

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: واژه‌نامه.
 موضوع: هواپیماها -- مسیرها
 موضوع: Airplanes -- Trajectories
 شناسه افزوده: حسینی، هیوا، ۱۳۶۷، مترجم
 رده بندی کنگره: TL ۷۱۰
 رده بندی دیویی: ۶۲۹ / ۱۳۲
 شماره کتابشناسی ملی: ۸۴۲۷۴۷۱
 اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیبا

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

- ◀ 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 می‌توانید 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 مد نظر 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 دوره‌ها^{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 دروس 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 ماموریت، 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 آ 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 بر^{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 شبه‌نایا^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 توربوفن مادون صوت بررسی گردیده است. سپس، مسائل پرواز شبه‌نایا در حالت کروز و صعود برای یک هواپیمای دلخواه در فصل ۴ و برای یک هواپیمای مادون صوت ایده‌ال در فصل ۵ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در فصل ۶، الگوریتمی برای محاسبه مشخصات آیرودینامیکی ادوات برآزا^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 در مختصات بادی^۷ شروع می‌شود. بعد از بیان معادلات حرکت، روابطی برای محاسبه مشخصات آیرودینامیکی یک هواپیمای مادون صوت شامل نیروی برا، گشتاور چرخشی^۸ و نیروی پسا ارائه شده است. فصل ۹ مربوط به پایداری و کنترل استاتیکی می‌باشد. شرایط تنظیم^۹ 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^{۱۰}، نیروی دسته^{۱۱}، تغییرات نیروی دسته و کیفیت کنترل^{۱۲} هواپیما مورد تحلیل قرار گرفته است. صفحات تنظیم^{۱۳} و اثر بالابر آزاد^{۱۴} بر روی پایداری نیز مورد بحث قرار گرفته است. سپس، شرایط تنظیم برای حرکت ناپایا^{۱۵} مشخص شده و پایداری و کنترل سمتی-عرضی^{۱۶} بصورت خلاصه بیان شده است.

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 نویسنده 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

¹ Body Axes

² Stability Axes

³ Gust

فهرست مطالب

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 پیش‌رانش
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	۱-۵-۳- 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

- ۱۱۶ ۴-۱۳-۲- صعود زمان کمینه
- ۱۱۶ ۴-۱۳-۳- صعود با سوخت کمینه
- ۱۱۷ ۴-۱۴- صعود در سرعت معادل ثابت
- ۱۱۷ ۴-۱۵- پرواز در حالت کاهش ارتفاع (نزولی)
- ۱۱۷ ۴-۱۶- مسائل

فصل ۵: کروز و صعود یک هواپیمای مادون صوت ایده آل

- ۱۲۰ ۵-۱- هواپیمای مادون صوت ایده آل (ISA)
- ۱۲۲ ۵-۲- پاکت پروازی
- ۱۲۴ ۵-۳- کروز شبه پایا
- ۱۲۴ ۵-۴- خط مسیرهای کروز بهینه
- ۱۲۵ ۵-۴-۱- کروز فاصله بیشینه
- ۱۲۵ ۵-۴-۲- کروز زمان بیشینه
- ۱۲۶ ۵-۴-۳- چند نکته
- ۱۲۷ ۵-۵- کروز سرعت ثابت
- ۱۲۸ ۵-۶- صعود شبه پایا
- ۱۲۹ ۵-۷- خط مسیرهای صعود بهینه
- ۱۲۹ ۵-۷-۱- صعود فاصله کمینه
- ۱۳۰ ۵-۷-۲- صعود زمان کمینه
- ۱۳۱ ۵-۷-۳- صعود سوخت کمینه
- ۱۳۱ ۵-۸- صعود در سرعت معادل ثابت
- ۱۳۲ ۵-۹- پرواز نزولی
- ۱۳۲ ۵-۱۰- مسائل

فصل ۶: برخاست و فرود

- ۱۳۸ ۶-۱- تعریف برخاست و فرود
- ۱۴۱ ۶-۲- ادوات برازا
- ۱۴۳ ۶-۳- آیرودینامیک ادوات برازا
- ۱۴۶ ۶-۴- مقادیر ΔCLF ، ΔCDF و CL_{max}
- ۱۴۷ ۶-۵- حرکت روی زمین
- ۱۵۰ ۶-۵-۱- فاصله حرکت زمینی برای فاز برخاست

