

شیوه‌نامه پیکربندی خودرو پرنده با رویکرد ساخت محور و بررسی پیکربندی نمونه منطبق با نیاز صنعت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵

کد مقاله: ۳۰۰۴۹

محمد امین فرهمندفر^{۱*}، علی محمد شیروانی ابرقویی^۲،

عرفان انسانیان^۳

چکیده

طراحی خودرو پرنده به جهت دربرگیری جامعه هدف جهانی و عمومی با کاربردهای طیف وسیعی چون نظامی، گردشگری، درمانی، حمل و نقل عمومی و خانوادگی بسیار حائز اهمیت است. با توجه به کاربردهای آن در طراحی این نوع خودرو هزینه تعمیر و نگهداری و قابلیت پاکت پروازی از اهمیت بالایی برخوردار است. وجود استانداردهای هوایی در خصوص طراحی هواپیما و طراحی بالگرد باعث شده است در این حوزه استفاده از روش‌های طراحی به جهت رعایت استانداردهای دقیق و سختگیرانه به صورت مرکب از دو طراحی فوق‌الزام بر رعایت استانداردهای صنعت خودرو سازی، مسئله طراحی خودرو پرنده را به یک طراحی فناوری بالا و پیچیده تبدیل کرده است چرا که این طراحی با توجه به طیف وسیع کاربران ملزم است به صرفه بوده و در عین حال به جهت تطابق با خواست مشتری در بهینه‌ترین حالت ممکن طراحی شده باشد. در این پژوهش با دسته بندی پیکربندی‌های صورت گرفته در این حوزه و شناسایی نیازهای منطبق بر طراحی صورت گرفته به ارائه مدل طراحی پیکربندی پرداخته شده است. به منظور بررسی نمونه نیاز صنعتی کشور و تحلیل طراحی منطبق بر ساخت، پس از ارائه پارامترها به ارائه پیکربندی خودرو پرنده مذکور با کاربری عمومی- گردشگری اشاره شده است. نحوه عملکرد ماتریس ارائه شده بر اساس کمی سازی پارامترهای کیفی به منظور مقایسه صحیح انواع پیکربندی برای انتخاب صحیح‌ترین قالب است. نتایج پژوهش مذکور حاکی از آن است که به کمک ماتریس یاد شده، می‌توان طرح و پیکربندی منطبق بر خواست جامعه و قابل قبول را برای خودرو پرنده و با هر طیف ماموریتی تعیین کرد.

واژگان کلیدی: خودرو پرنده، طراحی بالگرد، طراحی هواپیما، ماتریس پیکربندی، خودرو سازی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر. (نویسنده مسئول)

fmaf.farahmand@aut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱- مقدمه

در فرآیند تعیین پیکربندی خودرو پرنده، توجه به نیازمندی‌ها و اولویت‌های تعریف شده بهترین ویژگی‌های عملکردی مهم می‌باشد. برا انتخاب یک پیکربندی مناسب خودرو پرنده، در ابتدا مجموعه‌ای از پارامترها باتوجه به نیازهای مرتبط با ماموریت‌های تعریف شده برای بالگرد مشخص می‌شوند. سپس پیکربندی برخی از خودروهای پرنده به‌روز مورد بررسی قرار می‌گیرند و با توجه به نقاط قوت و ضعف هر یک از پیکربندی‌ها، طرح مناسب انتخاب می‌گردد.

