وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

کاربرد سامانه های ارتفاع پایین به منظور ارائه سرویس های مخابراتی

پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

WWW.ITRC.AC.IR

۱- بازار پهپادها و فرصت‌های موجود در حال و آینده

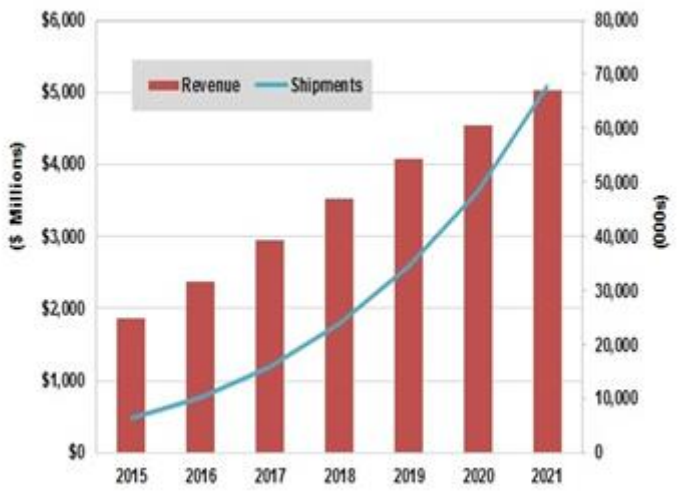
پهپادها فرصت بازار مناسبی برای تولید کنندگان تجهیزات، سرمایه گذاران و ارائه دهندگان خدمات تجاری فراهم می‌کنند. مطابق گزارش PwC، ارزش بازار قابل استفاده از پهپادها بیش از ۱۲۷ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ است. پیش بینی می‌شود زیرساخت‌های عمرانی بخش قابل توجهی از ارزش بازار قابل استفاده از پهپادها را شامل شود که ارزش بازار آن ۴۵ میلیارد دلار خواهد بود. پس از آن کشاورزی با ۳۲، حمل و نقل با ۱۳ و امنیت با ۱۰ میلیارد دلار ارزش بازار قرار دارند. بر اساس گزارشی که توسط انجمن بین المللی وسایل نقلیه بدون سرنشین بین المللی منتشر شده است، انتظار می رود بیش از ۱۰۰۰۰۰ شغل جدید در حوزه هواپیماهای بدون سرنشین تا سال ۲۰۲۵ ایجاد شود.

شکل ۱- **برآورد بودجه نظامی کشورها روی پهپادها در سال ۲۰۱۷**

با توجه به آمارهای ارائه شده، بودجه نظامی اختصاص داده شده در کشورهای مختلف برای پهپادها در شکل زیر گردآوری شده است. بر اساس آمار ارائه شده، آمریکا با ۱۷,۵ میلیارد دلار سرمایه گذاری، بیشترین بودجه را به پهپادها اختصاص می‌دهد. همچنین، طبق اعلام مرکز مطالعات پهپادهای Bard، در سال ۲۰۱۷، وزارت دفاع آمریکا

برای بهره‌مندی از پهپادها جهت دیدبانی با وضوح بسیار بالاتر نسبت به ماهواره‌ها، بودجه ۴,۴۵۷ میلیارد دلاری را در این زمینه اختصاص داده است. بعد از آمریکا، کشورهای چین با ۴,۵ و روسیه با ۳,۹ میلیارد دلار قرار دارند.

اگر چه بازار جهانی پهپاد برای مصرف کننده خرد، درصد بسیار کمی نسبت به سایر وسایل الکترونیکی مصرفی در بازار جهانی دارد، اما آمار نشان می‌دهد که این بازار آماده برای رشد است و در آینده نزدیک، سهم قابل توجهی از بازار وسایل الکترونیکی برای مصرف کننده خرد را به خود اختصاص خواهد داد. طبق اعلام شرکت تحلیل بازار Tracteria، بازار خرده فروشی پهپادها در سال ۲۰۱۵ برابر ۱,۹ میلیارد دلار بوده است و پیش بینی شده است که تا سال ۲۰۲۱ به ارزش ۵ میلیارد دلار برسد. شرکت Tractica همچنین پیش بینی کرده است که واحد محموله‌های پهپاد در سراسر جهان از ۶,۴ میلیون واحد در سال ۲۰۱۵ به ۶۷,۷ میلیون واحد در سال تا سال ۲۰۲۱ افزایش یابد. نتایج این بررسی برای بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- **پیش بینی بازار خرده فروشی پهپادها توسط شرکت ترکتیکا.**

همچنین، بر اساس گزارش ها، پیش بینی می شود ارزش بازار جهانی محموله‌های پهپادها تا سال ۲۰۲۷ به ۳ میلیارد دلار برسد، که آمریکای شمالی و پس از آن آسیا، اروپا و اقیانوسیه در این زمینه پیشرو هستند. این محموله ها شامل کلیه تجهیزاتی است که توسط پهپادها حمل می‌شوند از جمله دوربین، سنسور، رادار، لیزر رادار، تجهیزات ارتباطی، سلاح، و غیره. پیش بینی می‌شود رادارها و بخش تجهیزات مخابراتی بخش اعظم بازار جهانی محموله‌ی

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

پهپادها را با سهم بازار نزدیک به ۸۰درصد داشته باشند و به دنبال آن بخش دوربین‌ها و سنسورها با بیش از ۱۱ درصد سهم و بخش تسلیحاتی با تقریبا ۹ درصد سهم در رده های بعدی هستند (شکل ۳).

شکل ۳- **پیش بینی بازار جهانی محموله های پهپاد تا سال ۲۰۲۷**

اگرچه آمارهای ارائه شده توسط مراجع مختلف کمی متفاوت است، اما تمامی آمارها اهمیت اقتصادی پهپادها و کاربردهای آنها را در آینده نزدیک برای تولید کنندگان تجهیزات، سرمایه گذاران و ارائه دهندگان خدمات تجاری نشان می‌دهد.

برای گسترش خدمات پهپادها در سطح جهان، یک چارچوب قانونی کامل و مؤسساتی که استفاده تجاری از پهپادها را تنظیم کنند مورد نیاز است. از جمله قوانین مهم امنیتی درنظر گرفته شده، ارتفاع پروازی، سرعت حرکت پهپاد، وزن پهپاد و زمان پرواز آن است. به عنوان مثال، در قوانین آمریکا تصریح شده است که خلبان باید هواپیماهای بدون سرنشین را همیشه در معرض دید خود نگه دارد و سرعت آن از ۱۰۰ مایل در ساعت تجاوز نکند و همچنین هواپیمای بدون سرنشین را فقط در ساعات روز اداره کند. در حالی که لیست قوانین مربوط به بهره برداری از هواپیماهای بدون سرنشین طولانی و مفصل است، شرایط لازم برای خلبان هواپیمای بدون سرنشین نسبتاً ساده است. خلبان باید حداقل ۱۶ سال سن داشته باشد. همچنین باید یک آزمون کتبی را بگذراند. پس از آن می‌تواند یک پهپاد ثبت شده را به پرواز درآورد.

برای دانستن نحوه عملکرد یک پهپاد و برآورده کردن نیازهای شغلی مربوطه، یک شخص باید در برنامه‌های آموزشی در دانشگاه ها یا مؤسسات تخصصی شرکت کند. دانشگاه Unmanned Vehicle University (UVU) یکی از مراکز آموزشی است که بر مسائل آموزشی مرتبط با پهپادها تمرکز دارد و به دانش آموختگان خود مدارک تحصیلات تکمیلی در این زمینه اهدا می‌کند.

در ادامه، مسائل مربوط به چالش‌ها و قانون‌گذاری در این حوزه با جزئیات بیشتری بررسی شده است.

۱-۱- چالش‌ها، نگرانی‌ها و مسایل پیش رو در ارتباط با پهپادها

تکامل مقررات پهپادها باید با ظهور سریع پهپادها همگام شود. این امر به طور قابل توجهی به اضافه شدن پهپاد در سیستم‌های هواپیمایی ملی و بین المللی کمک می‌کند. در این بخش ابتدا نگرانی‌های اجتماعی و فنی درباره عملیات پهپاد بیان شده است. سپس معیارهای اصلی که چارچوب‌های مقررات فعلی پهپاد را تشکیل می‌دهند بیان می‌شوند.

۱-۱-۱- چالش های اجتماعی و فنی

فن‌آوری‌های نوظهور، استفاده گسترده از پهپادها و قابلیت‌های عملیاتی آنها را ممکن ساخته است. در نتیجه نگرانی‌های زیادی در مورد حریم خصوصی، محافظت از داده‌ها و ایمنی عمومی از سوی مقامات هواپیمایی کشوری و بین المللی وجود دارد. برای درک انگیزه توسعه مقررات پهپاد، باید نگرانی‌های اجتماعی و فنی هواپیماهای بدون سرنشین مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. به طور کلی نگرانی‌های اجتماعی و فنی در سه دسته کلی زیر طبقه بندی می‌شوند:

- **حریم خصوصی:** بهره برداری از پهپادها می‌تواند تهدیدی جدی برای حریم شخصی افراد و مشاغل باشد. در مورد مأموریت هایی مانند عکاسی هوایی و نظارت بر ترافیک، می‌تواند حریم خصوصی افراد و مشاغل را نقض کنند. علاوه بر این، قدرت مانور بالا و تکنولوژی‌های پیشرفته بکار گرفته شده در پهپادها آنها را قادر به نقض حریم خصوصی کرده است. به عنوان مثال، پهپادهای کوچک با میزان سر و صدای کم به راحتی می‌توانند وارد یک مجموعه خصوصی شوند بدون اینکه کسی متوجه حضور آنها شود. حتی این امکان وجود

دارد که تصاویر و فیلم‌های گرفته شده توسط دوربین با کیفیت بالا (HD) به صورت زنده پخش شوند. اگرچه هر کشوری برای محافظت از حریم خصوصی شهروندان قوانینی دارد، به دلیل توسعه سریع فن آوری های نوظهور، قوانین موجود قطعا کافی نبوده و نیاز به اصلاحات اساسی دارد. بنابراین برای محافظت بیشتر از حریم شخصی باید مقررات مربوط به پهپادها تنظیم شود.

- **حفاظت از داده‌ها:** هواپیماهای بدون سرنشین معمولاً در حین کار به سنسورهایی مجهز هستند که داده های شخصی مانند تصاویر، فیلم‌ها و داده‌های مکان را جمع می‌کنند. نحوه پردازش، استفاده، ذخیره و افشای این داده‌های شخصی باید توسط نهادهای دولتی کنترل شوند. مطابق قوانین حمایت از داده، اطلاعات شخصی شهروندان باید در برابر سوء استفاده‌ها محافظت شود. پهپادها به دلیل قابلیت‌های هوایی و تجهیزات حساس موجود مانند دوربین با وضوح بالا و دوربین دید در شب می‌توانند مخفیانه داده ها را جمع آوری کنند. سپس داده های جمع آوری شده می‌توانند بلافاصله به صورت آنلاین بارگذاری شوند یا به مکانی منتقل شوند که از شخص تصویر برداری شده فاصله ی زیادی داشته باشد. بنابراین، برای افراد دشوار است که از نشت اطلاعات شخصی خود آگاه باشند.
- **ایمنی عمومی:** امنیت عمومی یکی دیگر از نگرانی‌های مهم عملیات پهپاد است. در مقایسه با هواپیماهای سرنشین‌دار سنتی، هواپیماهای بدون سرنشین معمولاً به اندازه کافی ایمن نیستند و با احتمال بیشتری با خطاهای هدایت مواجه می‌شوند. در نتیجه، عملیات پهپاد با خطرات ایمنی بالاتری روبرو است. میزان تصادف پهپادها به طور قابل توجهی بالاتر از هواپیماهای سرنشین‌دار است. حوادث پهپاد شامل برخورد با هواپیماهای سرنشین دار یا زمین است.

