

اصول مکانیک پرواز هواپیما

مؤلف:

دیویا جی ھال

مترجم:

ھیوا حسینی

ہوانورد
Publishing House AVIATOR

تابستان ۱۴۰۰

سرشناسه: هال، دیوید جی. Hull, David G.	
عنوان و نام پدیدآور: اصول مکانیک پرواز هواپیما/ مولف: دیوید جی هال؛ مترجم: هیوا حسینی.	
مشخصات نشر: تهران: شرکت هوافضای برآ، انتشارات هوانورد، ۱۴۰۰.	
مشخصات ظاهری: ۲۹۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.	
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۵۹۰-۱۹-۷	
وضعیت فهرست نویسی: فیبا	
یادداشت: عنوان اصلی: Fundamentals of airplane flight mechanics, 2007.	
یادداشت: واژه نامه.	
موضوع: هواپیماها -- مسیرها	
موضوع: Airplanes -- Trajectories	
شناسه افزوده: حسینی، هیوا، ۱۳۶۷، مترجم	
رده بندی کنگره: ۷۱۰ TL	
رده بندی دیویی: ۶۲۹ / ۱۳۲	
شماره کتابشناسی ملی: ۸۴۲۷۴۷۱	
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیبا	

اصول مکانیک پرواز هواپیما	نام کتاب
دیوید جی هال	تالیف
هیوا حسینی	ترجمه
هوانورد (وابسته به شرکت مهندسی هوافضای برآ)	ناشر
اول	نوبت چاپ
۱۴۰۰	سال چاپ
۵۰۰	شمارگان
۹۰۰۰۰۰ ریال	قیمت
۹۷۸-۶۲۲-۷۵۹۰-۱۹-۷	شابک

- ◀ کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است. نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
- ◀ برای تهیه این کتاب می توانید به وبگاه www.aeroshop.ir مراجعه کنید
- یا با شماره تلفن ۷۷۸۵۰۲۵۹ - ۰۲۱ تماس حاصل فرمائید.

علم مکانیک پرواز به معنی استفاده از قوانین نیوتن ($M = I\alpha$ و $F = ma$) به منظور مطالعه مسیر حرکت^۱ یا عملکرد^۲، پایداری^۳ و کنترل آیرودینامیکی^۴ وسیله پرنده می‌باشد. دو مسئله اساسی در مکانیک پرواز وجود دارد: ۱) با داشتن یک هواپیما بتوان خصیصه‌های عملکردی، پایداری و کنترل آن را بدست آورد و ۲) با داشتن خصیصه‌های عملکردی، پایداری و کنترل، بتوان هواپیمایی طراحی نمود. به مورد دوم برآورد هواپیما^۵ می‌گویند و براساس تعریف مشخصات ماموریتی استاندارد انجام خواهد شد. در مورد هواپیماهای تجاری از جمله جت‌های تجاری، قسمت‌های اصلی ماموریت شامل برخاست^۶، صعود^۷، حرکت با سرعت و ارتفاع ثابت (کروز)^۸، کاهش ارتفاع^۹ و فرود^{۱۰} خواهد بود. برای یک هواپیمای جنگنده قسمت‌هایی به ماموریت اضافه می‌شود که می‌تواند شامل فرار مافوق صوت^{۱۱}، سوخت اضافی برای درگیری هوایی^{۱۲} و توان اضافی ویژه^{۱۳} باشد. این کتاب در مورد مسئله اول نوشته شده است اما ساختار آن با استفاده از مسئله دوم سازمان یافته است. از تحلیل مسیر حرکت یا همان عملکرد هواپیما برای استخراج روابط ریاضی و یا الگوریتم محاسبه فاصله، زمان و سوخت در هر قسمت ماموریت استفاده می‌شود. در فرایند برآورد، باید تمامی هواپیماها پایداری استاتیکی داشته باشند. اگر پایداری دینامیکی در فرایند برآورد نیاز نباشد، معادلات خطی شده حرکت در طراحی سیستم‌های خودکار کنترل پرواز استفاده خواهد شد.