- ۱۵۰ ۶-۵-۲- فاصله حرکت زمینی برای فاز فرود
- ۱۵۱ ۶-۶-۶- فاز گذار
- ۱۵۲ ۶-۶-۱- فاصله گذار برخاست
- ۱۵۳ ۶-۶-۲- فاصله گذار فرود
- ۱۵۳ ۶-۷-۷- محاسبات نمونه برای SBJ
- ۱۵۳ ۶-۷-۱- آیرودینامیک بالک: بدون بالک جلو، بالک‌های تک‌شیاره
- ۱۵۵ ۶-۷-۲- آیرودینامیک برخاست: $\delta F = 20 \text{ deg}$
- ۱۵۵ ۶-۷-۳- فاصله برخاست در سطح دریا: $\delta F = 20 \text{ deg}$
- ۱۵۶ ۶-۷-۴- آیرودینامیک فرود: $\delta F = 40 \text{ deg}$
- ۱۵۶ ۶-۷-۵- فاصله فرود در سطح دریا: $\delta F = 40 \text{ deg}$
- ۱۶۱ ۶-۸- مسائل

۱۶۷

فصل ۷: توان اضافی ویژه (PS) و دورها

- ۱۶۸ ۷-۱- صعود شتابدار
- ۱۷۰ ۷-۲- صعود انرژی
- ۱۷۱ ۷-۳- نمودار PS
- ۱۷۱ ۷-۴- مانورپذیری انرژی
- ۱۷۳ ۷-۵- دورهای ارتفاع ثابت و ناپایا
- ۱۷۶ ۷-۶- دورهای شبه‌پایا: هواپیمای دلخواه
- ۱۸۲ ۷-۷- محدودیت‌های پروازی
- ۱۸۳ ۷-۸- دورهای شبه‌پایا: هواپیمای مادون صوت ایده‌آل
- ۱۸۵ ۷-۹- مسائل

۱۸۹

فصل ۸: مدل ۶ درجه آزادی: مختصات بادی

- ۱۹۰ ۸-۱- معادلات حرکت
- ۱۹۲ ۸-۲- آیرودینامیک و پیشرانش
- ۱۹۴ ۸-۳- ایرفویل‌ها
- ۱۹۵ ۸-۴- بال و دم افقی
- ۱۹۸ ۸-۵- زاویه جریان پایین‌رو در دم افقی
- ۱۹۹ ۸-۶- سطوح کنترل
- ۲۰۲ ۸-۷- نیروی برای هواپیما

- ۲۰۵ ۸-۸- گشتاور چرخشی هواپیما
- ۲۰۵ ۸-۸-۱- گشتاور چرخشی آیرودینامیکی
- ۲۰۷ ۸-۸-۲- گشتاور چرخشی نیروی پیشران
- ۲۰۸ ۸-۸-۳- گشتاور چرخشی هواپیما
- ۲۰۸ ۸-۹- جملات Q
- ۲۰۹ ۸-۱۰- جملات α
- ۲۱۰ ۸-۱۱- نیروی پسای هواپیما
- ۲۱۱ ۸-۱۲- پسای قطبی تنظیم شده
- ۲۱۲ ۸-۱۳- مسائل

۲۱۳

فصل ۹: پایداری و کنترل استاتیکی

- ۲۱۵ ۹-۱- پایداری و کنترل طولی
- ۲۱۵ ۹-۲- شرایط تنظیم برای پرواز پایا
- ۲۱۷ ۹-۳- پایداری استاتیکی
- ۲۲۰ ۹-۴- نیروی کنترلی و کیفیت کنترل هواپیما
- ۲۲۲ ۹-۵- صفحات تنظیم
- ۲۲۴ ۹-۶- شرایط تنظیم برای کشش به سمت بالا
- ۲۲۶ ۹-۷- پایداری و کنترل عرضی-سمتی
- ۲۲۷ ۹-۸- مسائل