براساس نگرانی‌های اجتماعی و فنی که در بالا مشخص شد، آیین نامه پهپادها در حال تنظیم و تدوین شدن می‌باشد.

مقررات فعلی پهپادها عمدتا براساس شش معیار زیر بنا شده است:

- **حوزه ی کاربرد:** حوزه کاربرد محدوده‌ای را مشخص می‌کند که قوانین پهپاد برای آن در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال، پهپادها معمولاً بر اساس وزن یا هدف، به گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌شوند که با استفاده از مقررات پهپاد ممکن است متفاوت رفتار کنند.
- **الزامات فنی:** الزامات فنی ابزارها یا تکنیک‌های اجباری پهپادها را مشخص می‌کند. به عنوان مثال، مکانیسم اجتناب از برخورد می تواند یک روش معمولی باشد.
- **محدودیت های عملیاتی:** عملکرد پهپاد معمولاً توسط بسیاری از عوامل محدود می‌شود. محدودیت‌های عملیاتی معمولی شامل حداکثر ارتفاع پرواز، حداقل فاصله تا فرودگاه و افراد، مناطق ممنوعه و غیره است.
- **رویه های اداری:** ممکن است قبل از اجازه پهپاد برای استفاده، برخی مراحل و اسناد خاص لازم باشد، که شامل ثبت نام، گواهی عملیاتی و بیمه است.
- **الزامات منابع انسانی:** برای دسته‌های خاصی از پهپادها و اهداف بهره برداری، خلبان (کنترل کننده) باید واجد شرایط باشد.
- **اجرای محدودیت های اخلاقی:** این معیار در هنگام بهره‌گیری از پهپادها، موارد مربوط به حفاظت از اطلاعات و حریم خصوصی را تعیین می‌کند.

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

موارد اشاره شده در بالا برای برخی از کشورها به طور خلاصه در جدول زیر آورده شده است.

کشور	محدودیت‌های عملیاتی	فرآیند اداری	منابع انسانی	محدودیت‌های اخلاقی
استرالیا	○ مینیم فاصله از مردم: ۳۰ متر ○ محدودیت ارتفاع: ۱۲۰ متر ○ مینیمم فاصله تا فرودگاه: ۵,۵ کیلومتر ○ قرارگیری در دید کنترل کننده: الزامی ○ پرواز در مکان‌های عمومی: ممنوع	نیاز به بیمه دارد	مجوز خلبان الزامی	احترام به حریم شخصی
بریتانیا	○ مینیم فاصله از مردم: ۵۰ متر ○ محدودیت ارتفاع: ۱۲۲ متر ○ ماکزیمم فاصله در خط دید ۵۰۰ متر	مصوبات برای کاربدهای مختلف متفاوت است	صلاحیت خلبان الزامی	حفاظت از داده‌های محرمانه
چین	○ حداکثر سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت ○ مینیمم فاصله تا فرودگاه: ۱۰ کیلومتر ○ قرارگیری در دید کنترل کننده: الزامی	ارزیابی ایمنی عملیاتی مورد نیاز است	گواهینامه خلبانی الزامی	ندارد
امریکا	○ مینیم فاصله از مردم: ۳۰ متر ○ محدودیت ارتفاع: ۱۲۲ متر ○ مینیمم فاصله تا فرودگاه: ۸ کیلومتر ○ قرارگیری در دید کنترل کننده: الزامی ○ حداکثر سرعت ۱۶۰ کیلومتر بر ساعت	ثبت پهپاد لازم است – گواهی عملیاتی لازم است- وزن کمتر از ۲۵ کیلوگرم	گواهینامه خلبانی از راه دور الزامی	رعایت قوانین مربوط به حریم خصوصی
افریقای جنوبی	○ مینیم فاصله از مردم: ۵۰ متر ○ محدودیت ارتفاع: ۴۶ متر ○ مینیمم فاصله تا فرودگاه: ۱۰ کیلومتر ○ قرارگیری در دید کنترل کننده: الزامی ○ استفاده فقط در طول روز	مجوز خدمات هوایی و عملیاتی لازم است	مجوز خلبانی از راه دور الزامی	احترام به آیین‌نامه حریم خصوصی
شیلی	○ مینیم فاصله از مردم: ۲۰ متر ○ محدودیت ارتفاع: ۱۳۰ متر ○ استفاده فقط در طول روز ○ قرارگیری در دید کنترل کننده: الزامی ○ بیشترین وزن ۹ کیلوگرم	اجازه پرواز لازم است	مجوز خلبانی از راه دور الزامی	احترام به آیین‌نامه حریم دیگران

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

۱-۱-۲- چالش های امنیتی

امنیت برای هر سیستم دیجیتال مسئله‌ای بسیار مهم است. برای سیستم ارتباطی بی سیم با کمک پهپاد، به دلیل ماهیت بدون سرنشین آن و نیاز به ارتباط بی‌سیم از راه دور، امنیت یک مشکل جدی‌تر است. به عنوان مثال، در مقایسه با ایستگاه‌های پایه زمینی، اگر یک ایستگاه پایه هوایی توسط مهاجمان به خطر بیفتد، ارتباط کاربرهای سرویس گیرنده از آن به احتمال زیاد قطع خواهد شد.

علاوه بر این، کاربرهایی که توسط ایستگاه‌های پایه زمینی سرویس می‌گیرند ممکن است تداخل شدیدی را به دلیل داشتن دید مستقیم به پهپاد مورد حمله تجربه کنند. بنابراین، اطمینان از امنیت سیستم‌های پهپاد هنگام استفاده از پهپادها برای ارتباطات سلولی ضروری است. به طور کلی امنیت پهپادها به دو بخش سایبری و فیزیکی دسته‌بندی می‌شود که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

امنیت سایبری

از سال ۲۰۰۷، تعداد فزاینده‌ای از حملات سایبری به سیستم های پهپادی به دلیل گسترش استفاده از پهپادها گزارش شده است. هنگام حملات سایبری، دشمنان لینک‌های رادیویی سیستم‌های پهپاد را هدف قرار می‌دهند، که اطلاعاتی از قبیل داده‌های درخواست شده توسط کاربرهای شبکه سلولی، سیگنال‌های کنترل و سیگنال‌های سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) برای پیمایش پهپادها را شامل می‌شود. به عنوان مثال، با رهگیری این اطلاعات، دشمنان می‌توانند داده های منتقل شده و درخواست شده توسط پهپادها را به سرقت برده یا حتی مستقیماً عملکرد پهپادها را با استفاده از سیگنال‌های کنترل آنها دستکاری کنند.

از آنجا که هر دو سیگنال داده و کنترل از طریق لینک‌های رادیویی منتقل می‌شوند، اطمینان از امنیت این کانال‌های ارتباطی بی‌سیم به یک جنبه مهم از امنیت کل سیستم پهپاد تبدیل شده است. در این رابطه می‌بایست سناریوهایی را که در آن از پهپادها برای ارتباطات سلولی استفاده می شود مورد بررسی قرار دارد و میزان خطر را برای لینک‌های مختلف شامل پهپاد، از قبیل لینک‌های ماهواره‌ای، سلولی و Wi-Fi مورد ارزیابی قرار داد. پس از این می‌توان مسیرهای حمله بالقوه و استراتژی‌های دفاعی مربوطه را آنالیز کرد.

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

امنیت فیزیکی

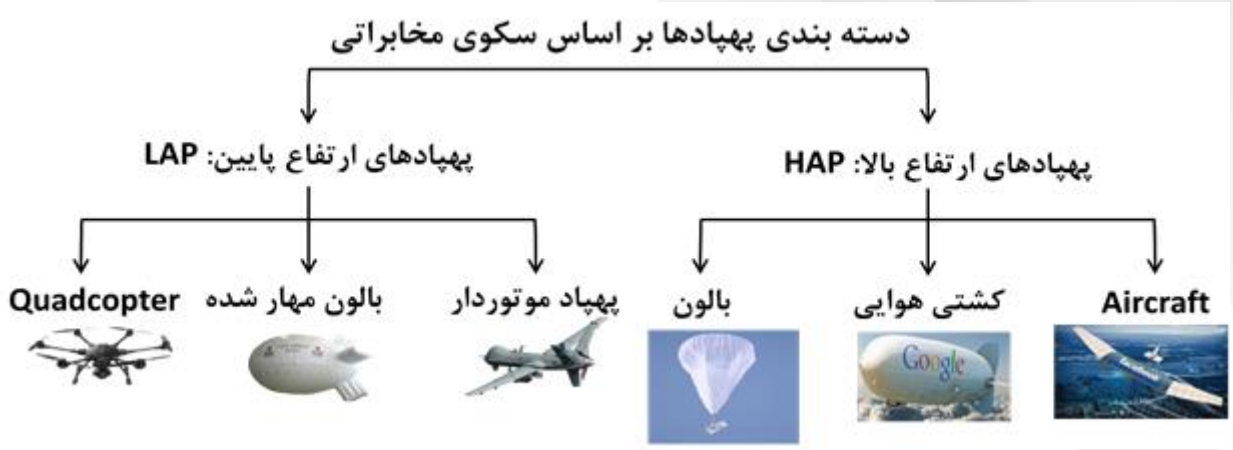
علاوه بر حملات سایبری، دشمنان می‌توانند حملات فیزیکی به پهپاد ها را نیز انجام دهند که این یکی دیگر از جنبه های نگرانی امنیتی سیستم‌های پهپادی است. برای شروع حملات فیزیکی، دشمنان ابتدا باید به پهپاد ها دسترسی پیدا کنند که در دو شرایط قابل دستیابی است. ابتدا، دشمنان می‌توانند به یک پهپاد روی زمین دسترسی پیدا کنند (در اثر خرابی یا اتمام شارژ باتری) یا پهپاد در حال پرواز را تصرف کنند. در حالت دوم، دشمنان می‌توانند پهپادها را با انجام موفقیت آمیز حملات سایبری کنترل کنند.

