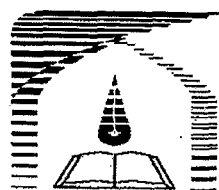


۹۳۸۱

---

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۹۹.۴۵



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد  
مهندسی هوا و فضا - گرایش آیرودینامیک

# بهینه سازی سرعت ناپایداری بال در حالت دوبعدی

ابوذر وفائی منش

استاد راهنما:

دکتر بهزاد قدیری

کتابخانه تخصصی مهندسی  
تربیت مدرس

۱۳۸۷ / ۵ / ۲۲

فروردین ۱۳۸۷

۹۹۰۴۵



بسمه تعالی

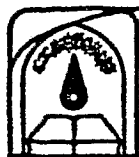
## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای ابوذر وفایی منش پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بهینه سازی سرعت ناپایداری بال در حالت دوبعدی در تاریخ ۱۳۸۷/۱/۳۱ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - هوافضا پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر بهزاد قدیری دهکردی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر قاسم حیدری نژاد	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سیامک اسماعیل زاده خادم	استاد	
استاد ناظر	دکتر مسعود شریعت پناهی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر قاسم حیدری نژاد	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:



بسمه تعالی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته هندسی هوا و فضا است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده مهندسی هوا و فضا دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر بهزاد عدیری، مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر                      و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر                      از آن دفاع شده است.»

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب ابوذر وفایی نس دانشجوی رشته هندسی هوا و فضا مقطع طراحی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

۱۳۸۷ / ۱۵ / ۲۲

نام و نام خانوادگی: ابوذر وفایی نس

تاریخ و امضا:                       
۱۳۸۷ / ۴ / ۱۴

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

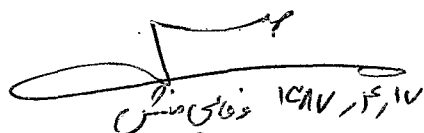
ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

  
۱۳۸۷ / ۱۰ / ۲۲

۱۳۸۷ / ۱۰ / ۲۲

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

## تقدیر و تشکر:

حمد و سپاس خدایی را که انسان را بیافرید و بواسطه نعمت عقل و شعور او را از سایر موجودات تمیز ساخت. اکنون که به حول و قوه الهی، مراحل تحقیق و تدوین این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می‌دانم که از تلاش و مساعدت‌های اساتید و همکاران محترمی که در این امر مرا یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر بهزاد قدیری که با صبر و بردباری، مراحل مختلف پایان‌نامه را راهنمایی نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از جناب آقای مهندس محمد کردی که در تمام مراحل تحقیق از مشاوره و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان بهره‌مند شدم، صمیمانه سپاسگذارم و برای ایشان آرزوی پیروزی و موفقیت روزافزون دارم.

فروردین ۱۳۸۷

## چکیده:

از آنجاکه روشهای کلاسیک گرا دیانی در بهینه‌سازی توابعی که دارای چندین اکسترمم محلی بوده و یا با محدودیت مشتق‌پذیری و پیوستگی روبرو هستند، عملکرد موفقی ندارند، در این پایان‌نامه جهت بهینه‌سازی سرعت ناپایداری بال (فلاتر) تابدار از الگوریتم ژنتیک که از دسته روشهای تکاملی می‌باشد کمک گرفته شده است. برنامه رایانه‌ای در همین راستا تدوین شده است. مطابق با دانش روز بودن الگوریتم حل به کار برده شده، کارایی بالا، نوشته شدن تحت زبان برنامه‌نویسی فرترن و در اختیار قرار دادن پارامترهای تنظیم مختلف و طرح‌های باز تولید متنوع از ویژگیهای خاص این برنامه رایانه‌ای می‌باشد. جهت معتبرسازی برنامه رایانه‌ای مذکور و بررسی تاثیرات پارامترهای تنظیم و طرح‌های باز تولید مختلف در روند بهینه‌یابی، از ۳ تابع آزمون معروف کمک گرفته شده است.