۲۲۹

فصل ۱۰: مدل ۶ درجه آزادی: مختصات بدنی

- ۲۳۰ ۱۰-۱- معادلات حرکت: مختصات بدنی
- ۲۳۱ ۱۰-۱-۱- معادلات سینماتیکی حرکت انتقالی
- ۲۳۱ ۱۰-۱-۲- معادلات دینامیکی حرکت انتقالی
- ۲۳۲ ۱۰-۱-۳- معادلات سینماتیکی و دینامیکی حرکت دورانی
- ۲۳۲ ۱۰-۱-۴- معادلات مربوط به جرم
- ۲۳۳ ۱۰-۱-۵- خلاصه
- ۲۳۳ ۱۰-۲- معادلات حرکت: مختصات پایداری
- ۲۳۵ ۱۰-۳- پرواز در جو متحرک
- ۲۳۵ ۱۰-۴- مسائل

فصل ۱۱: پایداری و کنترل دینامیکی

۲۳۷

۲۳۸

۱-۱۱- معادلات حرکت

۲۴۱

۲-۱۱- معادلات خطی شده حرکت

۲۴۵

۳-۱۱- پایداری و کنترل طولی

۲۴۶

۴-۱۱- پاسخ به ورودی پله‌ای بالابر

۲۴۹

۱-۴-۱۱- حالت تقریبی تناوب-کوتاه

۲۵۰

۲-۴-۱۱- حالت تقریبی فوگناید

۲۵۱

۵-۱۱- پاسخ به باد ناگهانی

۲۵۲

۶-۱۱- اثرات مرکز جرم

۲۵۴

۷-۱۱- پایداری و کنترل عرضی-سمتی

۲۵۴

۸-۱۱- مسائل

۲۵۷

ضمیمه آ: داده‌ها و محاسبات مربوط به SBJ

۲۵۹

۱-۱- هندسه

۲۵۹

۱-۱-۱- هندسه بدنه

۲۶۰

۲-۱-۱- هندسه بال

۲۶۱

۳-۱-۱- هندسه دم افقی

۲۶۲

۴-۱-۱- هندسه دم عمودی

۲۶۳

۵-۱-۱- هندسه محفظه موتور

۲۶۳

۶-۱-۱- هندسه باک سوخت نوک بال

۲۶۳

۷-۱-۱- هندسه هواپیما

۲۶۴

۲-۱- شرایط پروازی برای محاسبات آیرودینامیکی و پایداری و کنترل

۲۶۴

۳-۱- آیرودینامیک

۲۶۴

۱-۳-۱- آیرودینامیک بال

۲۶۵

۲-۳-۱- آیرودینامیک بال-بدنه

۲۶۵

۳-۳-۱- آیرودینامیک دم افقی

۲۶۶

۴-۳-۱- آیرودینامیک هواپیما

۲۶۶

۴-۱- شرایط پایداری و کنترل طولی، شرایط تنظیم

۲۶۷

۵-۱- پایداری و کنترل طولی

ضمیمه ب: شرایط مرجع و مشتقات پایداری

ضمیمه ث: تئوری سیستم خطی

ث-۱- تبدیلات لاپلاس

ث-۲- سیستم مرتبه اول

ث-۳- سیستم مرتبه دوم

منابع

واژه‌نامه

۲۶۹

۲۷۵

۲۷۶

۲۷۷

۲۷۹

۲۸۷

۲۸۹

فصل ۱: مقدمه‌ای بر مکانیک پرواز هواپیما

مکانیک پرواز هواپیما را می‌توان به پنج قسمت عمده تحلیل مسیر حرکت (عملکرد)، پایداری و کنترل، برآورد هواپیما، شبیه‌سازی^۱ و آزمایش پرواز^۲ تقسیم نمود. در این کتاب تنها جنبه‌های نظری تحلیل مسیر حرکت و پایداری و کنترل مد نظر قرار گرفته است. برآورد هواپیما و شبیه‌سازی ذاتاً پدیده‌های عددی می‌باشند. برآورد هواپیما یک فرایند تکرارپذیر^۳ است و شبیه‌سازی شامل انتگرال‌گیری عددی از معادلات دیفرانسیل می‌باشد. این موارد در این فصل بیان می‌شوند تا نشان دهیم چگونه در طرح کلی جای می‌گیرند. آزمایش پرواز قسمت تجربی مکانیک پرواز است. در اینجا تنها به این نکته اکتفا می‌کنیم که تحلیل تئوری خوب، آزمایش خوب را نتیجه می‌دهد.