۲- انواع پهپادها و کاربردهای مختلف

به دلیل پیشرفت‌های چشمگیر در تکنولوژی پهپادها و کاربردهای آن در حوزه های سنجش از دور، عکس‌برداری و ارتباطات، بهره برداری از پهپادها یکی از موضوعات بسیار مهم دنیای امروز است. پهپادها در حال حاضر می‌توانند بازده محصول را افزایش دهند، شغل‌های خطرناک را ایمن سازند و به عنوان نجات دهنده برای جمعیت‌ها از راه دور عمل کنند. همچنین در آینده، پهپادهای هوشمند توانایی تحول در حمل و نقل را دارا خواهند بود. اگر چه پهپادها و فناوری‌های نوین مرتبط با آن قابلیت تغییر مدل زندگی در آینده را خواهند داشت، اما چالش‌هایی از جمله مسائل امنیتی و قوانین و مقررات را نیز با خود به همراه دارد. ویژگی‌ها و چالش‌های پهپاد ممکن است بسته به کاربرد متفاوت باشد و قبل از هر چیز، نیاز به یک طبقه بندی از بستر عملیاتی پهپادها و کاربردهای آنها وجود دارد.

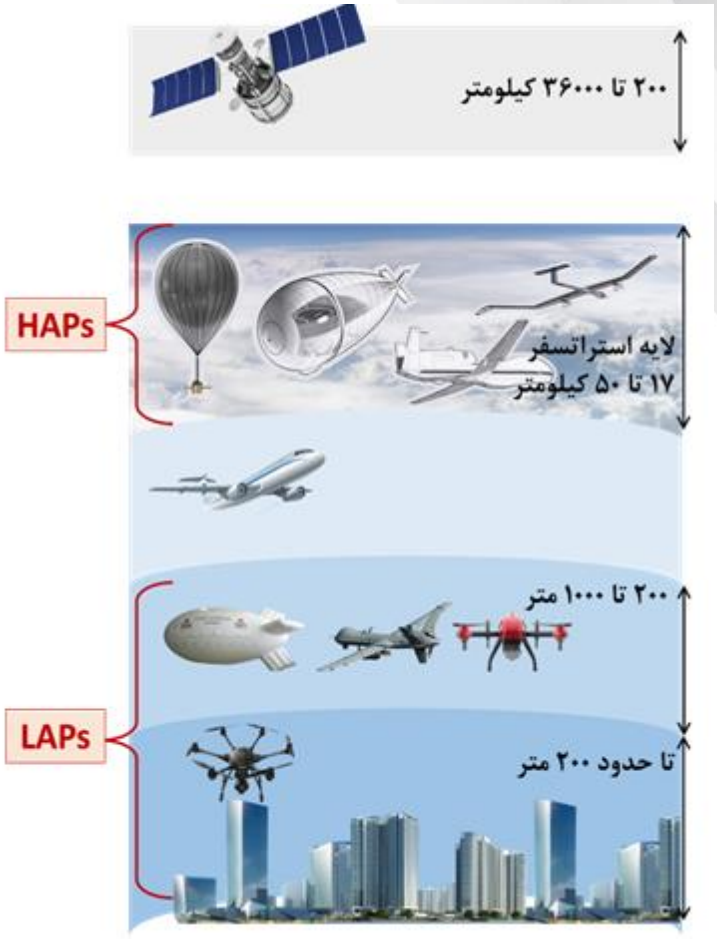
۲-۱- طبقه بندی بر اساس بستر عملیاتی

در مخابرات، استفاده از پهپادها به عنوان ایستگاه پایه هوایی در شبکه‌های ارتباطی می‌تواند براساس بستر عملیاتی آنها طبقه بندی شود، که به دو دسته بستر ارتفاع پایین (LAP) یا بستر ارتفاع بالا (HAP) تقسیم می‌شود.



شکل ۴- دسته بندی پهپادها براساس سکوی مخابراتی

LAP یک بستر ارتباطی هوایی شبه ثابت یا متحرک است که عمدتا در ارتفاع کمتر از یک کیلومتر نسبت به سطح زمین قرار دارد. سه نوع پهپاد اصلی که زیر این دسته قرار می گیرند عبارتند از: پهپادهای موتور دار، بالون‌های مهار شده و Quadcopter. به دلیل وزش بادهای سطحی، بالون‌های استفاده شده در ارتفاع پایین توسط کابل مهار شده و بسته به اندازه آنها توان حمل محموله مخابراتی تا چند صد کیلوگرم را دارا بوده و قادر به ارایه سرویس تا شعاع چند ده کیلومتر می‌باشند. دسته دیگر LAPها، پهپادهای با بال چرخان یا Quadcopterها می‌باشند که عمدتا با باطری کار می‌کنند و دارای انعطاف پذیری بالایی هستند. مهمترین چالش این دسته از پهپادها محدودیت بار آنها می‌باشد که ماکزیمم در مرتبه چند ده کیلوگرم می‌باشد. اما با توجه به قیمت بسیار کمتر، عدم نیاز به باند نشست و برخاست و قابلیت پرواز در محیط‌های شهری، کاربردهای بسیار متنوعی را پیدا کرده‌اند. اخیرا نیز شرکت‌های بزرگ مخابراتی مانند Nokia، AT&T، Huawei و ... اقدام به طراحی micro base stationهای با وزن و توان مصرفی کم مناسب جهت نصب روی quadcopterها نموده‌اند. دسته دیگر LAPها پهپادهای موتور دار می‌باشند که از سوخت استفاده می‌کنند و دارای قدرت حمل بار بیشتر و در نتیجه ارائه سرویس‌های مخابراتی با ظرفیت و شعاع پوشش بیشتر هستند. این دسته از پهپادها جهت ارائه سرویس مخابراتی، معمولا روی یک مسیر دایروی حول ناحیه پوشش در حال حرکت هستند.



شکل ۵- **دسته بندی پهپادها از نظر ارتفاع پروازی**

به دلیل سکون نسبی هوا در ارتفاع ۱۷ تا ۲۳ کیلومتری سطح زمین (در لایه استراتسفر)، دسته دیگر پهپادها در این ارتفاع قرار می‌گیرند که به آنها پهپادهای ارتفاع بالا یا HAP می‌گویند. HAPها معمولا دارای مدت زمان پروازی بیشتر از LAPها هستند و جهت ارائه پوشش‌هایی تا چند صد کیلومتر به کار می‌روند. کشتی‌های هوایی، aircraftها و بالون‌ها انواع اصلی پهپادهایی هستند که در این دسته قرار می‌گیرند.

جهت پیدا کردن دید بهتر، مقایسه‌ای بین HAP و LAP در جدول زیر ارائه شده است. در این جدول، به طور خلاصه، شاخص‌های عملکرد انواع پهپادهای قرار گرفته در هر دو دسته HAP و LAP بیان شده است.

	HAP			LAP		
	کشتی هوایی	Aircraft	بالون	Quad-copter	پهپاد موتوردار	بالون مهار شده
زمان پرواز	تا ۳۰ روز	تا ۷ روز	تا ۱۰۰ روز	چند ساعت	چند ساعت	تا چند روز
ارتفاع پرواز	تا ۲۵ کیلومتر	۱۵ تا ۲۰ کیلومتر	۱۷ تا ۲۳ کیلومتر	تا ۴ کیلومتر	تا ۵ کیلومتر	تا ۱,۵ کیلومتر
وزن محموله	چند صد کیلوگرم	چند صد کیلوگرم	چند ده کیلوگرم	چند کیلوگرم	چند کیلوگرم	چند ده کیلوگرم
زمان پیاده‌سازی	به باند پرواز نیاز دارد	به باند پرواز نیاز دارد	پرتاب خودکار	بسیار ساده و سریع	ساده	چند ده دقیقه
سوخت مورد استفاده	گاز هلیوم + سلول خورشیدی	سوخت جت+ سلول خورشیدی	گاز هلیوم + سلول خورشیدی	باتری	سوخت موتور	گاز هلیوم
پیچیدگی عملیاتی	پیچیده	پیچیده	پیچیده	ساده	متوسط	متوسط
ناحیه پوشش	چند صد کیلومتر	چند صد کیلومتر	چند صد کیلومتر	چند ده کیلومتر	چند ده کیلومتر	چند ده کیلومتر
وزن پهپاد	چند صد کیلوگرم	چند صد تا چند هزار کیلوگرم	بسیار سبکتر از کشتی هوایی	چند کیلوگرم	چند ده کیلوگرم	چند ده تا چند صد کیلوگرم
پروژه‌های پیاده‌سازی شده	Project Loon (Google)	Global Hawk-Aquila Project (Facebook)-Sky Tower (NASA)	Project Loon (Google)-SKYSHIP	Nokia drone networks 5G SKYSIGHT (Huawei)-AT&T drone		EE's Helikite balloon

۲-۲- طبقه بندی بر اساس کاربردها

طیف گسترده‌ای از کاربردهای پهپادها منجر به توسعه پهپادها شده است به گونه‌ای که پهپادهای امروزی قادرند در محیط‌ها و مکان‌های مختلف پرواز کنند و ماموریت‌های مختلفی را انجام دهند. در ادامه یک دسته بندی از کاربردها انجام شده است:

۲-۲-۱- مانیتورینگ

در زیر فقط تعدادی از کاربردهای مانیتورینگ با استفاده از پهپادها لیست شده است:

- نظارت بر رویدادها و گردهمایی‌های بزرگ
- نظارت بر ترافیک
- نظارت بر اماکن ورزشی
- عکاسی برای حفظ شواهد
- نظارت بر فعالیت‌های غیر قانونی
- پیگردهای کیفری در شهرها
- مانیتور کردن سیل‌ها
- عملیات ضد تروریستی
- نظارت بر زیرساخت‌های مهم
- نظارت بر تظاهرات
- نظارت بر ترافیک دریایی
- نظارت بر سونامی
- نظارت مرزی
- نظارت بر مهاجران غیر قانونی
- جستوجوی افراد مفقود شده در هر مکان صعب العبوری

شکل ۶- **مثال گرافیکی از کاربردهای پهپاد در مانیتورینگ**

۲-۲-۲- جستجو و نجات

بازرسی از ساختمان‌های آسیب دیده بعد از زلزله یا هنگام آتش سوزی از جمله فعالیت‌های پهپادها برای عملیات جستوجو و نجات به حساب می‌آیند. پهپادهای طراحی شده برای این کار به راحتی می‌توانند در ساختمان‌های گرفتار در حریق وارد شده و با تصویر برداری و شناسایی مکان افراد گرفتار شده در حریق، تیم نجات را به سمت آنها هدایت نمایند. پهپادهای طراحی شده برای این منظور بسیار کوچک هستند و به راحتی می‌توانند از پنجره یا ترک دیوار وارد ساختمان گرفتار در حریق شوند. از جمله کاربردهای دیگر پهپادها، استفاده از پهپادها برای امن‌تر کردن سواحل برای افراد گرفتار شده در دریا است. استفاده از پهپادها به خصوص در نواحی ساحلی، به نجاتگران این امکان را می دهد تا تصمیم گیری آگاهانه‌تری داشته باشند و در نهایت به ایمن‌تر شدن ساحل کمک می‌کند.