در اوایل قرن بیستم، مخترعان مفهومی برای خودروهای پرنده و دیگر حمل و نقل هوایی شهری تعریف کردند. نوآوری‌های نوظهور در برق‌سازی، اتوماسیون و سایر فناوری‌ها فرصت‌های جدیدی را برای جایجایی هوایی بر حسب تقاضا، مدل‌های تجاری و طراحی خودرو پرنده فراهم کردند. هواروها در یک دسته‌بندی کلی به سه دسته مسافری^۱، خودروپرنده^۲ و نوین(انقلابی)^۳ تقسیم‌بندی می‌شوند. گروه اول و سوم دارای قابلیت نشست و برخاست عمودی و گروه دوم نیازمند به باند برخاست و نشست جهت انجام ماموریت می‌باشد. در این مقاله پیکربندی نوین به عنوان الگو مورد بررسی قرار گرفته است. این انتخاب بدلیل استفاده از مزیت نشست و برخاست عمودی در ماموریت‌های مختلف و استفاده از باند برخاست برای ماموریت‌های عمومی بوده که به سبب این قابلیت و سهولت کاربری نسبت به دیگر مدل‌های هوارو، در آینده‌ای نزدیک پیکربندی پرکاربرد خواهد بود.

در سال ۲۰۰۲ طی یک پژوهشی بیساختگی [۱] با بررسی ملاحظیات قابلیت سقوط و الزامات ساختاری تحلیل اجزا محدود با نتایج تجربی را مورد مقایسه قرار می‌دهد و نتیجه نشان می‌دهد که در نظر گرفتن این ملاحظیات می‌تواند باعث کاهش قابل توجه هزینه و احتمال خسارات شود. در پی پژوهشی دیگر که توسط دانشکده هوافضا مریند و موسسه Alfred Gessow Rotorcraft Center [۲] انجام شد، به طراحی کامل بالگرد امداد و نجات کوهستانی با رویکرد ساخت گرایانه در سال ۲۰۰۴ پرداختند. تیم طراحی دانشگاه جورجیا [۳] در سال ۲۰۰۶ طی پروژه‌ای به طراحی بالگرد آموزشی دو نفره توربینی با رویکرد عملگرایانه در بیست و سومین مسابقه سالانه طراحی دانشجویی از میان فارغ التحصیلان به سرپرستی اساتید دانشکده هوافضا پرداختند. موسسه فناوری Grass Chopper [۴] نیز در سال ۲۰۰۶ در پاسخ مساله مطرح شده توسط مسابقه سالانه طراحی دانشجویی به طراحی بالگرد آموزشی دو نفره با طراحی موتور توربینی نوآورانه پرداختند که حاصل همکاری دو دانشجو هوافضا از دانشگاه‌های ایالتی پنسیلوانیا و تکنیون اسرائیل می‌باشد. در سال ۲۰۰۶ سمیر بوعبدالله و دیگر نویسندگان [۵] طراحی و کنترل یک بالگرد کواکسیال بر اساس مفهوم کنترل ترکیبی فهایل و غیر فعال را انجام می‌دهند که نتیجه حاصله نشان می‌دهد این بالگرد میتواند در برابر اختلالات کوچک، تعادل خود را حفظ کند. در سال ۲۰۱۵ فرگوسن و تامسون [۶] با هدف طراحی یک بالگرد مرکب، دو پیکر بندی رایج برای بالگردهای مرکب را معرفی می‌کند و پارامترهای استاندارد هر دو طرح را با یک دیگر تحت شرایط پروازی متنوع بررسی می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که وجود بال در بالگرد مرکب تاثیر بسیار در افزایش سرعت دارد و همچنان باعث کاهش درگ در بدنه اصلی بالگرد می‌شود. برای دنبال کردن نوآوری، مهندسان طراح باید به طور مداوم از دانش در حوزه طراحی را بروز رسانی و ارتقا دهند. در سال ۲۰۱۹ ساریکا و همکاران [۷] برای دسته بنده فناوری ها و دانش موجود برای طراحی خودروی پرنده روشی را با استفاده از نمودارهای TKG شرح داده‌اند و بر اساس این نمودار کانسپت‌های خودروی پرنده مورد نیاز در آینده را پیش‌بینی کرده‌اند. در سال ۲۰۲۰ موفوسالایو [۸] طی یک پژوهش بر روی کانسپت خودروهای پرنده، ایمنی و مباحث مرتبط با استانداردهای ایمنی را برای خودروهای پرنده مورد مطالعه قرار داد. در این مقاله چگونگی تطبیق مسائل ایمنی با توجه به تکنولوژی‌های به روز، با طراحی کانسپت توضیح داده شده است. کمبرن و همکاران [۹] در سال ۲۰۲۰ برای انتخاب پیکربندی مناسب از بین انبوه طرح‌های موجود روشی مبتنی بر یادگیری ماشین را ارائه کردند. در این روش برای امتیازدهی پیکربندی سه مورد خلاقیت استفاده شده، میزان مقبولیت توسط استانداردهای مختلف و سطح فناوری مورد استفاده در کانسپت‌ها، استفاده شده است. در سال ۲۰۲۱ کوهن و همکاران [۱۰] با هدف توسعه مفهوم خودرو پرنده شهری و گسترش دانش طراحی این نوع پرنده‌ها، دز طی پژوهشی انواع پیکربندی‌ها و مباحث مهم که در تعیین پیکربندی باید مورد توجه قرار بگیرد را دسته‌بندی و بیان کردند.

