

عنوان کتاب:

دانشنامه ای بر آیرولاستیسیته و نیروهای هواپیما

جلد (۱)

مترجمان:

نادر وحدت آزاد، ابان وحدت آزاد

سرشناسه

: جان، رایت آر.

Wright, Jan R.

عنوان و نام پدید آور

: مقدمه ای بر آیرولاستیسیته و نیروهای هواپیما-جلد (۱) / [جان آر. رایت، جاناتان ای. کوپر]؛ مترجمان: نادر وحدت آزاد، اباذر وحدت آزاد

مشخصات نشر

: تهران: دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، انتشارات، ۱۳۹۵.

مشخصات ظاهری

: ج. ۳۶۳ص: مصور، جدول، نمودار

شابک

: ۲۲۰۰۰۰ ریال، ج. ۱: ۴-۵۹-۷۳۷۵-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی : فیپا

موضوع

: آیرولاستیسیته

موضوع

: Aero elasticity

شناسه نزوده

: کوپر، جاناتان ای.

شناسه خزوده

: Cooper, Jonathan E.

شناسه افزوده

: وحدت آزاد، نادر، ۱۳۶۹- مترجم

شناسه افتاده

: وحدت آزاد، اباذر، ۱۳۶۱- مترجم

رده بندی کنگره

: الف ۱۳۹۵ / ۱۹، ۲۳ / TL۵۷۹

رده بندی دیویی

: ۶۲۹/۱۳۳۲، ۶۲

شماره کتابشناسی ملی : ۲۲۸۷



نام کتاب: مقدمه ای بر آیرولاستیسیته و نیروهای هواپیما- جلد (۱)

مترجمان: نادر وحدت آزاد، اباذر وحدت آزاد

ویراستار ادبی: مهندس حمیدرضا جشنانی - عزیز شکوری

ویراستار علمی: مهندس حمیدرضا جشنانی

صفحه آرای: محمود اصلی خباز

طراح جلد: آرمان امیرکمالی

چاپ اول: زمستان ۱۳۹۵

تعداد: ۱۰۰۰ جلد

ناشر: انتشارات دانشگاه هوایی شهید ستاری

چاپ و صحافی: چاپخانه دانشگاه هوایی شهید ستاری

قیمت: ۲۲۰۰۰۰ ریال

حق چاپ و نشر محفوظ است.

مرکز بخش: تهران- بزرگراه آیت الله سعیدی- خیابان دانشگاه هوایی- دانشگاه هوایی شهید ستاری

تلفن: ۶۶۶۳۰۱۱۱-۶۴۰۳۲۰۲۴

کد پستی: ۱۳۸۴۶۷۳۴۱۱

دیباچه

آیروالاستیسیته علم مطالعه نیروهای آیرودینامیکی و اینرسی می‌باشد. برای بال‌ها ثابت هواپیما دو حوزه کلیدی وجود دارد: الف) آیروالاستیسیته استاتیکی که در آن تغییر شکل هواپیما بر توزیع نیروی لیفت تأثیر می‌گذارد و می‌تواند باعث شرایط ناپایداری استاتیکی شود و طبیعتاً باعث کاهش کارایی سطح کنترل می‌شود. ب) آیروالاستیسیته دینامیکی که شامل حوزه بحرانی فلاتر می‌باشد و در آن هواپیما از لحاظ دینامیکی ناپایدار می‌گردد و سازه انرژی خود را از خطوط جریان جذب می‌کند.

همچنین هواپیما به یک سری از بارهای استاتیکی و دینامیکی ضمیمه می‌گردد که از مانورهای پروازی، زمینی و تندبادها به وجود می‌آیند. این مدل از بارها باعث طرح بحرانی سازه هواپیما می‌گردد که از این رو طراحی هواپیما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دست آوردن این بارها نیاز به در نظر گرفتن اثرات آیرودینامیکی و الاستیک و اینرسی دارد و همچنین نیاز به حل معادلات دینامیکی دارد. در نتیجه یک پل ارتباطی قوی بین آیروالاستیسیته و بارگذاری وجود دارد.

مشخصه‌ها و پاسخ ارتعاشی هواپیما از یک سری از مدهای انعطاف‌پذیر در ترکیب با دینامیک جسم صلب به دست می‌آید. منشأ اصلی ارتعاشات، الاستیسیته مکانیزم ارباب و انعطاف‌پذیری چرخ‌ها است. در این جا برای بررسی این نوع از ارتعاشات از دو روش تحلیل خطی و غیرخطی استفاده شده است. برای شبیه‌سازی رفتار چرخ از فرضیه نواری استفاده شده است. بعد از نوشتن معادلات حاکم و با حل آنها در دو حالت خطی و غیرخطی رفتار دینامیکی سیستم بررسی شده است. پایداری سیستم، بر اساس معادلات خطی بررسی شده و تأثیر پارامترهای مختلف بر روی پایداری سیستم مطالعه شده است. همچنین رفتار غیرخطی سیستم در قالب پاسخ زمانی ارایه شده و با نتایج خطی مقایسه شده است.