به منظور بررسی ناپایداری بال تابدار که در این پایان‌نامه به عنوان تابع هدف بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است، معادلات حرکت یک بال الاستیک با استفاده از معادلات لاگرانژ استخراج شده است. مدلسازی بال تابدار، بصورت تیر یکسر درگیر که در جهات خمش و پیچش (دو درجه آزادی) نوسان می‌کند، انجام شده است. بارهای آیرودینامیکی حاصله بر مبنای معادلات تئودورسون بهبود یافته برای بالواره نوسان کننده هارمونیک در جهات خمش و پیچش در جریان غیردائم تراکم‌ناپذیر استوار می‌باشد که اثرات تراکم‌پذیری و نسبت منظری به آنها اعمال شده است. سپس نیروها و ممان‌های آیرودینامیکی توسط تئوری نوارهای باریک برای بال تابدار بدست آمده است. معادلات آیرولاستیکی با برنامه رایانه‌ای تدوین شده از طریق مقادیر ویژه در حوزه فرکانسی و روش  $V-g$  حل شده‌اند. به منظور معتبرسازی برنامه رایانه‌ای مربوطه، نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده روی یک سری از بال‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این برنامه رایانه‌ای به عنوان یک زیربرنامه جهت تعیین مقدار برازش تابع صلاحیت (برازش) در ساختار برنامه اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در پایان نیز مسئله‌ای نمونه، طرح شده و به کمک برنامه رایانه‌ای مزبور مورد حل و بررسی قرار می‌گیرد.

**کلید واژگان:** بهینه‌سازی، ژنتیک الگوریتم، آیرولاستیسیته، فلاتر، آیرودینامیک غیردائم، روش  $V-g$



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول

- ۱-۱ - مقدمه ..... ۲
- ۱-۲ - تقسیم بندی پدیده های آیروالاستیسیته ..... ۳
- ۱-۳ - روش حل معادلات آیروالاستیسیته ..... ۶
- ۱-۴ - هدف از انجام تحقیق ..... ۸
- ۱-۵ - مروری بر مطالعات انجام شده ..... ۹

### فصل دوم

- ۲-۱ - مقدمه ..... ۱۵
- ۲-۲ - معادلات آیروالاستیکی بال بدون تاب در جریان سیال تراکم ناپذیر ..... ۱۶
- ۲-۳ - معادلات آیروالاستیکی بال دارای تاب در جریان سیال تراکم ناپذیر ..... ۲۳
- ۲-۴ - معادلات آیروالاستیکی بال دارای تاب در جریان سیال تراکم پذیر ..... ۲۷
- ۲-۴-۱ - مولفه چرخشی ..... ۲۹
- ۲-۴-۲ - مولفه غیر چرخشی ..... ۳۱
- ۲-۴-۳ - مدل سیال تراکم پذیر نیروی برآ و ممان آیرودینامیکی ..... ۳۱
- ۲-۴-۴ - معادله آیروالاستیکی بال ..... ۳۲
- ۲-۵ - روش حل معادله آیروالاستیکی بال ..... ۳۳

### فصل سوم

- ۳-۱ - مقدمه ..... ۳۸
- ۳-۲ - معرفی الگوریتم ژنتیک ..... ۳۹
- ۳-۳ - اجزای الگوریتم ژنتیک ..... ۴۱
- ۳-۳-۱ - متغیرهای طراحی ..... ۴۱
- ۳-۳-۱-۱ - متغیر طراحی گسسته ..... ۴۲
- ۳-۳-۱-۲ - متغیرهای طراحی پیوسته ..... ۴۳
- ۳-۳-۲ - اندازه جمعیت ..... ۴۴
- ۳-۳-۳ - تابع برازش ..... ۴۴

- ۴۵ ..... ۳-۳-۳-۱ - درجه بندی تابع برازش
- ۴۶ ..... ۳-۳-۳-۱-۱ - درجه بندی خطی
- ۴۸ ..... ۳-۳-۳-۱-۲ - درجه بندی توانی
- ۴۹ ..... ۳-۳-۴ - عملگرهای ژنتیک
- ۴۹ ..... ۳-۳-۴-۱ - عملگر تکثیر
- ۴۹ ..... ۳-۳-۴-۱-۱ - انتخاب چرخ گردان
- ۵۰ ..... ۳-۳-۴-۱-۲ - انتخاب شایسته
- ۵۱ ..... ۳-۳-۴-۲ - عملگر پیوند
- ۵۲ ..... ۳-۳-۴-۲-۱ - پیوند یک نقطه‌ای
- ۵۲ ..... ۳-۳-۴-۲-۲ - پیوند دو نقطه‌ای
- ۵۲ ..... ۳-۳-۴-۲-۳ - پیوند سه نقطه‌ای
- ۵۳ ..... ۳-۳-۴-۲-۴ - پیوند چهار نقطه‌ای
- ۵۳ ..... ۳-۳-۴-۲-۵ - پیوند یکنواخت
- ۵۴ ..... ۳-۳-۴-۳ - عملگر جهش
- ۵۵ ..... ۳-۳-۵ - معیار همگرایی
- ۵۶ ..... ۳-۴ - عملکرد یک الگوریتم ژنتیکی ساده

