

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی راههای کاهش پسای انتهای بدنه یک هواپیمای ترابری - تاکتیکی

بر اساس تحلیلهای CFD و تستهای تجربی تونل باد

دانشجو: محمد هادی کریمی گلوگاهی

استاد راهنما: دکتر مسعود میرزایی

استاد مشاور: دکتر محمد علی وزیری

زمستان ۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیر و تشکر:

این پایان نامه تحت حمایت‌های مالی و معنوی شرکت صنایع هواپیما سازی ایران (HESA) به انجام رسیده که باید در درجه اول از تمامی کسانی که در آن صنعت در انجام این پروژه مرا یاری نمودند تشکر نمایم. همچنین از زحمات و راهنمایی‌های دو استاد عزیز آقایان دکتر میرزایی و دکتر وزیری که از رهنمودهای آنها استفاده زیادی نمودم و از آقای مهندس حمید نخ‌فروش، مهندس حسین شیروانی، مهندس علی دهقان منشادی، مهندس داود آقازیارتی، مهندس مهدی ایل‌بیگی و مهندس علی گلستانی بخاطر حمایت‌ها و کمک‌های علمی ارزشمندشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده:

در این پایان‌نامه، با توجه به طراحی و تحلیل آیرودینامیکی بدنه یک هواپیما که از حالت مسافری به باربری-تاکتیکی تبدیل شده‌است و همچنین با توجه به اینکه تمرکز اصلی این پژوهش بر روی کاهش مقدار نیروی پسا می‌باشد، در ابتدا مطالعاتی در رابطه با روشهای معمول کاهش پسا ناشی از بدنه هواپیما انجام شده‌است. در ادامه با توجه به یکی از روشهای تاثیر گذار اشاره شده در کاهش نیروی پسا که همان تغییر پروفیل انتهای بدنه می‌باشد، فعالیت اصلی پروژه آغاز می‌شود. با توجه به محدودیت‌ها و تئوریهای موجود برای کاهش نیروی پسا، بدنه‌های مختلفی طراحی و مدلسازی شده و سپس با استفاده از نرم‌افزار فلونتت مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. همچنین با توجه به یکی دیگر از روشهای معمول مورد استفاده به منظور کاهش نیروی پسا در هواپیمای باربری که همان افزودن لکس¹ به لبه حمله دم افقی می‌باشد، کار دنبال شده‌است. قبل از استفاده از نرم‌افزار فلونتت، نخست روشهای موجود برای مدلسازی اغتشاش در جریان سیال که بطور خلاصه شامل مدل‌های DNS، LES و RANS می‌شود، مورد معرفی و بررسی قرار گرفت. با مقایسه بدنه‌ها و تغییرات اعمالی، نهایتاً بدنه‌ای که دارای کمترین ضریب پسا بوده به عنوان بدنه نهایی انتخاب شده‌است. مدل این بدنه پس از ساخته شدن در یک مقیاس کوچکتر با توجه به امکانات موجود برای انجام تستهای تونل باد، تحت تست تجربی قرار گرفته و نتایج حاصله از آزمایشات تونل باد با نتایج حاصله از تحلیل عددی مورد مقایسه قرار گرفته‌است.

