بسم الله الرحمن الرحیم

**به نام خدا**

# اصول و ساختار علمی و عملی فناوری‌های شبکه‌های ارتباطی نسل پنجم (5G)

**مولف:**

**دکتر اکرم هوشیاری**

انتشارات ارسطو(چاپ و نشر ایران)

زمستان ۱۳۹۹

# پیشگفتار

نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی که پیاده‌سازی تجاری آن در مقیاس وسیع، از سال ۲۰۲۰ امکان‌پذیر شده است، یکی از زیرساخت‌های اصلی برای تحقق نوآوری در صنعت فناوری اطلاعات و ارتباطات است و فرصت‌های فوق العاده حائز اهمیت و جذاب برای صنعت ارتباطات از راه دور ایجاد نموده است. نسل پنجم شبکه‌های ارتباطی، قادر به ارایه سرویس‌های جدید با سرعت بالا و تاخیر کم و برآورده نمودن نیازمندی‌های کاربران و شبکه است.

کتاب پیش رو، در نظر دارد اصول علمی و عملی فناوری‌های نسل پنجم رابه صورت جامع و خلاصه بیان نماید. این کتاب، نسل پنجم را از زوایای بسیاری مانند معماری‌های پیشنهادی در بخش‌های شبکه هسته و دسترسی، پیاده‌سازی، عملکرد، سیستم های چند ورودی چند خروجی عظیم، سرویس‌ها و کاربردها، روش‌های دسترسی چندگانه و شاخص‌های سنجش عملکرد سیستم را بیان نموده است. این کتاب در قالب پنج فصل تدوین گردیده است. ساختار نسل پنجم، ملزومات و طرح‌های راه‌اندازی آن در فصل اول مطرح شده است. انواع شبکه‌های دسترسی رادیویی و مقایسه آن‌ها در فصل دوم بیان گردیده است. فناوری‌های نسل پنجم و چالش‌های آن‌ها در فصل سوم توضیح داده شده است. همچنین روش‌های دسترسی چندگانه به منابع شبکه در فصل چهارم و شاخص‌های کلیدی عملکرد سیستم در فصل پنجم بیان گردیده است.

بیش از هر چیز، از تمامی اشخاص حقیقی و حقوقی که در تصحیح و تکمیل کتاب حاضر مشارکت داشتند سپاسگزاری می‌شود.

از همه فرهیختگان و صاحب‌نظران حوزه فناوری ارتباطات و اطلاعات، دعوت می‌شود تا با ارسال نقطه نظرات خویش به آدرس a.hooshiary@gmail.com نویسنده کتاب را در بهبود مستمر محتوای این مجموعه یاری فرمایند.

مولف، اکرم هوشیاری

دکترای مخابرات سیستم از دانشگاه تربیت مدرس

# فهرست مطالب

**عنوان** **شماره صفحه**


فصل ۱- ساختار نسل پنجم مخابرات ..... ۱
۱-۱- سرویس‌های نسل پنجم ..... ۲
۱-۲- معماری شبکه‌های نسل پنجم ..... ۴
۱-۳- باند فرکانسی نسل پنجم ..... ۶
۱-۴- سیستم‌های چند ورودی چند خروجی عظیم ..... ۸
۱-۵- طرح‌های راه‌اندازی نسل پنجم ..... ۱۰
۱-۶- بلوک‌های منابع ..... ۱۴

فصل ۲- شبکه رادیویی نسل پنجم ..... ۱۵
۲-۱- تکامل معماری‌های شبکه دسترسی ..... ۱۵
۲-۲- شبکه دسترسی رادیویی توزیع شده ..... ۱۸
۲-۳- شبکه دسترسی رادیویی ابری ..... ۱۹
۲-۴- انواع شبکه دسترسی رادیویی ابری ..... ۲۲
۲-۴-۱- شبکه دسترسی رادیویی ابری ناهمگون ..... ۲۳
۲-۴-۲- شبکه دسترسی رادیویی ابری مجازی سازی شده ..... ۲۵
۲-۴-۳- شبکه دسترسی رادیویی مه ( F-RAN) ..... ۲۷
۲-۵- مقایسه شبکه‌های دسترسی ..... ۳۱

فصل ۳- فناوری‌های مطرح در نسل پنجم ..... ۳۷
۳-۱- شبکه‌های نرم‌افزار محور ..... ۳۷
۳-۱-۱- چالش‌های شبکه نرم‌افزار محور ..... ۴۰
۳-۲- مجازی‌سازی عملکرد شبکه ..... ۴۱
۳-۲-۱- چالش‌های مجازی‌سازی عملکرد شبکه ..... ۴۳
۳-۳- برش شبکه ..... ۴۵