۲- انواع پیکربندی موجود

در این بخش از پژوهش حاضر به بررسی قالب‌های متداول پیکربندی موجود در جهان بر اساس ساختارهای اساسی خودروهای پرنده پرداخته شده و دسته‌بندی جامعی از حالت‌های پیکربندی ارائه شده است. پیکربندی‌های متداول در ۵ دسته قابل بررسی هستند:

الف- تیلت روتور: این دسته از خودروهای پرنده در پرواز مستقیم و سرعت کم‌ترین بازدهی را دارند. در پرواز ارتفاع پست (هاور) روتور اصلی جریان رو به پایین زیادی را تولید می‌کند که ممکن است بارگیری و باربرداری اضطراری در قالب فرایندهای

1 Passenger Drone
2 Flying Car
3 Revolution Vehicle

نظامی خاص را دچار مشکل کند. این پیکربندی به علت فناوری مکانیزم‌های پیچیده و تعمیر و نگهداری بسیار گران است. در این پیکربندی با الحام از طراحی بالگردهای چون V-22 و سایر تکنولوژی موجود به جهت تامین توان و دبی مورد نیاز گاهی از ترکیب دو فناوری تیلت روتور و ملخ هم محور استفاده می‌شود. نمونه‌ای از این پیکربندی در شکل ۱ قابل مشاهده است.

ب- مولتی روتورها: در دسته بندی اشاره شده با استفاده از مکانیزم‌های ساده و روتورهای مورد نظر کنترل پرواز و پایداری بالاتری را شاهد خواهیم بود. کنترل حرکت وسیله نقلیه در این حالت با استفاده از تغییر سرعت نسبی هر روتور با ایجاد تغییر نیروی رانش و گشتاور تولید شده توسط هر یک بدست می‌آید. در این طراحی نیز به جهت دستیابی به نسبت مناسبی از قدرت برابر وزن، از ادغام تکنولوژی مذکور با روتورهای هم محور استفاده می‌شود. نمونه‌ای از این پیکربندی در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲- خودرو پرنده City Airbus



شکل ۱- خودرو پرنده Ava cx

ج- حالت بالگردی: در این حالت با الحام کامل از بالگرد به طراحی پرداخته می‌شود، غالب این طرح‌ها ارزان قیمت، با سرعت پایین هستند اما به صورت عمود پرواز بوده و نیازی به باند فرود ندارند. این طرح برای ۲ تا ۳ سرنشین توسعه یافته و امکان حرکت در جاده‌ها در حالت خاص با رعایت قوانین ویژه‌ای همراه است.



