.

سند IMT 2020، برای هر کدام از سه دسته مذکور، مقادیر عددی در ارتباط با چندین KPI برآورد کرده است که استانداردهای پیشنهادی باید از آن‌ها پشتیبانی نمایند تا به عنوان یک استاندارد برای شبکه 5G شناخته شوند. این مقادیر به صورت خلاصه شده در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳ – مقادیر KPIهای شبکه در سند IMT 2020 [3] (DL: فروسو، UL: فراسو)

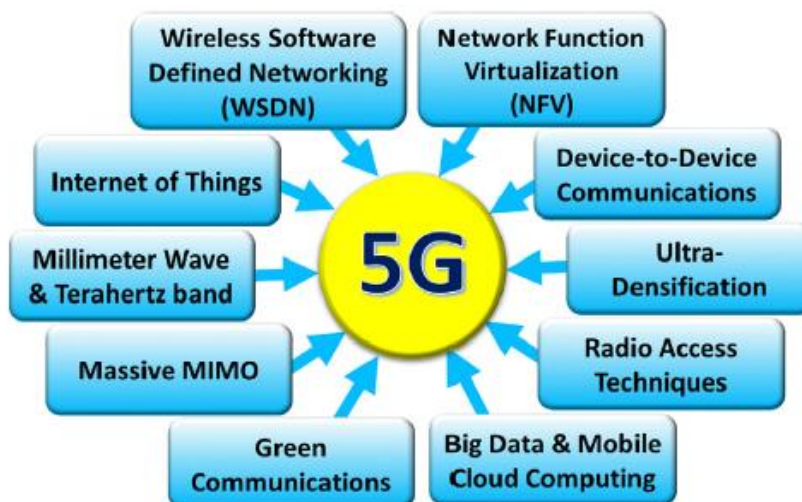
KPI	سرویس	مقادیر فرض شده
نرخ داده پیک	eMBB	DL: 20 Gbps, UL: 10 Gbps
کارایی طیف ^۱ پیک	eMBB	DL: 30 bps/Hz, UL: 15 bps/Hz
نرخ داده تجربه‌شده توسط کاربر	eMBB	DL: 100 Mbps, UL: 50 Mbps (محیط پرتراکم شهری)
کارایی طیف ۵ درصد	eMBB	DL: 0.3 bps/Hz, UL: 0.21 bps/Hz (هات‌اسپات داخلی) DL: 0.225 bps/Hz, UL: 0.15 bps/Hz (محیط پرتراکم شهری) DL: 0.12 bps/Hz, UL: 0.045 bps/Hz (روستایی)
کارایی طیف میانگین	eMBB	DL: 9 bps/Hz, UL: 6.75 bps/Hz (هات‌اسپات داخلی) DL: 7.8 bps/Hz, UL: 5.4 bps/Hz (محیط پرتراکم شهری) DL: 3.3 bps/Hz, UL: 1.6 bps/Hz (روستایی)
ظرفیت مکانی ترافیک	eMBB	DL: 10 Mbps/m ² (هات‌اسپات داخلی)

^۱ Spectral Efficiency

تأخیر صفحه داده ^۱	eMBB, URLLC	4 ms for eMBB and 1 ms for URLLC
تأخیر صفحه کنترلی ^۲	eMBB, URLLC	20 ms for eMBB and URLLC
چگالی ارتباطات	mMTC	یک میلیون دستگاه در کیلومتر مربع
کارایی انرژی	eMBB	قابلیت پشتیبانی از نسبت خواب ^۳ بالا و دوره خواب طولانی
قابلیت اطمینان	uRLLC	10^{-5}
حرکت	eMBB	حداکثر ۵۰۰ کیلومتر بر ساعت
پهنای باند	eMBB	حداقل محدوده‌ی پهنای باند ۱۰۰ مگاهرتز

۳-۳- فناوری‌های محقق‌ساز 5G

فهرست جامع فناوری‌های محقق‌ساز و جزئیات کارکرد آن‌ها در مراجعی نظیر [1] (کتابی از انتشارات دانشگاه کمبریج درباره معماری و فناوری‌های شبکه 5G)، [2] (مروری جامع بر کارهای پژوهشی در حوزه 5G)، [4] (شرح ده فناوری اصلی 5G)، [5] (بررسی لایه فیزیکی و لایه MAC در شبکه 5G) و [6] (تبیین نقشه راه 5G) مطرح شده است که در ادامه به توضیح بخش‌هایی از این فناوری‌ها می‌پردازیم. به عنوان مثال فهرست فناوری‌های مطروحه در [6] در شکل ۱ نشان داده شده است. در این بخش تعدادی از فناوری‌های منتخب که معیارهای کلیدی مورد نظر در 5G را فراهم می‌سازند (ر.ک. بخش ۲-۴) مرور می‌گردد.



شکل ۱- فناوری‌های محقق‌ساز 5G از نگاه [6]

^۱ Data Plane

^۲ Control Plane

^۳ Sleep Ratio

۳-۳-۱- شبکه نرم افزار محور^۱ بی سیم

یکی از چالش های مهم در 5G ایجاد یک معماری انعطاف پذیر بوده است، که این مهم از طریق فناوری شبکه نرم افزار محور (SDN) محقق می شود. SDN در ابتدا برای مراکز داده معرفی شد، که ایده اصلی در آن جداسازی صفحه کنترل در شبکه از صفحه داده بوده است. صفحه کنترل به پروتکل ها و الگوریتم هایی اشاره دارد که رفتار شبکه را کنترل و مدیریت می کنند و منظور از صفحه داده، هدایت بسته ها توسط تجهیزات شبکه بر اساس تصمیمات صفحه کنترل می باشد. در تجهیزات معمول شبکه، این دو به صورت یک مجموعه غیرقابل تفکیک طراحی می شوند، که تغییر در هر کدام مستقل از دیگری امکان پذیر نیست. با جداسازی دو صفحه از یکدیگر، زمینه برای نوآوری در کنترل و مدیریت شبکه فراهم می شود. برای مثال، مهندسی ترافیک در مراکز داده یک مسئله دشوار است که با SDN می توان الگوریتم های جدید را به سادگی بر روی سخت افزار شبکه موجود تست نمود.

شبکه های بی سیم نیز از مزایای SDN بی نصیب نمانده و به طور خاص، در استانداردهای معرفی شده توسط 3GPP برای 5G، معماری شبکه نرم افزار محور در نظر گرفته شده است که در آن یک واسط استاندارد، ارتباط بین صفحه کنترل و صفحه داده را برقرار می سازد. صفحه کنترل از طریق این واسط، نحوه تبادل داده کاربران در صفحه داده را کنترل می کند.

۳-۳-۲- مجازی سازی کارکردهای شبکه^۲

مجازی سازی کارکردهای شبکه (NFV) مفهومی مکمل SDN است که در آن کارکردهای شبکه که قبلاً بر روی سخت افزار مشخصی قرار داشتند، بر روی یک زیرساخت پردازش ابری به صورت نرم افزاری اجرا می شوند. در استانداردهای 3GPP برای 5G، کارکردهای شبکه هر کدام به صورت یک موجودیت مستقل در نظر گرفته شده که از سایر کارکردها سرویس می گیرد یا به آن ها سرویس می دهد. این موجودیت های مستقل را می توان به صورت ماشین های مجازی^۳ در فضای ابری در نظر گرفت که تمامی مزایای NFV در شبکه های معمول برای آن ها برقرار است.

فناوری SDN و NFV که مکمل یکدیگر محسوب می شوند، زمینه را برای برش زنی شبکه^۴ آماده می کنند. برش زنی شبکه یک مفهوم جدید است که در آن چندین شبکه مجازی (شامل هسته و دسترسی) به صورت

^۱ Software-Defined Network

^۲ Network Function Virtualization

^۳ Virtual Machines

^۴ Network Slicing

Data/User Plane

Ext. Network

IMS System

Cloud-based IMS System

Internet

vDPI vFW vIDS vNAT vLB Proxy Middleboxes

vDPI vFW vIDS vNAT vLB vProxy NFVI

Mobile Core

GW-D

GW-D

GW-D

GW-D

vGW-D

vGW-D

NFVI

Backhaul

Router

Switch

Router

vRouter

vSwitch

vCPE

NFVI

BACKHAUL NETWORK (OPENFLOW-BASED MPLS, OPENFLOW-BASED OPTICAL...)

Radio Access

NodeB

NodeB

eNodeB

eNodeB

AP

RRH

AP

RRH

RRH

RRH

3G

LTE (4G)

5G

UE

Control Plane

SDN-Service Controllers Pool

E/W bound Interfaces

SDN-Core Controllers Pool

E/W bound Interfaces

SDN-Backhaul Controllers Pool

E/W bound Interfaces

SDN-RAN Controllers Pool

Southbound Interface (Openflow, BGP, ForCES, etc...)