این کتاب عمدتاً حل‌های تحلیلی مسائل مکانیک پرواز را مدنظر قرار می‌دهد. طرح کتاب به گونه‌ای است که فرض شده تنها در یک نیم‌سال تحصیلی جهت تدریس مکانیک پرواز هواپیما ارائه شود و هر دو مبحث تحلیل مسیر حرکت و پایداری-کنترل در نظر گرفته شده است. برای اینکه بتوان اصول هر دو مبحث را پوشش داد، در متن کتاب عمدتاً پرواز در صفحه عمودی در نظر گرفته شده است. این فرض خیلی محدود کننده نیست زیرا بجز دورها^{۱۴}، بخش‌های اساسی مسیر حرکت هم در تعیین مشخصات ماموریتی و هم محاسبات پایداری در صفحه عمودی اهمیت دارد. در دانشگاه تگزاس واقع در آستین، این درس بعد از درس آیرودینامیک مادون صوت و تئوری سیستم خطی ارائه می‌شود. همچنین، پس از

¹ Trajectory

² Performance

³ Stability

⁴ Aerodynamic Control

⁵ Aircraft Sizing

⁶ Take-Off

⁷ Climb

⁸ Cruise

⁹ Descent

¹⁰ Landing

¹¹ Supersonic Dash

¹² Air Combat

¹³ Specific Excess Power

¹⁴ Turn

آن درس کنترل خودکار ارائه می‌شود.

بخش مربوط به تحلیل مسیر حرکت این کتاب (از لحاظ علائم و اصطلاحات و شیوه بیان معادلات حرکت) براساس کتاب مکانیک پرواز میل^۱ نوشته شده است. الگوریتم‌های پیش‌بینی آیرودینامیکی از نسخه اولیه برنامه کامپیوتری برآورد جت تجاری که توسط ناسا^۲ و به نام برنامه عمومی ساخت هوایی^۳ (GASP) ارائه شده، گرفته شده است. قسمت مهمی از تحلیل مسیر حرکت، بهینه‌سازی آن می‌باشد. معمولاً، بهینه‌سازی مسیر حرکت کاری پیچیده و شامل تئوری کنترل بهینه (حساب تغییرات)^۴ و یا استفاده از روش‌های بهینه‌سازی عددی می‌باشد. اما برای قسمت‌های استاندارد مأموریت، مسائل بهینه‌سازی بسیار ساده خواهند شد. حل آنها را می‌توان با استفاده از مفاهیم ابتدایی حساب دیفرانسیل بدست آورد. علائم و اصطلاحات مربوط به قسمت پایداری و کنترل براساس نوشته‌های آقای راسکام^۵ می‌باشد. پیش‌بینی مقادیر آیرودینامیکی براساس USAF Stability and Control Datcom می‌باشد. بدست آوردن روابط ساده برای پیش‌بینی مقادیر آیرودینامیکی و انجام محاسبات عملکرد، پایداری و کنترل بسیار اهمیت دارد. بنابراین، فرض می‌شود که هواپیماها دارای مقاطع بال مستقیم با زاویه عقب‌گرد^۶ (تمایل لبه حمله بال^۷ به عقب) و همچنین حالت مخروطی^۸ می‌باشند.

مکانیک پرواز در واقع یک شاخه علمی است که شامل معادلات حرکت، تقریب‌های قابل قبول و روش‌های حل برای معادلات حالت تقریبی می‌باشد. زمانی که یک حل تحلیلی بدست می‌آید، باید مجموعه‌ای از اعداد محاسبه شوند تا پاسخ تحلیلی با فرضیات در نظر گرفته شده آن با جواب‌های دیگر مقایسه شده و دانشجویان با اندازه و حدود اعداد آشنا شوند. جت تجاری مادون صوت^۹ (SBJ) که در ضمیمه A تعریف شده است به منظور انجام اینگونه محاسبات مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

این کتاب به دو بخش تقسیم شده است: تحلیل مسیر حرکت و تحلیل پایداری-کنترل. برای مطالعه مسیر حرکت، با این فرض که حرکت هواپیما شامل دور نبوده و جابجایی سطوح کنترلی^{۱۰} مقدار نیروی برا^{۱۱} و پسا^{۱۲} را تغییر نمی‌دهد، معادلات نیرو ($F = ma$) از معادلات گشتاور ($M = I\alpha$) جدا می‌شود. معادلات حاصل به مدل ۳ درجه آزادی مشهور هستند و بررسی آنها تحلیل مسیر حرکت نام دارد. برای مطالعه پایداری و کنترل، هر دو معادله $F = ma$ و $M = I\alpha$ نیاز است و معادلات حاصل مدل ۶ درجه

¹ Miele

² National Aeronautics and Space Administration (NASA)

³ General Aviation Synthesis Program (GASP)

⁴ Calculus of Variations

⁵ Roskam

⁶ Swept

⁷ Wing Leading Edge

⁸ Tapered

⁹ Subsonic Business Jet

¹⁰ Control Surface

¹¹ Lift

¹² Drag

آزادی نام دارند. مروری کلی بر مکانیک پرواز در فصل ۱ ارائه گردیده است.