شکل ۳- خودرو پرنده Pal v Liberty

د- متقارب بر هوایما (طراحی بال جمع شونده): در این حالت با در نظر گرفتن طراحی مبتنی بر پایه خودرو با افزودن بال‌های جمع شونده به جهت رعایت قوانین و استانداردهای حمل و نقل جاده‌ای با در نظر گرفتن موتورهای پیشران ملخی برای فاز پروازی، به طراحی پرداخته شده است. از جمله نقاط قوت این طراحی بر زیبایی ظاهری، سرعت بالا در فاز پروازی و نرمی پرواز با در نظر گرفتن تعداد سرنشین مناسب اشاره نمود اما از نقاط ضعف این طراحی لزوم حضور باند پروازی به جهت پرواز و فرود است چرا که این قید منجر به عدم امکان استفاده از دو حالت پروازی و جاده‌ای توأمان را در بر خواهد گرفت. نمونه‌ای از این پیکربندی در شکل ۴ قابل مشاهده است.

ه- مرکب (ترکیب خودرو و مولتی روتور): در این دسته‌بندی ترکیبی از مجموعه حالت‌های قبلی جایگاه دارد. بیشترین متداول‌ترین ترکیب مشاهده شده ترکیب مولتی روتور و خودرو خواهد بود که در این حالت گاه به منظور رعایت قوانین حمل و نقل جاده‌ای و استانداردهای ابعادی بازوان روتورها جمع می‌شوند و یا گاهی قسمت روتور قابلیت جدا شدن داشته و در مواقع خاص به خودرو ملحق می‌شود. این دسته از طراحی‌ها امکان تلفیق خواسته‌ها با طراحی را به صورت ماهرانه‌ای با مدیریت هزینه به نمایش می‌گذارند. نمونه‌ای از این پیکربندی در شکل ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۵- خودرو پرنده Pop up



شکل ۴- خودرو پرنده Klein vision

۳- نحوه شکل دهی ماتریس پیکربندی

به منظور ایجاد ماتریس پیکربندی در ابتدا شیوه تبدیل متغیرهای کیفی به حالت کمی مورد بحث قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا بایستی مطابق جداول ذیل فاکتورهای وزنی جدول ۱ و معیار کیفی جدول ۲، اختصاص داده شود. امتیازات برای هر پیکربندی بر اساس آنالیزهای کیفی حاصل از تجربیات و اطلاعات موجود در مقالات به هر طرح اختصاص داده شده و در نهایت در یک ضریب تاثیر ضرب می‌شوند.

جدول ۲- معیار نمره ها از لحاظ کیفی

ردیف	توضیحات	ضریب تاثیر
۱	عالی	۴
۲	خوب	۳
۳	بی تاثیر	۲
۴	ضعیف	۱

جدول ۱- فاکتورهای وزنی

ردیف	توضیحات	ضریب تاثیر
۱	بسیار مهم	۳
۲	مهم	۲
۳	عادی	۱

۴- پارامترهای مهم در طراحی

به جهت اختصاص ضرایب مناسب برای هر یک از انواع پیکربندی ابتدا بایستی پارامترهای اولویتی طراحی مشخص شوند. از جمله مهم‌ترین پارامترهای طراحی خودرو پرنده می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- کارایی پرواز هاور
- کارایی کروز
- مداومت پروازی با پایین‌ترین سرعت
- بیشینه سرعت
- توان موردنیاز برای سامانه ضد گشتاور در صورت نیاز
- فرو وزش
- فشردگی پیکربندی
- ایمنی عملیات
- هزینه
- پیچیدگی مکانیکی
- بیشینه وزن برخاست/محموله
- تکنولوژی به تکامل رسیده
- روش فرود اضطراری
- بارگیری و بار برداری
- توانایی در اجرای ماموریت‌های تاکتیکی و انعطاف ماموریتی

به منظور تشکیل ماتریس پیکربندی بایستی برای هر یک از پارامترهای فوق در هر یک از پیکربندی‌های اشاره شده وزنی در نظر گرفت و بر اساس مجموع وزنی تمامی پارامترهای فوق قالب پیکربندی را انتخاب نمود.

