

## بررسی روش‌های تامین انرژی پهبادهای راهکار به صرفه و صنعتی افزایش مداومت پروازی بدون تامین هزینه طراحی منبع انرژی مازاد

تاریخ دریافت: ۱۳/۰۹/۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۸/۰۹/۱۴۰۲

کد مقاله: ۷۹۹۰۸

محمد امین فرهمندفر<sup>۱</sup>، علی محمد شیروانی<sup>۲</sup>

### چکیده

پهبادهای معمولاً با سناریوهای عملیاتی و پروازی متفاوتی طراحی می‌شوند که یکی از اهداف و سناریوهای طراحی این قبیل وسایل شناسایی و گشت پروازی با اتکا بر امر شناوری بر روی نقاط هدف است. مداومت پروازی همواره یکی از اصلی‌ترین مباحث طراحی ماشین‌های پرنده بوده است که به سبب مداومت پروازی بالا می‌توان پروفیل‌های ماموریتی گسترده‌تری را برای پرنده در نظر گرفت. در عصر حاضر معمولاً قدرت پیشران ماشین‌های پرنده، توسط سیستم‌های الکتریکی و باتری‌ها تامین می‌شود. بدین منظور تامین انرژی مناسب برای افزایش مداومت پروازی چالشی در امر طراحی خواهد بود که در برآورده سازی نسبت تراست یا توان بر وزن و سایر پارامترهای اساسی دچار مشکل خواهد نمود. گاهی این پهبادهای با هدف حمل وسایل خاص طراحی می‌شوند که تامین انرژی به قیمت افزایش وزن به معنای کاهش وزن قابل حمل خواهد بود. در مجموعه طراحی‌های انجام شده در دنیا از روش‌های مختلفی برای این تامین انرژی استفاده می‌شود از جمله سوخت فسیلی، باتری در انواع مختلف حتی باتری‌های اتمی، پیزوالکتریک‌ها و سلول‌های خورشیدی و... که در این مقاله به ارائه روش منطقی و کم هزینه برای تبدیل این سامانه‌های طراحی شده به سیستم‌های شارژ سریع و بی‌سیم برای افزایش بهره‌وری و مداومت پروازی پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: پهباد، طراحی، مداومت پروازی، تامین انرژی، ارتقا، شارژ بی سیم

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

fmaf.farahmand@aut.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد، مجتمع مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

طی سالیان اخیر وسایل هوایی به ویژه پهپادها و مولتی روتورها در بسیاری از کاربردهای صنعتی و نظامی برای اهدافی چون نظارت، نگهداری، تحویل و امداد و نجات مورد استفاده قرار گرفته اند. [۱ و ۲] پهپادها معمولاً در ابعاد بزرگ و برای عملیات‌های تاکتیکی تهاجمی و سرعت بالا از پیشران‌های رم جت، توربو جت و جت استفاده می‌کنند اما در عملیات‌های شناسایی، نظارت و ... سرعت پایین تری مد نظر بوده و برای این موارد از پیشران‌های ملخی استفاده می‌شود. پیشران‌های ملخی در مواردی نادر و تنها در کشورهای آمریکا و روسیه از باتری‌های اتمی در دست توسعه استفاده می‌کنند اما اغلب از باتری‌های ساده استفاده می‌شود که تنها در مواردی برای به تعویق افتادن زمان شارژ کامل از وسایل تامین انرژی چون پیزو الکتریک‌ها و سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شود. با این حال، اتمام منبع انرژی داخل پهپاد مهم‌ترین محدودیت در مأموریت‌های مداوم هر وسیله نقلیه هوایی است. مصرف جریان بالا توسط موتورها و باتری‌ها که اغلب سنگین هستند، عوامل محدود شدن عملیات هستند که به شکل کاهش زمان پرواز پهپاد نمایان می‌شود.

