



دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی آیرودینامیکی ریزپرنده ها در جریان با عدد رینولدز پایین

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

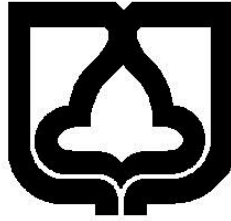
نام دانشجو :

سعید اسماعیلی اوغاز

استاد راهنما :

دکتر فرهاد طالبی

دی ماه ۱۳۹۱



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی آیرودینامیکی ریزپرنده ها در جریان با عدد رینولدز پایین

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

سعید اسماعیلی اوغاز

استاد راهنما:

دکتر فرهاد طالبی

دی ماه ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه / رساله

نام دانشکده:

نام دانشجو:

عنوان پایان‌نامه یا رساله:

تاریخ دفاع:

رشته:

گرایش:

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبہ	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد راهنما				
۳	استاد مشاور				
۴	استاد مشاور				
۵	استاد مدعو خارجی				
۶	استاد مدعو خارجی				
۷	استاد مدعو داخلی				
۸	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب به شماره دانشجویی دانشجوی رشته مقطع تحصیلی تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط

استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه/ رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم

با تشکر از زحمات استاد ارجمند دکتر فرهاد طالبی که در طی این مسیر مرا یاری نموده و دوست عزیزم
محسن خندان.

چکیده :

شبیه سازی جریان اطراف بال حشرات، نقش مهمی در توسعه ریز پرنده ها (MAV) دارد. در کار حاضر شبیه سازی جریان به کمک نرم افزار اوپن فوم (openFOAM) و تکنیک تغییر شکل شبکه RBF انجام شده و تاثیر مدل های مختلف سینماتیکی بال بر عملکرد آیرودینامیکی (نسبت ضریب لیفت به درگ)، روی مدل سه بعدی بال حشره در شرایط پروازی ایستا بررسی شد. پارامترهای دخیل در سینماتیک بال شامل زاویه حمله و زاویه انحراف هستند که مقدار بهینه و شکل مناسب هر کدام بر عملکرد آیرودینامیکی بررسی شد. نخست تاثیر زاویه حمله بر عملکرد آیرودینامیکی در شرایط پروازی ایستا مورد بررسی قرار گرفت و در زاویه حمله ۳۰ درجه و زمان دوران $T = 0.1$ بالاترین مقدار عملکرد آیرودینامیکی بدست آمد. تاثیر زاویه انحراف بر عملکرد آیرودینامیکی در شرایط پروازی ایستا به صورت الگوهای حرکتی O شکل و ∞ شکل مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که الگوی حرکتی ∞ شکل بیشترین مقدار عملکرد آیرودینامیکی را داراست.

واژه های کلیدی:

اوپن فوم، RBF، MAV، عملکرد آیرودینامیکی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه.....
۴	۲-۱- مکانیزم های افزایش دهنده لیفت در بال زدن :.....
۵	۲-۲-۱- اثر واگنر :.....
۵	۳-۲-۱- گیرانداختن گردابه ها :.....
۶	۴-۲-۱- اثر کرامر :.....
۶	۵-۲-۱- گردابه لبه حمله :.....
۸	۳-۱- تحقیقات انجام گرفته :.....
۸	۱-۳-۱- آزمایشات :.....
۱۱	۱-۳-۲- چالش های آزمایشگاهی در تحلیل آیرودینامیک حشرات :.....
۱۳	۳-۳-۱- روش های عددی :.....
۲۲	۴-۱- هدف از انجام تحقیقات :.....
۲۴	فصل ۲: تکنیک های تغییر شکل شبکه
۲۵	۱-۲- مقدمه.....
۲۶	۲-۲- تکنیک های متفاوت تغییر شکل شبکه :.....
۲۶	۱-۲-۲- معادله لاپلاس با متغیر ضریب پخش :.....
۲۷	۲-۲-۲- معادله SBR Stress.....
۲۸	۲-۲-۳- میانبایی RBF :.....
۳۲	۳-۲- نتیجه گیری :.....
۳۳	۴-۲- اعتبار سنجی تکنیک RBF :.....
۳۷	فصل ۳: خواص فیزیکی و مدل سازی عددی جریان
۳۸	۱-۳- اعداد بدون بعد.....
۳۸	۱-۱-۳- عدد رینولدز :.....
۳۹	۲-۱-۳- عدد اشتروهال و فرکانس نقصانی :.....
۴۰	۲-۳- قانون تشابه دینامیکی.....
۴۱	۳-۳- شکل بال و مدل سینماتیکی :.....
۴۱	۱-۳-۳- شکل بال :.....
۴۴	۳-۳-۲- مراحل بالزنی یک حشره.....

