بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

ارایه روشی نوین در طراحی مفهومی ریزپرنده‌های بالزن و ساخت یک نمونه برمبنای روش ارایه شده

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

مصطفی حسنعلیان

استاتید راهنما

دکتر سعید ضیائی راد

دکتر محمود اشرفی زاده

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک رشته مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

آقای مصطفی حسنعلیان تحت عنوان

ارایه روشی نوین در طراحی مفهومی ریزپرنده‌های بالزن و ساخت یک نمونه بر مبنای روش ارایه شده

در تاریخ ۲۰ /۱۳۹۲/۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه	دکتر سعید ضیائی راد
۲. استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمود اشرفی زاده
۳. استاد داور	دکتر رضا تیکنی
٤. استاد داور	دکتر احمد صداقت
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدرضا سلیم‌پور

اعتراف می‌کنم که نه زبان شکر تو را دارم و نه توان تشکر از بندگان تو، اما بر حسب وظیفه

از خانواده عزیزم و به خصوص پدر و مادر مهربانم که همواره پشتیبان من بوده‌اند صمیمانه تشکر می‌کنم.

و همچنین از اساتید گرامی جناب آقای دکتر سعید ضیائی راد و آقای دکتر محمود اشرفی زاده که در همه مراحل این تحقیق مرا یاری و راهنمایی نمودند، کمال تشکر را دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

ساحت مقدس امام عصر (عج)

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- هواپیماهای بدون سرنشین	۲
۱-۲- ریزپرنده‌ها	۴
۱-۲-۱- ریزپرنده‌های بال ثابت	۴
۱-۲-۲- ریزپرنده‌های با بال چرخان	۵
۱-۲-۳- ریزپرنده‌های با برخاست و فرود عمودی	۵
۱-۲-۴- ریزپرنده‌های بالزن	۵
۱-۳- تاریخچه بالزن‌ها	۶
۱-۴- مقایسه بالزن‌ها با سایر نمونه‌ها	۷
۱-۵- انواع بالزن‌ها	۸
۱-۶- مقایسه بالزن‌های شبیه پرندگان و حشرات	۸
۱-۷- پژوهش‌های صورت گرفته بر روی بالزن‌ها در ایران و جهان	۹
۱-۸- کاربرد ریزپرنده‌های بالزن	۱۰
۱-۸-۱- کاربردهای نظامی	۱۰
۱-۸-۲- کاربرد در سیارات دیگر	۱۰
۱-۹- به کارگیری فناوری‌های جدید در ریزپرنده‌های بالزن	۱۲
۱-۹-۱- بالزن‌های خورشیدی با قابلیت پرواز در سیارات دیگر	۱۲
۱-۹-۲- بالزن‌های با قابلیت نشستن بر روی سیم‌های برق و بال‌های جمع شونده	۱۳
۱-۹-۳- استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار در پرنده‌های بالزن	۱۴
فصل دوم: مقدمه‌ای بر طراحی بالزن‌ها	
۲-۱- اصول کلی طراحی یک بالزن	۱۵
۲-۲- بررسی سیکل‌های طراحی پرنده	۱۶
۲-۳- معرفی پروژه حاضر	۱۷
۲-۴- روند ارایه شده جهت طراحی یک بالزن	۱۷
فصل سوم: مقدمه‌ای بر آیرودینامیک بالزن‌ها	
۳-۱- مقدمه‌ای بر آیرودینامیک	۱۹
۳-۲- پارامترهای آیرودینامیکی	۲۰
۳-۲-۱- کمیت‌های خارجی موثر	۲۰

۳-۲-۲- عدد رینولدز..... ۲۱
۳-۲-۳- عدد اِستروهال..... ۲۲
۳-۲-۴- فرکانس کاهیده و نسبت پیشروی..... ۲۳
۳-۳- سرعت‌های یک پرنده بالزن..... ۲۴
۳-۳-۱- سرعت کروز..... ۲۴
۳-۳-۲- سرعت واماندگی..... ۲۵
۳-۳-۳- سرعت دور زدن‌ها..... ۲۶
۳-۳-۴- سرعت لانچ..... ۲۶
۳-۳-۵- سرعت پروازی پرندگان..... ۲۶
۳-۴- آیرودینامیک بالزن‌ها..... ۲۸
۳-۵- پیش بینی نیروهای بال زدن..... ۲۸
۳-۵-۱- آنالیز المان‌های تیغه‌ای..... ۲۸
۳-۵-۲- تئوری ویک..... ۲۹
۳-۵-۳- نیروی لیفت..... ۲۹
۳-۵-۴- تولید تراست در پرواز بال زدن..... ۳۱
۳-۵-۵- آنالیز ابعادی..... ۳۲
فصل چهارم: پارامترهای سایزینگ پرنده‌های بالزن
۴-۱- پارامترهای سایزینگ..... ۳۳
۴-۱-۱- پارامترهای بال..... ۳۳
۴-۱-۲- اندازه گیری طول بال و سطح بال پرندگان..... ۳۵
۴-۲- ابعاد و وزن ریزپرنده‌ها..... ۳۵
۴-۳- نسبت منظری..... ۳۶
۴-۴- پارامتر بار بال..... ۳۶
۴-۵- پارامترهای تعیین کننده هندسه بال ۳۸
۴-۶- بار بال و نسبت منظری در پرندگان..... ۳۹
٤-۷- فرکانس بال زدن..... ۴۱
۴-۸- زوایای بال زدن‌های رو به بالا و پایین..... ۴۶
۴-۹- سایزینگ اولیه برای وزن‌های کم..... ۵۰
فصل پنجم: سایزینگ بالزن‌ها
۵-۱- حالت‌های پروازی یک پرنده..... ۵۱
۵-۱-۱- پرواز بال زدن..... ۵۲
۵-۱-۲- گلایدینگ..... ۵۴
۵-۱-۳- اوج گرفتن..... ۵۸