## فصل چهارم

- ۶۰ ..... ۴-۱ - مقدمه
- ۶۱ ..... ۴-۲ - بررسی برنامه رایانه‌ای الگوریتم ژنتیک
- ۶۲ ..... ۴-۲-۱ - ورودی‌ها
- ۶۵ ..... ۴-۲-۲ - انواع روشهای بازتولید
- ۶۶ ..... ۴-۲-۲-۱ - حالت جایگزینی کامل نسلیها
- ۶۶ ..... ۴-۲-۲-۲ - حالت حذف ضعیف‌ترین افراد جمعیت
- ۶۷ ..... ۴-۲-۲-۳ - حالت جایگزینی بختی
- ۶۷ ..... ۴-۲-۲-۴ - حالت انتخاب بختی و حذف ضعیف‌ترین افراد جمعیت
- ۶۸ ..... ۴-۲-۳ - معیار همگرایی
- ۷۰ ..... ۴-۲-۴ - استفاده از توابع تست جهت معتبرسازی کد الگوریتم ژنتیک
- ۷۰ ..... ۴-۲-۴-۱ - تابع آزمون پرنده
- ۷۳ ..... ۴-۲-۴-۱-۱ - طرح بازتولید جایگزینی کامل نسل بدون نخبه‌گرایی
- ۷۴ ..... ۴-۲-۴-۱-۲ - طرح بازتولید جایگزینی کامل نسل همراه با نخبه‌گرایی

- ۷۵ ..... ۴-۲-۴-۱-۳ - طرح بازتولید جایگزینی بختی بدون نخبه‌گرایی
- ۷۶ ..... ۴-۲-۴-۱-۴ - طرح بازتولید جایگزینی بختی همراه با نخبه‌گرایی
- ۷۷ ..... ۴-۲-۴-۱-۵ - طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد
- ۷۸ ..... ۴-۲-۴-۱-۶ - طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد
- ۴-۲-۴-۱-۷ - مقایسه تطبیقی روند بهینه‌یابی تابع پرنده در طرح‌های  
 ۸۰ ..... بازتولید مختلف
- ۴-۲-۴-۲ - تابع آزمون شفر ..... ۸۳
- ۴-۲-۴-۲-۱ - بهینه‌یابی تابع آزمون شفر ..... ۸۵
- ۴-۲-۴-۲-۲ - بررسی تاثیر تعداد جمعیت در روند بهینه‌یابی تابع شفر ..... ۸۶
- ۴-۲-۴-۳ - تابع آزمون استیلینسکی - تنگ ..... ۸۷
- ۴-۲-۴-۵-۱ - بهینه‌یابی تابع آزمون استیلینسکی - تنگ ..... ۸۹
- ۴-۲-۴-۵-۲ - بررسی تاثیر تغییرات احتمال همگذری بر روند بهینه‌یابی تابع  
 استیلینسکی - تنگ ..... ۹۰
- ۴-۳ - بررسی برنامه رایانه‌ای فلاتر ..... ۹۳
- ۴-۳-۱ - معرفی ورودی‌ها و خروجی‌های برنامه رایانه‌ای نوشته شده ..... ۹۳
- ۴-۳-۲ - معتبرسازی برنامه رایانه‌ای فلاتر ..... ۹۴

## فصل پنجم

- ۵-۱ - طرح مسئله ..... ۹۷
- ۵-۲ - معرفی پیچیدگی‌های مسئله طرح‌شده ..... ۱۰۰
- ۵-۳ - حل مسئله ..... ۱۰۳
- ۵-۳-۱ - طرح بازتولید جایگزینی کامل نسل همراه با نخبه‌گرایی ..... ۱۰۴
- ۵-۳-۲ - طرح بازتولید جایگزینی بختی همراه با نخبه‌گرایی ..... ۱۰۵
- ۵-۳-۳ - طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد ..... ۱۰۶
- ۵-۳-۴ - طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد ..... ۱۰۷
- ۵-۴ - مقایسه روش‌های حل ..... ۱۰۸
- ۵-۵ - نتیجه‌گیری ..... ۱۱۰
- ۵-۶ - پیشنهادات ..... ۱۱۵
- مراجع و ماخذ ..... ۱۱۷