- ۴۷..... مدل سینماتیکی : ۳-۳-۳
- ۵۱..... پیاده سازی مدل عددی سینماتیک بال ها : ۴-۳-۳
- ۵۳..... معادلات حاکم بر بال زن و حلگر مورد استفاده: ۴-۳-۴
- ۵۴..... ۱-۴-۳ دامنه حل و شرایط مرزی :
- ۵۶..... ۵-۳ تعاریف نیرو و ضریب کارایی :
- ۵۶..... ۱-۵-۳ نیروها :
- ۵۸..... ۲-۵-۳ کارایی :

فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها ۵۹

- ۶۰..... ۱-۱-۴ بررسی استقلال شبکه :
- ۶۲..... ۲-۴ اثر مدل سینماتیکی :
- ۶۲..... ۱-۲-۴ بررسی تغییرات زاویه حمله بر نیروهای وارد بر بال :
- ۷۳..... ۲-۲-۴ زاویه حمله ذوزنقه ای شکل :
- ۷۶..... ۳-۲-۴ بررسی تاثیر زاویه انحراف :
- ۷۷..... ۴-۲-۴ الگوی حرکتی O شکل :
- ۷۹..... ۴-۲-۵ الگوی حرکتی به شکل ∞ :
- ۸۲..... ۳-۴ نتیجه گیری :
- ۸۳..... ۴-۴ افق های آینده تحقیق :

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) چند مدل مختلف از MAV ۳
- شکل (۲-۱) گردابه ایجاد شده توسط بال هواپیما ۴
- شکل (۳-۱) اثر واگنر ۵
- شکل (۴-۱) مکانیزم گیر انداختن گردابه ها ۶
- شکل (۵-۱) گردابه لبه حمله تولید شده در پرواز حشره حالت ایستا ۷
- شکل (۶-۱) ادامه شکل (۵-۱) ۸
- شکل (۷-۱) آشکار سازی جریان حول بال به کمک باریکه لیزر ۹
- شکل (۸-۱) تاثیر قابلیت ارتجاعی و وزن بال بر فرکانس بهینه ۱۰
- شکل (۹-۱) مشاهده تشکیل LEV در آزمایش ۱۰
- شکل (۱۰-۱) مدل روبوفلی ۱۱
- شکل (۱۱-۱) نمونه وسایل آزمایشگاهی برای شبیه سازی پرواز حشره ۱۲
- شکل (۱۲-۱) روش DPIV ۱۳
- شکل (۱۳-۱) دو الگوی افقی متفاوت بررسی شده توسط تنگ و همکاران ۱۴
- شکل (۱۴-۱) ضریب لیفت در $Re=75$ ، a) ، $Re=300$ ، b) و $Re=500$ c) در شبیه سازی تنگ و همکاران ۱۵
- شکل (۱۵-۱) بر خورد ایرفویل با LEV حاصل از نیم سیکل قبلی و تشکیل LEV و TEV جدید در لحظه برگشت بال ۱۷
- شکل (۱۶-۱) مش مورد استفاده در شبیه سازی ۱۸
- شکل (۱۷-۱) تأثیر عدد رینولدز بر ضریب لیفت ۱۸
- شکل (۱۸-۱) تأثیر عدد رینولدز بر عملکرد آیرودینامیکی ۱۹

- شکل (۱۹-۱) تأثیر دامنه چرخشی نوسان بر عملکرد آیرودینامیکی ۱۹
- شکل (۲۰-۱) مشاهده مکانیزم های ناپایدار افزایش دهنده لیفت در الگوی به شکل ∞ ۲۰
- شکل (۱-۲) توابع RBF با پوشش جزئی ۳۰
- شکل (۲-۲) توابع RBF با پوشش کامل ۳۱
- شکل (۳-۲) دامنه حل استفاده شده برای اعتبار سنجی کد ۳۳
- شکل (۴-۲) ضرایب لیفت و درگ بدست آمده با استفاده از اوپن فوم و تکنیک RBF ۳۵
- شکل (۵-۲) ضرایب لیفت و درگ بدست آمده در مقاله ژیلیمانو و کوتاه ۳۵
- شکل (۶-۲) کانتور بردار سرعت در زمان ۴۸ ثانیه ۳۶
- شکل (۷-۲) کانتور بردار سرعت در زمان ۱۴۱ ثانیه ۳۶
- شکل (۱-۳) نمایی از شکل بال ۴۲
- شکل (۲-۳) شکل بال در تحقیق سان و دیکینسون ۴۲
- شکل (۳-۳) شکل نمایی از بال واقعی و بال استفاده شده در این کار ۴۳
- شکل (۴-۳) بال زدن حشره در حالت ایستا ۴۵
- شکل (۵-۳) سینماتیک بال زنی حشره در حالت ایستا در شیوه اول ۴۵
- شکل (۶-۳) سینماتیک بال زنی حشره در حالت ایستا ۴۶
- شکل (۷-۳) تغییرات سرعت انتقالی بال ها در یک سیکل (stroke) بالزنی ۴۷
- شکل (۸-۳) زوایا حرکت در مدل سینماتیکی ۴۸
- شکل (۹-۳) نمونه ای از حرکت بال : الگوی O شکل ۴۸
- شکل (۱۰-۳) نمونه ای از مدل سینماتیکی به کار گرفته شده در تحقیقات ۴۹
- شکل (۱۱-۳) مدل های سینماتیکی مختلف برای بال ۵۰
- شکل (۱۲-۳) الگوی حرکت نوک بال : ∞ شکل و O شکل ۵۱