۵-۱-۴- پرواز هاور ۶۴
۵-۱-۵- پرواز خیز ۶۶
۵-۱-۶- برخاست و فرود ۶۹
۵-۲- مأموریت‌های پروازی تعریف شده برای بالزن‌ها ۷۰
۵-۳- نحوه برخاست پرندهای بالزن ۷۲
۵-۴- بال پرنده‌های بالزن ۷۳
۵-۴-۱- شکل بال (پلن‌فرم) و پرواز ۷۴
۵-۴-۲- شکل بال پرندگان ۷۶
۵-۴-۳- شکل بال و ابعاد ۸۰
۵-۴-۴- اختلاف در شکل‌های بال ۸۲
۵-۴-۵- استخراج پلن‌فرم‌های جدید از بالزن‌های ساخته شده و پرندگان ۸۲
۵-۵- آنالیز قیدی برای پرندگان در حال بال زدن ۸۴
۵-۵-۱- نیروهای میانگین و نسبت پیشروی ۸۷
۵-۵-۲- سینماتیک بال زدن ۹۰
۵-۵-۳- نیروی درگ ۹۲
۵-۵-۴- ارتفاع پروازی و سرعت ثابت باشد ۹۳
۵-۵-۵- سرعت صعود ثابت باشد ۹۵
۵-۵-۶- ارتفاع پروازی و سرعت چرخش ثابت باشد ۹۵
۵-۵-۷- شتاب افقی ثابت باشد ۹۸
۵-۵-۸- صعود با شتاب ثابت ۹۹
۵-۵-۹- برخاست پرنده ۹۹
۵-۵-۱۰- اجرای فرآیند آنالیز قیدی برای یک پرنده ۱۰۲
۵-۶- تخمین وزن ریزپرنده‌های بالزن ۱۰۴
۵-۶-۱- نکات قابل توجه در تخمین وزن ریزپرنده‌های بالزن ۱۰۶
۵-۶-۲- تخمین وزن تجهیزات مورد استفاده در بالزن‌ها ۱۰۹
۵-۶-۳- تخمین وزن سازه با روش آماری ۱۱۱
۵-۶-۴- تخمین وزن سازه با روش محاسباتی ۱۱۴
۵-۶-۵- تخمین وزن بال ۱۱۴
۵-۶-۶- تخمین وزن دم ۱۱۶
۵-۶-۷- تخمین وزن بدنه ۱۱۹
۵-۶-۸- تخمین وزن مکانیزم بال زدن ۱۲۰
۵-۶-۹- تخمین وزن یک ریزپرنده با استفاده از پرندگان ۱۲۱
۵-۶-۱۰- آنالیز وزن و ابعاد بالزن‌ها ۱۲۲

فصل ششم: ساختار بال پرنده‌های بالزن‌ها

۶-۱- مقدمه ۱۲۳
۶-۲- نیروها در طول سیکل بال زدن ۱۲۳
۶-۲-۱- تغییر جهت تراست ۱۲۴
۶-۲-۲- لیفت و تراست بال‌های غشایی بالزن‌ها ۱۲۵
۶-۳- مطالعات دینامیک محاسباتی سیال بر روی بالزن‌ها ۱۲۷
۶-۴- آزمایش بررسی اثر جنس بال بر روی عملکرد آیرودینامیکی ۱۲۸
۶-۵- بررسی اثر قطر ریب‌ها در بال بالزن DelFly ۱۲۸
۶-۶- بررسی تجربی بر روی ساختار بال بالزن Cheng Kung ۱۲۹
۶-۷- ساختار بال پرندگان ۱۳۰
۶-۸- الگوگیری از ساختار بال پرندگان ۱۳۳
۶-۹- تعریف اصول کلی در ساختار بال ریزپرنده‌های بالزن ۱۳۶
۶-۹-۱- استحکام سازه بال ۱۳۷
۶-۹-۲- وزن سازه بال ۱۳۷
۶-۹-۳- انعطاف‌پذیری و تغییر شکل کنترل شده بال ۱۳۸
۶-۹-۴- ناحیه داخلی در بال ۱۳۸
۶-۹-۵- انتخاب مناسب تعداد ریب‌ها و چینش بهینه آن‌ها در بال ۱۳۹
۶-۹-۶- اسپارها و نحوه قرارگیری آن‌ها ۱۴۳
۶-۹-۷- انتخاب بهینه قطر اسپارها و ریب‌ها ۱۴۴
۶-۹-۸- انتخاب جنس مناسب برای بال و عدم استهلاک و پارگی آن در طول بال زدن ۱۴۴