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

شکل ۷- **مثال گرافیکی از کاربردهای پهپاد در جستوجو و نجات**

۲-۲-۳- تحویل کالا

معروف‌ترین شرکت‌های فعال در این حوزه، شرکت بزرگ فروش آمازون، Uber و گوگل می‌باشند. بنابر ادعای شرکت آمازون، به زودی در برخی از مناطق آمریکا، بریتانیا، فرانسه و استرالیا، جهت تحویل بسته‌های با وزن کمتر از پنج پوند از پهپادها استفاده خواهد کرد که در زمان بسیار کمتری قادر به تحویل بسته‌های خریداری شده به مشتریان خود است. شاید زمانی که این طرح برای اولین بار در سال ۲۰۱۳ معرفی شد بسیاری آن را تخیلی می‌دانستند، اما با پیاده‌سازی پایلوت‌های اولیه در بریتانیا و آمریکا، دیدگاه‌ها نسبت به این طرح را از تخیل علمی، به فناوری نو ظهور تغییر داده است.

شکل ۸- **مثال‌های گرافیکی ارایه شده توسط شرکت آمازون**

۲-۲-۴- امنیت و دیده بانی

در دنیای امروز امنیت اولویت اصلی است. چشم انداز هوایی باعث یک برتری برای نیروهای امنیتی می‌شود. پهپادها با توجه به ویژگی‌های منحصر به فردی که دارند، می‌توانند گزینه مناسب‌تری نسبت به موارد مشابه از جمله هلیکوپترها در بسیاری از عملیات‌های امنیتی باشند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- صدای کمتر و قابلیت اختفاء
- استفاده در عملیات‌های امنیتی
- هزینه کمتر
- مدت زمان پروازی بیشتر
- زمان استقرار کوتاه‌تر
- قابلیت حمل و همیشه در دسترس بودن
- قابلیت پرواز در شرایط بد آب و هوایی
- قابلیت مانور بیشتر در محیط‌های شهری

در زیر چند نمونه از کاربردهای پهپادها برای کمک به امنیت عمومی لیست شده است:

- عملیات ضد تروریستی
- تحقیقات جنایی
- شبکه‌های ارتباطی اضطراری
- نظارت ساحلی
- نظارت بر مرزها
- عملیات ضد دزدی دریایی
- کنترل تظاهرات
- کنترل اجلاس‌های بین المللی

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

شکل ۹- مثال گرافیکی از کاربردهای پهپاد در امنیت

۲-۲-۵- کشاورزی دقیق

پهپادها می‌توانند برای بهینه سازی یک مزرعه بر اساس طیف گسترده ای از داده‌های تصویر برداری شده، در مورد وضعیت محصولات زراعی، مزارع و دام و همچنین استفاده از سموم دفع آفات استفاده شوند. پهپادهای با بال چرخان (Multi-Rotor) به دلیل سهولت در استفاده، هزینه و انعطاف پذیری آنها، محبوب‌ترین نوع پهپادها در کشاورزی هستند. پهپادهای با بال ثابت عموما برای تصویر برداری‌های سه بعدی و تشخیص آفات در ابعاد برزرگ مناسب هستند. در زیر چند نمونه از کاربردهای پهپادها برای کمک به کشاورزی دقیق لیست شده است:

- تشخیص آفات
- شناسایی مکان و زمان کود دهی
- کنترل آبرسانی به محصولات
- تجزیه و تحلیل رشد گیاهان
- کنترل ترکیبات شیمیایی خاک
- تصویر برداری سه بعدی از مزرعه

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

- کنترل دما
- سم پاشی بهینه

شکل ۱۰- **مثال گرافیکی از کاربردهای پهپاد در کشاورزی**

قابل توجه است که در نمایشگاه‌های کشاورزی، هر ساله پهپادهای با کاربردهای جدید برای کشاورزی ارائه می‌شود که از هزار تا بیست هزار دلار برای مزارع بسیار بزرگ قیمت دارند. مهمترین و پر تقاضاترین کاربرد کشاورزی پهپادها، استفاده از آنها جهت شناسایی آفت و سمپاشی بهینه آنها می‌باشد. بازار جهانی استفاده از پهپاد در کشاورزی حجم قابل توجهی دارد و پیش بینی شده است که تا سال ۲۰۲۶ با نرخ ۲۳ درصد، سالانه شاهد افزایش آن باشیم.

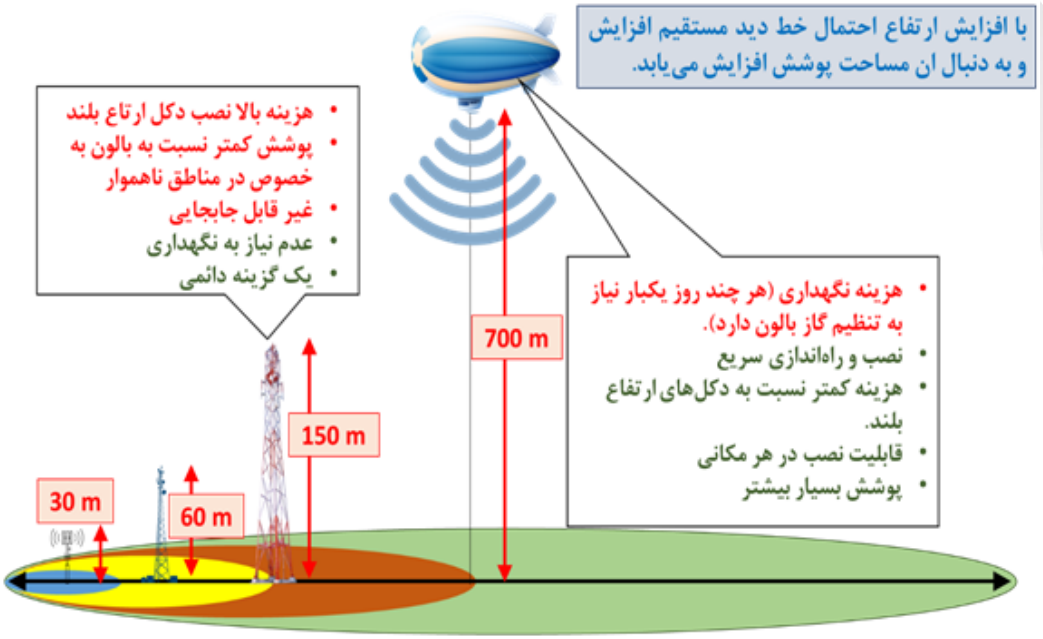
۲-۲-۶- ارائه پوشش مخابراتی بی سیم

در کنار کاربردهای ذکر شده برای پهپادها، مهمترین و سودآورترین کاربرد پهپادها در آینده، استفاده از آنها جهت ارائه پوشش مخابراتی است به گونه‌ای که استفاده از پهپادها را نقطه عطفی در نسل‌های مخابراتی آینده می‌دانند که به دلیل انعطاف بالا قابلیت ارائه ظرفیت مخابراتی متناسب با تغییرات جمعیتی و تقاضا در طول شبانه روز را دارند. به دلیل اهمیت این کاربرد، در بخش بعد، به طور کامل به این موضوع پرداخته شده است.

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

۳- پهپادهای ارتفاع پایین به منظور ارائه سرویس‌های مخابراتی

پهپادها را می‌توان برای تأمین پوشش مخابراتی بی‌سیم در شرایط مختلف استفاده کرد به نحوی که هر پهپاد نقش یک ایستگاه پایه را داشته باشد. همچنین می‌توان از آنها برای تکمیل ایستگاه پایه زمینی به منظور فراهم آوردن پوشش بهتر و سرعت بالاتر داده برای کاربران استفاده کرد.



شکل ۱۱- **مقایسه سطح پوشش بالن مخابراتی با دکل‌های مخابراتی**

۳-۱- انواع کاربرد پهپادها در حوزه ی سرویس های مخابراتی

کاربرد پهپادها در حوزه مخابرات شامل موارد مهم زیر است:

- تقویت پوشش و ظرفیت شبکه‌های سلولی بی‌سیم نسل پنجم
- پهپادها به عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی در شرایط بحران
- پهپادها جهت رله سیگنال‌های مخابراتی
- پهپادها برای جمع آوری داده‌ها
- پهپاد برای انتشار اطلاعات
- ارتباطات سه بعدی MIMO
- بهره‌گیری از پهپادها در اینترنت اشیاء
- شهرهای هوشمند

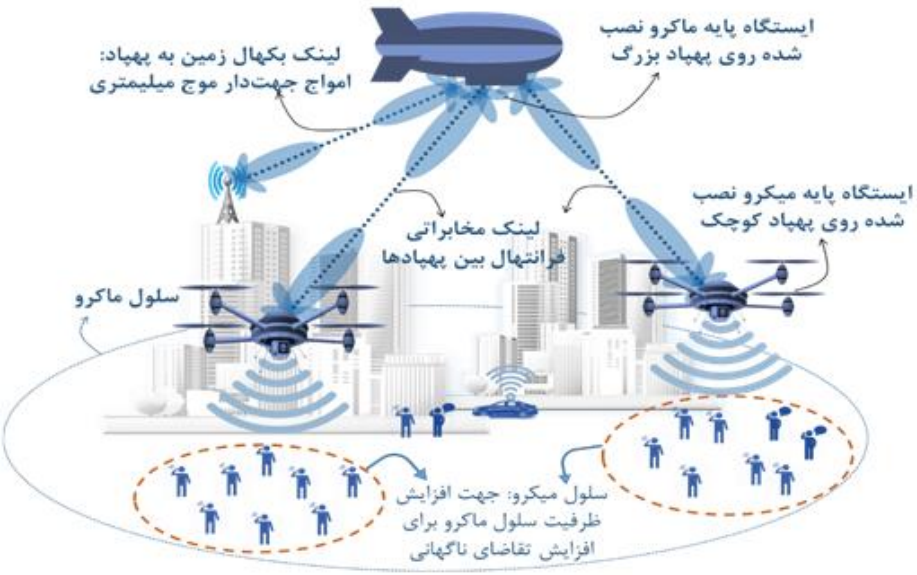
پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

در ادامه به طور جامع‌تر کاربردهای ذکر شده برای پهپادها در حوزه مخابرات مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

۳-۱-۱- تقویت پوشش و ظرفیت شبکه‌های سلولی بی‌سیم نسل پنجم

به دلیل گسترش سریع شبکه‌های اجتماعی و دستگاه‌های ارتباطی مانند تلفن‌های هوشمند، تبلت‌ها و اشیائی که به عنوان کاربر به شبکه متصل می‌شوند، تقاضا برای دسترسی به شبکه‌های بی‌سیم با سرعت بالا و به طور پیوسته در حال افزایش است. به این ترتیب ظرفیت و پوشش شبکه‌های بی‌سیم سلولی موجود، قطعا جوابگوی نیازهای آینده نخواهد بود که این امر منجر به ظهور مجموعه‌ای از فن‌آوری‌های بی‌سیم شده که در صدد افزایش ظرفیت شبکه‌های موجود هستند. از جمله این فن‌آوری‌ها می‌توان به فناوری ارتباطات دستگاه به دستگاه (D2D)، شبکه‌ی سلول‌های کوچک بسیار متراکم و ارتباطات موج میلیمتری اشاره کرد که بخشی از شبکه‌های سلولی نسل‌های آینده هستند.