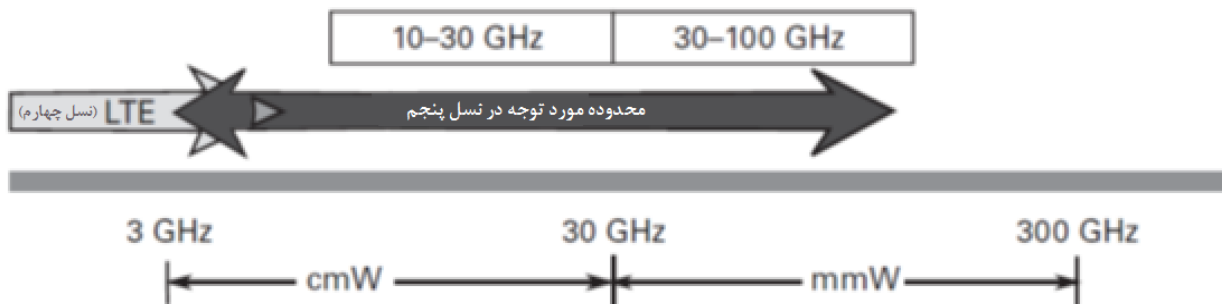
شکل ۲-نمای از یک شبکه موبایل که بر پایه فناوری SDN و NFV طراحی شده است [7]

همانطور که در فصل قبلی نیز بررسی شد، تقریباً در همه‌ی موارد کاربردی نسل پنجم، یکی از مهم‌ترین نیازمندی‌ها افزایش نرخ انتقال داده است. یکی از فاکتورهای مهم برای افزایش نرخ انتقال داده، استفاده از پهنای باند بیشتر است. از طرف دیگر به علت میزان بالای تضعیف در فرکانس‌های بالا، محدوده‌ی نسبتاً زیادی از فرکانس‌ها آزاد هستند که می‌توانیم از این محدوده‌ی فرکانسی برای افزایش نرخ انتقال استفاده کنیم. به طور خاص، برای 5G امواج میلی‌متری مورد توجه قرار گرفته است. امواج میلی‌متری، امواج الکترومغناطیسی با طول موج در مرتبه میلی‌متر هستند و از فرکانس ۳۰ تا ۳۰۰ گیگاهرتز (یا در برخی مراجع ۲۴ تا ۳۰۰ گیگاهرتز) را در بر می‌گیرند.

سؤالی اساسی که در اینجا مطرح می‌شود این است که چرا تا بحال و در نسل‌های قبلی از این فناوری استفاده نشده است. جواب این سؤال را باید در ویژگی‌های بنیادی امواج با فرکانس‌های بالا (امواج میلی‌متری و امواج تراهرتزی) جستجو کرد. یکی از ویژگی‌های اساسی این امواج، تضعیف بالا است که باعث می‌شود از این فناوری برای شعاع‌های ارسال بسیار محدود استفاده شود. ویژگی دوم این است که بر اساس قوانین فیزیکی، آنتن‌هایی که برای انتقال داده در این فرکانس‌ها باید طراحی شود دارای اندازه کوچک هستند که باعث می‌شود خیلی از ادوات سخت‌افزاری (مثلاً قطعات روی تراشه موبایل) نیز نقش آنتن داشته باشند که همه‌ی این موارد باید تحت کنترل باشد. با توجه به توضیحات داده شده، می‌توانیم چنین استدلال کنیم که

ساخت قطعات سخت‌افزاری برای این فرکانس‌ها باید تحت فناوری ویژه باشد که به تازگی امکان‌پذیر شده است.

محدوده‌های فرکانسی استفاده شده در نسل چهارم و پنجم در شکل ۳ قابل مشاهده است.

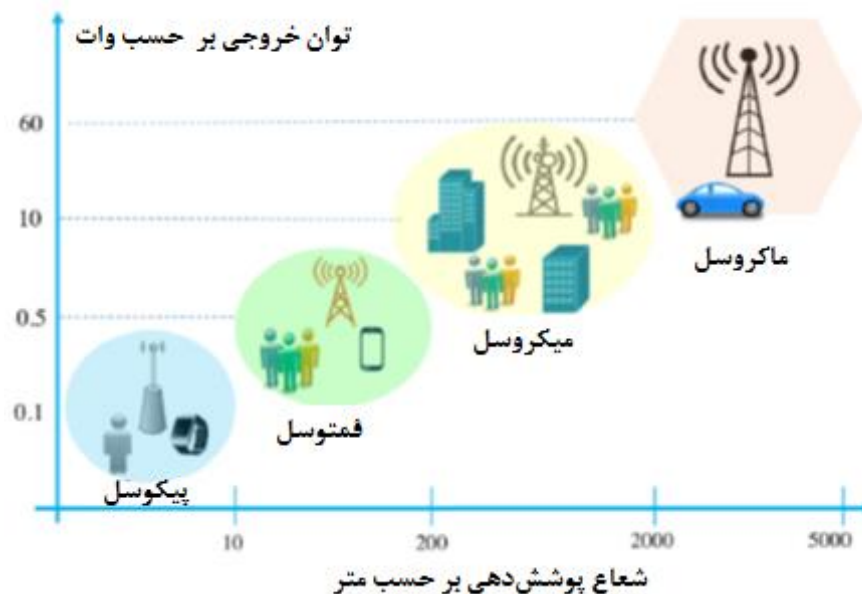


شکل ۳ - مقایسه امواج مورد استفاده در 4G و 5G [1]

۳-۳-۴- فشرده‌سازی در شبکه 5G: ایستگاه‌های پایه کوچک، رله و ارتباطات دستگاه به دستگاه

در این قسمت، فناوری‌های مرتبط با فشرده‌سازی شبکه بررسی خواهد شد که اهمیتی بنیادین در شکل‌گیری 5G دارد. فشرده‌سازی شبکه که با سه فناوری ایستگاه‌های پایه کوچک (SBS)، رله و ارتباطات دستگاه به دستگاه (D2D) محقق می‌شود، نقش مهمی در دستیابی به مقادیر مورد نظر برای KPIهای مشخص‌شده در بخش قبلی خواهد داشت. در ادامه این سه فناوری شرح داده شده و سپس نقش آن‌ها بر مقدار KPIهای مختلف بررسی خواهد شد.

SBSها ایستگاه‌های پایه با توان ارسالی کم و شعاع محدود هستند که به موازات ایستگاه‌های اصلی به کاربران سرویس می‌دهند. بدین صورت، سلول‌های کوچکی درون سلول‌های اصلی ایجاد می‌شود. شکل ۴ انواع سلول‌های شبکه را نشان می‌دهد. SBSها که خودشان از طریق ارتباطات سیمی به هسته شبکه متصل هستند، نقطه اتصال کاربر را به شبکه سیمی نزدیک‌تر می‌سازند. رله‌ها نیز تجهیزاتی هستند که سیگنال کاربر را (بدون پردازش یا پس از پردازش و تصحیح خطا) به ایستگاه پایه ارسال می‌کنند یا برعکس. تفاوت اصلی رله‌ها با SBSها در این است که رله بر خلاف SBS از طریق ارتباط بی‌سیم به ایستگاه پایه متصل می‌شود. بنابراین پیاده‌سازی رله ارزان‌تر است و در عین حال منابع شبکه بی‌سیم را مصرف می‌کند. D2D نیز ارتباط مستقیم بین دو تجهیز در شبکه است.



شکل ۴ - انواع مختلف سلول‌های موبایل

هر سه فناوری مذکور بر مبنای کوتاه‌سازی فاصله فرستنده و گیرنده کار می‌کنند. کوتاه‌سازی فاصله منجر به بهبود وضعیت کانال گردیده، به گونه‌ای که با ارسال توان کمتر می‌توان به نسبت سیگنال به نویز و تداخل^۱ (SINR) مطلوب دست یافت. به بیان دقیق‌تر، با توجه به رابطه‌ی مستقیم SINR با وضعیت کانال، چنانچه بهبودی در وضعیت کانال صورت گیرد، SINR نیز افزایش می‌یابد.

کاهش مصرف توان منجر به بهبود کارایی انرژی گردیده، ضمن این که تداخل فرستنده را بر روی ارتباطات سایرین کاهش می‌دهد. در نتیجه، کارایی طیف میانگین در شبکه افزایش می‌یابد. همچنین با کوتاه‌سازی فاصله جفت فرستنده-گیرنده‌های مختلف، ظرفیت مکانی ترافیک و چگالی ارتباطات نیز افزایش می‌یابد. علی‌رغم مزایایی که فشرده‌سازی فراهم می‌نماید، چالش‌هایی نیز در شبکه ایجاد می‌کند. یکی از چالش‌ها، تخصیص منابع در شبکه‌های ناهمگون است. در این شبکه‌ها، تداخل ناشی از SBSها، رله‌ها و ارتباطات D2D بر روی یکدیگر و ارتباطات با ایستگاه پایه، فضای مسئله را پیچیده می‌سازد. در نتیجه، روش‌های تخصیص منابع که برای شبکه‌های همگون طراحی شده است، کارایی لازم را نخواهد داشت.

۳-۳-۵- هوشمندسازی شبکه سلولی

یادگیری ماشین^۲، شاخه‌ای از هوش مصنوعی^۳ است که در آن کامپیوترها بدون نیاز به یک رویه از قبل مشخص‌شده و تنها با استناد به تجربیات قبلی، انجام وظایفی را بر عهده می‌گیرند. در سالیان گذشته از یادگیری ماشین برای تخمین وضعیت کانال، تعیین زاویه آنتن جهت‌دار، پیش‌بینی الگوی تحرک کاربران و مواردی از این دست در شبکه‌های موبایل استفاده شده است. اما به تازگی استفاده از یادگیری ماشین برای

^۱ Signal to Interference and Noise Ratio

^۲ Machine Learning

^۳ Artificial Intelligence

کنترل و مدیریت این شبکه‌ها مورد توجه بیش‌تری قرار گرفته است. دو دلیل را می‌توان برای این گرایش ذکر نمود: دلیل نخست پیشرفت‌هایی که در یک دهه گذشته در زمینه علم یادگیری ماشین حاصل شده (به ویژه یادگیری عمیق)^۱ که توان کامپیوترها را در استخراج الگوهای پیچیده‌تر و انجام وظایف سنگین‌تر افزایش داده است.