فصل هفتم: مطالعات محاسباتی بالزن‌ها

۷-۱- مقدمه‌ای بر مطالعات محاسباتی ۱۴۶
۷-۲- مدل محاسباتی دلالیر ۱۴۷
۷-۲-۱- فرضیات مدل دلالیر ۱۴۷
۷-۲-۲- محاسبه نیروها ۱۵۱
۷-۲-۳- محاسبه توان ۱۵۴
۷-۲-۴- محاسبه بازده پیشرانش ۱۵۴
۷-۳- مطالعات انجام شده با روش دلایر ۱۵۵
۷-۳-۱- مطالعات صورت گرفته توسط تِی وی بنگ در دانشگاه NUS سنگاپور ۱۵۵
۷-۳-۲- مدل محاسباتی موبِل بِندیکت ۱۵۵
۷-۳-۳- مطالعات صورت گرفته توسط ذکریا و همکارانش در نیروی مسلح مصر ۱۵۶
۷-۴- مدل محاسباتی دای–کاون ۱۵۶
۷-۵- برنامه نویسی روش تئوری نواری در سایلب ۱۶۰

۷-۶- بررسی مقایسه‌ای نتایج بررسی شده ۱۶۲
۷-۷- تحلیل آیرودینامیکی بالزن اسلاوهاوک۲..... ۱۶۹
۷-۷-۱- بررسی اثر فرکانس..... ۱۷۰
۷-۷-۲- بررسی اثر ماکزیمم زاویه بال زدن..... ۱۷۲
۷-۸- نحوه استفاده از نرم افزار ۱۷۲
فصل هشتم: مکانیزم پرنده‌های بالزن
۸-۱- اجزا و پارامترهای مورد بررسی در طراحی مکانیزم..... ۱۷۵
۸-۲- انواع مکانیزم ۱۷۵
۸-۲-۱- مکانیزم با یک میل لنگ..... ۱۷۶
۸-۲-۲- مکانیزم با یک میل لنگ دارای انحراف..... ۱۷۷
۸-۲-۳- مکانیزم لنگ لغزنده ۱۷۸
۸-۲-۴- مکانیزم با دو میل لنگ..... ۱۷۸
۸-۲-۵- ساختار متناوب..... ۱۷۹
۸-۳- شرایط لازم برای مکانیزم‌های بال زدن..... ۱۸۰
۸-۴- بررسی مکانیزم‌های مورد استفاده در سایر پرنده‌های بالزن..... ۱۸۰
۸-۴-۱- مکانیزم بالزن دانشگاه آیوا..... ۱۸۱
۸-۴-۲- مکانیزم بالزن بِهموس۳..... ۱۸۱
۸-۴-۳- مکانیزم بالزن بِهموس۴..... ۱۸۲
۸-۴-۴- مکانیزم پروژه روبِر..... ۱۸۳
۸-۵- جایگاه مکانیزم در روند طراحی پرنده‌های بالزن..... ۱۸۴
۸-۶- طراحی مکانیزم پرنده‌های بالزن..... ۱۸۴
۸-۶-۱- فرکانس بال زدن..... ۱۸۶
۸-۶-۲- تعیین کسرهای زمانی بال زدن..... ۱۸۶
۸-۶-۳- زاویه پچش بال..... ۱۸۷
۸-۶-۴- تعیین زوایای بال زدن‌های رو به بالا و پایین..... ۱۸۷
۸-۶-۵- تعیین ابعاد مکانیزم بال زدن..... ۱۸۸
۸-۶-۶- نیروهای وزن و لیفت ۱۸۹
۸-۶-۷- نیروی درگ و تراست..... ۱۸۹
۸-۷- روند طراحی و سنتز شکل مکانیزم..... ۱۸۹
فصل نهم: بدنه پرنده‌های بالزن
۹-۱- مقدمه..... ۱۹۱
۹-۱-۱- بدنه میله‌ای..... ۱۹۱
۹-۱-۲- بدنه‌های صفحه‌ای..... ۱۹۲

۹-۱-۳- بدنه‌های حجمی ۱۹۲
۹-۱-۴- بدنه‌های خرپایی ۱۹۲
۹-۱-۵- حالت‌های ترکیبی ۱۹۳
۹-۲- طراحی بدنه بالزن‌ها ۱۹۳
۹-۲-۱- تعداد بال‌ها، محل قرار گیری و زاویه نصب آن‌ها ۱۹۳
۹-۲-۲- ابعاد تجهیزات الکترونیکی بالزن ۱۹۶
۹-۲-۳- نوع و ابعاد مکانیزم ۱۹۶
۹-۲-۴- موقعیت مرکز جرم بالزن ۱۹۶
۹-۲-۵- نوع دم و محل نصب آن ۱۹۷
۹-۲-۶- زاویه و فرکانس بال زدن ۱۹۷
۹-۲-۷- مسایل مربوط به پایداری ۱۹۷
۹-۲-۸- جنس انتخابی برای بدنه ۱۹۷
۹-۲-۹- در نظر گرفتن محلی برای لانچ بالزن ۱۹۷
۹-۳- نکات قابل توجه در طراحی بدنه بالزن‌ها ۱۹۸
فصل دهم: دم پرنده‌های بالزن
۱۰-۱- دم ریزپرنده‌های بالزن ۲۰۱
۱۰-۱-۱- بوسیله دم عقب ۲۰۱
۱۰-۱-۲- بوسیله دم جلو ۲۰۱
۱۰-۱-۳- بوسیله هم دم جلو و هم دم عقب ۲۰۲
۱۰-۱-۴- بدون دم ۲۰۲
۱۰-۲- انواع دم در ریزپرنده‌های بالزن ۲۰۳
۱۰-۲-۱- دم معمولی ۲۰۳
۱۰-۲-۲- دم T شکل ۲۰۴
۱۰-۲-۳- دم صلیبی ۲۰۴
۱۰-۲-۴- دم H شکل ۲۰۵
۱۰-۲-۵- دم V شکل ۲۰۵
۱۰-۲-۶- دم Y شکل ۲۰۶
۱۰-۲-۷- دم دوگانه ۲۰۶
۱۰-۲-۸- دم پرنده‌گونه ۲۰۶
۱۰-۲-۹- دم انحناءدار ۲۰۷
۱۰-۳- دسته بندی دم‌ها از لحاظ نوع حرکت ۲۰۷
۱۰-۳-۱- دم ساکن ۲۰۸
۱۰-۳-۲- دم‌های رادِر ۲۰۸