مولتی کوپتر به عنوان طرح مدنظر در این مقاله، یک پهپاد مولتی روتوری است که تحرک و حرکت بالایی دارد. برآ و رانش توسط پروانه‌های نصب شده بر روی موتورهای DC ایجاد می‌شود. مولتی روتورها با مانورپذیری بالا و اندازه کوچک و قابلیت VTOL (برخاست و فرود عمودی) می‌توانند در مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند. مشابه هلیکوپترهای معمولی، مولتی روتورها می‌توانند شناور شوند اما مزایای مهم دیگری مانند سهولت در هدایت و کنترل دارند. با این حال، مهم‌ترین محدودیت در هر وسیله‌ای هوایی برای مأموریت‌های مداوم، محدودیت منبع انرژی آن است. به دلیل نیاز موتورها به جریان زیاد، زمان پرواز یک مولتی کوپتر بسیار محدود است که عملیات طولانی مدت را ممنوع می‌کند. انرژی مورد نیاز برای انجام پرواز در یک باتری ذخیره می‌شود که اغلب سنگین است و بنابراین زمان پرواز مولتی کوپتر را محدود می‌کند. حتی با یک باتری کاملاً شارژ شده در یک محیط کنترل شده، مولتی کوپتر قادر است تنها برای چند دقیقه پرواز کند. اگر الحاقات دیگری مانند دوربین یا نوعی دستگاه اندازه گیری توسط مولتی روتور حمل شود، مدت زمان پرواز کاهش می‌یابد. بنابراین، نیاز آشکار به شارژ باتری مولتی کوپتر اغلب برای یک عملیات طولانی مدت وجود دارد. در پرواز مولتی روتورها حتی با یک باتری کاملاً شارژ شده تنها به چند دقیقه محدود می‌شود. اضافه شدن هر محموله دیگر باعث کاهش بیشتر زمان پرواز خواهد شد. بنابراین، نیاز به شارژ باتری پهپادها به صورت یک سیکل متداول و پیوسته مشهود است. [۳] به طور معمول، فرآیند شارژ مجدد همراه با مداخله مستقیم نیروی انسانی است که لزوم طراحی سیستم شارژ مجدد مستقل را ایجاد آشکار می‌سازد که منجر به عملیات پرواز بدون وقفه می‌شود. فناوری‌های شارژ بی سیم به دلیل پتانسیل زیادی که در آزادسازی دستگاه‌ها از سیم و باتری دارند، توجه زیادی را از سوی دانشگاه و صنعت به خود جلب کرده‌اند و در سال‌های اخیر به یکی از حوزه‌های تحقیقاتی کلیدی تبدیل شده‌اند. پلتفرم‌های زیادی بر اساس فناوری‌های شارژ مختلف برای طیف گسترده‌ای از سناریوها طراحی شده‌اند. با این حال، این پلتفرم‌های موجود را نمی‌توان به سرعت مستقر کرد و که در نتیجه هزینه استقرار بالایی را به همراه دارند [۴].

در سال ۲۰۱۸ پژوهشی بر روی سیستم ذخیره انرژی انجام گرفت که در آن، از روش شبیه‌سازی برهم‌کنش انبار نورد الکتریکی و سیستم کشش الکتریکی استفاده شد. نتایج پردازش آماری نمودارهای دریافتی تغییر ولتاژ و حجم کار واحدهای ذخیره سازی، تأثیر واحدهای ذخیره انرژی الکتریکی بر پارامترهای انرژی اصلی کار سیستم کشش الکتریکی نشان داده شد. بر اساس داین داده‌ها توزیع‌های فرکانسی برای حجم‌های انرژی الکتریکی، مدت زمان اییزودهای کار واحد ذخیره سازی، ارزیابی شدت انرژی در حالت‌های شارژ و دشارژ، ارزیابی شدت انرژی، ظرفیت و زمان عملیات واحد ذخیره سازی انرژی الکتریکی، مفاد اساسی روش برای تعیین ظرفیت واحد ذخیره انرژی الکتریکی و شدت انرژی در سیستم کشش الکتریکی با توجه به چرخه کار، شرایط تغییر رژیم‌های شارژ و دشارژ در نظر گرفته شد [۵].