این کتاب سعی بر این دارد تا موضوعات آیروالاستیسیته و بارگذاری که امکان دارد در طراحی هواپیما مواجه شود را در بر بگیرد تا یک مفهوم از اصول اساسی را معرفی کند. تقابل بین نیروهای آیرودینامیکی و سازه علت به وجود آمدن پدیده آیروالاستیسیته می‌باشد. مطالعه این پدیده در هواپیما به خصوص بال آن اهمیت بسیاری دارد. نیروهای آیرودینامیکی در طول بال با استفاده از روش "strip theory" محاسبه می‌شود. رفتار اجسام پرند انعطاف‌پذیر باعث ایجاد پدیده هواکشسانی می‌شود. این پدیده می‌تواند نقش مهمی در رفتار دینامیکی وسایل پرند انعطاف‌پذیر ایفا کند. اکثر پدیده‌های هواکشسانی نامطلوب

هستند، چون اولاً در حالت کلی پدیده‌هایی غیرقابل پیش‌بینی هستند و ثانیاً روی بازده عملکردی وسیله پرنده اثر منفی می‌گذارند.

بعضی مواد پوشش داده شده در این کتاب از دوره لیسانس در دانشکده Queen Mary، دانشگاه لندن و دانشگاه منچستر اقتباس شده است. در ایالت بریتانیا، خیلی از افراد که به صنعت هوافضا وارد می‌شوند هیچ پیشینه از هوافضا ندارند و تقریباً اطلاعات کمی از آیروالاستیسیته و بارگذاری دارند. برای شروع این کار در اوایل ۱۹۹۰ نویسنده چندین مباحث کوتاه در مورد آیروالاستیسیته و دینامیک‌های سازه‌ای را برای مهندسان جوان در صنعت هوافضا بریتانیا ارائه داد و این موضوع محتوی این کتاب را تحت تأثیر خود قرار داده است. مباحث بیشتر توسط سیمسون، هنکک و رایت (۱۹۸۵) برای آموزش فلاتر با استفاده از مدل ساده شده از بال با زوایای فلپ و پیچش توسط تئوری نوار برای بیان اصول ساختاری فلاتر آموزش داده شده است. این موضوع در این کتاب برای رفتار آیروالاستیسیته استاتیکی و پدیده فلاتر به کار رفته شده است و به حوزه بارگذاری کل هواپیما بسط داده شده است. هدف این کتاب زمینه‌سازی برای مطالعه رفتار آیروالاستیک بال هواپیما و طراحی و بهینه‌سازی پره برای جلوگیری از بروز مشکلات ناشی از برهم کنش سیال و سازه است. مطالعه آیروالاستیک بال شامل بررسی تئوری‌های موجود در کد نویسی و مقایسه با خطوط جریان است و همچنین به کار بستن تئوری‌های موجود در کد نویسی و مقایسه با کدهای موجود نوشته شده توسط مراکز مانند NREL، از جمله فرآیندهای علمی است که در این کتاب به آن پرداخته می‌شود. علاوه بر این، آزمون‌های تجربی در تونل باد برای بررسی فلاتر و واگرایی تدوین شده و مورد مطالعه قرار می‌گیرد. عمل متقابل بین تغییر شکل سازه بال و بارهای ایرودینامیکی، خمش و پیچش در شرایط پرواز را تعیین می‌کند و بایستی به منظور مدل رفتار آیروالاستیک استاتیکی مورد بحث قرار بگیرند. تغییر شکل آیروالاستیسیته استاتیکی همان‌طور که بارگذاری‌ها را در شرایط پرواز یکنواخت، توزیع نیروی لیفت، نیروهای درگ، اثر سطح کنترل، فشار هدایت کردن هواپیما و همچنین مشخصه‌های پایداری استاتیکی و کنترل هدایت می‌کند، مهم هستند. شکل بال‌های آیروالاستیک در شرایط به‌صورت ویژه‌ای مهم می‌باشد.

