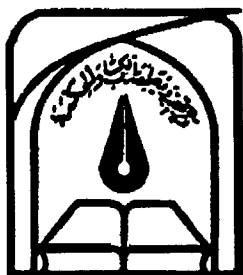
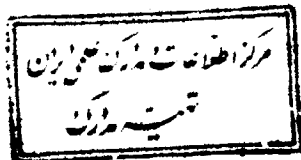


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۲۷۵۳.



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
مکانیک - هوافضا

محاسبه ناپایداری بالهای الاستیک از جنس مواد مرکب

سید علی حسینی

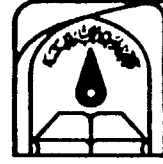
استاد راهنما:

دکتر بهزاد قدیری

خرداد ۷۸

۱۴۳۲۵


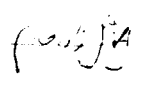
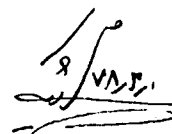
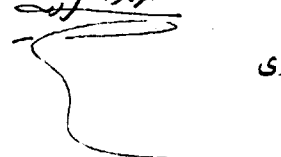
۲۷۰۵۰



دانشگاه تربیت مدرس

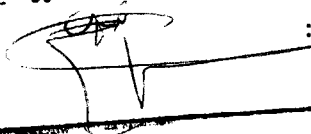
تاییدیه هیات داوران

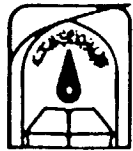
آقای سیدعلی حسینی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان محاسبه ناپایداری بالهای الاستیک از جنس مواد مرکب در تاریخ ۷۸/۳/۲۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک باگرایش هوافضا پیشنهاد می کنند. ۱۸.۳ ب

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

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

امضای استاد راهنما:





شماره:
تاریخ:
بیوست:

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 فعالیت های 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 مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

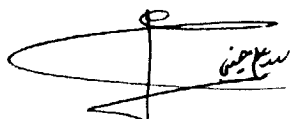
ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:
کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی هوافضا است که در سال ۱۳۷۸ در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر بهزاد مهری و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر - از آن دفاع شده است.

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر 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 سید علی حسینی دانشجوی رشته مهندسی هوافضا مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.


سید علی حسینی

تقديم :

به قلم و آنها که به من آموختند.

تقدیر و تشکر:

لازم می‌دانم که از زحمات بی‌شائبه استاد راهنمای گرانقدر خود، آقای دکتر بهزاد قدیری کمال تشکر را بنمایم. استادی که با سعه‌صدر و همت بالا و زحمت فراوان خود، اینجانب را در تمام مدت انجام پایان‌نامه راهنمایی فرمودند. از خداوند بزرگ کسب درجات عالی‌تر علمی و معنوی را برای ایشان آرزومندم.

همچنین از آقای دکتر محمود شکریه استاد دانشگاه علم و صنعت ایران که زحمت زیادی را متقبل شده‌اند و از دانشجوی گرانقدر ایشان آقای فتح‌الله طاهری کمال تشکر را می‌نمایم.

در پایان از پدر، مادر و برادر بزرگوارم که مشوق تحصیلی‌ام بوده‌اند و تمام دوستان عزیز که مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده :

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

در این پایان نامه سرعت واگرایی بال هواپیما از جنس مواد مرکب بررسی می شود. کاربرد مواد مرکب با انتخاب جهت الیاف مناسب، سبب افزایش سختی های خمشی و پیچشی می شود. نیروهای آیرودینامیکی در طول بال با استفاده از روش "strip theory" محاسبه می شود. توزیع تغییر مکان در طول بال و سرعت ناپایداری با استفاده از روش مودهای فرضی بدست می آید.

