پـــــرواز

شناخت مفاهیم

تالیف:
دیوید اف. اندرسن
اسکات ابرهارت

ترجمه:
محمد رزازان

انتشارات هوانورد
AVIATOR
Publishing House

سرشناسه: اندرسن، دیوید اف. Anderson, David F
عنوان و نام پدیدآور: پرواز: شناخت مفاهیم/تالیف دیوید اف. اندرسون، اسکات ابرهارت؛ ترجمه محمد رزازان.
مشخصات نشر: تهران: شرکت هوافضای برآ، انتشارات هوانورد، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری: ۳۷۴ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۵۹۰-۲۶-۵
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: Understanding flight, 2nd ed, c2010.
یادداشت: ویراست قبلی کتاب حاضر نخستین بار با عنوان «اصول و مفاهیم پرواز» با ترجمه‌ی احسان اشرفی توسط انتشارات طراح در سال ۱۳۸۲ منتشر شده است.
یادداشت: واژه‌نامه.
عنوان دیگر: اصول و مفاهیم پرواز.
موضوع: پرواز Flight - آیرودینامیک Aerodynamics
شناسه افزوده: ابرهارت، اسکات - شناسه افزوده: Eberhardt, Scott
شناسه افزوده: رزازان، محمد، ۱۳۶۲، مترجم
رده بندی کنگره: ۵۷۰ TL
رده بندی دیویی: ۶۲۹/۱۳
شماره کتابشناسی ملی: ۸۵۵۹۱۴۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا

انتشارات هوانورد AVIATOR Publishing House

نام کتاب: **پرواز - شناخت مفاهیم**
تالیف: **دیوید اف. اندرسن، اسکات ابرهارت**
ترجمه: **محمد رزازان**
ویرایش علمی: **مصطفی هادی دولابی**
ناشر: **هوانورد**
نوبت چاپ: **اول**
سال چاپ: **۱۴۰۱**
شمارگان: **۵۰۰**
قیمت: **۲۷۰۰۰۰ تومان**
شابک: **۹۷۸-۶۲۲-۷۵۹۰-۲۶-۵**

برای تهیه این کتاب می‌توانید به فروشگاه www.aeroshop.ir مراجعه یا با شماره تلفن ۰۲۱۷۷۸۵۰۲۵۹ تماس حاصل فرمائید.

تمامی حقوق چاپ و نشر انحصاراً برای نشر هوانورد محفوظ بوده و هرگونه نسخه‌برداری یا تکثیر کل یا بخشی از کتاب به‌صورت چاپی یا دیجیتال، شرعاً و قانوناً مجاز نبوده و پیگرد قانونی خواهد داشت.

فهرست علائم، واحدها و نمادهای انگلیسی و لاتین

تعریف	نماد یا علامت
شتاب	a
مرکز جرم	cg
نیرو	F
فوت	ft
اسب بخار	hp
کیلوگرم	kg
نیروی برآ	L
پوند	lb
پوند جرم	lbm
جرم	m
متر	m
نیوتن	N
فشار دینامیک	$P_{dynamic}$
توان القایی	Pi
توان مزاحم	Pp
فشار استاتیک	P_{static}
فشار کل	P_{total}
ثانیه	s
سرعت	v
سرعت عمودی	V_v
وات	W
زاویه حمله	α
چگالی هوا	ρ

درباره نویسندگان

دیوید اف. اندرسن[1] از دیرباز شیفته پرواز بوده و خلبان شخصی است. او فارغ‌التحصیل دانشگاه واشینگتن در سیاتل بوده و مدرک دکترای خود در رشته فیزیک را از دانشگاه کلمبیا دریافت کرده است. اندرسن ۳۰ سال در زمینه فیزیک ذرات در آزمایشگاه ملی لُس آلاموس، سِرن در سوئیس و آزمایشگاه شتاب‌دهنده ملی فِرمی مشغول به کار بوده است.

اسکات ابرهارت[2] نیز خلبان شخصی است که در بخش توسعه محصول هواپیماهای تجاری بوئینگ در زمینه تجهیزات آیرودینامیکی برآ افزا مشغول به کار است. او در دانشگاه ام‌آی‌تی تحصیل کرده و دکترای خود را در زمینه دانش هوانوردی و فضانوردی از دانشگاه استنفورد دریافت کرده است. او پس از ۲۰ سال حضور در دانشکده هوانوردی و فضانوردی دانشگاه واشینگتن در سال ۲۰۰۶ به شرکت بوئینگ پیوست.