دلیل دیگر در ارتباط با گرایش به یادگیری ماشین، پیچیدگی فراوان شبکه‌های موبایل نسل پنجم است، که با روش‌های موجود به دشواری قابل حل است یا اصلاً قابل حل نیست. ناهمگونی شبکه و نیز تطبیق‌پذیری و انعطاف‌پذیری معماری شبکه با هدف ارائه سرویس‌های متنوع (که در قسمت قبل اشاره شد) ابعاد مسئله را افزایش داده و موجب پیچیدگی می‌گردد. برای مثال، کاربری که در نسل‌های پیشین شبکه‌های موبایل به ایستگاه پایه متصل می‌شد، حال می‌تواند از رله‌ها برای دسترسی خود به هسته شبکه استفاده نماید. انتخاب رله مناسب در کنار سایر مسائل نظیر تخصیص کانال، می‌تواند با یک مدل یادگیری مناسب حل گردد.

فصل ۴ – شبکه موبایل پس از نسل پنجم

۴-۱- پیش‌گفتار

اخیراً تعدادی مقاله پژوهشی در ارتباط با پیش‌بینی نسل‌های بعدی شبکه موبایل (به طور خاص 6G) منتشر شده است. البته تا زمان نگارش این گزارش، عمده مقالات مذکور به صورت مستقل و بدون داوری منتشر شده، هر چند با توجه به کیفیت مقالات و اعتبار نویسندگان پیش‌بینی می‌گردد همه یا تعدادی از آن‌ها در ماه‌های آینده در مجلات و ژورنال‌های معتبر پذیرفته شود. این مقالات عمدتاً تلاش می‌کنند به سه پرسش اساسی زیر پاسخ دهند، هر چند که عبارات مورد استفاده و ترتیب بخش‌های آن‌ها ممکن است متفاوت از یکدیگر باشد:

- چه کاربردهایی پدید خواهد آمد که حتی 5G نمی‌تواند آن‌ها را ارائه کند؟
 - شبکه‌های موبایل از جنبه‌های مختلف به کدام سو گرایش پیدا خواهند کرد؟
 - چه فناوری‌هایی منطبق با گرایش‌های فوق کاربردهای مورد نظر را محقق خواهند ساخت؟
- در ادامه‌ی این بخش گزیده‌ای از مباحث مطرح‌شده در چندین مقاله مورد بررسی در قسمت‌های مجزا ذکر خواهد شد. سپس در بخش پایانی خلاصه‌ای از پاسخ به پرسش‌های فوق ارائه خواهد شد.

^۱ Deep Learning

۴-۲- گزارش اتحادیه جهانی مخابرات

برنامه مقدماتی Network 2030 [8] که در اتحادیه جهانی مخابرات (ITU) تعریف شده است، به این موضوع می‌پردازد که در سال‌های آینده شبکه‌ها چه نقشی را برای جوامع ایفا می‌کنند؟ چه کاربردهایی قرار است به بلوغ برسند و در بازه زمانی ده‌ساله در اختیار کاربران قرار بگیرند؟ چالش اصلی این است که مشخص شود جوامع چگونه مرحله گذار دیجیتال را طی خواهند کرد و تعامل بین انسان و ماشین‌های هوشمند به چه صورت خواهد بود. به عبارت دیگر، چگونه از فناوری برای بهبود سطح زندگی انسان‌ها استفاده خواهد شد؟ برنامه Network 2030 پرسش‌های فوق را از طریق مطالعات در زمینه مباحث مختلف مرتبط با معماری شبکه شامل کاربردهای نوظهور در شبکه، خدمات مخابراتی جدید و زیرساخت مدرن پاسخ می‌دهد. در ادامه خلاصه‌ای از گزارش مقدماتی که توسط کارگروه Network 2030 منتشر شده [9]، بیان خواهد شد.

۴-۲-۱- کاربردهای نوظهور در شبکه

مبحث اول برنامه Network 2030 در زمینه مطالعه بر روی کاربردهای نوظهور است. در این زمینه از ارتباطات هلوگرافیک^۱ و ارتباطات چندحسی از جمله ارتباطات لمسی^۲ به عنوان گام بعدی پس از واقعیت افزوده/مجازی نام برده شده است. ارتباطات هلوگرافیک ارتباطاتی است که در آن یک تجسم سه بعدی در مقابل چشمان غیرمسلح بیننده پدیدار می‌شود. ارتباطات هلوگرافیک محدود به سرگرمی و تله‌کنفرانس نیست، بلکه کاربردهایی نظیر جراحی از راه دور و حضور مجازی را نیز در بر می‌گیرد. شکل ۵ برخی از کاربردهای این فناوری را نشان می‌دهد.

به سوی جامعه هلوگرافیک



^۱ Holographic Communication

^۲ Haptic Communications

شکل ۵ - برخی کاربردهای ارتباطات هلوگرافیک شامل ایجاد دوقلوی مجازی در صنعت، حضور مجازی تعاملی،

هلوگرام‌های سه بعدی پزشکی و انتقال پیام شخصی‌سازی شده [9]

ارتباطات هلوگرافیک از منظر مهندسی شبکه چالش برانگیز محسوب می‌شود، چرا که در آن حجم بالایی از اطلاعات لازم است جابجا شود و شبکه باید بتواند از عهده این موضوع برآید. کیفیت هلوگرام نه فقط به عمق رنگ، وضوح و نرخ فریم (همانند ویدیو) بستگی دارد، بلکه اطلاعات تصویر از زوایای مختلف باید منتقل شود تا یک تجسم سه بعدی ایجاد شود.

ارتباطات چند حسی نیز به انتقال اطلاعات مربوط به همه حواس (بینایی، شنوایی، لمسی و حتی چشایی و بویایی) مربوط می‌شود. البته بحث انتقال اطلاعات چشایی و بویایی از لحاظ مهندسی شبکه چندان دشوار نیست، چرا که حجم اطلاعات مربوط به آن بسیار کمتر از تصویر و صدا است و نیز حساسیت کمتری به تأخیر دارد. چالش اصلی در انتقال حس بویایی و چشایی مربوط به طراحی فرستنده و گیرنده آن خواهد بود.

دسته‌ای دیگر از کاربردهای جدید که در [9] مطرح شده، کاربردهای مهندسی شده با زمان^۱ است. در واقع از آن جایی که ماشین‌ها عمدتاً همانند انسان‌ها انطباق پذیر نیستند و باید در یک چرخه کنترلی دقیق وظایف خاصی را به اتمام برسانند (از جمله در اتوماسیون صنایع و سیستم‌های خودکار) زمان اهمیت فراوانی در شبکه‌های مربوطه دارد. به بیان دیگر شبکه باید کاملاً در حوزه زمان پیش‌بینی پذیر رفتار نماید. در واقع همچنان که مرز بین دنیای فیزیکی و دنیای دیجیتال رنگ می‌بازد، نیاز به یک سیستم دیجیتال داریم که بتواند هماهنگی بین منابع مختلف اطلاعات را ایجاد نماید، به گونه‌ای که همه اجزاء یک نمای سنکرون شده از سیستم را مشاهده کنند.

آخرین کاربردی که در گزارش مطرح شده، محافظت از جامعه در برابر شرایط اضطراری با کمک فناوری است که انتظار می‌رود در دهه آینده بسیار گسترش یابد. بدین منظور ویژگی‌های زیادی از سوژه تحت محافظت نیاز است، از جمله مکان دقیق وی.

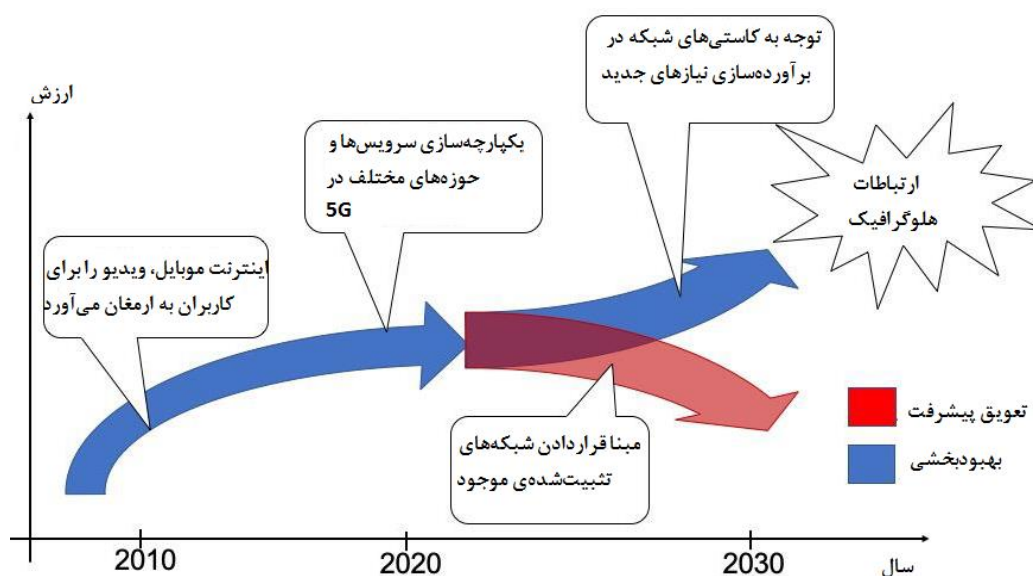
۴-۲-۲- خدمات مخابراتی جدید و زیرساخت مدرن