پاسخ دینامیکی هواپیما نیاز به محاسبه برای مانورهای زمینی (فرود آمدن و برخاستن) مانورهای هوایی (پاسخ به حرکات کنترلی) و مواجهه شدن با تندبادها دارد با این حال

هنگامی که تغییر شکل و شتاب پاسخ به دست بیاید بارگذاری و تنش‌های تولیدشده در هواپیما بایستی تعیین گردند تا رفتار و تلورانس آنها به دست بیایند.

بارگذاری یک ترم عمومی است که هم با نیرو و ممان هم گسسته و پیوسته و هم داخلی و خارجی مشارکت دارد در این کتاب اصول اساسی بارگذاری به صورت کلی معرفی می‌گردند که شامل قوانین حرکت نیوتن برای یک جزء و حالت تعمیم یافته آن برای یک جسم اصل دالامبر (منجر به نیرو/ ممان اینرسی و نیروی اینرسی توزیع شده) بارهای اعمالی/ عکس‌العملی خارجی دیاگرام جسم آزاد (FBDS) نیروهای داخلی تولید شده در سازه (بارگذاری داخلی) و نیروهای بین اجزاء می‌باشد. همچنین نشان داده خواهد شد که چگونه بارگذاری داخلی داخل یک سازه در یک عضو بال در حال شتاب با توزیع نیروهای اینرسی به منظور آوردن سازه به یک شرایط معادل استاتیکی مؤثر به دست می‌آیند.

این کتاب علم پروانه‌های پیوسته را همان‌طور که برای طراحی هواپیما و وسایل هوایی به کار گرفته می‌شود به منابع ارجاع می‌دهد. نویسندگان همچنین از زحماتی که در طول سال‌ها در ارتباط با تحقیقات و آموزش در حوزه دینامیک‌های سازه‌ای، سازه‌های هواپیما، آیرودالاستیسیته و بارگذاری به ترتیب توسط:

Alan Simpson (University of Bristol), Mike Toms (deceased) (British Aircraft Corporation), Geoff Hancock و David Simpson (Queen Mary College), Colin Skingle, Ian Kaynes و Malcolm Nash (RAF Farnborough, now QinetiQ), Jer-Nan Juang (NASA Langley), Peter Law (University of Manchester), Geof Tomlinson (University of Sheffield, formerly of Manchester), Otto Sensburg (MBB)

و همچنین Hans Schwieger (EADS) انجام شد، نهایت تشکر را دارد.

Jan Wright and Jonathan Cooper
Manchester, UK

در طول پنجاه سال اخیر، دانش‌های فراوانی در مورد سیستم هوافضا توسط مهندسان تخصصی هوافضا جمع‌آوری شده است که خود این موضوع گواهی بر تحولی وسیع در تکنولوژی‌های در دسترس شامل اختراع ترانزیستور و بسط آن به سطوح قابل توجه از الکترونیک‌های حالت جامد است. خیلی از این متخصصین که در طی این دگرگونی تکنولوژی از مکانیکی، سازه‌ای، الکترونیکی و آیرودینامیکی زندگی می‌کردند، اکنون از وضعیت تمام وقت خود بازنشست شده‌اند. بسیار ضروری است تا کارشناسانی را که توسط این جامعه از معلمان منتشر شده‌اند به عنوان حمایت جمع‌آوری و به سند در آورده شود. سری هوافضا توسط John Wiley و Sons یک مجموعه از کتاب‌های تئوری و عملی را در ارتباط با این صنعت به انتشار رسانده است و یک دید کلی را در ارتباط با طراحی وسایل هوایی (هواپیماها) در دسترس فراهم کرده است. این مجموعه از موضوعات در دسترس قصد دارد تا یک پیشینه ارزشمند از دانش را برای صنعت، اپراتورها فراهم کند. این سری همچنین یک مجموعه ارزشمند از دانش سیستم‌های هوایی می‌باشد.