1 David F. Anderson
2 Scott Eberhardt

پیشگفتار ناشر

کتاب نفیس و ماندگار «پرواز؛ تاریخ کامل هوانوردی» که چاپ شد و مورد استقبال شما قرار گرفت متواتر با این درخواست جامعه مخاطب مواجه بودیم:

آیا کتابی برای آشنایی با هوانوردی و اصول اولیه آن چاپ نمی‌کنید؟ برای درک بهتر پرواز کتاب منتشر نمی‌کنید؟

اصول و مبانی پرواز و هواپیما را از چه کتابی بخوانیم؟ این که تاریخ هوانوردی است... برای آشنایی با خود پرواز کتاب ندارید؟

در بین گزینه‌های موجود برای پاسخ به این نیاز شما رسیدیم به ویراست دوم کتاب

"Understanding Flight"

عنوان کتاب را در ترجمه فارسی «پرواز؛ شناخت مفاهیم» انتخاب کردیم و مهندس محمد رزازان مسئولیت ترجمه روان و مسئولانه آن را برعهده گرفت. دکتر مصطفی هادی دولابی هم با ویراستاری علمی کار ترجمه را ارتقا دادند.

کتاب، پرواز را از زاویه نگاهی متفاوت برای خواننده تشریح کرده است. نویسندگان نسخه انگلیسی اثر علاوه بر داشتن بالاترین مدارج علمی، خلبان هم هستند.

کتاب با نقد رویکردهای سنتی آموزش اصول تئوری هوانوردی شروع شده و در ادامه سعی کرده با ارائه زاویه نگاهی عملی–کاربردی و به دور از فرمول و ریاضیات و محاسبات، اصول علم پرواز و هواپیما را به خواننده بیاموزد. کتاب سعی کرده از خشکی و بی روحی محاسبات فاصله بگیرد و پرواز را با کمک خود پرواز آموزش دهد.

داشتن و مطالعه این کتاب را به همه خلبانان، دانشجویان پرواز و خلبانی، دانشجویان هوافضا (بویژه در دروس مقدمه‌ای بر پرواز و آیرودینامیک مقدماتی)، دانشجویان مکانیک، متخصصان تعمیر و نگهداری هواپیما و کلیه علاقه‌مندان به مفاهیم پرواز و هوانوردی توصیه می‌کنیم.

سید علیرضا شوبیری

پیشگفتار مترجم

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

پرواز را بهتر بشناسیم!

درباره پرواز شاید بتوان دو دیدگاه اصلی را در نظر گرفت: نخست آن‌طور که مهندسان هوافضا به پرواز می‌نگرند و دوم شیوه‌ای که خلبانان و مهندسان تعمیر و نگهداری هواپیما با پرواز سروکار دارند.

مهندسان هوافضا افرادی هستند که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم در طراحی بدنه هواپیما، بال، پیشرانه، محاسبات آیرودینامیکی و کلاً هرچه که این جسم عظیم آهنی را به پرنده‌ای سبک‌بال در آسمان مبدل می‌سازد نقش دارند. زبان معمول آن‌ها زبان فرمول‌ها و معادلات ریاضی پیچیده است. مهندسان با فرمول‌ها با یکدیگر و اختراعات خود صحبت می‌کنند. اما خلبان از فرمول بیزار است!

خلبان آخرین کاربر در حلقه پرواز است. کسی که پس از سال‌ها تلاش برای طراحی، انتخاب مواد و ساخت هواپیما، آن را به آسمان می‌برد. برای خلبان الزاماً مهم نیست که بال هواپیما چه شکلی داشته باشد، موتورهایش در کجا قرارگرفته باشند، ظرفیت آن چقدر باشد و... این‌ها همه مسائل فنی هستند که مهندسان هوافضا، متالورژی، مکانیک و سایر رشته‌های علوم مهندسی به آن فکر کرده‌اند.

حتی ظاهر هواپیما نیز ممکن است چندان برای خلبان اهمیت نداشته باشد، او که قرار نیست هواپیما را در جلوی منزلش پارک کند! همان‌طور که گفته شد خلبان کاربر نهایی است. پس برای خلبان عملکرد هواپیما و میزان مصرف سوخت آن مهم است. برای خلبان مهم است که هواپیما به‌اصطلاح خوش‌دست و کنترل آن آسان باشد، توان موتورها بالا باشد، در هنگام مواجهه با شرایط اضطراری به بهترین نحو عمل کند و آسایش لازم را برای مسافران و خدمه به همراه داشته باشد.