۱۰-۳-۳- دم‌های رادِرویتور ۲۱۰
۱۰-۴- طراحی دم ریزپرنده‌های بالزن ۲۱۱
۱۰-۴-۱- کنترل مسیر پرنده توسط دم ۲۱۳
۱۰-۴-۲- زاویه حمله مطلق دم ۲۱۵
۱۰-۴-۳- لیفت دم ۲۱۵
۱۰-۴-۴- درگ دم ۲۱۵
۱۰-۴-۵- سطح پروازی ثابت برای بالزن‌های بدون دم ۲۱۶
۱۰-۵- انواع دم پرندگان ۲۱۶
فصل یازدهم: تعادل، پایداری و سطوح کنترلی پرنده‌های بالزن
۱۱-۱- اصول پایداری پرندگان ۲۱۷
۱۱-۲- تعادل ۲۱۸
۱۱-۲-۱- تعادل طولی ۲۱۸
۱۱-۲-۲- تعادل نیروهای افقی در بالزن‌ها ۲۲۲
۱۱-۲-۳- تعادل جانبی ۲۲۳
۱۱-۲-۴- تعادل سمتی ۲۲۴
۱۱-۳- پایداری استاتیکی ریزپرنده‌های بالزن ۲۲۴
۱۱-۳-۱- پایداری طولی ۲۲۵
۱۱-۳-۲- مدلسازی المان تیغه‌ای پایداری استاتیکی طولی ۲۲۶
۱۱-۳-۳- پایداری عرضی ۲۳۱
۱۱-۳-۴- پایداری سمتی ۲۳۲
۱۱-۳-۵- نکات قابل توجه در پایداری استاتیکی بالزن‌ها ۲۳۲
۱۱-۴- پایداری در پرواز گلایدینگ و اوج‌گیری ۲۳۴
۱۱-۵- تعیین وتر آیرودینامیکی متوسط بال MAC ۲۳۵
۱۱-۶- مرکز آیرودینامیکی، حاشیه استاتیکی و تعیین محل مرکز جرم پرنده بالزن ۲۳۵
۱۱-۷- سطوح کنترل ۲۳۷
۱۱-۷-۱- الرِان ۲۳۹
۱۱-۷-۲- الویتور و تعیین ابعاد ۲۴۰
۱۱-۷-۳- رادِر و تعیین ابعاد ۲۴۰
فصل دوازدهم: تجهیزات الکترونیکی ریزپرنده‌های بالزن
۱۲-۱- تجهیزات الکترونیکی و نحوه اتصال آن‌ها ۲۴۱
۱۲-۲- سروو موتورها ۲۴۱
۱۲-۳- موتور و سازوکار ۲۴۴
۱۲-۳-۱- موتورهای زغال‌دار ۲۴۴

۱۲-۳-۲- موتورهای بدون زغال ۲۴۵
۱۲-۳-۳- موتورهای مورد استفاده در پرنده‌های بالزن ۲۴۶
۱۲-۳-۴- فرمولاسیون موتور و محاسبات ۲۴۸
۱۲-۳-۵- جعبه دنده ۲۴۹
۱۲-۴- اسپید کنترلر و ساز و کار آن ۲۴۹
۱۲-۵- باتری ۲۵۱
۱۲-۵-۱- باتری‌های غیرقابل شارژ ۲۵۱
۱۲-۵-۲- باتری‌های شارژ شدنی ۲۵۱
۱۲-۶- کنترل ریزپرنده‌های بالزن ۲۵۳
۱۲-۶-۱- کنترل از طریق رادیو کنترل ۲۵۳
۱۲-۶-۲- کنترل ازطریق ویدئو بیس ۲۵۳
۱۲-۶-۳- کنترل از طریق اتوپایلت ۲۵۴
۱۲-۷- سنسورها ۲۵۵
۱۲-۷-۱- سنسور پایدار کننده مادون قرمز ۲۵۵
۱۲-۷-۲- GPS ۲۵۷
۱۲-۷-۳- مودم ۲۵۷
۱۲-۸- دوربین و فرستنده ۲۵۸
فصل سیزدهم: نتیجه‌گیری (طراحی و ساخت بالزن کرکس I)
۱۳-۱- تعریف مأموریت پروازی ۲۵۹
۱۳-۱-۱- نحوه امتیازدهی به ریزپرنده‌ها ۲۶۰
۱۳-۱-۲- مأموریت تعریف شده در فضای داخلی ۲۶۲
۱۳-۱-۳- توپ رها شده در هر یک از مأموریت‌ها ۲۶۴
۱۳-۱-۴- تحلیل مأموریت ریزپرنده بالزن برای پرواز در فضای باز ۲۶۴
۱۳-۲- تعیین حالت‌های پروازی پرنده بالزن ۲۶۵
۱۳-۳- تعیین شکل بال و نسبت منظری ۲۶۵
۱۳-۴- تعیین پارامتر بار بال ۲۶۷
۱۳-۴-۱- اجرای فرآیند آنالیز قیدی برای پرنده بالزن ۲۶۷
۱۳-۵- تخمین وزن پرنده بالزن ۲۶۸
۱۳-۵-۱- تخمین وزن تجهیزات بالزن ۲۶۸
۱۳-۵-۲- تخمین وزن سازه بالزن ۲۶۸
۱۳-۶- تعیین ابعاد پرنده بالزن ۲۷۴
۱۳-۶-۱- محاسبه وتر متوسط ۲۷۶
۱۳-۷- محاسبه پارامترهای آیرودینامیکی و فیزیکی پرنده بالزن ۲۷۶