Ian Moir, Allan Seabridge, and Roy Lang on

فهرست مطالب

- فصل اول: ارتعاشات یک سیستم با یک درجه آزادی..... ۱
- ۱-۱- تشکیل معادله حرکت برای سیستم‌های یک درجه آزادی..... ۲
- ۱-۱-۱- مثال: سیستم یک درجه آزادی کلاسیک..... ۲
- ۱-۱-۲- مثال: سطح کنترل هواپیما..... ۴
- ۲-۱- ارتعاشات آزاد یک سیستم یک درجه آزادی..... ۵
- ۲-۱-۱- سطح کنترل هواپیما..... ۷
- ۳-۱- تابع پاسخ به امده ارتعاشات اجباری هارمونیک..... ۸
- ۳-۱-۱- پاسخ تحریک هارمونیک..... ۸
- ۳-۱-۲- تابع پاسخ بسامدی..... ۱۰
- ۳-۱-۳- دمپینگ سازهای..... ۱۱
- ۴-۱- حل ارتعاشات اتفاقی آزاد در حوزه زمانی..... ۱۳
- ۴-۱-۱- روش تحلیلی..... ۱۳
- ۴-۱-۲- روش جمع آثار..... ۱۴
- ۴-۱-۳- تعیین پاسخ تحریک به وسیله یک پالس مربعی واحد..... ۱۵
- ۴-۱-۴- روش کانولوشن..... ۱۶
- ۴-۱-۵- حل مستقیم معادلات دیفرانسیل معمولی..... ۱۸
- ۴-۱-۶- تعیین پاسخ تحریک موج مربعی به وسیله انتگرال گیری عددی..... ۱۸
- ۵-۱- حل ارتعاشات اجباری گذرا در حوزه بسامدی..... ۱۸
- ۵-۱-۱- تبدیل فوری تحلیلی..... ۱۹
- ۵-۱-۳- رابطه تحریک با پاسخ در حوزه بسامدی..... ۲۱
- ۵-۱-۴- تحریک با موج مربعی واحد و تعیین پاسخ با تبدیل فوری..... ۲۱
- ۶-۱- ارتعاشات اجباری اتفاقی و پاسخ در حوزه بسامدی..... ۲۲

- فصل دوم: ارتعاشات سیستم چند درجه آزادی ۲۷
- ۱-۲- ساختن معادلات حرکت ۲۷
- ۲-۲- ارتعاشات آزاد بدون اثر میرایی ۳۲
- ۱-۲-۲- یک مدل زنجیره‌ای از سیستم دو درجه آزادی ۳۳
- ۲-۲-۲- هواپیمای صلب با دو درجه آزادی ۳۵
- ۳-۲- ارتعاشات آزاد همراه با دمپینگ ۳۶
- ۱-۳-۲- فرم حل همراه با دمپینگ ۳۷
- ۲-۱-۲- دمپینگ‌های نسبی (تابع ریلی) و غیر نسبی ۳۸
- ۳-۱-۲- مثال: هواپیمای صلب دو درجه آزادی با میرایی دمپینگ نسبی ۳۸
- ۴-۱-۲- مثال: هواپیمای صلب دو درجه آزادی با دمپینگ غیر نسبی ۳۹
- ۴-۲- تبدیل دستگاه مودال ۴۰
- ۱-۴-۲- مثال: سیستم دو درجه آزادی زنجیره‌ای کلاسیک ۴۲
- ۲-۴-۲- مثال: هواپیمای صلب دو درجه آزادی با دمپینگ نسبی ۴۳
- ۳-۴-۲- مثال: هواپیمای دو درجه آزادی صلب با دمپینگ غیر نسبی ۴۴
- ۴-۴-۲- نرمالایز کردن شکل مودال ۴۴
- ۵-۴-۲- معنی مختصات مودال ۴۵
- ۶-۴-۲- مختصات سازگار ۴۵
- ۷-۴-۲- کاهش مرتبه مودال ۴۶
- ۵-۲- سیستم «آزاد-آزاد» ۴۷
- ۶-۲- ارتعاشات هارمونیک اجباری ۴۸
- ۱-۶-۲- معادلات در مختصات فیزیکی ۴۸
- ۲-۶-۲- معادلات در مختصات مودال ۴۹
- ۷-۲- ارتعاشات اجباری زودگذر / اتفاقی - حل حوزه زمانی ۵۱
- ۱-۷-۲- روش تحلیلی ۵۱
- ۲-۷-۲- روش کانولوشن ۵۱
- ۳-۷-۲- حل معادلات دیفرانسیل معمولی ۵۱
- ۸-۲- ارتعاشات اجباری زودگذر به حل حوزه بسامدی ۵۲