پژوهشگران در بررسی مفاهیم شارژ مجدد خودکار پهپادها برای افزایش مداومت و زمان پرواز هستند که با الهام از سکوهای شارژ خودکار به عنوان ربات‌هایی مستقر در ایستگاه‌های زمینی برای از سرگیری شارژ یا استفاده از ایستگاه‌های تعویض پیک باتری برای کوادکوپترها و بالگردهای بدون سرنشین است. [۶، ۷، ۸ و ۹] ربات طراحی شده در ماساچوست ایالات متحده آمریکا به نام iRobot با نام تجاری "Romba" به صورت کفی با قابلیت شارژ است که به مانند اسکله شارژ متحرک است با این حال این طرح زیاد موفق نبوده است. [۱۰ و ۱۱] چرا که مسئله فرود بر این سکوهای شارژ در شرایط هوای ناپایدار و وزش بادهای سمت و سایر عوامل ناپایداری پروازی منجر به چالش سامانه‌های خلبان خودکار می‌شوند. به این سامانه‌های سکو متحرک اصطلاحاً سامانه‌های مبتنی بر تماس گفته می‌شود چرا که حتماً بایستی پهپاد در تماس با سطوح باشد. [۱۲ و ۱۳] بدین منظور گیرنده‌های سیستم موقعیت‌یاب جهانی GPS بیشتر برای ناوبری پهپادها در محیط‌های بیرونی استفاده می‌شود که گاهی برای رهیافت بهتر از مختصات سایت با همان DGPS استفاده می‌شود که دقیق‌تر است اما وزن بیشتری دارد و در کارهای عمیق‌تر و دقیق‌تر از حسگرهای دوربینی مبتنی بر هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های بصری برای فرود استفاده می‌شود. [۱۴، ۱۵ و ۱۶] اما با این وجود کنترل فرود پهپاد، دشوار است.

در حال حاضر انتقال انرژی بی سیم WPT در وسایل هوشمندی نظیر گوشی‌ها، ساعت‌ها و دستگاه‌های الکترونیکی محبوب است. [۱۷، ۱۸] در این روش از القا شدید مغناطیسی برای انتقال برق بی سیم استفاده می‌شود و معمولاً تا شعاع ۲ متر کارایی

مناسب و کارآمدی دارد. در پژوهش‌های مختلفی این فعالیت بروی انواع پهنادهای پیاده سازی شده که در غالب سکوهای شارژر بیسیم و یا بازوهای رباتیک برای فرود شارژر بی سیم و ... بوده است که برای شناسایی، ردیابی و نزدیک شدن پهناد پس از فرود به شارژر القایی ارائه است و تمامی این پروژه‌ها موفقیت آمیز بوده است. [۱۹، ۲۰]

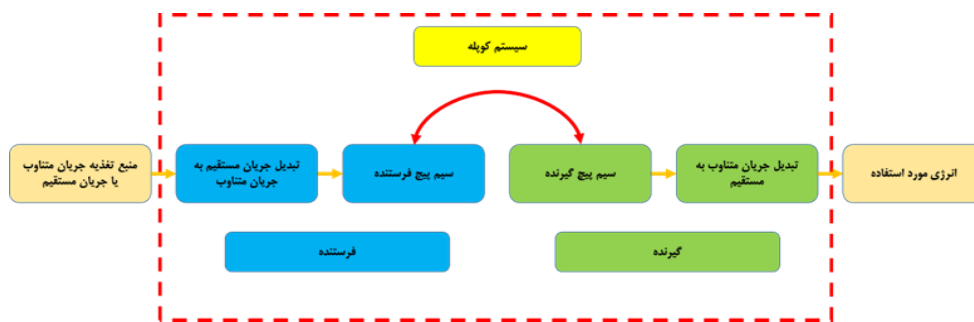
در این پژوهش با هدف کاهش هزینه‌های ساخت و قابلیت اجرا برای پهنادهای موجود به ارائه روشی مبتنی بر ساختارهای اصلی پرداخته شده است تا نیاز به روش فرود خودکار و الزام پرنده نسبت به فرود برای شارژر از بین رود.