۱۳-۷-۱- محاسبه عدد رینولدز ۲۷۶
۱۳-۷-۲- تخمین فرکانس بال زدن پرنده ۲۷۶
۱۳-۷-۳- عدد استروهال ۲۷۷
۱۳-۷-۴- تعیین زوایای بال زدن ۲۷۷
۱۳-۷-۵- محاسبه ماکزیمم سرعت زاویه‌ای بال زدن ۲۷۷
۱۳-۷-۶- محاسبه فرکانس کاهیده ۲۷۷
۱۳-۷-۷- محاسبه نسبت پیشروی ۲۷۷
۱۳-۷-۸- انجام محاسبات آیرودینامیکی برای بال شماره ۲ ..... ۲۷۸
۱۳-۷-۹- محاسبات آیرودینامیکی با روش دلاریر ۲۷۸
۱۳-۷-۱۰- بررسی اثر فرکانس بال زدن بر روی پارامترهای آیرودینامیکی ۲۸۰
۱۳-۷-۱۱- بررسی اثر سرعت رو به جلو بر روی پارامترهای آیرودینامیکی ۲۸۲
۱۳-۷-۱۲- بررسی اثر ماکزیمم زاویه بال زدن ۲۸۴
۱۳-۷-۱۳- بررسی اثر زاویه پیچش محور بال زدن ۲۸۵
۱۳-۷-۱۴- محاسبات آیرودینامیکی با استفاده از نرم افزار FLAPSIM ۲۸۶
۱۳-۷-۱۵- مقایسه تحلیل آیرودینامیکی دو پلن‌فرم A و B ۲۹۲
۱۳-۷-۱۶- معرفی نرم افزار XFLR5 ..... ۲۹۸
۱۳-۷-۱۷- تحلیل آیرودینامیکی پلن‌فرم‌های A و B با نرم افزار XFLR5 ..... ۳۰۰
۱۳-۸- طراحی سازه بال ۳۰۴
۱۳-۸-۱- طراحی اسپار لبه حمله ۳۰۴
۱۳-۸-۲- طراحی اسپار قطری ۳۰۶
۱۳-۸-۳- طراحی ریب‌های شعاعی ۳۰۸
۱۳-۹- طراحی مکانیزم بال زدن ۳۰۹
۱۳-۹-۱- طراحی مکانیزم بالزن کرکس ۳۱۰
۱۳-۹-۲- تعیین ابعاد بخش اول مکانیزم ۳۱۱
۱۳-۹-۳- بررسی پارامترهای مختلف بر روی موقعیت، سرعت و شتاب زاویه‌ای بال‌ها ۳۱۳
۱۳-۹-۴- بررسی اثر پارامترهای مختلف بر روی زاویه ξ ۳۱۶
۱۳-۹-۵- تعیین کوچکترین ابعاد لنگ قابل ساخت ۳۱۷
۱۳-۹-۶- ایجاد زوایای بال زدن و تنظیم زاویه بهینه ξ ۳۱۸
۱۳-۹-۷- بررسی حالت (۱، ۲، ۳) ۳۱۹
۱۳-۹-۸- طراحی بخش دوم مکانیزم ۳۲۱
۱۳-۹-۹- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف بر روی زاویه دو راهنما (λ) ۳۲۱
۱۳-۹-۱۰- طراحی اجزاء مکانیزم بالزن کرکس ۳۲۳
۱۳-۹-۱۱- تحلیل دینامیکی مکانیزم ۳۲۶