۵۲.....	۹-۲- ارتعاشات اجباری اتفاقی - حل حوزه بسامدی.....
۵۷.....	فصل سوم: سیستم ارتعاشات پیوسته با روش المان فرضی.....
۵۸.....	۳-۱- روش جزء شکل‌های ریلی ریتز.....
۵۸.....	۳-۱-۱- سیستم یک درجه آزادی.....
۵۹.....	۳-۱-۲- سیستم دو درجه آزادی.....
۵۹.....	۳-۱-۳- انتخاب توابع شکل.....
۶۰.....	۳-۱-۴- مودهای طبیعی برای سیستم پیوسته.....
۶۰.....	۳-۱-۵- حالات تعمیم‌یافته حرکت - روش بنیادی.....
۶۱.....	۳-۱-۱- عضو تحت خمش - تک المان.....
۶۳.....	۳-۲-۲- المان تحت خمش - دو المان.....
۶۶.....	۳-۲-۳- عضو تحت پیچش - تک المان.....
۶۸.....	۳-۲-۴- محور خمشی و مرکز برشی.....
۶۸.....	۳-۳- معادلات حرکت تعمیم‌یافته - روش ماتریسی.....
۶۹.....	۳-۳-۱- نمایش تغییر شکل.....
۶۹.....	۳-۳-۲- انرژی جنبشی.....
۷۰.....	۳-۳-۳- انرژی کرنشی.....
۷۰.....	۳-۳-۴- کار جزئی انجام‌شده.....
۷۱.....	۳-۳-۵- دیفرانسیل معادلات لاگرانژ به شکل ماتریسی.....
۷۲.....	۳-۴- تولید مودهای آزاد - آزاد هواپیما با استفاده از آنالیز چند المان.....
۷۶.....	۳-۵- مودهای آزاد- آزاد کل هواپیما.....
۸۳.....	فصل چهارم: ارتعاشات سیستم‌های پیوسته.....
۸۴.....	۴-۱- مقدمه‌ای بر روش المان محدود.....
۸۵.....	۴-۲- فرمول‌بندی المان‌های خمشی تیر.....
۸۵.....	۴-۲-۱- ماتریس‌های سفتی و جرمی برای المان‌های تیر یکنواخت.....
۹۲.....	۴-۳- برهم‌نهی و حل برای یک سازه با المان تیر.....
۹۳.....	۴-۳-۱- نمادهای سازه و المان.....

- ۹۳..... ۴-۳-۲- سازگاری المان‌ها
- ۹۴..... ۴-۳-۳- برهم‌نهی ماتریس سفتی کلی - پایداری احتمالی
- ۹۵..... ۴-۳-۴- مثال برهم‌نهی ماتریس سفتی برای تیر با دو المان
- ۹۶..... ۴-۳-۵- معادلات کلی ماتریسی برای سازه برهم‌نهی شده
- ۹۶..... ۴-۳-۶- فرآیند حل
- ۹۸..... ۴-۳-۷- مثال‌های حل یک تیر
- ۱۰۱..... ۴-۴- المان برشی
- ۱۰۲..... ۴-۵- المان خمش- پیچش ترکیبی
- ۱۰۳..... ۶- بوضیحاتی در مورد مدل کردن
- ۱۰۳..... ۴-۶-۱- نمایش تیر برای یک عضو نازک در هواپیما
- ۱۰۳..... ۴-۶-۲- نمایش سازه‌ای یک عضو تیر در هواپیما
- ۱۰۹..... فصل پنجم: مقدمه‌ای بر آیرودینامیک پایدار
- ۱۰۹..... ۵-۱- اتمسفر استاندارد
- ۱۱۲..... ۵-۲-۱- عدد ماخ
- ۱۱۳..... ۵-۲-۲- عدد رینولدز
- ۱۱۳..... ۵-۲-۳- جریان‌های غیر ویسکوز / ویسکوز / تراکم‌ناپذیر / تراکم‌پذیر
- ۱۱۴..... ۵-۲-۴- فشار دینامیکی
- ۱۱۴..... ۵-۳- جریان و فشار حول یک ایرفویل متقارن
- ۱۱۷..... ۵-۴- نیرو بر روی یک ایرفویل
- ۱۱۹..... ۵-۵- تغییرات نیروی لیفت برای یک ایرفویل در یک زاویه
- ۱۲۰..... ۵-۶- تغییرات ممان پیچشی و مرکز آیرودینامیکی
- ۱۲۲..... ۵-۷- نیروی لیفت در یک بال سه‌بعدی
- ۱۲۲..... ۵-۷-۱- ابعاد بال
- ۱۲۲..... ۵-۷-۲- شیب منحنی نیروی لیفت یک بال سه‌بعدی
- ۱۲۳..... ۵-۷-۳- ضرایب نیرو و ممان برای یک بال سه‌بعدی
- ۱۲۴..... ۵-۷-۴- تئوری نواری برای بال پیوسته