## ۲- روش‌های تامین انرژی سیستم پیشران برقی

انتقال انرژی سیستم پیشران برقی غالباً از روش تامین انرژی به وسیله باتری است اما در مواردی از سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شود که در این قبیل پهنادهای سطح راداری به جهت تامین نیاز افزایش می‌یابد که بیشتر مصارف را متمرکز بر ماموریت‌های گشت، هواشناسی و نقشه برداری خواهد نمود. در برخی موارد برای تامین انرژی ثانویه سیستم از پیزوالکتریک‌ها استفاده می‌شود در این روش سطح پهناد از مواد پیزوالکتریک تشکیل شده که برای شروع حرکت انرژی مورد نیاز سیستم از باتری اولیه تامین شده و سپس از طریق حرکت در هوا و تغییرات سطوح و یا اصطکاک بدنه با هوا که منتج بر تغییر کرنش پوسته می‌شود انرژی مورد نیاز تامین می‌گردد. اغلب پهنادهای تولید شده به این روش بسیار گران قیمت و در فاز آزمایشی هستند. برخی پهنادهای برای تامین انرژی بیسشتر به صورت ترکیبی از دو سیستم استفاده می‌کنند که بدین منظور هزینه تعمیر و نگهداشت سامانه‌ها افزایش می‌یابد. یکی از کم هزینه‌ترین روش‌ها تبدیل سیستم به سیستم شارژر القایی است که بدین منظور با ترکیب سامانه شارژر القایی و ایجاد ماژول مورد نظر در پهناد منجر به ارتقا هر پهنادی به این فناوری خواهد بود. این روش می‌تواند مبتنی بر سکوهای شارژر معین بوده و یا با استفاده از حرکت در مسیر دکل‌های برق با استفاده از رعایت سرعت و فاصله ایمن به صورت خودکار به شارژر سیستم پرداخت که این حالت مطلوب‌ترین روش برای پهنادهای عیب یابی سیستم‌های برقی، نقشه بردار و گشت هوایی است.

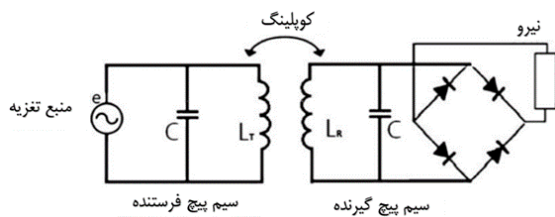
## ۳- انتقال انرژی بی سیم

انتقال برق بی سیم از طریق فاصله یا شکاف هوایی بین فرستنده و گیرنده منتقل می‌شود. رزونانس انتقال توان القایی شکلی از کوپلینگ القایی است که در آن توان به وسیله میدان‌های مغناطیسی بین فرستنده و گیرنده منتقل می‌شود. این سیستم عمدتاً از دو سیم پیچ تشکیل می‌گردد که انرژی را از طریق یک میدان مغناطیسی نوسانی به گیرنده منتقل می‌کند. با توجه به نوع پهناد که از سکو شارژر یا حرکت در راستای دکل برق باشد منبع تغذیه می‌تواند جریان مستقیم DC یا جریان متناوب AC باشد که با حرکت در این راستا در سیم پیچ گیرنده جریان متناوب AC شکل خواهد گرفت. با توجه به لزوم شارژر باتری سیستم توسط جریان مستقیم در استفاده از سیستم الکترونیک این جریان متناوب به جریان مستقیم مورد نیاز سیستم تبدیل می‌شود.