## فهرست علائم و نشانه ها

صفحه	عنوان
a.....	فاصله بی بعد شده بین محور الاستیکی و نصف وتر، مولفه حقیقی مقدار ویژه
$aC_n$ .....	فاصله بی بعد شده بین مرکز آیرودینامیکی و نصف وتر
AC.....	مرکز آیرودینامیکی
AR.....	نسبت منظری
A(q).....	عملگر آیرودینامیکی
$AR_g$ .....	نسبت منظری هندسی
b.....	نصف وتر، مولفه موهومی مقدار ویژه
cg.....	فاصله بی بعد شده بین صفر و یک برای موقعیت مرکز ثقل
C.....	وتر در هر مقطع از بال
CG.....	مرکز ثقل بالواره
$C_h$ .....	ضریب دمپر خمش
$C_R$ .....	وتر در ریشه بال
$C_T$ .....	وتر در نوک بال
$C_{lan}$ .....	شیب ضریب نیروی بر
$C_\theta$ .....	ضریب دمپر پیچش
$C_1, C_2$ .....	ضرایب ثابت توابع شکل خمش و پیچش
C(k).....	تابع تئودورسون
$\mathcal{C}$ .....	ماتریس دمپر سازه‌ای
d.....	فاصله بی بعد شده بین محل اثر شرط مرزی پایین دست و نصف وتر
dL.....	نیروی برآ در یک مقطع بال
dM.....	ممان آیرودینامیکی در یک مقطع بال
D.....	تابع اتلاف ریلی بال
e.....	فاصله بی بعد شده بین صفر و یک برای موقعیت محور الاستیکی
EA.....	محور الاستیکی
EI.....	ضریب صلیب سازه‌ای بال
$f_f$ .....	فرکانس فلاتر حاصل از روش تحقیق
$f_h$ .....	فرکانس خمش
$f_{h1}$ .....	فرکانس خمش حاصل از آزمایش

$f_i$	.....	فرکانس پیچش حاصل از آزمایش
$F(k)$	.....	مولفه حقیقی تابع تئودورسون
GJ	.....	ضریب صلیب پیچشی بال
$G(k)$	.....	مولفه موهومی تابع تئودورسون
$h$	.....	خمش بال در هر فاصله $l$ از ریشه بال
$h_1$	.....	مختصه مستقل خمش متناظر با $\psi_1$
$i$	.....	تعداد درجات آزادی سیستم، $\sqrt{-1}$
$I_p$	.....	ممان اینرسی قطبی بر واحد طول
$I(q)$	.....	عملگر اینرسی
$k$	.....	عدد فرکانس بی بعد شده
$k_e$	.....	عدد فرکانس بی بعد شده تجربی
$L$	.....	نیروی برای بال
LE	.....	لبه حمله
$m$	.....	جرم در واحد طول
mC	.....	نصف وتر در هر مقطع بال
$M$	.....	ممان آیرودینامیکی بال حول محور الاستیکی
$M_e$	.....	عدد ماخ فلاتر حاصل از آزمایش تجربی
$M_f$	.....	عدد ماخ فلاتر حاصل از روش تحقیق
$\{M\}$	.....	ماتریس اینرسی
$n$	.....	تعداد درجات آزادی سیستم
$q_1$	.....	مختصات عمومی مستقل
$Q$	.....	مولفه جریان منظم پایینی
$Q_i$	.....	نیروهای اعمال شده به سیستم
$S$	.....	طول بال
$S(q)$	.....	عملگر سازه‌ای
$t$	.....	زمان
$T$	.....	انرژی جنبشی بال
TE	.....	لبه فرار
$U$	.....	انرژی پتانسیل بال
$V$	.....	سرعت جریان هوا
$V_e$	.....	سرعت فلاتر حاصل از آزمایش
$V_f$	.....	سرعت فلاتر حاصل از روش تحقیق