در متن گزارش مقدماتی کارگروه Network 2030 تاکید شده که نفوذ فناوری‌های شبکه همه ابعاد زندگی انسان‌ها را در دهه آینده تحت تأثیر قرار خواهد داد و لذا نیاز است خدمات و زیرساخت‌های مخابراتی جدیدی ایجاد شود. پیشرفت‌هایی که در همه فناوری‌های ارتباطی از جمله شبکه‌های فیبرنوری غیرفعال^۲، ارتباطات موبایل (که موضوع این گزارش پژوهشی است)، مخابرات ماهواره‌ای و ... رخ خواهد داد، پهنای باند، تأخیر و

^۱ Time Engineered Applications

^۲ Passive

قابلیت اعتماد شبکه را بهبود خواهد داد و نفوذ و گستردگی هر چه بیش تر شبکه محقق خواهد شد. از طرف دیگر، هزینه‌های مالی و مصرف انرژی نیرویی در جهت عکس افزایش نفوذ شبکه وارد می‌کنند. با تفاسیر فوق، از دیدگاه اعضای کارگروه Network 2030، دو سناریوی حدی برای دهه آینده محتمل است (شکل ۶): با اتکای صرف به شبکه‌های فعلی (که منجر به افزایش دائمی هزینه و مصرف انرژی می‌گردد)، پروسه پیشرفت به تعویق خواهد افتاد، که بدترین سناریو خواهد بود. در نقطه مقابل، با ارائه خدمات و زیرساخت‌های مخابراتی جدید، نگرانی‌ها برطرف شده و نتایج مورد نظر حاصل می‌گردد. طبیعتاً کشورها باید تلاش نمایند سناریوی دوم یعنی بهبودبخشی را هر چه سریع‌تر در دستور کار خود قرار دهند.



شکل ۶- دو سناریوی پیشرفت شبکه در آینده: تعویق پیشرفت یا برطرف نمودن چالش‌ها [9]

افزون بر چالش هزینه و مصرف انرژی (که در صفحه قبل ذکر شد)، چالش‌های دیگری نیز در شبکه‌های فعلی وجود دارد که در ادامه بیان می‌شود.

یک چالش عدم وجود ارتباط بین سرویس‌های مورد ارائه و فابریک شبکه است. در حقیقت شبکه می‌تواند سرویس‌های مختلفی علاوه بر برقراری ارتباط به کاربران ارائه دهد، از جمله: حفظ صحت و امنیت داده در طول مسیر، ارائه اطلاعات در خصوص میزان ازدحام، ظرفیت تبادل داده و تأخیر و عدم وجود واسطه‌های^۱ مناسب برای ارائه چنین سرویس‌هایی منجر به این شده که طراحان برنامه‌های کاربردی هر گونه احتمالی را در خصوص رفتار شبکه از جمله قطعی و عدم سرویس‌دهی در طراحی خود لحاظ نمایند. در این راستا، یک نمونه مشهور پروتکل TCP است که در نقاط انتهایی فعال شده و بدون کمک گرفتن از خود شبکه، سعی می‌کند کیفیت ارتباط را حفظ نماید.

^۱ Interfaces

لزوم محدود بودن تأخیر برای امکان پذیر شدن کاربردهای مهندسی شده با زمان (که در قسمت قبلی بحث شد) از جمله اتوماسیون صنایع و خودروهای خودران نیز به عنوان یک چالش مطرح شده است که در شبکه‌های فعلی به سختی امکان پذیر است.

مسئله دیگر ایجاد یک شبکه دسترسی^۱ غنی تر در شبکه است. در شبکه‌های فعلی، شبکه دسترسی تنها وظیفه اتصال کاربران به هسته شبکه را بر عهده دارد، حال آن که با قرار دادن توان پردازشی در لبه شبکه و ایجاد مفهومی به نام پردازش لبه^۲، می‌توان یک شبکه دسترسی غنی تر را ایجاد کرد که سرویس‌های مختلف ذخیره‌سازی، پردازش اطلاعات و سرویس‌های امنیتی به کاربران ارائه می‌دهد. برای مثال، ارائه فضای ذخیره‌سازی اطلاعات در لبه شبکه، سرویسی است که می‌تواند مستقل از هسته شبکه فعالیت نماید. با توجه به چالش‌های فوق، در برنامه Network 2030 تلاش بر این است شبکه‌ای با ویژگی‌های زیر طراحی گردد:

- بتواند از کاربردهای نوظهور پشتیبانی نماید. در نتیجه به مجموعه‌ای از مکانیزم‌ها برای تعامل بین برنامه‌های کاربردی و فابریک شبکه باید مجهز باشد.
- شبکه دسترسی بتواند خدمات پردازشی به کاربران ارائه دهد و در عین حال بین شبکه‌های دسترسی مختلف، ارتباطات گسترده برقرار باشد.
- بر خلاف اینترنت فعلی که بر پایه بهترین تلاش^۳ بنا شده، بتواند کیفیت سرویس دقیقی را به کاربران ارائه دهد.
- دارای یک زیرساخت یکپارچه مبتنی بر فناوری‌های دسترسی مختلف باشد.

۳-۴- چشم‌اندازی از شبکه‌های نسل ششم (6G)

در مقاله‌ای که سه محقق برجسته از دانشگاه‌های پرینستون، اولو (فنلاند) و ویرجینیاتک منتشر کرده‌اند [10]، کاربردها، گرایش‌ها، فناوری‌ها و مسائل باز تحقیقاتی مربوط به شبکه 6G مطرح شده است که در این بخش مرور خواهد شد.

۳-۴-۱- کاربردهای پیشران (محرك)

در مقاله [10] نیز همانند [9] ابتدا به معرفی کاربردهای جدیدی که نیاز به نسل جدید ارتباطات موبایل را پس از 5G ایجاد می‌کند پرداخته شده است. اولین کاربرد، واقعیت افزوده/ادغام‌شده/مجازی (AR/MR/VR)

^۱ Access Network

^۲ Edge Computation

^۳ Best Effort

از نوع چندحسی است که به اختصار XR چندحسی نامیده می‌شود. منظور از واژه چندحسی درگیر شدن حواس گوناگون (بینایی، شنوایی، لمسی و حتی بویایی و چشایی) در فرآیند ارتباط است.

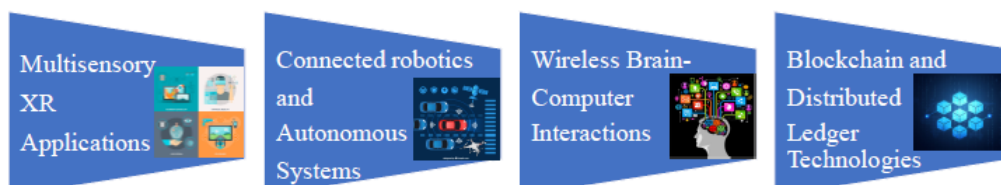
کاربرد بعدی مجموعه‌ای تحت عنوان "روبات‌های متصل و سیستم‌های خودکار"^۱ (CRAS) است و شامل ارسال کالا با پهپاد، خودروهای خودران، گروه پهپادهای خودکار (همانند دسته پرندگان)، حرکت دسته‌جمعی و هماهنگ خودروها و روبات‌های خودکار می‌شود.

دسته سوم نیز "تعاملات مغز و کامپیوتر"^۲ (BCI) به صورت بی‌سیم عنوان شده که ارتباط مستقیم بین مغز انسان و سیستم‌های کامپیوتری را به صورت بی‌سیم ممکن می‌سازد. این فناوری کاربردهای زیادی از جمله کنترل اشیاء هوشمند با ذهن دارد. برای مثال با استفاده از این فناوری کاربران می‌توانند اقدام به تایپ بدون نیاز به صفحه کلید نمایند.

فناوری زنجیره بلوکی ذکر شده که به خصوص در اینترنت اشیاء کاربرد فراوانی به جهت احراز اصالت و تبادل امن اطلاعات بین اشیاء دارد. ماهیت تراکنش‌ها در زنجیره بلوکی ترکیبی از ارتباطات با تأخیر ناچیز (سرویس uRLLC در 5G) و ارتباطات با تعداد زیاد گره در شبکه (سرویس mMTC در 5G) است.

مجموعه کاربردهایی که در بالا ذکر شد، در شکل ۷ قابل مشاهده است. معیارهایی که این کاربردها از لحاظ پهنای باند و تأخیر نیاز دارند، فراتر از معیارهایی است که 5G ارائه می‌کند.

6G: Driving Applications



شکل ۷ - کاربردهای محرک 6G [10]

۴-۳-۲- گرایش‌های فناورانه پیشران

کاربردهای ذکر شده در قسمت قبل دسته جدیدی از گرایش‌های فناورانه را پدید خواهد آورد که در ادامه فهرست‌وار بیان می‌شود. این موارد در قسمت بالایی شکل ۸ قابل مشاهده است.

- نرخ تبادل داده، طیف فرکانسی و قابلیت اطمینان بیش‌تر: این سه مورد همواره یک گرایش دائمی در گذار به نسل‌های جدید ارتباطات موبایل بوده است و نسل ششم نیز با توجه به کاربردهایی که برای آن پیش‌بینی می‌شود از این امر مستثنی نیست. به طور کلی نرخ‌های از مرتبه ترابیت در ثانیه (Tb/s) برای 6G متصور است که برای دستیابی به آن، فرکانس‌های بالای ۶ گیگاهرتز ضروری است. البته استفاده از امواج با فرکانس بالا، به دلیل قدرت نفوذ کم قابلیت اطمینان را دچار چالش می‌سازد.
- گذار از کارایی طیف و کارایی انرژی سطحی به حجمی: همان‌گونه که در فصول قبلی ذکر شد، در

^۱ Connected Robots and Autonomous Systems

^۲ Brain-Computer Interactions

نسل پنجم موبایل مفهوم کارایی طیف و کارایی انرژی سطحی پدید آمد که طبق آن کارایی طیف و انرژی در واحد سطح محاسبه می‌شد تا بدین شکل میزان فشردگی سطحی شبکه نیز در محاسبات لحاظ گردد. حال با توجه به این که بسیاری از کاربردهای 6G مربوط به تجهیزاتی نظیر پهپاد است که در بالاتر از سطح زمین قرار دارند، مفهوم فشردگی حجمی مورد توجه است که در آن کارایی طیف و کارایی انرژی در واحد حجم سنجیده می‌شود (bps/Hz/m^3) برای کارایی طیف و $\text{bps/Hz/m}^3/\text{Joules}$ برای کارایی انرژی).