بخش ۱: تحلیل مسیر حرکت. این بخش از فصل ۲ شروع شده و معادلات ۳ درجه آزادی حرکت برای پرواز در صفحه عمودی و فرض زمین مسطح^۱ استخراج می‌شود و بحث پرواز ناپایا^۲ (متغیر با زمان) و پرواز شبه‌پایا^۳ مطرح خواهد شد. در فصل ۳، محیط جو (حالت استاندارد و نمایی) بحث شده و الگوریتمی برای محاسبه نیروی برا و پسای یک هواپیمای مادون صوت ارائه خواهد شد. فرض شده است که اطلاعات مربوط به موتورها مشخص است و نیروی پیشران^۴ و مصرف سوخت ویژه^۵ برای موتور توربوجت و توربوفاون مادون صوت بررسی گردیده است. سپس، مسائل پرواز شبه‌پایا در حالت کروز و صعود برای یک هواپیمای دلخواه در فصل ۴ و برای یک هواپیمای مادون صوت ایده‌آل در فصل ۵ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در فصل ۶، الگوریتمی برای محاسبه مشخصات آیرودینامیکی ادوات برازا^۶ ارائه شده و مسائل پرواز ناپایا در حالت برخاست و فرود بحث شده است. نهایتاً، مسائل پرواز ناپایا در مورد صعود انرژی، توان اضافی ویژه، مانورپذیری انرژی و دوره‌های افقی در فصل ۷ مورد بررسی قرار گرفته است.

بخش ۲: پایداری و کنترل. این بخش از کتاب شامل تحلیل پایداری و کنترل در حالت استاتیکی و دینامیکی می‌باشد. فصل ۸ با مدل ۶ درجه آزادی^۷ در مختصات بادی^۸ شروع می‌شود. بعد از بیان معادلات حرکت، روابطی برای محاسبه مشخصات آیرودینامیکی یک هواپیمای مادون صوت شامل نیروی برا، گشتاور چرخشی^۹ و نیروی پسا ارائه شده است. فصل ۹ مربوط به پایداری و کنترل استاتیکی می‌باشد. شرایط تنظیم^{۱۰} و پایداری استاتیکی برای حالت کروز، صعود و کاهش ارتفاع بصورت پایا و همچنین اثرات موقعیت مرکز جرم بررسی می‌شود. یک سیستم کنترلی ساده به منظور معرفی مفاهیم گشتاور لولا^{۱۱}، نیروی دسته^{۱۲}، تغییرات نیروی دسته و کیفیت کنترل^{۱۳} هواپیما مورد تحلیل قرار گرفته است. صفحات تنظیم^{۱۴} و اثر بالابر آزاد^{۱۵} بر روی پایداری نیز مورد بحث قرار گرفته است. سپس، شرایط تنظیم برای حرکت ناپایا^{۱۶} مشخص شده و پایداری و کنترل سمتی-عرضی^{۱۶} بصورت خلاصه بیان شده است. در

¹ Flat Earth

² Unsteady

³ Quasi-Steady

⁴ Thrust

⁵ Specific Fuel Consumption

⁶ High-lift Devices

⁷ Wind Axes

⁸ Pitching Moment

⁹ Trim

¹⁰ Hinge Moment

¹¹ Stick Force

¹² Handling Qualities

¹³ Trim Tabs

¹⁴ Free Elevator

¹⁵ Pull-up

¹⁶ Lateral-directional

فصل ۱۰، معادلات ۶ درجه آزادی حرکت ابتدا در مختصات بدنی^۱ استخراج شده و سپس در مختصات پایداری^۲ بدست آمده تا در بررسی پایداری و کنترل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد. در فصل ۱۱، معادلات حرکت حول یک مسیر مرجع پایا بصورت خطی در آمده و پایداری و پاسخ هواپیما به ورودی کنترلی یا ورودی ناشی از باد ناگهانی^۳ در نظر گرفته شده است. در نهایت، اثر موقعیت مرکز جرم مورد بررسی قرار گرفته و پایداری و کنترل سمتی-عرضی در حالت دینامیکی بصورت مفصل توضیح داده شده است.