$V_n$	سرعت جریان آزاد در مختصات بال
$W$	سرعت اغتشاشی عمودی روی بال
$x_\alpha$	فاصله بی بعد شده بین محور الاستیکی و مرکز ثقل
$y$	فاصله از ریشه بال
$Y, Z$	محورهای دستگاه مختصات
$Z$	ماتریس تغییر مکان خطی و زاویه‌ای
$\delta h$	تغییر مکان جزئی خطی خمش
$\gamma$	نسبت مخروطی
$\delta\theta$	تغییر مکان جزئی زاویه‌ای پیچش
$\delta_h$	ضریب استهلاک لگاریتمی خمش
$\delta_\theta$	ضریب استهلاک لگاریتمی پیچش
$\Delta W$	کار مجازی
$\Lambda$	زاویه تاب بال
$\zeta$	مختصات جهت جریان باد
$\eta$	طول بی بعد شده بال
$\theta$	پیچش بال در هر فاصله $y$ از ریشه بال
$\theta_1$	مختصه مستقل پیچش متناظر با $\phi_1$
$\lambda$	مقدار ویژه
$\rho$	وزن مخصوص هوا
$\sigma$	شیب خمیدگی محور الاستیکی
$\tau$	شیب پیچیدگی محور الاستیکی
$\phi_1$	مود فرضی برای پیچش
$\psi_1$	مود فرضی برای خمش
$\omega$	فرکانس زاویه‌ای
$\omega_h$	فرکانس زاویه‌ای خمش کوپل نشده
$\omega_\theta$	فرکانس زاویه‌ای پیچش کوپل نشده

بالانویس‌ها:

' : مشتق مکان

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) - مثلث کولار.....	۴
شکل (۲-۱) - نمادگذاری مقطع بال در راستای وتر .....	۱۶
شکل (۲-۲) - نمای دید از بالای بال .....	۱۷
شکل (۲-۳) - نمای عمومی بال دارای تاب .....	۲۳
شکل (۲-۴) - شرایط جریان تراکم نایذیر .....	۳۰
شکل (۲-۵) - شرایط جریان تراکم یذیر .....	۳۰
شکل (۲-۶) - الگوریتم روش V-g .....	۳۴
شکل (۲-۷) - نمودار حل روش V-g .....	۳۵
شکل (۳-۱) - درجه بندی خطی در شرایط عادی .....	۴۷
شکل (۳-۲) - درجه بندی خطی در شرایط ویژه .....	۴۸
شکل (۳-۳) - نحوه انتخاب طرح به وسیله چرخ گردان .....	۵۰
شکل (۳-۴) - انواع عملگر پیوند چند نقطه‌ای .....	۵۳
شکل (۳-۵) - نحوه عملکرد پیوند یکنواخت .....	۵۴
شکل (۳-۶) - نحوه عملکرد جهش .....	۵۵
شکل (۳-۷) - نمودار الگوریتم ژنتیکی ساده .....	۵۸
شکل (۴-۱) - معرفی پارامترهای بررسی شده در نمودارهای روند بهینه‌یابی توابع .....	۶۹
شکل (۴-۲) - تابع آزمون پرنده .....	۷۲
شکل (۴-۳) - تابع آزمون پرنده .....	۷۲
شکل (۴-۴) - تابع آزمون شفر .....	۸۴
شکل (۴-۵) - تابع آزمون شفر .....	۸۴
شکل (۴-۶) - تابع آزمون استیلینسکی- تنگ .....	۸۸
شکل (۴-۷) - تابع آزمون استیلینسکی- تنگ .....	۸۹
شکل (۵-۱) - تابع برازش مسئله نمونه با ۲ متغیر مستقل جرم در واحد طول بال و ممان	
اینرسی قطبی بر واحد طول بال .....	۱۰۱
شکل (۵-۲) - تابع برازش مسئله نمونه با ۲ متغیر مستقل g و e .....	۱۰۲

## فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
۷۳	نمودار (۴-۱) - روند بهینه‌یابی تابع پرنده توسط طرح بازتولید جایگزینی کامل نسل بدون نخبه‌گرایی.....
۷۴	نمودار (۴-۲) - روند بهینه‌یابی تابع پرنده توسط طرح بازتولید جایگزینی کامل نسل همراه با نخبه‌گرایی.....
۷۵	نمودار (۴-۳) - روند بهینه‌یابی تابع پرنده توسط طرح بازتولید جایگزینی بختی بدون نخبه‌گرایی.....
۷۶	نمودار (۴-۴) - روند بهینه‌یابی تابع پرنده توسط طرح بازتولید جایگزینی بختی همراه با نخبه‌گرایی
۷۷	نمودار (۴-۵) - روند بهینه‌یابی تابع پرنده توسط طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد همراه با برآزش نسبی صفر.....
۷۸	نمودار (۴-۶) - روند بهینه‌یابی تابع پرنده توسط طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد همراه با برآزش نسبی یک.....
۷۹	نمودار (۴-۷) - مقایسه روند بهینه‌یابی دو طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد همراه با برآزش نسبی صفر و جایگزینی ضعیف‌ترین افراد همراه با برآزش نسبی یک.....
۸۰	نمودار (۴-۸) - مقایسه تطبیقی روند بهینه‌یابی تابع پرنده در طرح‌های بازتولید مختلف.....
۸۱	نمودار (۴-۹) - مقایسه تطبیقی روند بهینه‌یابی تابع پرنده در طرح‌های بازتولید مختلف.....
۸۲	نمودار (۴-۱۰) - مقایسه تطبیقی روند بهینه‌یابی تابع پرنده در طرح‌های بازتولید مختلف.....
۸۵	نمودار (۴-۱۱) - روند بهینه‌یابی تابع شفر توسط طرح بازتولید جایگزینی بختی همراه با نخبه‌گرایی
۸۶	نمودار (۴-۱۲) - مقایسه روندهای تغییرات مقدار متوسط برآزش به ازای جمعیت‌های متفاوت.....
۸۷	نمودار (۴-۱۳) - مقایسه روندهای تغییرات مقدار برآزش برآزنده‌ترین فرد در هر نسل به ازای جمعیت‌های متفاوت.....
۹۰	نمودار (۴-۱۴) - روند بهینه‌یابی تابع استیلینسکی- تنگ توسط طرح بازتولید جایگزینی بختی همراه با نخبه‌گرایی.....
۹۱	نمودار (۴-۱۵) - مقایسه روندهای تغییرات مقدار متوسط برآزش به ازای احتمال‌های همگذری متفاوت.....
۹۲	نمودار (۴-۱۶) - مقایسه روندهای تغییرات مقدار برآزش برآزنده‌ترین فرد در هر نسل به ازای احتمال‌های همگذری متفاوت.....
۱۰۴	نمودار (۵-۱) - روند بهینه‌سازی مسئله نمونه به کمک طرح بازتولید جایگزینی کامل نسل همراه با نخبه‌گرایی.....
	نمودار (۵-۲) - روند بهینه‌سازی مسئله نمونه به کمک طرح بازتولید جایگزینی بختی همراه



- با نخبه‌گرایی..... ۱۰۵
- نمودار (۵-۳) - روند بهینه‌سازی مسئله نمونه به کمک طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد همراه با برازش نسبی صفر..... ۱۰۶
- نمودار (۵-۴) - روند بهینه‌سازی مسئله نمونه به کمک طرح بازتولید جایگزینی ضعیف‌ترین افراد همراه با برازش نسبی یک..... ۱۰۷
- نمودار (۵-۵) - مقایسه تطبیقی روند بهینه‌یابی مسئله نمونه در طرح‌های بازتولید مختلف..... ۱۰۸
- نمودار (۵-۶) - مقایسه تطبیقی روند بهینه‌یابی مسئله نمونه در طرح‌های بازتولید مختلف..... ۱۰۹

### فهرست جداول

صفحه	عنوان
۹۵	جدول (۴-۱) - مشخصات بال‌های مورد آزمایش [۱۶].....
۹۶	جدول (۴-۲) - مقایسه نتایج تجربی [۱۶] با نتایج به دست آمده از برنامه رایانه‌ای.....

# فصل اول

## مقدمه

اکنون نزدیک به یک قرن از پرواز اولین گلايدر ساخت برادران رایت می‌گذرد و در این مدت صنعت هواپیمائی پیشرفتهای چشمگیری داشته است. حوادث بسیاری در این مدت برای هواپیماها بوجود آمده که بررسی و تحقیق در مورد این حوادث دریچه‌های جدیدی از علم و دانش را در زمینه هوا فضا بر روی بشر گشوده است.