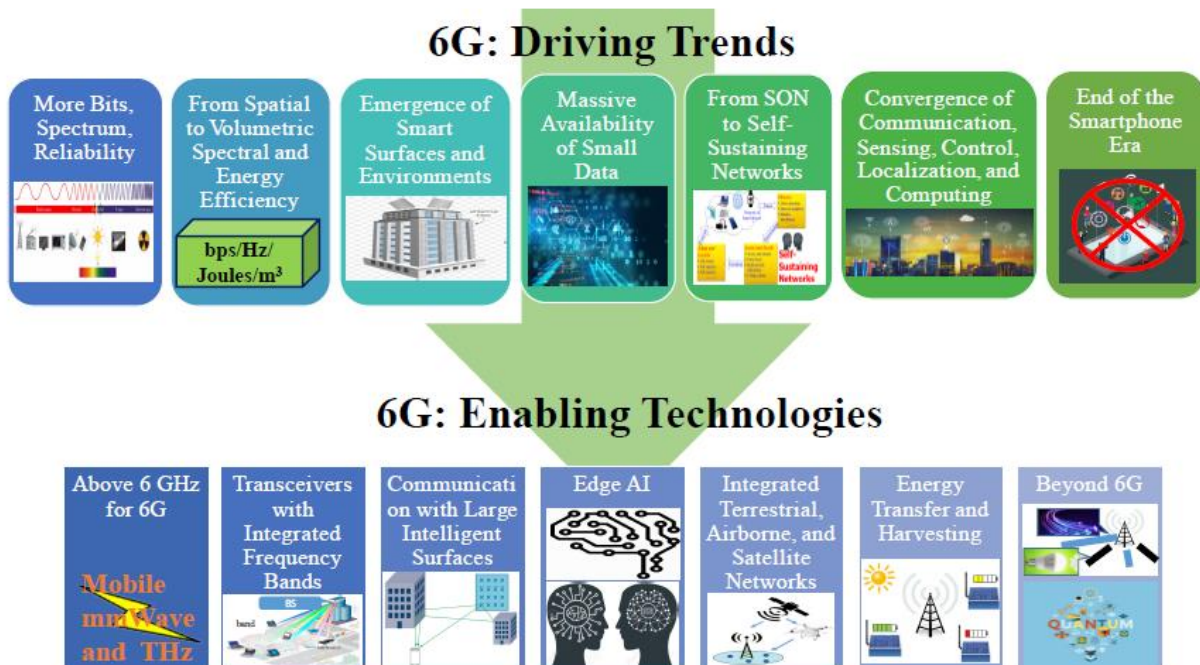
- پدیدار شدن سطوح و محیط‌های هوشمند: نسل‌های قبلی ارتباطات موبایل (حتی 5G) از ایستگاه‌های پایه (در اندازه و فرم‌های مختلف) برای برقراری ارتباط بهره می‌بردند. اما اکنون انقلابی در عرصه سطوح فعال^۱ (برای مثال فراماده‌ها^۲) شاهد هستیم، که استفاده از آن‌ها می‌تواند تغییراتی عظیم در نسل ششم موبایل ایجاد نماید. فراماده‌ها موادی هستند که نحوه تعامل آنها با امواج الکترومغناطیس متفاوت از مواد عادی است (برای مثال ضریب شکست نور آن‌ها منفی است)، که از این مواد می‌توان در کنترل رفتار امواج رادیویی در محیط استفاده کرد.
- در دسترس بودن گسترده داده‌های کوچک: در آینده نزدیک تغییر پارادایم در حوزه داده از حجم زیاد و متمرکز داده (که از آن با عنوان کلان داده^۳ یاد می‌شود) به انبوه داده‌های کوچک که به صورت غیرمتمرکز ذخیره شده‌اند را شاهد خواهیم بود که شبکه 6G باید با آن سازگار باشد.
- گذار از شبکه‌های خودسازمانده (SON) به شبکه‌های خودپایدار: در SON برخی کارکردهای خاص در شبکه قابلیت انطباق با شرایط محیطی را دارد، که برای 6G کافی نیست. در 6G شبکه باید بتواند در شرایط به شدت متغیر و محیط‌های خیلی پیچیده، معیارهای کارایی خود را حفظ نماید و از این رو باید یک شبکه خودپایدار باشد.
- ارتباطات، محاسبات، کنترل، مکان‌یابی و حسگری (3CLS): نسل‌های قبلی ارتباطات موبایل تنها یک وظیفه را برعهده داشتند: برقراری ارتباط به صورت بی‌سیم. اما با تحولاتی که رخ داده، شبکه 6G یک سیستم چندمنظوره است که سرویس‌های مختلف ارتباطی، محاسباتی، کنترل، مکان‌یابی و حسگری ارائه می‌دهد. این سرویس‌ها برای کاربردهایی نظیر XR و CRAS که در ابتدای بخش معرفی شد، ضروری هستند.
- پایان عصر گوشی‌های هوشمند: در سال‌های اخیر انواع دستگاه‌های پوشیدنی نظیر ساعت‌های مچی هوشمند را شاهد بوده‌ایم که به تدریج کارکردهای گوشی‌های هوشمند در آن‌ها تعبیه شده است. این

^۱ Active Surfaces

^۲ Metamaterials

^۳ Big Data

گرایش با رونق ابزارهای XR و BCI شدت بیش‌تری خواهد یافت، که در نهایت گوشی‌های هوشمند را از عرصه خارج می‌سازد.



شکل ۸ - گرایش‌های محرک 6G و فناوری‌های محقق‌ساز آن [10]

۴-۳-۳- فناوری‌های محقق‌ساز

در راستای گرایش‌هایی که ذکر شد، فناوری‌هایی نیز توسعه می‌یابد که در ادامه معرفی خواهد شد (قسمت پایینی شکل ۸). این فناوری‌ها امکان محقق‌سازی نسل ششم ارتباطات موبایل را فراهم می‌سازند.

- فناوری‌های مرتبط با ارسال و دریافت فرکانس‌های بالای 6GHz - از سلول‌های کوچک به سلول‌های بسیار کوچک^۱: بر اساس دو گرایش اول که در قسمت قبلی ذکر شد، استفاده از فرکانس‌های بالای ۶ گیگاهرتز در 6G ضروری است. در اولین گام، امواج میلی‌متری (mmWave) که در 5G نیز وجود دارد، در 6G باید به یک واقعیت تبدیل شود. پس از آن، در گام بعدی امواج باند تراهرتزی (THz) مورد نیاز خواهد بود. در این راستا، اندازه سلول‌های شبکه باید بسیار کوچک و در مرتبه چند متر باشد، که بازنگری در معماری شبکه را می‌طلبد.
- فرستنده/گیرنده‌های با باند فرکانسی یکپارچه: سلول‌های بسیار کوچک که در باندهای فرکانسی بالا کار می‌کنند، مستقلاً نمی‌توانند تجربه ارتباطی با ثبات و رضایت‌بخش را برای کاربر فراهم نمایند و لذا سیستم باید بتواند به طور یکپارچه بر روی امواج میکروویو، میلی‌متری و تراهرتزی کار نماید

^۱ Tiny Cells

(عملکرد multi-mode داشته باشد).

- ارتباطات به وسیله سطوح هوشمند بزرگ: با توجه به گرایش که در زمینه سطوح هوشمند پدید آمده، فناوری سطوح هوشمند بزرگ (LIS) و محیط‌های هوشمند یکی از فناوری‌های محقق‌ساز 6G محسوب می‌شود.
- هوش مصنوعی در لبه^۱: در سال‌های اخیر هوش مصنوعی به ویژه در حوزه یادگیری عمیق پیشرفت‌های شگرفی داشته است. همچنین حجم داده‌ها بسیار افزایش یافته (در قالب داده‌های کوچک انبوه که در قسمت قبلی بدان اشاره گردید) و نیز با توجه به گرایش که در زمینه خودپایداری شبکه‌ها شکل گرفته، اهمیت هوش در لبه فزونی یافته است. در هوش مصنوعی لبه، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تجهیزات لبه شبکه اجرا می‌شود و یک نوع خودمختاری توزیع شده ایجاد می‌شود.
- شبکه‌های زمینی، هوایی و ماهواره‌ای یکپارچه: اگرچه پهنابندها جزو کاربران شبکه 6G به شمار می‌آیند، با این حال خودشان می‌توانند در قالب رله یا نقطه دسترسی به شبکه عمل نمایند و از این رو دامنه ارتباطات موبایل را به بالاتر از سطح زمین گسترش دهند. در عین حال ماهواره‌های LEO نیز می‌توانند به عنوان پشتوانه بک‌هال شبکه‌های زمینی و هوایی و یا گسترش پوشش‌دهی در مناطق وسیع عمل نمایند و در نتیجه یک شبکه یکپارچه زمینی، هوایی و ماهواره‌ای ایجاد شود.
- برداشت و انتقال انرژی به صورت بی‌سیم: همچنان که فناوری انتقال انرژی به بلوغ می‌رسد، می‌توان پیش‌بینی کرد که در شبکه 6G ایستگاه‌های پایه به کاربران (به خصوص تراشه‌های کاشتنی در مغز و حسگرهای با مصرف توان کم) انرژی منتقل نمایند (آن‌ها را شارژ کنند). برداشت انرژی از امواج رادیویی و منابع انرژی تجدیدپذیر نیز جزیی از سیستم 6G خواهد بود.
- فراتر از 6G: برخی دیگر از فناوری‌ها ممکن است در زمان 6G به بلوغ برسند، و برای نسل‌های بعدی قابل استفاده باشند. از جمله می‌توان به پردازش کوانتومی و یکپارچه‌شدن ارتباطات غیررادیویی (نظیر ارتباطات مولکولی، عصبی، نوری و ...) با ارتباطات رادیویی اشاره کرد.
- با توجه به گرایش‌هایی که در قسمت قبلی برای 6G در نظر گرفته شد، و همچنین فناوری‌هایی که صنعت را در مسیر این گرایش‌ها به پیش می‌راند، مشخصاً طیف وسیعی از علوم و شاخه‌های مهندسی در شکل‌دهی نسل ششم ارتباطات موبایل نقش خواهند داشت. به طور مثال می‌توان به فیزیولوژی و روان‌شناسی، اقتصاد، تئوری کنترل، هوش مصنوعی، الکترومغناطیس و علم مواد اشاره کرد.

