بسم الله الرحمن الرحيم

٢٧٠٥٠

۱۳۷۸ /۸/ ۲۰
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مکانیک - هوافضا

محاسبه ناپایداری بالهای الاستیک از جنس مواد مرکب

سید علی حسینی

استاد راهنما:

دکتر بهزاد قدیری

خرداد ۷۸

14325

۲۷۰۵۰

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای سیدعلی حسینی پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان محاسبه ناپایداری بالهای الاستیک از جنس مواد مرکب در تاریخ ۷۸/۳/۲۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش هوافضا پیشنهاد می‌کنند.۱۸ب۳

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر قدیری	
۲ـ استاد مشاور :	—	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر اسماعیل‌زاده	
	آقای دکتر شکریه	
۴ـ مدیر گروه :	آقای دکتر مظاهری	
(یا نمایندهٔ گروه تخصصی)		

۷۸/۳/۲۱

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

شماره:.....

تاریخ:.....

پیوست:.....

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

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

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ ساید حوافضا است که در سال ۱۳۷۸ در دانشکدهٔ فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر بهزاد مدیری و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر — از آن دفاع شده است.»

مادهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادهٔ ۶ اینجانب سید علی حسینی دانشجوی رشته ساید حوافضا مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

سید علی حسینی

تقدیم :

به قلم وآنها که به من آموختند.

تقدیر و تشکر:

لازم می‌دانم که از زحمات بی شائبه استاد راهنمای گرانقدر خـــود، آقـای دکـتر بهزاد قدیری کمال تشکر را بنمایم. استادی که بـا سـعهٔصدر و همـت بـالا و زحمـت فراوان خود، اینجانب را در تمام مدت انجام پایان نامه راهنمایی فرمودنـــد. از خداونـد بزرگ کسب درجات عالی‌تر علمی و معنوی را برای ایشان آرزومندم.

همچنین از آقای دکتر محمود شکریه استاد دانشـگاه علـم و صنعـت ایـران کـه زحمت زیادی را متقبل شده‌اند و از دانشجوی گرانقدر ایشـان آقـای فتـح ا... طـاهری کمال تشکر را می‌نمایم.

در پایان از پدر، مادر و برادر بزرگوارم که مشـوق تحصیلـی‌ام بوده‌انـد و تمـام دوستان عزیز که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده :

تقابل بین نیروهای آیرودینامیکی و سازه علت بوجود آمدن پدیده آیروالاستیسیته می‌باشد. مطالعه این پدیده در هواپیما بخصوص بال آن اهمیت بسیاری دارد. آیروالاستیسیته در حالت استاتیک موجب واگرایی و در حالت دینامیک موجب فلاتر می‌شود.

در این پایان‌نامه سرعت واگرایی بال هواپیما از جنس مواد مرکب بررسی می‌شود. کاربرد مواد مرکب با انتخاب جهت الیاف مناسب، سبب افزایش سختی‌های خمشی و پیچشی می‌شود. نیروهای آیرودینامیکی در طول بال با استفاده از روش "strip theory" محاسبه می‌شود. توزیع تغییر مکان در طول بال و سرعت ناپایداری با استفاده از روش مودهای فرضی بدست می‌آید.

در این روش تغییر مکان در طول بال با شرایط مرزی مشخص حدس زده می‌شود و سپس انرژی پتانسیل و جنبشی ذخیره شده در بال و همچنین نیرو و ممانهای آیرودینامیکی روی بال محاسبه و با استفاده از معادله لاگرانژ معادله حرکت بال بدست می‌آید. برنامه کامپیوتری برای محاسبه سرعتهای واگرایی و فلاتر بال نوشته شده است. اثر مرکز پیچش، محور الاستیک و مرکز جرم روی نتایج بررسی شده است.