۳-۳-۱- چالش‌های برش شبکه ..... ۴۹
۳-۴- پردازش در لبه ..... ۵۱
۳-۴-۱- چالش‌های پردازش در لبه ..... ۵۲
۳-۵- ارسال چند نقطه‌ای هماهنگ (COMP) ..... ۵۲
۳-۵-۱- چالش‌های ارسال چند نقطه‌ای هماهنگ ..... ۵۶

فصل ۴- دسترسی‌های چندگانه در نسل پنجم ..... ۵۸
۴-۱- دسترسی مشترک چند کاربره ..... ۵۹
۴-۲- دسترسی چندگانه تقسیم جایگذاری ..... ۶۰
۴-۳- دسترسی چندگانه نامتعامد در حوزه توان ..... ۶۱
۴-۴- دسترسی چندگانه تقسیم الگو ..... ۶۳
۴-۴-۱- الگوریتم آشکارسازی در گیرنده ..... ۶۵
۴-۵- چالش‌های دسترسی چندگانه نامتعامد ..... ۶۶

فصل ۵- شاخص‌های کلیدی عملکرد سیستم ..... ۶۹
۵-۱- معرفی شاخصهای عملکرد ..... ۶۹

# فهرست جدول‌ها

**عنوان** **صفحه**


جدول (۱-۱) مقایسه اقتصادی بین طرح‌های راه‌اندازی SA و NSA [۱۱] ۱۳
جدول (۱-۲) اطلاعات مربوط به بلوک منابع برای فروسو [۱۲] ۱۴
جدول (۲-۱) مقایسه پردازش ابری و مه ۳۰
جدول (۲-۲) مقایسه شبکه‌های دسترسی رادیویی نسل پنجم ۳۱
جدول (۴-۱) مقایسه پیچیدگی الگوریتم‌های مختلف [۲۱] ۶۶

# فهرست شکل‌ها

**عنوان** **صفحه**


شکل (۱-۱) دسته‌بندی سرویس‌های نسل پنجم مخابرات موبایل [۳] ۳
شکل (۱-۲) معماری سیستم نسل پنجم [۵] ۵
شکل (۱-۳) معماری شبکه‌های نسل چهارم [۱۱] ۱۰
شکل (۱-۴) معماری شبکه‌های نسل چهارم [۱۱] ۱۲
شکل (۲-۱) ایستگاه‌های پایه امروزی و نسل دوم [۱۳] ۱۶
شکل (۲-۲) نمایش چارچوب ایستگاه پایه نسل چهارم و پنجم ۱۷
شکل (۲-۳) معماری متداول شبکه دسترسی توزیع شده [۳] ۱۸
شکل (۲-۴) معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری [۱۵] ۲۰
شکل (۲-۵) معماری شبکه دسترسی رادیویی ابری ناهمگون [۳] ۲۴
شکل (۲-۶) شبکه دسترسی رادیویی ابری مجازی سازی شده [۱۶] ۲۶
شکل (۲-۷) معماری شبکه F-RAN [۳] ۲۹
شکل (۳-۱) معماری شبکه نرم‌افزار محور [۱۸] ۳۸
شکل (۳-۲) چارچوب معماری NFV [۳] ۴۳
شکل (۳-۳) معماری برش شبکه [۳] ۴۷
شکل (۳-۴) هماهنگی چند نقطه‌ای ۵۴
شکل (۳-۵) انواع هماهنگی‌های مطرح شده در COMP ۵۵
شکل (۴-۱) دسته‌بندی روش‌های NOMA ۵۹
شکل (۴-۲) دسترسی مشترک چند کاربره [۲۱] ۶۰
شکل (۴-۳) فناوری PD-NOMA با استفاده از SIC در حالت فروسو [۲۱] ۶۱
شکل (۴-۴) گیرنده حذف متوالی تداخل [۲۲] ۶۲
شکل (۴-۵) مدل سیستم‌های فراسوی مبتنی بر PDMA [۲۲] ۶۳
شکل (۴-۶) الگوی مربوط به سهیم شدن سه کاربر روی دو منبع ۶۵