¹ - Lex

فهرست

ث	چکیده:
ج	فهرست
خ	فهرست علائم
۱	فصل اول : مقدمه
۲	مقدمه:
۳	۱-۱- مقایسه اجمالی بدنه هواپیماهای مسافربری و باربری:
۱۲	فصل دوم : نیروی پسا و اهمیت کاهش آن در هواپیما
۱۳	۱-۲- مقدمه‌های بر معرفی نیروی پسا در هواپیما:
۱۳	۱-۱-۲- نیروی پسای اصطکاکی (Friction Drag):
۱۴	۲-۱-۲- پسای فشاری (Pressure Drag):
۱۴	۳-۱-۲- پسا القایی (Induced Drag):
۱۵	۴-۱-۲- پسا تراکم پذیری (Compressibility Drag):
۱۶	۲-۲- نمودار پسای قطبی:
۲۳	۴-۲- اهمیت کاهش پسا هواپیمای باربری- تاکتیکی:
۲۴	۵-۲- بررسی رابطه بین کاهش پسا و کاهش مصرف سوخت:
۲۶	۶-۲- راههای کاهش پسا در هواپیمای تاکتیکی - باربری:
۲۶	۱-۶-۲- استفاده از Strake [9]:
۲۸	۲-۶-۲- استفاده از Lex:
۲۹	۳-۶-۲- استفاده از Riblets [12]:
۳۱	۴-۶-۲- استفاده از دمش و یا مکش جریان جت [13]:
۳۳	۵-۶-۲- اصلاح بدنه به ویژه در انتها [8]:
۳۵	۶-۲- محدودیت‌های اصلاح بدنه:
۳۸	فصل سوم : روشهای مدلسازی و تحلیل
۳۹	۱-۳- حل عددی
۶۱	بررسی عدم وابستگی حل به تعداد و نوع شبکه:
۶۶	فصل چهارم : نتایج حاصل از حل عددی

۶۷	۱-۴- نتایج اولیه حل عددی بدنه هواپیمای باربری و مقایسه با هواپیمای مسافربری:
۶۷	۱-۱-۴- نتایج حل عددی جریان حول بدنه با نرمافزار فلونت:
۷۲	۲-۴- بهبود جریان حول بدنه با تغییر در پروفیل انتهای بدنه:
۷۲	۱-۲-۴- اصلاح منحنی بدنه انتهای بدنه (Version 1):
۷۵	۲-۲-۴- اصلاح منحنی بدنه و افزایش طول انتهای بدنه (Version 2):
۷۹	۳-۲-۴- اصلاح منحنی سطح روی انتهای بدنه (Version 3):
۸۱	۴-۲-۴- اصلاح منحنی سطح روی انتهای بدنه (Version 4):
۸۳	۵-۲-۴- چرخاندن بخش انتهایی در جهت کاهش شیب سطح زیرین (Version 5):
۸۵	۶-۲-۴- اصلاح انتهای بدنه در حوالی نقطه جدایش جریان (Version 6):
۸۷	۷-۲-۴- انتخاب بدنه نهایی با توجه به ۶ ورژن مورد بررسی قرار گرفته شده (Version 7):
۹۲	۳-۴- بهبود جریان در انتهای بدنه با استفاده از Lex:
۹۴	۴-۴- حل جریان حول بدنه به روش LES:
۱۰۴	۵-۴- نتایج آنالیز بدنه هواپیما به روش LES:
۱۰۷	فصل پنجم: تستهای تجربی تونل باد:
۱۰۸	مشخصات تونل باد مورد استفاده و شرایط تست:
۱۱۱	شبیه سازی جریان در تونل باد با جریان آزاد [23]:
۱۱۸	فصل ششم: مقایسه نتایج عددی و تجربی و نتیجه گیری:
۱۱۹	۱-۶- مقایسه نتایج و نتیجه گیری:
۱۲۵	مراجع:

فهرست علائم

C_L : ضریب نیروی برآ

C_D : ضریب نیروی پسا

L : نیروی برآ

D : نیروی پسا

$C_{D_{pmin}}$: کمترین پسا‌ی پارازیتی

ΔC_{D_p} : پسا‌ی پارازیتی وابسته به نیروی برآ

C_{D_i} : پسا‌ی القایی

ΔC_{D_M} : پسا‌ی ناشی از اثرات تراکم پذیری

q : فشار دینامیکی

SW : سطح خیس شده بال

ρ : چگالی

C_{D_p} : ضریب پسا‌ی پارازیتی

C_T : ضریب تراست

u_i : سرعت جریان در راستای محور x

u_j : سرعت جریان در راستای محور y

t : زمان برحسب ثانیه

P : فشار استاتیکی

Re : عدد رینولدز

N_{time} : تعداد تکرار حل معادله در حل عددی

ν : لزجت سینماتیکی

Re_T : عدد رینولدز توربولانسی

u_T : سرعت اصطکاکی

L : طول مشخصه

h : طول المان

N_{LES} : تعداد تکرار مورد نیاز برای حل عددی به روش LES

N_{DNS} : تعداد تکرار مورد نیاز برای حل عددی به روش DNS

U : سرعت میانگین جریان

τ_{ij} : تانسور تنش

T : دما برحسب کلوین

E : انرژی

R_{ij} : رینولدز استرس

μ : لزجت سیال

R : ثابت جهانی گازها

C_p : ضریب گرمایی گازها در فشار ثابت

C_v : ضریب گرمایی گازها در حجم ثابت

γ : نسبت گرمای ویژه گاز

فصل اول : مقدمه

مقدمه:

بدنه هواپیمای باربری-تاکتیکی تفاوت‌های فاحشی با بدنه هواپیمای مسافربری دارد. از جمله خصوصیات اینگونه هواپیماها (باربری) استفاده از حالت بال بالا^۲ و همچنین انتهای بدنه تخت و کمی متمایل رو به بالا به دلیل نصب درب بارگیری^۳ می‌باشد. البته استفاده از بدنه با قطر بیشتر نیز از جمله مشخصات متمایز کننده هواپیماهای باربری-تاکتیکی از هواپیماهای مسافربری است.

با توجه به در دسترس بودن هواپیمای مسافربری مشخصی با قابلیت بالا و همچنین بومی بودن تکنولوژی ساخت آن، تغییر کاربری این هواپیما از حالت مسافربری به حالت باربری-تاکتیکی دارای توجیه اقتصادی بوده و با توجه به اینکه کشور ایران به هر دو نوع این هواپیما نیاز داشته می‌توان به طور موازی هر دو نوع این هواپیما را تولید نمود.

از طرفی بدلیل عدم نیاز به طراحی هواپیمای جدید و صرفاً تغییرات نسبتاً کمی در هواپیمای مسافربری این تغییر کاربری از توجیه اقتصادی خوبی نیز برخوردار است.

توجه به این نکته نیز لازم است که هواپیمای اشاره شده دارای بال بالا بوده که این نکته نیز با توجه به توضیحات داده شده، از مزیت‌های آن برای استفاده به عنوان هواپیمای باربری-تاکتیکی به شمار می‌رود. برای رسیدن به این هدف، یکی از روش‌های معمول، اعمال تغییرات در بدنه و تغییر شکل انتهای آن با در نظر گرفتن محدودیتها و قیدهای موجود برای بعضی از نقاط آن می‌باشد.

^۲ - High Wing

^۳ - Ramp Door

۱-۱- مقایسه اجمالی بدنه هواپیماهای مسافربری و باربری:



شکل (۱-۱): هواپیمای مسافربری ATR-72 [1]



شکل (۲-۱): هواپیمای باربری-تاکتیکی CN-235 [2]

با مقایسه شکل (۱-۱) و (۲-۱)، تفاوت‌های بین بدنه این دو نوع هواپیما کاملاً مشخص است. در

هواپیمای مسافربری انتهای بدنه مانند یک مخروط به انتهای رسیده و دارای سطح تخت و مسطح نمی-

باشد. شکل (۱-۱) مربوط به یک هواپیمای مسافربری ملخی بوده که شکل انتهای بدنه کاملاً در

تصویر مشخص است.

این درحالی است که در هواپیمای باربری-تاکتیکی مانند آنچه در شکل (۲-۱) مشاهده می‌شود، زیر بدنه دارای سطح تخت و همچنین نمای از بالای انتهای بدنه دارای گستردگی بوده و سطح خیس شده^۴ بیشتری در مقایسه با هواپیمای مسافربری ایجاد می‌نماید.