شکل ۱- بلوک دیاگرام انتقال برق بی سیم معمولی

سلف‌های جفت شده غیر رزونانسی، مانند ترانسفورماتورهای معمولی، به یک هسته مغناطیسی نیاز دارند و نیاز دارند که میدان مغناطیسی توسط سیم ثانویه در یک محدوده کوتاه به اندازه کافی پوشش داده شود. فواصل زیاد و تلفات مقاومتی باعث می‌شود که جفت القایی غیر رزونانسی بسیار ناکارآمد باشد که می‌توان با استفاده از کوپلینگ رزونانسی سیم پیچ‌ها آن را بهبود بخشید. برای کوپلینگ رزونانسی، یک مدار LC متشکل از یک سلف (سیم پیچ) و یک خازن در طرف فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود که در فرکانس یکسان اتفاق می‌افتد که امکان انتقال توان قابل توجه بین سیم پیچ‌ها را در محدوده چند برابر قطر سیم پیچ در حد معقول می‌دهد. بهره وری یک مدار رزونانسی اولیه مورد استفاده برای کوپلینگ رزونانسی و انتقال توان با استفاده از منبع AC در شکل ۲ نشان داده شده است. [۳]

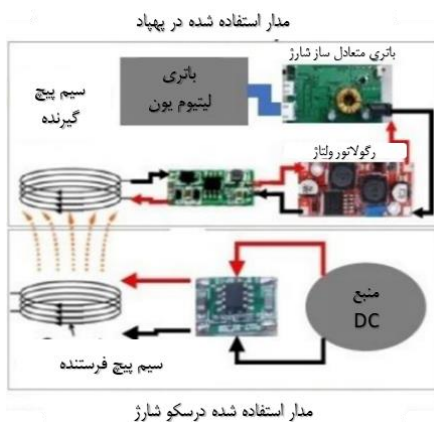


شکل ۲- بلوک دیاگرام مدار انتقال برق بی سیم معمولی

برای انتقال انرژی به سیم پیچ در انتهای فرستنده، باید یک ورودی DC رابه خروجی AC تبدیل کرد زیرا القای متقابل فقط با جریان AC اتفاق می‌افتد. بدین منظور نیاز به طراحی اینورتر است که ورودی DC رابه خروجی AC تبدیل کند. این اینورتر باید طوری طراحی شود که تلفات تبدیل را به حداقل برساند و توان ورودی را با حداکثر بازده تبدیل کند. پس از القای توان موفقیت آمیز، جریان AC منتقل شده از طریق یک مدار پل اصلاح می‌شود. فیلتراسیون جریان DC تصحیح شده امکان استفاده از توان انتقال بی سیم را برای بار خروجی مانند باتری پهناد فراهم می‌کند. [۳]

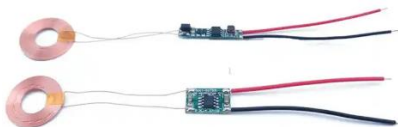
#### ۴- پیکربندی سیستم برای اجرای ماموریت شارژ

در این پژوهش از پهناد مدل AR.Drone 2.0 که مجهز به GPS و دوربین نیز می‌باشد استفاده شده است این دوربین و حسگرها باید به عنوان حسگر اصلی استفاده شوند تا با استفاده از داده‌های بصری و ... محل دقیق سکو شارژ شناسایی و در نقطه مورد نظر هدایت فرود صورت پذیرد تا سیستم شارژ شود. این پهناد با استفاده از دسترسی بی سیم به شبکه می‌تواند دستورات کنترلی، داده‌های پرواز و ویدئو را دریافت کند. این نسخه از پهناد دارای باتری با ظرفیت ۵۰۰ میلی آمپر ساعت است، این پهناد طوری برنامه ریزی شده است که به نقطه مقصد پرواز کند و در طول پرواز، پهناد سکو شارژ را که در راه است شناسایی و ردیابی نماید. هنگامی که پهناد ایستگاه شارژ را شناسایی کرد، فرود آمده و فرآیند شارژ آغاز می‌شود. سکو فرود دارای سیم پیچ‌های فرستنده و تجهیزات الکترونیکی انتقال توان القایی برای تغذیه شارژر است. سکو شارژ با منبع تغذیه خارجی تغذیه می‌شود.