کلمات کلیدی : آیروالاستیسیته، بال، فلاتر، واگرایی، مواد مرکب

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول : مقدمه‌ای بر آیروالاستیسیته ۱

۱-۱) مقدمه ۲

۱-۲) تعریف آیروالاستیسیته ۵

۱-۳) تعریف واگرایی ۵

۱-۴) تعریف فلاتر ۵

۱-۵) اثرات آیروالاستیسیته ۵

۱-۶) واگرایی پیچشی بال ۶

۱-۷) توضیح مختصر در مورد پدیده آیروالاستیسیته ۶

۱-۸) مروری بر بخشهای مختلف پایان‌نامه ۸

فصل دوم: مواد مرکب و کاربرد آن در صنعت هوا فضا ۹

۲-۱) مقدمه ۱۰

۲-۲) خواص مواد مرکب ۱۰

۲-۲-۱) خواص مکانیکی مواد مرکب ۱۱

۲-۳) اصطلاحات مواد مرکب لایه‌ای ۱۴

۲-۴) انواع الیاف ۱۶

۲-۵) مقایسه خواص مکانیکی الیاف مرکب با فلزات ۱۷

۲-۶) تئوری آیروالاستیسیته مواد غیر ایزوتروپ ۱۸

۲-۶-۱) رابطه تنش کرنش مواد ارتوتروپ ۱۹

۲-۷) علل پیشرفت مواد مرکب در صنعت هوا فضا ۲۱

۲-۸) سیر صعودی کاربرد مواد مرکب در صنعت هوا فضا ۲۴

فصل سوم : بررسی پدیده آیروالاستیسیته بال در حالت استاتیک ۲۷

۳-۱) واگرایی بال در حالت دو بعدی ۲۸

۳-۲) روش مودهای فرضی(assumed mode method) ۳۰

۳-۳) روش مودهای چندگانه (multi mode method) ۳۳

فصل چهارم: آیروالاستیسیته در حالت دینامیک برای ایرفویل و بال... ۳۸

۴-۱) آیروالاستیسیته در حالت دینامیک برای ایرفویل ۳۹

۴-۲) پدیده فلاتر در بال ۴۴

۴-۳) آیرودینامیک شبه دائم (quasi steady aerodynamics) ۴۶

۴-۴) تعیین نیروهای آیرودینامیکی وارد بر بال ۴۷

۴-۵) نیرو و ممانهای آیرودینـــامیکی ۵۱

۴-۶) داده‌ها و پارامترهای مورد نیاز برای تعیین مقادیر ویژه وسرعت فلاتر. ۵۸

فصل پنجم : معرفی برنامه کامپیوتری، نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۰

۵-۱) مقدمه ۶۱

۵-۲) معرفی برنامه در حالت استاتیک برای بال ۶۱

۵-۳) معرفی برنامه در حالت دینامیک برای ایرفویل ۶۲

۵-۴) معرفی برنامه در حالت دینامیک برای بال ۶۳

۵-۵) بررسی واگرایی بال در حالت استاتیک ۶۴
۵-۶) بررسی و محاسبه سرعت فلاتر در ایرفویل ۶۴
۵-۷) بررسی و محاسبه سرعت فلاتر در بال..... ۶۶
۵-۸) نتیجه گیری کلی ۹۲
۵-۹) پیشنهادات ۹۴
مراجع ۹۵
ضمیمه

فهرست علائم ونشانه‌ها

3 , 2 , 1 : جهات (on-axis)

a : فاصله بی‌بعد مرکز جرم از وسط مقطع بال(ایرفویل)

a_1 : شیب ضریب برآ

b : نصف کورد

c : طول مقطع بال (کورد بال)

cg : فاصله مرکز جرم از لبه حمله بال

c_l : ضریب برآ

c_m : ضریب ممان آیرودینامیکی

d : قطر استوانه

e : فاصله بی‌بعد مرکز آیرودینامیک از مرکز الاستیک

E : ماتریس سختی سازه

EI : سختی خمشی

$e=x_\alpha$: فاصله بی‌بعد مرکز جرم از مرکز الاستیک

$ea=x_\theta$: فاصله مرکز الاستیک از لبه حمله بال

$e^{\lambda t}$: طبیعت نوسانی و هارمونیک سیستم

f : زبری سطح

f(y) : نحوه تغییرات θ در طول بال

G : مدول الاستیسیته

GJ : ضریب پیچشی بال

h : ارتفاع مرکز الاستیک از حالت آزاد

$\theta_2, \theta_2, h_2, h_1$: مقادیر ثابت بعنوان مختصه عمومی

$I_p=I_\theta$: ممان اینرسی حول مرکز جرم

J : ممان اینرسی قطبی مقطع بال

k_h : سختی خمشی

k_θ : سختی پیچشی

L : نیروی برآ

M : گشتاور آیرودینامیکی

m : جرم با ل یا ایرفویل

M_{EA} : گشتاور حول مرکز الاستیک

n : تعداد درجه آزادی سیستم(بال)