در شکل (۳-۱)، سه نمای از بالای بدنه یک هواپیمای باربری-تاکتیکی نشان داده شده‌است.



شکل (۳-۱) : نمای از بالای هواپیمای باربری-تاکتیکی CN-235 [2]

از جمله موارد استفاده از هواپیمای باربری-تاکتیکی حمل بار بوده که می‌بایست در طراحی بدنه با در نظر گرفتن شکل و وزن بار در نظر گرفته شود. از جمله جعبه‌های بار استاندارد، جعبه‌های موسوم به LD3 بوده که دارای ابعاد استاندارد بوده و در دنیا برای حمل و نقل انواع و اقسام بارها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

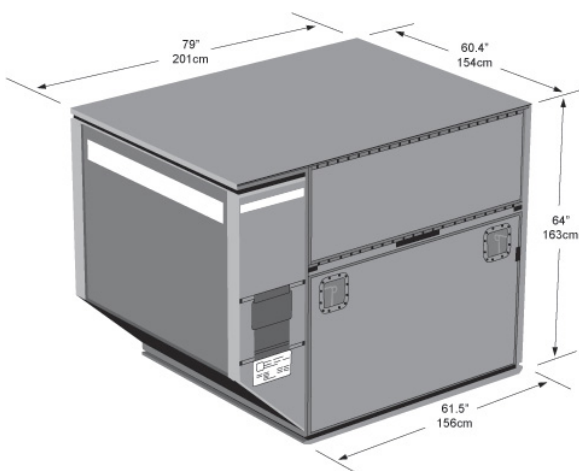
برای بارگیری این جعبه‌ها در برخی از هواپیماها از درب روی بدنه هواپیما کمک گرفته و در برخی از درب انتهای بدنه با نام درب بارگیری استفاده می‌شود.

⁴ - Wetted Area

اگر قطر بدنه هواپیما کم باشد طبیعی است که روش دوم برای بارگیری انتخاب شود. در ادامه شکل و ابعاد محموله استاندارد LD3 و نحوه بارگیری آن طی شکل‌های (۴-۱) الی (۵-۱) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۴-۱) مشخص است، این نوع جعبه‌ها برای حمل بار در هواپیماهای معروفی چون Boeing 747 و Boeing 777 مورد استفاده قرار می‌گیرند.

AKE CONTAINER

Type: AKE CONTAINER
ATA Code: LD3
Internal Volume:
152 cu. ft. 4.3 mc Weight Limitation Inc.
ULD Tare Weight: 1,588 kg
Loadable Aircraft Type: 747, 747F, 777,
Airbus

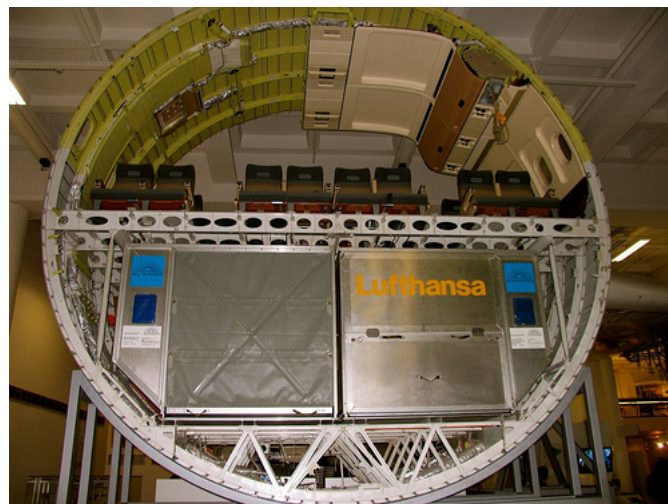


شکل (۴-۱) : شکل و ابعاد جعبه حمل بار استاندارد LD3 [3]

برای هواپیماهای بزرگ می‌توان این جعبه‌ها را از درب بقل بارگیری نمود. این در حالی است که برای هواپیماهایی با بدنه باریکتر مجبور به تعبیه درب بارگیری در انتهای بدنه برای بارگیری محموله‌های بزرگ هستیم.