طرح اصلی این کتاب بصورت زیر می‌باشد: با داشتن نقشه سه جهت اصلی یک هواپیمای جت مادون صوت با ابعاد واقعی و اطلاعات موتور، می‌خواهیم خصوصیات عملکردی و پایداری و کنترل آن را مشخص کنیم. برای انجام این کار، روابطی برای محاسبه مسائل آیرودینامیک ارائه خواهد شد. اکثر موارد مطرح شده در این کتاب به پرواز در صفحه عمودی محدود می‌شود زیرا مشخصات مأموریتی که هواپیماها برای آنها طراحی می‌شوند عمدتاً در صفحه عمودی هستند. این فصل با مروری بر قسمت‌های مختلف سازه و موتور شروع می‌شود. سپس، استخراج معادلات حاکم بر حرکت هواپیما بحث خواهد شد. نهایتاً، زیرمجموعه‌های اصلی مکانیک پرواز هواپیما توضیح داده شده است.

۱-۱- تشریح سازه

برای شروع بخش معرفی این کتاب، بهتر است اجزای سازه هواپیما و هدف از ساختن آنها توضیح داده شود. شکل ۱-۱ طرح سه وجهی^۴ از یک هواپیمای بوئینگ ۷۲۷ را نشان می‌دهد. وظیفه بدنه هواپیما حمل و نگهداری خدمه، مسافری و بار می‌باشد. انجام این کار در هوا توسط نیروی برای ایجاد شده بال و نیروی پیشران تولیدی توسط موتورهای جت صورت می‌پذیرد. این هواپیما دارای دو موتور متصل به بدنه و یک موتور مرکزی متصل به بدنه است که هوای ورودی آن از داخل کانالی S-شکل در جلوی دم عمودی^۵ وارد می‌شود. سوخت مورد نیاز در داخل باک‌هایی است که درون بال‌ها تعبیه شده‌اند. جت تجاری به منظور کروز سرعت بالا با بازدهی بالا طراحی می‌شود لذا نمی‌تواند از باندهای استاندارد که وجود دارند بدون تغییر پیکربندی عملیات برخاست و فرود را انجام دهد. این کار با استفاده از بالک‌های لبه حمله^۶ و همچنین بالک‌های لبه فرار^۷ انجام می‌شود. هر دو وسیله در هنگام برخاست استفاده

¹ Simulation

² Flight Testing

³ Iterative Process

⁴ Three-view Drawing

⁵ Vertical Tail

⁶ Leading Edge Slats

⁷ Trailing Edge Flaps

می‌شوند ولی تغییر زاویه بالک لبه فرار کم می‌باشد. در حین فرود، زاویه زیاد بالک لبه فرار برای افزایش نیروی برا و پسا و همچنین ترمزها، نیروی پیشران معکوس برای کاهش بیشتر فاصله مورد نیاز برای فرود استفاده می‌شوند.

یک مسئله مهم در طراحی هواپیما پایداری استاتیکی می‌باشد. اگر اغتشاشی در شرایط پرواز پایا رخ دهد و نیرو یا گشتاور ایجاد شده در جهت کاهش این اغتشاش باشد آنگاه هواپیما از لحاظ آیرودینامیکی و بصورت استاتیکی پایدار است. در شکل ۱-۲ یک سیستم مختصات بادی نشان داده شده است که مرکز آن بر روی مرکز جرم بوده و محورهای x_b ، y_b و z_b به ترتیب محور غلتش^۱، محور چرخش^۲ و محور گردش^۳ نامیده می‌شوند. پایداری استاتیکی حول محور گردش (پایداری سمتی^۴) با استفاده از پایدارکننده عمودی^۵ صورت می‌پذیرد در حالیکه پایدارکننده افقی^۶ هواپیما را حول محور چرخش پایدار می‌کند (پایداری طولی^۷). پایداری استاتیکی حول محور غلتش (پایداری عرضی^۸) عمدتاً توسط اثر دوسطحی بال^۹ محقق می‌شود که در تصویر از جلو شکل ۱-۱ قابل مشاهده است.