# فصل ۱–  ساختار نسل پنجم مخابرات

رشد بسیار سریع در تعداد و انواع وسایل متصل به شبکه، همچنین افزایش سریع تعداد کاربران و حجم ترافیک شبکه و از طرفی محدودیت های عملکرد نسل چهارم، انگیزه‌ای برای تلاش و سرمایه گذاری صنعت برای مطرح کردن و نیز توسعه و استقرار نسل پنجم شبکه های موبایل گردید. بر اساس گزارش ارایه شده توسط سازمان مشارکت عمومی و خصوصی زیرساخت نسل پنجم (5GPPP[۱])، از شبکه‌های موبایل نسل پنجم انتظار می‌رود اتصال بیشتر از ده‌ها هزار وسیله به شبکه در هر کیلومتر مربع را پشتیبانی کند همچنین سرعتی تا یک گیگا بیت بر ثانیه و نیز تاخیر انتقال بسیار کم در حد یک تا ده میلی ثانیه و پوشش دویست درصدی را برآورده می‌نماید، افزایش طول عمر باتری با مصرف هزار برابر کمتر انرژی به ازای هر بیت و کاهش نود درصدی در انرژی مصرفی شبکه از دیگر مزایای شبکه‌های نسل پنجم می‌باشد [۱]. به طور کلی، هدف در نسل پنجم، ارایه هر نوع سرویس در هر مکان با  دارا بودن کیفیت سرویس بهبود یافته می‌باشد. همچنین انتظار می رود موارد استفاده جدیدی در کاربردهای صنعتی نظیر اتومبیل، حمل و نقل عمومی، مراقبت‌های پزشکی، کشاورزی، سرگرمی و ... را فراهم نماید. تمامی تلاش‌هایی که در راستای ارتقای فناوری‌های شبکه‌های ارتباطی انجام می‌گیرد به منظور ارایه سرویس‌های بیشتر با حداقل هزینه‌ی ممکن است، فناوری‌های نسل پنجم نیز از این قضیه مستثنی نبوده و به واسطه افزایش کارایی شبکه از طریق بسته‌ای[۲] کردن، مدیریت یکپارچه و به حداقل رساندن هزینه‌های سرمایه[۳] و نگهداری[۴] و همچنین به واسطه ترکیب و هماهنگ نمودن تجهیزات و کاربردها، قابلیت انعطاف و مقیاس پذیری شبکه‌ها را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است [۲].

[1] Fifth Generation Infrastructure Public Private Partnership

[۲] Packet

[3] Capital Expenditure

[4] Operational Expenditure

شایان ذکر است چالش اصلی در طراحی و به کارگیری سیستم‌های نسل پنجم نه تنها در مورد توسعه رابط‌های[۱] رادیویی جدید است بلکه در مورد عملکرد هماهنگ در یک محیط کاملا ناهمگون با وجود سیستم‌های با چندین تکنولوژی دسترسی، شبکه‌های چند لایه، تجهیزات دارای چند وضعیت[۲] می‌باشد.

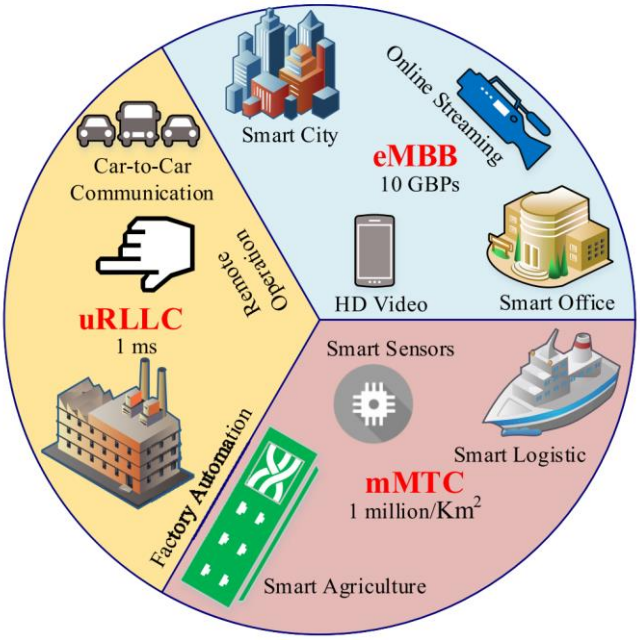
## ۱-۱- سرویس‌های نسل پنجم

توسعه سیستم‌های ارتباطی نسل پنجم بر سه موضوع افزایش ظرفیت، تعداد بسیار زیاد اتصال وسیله‌ها به شبکه و نیز تنوع سرویس‌ها متمرکز می‌باشد. همان طور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است اتحادیه بین المللی مخابرات[۳] سرویس‌های ارتباطی نسل پنجم را به سه گروه دسته‌بندی نموده است:

- **ارتباطات باند پهن توسعه یافته تلفن‌های همراه (eMBB[۴]):**

این نوع از سرویس‌ها برای برآورده کردن درخواست‌های معمولی کاربران طراحی شده است به این معنی که پهنای باند بیشتر برای دسترسی به اینترنت لحاظ شده است به طوریکه سرعت انتقال داده در فروسو[۵] بالای بیست گیگا بیت در ثانیه می‌باشد و به عنوان نمونه ارسال بسیار سریع فایل‌های با حجم بالا و ویدیوهای با کیفیت بالا را می‌توان نام برد. اپراتورهای شبکه در حال آماده‌سازی برای دستیابی به چنین افزایش چشمگیری در ظرفیت با استفاده از به کاربردن طیف‌های جدید، بهبود کارایی طیفی و نیز به کارگیری شبکه‌های بسیار متراکم[۶] می‌باشند.

[1] Interface
[2] Multi-mode
[3] International Telecommunication Union
[4] Enhanced Mobile Broadband
[5] Downlink
[6] Dense




**شکل (۱-۱) دسته‌بندی سرویس‌های نسل پنجم مخابرات موبایل [۳]**

- **ارتباطات انبوه از نوع ماشین (mMTC[1]):**

در این گروه، در یک محدوده مکانی، امکان اتصال و ارتباط انبوهی از اشیا به یکدیگر با کیفیت مناسب فراهم می‌شود، به عبارتی این ویژگی تحقق و بستر اصلی دسترسی به اینترنت اشیا (IoT)[2] را آماده می‌نماید. برای این نوع خاص از سرویس‌ها، امکان ارایه سرویس به یک میلیون دستگاه در هر کیلومتر مربع وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان شهر هوشمند، کشاورزی هوشمند و شبکه‌های حسگرها را نام برد [۴].

- **ارتباطات با قابلیت اطمینان بسیار بالا و تاخیر کم (uRLLC[3]):**

این ویژگی به کاهش تاخیر، قابلیت اطمینان بسیار بالا، در دسترس بودن و سرعت بالا در ارتباطات اشاره می‌کند و لذا ماموریت‌ها و ارتباطات خاص و بحرانی، از مسیر این

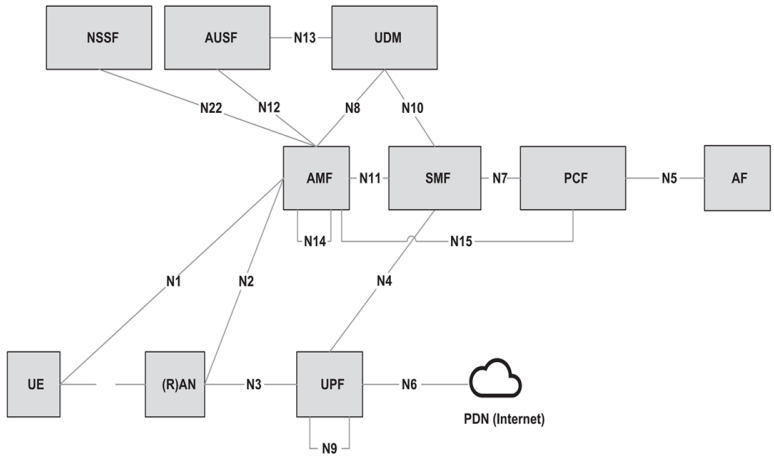
[1] Massive Machine-Type Communication
[2] Internet of Things
[3] Ultra Reliable and Low Latency Communications

نسل از تکنولوژی قابل دستیابی است. ارتباطاتی نظیر ارتباطات مورد لزوم در اتومبیل‌های خودران یا ارتباط بین خودرویی و یا ارتباطات مورد نیاز در جراحی از راه دور،که این صرفاً بدلیل کاهش معنا دار در تاخیر و افزایش قابلیت اطمینان نسبت به نسل قبلی ارتباطات همراه یا همان نسل چهارم (4G) است.