با وجود مزایای فن‌آوری‌های ذکر شده جهت استفاده در شبکه‌های مخابراتی نسل‌های آینده، استفاده از آنها با چالش‌های اساسی روبرو است. به عنوان مثال، ارتباط D2D بدون شک به برنامه ریزی فرکانسی بهتر و بهره برداری بهینه از منابع در شبکه‌های سلولی نیاز دارد. همینطور، شبکه‌ی سلول های کوچک و متراکم با چالش لینک بکهال، تداخل و مدل سازی کلی شبکه روبرو است. ارتباطات فرکانس بالای موج میلیمتری هم نیاز به مسیر مستقیم بین فرستنده و گیرنده دارد که کاربرد آن را محدود به موارد خاص می‌کند.



شکل ۱۲- **تقویت پوشش و ظرفیت شبکه های سلولی بی سیم نسل های بعدی توسط پهپادها**

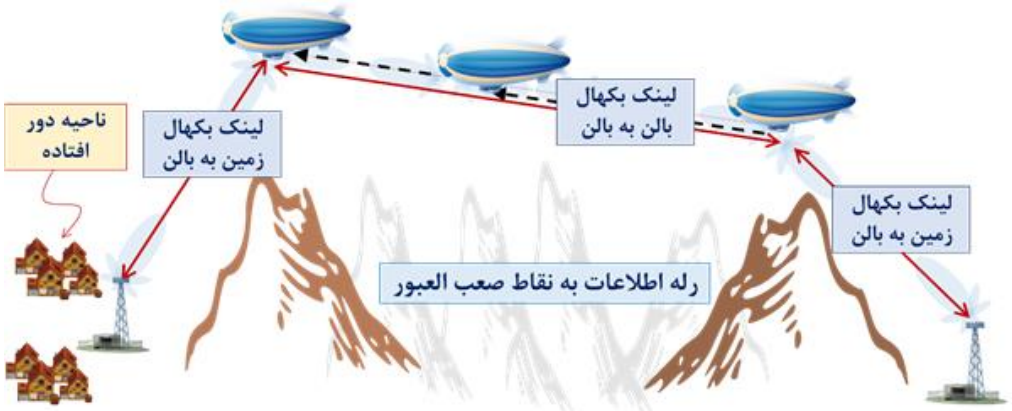
با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد پهپاد از جمله قابلیت جابجایی و قرارگیری در نقطه بهینه، ایستگاه‌های پایه هوایی مبتنی بر پهپاد به عنوان یک مکمل اجتناب ناپذیر برای شبکه‌های مخابراتی نسل‌های آینده مطرح شده‌اند. در طول روز شاهد تغییرات جمعیتی به خصوص در شهرهای بزرگ هستیم. با افزایش جمعیت در طول روز در یک ناحیه که با افزایش تقاضا برای دسترسی به شبکه همراه است، ایستگاه‌های پایه نصب شده روی پهپادها می‌توانند به کمک شبکه‌های سلولی زمینی آمده، و شبکه‌ها را تا جای ممکن متراکم نمایند. با وجود محدودیت‌های استفاده از موج میلیمتری برای ایستگاه‌های زمینی، استفاده از پهنای باند چندین گیگاهرتزی موج میلیمتری برای ایستگاه‌های پایه نصب شده بر روی پهپادها محتمل‌تر به نظر می‌رسد. جهت روشن شدن این مطلب، توجه داشته باشید که استفاده از موج میلیمتری نیازمند برقراری مسیر مستقیم بین فرستنده و گیرنده است. ایستگاه‌های پایه نصب شده روی پهپادها به راحتی می‌توانند مکان بهینه‌ای را در فضای سه بعدی پیدا کرده که احتمال قرارگیری کاربران در مسیر مستقیم با ایستگاه پایه، بیشترین احتمال را داشته باشد. همینطور، موج میلیمتری باعث کوچک‌تر شدن سایز آنتن و کم شدن وزن محموله مخابراتی خواهد شد که یکی از چالش‌های پهپادها است. علاوه بر این، در بسیاری از موارد مانند رویدادهای موقت، جشنواره‌ها و گردهمایی‌های بزرگ، که کاربران برای مدت زمان کوتاهی به دسترسی بی‌سیم نیاز دارند، استفاده از ایستگاه‌های پایه مبتنی بر پهپاد گزینه‌ی بسیار مناسبی است. در همین حال، پهپادهای ارتفاع بالا می‌توانند یک راه حل پایدار طولانی مدت‌تر برای پوشش در محیط‌های روستایی ارائه دهند. AT&T و Verizon پیشتر برنامه‌های بسیاری را برای استفاده از پهپادها برای تأمین پوشش اینترنت موقت برای برخی مسابقات ورزشی ارائه کرده‌اند.

پهپادها می‌توانند به شبکه‌های مختلف زمینی مانند شبکه‌های D2D و شبکه‌های وسایل نقلیه (V2V) کمک کنند. به عنوان مثال، پهپادها به دلیل تحرک و ارتباطات دید مستقیم، می‌توانند انتشار سریع اطلاعات را در بین دستگاههای زمینی تسهیل کنند. علاوه بر این، پهپادها به طور بالقوه می‌توانند قابلیت اطمینان لینک‌های بی‌سیم در ارتباطات D2D و V2V را با بهره‌گیری از دایورسیتی ارسال بهبود بخشند. به طور خاص، پهپادها می‌توانند در پخش اطلاعات مشترک به دستگاه‌های زمینی کمک کنند و از این طریق با کاهش تعداد ارسال بین دستگاه‌ها، تداخل در شبکه‌های زمینی را کاهش دهند.

علاوه بر این، ایستگاه‌های پایه پهپاد می‌توانند از لینک‌های هوا به هوا برای خدمات رسانی به سایر پهپادهای متصل به سلول استفاده کنند تا بار در شبکه زمینی کاهش یابد. به طور کلی، با بهره‌گیری از ویژگی‌های منحصر به فردی همانند چابکی، تحرک، انعطاف پذیری، ارتفاع قابل تنظیم و برقراری لینک های ارتباطی دید مستقیم، پهپادها می توانند عملکرد شبکه های بی سیم زمینی موجود را از نظر پوشش، ظرفیت، تأخیر و کیفیت کلی خدمات افزایش دهند.

۳-۱-۲- پهپادها به عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی در شرایط بحران

بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان‌ها، گردبادها و زلزله در بسیاری از کشورها اغلب عواقب ویرانگری به همراه دارد. در هنگام وقوع بلایای طبیعی گسترده و وقایع غیر منتظره، شبکه‌های ارتباطی زمینی موجود می‌توانند آسیب ببینند یا حتی به طور کامل از بین بروند. در چنین سناریوهایی، نیاز به برقراری لینک‌های ارتباطی بین نیروهای امداد و قربانیان برای عملیات جستجو و نجات وجود دارد. در نتیجه، یک سیستم ارتباطی اضطراری با توان بالا، سریع و امن مورد نیاز است.



شکل ۱۳- **استفاده از پهپاد جهت رله سیگنال به مناطق بحران و سعب العبور**

در سناریوهای ایمنی عمومی، چنین سیستم ارتباطی قابل اعتمادی نه تنها به بهبود اتصال به شبکه کمک می‌کند، بلکه در نجات جان افراد نیز موثر خواهد بود. در همین راستا شرکت FirstNet در ایالات متحده برای ایجاد یک شبکه بی‌سیم باند پهن و پر سرعت برای ارتباطات ایمنی عمومی در سراسر این کشور تأسیس شد. فن‌آوری‌های باند پهن

باند برای سناریوهای ایمنی عمومی شامل LTE، WiFi، ارتباطات ماهواره‌ای و سیستم های اختصاصی ایمنی عمومی مانند TETRA و APCO25 می‌باشند.

با این حال، این فناوری‌ها ممکن است انعطاف پذیری، تأخیر کم و سازگاری سریع با محیط را در هنگام بروز بلایای طبیعی فراهم نکنند. در این راستا، استفاده از شبکه‌های هوایی مبتنی بر پهپادها، یک راه حل امیدوارکننده برای فعال کردن ارتباطات بی‌سیم سریع، انعطاف پذیر و قابل اعتماد در سناریوهای ایمنی عمومی است. از آنجا که پهپادها به زیرساخت‌های گران قیمت (مانند کابل ها) احتیاج ندارند، می‌توانند به راحتی پرواز کنند و موقعیت خود را به صورت پویا تغییر دهند تا ارتباطات مورد تقاضا را برای کاربران زمینی در مواقع اضطراری فراهم کنند. به عنوان مثال، پهپادها می‌توانند به عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی متحرک مستقر شوند تا اتصال پهن باند را به مناطقی با زیرساخت‌های بی‌سیم زمینی آسیب دیده تحویل دهند. علاوه بر این، پهپادها می‌توانند به طور مداوم حرکت کنند تا در کمترین زمان ممکن پوشش کامل منطقه را فراهم کنند. بنابراین، استفاده از ایستگاه‌های پایه مبتنی بر پهپاد می‌تواند یک راه حل مناسب برای تأمین اتصال سریع در شرایط بحران باشد. علاوه بر موارد ذکر شده، در مناطق جغرافیایی دورافتاده یا در معرض فاجعه، پهپادها می‌توانند به عنوان نقاطی برای تأمین اتصال به زیرساخت‌های ارتباطی منطقه در معرض فاجعه به هسته شبکه در نزدیک‌ترین نقطه به منطقه شوند (یک مثال در شکل بالا نشان داده شده است).

۳-۱-۳- پهپادها جهت رله سیگنال‌های مخابراتی

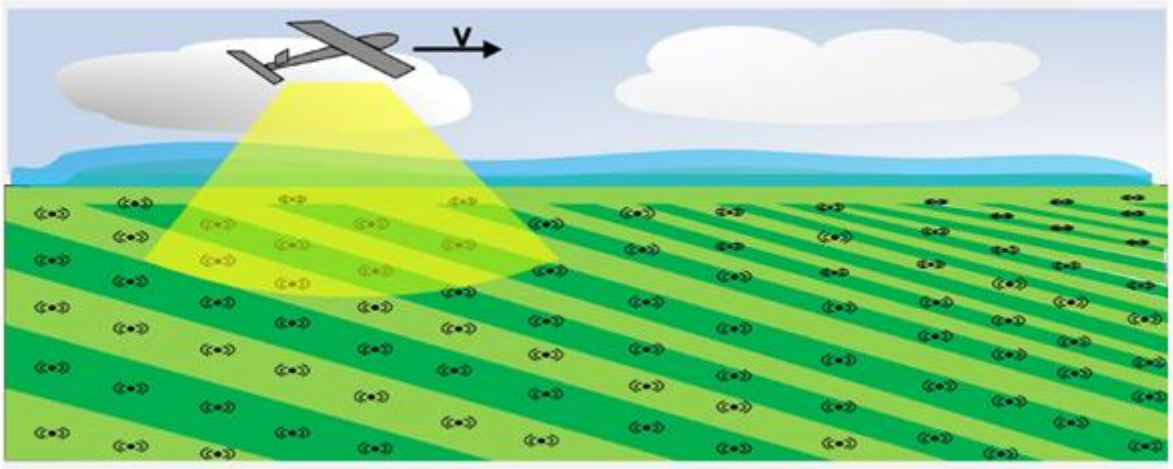
پهپادها می‌توانند به عنوان نقاط رله مورد استفاده قرار گیرند تا بتوانند ارتباط بی سیم بین دو یا چند وسیله بی‌سیم که در فاصله دور از یکدیگر قرار دارند و هیچ گونه ارتباط مستقیم و مطمئنی بین آنها وجود ندارد را فراهم کنند. در همین راستا می‌توان از پهپادها به عنوان لینک بکهال هوایی برای شبکه‌های زمینی استفاده کرد. لینک بکهال مبتنی بر کابل یک روش متداول برای اتصال ایستگاه‌های پایه زمینی به یک شبکه اصلی است. با این حال، برقراری اتصالات کابلی به دلیل محدودیت‌های جغرافیایی، به خصوص برای شبکه‌های سلولی بسیار متراکم ممکن است غیر ممکن و یا مستلزم هزینه‌های زیاد باشند. استفاده از لینک بکهال بی‌سیم یک راه حل مناسب و مقرون به صرفه است. با این حال، این روش در مقابل انسداد و تداخل که باعث کاهش عملکرد شبکه دسترسی رادیویی می‌شود