¹ Roll Axis

² Pitch Axis

³ Yaw Axis

⁴ Directional Stability

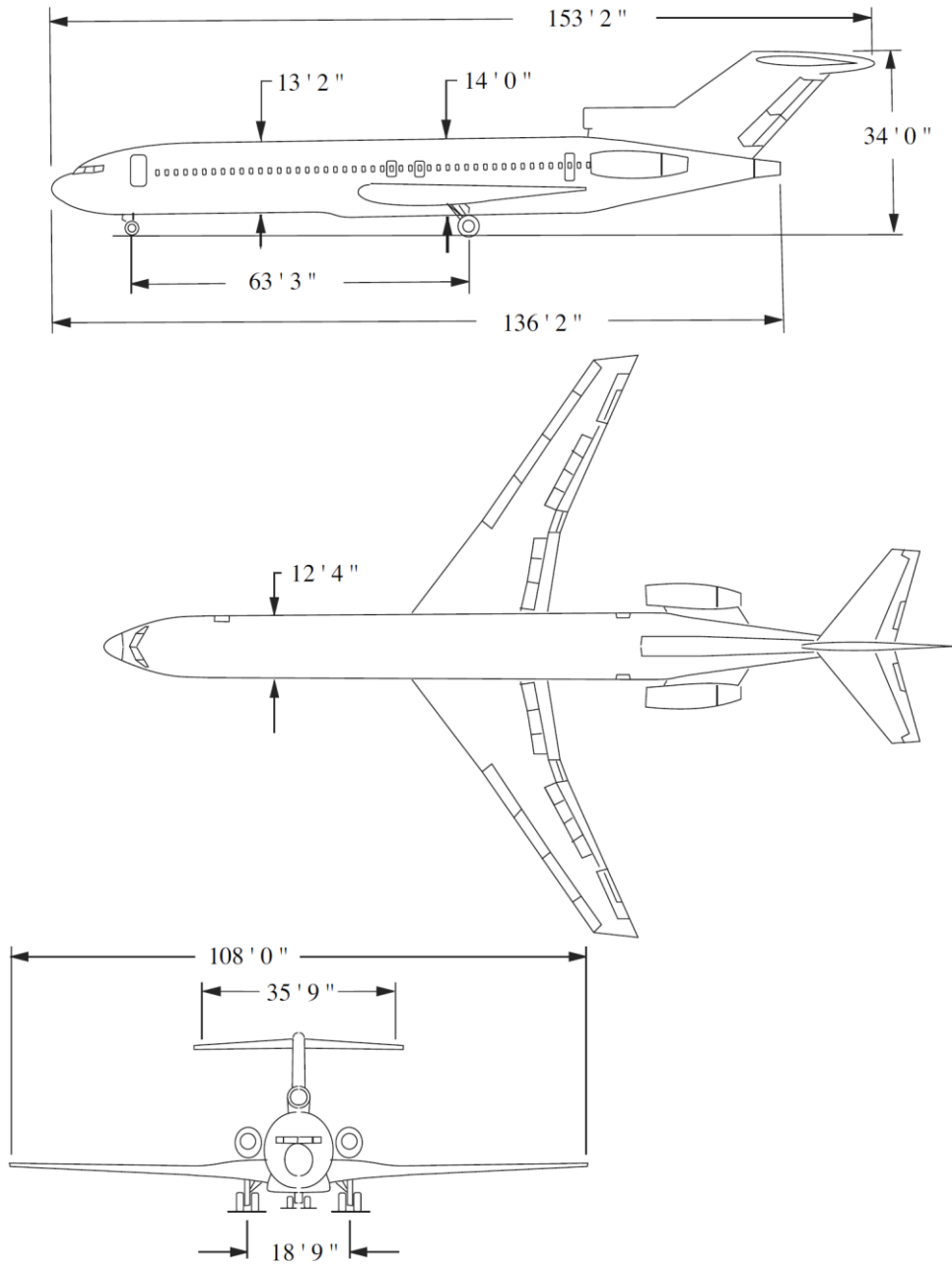
⁵ Vertical Stabilizer

⁶ Horizontal Stabilizer

⁷ Longitudinal Stability

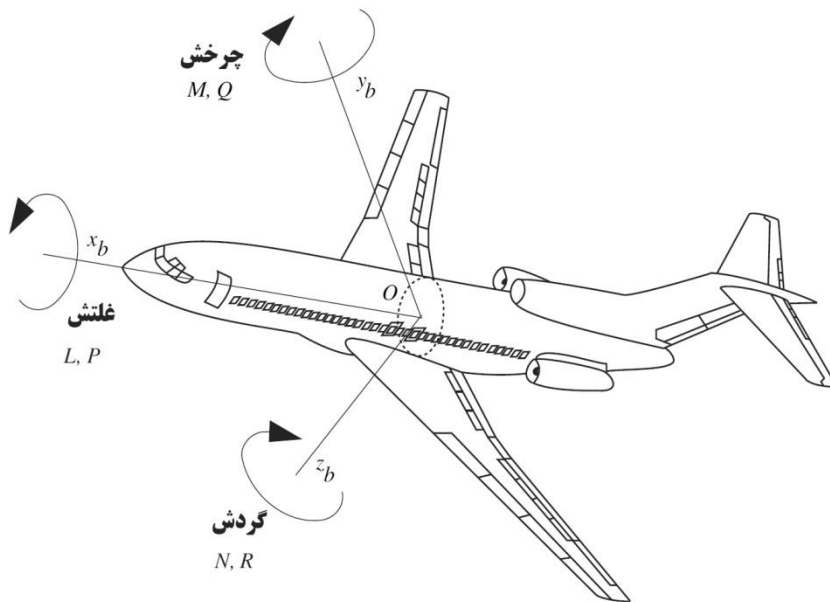
⁸ Lateral Stability

⁹ Wing Dihedral



شکل ۱-۱. نقشه سه جهتی برای هواپیمای بوئینگ ۷۲۷

همچنین در شکل‌های ۱-۱ و ۲-۱ سطوح کنترلی که به منظور کنترل نرخ چرخش حول مختصات بدنی (نرخ غلتش P ، نرخ چرخش Q و نرخ گردش R) استفاده می‌شوند نشان داده است که این کار را با کنترل گشتاور حول این محورها (گشتاور غلتشی L ، گشتاور چرخشی M و گشتاور گردشی N) انجام می‌دهند. جهت قراردادی برای گشتاور و نرخ چرخش مثبت اینطور است که در حالیکه انگشت شست رو به مرکز می‌باشد محور را گرفته و در جهت خلاف عقربه‌های ساعت چرخاند. از دید خلبان، جهت مثبت به شکل غلتش به سمت راست، چرخش به سمت بالا و گردش به سمت راست می‌باشد.



شکل ۲-۱. مختصات بدنی، گشتاور، نرخ چرخش و سطوح کنترلی

تغییر زاویه سطح کنترلی باعث تغییر انحنای بال یا دم شده و نیروی برا و گشتاور ایجاد شده توسط آن را تغییر می‌دهد. بنابراین، شهپرها^۱ (یکی به سمت بالا و یکی به سمت پایین) نرخ غلتش را کنترل می‌کنند، بالابرها^۲ نرخ چرخش را کنترل می‌نمایند و سکان عمودی^۳ نرخ گردش را کنترل می‌کند. برخلاف حرکت چرخشی، حرکت‌های غلتشی و گردشی خالص و جدا از هم نیستند. هنگامی که شهپر زاویه می‌دهد تا هواپیما حرکت غلتشی داشته باشد، شهپری که پایین می‌رود بیش از شهپری که بالا می‌رود نیروی پسا دارد که باعث گردش هواپیما حول محور Z می‌شود. بصورت مشابه، با تغییر زاویه سکان عمودی به

¹ Ailerons

² Elevator

³ Rudder