۱۲۶	۵-۷-۵- تنوری نوار برای یک بال گسسته
۱۲۷	۵-۷-۶- روش‌های پنل
۱۲۷	۵-۸- نیروی درگ بروی یک بال سه‌بعدی
۱۲۹	۵-۹- صفحات کنترل
۱۳۱	۵-۱۰- آبرودینامیک مافوق صوت-تنوری پیستون
۱۳۲	۵-۱۱- جریان‌های در حد سرعت صوت
۱۳۵	فصل ششم: مقدمه‌ای بر بارگذاری‌ها
۱۳۶	۶-۱- تعریف حرکت
۱۳۶	۶-۱-۱- قوانین حرکت نیوتن برای یک جزء
۱۳۷	۶-۱-۲- قوانین تعمیم‌یافته نیوتن برای حرکت یک جسم
۱۳۸	۶-۱-۳- و جلد
۱۳۹	۶-۲- اصول دالامبر نیروی تنش‌آورهای اینرسی
۱۴۰	۶-۲-۱- اصول دالامبر برای یک جزء
۱۴۱	۶-۲-۲- عملکرد اصول دالامبر برای یک جسم
۱۴۲	۶-۲-۳- بسط به‌سوی توزیع نیروی اینرسی
۱۴۴	۶-۳- بارگذاری‌های اعمالی/عکس‌العملی خارجی
۱۴۴	۶-۳-۱- نیروهای اعمالی
۱۴۵	۶-۳-۲- بارهای عکس‌العملی (عکس‌العمل)
۱۴۶	۶-۴- دیاگرام جسم آزاد
۱۴۷	۶-۵- نیروهای داخلی
۱۴۸	۶-۶- بارهای داخلی برای نمایش پیوسته یک سازه
۱۴۸	۶-۶-۱- بارهای داخلی برای توزیع یکنواخت بار
۱۵۱	۶-۶-۲- بارگذاری داخلی برای توزیع بارگذاری غیریکنواخت
۱۵۴	۶-۷- نیروهای داخلی برای نمایش گسسته یک سازه
۱۵۵	۶-۷-۱- توزیع نیروهای اینرسی برای یک سازه گسسته
۱۵۶	۶-۷-۲- نیروهای داخلی برای سازه گسسته
۱۵۶	۶-۷-۳- مثال نیروی توزیعی- سازه گسسته

۱۵۷	۸-۶- بارهای بین اجزا.....
۱۵۸	۹-۶- به دست آوردن تنش بارهای داخلی.....
۱۶۵	فصل هفتم: مقدمه‌ای بر کنترل.....
۱۶۵	۱-۷- سیستم‌های حلقه بسته و حلقه باز.....
۱۶۶	۲-۷- تبدیل‌های لاپلاس.....
۱۶۷	۱-۲-۷- حل معادلات دیفرانسیل با استفاده از تبدیل لاپلاس.....
۱۷۰	۳-۷- مدل سیستم حلقه باز و بسته با استفاده از حوزه‌های لاپلاس و بسامدی.....
۱۷۲	۴-۷- پایداری یک سیستم.....
۱۷۲	۱-۴-۷- قطب‌ها و صفرها.....
۱۷۴	۱-۴-۷- روش روث هرویتز.....
۱۷۵	۳-۴-۷- پاسخ محدود بسامدی.....
۱۷۹	۴-۴-۷- نمایش حوزه پایداری.....
۱۸۳	۵-۷- کنترل PID.....
۱۸۵	فصل هشتم: آبروالاستیسیته استاتیکی.....
۱۸۶	۱-۸- رفتار آبروالاستیک استاتیکی ابرفویا دوبعدی.....
۱۸۶	۱-۱-۸- آنالیز تکراری.....
۱۸۹	۲-۱-۸- آنالیز مستقیم (تک مرحله).....
۱۹۱	۲-۸- رفتار آبروالاستیک استاتیکی بال انعطاف‌پذیر ثابت شده در پایه.....
۱۹۲	۱-۲-۸- دوران و واگرایی بال انعطاف‌پذیر ثابت شده در پایه.....
۱۹۴	۲-۲-۸- ارتعاشات لیفت بال انعطاف‌پذیر ثابت شده در پایه.....
۱۹۵	۳-۸- اثر هدایت بروی رفتار آبروالاستیک استاتیکی.....
۱۹۶	۱-۳-۸- اثر هدایت بروی سرعت واگرایی مدل ساده.....
۲۰۱	۲-۳-۸- اثر تریم عمودی بر ارتعاشات لیفت در طول بال.....
۲۰۱	۳-۳-۸- اثر تریم بر روی بال و نیروی لیفت.....
۲۰۲	۴-۸- اثر حرکات بال بر رفتار آبروالاستیسیته.....
۲۰۲	۱-۴-۸- اثر حرکت بال بر زاویه مؤثر انحراف.....