## ۱-۲- معماری شبکه‌های نسل پنجم

شکل (۱-۲) معماری شبکه‌های نسل پنجم را نمایش می‌دهد. در ادامه در مورد ارتباط بین بخش‌های مختلف و وظایف آن‌ها توضیح داده می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، کاربر هم به شبکه دسترسی رادیویی (RAN[1]) و هم به بخش مدیریت عملکرد دسترسی و تحرک (AMF)[2] ارتباط دارد، کاربر درخواست خود را از طریق شبکه دسترسی اعلام می‌نماید و از طرفی AMF، با استفاده از مشخصات کاربر که در پایگاه داده ذخیره شده است، سطح دسترسی و تحرک کاربر را چک می‌کند و نتیجه را به بخش مدیریت عملکرد جایگاه (SMF)[3] اعلام می‌کند. SMF سطح دسترسی و تحرک کاربر را از AMF گرفته و با توجه به بخش کنترل عملکرد سیاست‌های تعریف شده (PCF)[4] ، با انجام تنظیمات و مدیریت آن‌ها، بستر را برای بخش عملکرد صفحه کاربر (UPF)[5] آماده می‌کند. UPF که به حالت‌های مختلفی می‌تواند تنظیم شود، با توجه به نوع سرویس درخواست شده، در وضعیت مناسب تنظیم می‌شود. حال به توضیح مابقی ماژول‌ها و توضیحات تکمیلی پرداخته می‌شود. مدیریت یکپارچه داده (UDM)[6]، با استفاده از پایگاه داده‌ای که مشخصات و اطلاعات مربوط به مشترکان در آن ذخیره شده است، وظیفه آن مدیریت ثبت نام، شناسایی، تحرک[7] و چک کردن اجازه استفاده کاربر از سرویس‌ها و نیز مدیریت سرویس پیام کوتاه[8] می‌باشد [۵].

[1] Radio Access Network
[2] Access and Mobility Management Function
[3] Session Management Function
[4] Policy and Control Function
[5] User Plane Function
[6] Unified Data Management
[7] Mobility
[8] Short Message Service




UE=User Equipment AMF=Access and Mobility Management Function AUSF=Authentication Server
UPF= User Plane Function SMF= Session Management Function AF=Application Function
DN= Data Network UDM= Unified Data Management PCF=Policy Control Function

**شکل (۱-۲) معماری سیستم نسل پنجم [۵]**

UDM در شبکه بی‌سیم محلی کاربران قرار دارد که به اطلاعات یکپارچه کاربران دسترسی دارد. تایید هویت سرور (AUSF)[1]، وظیفه آن انجام فرایند تایید هویت کاربر می‌باشد. همچنین بخش کنترل عملکرد سیاست‌های تعریف شده، تعیین چارچوب سیاست‌ها شامل برش شبکه، رومینگ و مدیریت تحرک بر عهده بخش کنترل عملکرد سیاست‌های تعریف شده می‌باشد. علاوه بر وظایف ذکر شده برای AMF، همچنین دسترسی به واحد احراز هویت و اجازه استفاده از سرویس‌ها، انتقال پیام‌ها بین کاربر و SMF، مدیریت ثبت نام و مدیریت امنیت و رمزگذاری پیام‌ها از دیگر وظایف واحد AMF می‌باشد. از دیگر وظایف SMF، تخصیص IP به کاربر و مدیریت آن، انجام تنظیمات مربوط به هدایت ترافیک در UPF به منظور مسیریابی ترافیک به مقصد و نیز کنترل کیفیت سرویس و اجرای سیاست‌ها می‌باشد. UPF به عنوان یک درگاه داده برای تحرک داخل و یا بین تکنولوژی‌های دسترسی رادیویی است که از جمله وظایف آن مسیریابی و ارسال پیش‌ران[2] بسته[1] به واحد بعدی، بازرسی بسته برای اجرای قوانین مربوط به صفحه کاربر،

[1] Authentication Server Function
[2] Forward

گزارش ترافیک مصرفی، طبقه‌بندی در حالت فراسو برای پشتیبانی از جریان‌های ترافیکی مسیریابی به یک شبکه داده، بررسی کیفیت سرویس صفحه کاربر، تایید ترافیک فراسو و بافر کردن بسته در حالت فروسو می‌باشد. AF [۲] مسئول تعامل با شبکه هسته به منظور پشتیبانی از تاثیر عملکرد در مسیریابی ترافیک است. تابع انتخاب برش شبکه [۳](NSSF)، مجموعه‌ای از نمونه‌های برش شبکه [۴](NSIs) را به منظور ارایه سرویس به کاربر و نیز برای مشخص نمودن اطلاعات راهنمای انتخاب برش شبکه [۵](NSSAI)، انتخاب می‌کند.
ارتباط بخش‌های مختلف از طریق رابطها برقرار می‌شود که در شکل با حرف N و با اندیس‌های متفاوت نشان داده شده است. به عنوان مثال ارتباط بین کاربر با بخش AMF و نیز ارتباط بین شبکه دسترسی با بخش AMF، به ترتیب از طریق رابطهای N1 و N2 برقرار می‌شود.