شکل (۱-۵): بارگیری جعبه حمل بار استاندارد LD3 از درب بقل [4]



شکل (۱-۶): قرار گیری جعبه حمل بار استاندارد LD3 در زیر ردیف صندلیها [5]

در شکل (۱-۷) هواپیمایی با درب از بقل برای بارگیری مشاهده می شود که قابلیت بارگیری جعبه های

بارگیری استاندارد LD3 را ندارد.



شکل (۱-۷) : وجود درب بارگیری از بقل برای یک هواپیمای با قطر بدنه کم [1]

در صورتیکه قطر بدنه هواپیما کم بوده و در عین حال قصد داشتن توان بارگیری جعبه‌های ذکر شده را داشته باشد می‌بایست در انتهای بدنه درب مخصوص بارگیری برای این منظور طراحی گردد که لازمه این کار طراحی مجدد انتهای بدنه و بررسی دقیق آیرودینامیکی و دینامیک پرواز هواپیمای تغییر شکل یافته‌است.



شکل (۱-۸) : تخلیه از درب رمپ [6]

در این راستا یکی از کشورهای خارجی که تجربه موفق‌تری در این زمینه داشته و محصول نهایی طراحی شده را مورد آزمایش و تست پرواز قرار داده و تاییدیه‌های لازم را نیز اخذ نموده کشور اندونزی با هواپیمای باربری-تاکتیکی CN-235 بوده‌است. این هواپیما که طراحی شده توسط شرکت CASA

اسپانیا می‌باشد، در سال ۱۹۷۸ به عنوان هواپیمای مسافربری ۴۴ نفره در خطوط هوایی و نظامی مشغول فعالیت بوده‌است. از سال ۱۹۷۹ شرکت IPTN اندونزی همکاری مشترکی با شرکت CASA اسپانیا آغاز نمود. در این پروژه قابلیت این هواپیما پیشرفت داده شده و علاوه بر حمل مسافر قابلیت حمل بار نیز با نصب درب بارگیری به آن افزوده شد. در جریان توسعه این هواپیما انواع متعددی از آن مورد بررسی و تولید مشترک بین دو شرکت مذکور قرار گرفت. از جمله انواع توسعه داده شده شامل CN-235-10، CN-235-100 و CN-235-200 نام برد. با توجه به نیاز به تستهای تونل باد، مدل این هواپیما در تونل بادهای کشور اندونزی مورد تست قرار گرفته است. بدنه این هواپیما به دلیل دارا بودن عرض کافی می‌تواند دو منظوره یعنی برای حمل مسافر و همچنین بار مورد استفاده قرار گیرد. با اعمال تغییرات روی بدنه مدل‌های CN-235 P2 و CN-235 MPA نیز از جمله هواپیماهای توسعه داده شده از روی هواپیمای اصلی برای مامورتهای خاص بوده که توسط شرکتهای هواپیما سازی دوکشور یاد شده طراحی و پس از انجام تستهای مربوطه ساخته شده‌است [7]. در شکل (۱-۹)، هواپیمای CN-235 و درب بارگیری باز شده آن مشاهده می‌شود.



شکل (۹-۱) : هواپیمای CN-235 طراحی و ساخت کشور اندونزی [2]

همچنین گروه AFSOC^۵ پروژه‌های بسیار زیادی را در رابطه با ارتقای هواپیمای C-130 شرکت

لاکهد مارتن با رویکرد کاهش نیروی پس‌آی بدنه به انجام رسانیده است [8].