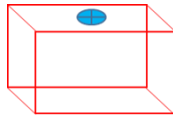
شکل ۳- شماتیک مدار استفاده شده در پهناد و سکو

به منظور انجام موفقیت آمیز شارژ پهناد، یک سکو شارژ بی سیم با استفاده از یک ماژول شارژ بی سیم مبتنی بر آی سی ElecFreaks (510-XKT) ساخته شده است که این آی سی دارای محدوده ولتاژ وسیع ۳ تا ۱۵ ولت مستقیم در سمت فرستنده است. حداکثر جریان در پیک راندمان هر ماژول ۰.۸ آمپر است. حداکثر انتقال توان بی سیم خروجی ۱۰ وات خواهد بود در حالیکه قطر بیرونی و داخلی سیم پیچ فرستنده و گیرنده به ترتیب ۲۲ میلی متر و ۱۰ میلی متر با اندوکتانس  $20\mu H$  است. محدوده دمایی عملیاتی در منفی ۵۵ درجه سانتی گراد تا ۱۲۰ درجه خواهد بود.



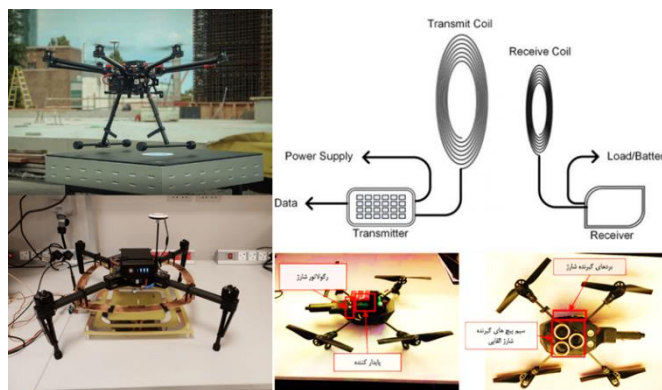
شکل ۴- ماژول شارژ بی سیم مبتنی بر آی سی XKT-510

سکوی فرود که همان ایستگاه شارژ بی سیم است از یک ظرف محافظ با لوازم الکترونیکی شارژ بی سیم تشکیل شده است. سه ماژول شارژ بی سیم مبتنی بر آی سی مذکور برای منبع تغذیه به باتری با ظرفیت بالا متصل می‌شوند که در داخل ایستگاه موجود است. سیم پیچ‌های فرستنده بر روی درب خارج از محفظه شارژ بی سیم نصب می‌شوند، که سپس پهپاد با دریافت مشخصه‌های بصری درج شده بر روی ایستگاه فرود آمده و شارژ خواهد شد.



شکل ۵- شماتیک سکوی فرود و مشخصه بصری شناسایی سکوی

پهپاد مذکور اصلاح شده و به قابلیت شارژ بی سیم مجهز شده که سه سیم پیچ گیرنده که به صورت سری به هم متصل شده اند در قسمت پایین بدنه نصب شده‌اند. (شکل ۶) هر سه مدار گیرنده با مدارهای فرعی یکسوکننده یکپارچه محافظت شده و با یک عایق آب بندی شده و در کناره‌های بدنه پهپاد نصب می‌شوند. خروجی حاصل از مدارهای گیرنده از ۳۶ ولت به ۱۲ ولت با یک تنظیم کننده ولتاژ که در بالای بدنه نصب شده است، تبدیل می‌شود. خروجی پایدار و فیلترشده از مدار تنظیم کننده ولتاژ و دارای یک مدار فرعی فیلتر برای خروجی ولتاژ پایدار است. هنگامی که یک پهپاد بر روی ایستگاه شارژ بی سیم فرود می‌آید، شارژر تعادل با سیستم شارژ بی سیم روی برد تغذیه می‌شود و شروع به شارژ باتری خود می‌کند. در همان زمان، کنترلر پهپاد ولتاژ باتری را کنترل می‌کند که از طریق رایانه از راه دور قابل دسترسی است. هنگامی که وضعیت شارژ کلی باتری به ۱۰۰٪ نزدیک شود، فرمان برخاستن به پهپاد ارسال می‌شود و ادامه ماموریت را از سر می‌گیرد.