۱۳-۹-۱۲- محاسبه گشتاور موردنیاز برای لنگ ۳۲۶
۱۳-۱۰- انتخاب موتور و اسپیدکنترلر برای بالزن ۳۳۳
۱۳-۱۱- طراحی جعبه دنده برای بالزن ۳۳۵
۱۳-۱۲- طراحی فریم گیربکس ۳۳۹
۱۳-۱۳- طراحی بدنه بالزن ۳۴۳
۱۳-۱۴- مونتاژ بدنه و فریم ۳۴۴
۱۳-۱۵- طراحی دم پرنده بالزن و تعادل طولی ۳۴۴
۱۳-۱۶- ساخت اولیه بالزن ۳۵۱
۱۳-۱۶-۱- تهیه مواد اولیه برای ساخت ۳۵۱
۱۳-۱۶-۲- ساخت مکانیزم بال زدن ۳۵۳
۱۳-۱۶-۳- ساخت مکانیزم با استفاده از لیزر CNC ۳۵۴
۱۳-۱۶-۴- ساخت مکانیزم با استفاده از دستگاه وایرکات ۳۵۷
۱۳-۱۶-۵- آبکاری قطعات مکانیزم ۳۶۱
۱۳-۱۶-۶- مونتاژ اجزای مکانیزم ۳۶۳
۱۳-۱۶-۷- ساخت بخش‌های رابط مکانیزم و اسپارها ۳۶۶
۱۳-۱۶-۸- مونتاژ مکانیزم و بخش‌های رابط ۳۶۶
۱۳-۱۶-۹- طراحی و ساخت چرخدنده‌ها ۳۶۷
۱۳-۱۶-۱۰- طراحی و ساخت فریم برای مکانیزم ۳۶۹
۱۳-۱۶-۱۱- مونتاژ مکانیزم و فریم نگهدارنده ۳۷۴
۱۳-۱۶-۱۲- ساخت بدنه بالزن ۳۷۹
۱۳-۱۶-۱۳- مونتاژ سیستم محرکه و بدنه ۳۸۵
۱۳-۱۶-۱۴- ساخت بال پرنده بالزن ۳۸۵
۱۳-۱۶-۱۵- مونتاژ بال و بدنه ۳۸۸
۱۳-۱۶-۱۶- طراحی و ساخت دم پرنده بالزن و مونتاژ آن به بدنه ۳۸۹
۱۳-۱۷- تست بال زدن ۳۹۷
۱۳-۱۸- تعیین محل مرکز جرم پرنده بالزن ۳۹۸
۱۳-۱۹- شکل نهایی پرنده بالزن ۳۹۸
۱۳-۲۰- ویژگی‌های بالزن کرکس I ۳۹۹
۱۳-۲۱- جمع‌بندی ۴۰۱
۱۳-۲۲- پیشنهادات ۴۰۱
پیوست الف- فهرست علائم و نشانه‌ها ۴۰۲
مراجع ۴۰۳

چکیده

هواپیماهای بدون سرنشین امروزه در نقش‌های مختلفی از جمله، شناسایی و اکتشاف، از تجهیزات پرکاربرد ارتش‌های دنیا محسوب می‌شوند. مزیت بدون سرنشین بودن، در کنار ویژگی‌های ابعادی و وزنی و کم هزینه بودن آن‌ها، به این پرنده‌ها این فرصت را می‌دهد که قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به سایر وسایل جهت انجام مقاصد ذکر شده داشته باشند. ریزپرنده‌های MAV دسته‌ای از این هواپیماهای بدون سرنشین هستند که معمولاً در ابعاد کوچکتر از ۵۰۰ میلیمتر و وزن زیر ۵۰۰ گرم و در چهار مدل بال ثابت، عمود پرواز، بالزن و بال-های چرخان طراحی و ساخته می‌شوند. مدل مورد بررسی در این پروژه، نمونه‌های بالزن هستند که ساختاری شبیه پرندگان هستند. تحقیقات بر روی بالزن نشان داده است که آن‌ها نسبت به ریزپرنده‌های بال ثابت و چرخان دارای پیچیدگی بیشتر هستند که عمدتاً ناشی از پیچیدگی آیرودینامیکی آن‌ها باشد. در نتیجه تحقیقات کمتری بر روی آن‌ها نسبت به نمونه‌های بال ثابت و بال چرخان صورت گرفته است. الهام بیولوژیکی نشان می‌دهد که پرواز بال زدن مزایای عملکرد منحصربه فردی را ارایه می‌کند. ریزپرنده‌های بال ثابت و بال چرخان یک مشکل چالش‌زایی را به هنگام کوچک سازی دارند. هنگامی که سایز بال‌ها کاهش می‌یابد، یک گذار به اعداد رینولدز پایین اتفاق می‌افتد که منجر به کاهش عملکرد مقطع آیرودینامیکی می‌شود. یک ریزپرنده بالزن پتانسیلی از ترکیب خصوصیات مفید دو نمونه دیگر پروازی ارایه می‌دهد در حالی که خصوصیات منفی را کاهش می‌دهد.