در این روش تغییر مکان در طول بال با شرایط مرزی مشخص حدس زده می شود 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 می آید. 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

صفحه عنوان

فصل اول : مقدمه‌ای بر آيروالاستيسيته ۱

۱-۱) مقدمه ۲

۲-۱) تعريف آيروالاستيسيته ۵

۳-۱) تعريف واگرايى ۵

۴-۱) تعريف فلاتر ۵

۵-۱) اثرات آيروالاستيسيته ۵

۶-۱) واگرايى پيچشى بال ۶

۷-۱) توضيح مختصر در مورد پديده آيروالاستيسيته ۶

۸-۱) مرورى بر بخشهاى مختلف پايان‌نامه ۸

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

۱-۲) مقدمه ۱۰

۲-۲) خواص مواد مرکب ۱۰

۱-۲-۲) خواص مکانیکی مواد مرکب ۱۱

۳-۲) اصطلاحات مواد مرکب لایه‌ای ۱۴

۴-۲) انواع الیاف ۱۶

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

۶-۲) تئوری آيروالاستيسيته مواد غير ايزوتروپ ۱۸

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

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

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

فصل سوم : بررسی پدیده آیروالاستیسیته بال در حالت استاتیک ۲۷

۱-۳) واگرایی بال در حالت دو بعدی ۲۸

۲-۳) 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

۱-۴) آیروالاستیسیته در حالت دینامیک برای ایرفویل ۳۹

۲-۴) پدیده فلاتر در بال ۴۴

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

۴-۴) تعیین نیروهای آیرودینامیکی وارد بر بال ۴۷

۵-۴) نیرو و ممانهای آیرودینامیکی ۵۱

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

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

۱-۵) مقدمه ۶۱

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

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

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

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

ضمیمه

فهرست علائم و نشانه‌ها

1, 2, 3: 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_1 : 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

$e=x_a$: فاصله بی‌بعد مرکز جرم از مرکز الاستیک

$ea=x_0$: فاصله مرکز الاستیک از لبه حمله بال

e^{II} : 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

$\theta_2, \theta_1, h_2, h_1$: مقادیر ثابت بمنوان مختصه عمومی

$I_p = I_0$: 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 بال 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 و ممانهای آیرودینامیکی)

q_i : به عنوان متغیر 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

reduced -velocity : u_r

u : علامت مشتق گیری جزئی

w, v, u : مولفه های 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

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$: کرنش های نرمال در جهت 1, 2, 3 (on-axis)

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$: کرنش های 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 بی بعد از ریشه بال

λ : مقدار ویژه

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

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

τ : گشتاور اعمالی بر بال

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

محورهای 1, 3, 2

$\tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{xy}$: تنشهای برشی در صفحه عمود بر محورها x, y, z و موازی با

محورهای x, z, y (off-axis)

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) پدیده آبروالاستیسیته از نظر مکانیزم کنترل	۸
شکل (۱-۲) رفتار مکانیکی مواد	۱۲
شکل (۲-۲) نمونه کششی ASTM	۱۴
شکل (۳-۲) دو نمونه اصلی از تک لایه‌ها	۱۴
شکل (۴-۲) تاثیرات گسیختگی الیاف در تنشهای الیاف و ماتریس	۱۵
شکل (۵-۲) لایه‌های مواد مرکب	۱۵
شکل (۶-۲) لایه‌های مواد مرکب از نوع مختلط	۱۶
شکل (۷-۲) مقایسه منحنی تنش بر حسب کرنش برای الیاف تقویت شده با چدن ۰/۱٪	۱۶
کربن	۱۸
شکل (۸-۲) جهات (۱و۲) on-axis و (x,y) off-axis و جهات مثبت دوران (θ)	۲۰
شکل (۹-۲) قسمت جلوی هوپیمای شاتل	۲۳
شکل (۱۰-۲) سیر صعودی کاربرد مواد مرکب در صنعت هوا فضا	۲۴
شکل (۱-۳) نصف بال و المان نوار شکل برای محاسبه گشتاور	۲۹
شکل (۱-۴) ایرفویل مدل شده تحت حرکات پیچشی و خمشی	۳۹
شکل (۱-۵) منحنی تغییرات سرعت واگرایی بال بر حسب مرکز پیچش	۷۰
شکل (۲-۵) منحنی‌های تغییرات سرعت فلاتر یا واگرایی بر حسب تغییرات مرکز جرم	۷۰
با مرکزهای پیچش متفاوت در ایرفویل	۷۱