۵- بررسی نمونه صنعتی

به جهت عینیت بخشی به قالب طرح‌های ارائه شده در دسته بندی فوق نمونه‌های صنعتی و نمونه آزمایشی تولید شده برخی شرکت‌های مطرح و پیشگام در این عرصه در جدول ۳ ذکر گردیده است. این نمونه‌ها با مشخصات ارائه شده بخشی از پارامترهای اولویتی طراحی در زمینه خودروهای پرنده را آشکار می‌سازد که با توجه به دسته‌بندی هر یک قابل تمیز است.

جدول ۳- معیار نمره ها از لحاظ کیفی

هوارو	پیکربندی	موتور	قطر روتور (m)	سرعت (knot)	سقف هاور بیرون از اثر زمین (ft)	بار (kg)	بیشینه وزن برخاست (kg)
Ava xc	تیلت	۸	*	۱۵۰	*	*	۱۸۱۴
Airbus Vahana	تیلت	*	۱,۵	۱۲۴	۹۹۷,۴۴	۲۰۰	۸۱۵
Lilium jet	تیلت	*	*	۱۵۱	۹۸۴۰	۱۸۰	۶۴۰
City Airbus	مولتی روتور	۸	۲,۸	۶۵	*	۲۵۰	۲۲۰۰
Pal v Liberty	بالگردی	۲	۱۰,۷۵	۷۵	۱۱۴۸۰	۲۰	۹۱۰
Klein vision	بال های جمع شونده	۲	*	۹۲	۱۴۹۹۶,۱۶	*	۱۱۰۰
Pop up	مرکب	۸	۱,۷۸	۸۱	*	*	۶۰۰
Ava xc	تیلت	۸	*	۱۵۰	*	*	۱۸۱۴

به منظور طراحی خودرو پرنده با قابلیت پیمایش مسیر جاده‌ای با شعاع عملیاتی ۲۵۰ کیلومتر و همچنین پیمایش مسیر هوایی با شعاع عملیاتی ۱۰۰ کیلومتر، با در نظر گرفتن استانداردهای حمل و نقل جاده‌ای و هوایی با اهداف حمل و نقل روزمره و گردشگری به بررسی و تشکیل ماتریس پیکربندی ذیل پرداخته شده است:

جدول ۴- ماتریس پیکربندی خودرو پرنده

پارامتر اصلی	ضریب تاثیر	تیلت روتور	مولتی روتور	بالگردی	طراحی با بال جمع شونده	مرکب
کارایی پرواز هاور	۳	۳	۳,۵	۳,۵	۳	۳,۵
کارایی کروز	۳	۴	۳	۲,۵	۴	۳
مداومت پروازی با پایین ترین سرعت	۲	۳	۲,۵	۳,۵	۳	۲,۵
بیشینه سرعت	۲	۴	۲	۲,۵	۳	۲,۵
توان مورد نیاز برای سامانه ضد گشتاور	۱	۴	۳	۲	۴	۳
فرو وزش	۳	۲	۳	۲,۵	۲	۳,۵
فشاردهی پیکربندی	۲	۲	۴	۳	۲,۵	۴
ایمنی عملیات	۳	۳,۵	۳	۲	۳,۵	۳
هزینه	۳	۲,۵	۲	۳	۲	۲
پیچیدگی مکانیکی	۲	۳,۵	۳,۵	۳,۵	۳	۲,۵
بیشینه وزن برخاست/محموله	۲	۲	۲,۵	۳	۳	۴
تکنولوژی به تکامل رسیده	۱	۳,۵	۳,۵	۳	۳	۳
روش فرود اضطراری	۳	۲,۵	۳,۵	۳	۲	۴
قابلیت عبور در جاده	۱	۲,۵	۳,۵	۲,۵	۲	۴
انعطاف ماموریتی	۱	۲,۵	۳,۵	۲	۲,۵	۴
جمع بندی	**	۹۴	۹۶,۵	۹۰	۹۰	۱۰۲

با توجه به جدول فوق و امتیازات پیکربندی‌ها، مشاهده می‌شود پیکربندی ترکیبی خودرو و مولتی‌روتور با قابلیت فرود و برخاست بهتر و ایمنی بیشتر، بهترین انتخاب برای این طراحی محسوب می‌شود، این طراحی بیشترین تطابق با خواسته‌ها را داشته و امتیاز آن در قالب طرح مرکب بیشینه است فلذا طرح مورد نظر بایستی در قالب شکل ۵ و با الهام از آن طراحی گردد.