شکل ۶- مولتی روتور مجهز به سیستم شارژ القایی

لازم به ذکر است در این قبیل طراحی‌ها بررسی سیستم فرود خودکار از اهمیت بالایی برخوردار است که پایداری و کنترل پهپاد را در بر می‌گیرد. در این پژوهش هدف بررسی پایداری پهپاد مذکور در طراحی سیستم فرود نبوده است اما در دانشگاه کینگز استون انگلستان طی پژوهشی به بررسی پایداری فرود خودکار همین مدل پهپاد پرداخته شده است. [۱۹]

## ۵- بحث و نتیجه گیری

ابتدا با توجه به شناخت موضوع شروع به جمع آوری اطلاعات در مورد موضوع شده و در همین مرحله با استفاده از تصاویر موجود در پایگاه داده برای نمونه‌ی خارجی این دستگاه شروع به شناخت سامانه‌ها و تجهیزات مورد استفاده شده در دستگاه گردیده است. حال از طریق شناخت بدست آمده و نیاز موجود در صنعت مبنی بر افزایش مداومت پروازی از طریق پیشبینی مهندسی برای از بین بردن نیاز به فرود یا تعویض باتری به طراحی پروژه حاضر پرداخته شده است. در این روش پهپاد جهت افزایش مداومت پروازی و افزایش برد می‌بایست در سکوهایی تعبیه شده برای شارژ القایی فرود آمده و پس از شارژ کامل به ادامه ماموریت بپردازد البته با الهام از این روش می‌توان مداراتی را تعبیه نمود تا از طریق حرکت خودکار در مسیر خطوط انتقال برق، پهپاد به تامین شارژ باتری خود از طریق روش شارژ القایی بپردازد که در این صورت زمان مورد نیاز برای فرود و یا عامل وجود سکوی در مسیرهای پروازی و یا افزایش دقت خلبان خودکار، سیستم پایداری و ... برای روش سکوی شارژ دیگر مسئله نبوده و عمده هزینه‌ها و تلفات را کاهش داده و منجر به افزایش بهره‌وری خواهد بود. در حالت کلی از میان تمام روش‌های استفاده شده برای حل این معضل شامل استفاده از پیژوالکتریک‌ها، سلول‌های خورشیدی و باتری‌های اتمی؛ دو روش اشاره شده در فوق قابلیت اجرایی با کمترین هزینه را برای تمامی پهپادهای دارای پیشران الکتریکی فراهم نموده و زیر ساخت استفاده از آن در سطح کشور مهیا می‌باشد. از این

فناوری در راستای ماموریت‌های گشت زنی، امور هواشناسی، فیلم برداری، نقشه کاوی، تعمیرات خطوط برق و ... استفاده می‌گردد و باز آفرینی نقشی موثر در ماموریت‌های محوله با مداومت پروازی بالا را دارد.