۲۰۴.....	۸-۴-۲- زاویه انحراف مؤثر در راستای خطوط جریان به علت پیچش بال
۲۰۶.....	۸-۴-۳- اثر زاویه حرکت بر سرعت واگرایی
۲۰۹.....	۸-۴-۴- اثر زاویه حرکت بر توزیع نیروی لیفت
۲۱۰.....	۸-۴-۵- پیشنهاد
۲۱۱.....	فصل نهم: اثر انعطاف پذیری بال در بازدهی کنترل
۲۱۲.....	۹-۱- تأثیرات غلطش یکنواخت بال انعطاف پذیر
۲۱۴.....	۹-۱-۱- تعیین سرعت معکوس در غلطش یکنواخت
۲۱۹.....	۹-۱-۲- تأثیرات چرخشی یک بال انعطاف پذیر - بال ثابت شده در پایه
۲۲۰.....	۹-۲-۱- تعیین سرعت معکوس
۲۲۲.....	۹-۲-۲- تأثیرات غلطشی - بال ثابت شده در پایه
۲۲۳.....	۹-۳- اثر موانعیت هانه بال در سطح کنترل
۲۲۵.....	۹-۴- مدل هواپیمای سوخت - تأثیرات کنترلی
۲۲۷.....	۹-۵- اثر تریم در سرعت معکوس
۲۲۹.....	فصل دهم: مقدمه‌ای بر آیرودینامیک ناآرام
۲۳۰.....	۱۰-۱- آیرودینامیک شبه پایدار
۲۳۰.....	۱۰-۲- آیرودینامیک ناپایدار
۲۳۱.....	۱۰-۲-۱- تغییرات ناگهانی در زاویه انحراف - تابع α ثابت
۲۳۲.....	۱۰-۲-۲- حرکت هارمونیک - تبدیل کانولوشن با تابع واگرایی
۲۳۳.....	۱۰-۲-۳- حرکت هارمونیک - تابع تئودرسون
۲۳۶.....	۱۰-۳- نیروی لیفت و ممان برای یک ایرفویل با حرکت تناوبی هارمونیک
۲۳۹.....	۱۰-۴- خروجی‌های آیرودینامیکی تناوبی
۲۴۱.....	۱۰-۵- دمپینگ و سفتی آیرودینامیکی
۲۴۲.....	۱۰-۶- آیرودینامیک‌های ناپایدار مربوط به تندباد
۲۴۲.....	۱۰-۶-۱- نیروی لیفت باد شارپ ایج - تابع کسنر
۲۴۴.....	۱۰-۶-۲- نیروی لیفت در نتیجه تندباد سینوسی - تابع سیر
۲۴۹.....	فصل یازدهم: آیروالاستیسیته دینامیکی - فلاتر

- ۱-۱۱- مدل آیرودینامیکی ناپایدار ساده‌سازی شده ۲۵۰
- ۱۱-۲- مدل آیرودلاستیک دوگانه ۲۵۲
- ۱۱-۲-۱- معادلات حرکت آیرودلاستیک ۲۵۲
- ۱۱-۳- شکل کلی معادلات آیرودلاستیک ۲۵۵
- ۱۱-۴- حل مقدار ویژه معادله فلاتر ۲۵۶
- ۱۱-۵- رفتار آیرودلاستیک مدل دوگانه ۲۵۸
- ۱۱-۵-۱- دمپینگ آیرودینامیکی صفر ۲۵۹
- ۱۱-۵-۲- دمپینگ آیرودینامیکی با آیرودینامیک شبه پایدار ۲۶۰
- ۱۱-۵-۳- دمپینگ آیرودینامیکی با آیرودینامیک غیر یکنواخت ۲۶۱
- ۱۱-۵-۴- اثر فاضل برای پدیده فلاتر ۲۶۴
- ۱۱-۵-۵- فلاتر خفیف و شدید ۲۶۴
- ۱۱-۵-۶- شش‌در دمپینگ سازه‌ای ۲۶۵
- ۱۱-۵-۷- اثر تغییرات موقعیت محورهای خمش و جرمی ۲۶۷
- ۱۱-۵-۸- اثر فاصله بیر بسامد بای هوای بدون باد ۲۶۹
- ۱۱-۶- رفتار آیرودلاستیک یک بال خشخ ۲۶۹
- ۱۱-۸- نمایش سرعت فلاتر برای سیستم دوگانه ۲۷۲
- ۱۱-۹- مخروط فلاتر ۲۷۵
- ۱۱-۱۰- همگرایی سیستم‌های آیرودلاستیک ۲۷۷
- ۱۱-۱۱- اثر بسامد کاهش یافته غیر یکنواخت ۲۸۰
- ۱۱-۱۱-۱- وصل بسامدی - روش K ۲۸۱
- ۱۱-۱۱-۲- وصل بسامد - روش P-K ۲۸۳
- ۱۱-۱۱-۳- مقایسه نتایج روش‌های P-K, K ۲۸۴
- ۱۱-۱۲- فلاتر سطوح کنترل ۲۸۵
- ۱۱-۱۴- فلاتر در رژیم نزدیک سرعت صوت ۲۹۰
- ۱۱-۱۵- فلاتر در رژیم مافوق صوت - فلاتر بال و پنل ۲۹۱
- ۱۱-۱۵-۱- مدل از یک پنل در جریان مافوق صوت ۲۹۲
- ۱۱-۱۶- اثر غیر خطی سازی - محدود ساختن چرخه تناوب ۲۹۵