- شکل (۳-۱۳) شبکه تولید شده اطراف بال ۵۵
- شکل (۳-۱۴) دامنه حل دو بعدی ۵۵
- شکل (۳-۱۵) دامنه حل سه بعدی ۵۶
- شکل (۴-۱) نمودار تغییرات ضریب لیفت متوسط بر حسب اندازه شبکه ۶۲
- شکل (۴-۲) ضریب لیفت برای زوایا حمله متفاوت ۶۳
- شکل (۴-۳) ضریب درگ برای زوایا حمله متفاوت ۶۴
- شکل (۴-۴) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0$ ۶۵
- شکل (۴-۵) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0/1$ ۶۶
- شکل (۴-۶) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0/2$ ۶۷
- شکل (۴-۷) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0/25$ ۶۸
- شکل (۴-۸) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0/3$ ۶۹
- شکل (۴-۹) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0/4$ ۷۰
- شکل (۴-۱۰) گردابه های ایجاد شده در بال، در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه و در زمان $t/T = 0/5$ ۷۱
- شکل (۴-۱۱) کانتور فشار در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه در طی یک سیکل ۷۲
- شکل (۴-۱۲) کانتور سرعت در دامنه زاویه حمله ۴۵ درجه، در صفحه عمود بر بال در طی یک سیکل ۷۳
- شکل (۴-۱۳) زاویه حمله مدل دوزنقه ای ۷۴
- شکل (۴-۱۴) ضریب لیفت برای زاویه حمله دوزنقه ای شکل ۷۵
- شکل (۴-۱۵) ضریب درگ برای زاویه حمله دوزنقه ای شکل ۷۶
- شکل (۴-۱۶) ضریب نیرو لیفت برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی O شکل ۷۸
- شکل (۴-۱۷) ضریب نیرو درگ برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی O شکل ۷۸
- شکل (۴-۱۸) ضریب لیفت برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی به شکل ∞ ۸۰

شکل (۴-۱۹) ضریب درگ برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی به شکل ∞ ۸۱

شکل (۴-۲۰) ضریب لیفت برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی به شکل ∞ ۸۱

شکل (۴-۲۱) ضریب درگ برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی به شکل ∞ ۸۲

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) مشخصات باله های مختلف مورد استفاده در آزمایش سینق و رمسامی..... ۹
- جدول (۲-۱) مشخصات سینماتیک های مختلف بررسی شده توسط تنگ و همکاران..... ۱۴
- جدول (۳-۱) اختلاف ضرایب لیفت و درگ در نیم سیکل های رفت و برگشت برای رینولدزهای مختلف در شیبه سازی تنگ و همکاران..... ۱۵
- جدول (۴-۱) مقادیر ضرایب لیفت و درگ و عملکرد آیرودینامیکی برای ۴ الگوی مختلف پرواز افقی..... ۱۶
- جدول (۵-۱) مقایسه عملکرد آیرودینامیکی در الگوهای مختلف..... ۲۱
- جدول (۶-۱) تاثیر ضخامت ایرفویل بر عملکرد آیرودینامیکی..... ۲۱
- جدول (۷-۱) تاثیر دامنه حرکت بر عملکرد آیرودینامیکی..... ۲۲
- جدول (۱-۲) ضریب لیفت متوسط برای استوانه ۳۴
- جدول (۱-۳) داده های استفاده شده در کار حاضر..... ۴۴
- جدول (۱-۴) نتایج بدست آمده برای دقت حل گر..... ۶۱
- جدول (۲-۴) ضرایب نیرو در زوایا حمله متفاوت..... ۶۳
- جدول (۳-۴) مقادیر ضرایب نیرو برای زاویه حمله ذوزنقه ای شکل..... ۶۷
- جدول (۴-۴) مقادیر ضرایب نیرو برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی O شکل..... ۶۹
- جدول (۵-۴) مقادیر ضرایب نیرو برای تغییرات زاویه انحراف : الگوی ∞ به شکل..... ۷۱