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

آسیب پذیر است. در این حالت، پهپادها می‌توانند نقش مهمی را در پیاده‌سازی اتصال بی‌سیم بصورت مقرون به صرفه، قابل اعتماد و پر سرعت برای شبکه‌های زمینی ایفا کنند. به طور خاص، پهپادها می توانند با قرارگیری در مکان مناسب به منظور جلوگیری از موانع و ایجاد خط دید مستقیم بین فرستنده و گیرنده مورد استفاده قرار بگیرند. علاوه بر این، استفاده از پهپادها با قابلیت موج میلیمتری می‌تواند اتصالات بی سیم با سرعت بالای انتقال داده را که برای پاسخ به تقاضای بالای ترافیک در مناطق پر ازدحام مورد نیاز است، برقرار کند. پهپادها همچنین می توانند یک شبکه با قابلیت تنظیم مجدد در آسمان ایجاد کرده و امکان ایجاد ارتباط دید مستقیم بی سیم بکهال به صورت چند پرشی (Multi hop) را فراهم کنند. بدیهی است، چنین شبکه‌های قابل انعطاف مبتنی بر پهپاد می‌توانند به میزان قابل توجهی قابلیت اطمینان، ظرفیت و هزینه عملیاتی ارتباط بکهال در شبکه‌های زمینی را بهبود بخشند.

۳-۱-۴- پهپادها برای جمع آوری داده‌ها

برای کاربردهایی که تاخیر در ارسال اطلاعات مهم نباشد، از پهپادها برای جمع آوری اطلاعات از تعداد زیادی دستگاه بی سیم توزیع شده استفاده می‌شود. یک مثال سنسورهای بی‌سیم در کاربردهای کشاورزی دقیق است که در شکل زیر به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۴- **استفاده از پهپادها جهت جمع آوری اطلاعات داده‌های با توان ارسالی کم**

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

۳-۱-۵- پهپاد برای انتشار اطلاعات

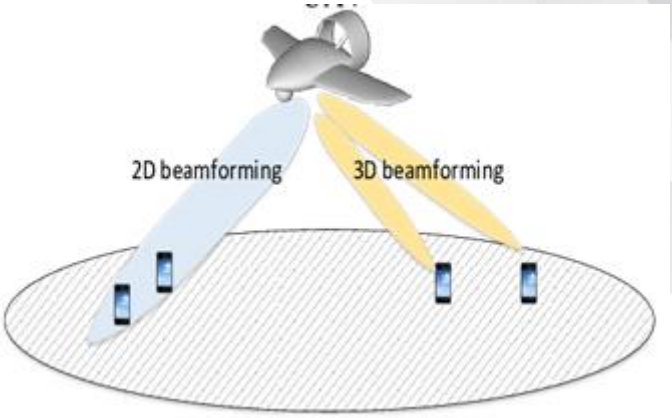
پهپادها می‌توانند به عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی برای کمک به شبکه D2D یا یک شبکه ad-hoc موبایل جهت انتشار اطلاعات در بین دستگاه‌های زمینی استفاده شوند. در حالی که شبکه‌های D2D می‌توانند یک راه حل مؤثر برای بارگذاری ترافیک داده‌های شبکه‌ی سلولی و بهبود ظرفیت شبکه و پوشش باشند، عملکرد آنها به دلیل محدوده ارتباط کوتاه دستگاه‌ها و همچنین افزایش میزان تداخل با محدودیت‌هایی رو به رو است. در این حالت، پهپادها می‌توانند با پخش هوشمندانه فایلهای مشترک در بین دستگاه‌های زمینی، انتشار سریع اطلاعات را تسهیل نمایند. به عنوان مثال، شبکه‌های D2D با کمک پهپاد می‌توانند پخش سریع پیام‌های اضطراری یا تخلیه را در شرایط ایمنی عمومی فراهم نمایند.

همینطور، پهپادها می‌توانند با پخش اطلاعات ایمنی در وسایل نقلیه، نقش اصلی را در شبکه‌های وسایل نقلیه (یعنی ارتباطات V2V) ایفا کنند. هواپیماهای بدون سرنشین همچنین می‌توانند قابلیت اطمینان و اتصال لینک‌های ارتباطی D2D و V2V را تقویت کنند. به طور دقیق‌تر، از یک طرف، استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین می‌تواند با کاهش تعداد لینک‌های اتصالی مورد نیاز بین دستگاه‌های زمینی، تداخل را کاهش دهد و از طرف دیگر، پهپادهای متحرک می توانند با بهره گیری از دایورسیتی ارسال، قابلیت اطمینان و اتصال به شبکه را در شبکه‌های D2D، ad-hoc و V2V تقویت کنند.

۳-۱-۶- ارتباطات سه بعدی MIMO

با توجه به قابلیت استقرار پهپادها در فضای سه بعدی، پهپادها را می توان به عنوان آنتن‌های هوایی در نظر گرفت که می‌توانند برای انجام ارتباطات مبتنی بر Massive MIMO و شبکه MIMO سه بعدی در بازه‌های فرکانسی موج میلیمتری مورد استفاده قرار گیرند. به طور خاص، همانطور که در شکل نشان داده شده است، MIMO سه بعدی امکان ایجاد پرتوهای جداگانه در فضای سه بعدی را به صورت همزمان ایجاد می‌کنند، که تداخل بین سلولی را کاهش می‌دهد.

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.



شکل ۱۵- **ایجاد پرتوهای جداگانه با استفاده از Massive MIMO برای ایجاد چند مسیر موازی با تداخل کم**

در مقایسه با روش معمول MIMO دو بعدی، راه حل های سه بعدی MIMO می‌توانند ظرفیت کلی سیستم را ارتقا داده و تعداد بیشتری از کاربران را پشتیبانی کنند. به طور کلی، MIMO سه بعدی برای سناریوهایی مناسب است که در آن تعداد کاربران زیاد است و این امکان را فراهم می‌نماید که ایستگاه پایه در سه بعد و با زاویه‌های فراز مختلف، به کاربران سرویس دهد.

با توجه به ارتفاع زیاد ایستگاه‌های پایه مبتنی بر پهپاد، کاربران زمینی می‌توانند به راحتی در ارتفاعات مختلف و زاویه های فراز متفاوت، توسط ایستگاه پایه نصب شده روی پهپاد از یکدیگر تفکیک شوند. بنابراین، ایستگاه‌های پایه مبتنی بر پهپاد گزینه مناسبی برای استفاده از MIMO سه بعدی هستند به خصوص در فرکانس‌های موج میلیمتری که آنتنها ابعاد کوچکی دارند.

۳-۱-۷- پهپادها برای ارتباطات IOT

فن‌آوری‌های شبکه بی‌سیم به سرعت در حال تبدیل شدن به یک محیط عظیم IoT هستند که یک ترکیب ناهمگن از دستگاه‌های مختلف، از تلفن‌های هوشمند معمولی و تبلت‌ها گرفته تا وسایل نقلیه، سنسورها، پوشیدنی‌ها و غیره را شامل می‌شوند. تحقق برنامه‌های کاربردی مورد علاقه در IoT مانند مدیریت زیرساخت شهرهای هوشمند، مراقبت‌های بهداشتی، حمل و نقل و مدیریت انرژی نیاز به اتصال بی‌سیم مؤثر در بین تعداد زیادی از دستگاه IoT را دارد که باید با اطمینان داده‌های خود را تحویل دهند به گونه‌ای که در اغلب موارد، بایستی با سرعت بالا یا تأخیر

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

بسیار کم این انتقال داده صورت گیرد. ماهیت گسترده IoT نیاز به تجدید نظر اساسی در مورد نحوه عملکرد شبکه‌های متداول بی‌سیم (به عنوان مثال، سیستم های سلولی) دارد.

به عنوان مثال، در یک محیط IoT، راندمان انرژی، تأخیر فوق العاده کم، قابلیت اطمینان و ارتباطات با سرعت بالا به چالش‌های بزرگی تبدیل می‌شوند که به طور معمول در موارد استفاده از شبکه های سلولی اهمیت حیاتی ندارند. به طور خاص، دستگاه های IoT به دلیل محدود بودن در مصرف انرژی از نظر باتری بسیار محدود هستند و به طور معمول قادر به ارسال داده در مسافت طولانی نیستند. به عنوان مثال، در مناطقی که کاربران پوشش شبکه ناپایدار یا ضعیف دارند، دستگاه های IoT محدود به باتری، ممکن است به دلیل محدودیت‌های توان مصرفی، قادر به انتقال داده‌های خود به ایستگاه‌های پایه دوردست نباشند. علاوه بر این، با توجه به کاربردهای مختلف دستگاه‌های IoT، ممکن است در محیط‌هایی بدون زیرساخت بی‌سیم زمینی مانند کوه‌ها و مناطق بیابانی مستقر شوند.

استفاده از پهپادهای متحرک یک راه حل امیدوارکننده برای تعدادی از چالش‌های مرتبط با شبکه‌های IoT است. در سناریوهای IoT محور، پهپادها می‌توانند به عنوان ایستگاه‌های پایه هوایی مستقر شوند تا بتوانند ارتباطات IoT با قابلیت اطمینان بالا و با بازدهی انرژی بالا داشته باشند. در حقیقت، پهپادها به دلیل ماهیت هوایی و ارتفاع زیاد پروازی، می‌توانند در نقطه بهینه‌ای مستقر شوند تا اثراتی مانند shadowing و انسداد را کاهش دهند که از دلایل اصلی تضعیف سیگنال در لینک های بی‌سیم هستند. در نتیجه‌ی چنین قرارگیری مناسب پهپادها در فضای سه بعدی، کانال ارتباطی بین دستگاه‌های IoT و پهپادها می‌تواند به میزان قابل توجهی بهبود یابد. علاوه بر این، دستگاه‌های IoT با باتری محدود، برای انتقال داده‌های خود به پهپادها، به توان ارسالی کمتری نیاز دارند. به عبارت دیگر، پهپادها را می‌توان بر اساس مکان دستگاه‌های IoT، به گونه ای قرار داد که با استفاده از حداقل توان ارسالی، دستگاه‌های IoT با موفقیت به شبکه متصل شوند. همچنین، پهپادها می‌توانند با بروزرسانی پویای مکان‌های خود بر اساس الگوی فعال سازی دستگاه‌های IoT، در سیستمهای عظیم IoT مورد استفاده قرار گیرند. این برخلاف استفاده از ایستگاه‌های پایه زمینی مبتنی بر سلول‌های کوچک است که ممکن است برای سرویس دادن به دستگاه های IoT موجود، به تعداد زیادی ایستگاه پایه نیاز داشته باشند. از این رو، با بهره گیری از ویژگی‌های منحصر به فرد پهپادها، میزان اتصال و انرژی مصرفی شبکه های IoT می تواند به میزان قابل توجهی بهبود یابد.