۶- بحث و نتیجه گیری

طبق تحلیل انجام گرفته پیکربندی که بیشترین امتیاز در برآورده سازی معیارهای طراحی را داشته، مورد انتخاب واقع می‌گردد و قالب اصلی طراحی و ادامه روند طراحی جزئیات در این بخش ابتدایی صورت می‌گیرد و سنگ بنای ادامه طراحی به وسیله این انتخاب صورت خواهد گرفت. در رابطه با کیس مورد بررسی قابلیت‌های مورد بررسی با در نظر گرفتن قابلیت اجرایی در حوزه حمل

نقل جاده‌ای بایستی معیار قرار گرفته و استانداردهای ابعادی و حمل و نقلی اجرا گردد. بدین منظور بهترین توصیه پس از انتخاب پیکربندی می‌تواند استفاده از روتورهای هم محور برای تولید توان در دسترس با کاهش قطر ملخ معیار قرار گرفته که خود منجر به کاهش نوبز پرنده خواهد بود. از دیگر تصمیمات می‌توان بر استفاده از بازوهای جمع شونده به جهت رعایت استانداردهای جاده‌ای اشاره نمود.

طراحی خودرو پرنده از ابتدا آرزوی بشریت بوده است اما این مهم در عصر اخیر با رویکرد تجاری، همگام با توسعه فناوری پیشرفت به سزایی داشته است. برای طراحی خودرو پرنده کتاب و یا روند خاصی ارائه نشده است و طراحان هوافضا در سطح دنیا با استفاده از تجربیات و دانسته‌های خود در طراحی بالگرد و هواپیما به این عرصه چالشی وارد شده و در این روش سنگ بنا طراحان بر اساس رویکرد و خواست صنعت چیده خواهد شد و از آن پس روند طراحی همچون طراحی سازه، موتور و دیگر اجزا و جزئیات پیش خواهد رفت.

منابع

1. Bisagni, C.J.I.J.o.I.E., Crashworthiness of helicopter subfloor structures. 2002. 27(10): p. 1067-1082.
2. Alfred Gessow Rotorcraft Center, UMD - Condor Mountain Rescue Helicopter Design Proposal. Department of Aerospace Engineering University of Maryland, 2004.
3. Daniel Guggenheim School of Aerospace Engineering Georgia Institute of Technology. 2006 Georgia Tech Graduate Design Team GT Rambler. 23rd Annual Student Design Competition Graduate Category, 2006.
4. PSU & Technion – International Collaboration, Two Seat Turbine Helicopter In Response to the 2006 Annual AHS International Student Design Competition – Undergraduate Category. 2006.
5. Bouabdallah, S., R. Siegwart, and G. Caprari. Design and control of an indoor coaxial helicopter. in 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2006. IEEE.
6. Ferguson, K. and D. Thomson, Performance comparison between a conventional helicopter and compound helicopter configurations. 2015. 229(13): p. 2441-2456.
7. Sarica, S., Song, B., Luo, J., & Wood, K. (2019, August). Technology knowledge graph for design exploration: application to designing the future of flying cars. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 59179, p. V001T02A028). American Society of Mechanical Engineers.
8. Mofolasayo, A. (2020). Potential policy issues with flying car technology. *Transportation Research Procedia*, 48, 8-22.
9. Camburn, B., He, Y., Raviselvam, S., Luo, J., & Wood, K. (2020). Machine learning-based design concept evaluation. *Journal of Mechanical Design*, 142(3), 031113.
10. Cohen, A. P., Shaheen, S. A., & Farrar, E. M. (2021). Urban air mobility: History, ecosystem, market potential, and challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6074-6087.