در این پروژه در ابتدا مطالعاتی جامع و کامل بر روی ریزپرنده‌های بالزن انجام گرفته و سپس روند طراحی این ریزپرنده‌ها که روش جدیدی در طراحی مفهومی آن‌ها ارایه می‌دهد، تدوین شده است. لازم به ذکر است که تاکنون برای این نوع ریزپرنده‌ها روش طراحی مدوّنی وجود نداشته و اغلب طراحی‌ها بر اساس روش‌های آماری و سعی و خطا متمرکز بوده‌اند. تمرکز این پژوهش و روش ارایه شده در طراحی مفهمومی و سایزینگ این ریزپرنده‌هاست که به تعیین بهینه پارامترهای هندسی بال منجر می‌شود. این بخش از پژوهش شامل استخراج معادلات دینامیکی و سینماتیکی در حالت‌های مختلف پروازی همچون بال زدن و گلایدینگ و شبیه سازی فرآیند آنالیز قیدی بر روی این نمونه ریزپرنده‌ها بر مبنای نوع مأموریت تعریف شده است که این بخش با توجه به جستجوهای انجام شده برای اولین بار بر روی این نمونه از ریزپرنده‌ها صورت گرفته است. هدف از انجام این شبیه‌سازی مشخص نمودن فضای طراحی است. تعریف شکل بال‌های مختلف با الگوگیری از شکل بال پرندگان و آنالیز و مقایسه آن‌ها با استفاده از تئوری نواری از لحاظ نیروهای لیفت و تراست تولیدی، فرکانس بال زدن و ارایه روش جدید در تخمین وزن از دیگر مواردی است که در سایزینگ مورد توجه است. لازم به ذکر است که برمبنای روش تدوین شده، یک ریزپرنده بالزن از نوع پرنده با طول بال ۷۰ سانتیمتر و وزنی برابر ۳۸۲ گرم طراحی و ساخته شده و محاسبات مورد نیاز از قبیل آیرودینامیک، کنترل پایداری، طراحی مکانیزم جهت صحت سنجی طراحی اولیه بر روی آن صورت گرفته است. همچنین از جمله جنبه‌های جدید کار انجام شده در این پروژه، ارایه یک روند جدید در طراحی مفهومی ریزپرنده‌های بالزن و الگوگیری از پرندگان در طراحی و ساخت این ریزپرنده‌ها بوده است.

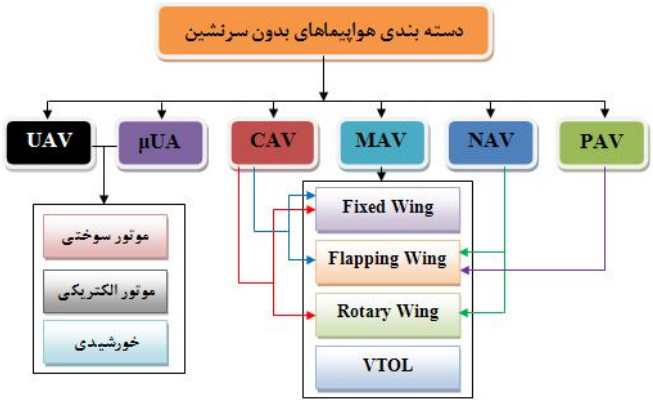
لغات کلیدی

ریزپرنده، بالزن، طراحی مفهومی، سایزینگ، تئوری نواری، مکانیزم بال زدن

فصل اول
مقدمه

۱-۱- هواپیماهای بدون سرنشین

هواپیماهای بدون سرنشین امروزه در نقش‌های مختلفی از جمله، شناسایی، جاسوسی و اکتشاف، از تجهیزات نظامی و پرکاربرد ارتش‌های دنیا محسوب می‌شوند. مزیت بدون سرنشین بودن، در کنار ویژگی‌های ابعادی و وزنی و کم هزینه بودن آن‌ها، به این پرنده‌ها این فرصت را می‌دهد که قابلیت اطمینان بیشتری نسبت به سایر وسایل جهت انجام مقاصد ذکر شده داشته باشند. امروزه هواپیماهای بدون سرنشین کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند که می‌توان با توجه به گستردگی، آن‌ها را به کاربردهای نظامی و غیرنظامی تقسیم بندی نمود. از جمله کاربردهای نظامی هواپیماهای بدون سرنشین می‌توان به انجام عملیات‌های جاسوسی و انتحاری اشاره نمود که امروزه کوچک سازی هر چه بیشتر این پرنده‌های بدون سرنشین با هدف انجام عملیات‌های اطلاعاتی جهت پیشبرد اهداف گروه‌های نظامی انجام می‌گیرد. علاوه بر کاربردهای نظامی ذکر شده این پرنده‌ها قابلیت‌های غیرنظامی زیادی را در دریا، خشکی و فضا دارند. که از جمله آن‌ها می‌توان به مواردی از قبیل جنگلبانی، حفاظت از محیط زیست، بررسی خطوط نفت و گاز و... اشاره کرد. امروزه هواپیماهای بدون سرنشین بر اساس محدوده وزنی و ابعادی به شکل‌های مختلفی وجود دارند به طوری‌که در شکل زیر دسته بندی کلی آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- دسته بندی هواپیماهای بدون سرنشین

هواپیماهای بدون سرنشین UAV

هواپیماهای UAV[1] از لحاظ هندسی مشابه هواپیماهای سرنشین‌دار بوده و با این تفاوت که دارای ابعاد کوچک‌تری نسبت به آن‌ها می‌باشند. این گونه هواپیماها معمولاً دارای بال‌های مستطیلی شکل و دارای بدنه، انواع دم‌ها، ارابه فرود و... می‌باشند. از لحاظ سوخت و نوع موتور هواپیماهای UAV به دو دسته الکتریکی و سوختی تقسیم بندی می‌گردند. در نوع الکتریکی موتور هواپیما از نوع الکتریکی بوده و سوخت مورد نیاز هواپیما از طریق باتری یا انرژی خورشیدی تأمین می‌گردد. و در نوع سوختی موتور هواپیما از نوع بنزینی یا الکلی می‌باشد. از جمله هواپیماهای UAV می‌توان از هواپیماهای آرکیو[2] ۱۷۰، گلوبال هاوک و... نام برد. امروزه این هواپیماها در ابعاد مختلفی وجود دارند به گونه‌ای که ابعاد بعضی از آن‌ها حتی از هواپیماهای سرنشین‌دار هم فراتر رفته است که برای مثال می‌توان به هواپیمای گلوبال هاوک[3] ساخت آمریکا اشاره نمود که دارای طول بالی در حدود ۳۶ متر می‌باشد.