فصل دوازدهم: آبروسروالاستیسیته	۲۹۹
۱-۱۲- مدل مکانیکی یک سیستم آبرودینامیکی با یک سطح کنترل	۳۰۱
۲-۱۲- شامل کردن ترم تندباد	۳۰۳
۳-۱۲- پیاده‌سازی یک سیستم کنترلی سیستم کنترلی	۳۰۴
۴-۱۲- تعیین پایداری سیستم حلقه بسته	۳۰۴
۵-۱۲- پاسخ تندباد سیستم حلقه بسته	۳۰۷
۶-۱۲- افزودن قوانین کنترلی وابسته به بسامد در محاسبات پایداری	۳۰۸
۱۲- - تعیین پاسخ از طریق حوزه بسامدی	۳۱۰
۱۲- - مدل فضای حالت	۳۱۱
فصل سیزدهم: مانورهای تعادلی	۳۱۵
۱-۱۳- مانورهای تعادلی - ۱-۵- ایمای صلب تحت شتاب عمودی	۳۱۸
۱-۱-۱۳- پرواز سطح یکنواخت	۳۱۸
۲-۱-۱۳- مانور پرداخت تعادلی - فاکتور بار	۳۱۸
۳-۱-۱۳- افزایش و کاهش ارتفاع - تدریج (صعود و نزول)	۳۲۰
۴-۱-۱۳- دانش روبه جلو یکنواخت و پرواز - تقوی	۳۲۰
۵-۱-۱۳- مثال از یک دانش روبه جلو	۳۲۲
۶-۱-۱۳- دوران یکنواخت	۳۲۳
۷-۱-۱۳- مثال: یک دوران یا گردش	۳۲۴
۲-۱۳- پوشش مانور	۳۲۵
۳-۱۳- مانورهای تعادلی - پیچش هواپیمای صلب	۳۲۶
۱-۳-۱۳- سیستم محورهای اینرسی	۳۲۷
۲-۳-۱۳- تعیین نیروهای خارجی به منظور بالانس هواپیما	۳۲۷
۳-۳-۱۳- نیروهای تراست و درگ در امتداد یک خط	۳۲۹
۴-۳-۱۳- مثال: نیروهای تراست و درگ در امتداد یک خط	۳۲۹
۵-۳-۱۳- نیروهای تراست و درگ خارج از خط	۳۳۰
۶-۳-۱۳- مثال: نیروهای تراست و درگ خارج از خط	۳۳۰

- ۱۳-۳-۷- تعیین شرایط بالانس - نیروی تراست / درگ در امتداد خط ۳۳۰
- ۱۳-۳-۸- مثال: یک مانور تعادلی - هواپیمای صلب در حال پیچش ۳۳۳
- فصل چهاردهم: مکانیک پرواز برای مانورهای دینامیکی ۳۳۵
- ۱۴-۱- محورهاى هواپیما ۳۳۶
- ۱۴-۱-۱- محورهاى ثابت بروى زمین ۳۳۶
- ۱۴-۱-۲- محورهاى ثابت بر روی هواپیما ۳۳۷
- ۱۴-۲- جریان تراکم‌ناپذیر ۳۳۷
- ۴-۳- محورهاى اصلی یک ایرفویل ۳۳۸
- ۴-۴- قسمت‌های مختلف یک هواپر عبارت‌اند از: ۳۴۱
- ۱۴-۵- معادلات غیر خطی حرکت ۳۴۵
- ۱۴-۶- روتش باقی‌مانده وزن‌دهی شده (روش گالرکین) ۳۴۶
- ۱۴-۷- مودهای ناپایدارى دینامیکی ۳۴۸
- ۱۴-۸- معادلات خطی حرکت ۳۵۰
- ۱۴-۸-۱- طراحی ایرفویل ۳۵۱
- ۱۴-۹- شبیه‌سازی واماندگی در ایرفویل و جریان‌های جدا شده ۳۵۴
- ۱۴-۱۰- سیستم کنترل پرواز ۳۵۷
- مرجع ۳۵۹