۳-۱-۸- شهرهای هوشمند

تحقق یک چشم انداز جهانی از جوامع و شهرهای هوشمند، یک چالش فناوری عظیم است. شهرهای هوشمند باید به طور مؤثر، بسیاری از فن‌آوری‌ها و خدمات قبلاً ذکر شده از جمله یک محیط IoT (با خدمات بیشمار آن)، یک شبکه سلولی بی‌سیم قابل اعتماد و مقادیر عظیمی از داده‌ها را ادغام کنند. یکی از کاربردهای پهپادها در شهر هوشمند این است که می‌توانند به عنوان دستگاه‌های جمع آوری داده‌ها مورد استفاده قرار گیرند به گونه‌ای که حجم وسیعی از داده‌ها را در مناطق جغرافیایی مختلف یک شهر جمع آوری کنند و آنها را برای تجزیه و تحلیل، به واحدهای مرکزی تحویل دهند. از طرف دیگر، ایستگاه‌های پایه نصب شده روی پهپاد می‌توانند به سادگی برای افزایش پوشش شبکه سلولی در یک شهر یا پاسخ دادن به شرایط اضطراری خاص، مورد استفاده قرار گیرند. همچنین از پهپادها می‌توان برای سنجش نقشه‌های رادیویی محیطی در سطح شهر استفاده کرد تا به اپراتورهای شبکه در برنامه‌ریزی شبکه و برنامه‌ریزی فرکانسی کمک کند.

شکل ۱۶- چشم **اندازی از یک شهر هوشمند با استفاده از پهپادها**

یک کاربرد کلیدی دیگر استفاده از پهپادها در شهرهای هوشمند توانایی آنها به عنوان سیستم‌های محاسبات ابری متحرک است. در این راستا، یک محیط ابری قرار گرفته بر روی پهپاد می‌تواند برای دستگاه‌هایی که قادر به انجام کارهای سنگین محاسباتی نیستند، امکان محاسبه و بارگیری را فراهم کند. به طور کلی، پهپادها از منظر بی‌سیم و عملیاتی جزء جدایی ناپذیر شهرهای هوشمند خواهند بود.

۳-۲- انواع ارتباطات پهپاد

انواع ارتباطات پهپاد به دو دسته لینک‌های کنترلی و لینک‌های داده تقسیم می‌شود:

۳-۲-۱- لینک‌های کنترلی

لینک‌های کنترلی برای تضمین عملکرد ایمن همه پهپادها لازم هستند. این لینک‌ها باید ارتباطات دو طرفه با تأخیر کم، بسیار مطمئن و با امنیت بالا داشته باشند. این لینک‌ها معمولاً نرخ کمتری نسبت به لینک داده داشته و برای تبادل اطلاعات بسیار مهم ایمنی بین پهپادها و همچنین بین پهپادها و ایستگاه‌های کنترل زمینی (GCS) مورد استفاده قرار می‌گیرند. نسبت به لینک داده، حجم مطالعات انجام شده برای لینک‌های کنترلی بسیار کم است. اکثر پژوهش‌های انجام گرفته در این حوزه، ارتباطات داده و لینک بکهال تبادل داده‌ها بین پهپادها و GCS را مورد مطالعه قرار داده‌اند. بنابراین انجام مطالعات بیشتر در زمینه افزایش اطمینان و کاهش تأخیر در لینک‌های کنترلی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از کارهای خوب انجام شده در این زمینه، چارچوبی را برای فعال کردن ارتباطات با قابلیت اطمینان بالا و تاخیر بسیار کم (URLLC) در لینک‌های کنترلی برای سیستم‌های ارتباطی پهپاد ارائه می‌دهد. لینک‌های کنترلی را می‌توان به سه دسته طبقه بندی کرد:

- لینک‌های فرمان و کنترل از GCS به پهپادها
- گزارش وضعیت پهپاد از پهپادها به زمین
- لینک‌های کنترلی بین پهپادها برای جلوگیری از برخورد.

همچنین برای پهپادهای خودمختار، که می‌توانند مأموریت‌ها را با توجه به دستگاه‌های هوشمند و بدون کنترل لحظه‌ای انسان انجام دهند، در مواقع اضطراری و در صورتی که نیاز به مداخلات انسانی وجود دارد، لینکهای کنترلی از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

دو باند فرکانس برای لینک‌های کنترل اختصاص داده شده است، یکی در باند L در بازه فرکانسی 960-977 مگاهرتز و دیگری در باند C در بازه فرکانسی 5030-5091 مگاهرتز. به دلیل تأخیر، معمولا لینک‌های کنترل اصلی بین GCS به پهپادها ترجیح داده می‌شود، اما از لینک‌های کنترل ثانویه از طریق ماهواره نیز می‌توان به عنوان پشتیبان برای تقویت قابلیت اطمینان استفاده کرد. یکی دیگر از ملزومات مهم لینک‌های کنترلی، امنیت بالا است. به طور

خاص، باید از مکانیسم‌های امنیتی کارآمد استفاده شود تا از سناریوی کنترل توسط اپراتورهای غیرمجاز جلوگیری شود. این که پهپادها توسط اپراتورهای غیرمجاز و از طریق سیگنال‌های کنترلی یا ناوبری دیگری کنترل شوند شرایطی فاجعه بار خواهد بود. بر این اساس، تکنیک‌های احراز هویت عملی باید با تکنیک‌های امنیتی لایه فیزیکی در حال ظهور تکمیل شده و برای افزایش امنیت لینک‌های کنترلی مورد استفاده قرار گیرد. در مقایسه با لینک‌های داده، لینک‌های کنترلی معمولاً از نظر امنیت و زمان تأخیر تحمل کمتری دارند.

۳-۲-۲- لینک‌های داده

هدف از استفاده از لینک‌های داده، پشتیبانی از ارتباطات مربوط به کاربردها در پایانه‌های زمینی است که شامل ایستگاه‌های پایه زمینی، پایانه‌های متحرک، سنسورهای بی‌سیم و غیره می‌شود. خدمات ارتباطی ارائه شده توسط لینک‌های داده شامل موارد زیر می‌شود:

- ارتباط مستقیم موبایل-پهپاد
- ارتباط بی سیم بکهال برای ایستگاه پایه نصب شده روی پهپاد
- ارتباط بکهال بی‌سیم بین پهپادها.

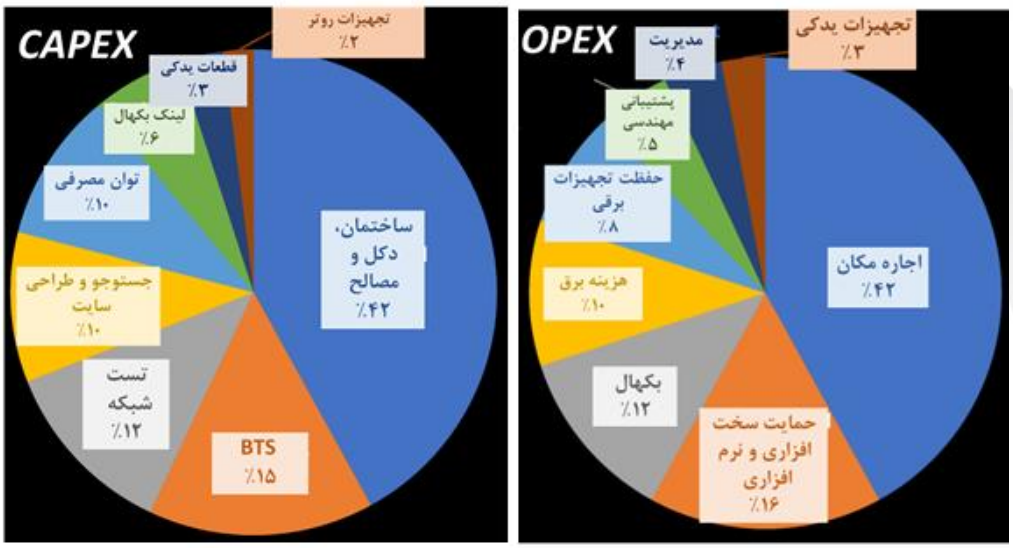
ظرفیت مورد نیاز لینک‌های داده بستگی به خدمات ارتباطی دارد که از ظرفیت کم (kbps) برای ارتباط با سنسورها تا سرعت بالا (Gbps) برای لینک بکهال را شامل می‌شود.

	امنیت	تاخیر	ظرفیت	باند فرکانسی
لینک کنترل	بالا	کم	کم	۹۶۰-۹۷۰ مگاهرتز در باند C ۵۰۳۰-۵۰۹۱ مگاهرتز در باند L
لینک داده	کمتر	بیشتر	بالا	از بازه فرکانسی ۴۵۰ مگاهرتز تا باندهای موج میلیمتری و حتی فرکانس‌های چندصد تراهرتز نوری

۳-۳- هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی

پیش‌بینی می‌شود شبکه‌های سلولی نسل بعدی ۵۰ برابر مقرون به صرفه تر از نسل۴ باشند. بنابراین، صرفه‌جویی در هزینه تبدیل به یک چالش بزرگ برای اپراتورهای شبکه‌های سلولی سنتی شده است. هزینه‌های اپراتورهای سنتی شبکه‌های سلول شامل هزینه‌های سرمایه (CAPEX) و هزینه‌های عملیاتی (OPEX) می‌باشد. CAPEX شامل تهیه،

طراحی و ساخت سایت، خرید،تست و راه اندازی تجهیزات و غیره است. OPEX از هزینه‌های مکرر مانند نگهداری و اجاره سایت، هزینه‌های پرسنل، برق و غیره تشکیل شده است. شکل زیر نمودار مربوط به CAPEX و OPEX را برای کشورهای توسعه یافته نشان می دهد.