q : فشار دینامیکی

q_d : فشار دینامیکی واگرایی

Q_i : نیروهای خارجی (نیروها وممانهای آیرودینامیکی)

q_i : به عنوان متغییر مستقل

Q_{ij} : مولفه‌های ماتریس سختی در جهات 1 , 2 , 3 (on-axis)

s : طول بال (نصف span)

S_{ij} : ماتریس نرمی

T : انرژی جنبشی

t : زمان

U : سرعت جریان آزاد

u_r : reduced -velocity

u_i : علامت مشتق‌گیری جزئی

u , v , w : مولفه‌های تغییر مکان

V : انرژی پتانسیل

v : سرعت عمودی سیال

w : فرکانس خمشی و پیچشی

x , y , z : جهات (off-axis)

y : فاصله از ریشه بال

Z : جابجایی خمشی بال

α : زاویه حمله اولیه

$\varepsilon_1 , \varepsilon_2 , \varepsilon_3$: کرنش‌های نرمال در جهت 1 , 2 , 3 (on-axis)

$\varepsilon_x , \varepsilon_y , \varepsilon_z$: کرنش‌های نرمال در جهت x , y , z (off-axis)

ϕ : زاویه موقعیت از لبه حمله

ϕ_1 , ϕ_2 : مودهای فرضی نحوه تغییرات θ

θ : زاویه پیچش بال در فاصله y از ریشه آن

θ_r : مقدار ثابت بعنوان مختصه عمومی

ψ_1 , ψ_2 : مودهای فرضی نحوه تغییرات h

η : فاصله بی‌بعد از ریشه بال

λ : مقدار ویژه

$\gamma_{12}, \gamma_{23}, \gamma_{13}$: کرنشهای برشی در جهات 1 , 2 , 3 و موازی با محورهای 1 , 2 , 3 (on-axis)

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: تنشهای نرمال در صفحه عمود برمحورهای 1 , 2 , 3 (on-axis)

τ : گشتاور اعمالی بر بال

$\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{13}$: تنشهای برشی در صفحه‌های عمود بر محورهای 1 , 2 , 3 و موازی با محورهای 1 , 3 , 2

$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$: تنش‌های برشی در صفحه عمود بر محورهای x , y , z و موازی با محورهای x , z , y (off-axis)

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل(۱-۱) پدیده آیروالاستیسیته از نظر مکانیزم کنترل	۸
شکل(۲-۱) رفتار مکانیکی مواد	۱۲
شکل(۲-۲) نمونه کششیASTM	۱۴
شکل (۲-۳) دو نمونه اصلی از تک لایه‌ها	۱۴
شکل(۲-۴) تاثیرات گسیختگی الیاف در تنشهای الیاف و ماتریس	۱۵
شکل(۲-۵) لایه‌های مواد مرکب	۱۵
شکل(۲-۶) لایه‌های مواد مرکب از نوع مختلط	۱۶
شکل(۲-۷) مقایسه منحنی تنش برحسب کرنش برای الیاف تقویت شده با چدن ۰/۱٪ کربن	۱۸
شکل(۲-۸) جهات (۲و۱) on-axis و (x,y) off-axis وجهات مثبت دوران (θ)	۲۰
شکل(۲-۹) قسمت جلوی هوپیمای شاتل	۲۳
شکل(۲-۱۰)سیرصعودی کاربرد مواد مرکب در صنعت هوا فضا	۲۴
شکل(۳-۱) نصف بال و المان نوار شکل برای محاسبه گشتاور	۲۹
شکل(۴-۱) ایرفویل مدل شده تحت حرکات پیچشی و خمشی	۳۹
شکل(۵-۱) منحنی تغییرات سرعت واگرایی بال بر حسب مرکز پیچش	۷۰
شکل(۵-۲) منحنی‌های تغییرات سرعت فلاتر یا واگرایی بر حسب تغییرات مرکز جرم با مرکزهای پیچش متفاوت در ایرفویل	۷۱