^۱ Edge AI

۴-۴- شبکه: خط مقدم بعدی در ارتباطات موبایل

در مقاله [11] نیز تعدادی نیروی محرکه ذکر شده است که انگیزه را برای ورود به عصر 6G ایجاد می‌کند. این موارد در چهار قسمت بعدی شرح داده شده است.

۴-۴-۱- نیاز به زیرساخت‌های جدید ارتباطی

- اولین نیروی محرکه، نیاز به زیرساخت‌های جدید ارتباطی است که جنبه‌های زیر را در بر می‌گیرد.
- یک معماری جدید برای پشته پروتکلی در شبکه، به منظور پشتیبانی از ارائه سرویس با ویژگی‌های تقریباً قطعی^۱ از جمله تأخیر یا مصرف انرژی دقیق
- برقراری اتصال جامع سه‌بعدی، بر مبنای یکپارچه‌سازی لینک‌های زمینی و غیرزمینی از جمله پهپادها و ماهواره‌های در مدار زمینی خیلی پایین (VLEO) که در ارتفاع در حدود ۳۰۰ کیلومتر مستقر هستند.
- برقراری ارتباطات با تأخیر خیلی کم (در حد کم‌تر از میلی ثانیه) که در اتوماسیون صنعتی و ارتباطات تعاملی چندحسی کاربرد دارد.
- نرخ تبادل داده بسیار بالا (در مرتبه ترابیت بر ثانیه) برای پشتیبانی از ارتباطات لمسی و هولوگرافیک
- ارتباطات بدون نیاز به باتری که به وسیله مکانیزم‌های برداشت انرژی، کارایی انرژی در مرتبه پیکوژول بر بیت (pJ/bit) داشته باشد.

۴-۴-۲- هوش مصنوعی فراگیر و مدیریت جامع منابع شبکه، محاسبات، کشینگ و

کنترل (C4)

مولفان [11] بر این باور هستند که بهره‌گیری جامع از ابزارهای هوش مصنوعی در محیط‌های هوشمند آن‌چنان که برای یک دهه آینده پیش‌بینی شده است، طراحی جدیدی را در خصوص چهار بُعد شبکه (ارتباطات، محاسبات، کشینگ^۲ و کنترل که به C4 معروف است) می‌طلبد. در طراحی جدید C4 باید به صورت مشترک بهینه‌سازی شود، و این برخلاف وضعیتی است که در 5G وجود دارد که در آن هر کدام جداگانه مهندسی می‌شود. برای مثال، انتساب کاربران به ایستگاه‌های پایه، انتخاب محتوایی که روی هر ایستگاه پایه به عنوان کش ذخیره شود و جایگذاری ماشین‌های مجازی که برای این کار در نظر گرفته می‌شود، همگی باید به صورت یک مسئله واحد دیده شود.

یک معماری جدید که می‌تواند هدف فوق را برآورده سازد، معماری شبکه اطلاعات محور^۳ (ICN) است که در آن فرآیند مسیریابی بر روی اطلاعات (و نه اعضای شبکه) اجرا می‌شود. البته ICN به صورت روبنایی در شبکه 5G وجود دارد، اما در 6G می‌تواند به صورت ذاتی پیاده‌سازی شود تا به تخصیص بهتر منابع کمک نماید.

^۱ Deterministic

^۲ Caching

^۳ Information-Centric Network

در شبکه 6G، از هوش مصنوعی می‌توان برای کارکردهای self-x که شامل خودسازمان‌دهی، خودتعریف‌کنندگی، خودپیش‌بینی‌کنندگی و خودکشف‌کنندگی است، به صورت توزیع‌شده بهره برد. در 5G این قابلیت‌ها به صورت متمرکز وجود دارد و از مکانیزم‌های مدیریت تعارض^۱ می‌توان برای رفع تعارضات بین تصمیمات حلقه‌های کنترلی مختلف بهره برد. اما در 6G یک معماری جدید مورد نیاز است تا تعارضات بین حلقه‌های کنترلی توزیع‌شده را رفع نماید.

۴-۴-۳- مکانیزم‌های توزیع‌شده و تعبیه‌شده^۲ امنیت و حریم شخصی

با توجه به تبادل گسترده اطلاعات در شبکه 6G، بحث امنیت و حریم شخصی نیز در آن اهمیت خاصی می‌یابد. مباحثی از جمله حفظ مالکیت داده در سیستم توزیع‌شده، اجرای الگوریتم‌های یادگیری ماشین ضمن حفظ حریم شخصی کاربران، اطمینان یافتن از مورد اعتماد بودن اطلاعات برای تصمیم‌گیری صحیح و شناسایی رفتارهای مشکوک از جمله مواردی است که در 6G باید پاسخ داده شود.

مؤلفان [11] اعتقاد دارند که شیوه‌های جدید رمزنگاری (از جمله رمزنگاری همومورفیک^۳) در 6G مورد نیاز است. در رمزنگاری همومورفیک پردازش بر روی داده‌های رمز شده انجام می‌شود، لذا حریم شخصی کاربران در صورت ارسال اطلاعات به ابر به منظور پردازش، حفظ می‌گردد. همچنین الگوریتم‌های محاسباتی قابل اثبات^۴ که در آن‌ها صحت خروجی محاسبات قابل اثبات است، برای ایجاد اطمینان از مورد اعتماد بودن محاسباتی که در پردازش ابری صورت گرفته، مناسب است. در نهایت به زنجیره بلوکی اشاره شده است که یک ابزار مناسب برای ایجاد اطمینان از صحت داده در محیط توزیع‌شده بخصوص در اینترنت اشیا به شمار می‌آید.

۴-۴-۴- ارتباط از طریق امواج زیر تراهرتز^۵ و امواج نوری

آخرین مورد از نیروهای محرکه 6G، ارتباط از طریق امواج زیر تراهرتز و لینک‌های نوری ذکر شده است. این دو فناوری دستیابی به نرخ‌های در مرتبه ترابیت در ثانیه را که در آینده مورد نیاز خواهد بود برآورده می‌سازد.

امواج زیر تراهرتز امواج در مرتبه ۹۰ تا ۴۵۰ گیگاهرتز است. این امواج می‌توانند نرخ‌های تا چند ترابیت بر ثانیه را فراهم نمایند. برای مثال در فاصله ده متری (با خط دید مستقیم) از ایستگاه پایه که امواجی با

^۱ Conflict

^۲ Embedded

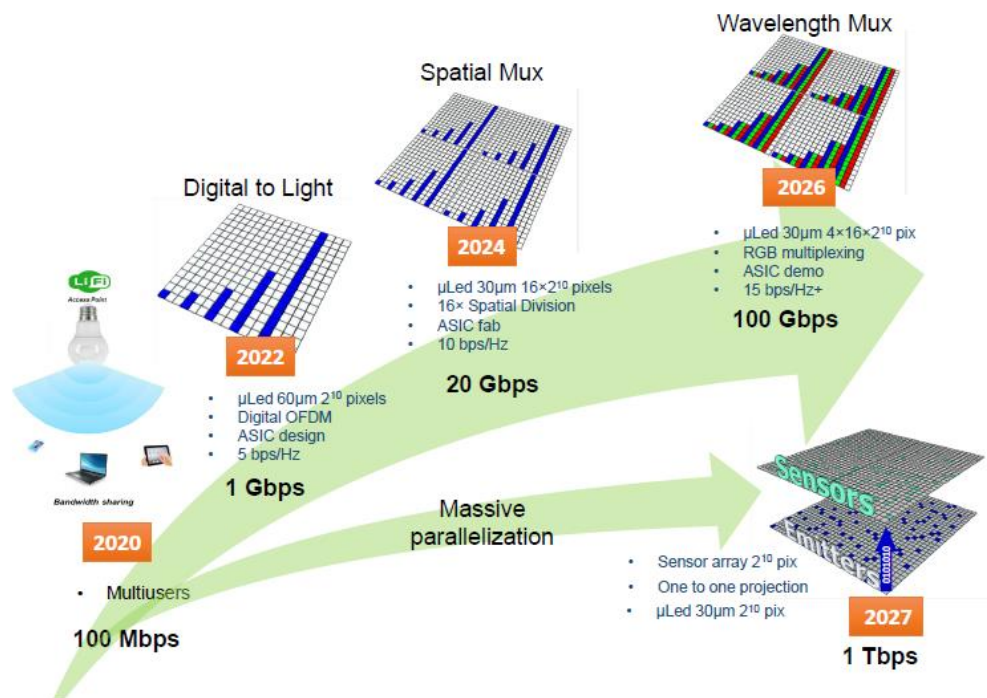
^۳ Homomorphic Encryption

^۴ Verifiable Computation

^۵ Sub-Terahertz

فرکانس حامل ۲۵۰ گیگاهرتزی می‌فرستد، اگر از تکنیک‌های مدولاسیون مناسب استفاده شود، نرخ ۱ ترابیت بر ثانیه قابل دستیابی است.