شکل ۱۷- **نمودار مربوط به هزینه‌های سرمایه گذاری و عملیاتی کشورهای توسعه یافته**

همانطور که از شکل مشاهده می‌شود، اپراتورهای شبکه‌های سلولی بخش قابل توجهی از CAPEX خود را برای تملک و ساخت سایت صرف می‌کنند و در پی آن، هزینه‌های ایستگاه پایه، تست شبکه، توان و بکهال قرار دارد. با این حال، انتظار می‌رود که تجزیه و تحلیل CAPEX برای سلول‌های مبتنی بر پهپاد کاملاً متفاوت باشد. با پهپادهای حامل ایستگاه‌های پایه، هزینه‌های مربوط به سایت می‌تواند به میزان قابل توجهی کاهش یابد یا حتی به طور کامل برداشته شود. از طرف دیگر، هزینه‌های ایستگاه‌های پایه و آزمایش شبکه برای پهپادها در مقایسه با ایستگاه‌های پایه زمینی، به دلیل خرید و بهره برداری از پهپادها افزایش می‌یابد. به طور کلی، به دلیل کاهش چشمگیر هزینه‌های مربوط به سایت، ایستگاه‌های مبتنی بر پهپاد دارای پتانسیل کاهش CAPEX برای اپراتورهای شبکه‌های سلولی هستند، که در حال حاضر سهم عمده‌ای از CAPEX را به تملک، ساخت سایت و دکل ارتفاع بلند اختصاص می‌دهند.

از نظر OPEX، هزینه‌های مربوط به سایت نیز سهم عمده‌ای را به خود اختصاص می‌دهد. اگر اپراتورها مالک سایتهای خود نباشند، اجاره سایت باعث افزایش این درصد می‌شود. همانطور که از شکل بالا مشاهده می‌شود، اجاره زمین تا ۴۲٪ از OPEX اپراتورها در کشورهای توسعه یافته را تشکیل می‌دهد.

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که به دلیل کمبود سایت و سخت‌تر شدن مقررات زیست محیطی، اجاره سایت به طور فزاینده‌ای گران می‌شود. علاوه بر این، تکنیک‌های امیدوارکننده در نسل پنجم مانند استقرار سلول‌های کوچک با تراکم بسیار بالا باعث می‌شود هزینه اجاره سایت حتی بیشتر شود زیرا تعداد بسیار بیشتری از ایستگاه‌ها مورد نیاز خواهند بود. هنگام استفاده از ایستگاه‌های مبتنی بر پهپاد، گرانترین قسمت OPEX می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد ولی در ازای آن هزینه‌ی بالاتری در خصوص مصرف انرژی و همچنین بکهال تحمیل خواهد شد. همچنین برخی از هزینه‌های اضافی مانند هزینه ثبت نام سالانه پهپادها، بیمه پرواز و تعویض باتری آنها وجود خواهد داشت. در مقایسه با سلول‌های سنتی مجهز به ایستگاه‌های زمینی، مدل هزینه برای سلول‌های مبتنی بر پهپاد در حال تغییر است. با نصب ایستگاه بر روی پهپاد، هر دو پارامتر CAPEX و OPEX برای اپراتورها می‌توانند با صرفه جویی در هزینه‌های مربوط به سایت، به میزان قابل توجهی کاهش پیدا کنند، که به بهبود قابل توجهی از هزینه برای اپراتورهای سنتی کمک می‌کند. علاوه بر این، هنگام استفاده از ایستگاه‌های زمینی یا رله‌ها برای گسترش پوشش سلولی، سازمان‌دهی مجدد سلول لازم است و می‌تواند هزینه بالایی داشته باشد. در عوض با استفاده از پهپادها می‌توان این هزینه را به کلی از بین برد. علاوه بر این، مدل‌های جدید تجاری نیز ممکن است ظهور پیدا کنند. به عنوان مثال، استقرار ایستگاه‌های مبتنی بر پهپاد می‌تواند بر اساس حرکت متغیر با زمان کاربران شبکه تغییر کند، که می‌تواند با وسایل حمل و نقل آسان و ارزان مانند سیستم‌های حمل و نقل عمومی (به عنوان مثال قطارها و اتوبوس ها) حاصل شود.

۳-۴- برنامه ریزی شبکه های سلولی مبتنی بر پهپادها

برنامه ریزی شبکه شامل رسیدگی به تعدادی از مشکلات کلیدی مانند موقعیت‌یابی ایستگاه پایه، تخمین ترافیک، تخصیص فرکانس، ارتباط با ایستگاه، مدیریت بکهال، سیگنالینگ و کاهش تداخلات است. هنگام استفاده از پهپادها برای افزایش پوشش و ظرفیت، برنامه ریزی شبکه با پهپادها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در یک شبکه سلولی با کمک پهپاد، برنامه ریزی شبکه به دلیل ویژگی‌های مختلف پهپادها از جمله تحرک، تداخل دید مستقیم، محدودیت‌های انرژی و اتصال بی‌سیم بکهال چالش برانگیزتر است. علاوه بر این، برنامه ریزی شبکه‌ای با حضور پهپادهای کاربر در حال پرواز، نیاز به ملاحظات جدید دارد. از یک طرف، تداخل دید مستقیم ناشی از تعداد بالایی از

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

پهپادهای کاربر به طور چشمگیری بر برنامه ریزی شبکه تأثیر می‌گذارد. از طرف دیگر، ایستگاه‌های پایه زمینی باید به انواع آنتن‌های مناسب (برای مثال، با الگوی تابش و زاویه پرتو مناسب) مجهز باشند تا بتواند پهپادهای کاربر در لینک فروسو را پوشش دهند. تفاوت دیگر بین برنامه ریزی شبکه برای شبکه‌های سنتی سلولی و سیستم‌های پهپادی، میزان سیگنالینگ و سربار است. برخلاف شبکه‌های استاتیک زمینی، در مورد پهپادها، برای ردیابی مداوم مکان و تعداد پهپادها در شبکه، نیاز به سیگنالینگ پویا وجود دارد. چنین سیگنالینگ پویایی ممکن است برای ثبت پهپادهای مختلف به عنوان کاربر یا ایستگاه‌های پایه در سیستم سلولی نیز لازم باشد. واضح است که باید در برنامه ریزی شبکه سلولی با پهپادها، چنین سیگنال و سربارهایی در نظر گرفته شود.

اتصال بکهال برای پهپادها یکی دیگر از چالش‌های اساسی در طراحی سیستم‌های ارتباطی پهپاد است. با توجه به ماهیت هوایی ایستگاه‌های پایه، برای اتصال آنها به یک شبکه اصلی نیاز به بکارگیری بکهال بی‌سیم وجود دارد. فن‌آوری‌های WiFi و ماهواره‌ای راه حل‌های اولیه برای بکهال بی‌سیم پهپادها هستند. لینک‌های ماهواره‌ای می‌توانند پوشش گسترده‌تری را در مقایسه با WiFi فراهم کنند. با این وجود، لینک های WiFi در مقایسه با بکهال ماهواره از مزایای هزینه و تأخیر کمتر برخوردار هستند. راه حل‌های پیشنهاد شده دیگر برای بکهال بی‌سیم، موج میلی متری و ارتباطات نوری فضای آزاد (FSO) است. ایستگاه های پایه هوایی می‌توانند ارتفاع خود را تنظیم کنند، از موانع جلوگیری کنند و لینک‌های ارتباطی دید مستقیم را به ایستگاه های زمینی برقرار کنند. دید مستقیم یک نیاز اصلی برای موج میلی متری و ارتباطات FSO است که می‌تواند خدمات بکهال بی‌سیم با ظرفیت بالا را ارائه دهد. البته بکارگیری بکهال بی سیم برای پهپادها هنوز یک مشکل چالش برانگیز در ارتباطات پهپاد است و برای یافتن یک راه حل کارآمد برای بکهال باید مطالعات بیشتری انجام شود.

۴- جمع بندی و ارائه پیشنهاد

یکی از **مهمترین و سودآورترین کاربردهای غیرنظامی پهپادها در آینده، استفاده از آنها جهت ارائه پوشش مخابراتی است به گونه‌ای که استفاده از پهپادها را نقطه عطفی در نسل‌های مخابراتی آینده می دانند.**

با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد پهپادها جهت تسهیل و گسترش ارتباطات در نسل‌های آینده شبکه‌های ارتباطی و به خصوص IoT و همچنین ارزش افزوده بالای اقتصادی؛ شرکت‌ها و غول‌های بزرگ ارتباطی در یکی دو سال اخیر سرمایه گذاری کلانی در این حوزه انجام داده‌اند.

در حال حاضر یکی از پروژه‌های مهم وزارت ارتباطات، پروژه بالن مربوط به پژوهشگاه فضایی به منظور ارائه پوشش مخابراتی می‌باشد که در ارتفاع ۱۰۰ تا ۵۰۰ متری قرار می‌گیرد و با حمل محموله مخابراتی توانایی ارایه سرویس مخابراتی را دارد و در شرایط مدیریت بحران نیز بسیار کاربردی می‌باشد. این فن‌آوری در چند سال گذشته در زمان پیاده‌روی اربعین در مرز مهران و همچنین زلزله کرمانشاه بکارگیری شده است و نتایج ارزشمندی نیز بدست آمده است. اگرچه هدف این پروژه جهت ارائه سرویس برای موارد بحرانی است که زیرساخت‌های مخابراتی از دسترس خارج شده‌اند، اما در پیاده‌سازی‌های انجام شده بدلیل محدودیت‌های موجود، تا کنون بالن مخابراتی کاملا وابسته به زیرساخت مخابراتی در ناحیه بحران بوده است. درحالی که در شرایط بحران ممکن است که تا شعاع چند ده کیلومتری ناحیه بحران، زیرساخت مخابراتی از دسترس خارج شده باشد.

علاوه بر بالن‌های مقید، پهپادها نیز در زمینه برقراری ارتباط در شرایط خاص بسیار کاربردی هستند. بالن‌های مقید با وجود ویژگی‌های منحصر به‌فرد از جمله توانایی حمل بار بیشتر و مدت زمان پروازی بیشتر، قابلیت مانور بسیار کمتری را نسبت به سایر پهپادهای موتور دار دارند. سرمایه‌گذاری روی پهپادهای موتوردار مانند quad-copter ها می‌تواند مکمل خوبی برای بالن‌های مقید باشد به گونه‌ای که با تغییر موقعیت به صورت پویا می‌توانند قابلیت مانور را برای نیروهای امدادگر در شرایط بحران افزایش دهند. البته استفاده از پهپادهای موتور دار با محدودیت وزن محموله روبرو بوده و نیاز به طراحی دقیق‌تری بسته به کاربرد مورد نظر دارد.

با عنایت به بررسی های انجام شده، پیشنهاد می شود که برنامه ریزی جهت بهره برداری از ظرفیت پهبادها در شبکه مخابرات کشور مورد توجه قرارگیرد. به این منظور برخی از مهمترین الزامات مربوطه به صورت زیر پیشنهاد می شود:

- **الزامات تنظیم مقررات کاربرد پهبادها در بخش های مختلف**
- **طراحی بهینه سیستم مخابراتی برای برقراری ارتباط از طریق پهپاد**

- **کاربردپذیری بالن های مخابراتی در کلیه شرایط و موقعیت ها**

پخش و استفاده از محتویات گزارش‌های عمومی در صورت ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات بلامانع است.

نشانی: تهران، انتهای کارگر شمالی،
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات،
معاونت پژوهش و توسعه ارتباطات علمی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