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

MAV^۱ نامی است که برای وسایل پرنده بدون سرنشین کوچک استفاده می شود. این اجسام دارای ۱۵ cm طول بال و دارای وزنی در حدود ۱۰۰ گرم با قابلیت حمل باری در حدود ۲۰ گرم هستند. در ارتفاعی در حدود ۱۰۰ متر پرواز می کنند و دارای بیشینه سرعتی در حدود $10 \frac{m}{s}$ هستند. این مشخصات MAV را در اندازه مشابه طیف وسیعی از پرندگان قرار می دهد. کاربردهای نامحدودی برای این وسیله، با پیشرفت هایی که در زمینه میکرو ابزارها انجام شده است می توان تعریف کرد از جمله :

۱. مدیریت و بازرسی ترافیک های جاده ای
۲. بازرسی از خطوط لوله ی گاز ، نفت، آب و...
۳. جستجو برای یافتن بازماندگان بلایای طبیعی همچون زلزله و سیل
۴. جستجو در مکان هایی که به دلیل سمی بودن محیط آنجا و یا علل دیگر امکان حضور انسان در آنجا فراهم نیست.
۵. از مهمترین استفاده های دیگر MAV ها بحث جاسوسی و کسب اطلاعات به منظور اهداف نظامی یا غیر نظامی می باشد.

انواع MAV هایی که تا به حال ساخته شده اند را می توان به سه دسته کلی تقسیم کرد:

۱. بال ثابت ها^۲
۲. بال چرخان ها^۳
۳. بالزن ها^۴

در این میان حرکت بالزن ها به دلیل وجود ساختارهای گذرا پیچیدگی بیشتری دارد. این ساختارهای گذرا منجر به افزایش قابل ملاحظه نیروهای آیرودینامیکی در حشرات و پرندگان می شود. MAV های بالزن نیز به دو دسته تقسیم می شوند.

^۱ Micro Air Vehicle اجسام ریزپرنده کوچک

^۲ Fixed Wing

^۳ Rotary Wing

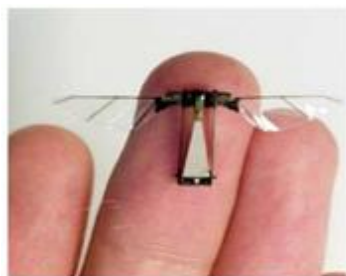
^۴ Flapping Wing

۱. اورنیتوپتر^۱ ها که از سینماتیک بالزنی پرنده ها تقلید می کنند.

۲. انتومپتر^۲ ها که از سینماتیک بالزنی حشرات بهره می گیرند.

مهمترین تفاوت بین سینماتیک بالزنی پرندهگان و حشرات در تغییر زاویه ی برخورد^۳ (زاویه ی بین وتر بال متصل به بدن با خط افق را گویند و از آنجا که در پرندهگان و حشرات بر خلاف هواپیما ها، بال ها به سمت بالا و پایین متحرک هستند این زاویه در طول پرواز دائما در حال تغییر است) بال ها می باشد. پرندهگان در حین پرواز با تغییر اندک (در حدود چند درجه) در زاویه ی برخورد بال ها، نیروی مورد نیاز خود را تامین می کنند ولی حشرات از تغییرات سریع و بزرگ در زاویه ی برخورد بال خود (بیش از ۱۰۰ درجه) برای تامین نیروی مورد نیاز، در مانورهای مختلف بهره می گیرند.

در میان MAV های ساخته شده انتومپترها جدیدترین نوع می باشند و دانش موجود در مورد تحلیل و ساخت آنها نسبت به بقیه کمتر است. از آنجا که سینماتیک حرکتی این نوع MAV ها به سینماتیک بالزنی حشرات بسیار شبیه است، آیرودینامیک حاکم بر آنها انطباق خوبی با آیرودینامیک حاکم بر حشرات دارد، در نتیجه با بررسی و تحلیل آیرودینامیک حشرات می توان به نکات خوبی در زمینه ی طراحی بهینه ی این نوع از MAV ها دست یافت. برای رسیدن به همین هدف، آیرودینامیک حاکم بر حشرات بال دار مورد بررسی قرار گرفته است.



ج) واسپ



ب) انتومپتر



الف) دلفی

شکل (۱-۱) چند مدل مختلف از MAV [۱۵]

^۱ Ornithopter

^۲ Entomopter

^۳ Incidence Angle