همچنین ارتباطات با نور قابل مشاهده^۱ (VLC) می‌تواند نرخ‌های معادل با فیبرنوری برای فواصل چندمتری فراهم نماید. این امواج بر خلاف امواج رادیویی تداخل الکترومغناطیسی ندارند، نیاز به مجوز از سوی رگولاتوری ندارند و قابلیت استفاده مجدد در آن‌ها خیلی بالا است. در حال حاضر تجهیزات microLED عرضه شده است، که در محیط آزمایشگاهی یک قطعه از آن توانسته نرخ نزدیک به ۱۰ گیگابیت بر ثانیه را ارائه دهد. با این حال، فناوری مذکور قابلیت ارتقا دارد و چنانچه در شکل ۹ دیده می‌شود، تا دهه آینده می‌تواند نرخ‌های مورد نیاز در 6G را ارائه دهد. در شکل زیر، هر کدام از خانه‌های صفحات شطرنجی یک microLED است.



شکل ۹ - مراحل پیشرفت فناوری ارتباطات با نور قابل مشاهده (VLC)

۴-۵ - شبکه 6G از نگاه انسان‌محور

مقاله [12] که گروهی از محققان در دانشگاه KAUST در کشور عربستان سعودی منتشر کرده‌اند، نگاهی متفاوت از مقالات قبلی به حوزه شبکه‌های موبایل داشته است. در مقاله مذکور عنوان شده است که 6G بر خلاف نسل‌های قبلی که ماشین‌محور (5G)، اپلیکیشن‌محور (4G) یا داده‌محور (3G) بوده است، انسان‌محور خواهد بود.

^۱ Visible Light Communications

کاربردهایی که برای 6G در [12] پیش‌بینی شده، همگی با در نظر گرفتن انسان در مرکزیت کاربرد فرض شده است. طبیعتاً نخستین دسته همان تبادل اطلاعات بین کاربران انسانی است، منتها با معیارهای کلیدی بهتر از 5G (شامل امنیت، حریم شخصی، شعاع پوشش‌دهی، هزینه، مصرف انرژی و نرخ انتها به انتها). موقعیت‌یابی دقیق کاربران در فضای داخلی، دسته دیگری از کاربردهای 6G است که در [12] مطرح شده است و منظور از آن تعیین مختصات مکانی دقیق کاربر با استفاده از فناوری‌های شبکه است. دسته دیگر کاربردها تجهیزات پوشیدنی (نظیر ساعت‌های هوشمند)، همدست‌ها و تراشه‌های کاشتنی در بدن انسان است که توان ارسالی و باند فرکانسی آن‌ها باید به دقت تنظیم شود تا برای سلامتی انسان مضر نباشد. ارتباطات موبایل درون هواپیما کاربردی دیگر است که اگر چه در نسل‌های قبلی برای آن تلاش شده، اما به دلایلی از جمله hand-overهای مکرر، عدم پوشش‌دهی و اثر داپلر چندان رضایت‌بخش نبوده است. کاربردهای دیگری که در مقاله مطرح شده شامل این موارد است: پوشش‌دهی شبکه موبایل در سطح جهانی به صورت سه‌بعدی (زمینی، فضایی و هوایی یکپارچه)، ارتباطات خودرو به همه‌چیز (V2X) به صورت گسترده، ارتباطات هلوگرافیک و ارتباطات پیوندخورده با انسان^۱. در توضیح مورد آخر باید گفت که ارتباطات پیوندخورده با انسان بدین صورت تعریف شده است که شبکه بتواند حواس پنج‌گانه‌ی انسان را همان‌گونه که در واقعیت تجربه می‌کند، بازسازی نماید.

- بر اساس کاربردهایی که در [12] ذکر شده، شبکه‌ها باید از چهار جنبه زیر بهبود فراوانی پیدا کنند:
- امنیت و حریم شخصی: در نسل‌های قبلی شبکه موبایل توجه مناسبی به امنیت و حریم شخصی نشده است و حال به مدد فناوری‌های مرتبط با امنیت در لایه فیزیکی و توزیع کلید کوانتومی با استفاده از امواج نوری قابل مشاهده (VLC) بهبود زیادی خواهد یافت. همچنین پیش‌بینی شده است که مرکزیت‌زدایی و ناشناس‌سازی^۲ با استفاده از فناوری زنجیره بلوکی به صورت کامل امکان‌پذیر خواهد شد.
 - مقرون به صرفه بودن و شخصی‌سازی^۳ کامل: این دو مورد به کاربران امکان می‌دهد خدماتی را کاملاً متناسب با نیازها و ترجیحات خود با هزینه مناسب دریافت نمایند. در این راستا معیاری تحت عنوان رضایت از سرویس^۴ (SOS) تعریف شده است که جنبه‌های مختلف کیفیت سرویس (QoS) را به همراه قیمت سرویس در نظر می‌گیرد.
 - مصرف انرژی کم و عمر طولانی باتری: برای بهبود این دو معیار رویکردهایی نظیر برون‌سپاری محاسبات به ایستگاه‌های پایه و استفاده از رله و فشرده‌سازی شبکه و برداشت و انتقال انرژی پیشنهاد

^۱ Human Bond Communications

^۲ Anonymization

^۳ Customization

^۴ Satisfaction

شده است.

- هوشمندی سطح بالا: در 6G تعداد زیادی مسئله بهینه‌سازی چندهدفه^۱ (حتی بیش‌تر از 5G) برای تخصیص منابع وجود دارد که حل آن‌ها به صورت بلادرنگ دشوار است. حال می‌توان ایستگاه‌های پایه را به پردازنده‌هایی با تعداد هسته‌ی بالا نظیر پردازنده‌های گرافیکی مجهز کرد تا مسائل فوق را با روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی حل کنند.

۴-۵-۱- تأثیرات عوامل غیرفنی بر روند حرکت به سوی 6G

بخش دیگری از مقاله [12] مسائل غیرفنی تأثیرگذار بر شکل‌گیری 6G را بررسی کرده است که در سایر مقالات مرجع چنین بخشی به طور مستقل وجود ندارد و از این حیث قابل توجه به نظر می‌رسد. در ابتدا به علوم پایه اشاره شده که زیربنای پیشرفت حوزه مهندسی محسوب می‌شود. به طور خاص، پیشرفت در علم ریاضیات به خصوص در حوزه هندسه تصادفی^۲ و نظریه گراف می‌تواند جهش عظیمی را در مهندسی شبکه‌های بی‌سیم ایجاد نماید که از هم‌اکنون قابل پیش‌بینی نیست.

مسئله دیگر وابستگی به صنایع بالادستی^۳ است. اگر چه در تئوری می‌توان فرکانس را به هر میزان دلخواه بالا فرض کرد، اما در عمل این موضوع به توانایی ساخت تجهیزات از سوی سازندگان وابسته است. همچنین نرخ تبادل داده از عهده برخی تراشه‌های فعلی خارج است و محصولات جدید مورد نیاز خواهد بود. بنابراین اگر به وابستگی به صنایع بالادستی توجه نشود، 6G تنها در حد یک کار پژوهشی باقی خواهد ماند.

مسئله بعدی مدل‌های کسب و کار و تجاری‌سازی است که در 6G تأثیر گسترده‌تری نسبت به نسل‌های قبلی دارد، چرا که فشردگی شبکه در عین امیدبخش بودن، هزینه زیادی می‌خواهد و لذا باید مدل تجاری آن طراحی گردد. همچنین سازگاری شبکه نسل ششم با نسل‌های قبل و چگونگی توجیه کاربران به استفاده از خدمات 6G باید مورد توجه باشد.

در ادامه‌ی مقاله [12] به موضوع تأثیرات شبکه 6G بر سلامتی انسان، اشاره شده است. اگر چه نتایج تحقیقات اخیر حاکی از بی‌ارتباط بودن استفاده از فرکانس‌های بالا و نرخ سرطان دارد، اما نگرانی‌ها در این خصوص ممکن است رشد 6G را آهسته نماید. در نهایت نیز موضوع عدم آگاهی و دانش مردم برای استفاده از خدمات 6G در کشورهای در حال توسعه مطرح شده است.

۴-۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مقاله‌ای که در این فصل بررسی شد، به اشکال مختلف پاسخ سه سؤال زیر را که در ابتدای فصل مطرح شد از دیدگاه مؤلفان خود ارائه کرده‌اند.