این کتاب سه عدد ضمیمه دارد. در ضمیمه آ خصوصیات هندسی جت تجاری مادون صوت آورده شده است و نتایج محاسبات آیرودینامیکی نیز ارائه گردیده است که شامل نتایج پایداری استاتیکی و دینامیکی می باشد. در ضمیمه ب، رابطه بین مسئله آیرودینامیک خطی شده (مشتقات پایداری) و تئوری سیستم خطی بیان شده است که در مطالعات پایداری و کنترل دینامیکی مورد نیاز می باشد. تعداد قابل توجهی از دانشجویان در نوشتن این کتاب همکاری داشته اند اما نویسندگان این کتاب از دیوید ای سالگوئرو تشکر ویژه می نماید. کار ایشان بر روی تبدیل GASP به یک ابزار آموزشی تحت عنوان BIZJET اساس بیشتر مطالب این کتاب را شامل می شود.

دیوید جی هال
آستین، تگزاس

^۱ Body Axes

^۲ Stability Axes

^۳ Gust

۱۹	فصل ۱: مقدمه‌ای بر مکانیک پرواز هواپیما
۲۰	۱-۱- تشریح سازه
۲۴	۲-۱- تشریح موتور
۲۶	۳-۱- معادلات حرکت
۲۷	۴-۱- تحلیل مسیر حرکت
۳۰	۵-۱- پایداری و کنترل
۳۳	۶-۱- برآورد هواپیما
۳۴	۷-۱- شبیه‌سازی
۳۷	فصل ۲: معادلات حرکت ۳ درجه آزادی
۳۸	۱-۲- فرضیات و سیستم‌های مختصات
۴۰	۲-۲- معادلات سینماتیک
۴۱	۳-۲- معادلات دینامیک
۴۳	۴-۲- معادله وزن
۴۴	۵-۲- بحث پیرامون معادلات ۳ درجه آزادی
۴۶	۶-۲- پرواز شبه‌پایا
۴۸	۷-۲- پرواز در حالت سه بعدی
۴۹	۸-۲- پرواز بر روی زمین کروی
۵۱	۹-۲- پرواز در یک جو متحرک
۵۴	۱۰-۲- مسائل
۶۱	فصل ۳: جو، آیرودینامیک و پیشرانس
۶۲	۱-۳- جو استاندارد
۶۴	۲-۳- جو نمایی
۶۷	۳-۳- آیرودینامیک: روابط عملکردی
۷۰	۴-۳- آیرودینامیک: پیش‌بینی
۷۰	۵-۳- زاویه حمله
۷۱	۳-۵-۱- ایرفویل‌ها

۷۴	۳-۵-۲- بال و دم افقی
۷۵	۳-۵-۳- هواپیما
۷۶	۳-۶- ضریب پسا
۷۷	۳-۶-۱- ضریب پسای اصطکاکی
۷۸	۳-۶-۲- ضریب پسای موجی
۷۹	۳-۶-۳- ضریب پسای القایی
۸۰	۳-۶-۴- پسای قطبی
۸۲	۳-۷- پسای قطبی سهموی
۸۵	۳-۸- پیشرانش: نیروی پیشران و SFC
۸۵	۳-۸-۱- روابط عملکردی
۸۸	۳-۸-۲- روابط تقریبی
۹۱	۳-۹- هواپیمای مادون صوت ایده‌آل
۹۱	۳-۱۰- مسائل
۹۳	فصل ۴: صعود و کروز هواپیما
۹۴	۴-۱- سرعت‌های پروازی خاص
۹۵	۴-۲- محدودیت‌های پروازی
۹۶	۴-۳- بهینه‌سازی مسیر پروازی
۹۷	۴-۴- محاسبات
۹۷	۴-۵- پاکت پروازی
۹۹	۴-۶- کروز در حالت شبه‌پایا
۱۰۰	۴-۷- فاصله و زمان
۱۰۱	۴-۸- کارایی نقطه کروز برای SBJ
۱۰۳	۴-۹- خط مسیرهای بهینه کروز
۱۰۴	۴-۹-۱- کروز با فاصله بیشینه
۱۰۶	۴-۹-۲- کروز زمان بیشینه
۱۰۷	۴-۱۰- کروز سرعت ثابت
۱۰۸	۴-۱۱- صعود شبه‌پایا
۱۱۰	۴-۱۲- کارایی نقطه‌ای صعود برای SBJ
۱۱۳	۴-۱۳- خط مسیرهای صعود بهینه
۱۱۳	۴-۱۳-۱- صعود فاصله کمینه