## ۱-۳- باند فرکانسی نسل پنجم

مخابرات موبایل نسل پنجم، به منظور برآورده نمودن نیازمندی‌های کاربران موبایل و نیز نیازهای مهم صنعتی، باند جدید فرکانسی لازم دارد که فرکانس بیشتری از فرکانس‌های متداول برای سرویس‌های همراه داشته باشد. در سراسر جهان، تلاش‌های قابل توجهی برای شناسایی طیف‌های مناسب برای این نسل وجود دارد که شامل باندهایی باشد که در بیشتر کشورها به منظور فعال کردن رومینگ جهانی نیز قابل دسترسی باشد. از این بین، طیف‌های با فرکانس بالا مورد توجه خاص قرار گرفت. طیف‌های فرکانسی قابل استفاده برای نسل پنجم به سه گروه طیف‌های با فرکانس پایین، متوسط و بالا تقسیم می‌شوند. طیف های با فرکانس کمتر از یک گیگا هرتز [۶](GHz)، باند پایین و یا طیف‌های با فرکانس پایین نامیده می‌شود. ویژگی برتر این باند، گستره پوشش وسیع آن است که تنها با یک آنتن می‌تواند بیش از صدها کیلومتر مربع را پوشش دهد و از این بابت با تعداد نسبتا کمی آنتن می‌توان پوشش بسیار گسترده‌ای را در منطقه ایجاد

[1] Packet
[2] Application Function
[3] Network Slice Selection Function
[4] Network Slice Instances
[5] Network Slice Selection Assistance Information
[6] Giga Hertz

کرد. علت این پوشش گسترده، به توانایی فرکانس‌های این باند در نفوذ به ساختمان‌ها، درخت‌ها و دیگر موانع در مسیر امواج بر می‌گردد. از طرف دیگر، ضعف این باند، سرعت کم انتقال داده به علت پهنای باند پایین آن است [۶].

طیف‌های با فرکانس بین یک و شش گیگاهرتز، باند میانی و یا طیف‌های با فرکانس متوسط نامیده می‌شوند. باند میانی توانایی انتقال داده بیشتری را نسبت به باند پایین دارا می‌باشد اما به همان میزان گستره کمتری را پوشش می‌دهد، و برای پوشش شهری مناسب است. دلیل این امر، توانایی کمتر این محدوده فرکانسی در عبور از اشیا و موانع می‌باشد [۶].

طیف‌های با فرکانس بالای ۲۴ GHz، باند بالا یا موج میلیمتری (mmw[1]) نامیده می‌شود. این امواج، از آن جهت موج‌های میلی‌متری نام‌گذاری شده‌اند که طول موج متفاوتی از یک تا ده میلی‌متر دارند، در حالی‌که امواج رادیویی که در گوشی‌های هوشمند امروزی استفاده می‌شوند طول موج حدود چند ده سانتی‌متری دارند. این باند، به دلیل پهنای باند بالا، ظرفیت انتقال داده بالایی را فراهم می‌نماید و در عین حال نیز بیشتر در دسترس می‌باشد ولی مسافت پوشش آن کم (در حد ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر) است که به دلیل توانایی نفوذ بسیار پایین این امواج در برخورد با موانع و نیز تضعیف زیاد آن‌ها به دلیل بعضی از شرایط جوی است. پوشش کم این باند، فرصت‌های بیشتر استفاده مجدد از فرکانس‌ها[2] را فراهم می‌آورد که باعث محدود شدن تداخل‌های بین سلولی می‌شود. از دیگر ویژگی‌های امواج میلی‌متری، انتشار جهت‌دار آن است. در واقع از آنجایی‌که امواج جهت‌دار در همه جهت‌ها پخش نمی‌شوند و در جهت خاصی منتشر می‌شوند، تداخل کمتری در محیط ایجاد می‌کنند. از این‌رو فناوری‌هایی مانند چند ورودی چند خروجی (MIMO)[3] عظیم و شکل‌دهی پرتو[4] به کار گرفته شده‌اند که تا حدی قادر به کم کردن این مشکلات هستند. کم بودن طول موج این باند، امکان استفاده از آرایه‌ای از آنتن‌ها را می‌دهد.