این پروژه‌ها در دانشکده هوافضای نیروی هوایی آمریکا (USAFA/DFAN)^۶ شامل بهینه سازی بدنه

هواپیمای AC-130 و EC-130 با استفاده از انواع روشهای مختلف که یکی از مهمترین آنها اصلاح

پروفیل و فریمهای انتهایی بدنه بوده است، از سال ۲۰۰۵ آغاز شده است. هر چند معمولا از درب

بارگیری^۷ به دفعات در هواپیماهای باربری استفاده می‌شود، در پروژه مذکور، ماموریت هواپیما طوری

انتخاب شده که کمتر از درب مذکور استفاده شده و لذا آزادی عمل بیشتری در تغییر شکل درب

بارگیری هواپیمای C-130 در اختیار طراحان قرار داده بود [8].

پروژه فوق الذکر، بر بررسی ۴ روش مختلف برای ایجاد کاهش در میزان نیروی پس‌آی هواپیما متمرکز

بوده که از میان آن روشها، دو روش بسیار موفق عمل کرده است که عبارتند از:

⁵ - Ai Force Special Operation Command

⁶ - United State Air Force Academy Department of Aeronautic

⁷ - Ramp Door

۱- تغییرات اعمالی در پروفیل انتهایی بدنه.

۲- استفاده از سطوح خاصی در راستای جریان در زیر بدنه تحت عنوان Beavertail Strake.

این تحقیقات همچنان ادامه داشته و بر روی هواپیماهای مشابه نیز در جریان است [9].

در این پایان نامه سعی شده است تا تغییرات اعمالی بر انتهای بدنه هواپیمای مسافربری برای تبدیل

آن به هواپیمای باربری- تاکتیکی مورد بررسی قرار گرفته و در عین حال محدودیتهای موجود چه از

نظر ابعادی و چه از نظر استحکام سازه‌ای نیز در نظر گرفته شود.

این پایان نامه شامل دو بخش کلی آنالیزهای عددی و انجام تستهای تجربی تونل باد بوده که در انتها

نتایج حاصل از این دو بخش مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. این پایان نامه در ۷ فصل به ترتیب زیر تنظیم

شده است.

۱- در فصل اول همانطور که گذشت، توضیحاتی راجع به تاریخچه و دلایل اهمیت تبدیل یک

هواپیمای مسافربری به باربری داده شده است.

۲- در فصل دوم نیروی پسا، انواع آن و اهمیت کاهش آن در هواپیما و بخصوص باربری مورد بررسی

قرار گرفته است. همچنین به تعدادی از روابط حاکم بر محاسبه نیروی پسا، هواپیما اشاره شده است.

در این بخش همچنین راههای مختلف و معمولی که در دنیا برای کاهش نیروی پسا بر روی هواپیماها

اعمال می‌شود، مورد معرفی و بررسی قرار گرفته و تا حد امکان مقدار تاثیر هر کدام از روشها در صورت

در دسترس بودن آورده شده است.

۳- در فصل سوم توضیحاتی راجع به انواع روشهای مورد استفاده عددی برای آنالیز جریان حول اجسام و مقایسه آنها و اشاره به مدلهایی که در نرم‌افزار مورد استفاده در این پایان‌نامه یعنی فلوئنت موجود است داده شده‌است.

۴- در فصل چهارم با توجه به انتخاب مدل توربولانسی و روش حل انتخابی، نتایج حاصله از تحلیل CFD آورده شده‌است.

۵- فصل پنجم به معرفی تونل باد مورد استفاده برای انجام تستها و همچنین مدل ساخته شده و شرایط مدل و تست پرداخته شده و در انتها نتایج حاصله از آنالیز در تونل باد آورده شده‌است.

۶- در فصل ششم که فصل مربوط به مقایسه نتایج می‌باشد، کلیه نتایج اعم از آنالیز عددی که مربوط به استفاده از دو روش مورد اشاره بوده و همچنین نتایج حاصله از تستهای تجربی تونل باد چه از نظر نیرویی و چه از نظر خطوط جریان مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

۷- در فصل هفتم و فصل انتهایی، نتایج نهایی و پیشنهادهایی برای ادامه دادن مسیر بهبود عملکرد بدنه هواپیمای باربری-تاکتیکی ارائه شده‌است.