علت سقوط هواپیمای تک باله<sup>۱</sup> لاتگلی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۰۳ پدیده‌ای بود که بعدها به عنوان واگرایی بال<sup>۲</sup> شناخته و مطرح گردید. این پدیده توسط برادران رایت در یک پرواز موفقیت‌آمیز با هواپیمای دو باله<sup>۳</sup> بررسی و دنبال شد. آنها پس از تحقیقات به این نتیجه رسیدند که هواپیمای دو باله، سختی<sup>۴</sup> را افزایش داده و سبب از بین رفتن پدیده واگرایی بال می‌گردد. در این پرواز نشان داده شد که به طور کلی سختی پیچشی هواپیماهای دو باله، ذاتاً بیشتر از هواپیماهای تک باله می‌باشد. به همین خاطر متعاقباً درصد زیادی از هواپیماهای نظامی و بالای سی درصد از هواپیماهای کشاورزی، دو باله طراحی شدند. اکنون علم بشر به آن حد رسیده که پدیده<sup>۴</sup> واگرایی بال را تفسیر نماید و دلایل علمی برای توجیه علت برتری هواپیماهای دوباله بر هواپیماهای تک باله در آن زمان را ارائه دهد [۱].

شاید در تاریخ صنعت هواپیمائی، سقوط هواپیماهای تک باله Fokker D-8 در سال ۱۹۳۱ اصلیتترین انگیزه برای شناخت پدیده<sup>۴</sup> واگرایی بال بوده است. این هواپیماها نسبت به هواپیماهای دوباله از سرعت بیشتری برخوردار بودند و هنگام مانور و شیرجه‌های عمیق در موارد پی‌درپی با شکست بالها و ایجاد سانحه مواجه گردیدند. شرکت فوکر، یک آزمایش بر روی هواپیمای فوق انجام داد و در حالت استاتیکی، بال آن را تحت باری معادل ۶ برابر وزن هواپیما قرار داد. محققین شرکت مشاهده نمودند

---

<sup>1</sup> Langley's Monoplane

<sup>2</sup> Wing divergence

<sup>3</sup> Biplane

<sup>4</sup> Stiffness

که بال در این شرایط بخوبی مقاومت می‌کند ولی دچار خمش و پیچش می‌گردد. پس از بررسی‌های دقیقتر به این نتیجه رسیدند که انهدام بال به خاطر پدیده‌ای است که امروز به عنوان واگرایی بال شناخته می‌شود.

پدیده واگرایی علاوه بر سازه‌های هوایی، سازه‌های غیر هوایی را نیز دچار مشکل ساخت. در نوامبر سال ۱۹۴۰ پل تاکوما<sup>۱</sup> در آمریکا که چهار ماه از ساخت آن می‌گذشت و برای مقاومت در مقابل باد با سرعت  $100 \text{ m.p.h}$  طراحی شده بود، هنگام وزش باد با سرعت  $42 \text{ m.p.h}$  در اثر نوسانات خود تهیج در مدت زمانی کمتر از ۳۰ دقیقه کاملاً ویران شد [۲].

آنچه در پرواز هواپیما بال را متأثر می‌سازد نیروی آیرودینامیکی است که بخاطر عبور جریان هوا از اطراف بال بوجود می‌آید. از طرفی دیگر سازه هواپیما بخصوص بال آن یک سازه انعطاف پذیر بوده، لذا در اثر اعمال نیروهای آیرودینامیکی دچار تغییر فرم هم از نوع خمش و هم از نوع پیچش می‌گردد. بنابراین دانش آیروالاستیسیته<sup>۲</sup> عبارت است از مطالعه اثرات بارهای آیرودینامیکی بر روی اجسام الاستیک.

## ۲-۱- تقسیم بندی پدیده‌های آیروالاستیسیته

با پیشرفت سریع تکنولوژی و افزایش سرعت هواپیماها مسائل متنوعی در زمینه آیروالاستیسیته مطرح گردید. بررسی‌های مختلف نشان می‌دهد که سرمنشاء تمام این پدیده‌ها سه نیروی آیرودینامیک، الاستیک و اینرسی می‌باشد. اگر این نیروها را به ترتیب با  $E, A$  و  $I$  نمایش داده و بر سه راس یک مثلث قرار دهیم می‌توان هر یک از پدیده‌های استاتیکی و دینامیکی آیروالاستیسیته را بسته به ارتباطش با سه نیروی مذکور در نموداری همانند شکل (۱-۱) نمایش داد. خطوط پر که در نمودار مشاهده می‌کنید بیانگر پدیده‌های اصلی آیروالاستیسیته می‌باشند.

<sup>1</sup> Tacoma

<sup>2</sup> Aeroelasticity