[1] Millimeter wave
[2] Frequency Reuse
[3] Multi Input Multi Output (MIMO)
[4] Beam Forming

## ۱-۴- سیستم‌های چند ورودی چند خروجی عظیم

به طور کلی سیستم‌های MIMO باعث افزایش ظرفیت و بهره تسهیم‌سازی[1] می‌شوند. سیستم‌های MIMO به دو گروه نقطه به نقطه و چند کاربره تقسیم می‌شوند. در سیستم MIMO نقطه به نقطه، برای ارایه سرویس فقط به یک کاربر در یک زمان، هم کاربر و هم ایستگاه پایه مجهز به چندین آنتن هستند. در سیستم‌های MIMO چند کاربره، یک ایستگاه پایه مجهز به آرایه‌ای از آنتن‌ها می‌باشد و به چندین کاربر سرویس داده می‌شود. برای افزایش سرعت ارسال داده، بهره تسهیم‌سازی و نیز افزایش بهره‌وری طیفی، سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی عظیم مطرح گردیده است که از شکل‌دهی پرتو برای کاهش تداخل بهره می‌برد. در سیستم‌های MIMO عظیم، ایستگاه پایه، مجهز به تعداد بسیار زیادی از آنتن برای ارسال ترافیک در سطح گیگابیت برای سرویس دادن به چندین کاربر می‌باشد. البته چالش الگوریتم‌های پردازش سیگنال در باند پایه با هزینه و پیچیدگی بالا مطرح است [۷].

سیستم‌های MIMO چند کاربره اختلافاتی با سیستم‌های MIMO عظیم دارند. از جمله این تفاوت‌ها، اختلاف در تعداد آنتن‌ها است. در سیستم‌های MIMO چند کاربره تعداد آنتن‌های ایستگاه پایه با تعداد کاربران نزدیک به هم هستند، ولی در سیستم‌های MIMO عظیم، تعداد آنتن‌های ایستگاه پایه خیلی بیشتر از تعداد کاربران می‌باشد. سیستم‌های MIMO چند کاربره هم برای عملکرد تقسیم زمانی دو طرفه[2] و هم تقسیم فرکانسی دو طرفه[3] طراحی شده‌اند در حالیکه سیستم‌های MIMO عظیم فقط برای عملکرد تقسیم زمانی دو طرفه طراحی شده‌اند. در سیستم‌های MIMO چند کاربره، کیفیت لینک ارتباطی پس از پیش‌کد گذاری به دلیل محوشدگی فرکانس گزین و محوشدگی مقیاس کوچک نسبت به زمان و فرکانس تغییر می‌کند، ولی در MIMO عظیم، تقریبا تغییری وجود ندارد. همچنین عملکرد در مرز سلول در سیستم‌های MIMO عظیم، متناسب با تعداد آنتن‌ها بهبود می‌یابد ولی در MIMO چند کاربره، تنها در صورت همکاری ایستگاه‌های پایه عملکرد، قابل قبول است [۸].

---

[1] Multiplexing

[2] Time Division Duplexing

[3] Frequency Division Duplexing

مزایای سیستم MIMO عظیم را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود [۹]:

- **بهبود بهره‌وری طیفی:** افزایش بهره‌وری طیفی ناشی از تسهیم‌سازی فضایی است، که توانایی سیستم در ارسال و دریافت همزمان داده در یک باند فرکانسی، از طریق جداسازی مکانی سیگنال‌های دستگاه‌های کاربران مختلف، بهره تسهیم‌سازی نامیده می‌شود.
- **بهبود بهره‌وری انرژی:** افزایش بهره‌وری انرژی در این سیستم‌ها، ناشی از قابلیت سیستم در متمرکز کردن انرژی در یک نقطه کوچک از فضا است که چندین کاربر در آنجا قرار دارد. این قابلیت به علت تعداد زیاد آنتن در ایستگاه پایه می‌باشد که بهره آرایه نامیده می‌شود.
- **بهبود در قابلیت اطمینان لینک مخابراتی:** آنتن‌های ایستگاه پایه تعداد زیادی مسیرهای رادیویی ایجاد می‌کنند که سیگنال‌های ارسال شده از آن‌ها عبور می‌کنند. تعداد زیاد این مسیرها و نیز بهره بردن از بهره چندگانگی[1] باعث افزایش و بهبود قابلیت اطمینان می‌گردد.
- **عملکرد نزدیک به بهینه روش‌های خطی پردازش سیگنال:** هر چه نسبت تعداد آنتن‌های ایستگاه پایه به تعداد کاربران بیشتر باشد (در حالت حدی بی‌نهایت باشد)، این امر باعث متعامد شدن کانال‌های کاربران نسبت به همدیگر می‌شود و به این ترتیب، از روش‌های خطی پردازش سیگنال که پیچیدگی کمتری نسبت به روش‌های غیر خطی دارند می‌توان استفاده نمود و همچنین عملکرد نزدیک به بهینه خواهند داشت.