شکل ۱-۲- نمایی از هواپیماهای بدون سرنشین UAV

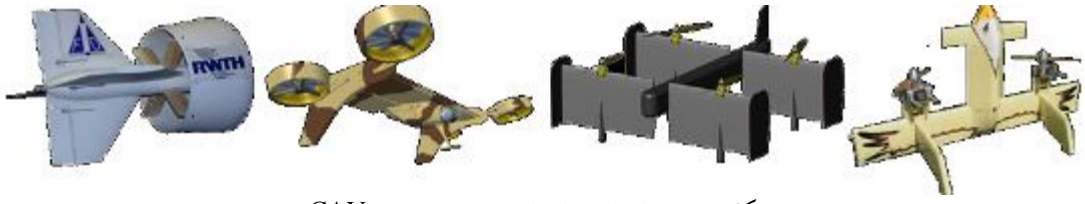
هواپیماهای μUAV

این‌گونه هواپیماها از لحاظ هندسی همانند هواپیماهای UAV می‌باشند با این تفاوت که وزن و ابعاد کوچک‌تری نسبت به آن‌ها دارند. در شکل زیر نمایی از این مدل هواپیماها نشان داده شده است.

شکل ۱-۳- نمایی از هواپیماهای بدون سرنشین μUAV

هواپیماهای CAV[4]

این هواپیماها دارای حالت‌های پروازی ترکیبی هستند. در شکل زیر برخی از این هواپیماها نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- نمایی از هواپیماهای بدون سرنشین CAV

[1] Unmanned Air Vehicle
[2] RQ170
[3] Global Hawk
[4] Complex Air Vehicle

۱-۲- ریزپرنده‌ها

ریزپرنده‌ها معمولاً در سه کلاس MAV[5]، NAV[6] و PAV[7] طراحی و ساخته می‌شوند. هواپیماهای MAV به ریزپرنده‌های معمولاً در ابعاد کوچکتر از ۵۰۰ میلیمتر و وزن زیر ۵۰۰ گرم گفته می‌شود که در چهار نوع بال ثابت، عمود پرواز، بالزن و بال‌های چرخان طراحی می‌شوند. بسته به مأموریت پروازی، ابعاد و نوع تجهیزات نصب شده روی آن‌ها متفاوت است. مزایای چشمگیر استفاده از MAVها موجب شده تا تحقیقات فراوانی برای بهینه‌سازی و بالا بردن توانایی‌های این دسته از پرنده‌ها صورت پذیرد. قابلیت کنترل از راه دور باعث می‌شود تا بتوان آن‌ها را در شرایطی که حضور انسان سخت و غیرممکن و یا خطرناک باشد به کار برد. همچنین ابعاد کوچکترشان نسبت به UAVها دامنه عملکرد وسیعتری برای آن‌ها فراهم می‌سازد. با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، MAVها پتانسیل انجام انواع عملیات شناسایی، گشت‌زنی و حفاظت و نیز حمل بارهای بسیار کوچک کمتر از ۱۰ گرم مانند انواع سنسورها برای علامت‌گذاری مکان‌های خاص را دارند. همچنین از این‌گونه هواپیماهای بدون سرنشین می‌توان جهت هواشناسی استفاده نمود که به مراتب اقتصادی‌تر از انواع دیگر می‌باشند. اولین تحقیقات جامع بر روی MAVها در سال ۱۹۹۳ در موسسه RAND صورت گرفت [۱]. در سال‌های بعدی تحقیقات گسترده‌تری بر روی هواپیماهای میکرو در دانشگاه‌های مختلف انجام شد. امروزه طیف وسیعی از مطالعات و فعالیت در این زمینه با هدف ساخت MAVهای کوچکتر از ۱۵ سانتیمتر که قابلیت انجام مأموریت‌های شناسایی و نجات را داشته باشند، در حال انجام است [۲]. این‌گونه هواپیماها علاوه براینکه ابعاد کوچکی دارند، با سرعت‌های پایینی نیز پرواز می‌کنند. کنترل این‌گونه هواپیماها معمولاً به سه صورت دستی (استفاده از رادیو کنترل[8])، از طریق سیستم ویدئویی[9] و خلبان خودکار[10] صورت می‌گیرد به طوری‌که امروزه استفاده از خلبان خودکار در این ریزپرنده‌ها از تکنولوژی‌های مدرن محسوب می‌گردد [۳].

۱-۲-۱- ریزپرنده‌های بال ثابت[11]

این نوع از هواپیماها شامل پلن‌فرم، دم عمودی و در مواردی بدنه و دم افقی هستند و مهمترین فاکتور در این‌گونه پرنده‌ها بال یا پلن‌فرم[12] می‌باشد. در شکل زیر نمونه‌هایی از ریزپرنده‌های بال ثابت نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برخی از ریزپرنده‌های بال ثابت دارای دو بال[13] هستند.

شکل ۱-۵- نمایی از ریزپرنده‌های بال ثابت

[5] Micro Air Vehicle
[6] Nano Air Vehicle
[7] Pico Air Vehicle
[8] Remote Control
[9] Video Base
[10] Autopilot
[11] Fixed Wing
[12] Planform
[13] Biplane