## منابع

1. Mahony, R.; Kumar, V. Aerial robotics and the quadrotor [from the guest editors]. *IEEE Robot. Autom. Mag.* 2012, 19, 19.
2. Lima, P.; Ribeiro, M.I. Santos-victor the rescue project-cooperative navigation for rescue robots. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Advances in Service Robotics*, Verona, Italy, 13–15 March 2003.
3. Junaid, A.B.; Lee, Y.; Kim, Y. Design and implementation of autonomous wireless charging station for rotary-wing UAVs. *Aerosp. Sci. Technol.* 2016, 54, 253–266.
4. Chen, Jiming, Songyuan Li, Shuo Chen, Shibo He, and Zhiguo Shi. "Q-charge: A quadcopter-based wireless charging platform for large-scale sensing applications." *IEEE Network* 31, no. 6 (2017): 56-61.
5. Nezevak, Vladislav, Vasily Cheremisin, and Andrey Shatokhin. "Assessment of energy intensity of the drive for traction power supply system." In *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*, pp. 524-538. Cham: Springer International Publishing, 2018.
6. Dale, D.R. *Automated Ground Maintenance and Health Management for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles*. Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2007.
7. Valenti, M.; Dale, D.; How, J.; Pucci de Farias, D.; Vian, J. Mission health management for 24/7 persistent surveillance operations. In *Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit*, Hilton Head, SC, USA 20–23 August 2007.
8. Silverman, M.C.; Jung, B.; Nies, D.; Sukhatme, G.S. *Staying Alive Longer: Autonomous Robot Recharging Put to the Test*; Center for Robotics and Embedded Systems (CRES) Technical Report; University of Southern California: Los Angeles, CA, USA, 2003.
9. Swieringa, K.A.; Hanson, C.B.; Richardson, J.R.; White, J.D.; Hasan, Z.; Qian, E.; Girard, A. Autonomous battery swapping system for small-scale helicopters. In *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Anchorage, AK, USA, 3–8 May 2010; pp. 3335–3340.
10. iRobot Corporation. Available online: <http://www.irobot.com/> (accessed on April 2015).
11. Augugliaro, F.; Lupashin, S.; Hamer, M.; Male, C.; Hehn, M.; Mueller, M.W.; Willmann, J.S.; Gramazio, F.; Kohler, M.; D'Andrea, R. The flight assembled architecture installation: Cooperative construction with flying machines. *IEEE Control Syst.* 2014, 34, 46–64.
12. Vicon Motion Systems Ltd. Available online: <http://www.vicon.com/> (April 2016).
13. Leonard, J.; Savvaris, A.; Tsourdos, A. Energy management in swarm of Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of the 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Atlanta, GA, USA, 28–31 May 2013; pp. 124–133.
14. Voos, H.; Bou-Ammar, H. Nonlinear tracking and landing controller for quadrotor aerial robots. In *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Control Applications*, Yokohama, Japan, 8–10 September 2010; pp. 2136–2141.
15. Lee, D.; Ryan, T.; Kim, H.J. Autonomous landing of a VTOL UAV on a moving platform using image-based visual servoing. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, St. Paul, MN, USA, 14–18 May 2012; pp. 971–976.
16. Wenzel, K.E.; Masselli, A.; Zell, A. Automatic take off, tracking and landing of a miniature UAV on a moving carrier vehicle. *J. Intell. Robot. Syst.* 2011, 61, 221–238.
17. Kurs, A.; Karalis, A.; Moffatt, R.; Joannopoulos, J.D.; Fisher, P.; Soljačić, M. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science* 2007, 317, 83–86.
18. Karalis, A.; Joannopoulos, J.; Soljačić, M. Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer. *Ann. Phys.* 2008, 323, 34–48.
19. Griffin, B.; Detweiler, C. Resonant wireless power transfer to ground sensors from a UAV. In *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Guangzhou, China, 11–14 December 2012; pp. 2660–2665.
20. Khonji, M.; Alshehhi, M.; Tseng, C.M.; Chau, C.K. Autonomous inductive charging system for battery-operated electric drones. In *Proceedings of the Eighth International Conference on Future Energy Systems*, Hong Kong, China, 16–19 May 2017; pp. 322–327.
21. Bin Junaid, A., Konoiko, A., Zweiri, Y., Sahinkaya, M. N., & Seneviratne, L. Autonomous wireless self-charging for multi-rotor unmand aerial vehicles. *Energies*, 2017:803.