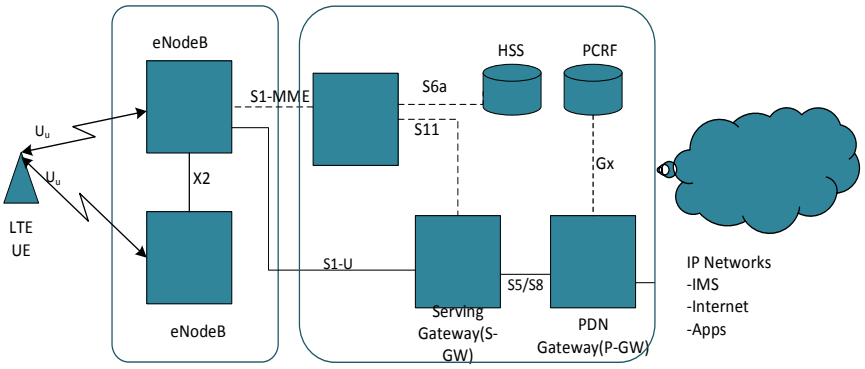
از دیگر مزایای MIMO عظیم، قابلیت ادغام با دیگر تجهیزات اصلی دسترسی رادیویی نسل پنجم مانند موج میلیمتری، دسترسی چندگانه نامتعامد (NOMA[2]) و ارتباط وسیله به وسیله (D2D[3]) شبکه‌های ناهمگون[4] می‌باشد. مطالعاتی در مورد ترکیب MIMO عظیم و دسترسی چندگانه نامتعامد صورت گرفته است و نشان داده شده است که با این ترکیب، پوشش شبکه و سرعت انتقال داده با تخصیص مناسب منابع، بهبود می‌یابد [۹]. همچنین در نظر گرفتن MIMO عظیم در شبکه‌های ناهمگون با استفاده از تکنولوژی شکل‌دهی

[1] Diversity
[2] Non Orthogonal Multiple Access
[3] Device to Device
[4] Heterogeneous

پرتو، سرعت انتقال داده را افزایش می‌دهد. در نظر گرفتن MIMO عظیم و موج میلیمتری نیز باعث افزایش سرعت انتقال داده می‌شود. طول موج کوتاه و مشخصات این امواج، کمک به طراحی آنتن‌های کوچکتر و کنار هم قرار دادن آن‌ها می‌کند.

## ۱–۵– طرح‌های راه‌اندازی نسل پنجم

طرح‌های مختلفی برای راه‌اندازی نسل پنجم ارایه شده است که قبل از پرداختن به آن‌ها توضیحات مختصری در مورد شبکه موبایل داده می‌شود. در هر نسل مخابرات موبایل، کاربر، با ایستگاه‌های پایه و یا شبکه دسترسی ارتباط برقرار می‌کند و از آن طریق کاربر با شبکه هسته ارتباط برقرار می‌نماید. شکل (۱-۳) معماری شبکه‌های نسل چهارم مخابرات را نمایش می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در نسل چهارم شبکه هسته تحت عنوان هسته بسته تکامل یافته (EPC)[1] و ایستگاه‌های پایه eNodeB یا eNB نامیده می‌شوند. در نسل پنجم، شبکه هسته 5GC[2] و ایستگاه‌های پایه به اختصار gNB و یا 5g NR نامیده می‌شوند [۱۱].




**شکل (۱-۳) معماری شبکه‌های نسل چهارم [۱۱]**

سرور مشترک خانه‌ای (HSS)[3]، پایگاه داده اصلی مربوط به مشترکان است که اطلاعات مشترکان به صورت دائمی در آن ذخیره می‌گردد، اطلاعاتی نظیر مکان، IP، اطلاعات

[1] Evolved Packet Core
[2] Fifth generation Core
[3] Home Subscriber Server