- چه کاربردهایی پدید خواهد آمد که حتی 5G نمی‌تواند آن‌ها را ارائه کند؟

^۱ Multi-objective

^۲ Stochastic Geometry

^۳ Upstream Industries

- شبکه‌های موبایل از جنبه‌های مختلف به کدام سو گرایش پیدا خواهند کرد؟
- چه فناوری‌هایی منطبق با گرایش‌های فوق کاربردهای مورد نظر را محقق خواهند ساخت؟

به نظر می‌رسد پاسخ به پرسش اول و دوم تا حدی مشخص شده است، و به نوعی یک توافق نظر نسبی بر روی کاربردهای شبکه 6G و گرایش‌هایی که شبکه‌های موبایل پیدا خواهند کرد، حاصل شده است. با این حال پاسخ به پرسش سوم هنوز مبهم است و به روند پیشرفت علوم (به‌خصوص علوم پایه)، وضعیت اقتصاد جهانی و چگونگی پیاده‌سازی 5G در سال‌های آینده بستگی دارد.

با توجه به آن‌چه که مطالعه گردید، در ارتباط با کاربردهای جدیدی که شبکه 6G به احتمال زیاد برای کاربران به ارمغان خواهد آورد، موارد کلیدی زیر قابل ذکر است:

- تاکنون انتقال صوت، متن، تصویر و ویدیوی کاربران توسط شبکه‌های موبایل ممکن شده است. اما 6G از طریق ارتباطات هلوگرافیک، چندحسی و حضور مجازی، تجسمی سه‌بعدی از یک محیط در یک نقطه از کره زمین را به نقطه دیگری منتقل می‌سازد که فاصله فیزیکی و مرزهای جغرافیایی را تا حدی کم‌اثر خواهد ساخت.
- همواره کاربردهای جدیدی مطرح می‌شود که وابستگی زیادی به تأخیر و تغییرات تأخیر خواهند داشت، کاربردهایی نظیر اتوماسیون صنایع، جراحی از راه دور و ... که البته در 5G نیز مطرح شده است و انتظار می‌رود در 6G و پس از آن رونق بیشتری یابد.
- اتصال گروهی و هماهنگ‌شده تجهیزات به شبکه رواج می‌یابد، از جمله دسته‌ای از پهپادها، خودروها و روبات‌هایی که به صورت هماهنگ با یکدیگر کار می‌کنند. شاید بتوان گفت در 6G و پس از آن "اتصال جوامعی از اشیاء به شبکه" را خواهیم داشت.
- اتصال بدون واسطه مغز انسان به شبکه توسط تجهیزات اسکن مغزی و تبادل اطلاعات میان افراد بدون نیاز به تایپ یا صحبت کردن نیز از کاربردهای احتمالی شبکه‌های موبایل در آینده است.

همچنین گرایش‌هایی که به احتمال زیاد شبکه 6G و پس از آن را زمینه‌سازی خواهد نمود، که به نوعی توافق نظر بر روی آن وجود دارد، موارد مندرج در جدول ۴-۱ خواهد بود.

جدول ۴-۱ - گرایش‌های شبکه‌های موبایل در گذار به 6G و پس از آن

گرایش	شرح	عبارات مشابه
افزایش باند فرکانسی	استفاده گسترده از امواج میلی‌متری و ورود به باندهای در مرتبه فرکانسی تراهرتز	ارتباطات فوق‌پهن‌بند

سه بعدی شدن شبکه	بهره گیری از تجهیزات مستقر در هوا (از جمله پهپادها) و تجهیزات مستقر در فضا (از جمله ماهواره‌ها) به عنوان رله یا ایستگاه پایه	شبکه زمینی، هوایی و فضایی یکپارچه
هوشمندی شبکه	به کارگیری هوش مصنوعی (متمرکز و توزیع شده) در کارکردهای مختلف شبکه نظیر تخصیص منابع و شناسایی خطا	شبکه خودسازمان دهنده و شبکه خودپایدارشونده
تعامل بیش تر با فابریک شبکه	ارائه کیفیت سرویس شخصی سازی شده و کاملاً قطعی به هر کاربر یا سرویس	مهندسی شده با زمان، سطح رضایت بالای کاربران
کنترل منابع مختلف به صورت مشترک با شبکه	کنترل و مدیریت منابع مختلف نظیر منابع پردازشی، حافظه، کشینگ و ... به صورت مشترک با منابع شبکه و با هدف بهینه تر شدن کارایی سیستم	C4 (communication, computation, caching and control)
سطوح هوشمند در نقش آنتن	گام بعدی پس از massive MIMO که در آن هر گونه سطحی از جمله دیوارهای ساختمان می تواند آنتن باشد.	-
برداشت و انتقال انرژی	استفاده از امواج رادیویی محیطی و اختصاصی برای شارژ تجهیزات و برداشت انرژی از منابع تجدیدپذیر	شبکه کربن-صفر ^۱
امنیت بالاتر	افزایش روزافزون سطح امنیت و حریم شخصی کاربران با بهره گیری از دستاوردهای جدید در حوزه امنیت از جمله بلاکچین، رمزنگاری همومورفیک و الگوریتمهای محاسباتی قابل اثبات	-

واژه نامه

مخفف (در صورت وجود)	واژه انگلیسی	واژه فارسی
mMTC	Massive Machine-Type Communications	ارتباطات از نوع ماشین گسترده
D2D	Device-to-Device Communications	ارتباطات دستگاه به دستگاه
uRLLC	ultra-Reliable Low-Latency Communications	ارتباطات فوق العاده قابل اطمینان و با تاخیر کم
-	Haptic Communications	ارتباطات لمسی
-	Holographic Communication	ارتباطات هلوگرافیک
-	Frequency Reuse	استفاده مجدد از فرکانس
SBS	Small Base Station	ایستگاه پایه کوچک
IoT	Internet of Things	اینترنت اشیاء
	Network Slicing	برش زنی شبکه

^۱ شبکه ای که تولید کربن دی اکسید ناشی از مصرف انرژی در آن صفر است. Zero Carbon

چگالی ارتباطات	Connection density	-
چگالی حجم ترافیک	Traffic volume density	-
در دسترس بودن	Availability	-
سطوح فعال	Active Surfaces	-
شبکه موبایل نسل پنجم	Fifth Generation Cellular Networks	5G
شبکه ناهمگون	Heterogeneous Network	HetNet
شبکه نرم افزارمحور	Software-Defined Network	SDN
عملگر	Actuator	-
فراسو	Uplink	UL
فروسو	Downlink	DL
فشرده سازی (متراکم سازی)	Densification	-
فناوری دسترسی رادیویی	Radio Access Technology	RAT
قابلیت اطمینان	Reliability	-
کارایی طیف	Spectral Efficiency	-
کنترل دسترسی به رسانه	Medium Access Control	MAC
گذردهی تجربه شده توسط کاربر	Experienced user throughput	-
ماشین مجازی	Virtual Machines	VM
ماموریت حیاتی	Mission Critical	-
ماتامتریال	Metamaterial	-
مجازی سازی کارکردهای شبکه	Network Function Virtualization	NFV
موبایل پهن باند ارتقایافته	enhanced Mobile BroadBand	eMBB
نسبت سیگنال به نویز و تداخل	Signal to Interference and Noise Ratio	SINR
نشان گرهای کلیدی کارایی	Key Performance Indicator	KPI
واقعیت مجازی	Virtual Reality	VR
هوش مصنوعی	Artificial Intelligence	AI
یادگیری ماشین	Machine Learning	ML

منابع

- [1] Osseiran, Afif, Jose F. Monserrat, and Patrick Marsch, eds. *5G mobile and wireless communications technology*. Cambridge University Press, 2016.

- [2] Agiwal, Mamta, Abhishek Roy, and Navrati Saxena. "Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18.3 (2016): 1617-1655.
- [3] Vision, I. M. T. "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond." *ITU, Feb* (2014).
- [4] Agiwal, Mamta, Navrati Saxena, and Abhishek Roy. "Ten commandments of emerging 5G networks." *Wireless Personal Communications* 98.3 (2018): 2591-2621.
- [5] Ma, Zheng, et al. "Key techniques for 5G wireless communications: network architecture, physical layer, and MAC layer perspectives." *Science China information sciences* 58.4 (2015): 1-20.
- [6] Akyildiz, Ian F., et al. "5G roadmap: 10 key enabling technologies." *Computer Networks* 106 (2016): 17-48.
- [7] Nguyen, Van-Giang, Truong-Xuan Do, and YoungHan Kim. "SDN and virtualization-based LTE mobile network architectures: A comprehensive survey." *Wireless Personal Communications* 86.3 (2016): 1401-1438.
- [8] <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/net2030/Pages/default.aspx>
- [9] White Paper: "[Network 2030 - A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond](#)" (May 2019)
- [10] Saad, Walid, Mehdi Bennis, and Mingzhe Chen. "A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems." *arXiv preprint arXiv:1902.10265*(2019).
- [11] Strinati, Emilio Calvanese, et al. "6G: The next frontier." *arXiv preprint arXiv:1901.03239* (2019).
- [12] Dang, Shuping, et al. "From a Human-Centric Perspective: What Might 6G Be?." *arXiv preprint arXiv:1906.00741* (2019).
- [13] Islam, SM Riazul, et al. "Power-domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19.2 (2016): 721-742.

حوزه فضای مجازی به اندازه انقلاب اسلامی اهمیت دارد. این فضا مثل یک رودخانه پر از آب و خروشان است که می آید و دائماً هم بر آب آن افزوده و خروشان تر می شود. اگر ما بر این رودخانه تدبیر کنیم و برنامه داشته باشیم، زهکشی کنیم و هدایت کنیم این رودخانه را تا به سد بریزد، می شود فرصت. اگر رهایش کنیم و برنامه ای برای آن نداشته باشیم می شود یک تهدید.



csri.majazi.ir