نوع دیدگاهی که در این کتاب موردتوجه قرارگرفته است یک دیدگاه بینابینی است. همان‌طور که نویسنده در مقدمه گفته است: «هدف از این کتاب ارائه توضیح شفاف و شهودی از پدیده پرواز و هوانوردی بدون درگیرکردن مباحث ریاضی است.» مطالعه این کتاب هم برای دانشجویان هوافضا مفید است تا در مرجعی مناسب با اکثر موضوعات مرتبط با بحث هوانوردی آشنا شوند و هم برای خلبانان و متخصصان تعمیر و نگهداری هواپیما، زیرا در این کتاب جز چند فرمول ساده که اشاره به آن‌ها ضروری است و احتمالاً تعدادی از آن‌ها را در دوران دبیرستان هم مشاهده کرده باشید، اثری از مباحث دشوار ریاضی دیده نمی‌شود. مطالعه این کتاب برای تمامی علاقه‌مندان به دنیای پرواز نیز جذاب خواهد بود. آشنایی با اصول آیرودینامیک فصل اول این کتاب را تشکیل می‌دهد. آیرودینامیک علم پرواز و اساس حرکت هواپیما در آسمان است. هوانوردی با آیرودینامیک آغاز می‌شود. بی‌اغراق در کمتر کتابی همانند این کتاب، نویسنده توانسته است به بهترین شیوه در مورد نحوه تولید نیروی برآ توضیح دهد.

کتاب با بحث در مورد بال‌ها، پایداری و موتور ادامه می‌یابد. همین‌طور که پیش‌تر گفته شد در این کتاب از پرداختن به فرمول‌های دشوار و جزئیات زیاد پرهیز شده است تا عموم خوانندگان از نوجوانان گرفته تا افراد مسن‌تر به‌خوبی بتوانند مطالب آن را درک کنند. برای مطالعه عمیق‌تر در مورد هرکدام از این فصول می‌توانید به کتاب‌های تخصصی‌تر مراجعه نماید.

پرواز مافوق صوت و کارایی هواپیما از دیگر فصل‌های این کتاب هستند. پس از آن مطالب جالبی در مورد آزمون‌های پروازی و آزمایش تونل باد خواهید خواند. در ویرایش ابتدایی، کتاب در همین فصل پایان می‌پذیرد اما در ویرایش جدید دو فصل دیگر شامل اصول کارکرد بالگردها و سازه هواپیما به کتاب اضافه شده است.

فصل بالگرد و آیرودینامیک بالگرد را شاید بتوان پیچیده‌ترین مبحث این کتاب دانست. پرواز بالگرد دشواری‌ها و پیچیدگی‌های فراوان‌تری نسبت به هواپیما دارد اما بااین‌حال برای علاقه‌مندان بسیار جذاب خواهد بود.

در ادامه برای درک بهتر مطالب این کتاب ذکر چند نکته را خالی از لطف نمی‌دانم. نخست آنکه همان‌طور که نویسنده در مقدمه (که خود شبیه به یک مبحث علمی است!) اشاره کرده است، « در نسخه اولیه کتاب فصلی با عنوان «مفاهیم اولیه» وجود داشت که به‌نوعی مقدمه‌ای بر مفاهیم ابتدایی و اصول ابتدایی هواگردها به شمار می‌رفت.». بااین‌حال در ویرایش جدید این فصل از ابتدای کتاب حذف شده و به‌عنوان پیوست الف در انتهای

کتاب آورده شده است. توصیه اکید من این است که چه به‌تازگی تصمیم دارید وارد دنیای هوانوردی شوید و چه در این زمینه خبره هستید، ابتدا پیوست الف را مطالعه کنید و سپس در هنگام مطالعه کتاب به‌عنوان یک مرجع به آن نگاه کنید. در واقع پیوست الف، فصل صفرم کتاب محسوب می‌شود.

نکته بعدی کادرهای کوچک در گوشه و کنار صفحات کتاب است که در آن‌ها مطالب تاریخی جالبی در مورد هوانوردی (مرتبط یا بی‌ارتباط با بحث‌ها) آمده است. خواندن این نکات جذاب را از قلم نیاندازید. خواندن آن‌ها فرصتی است تا به مغز خود استراحت بدهید و کمی فکر خود را درگیر موضع دیگری نمایید. پس برای خواندن و فکر کردن به مطالب عنوان شده در داخل کادرها چند دقیقه‌ای وقت بگذارید.

در مورد ترجمه کتاب باید عرض کنم نهایت تلاش خود را برای ارائه ترجمه‌ای دقیق و کامل از مطالب نسخه اصلی کتاب به کار بسته‌ام. حتی در موارد جزئی ایرادات موجود در اصل کتاب نیز در هنگام ترجمه تصحیح‌شده و گاهی توضیحاتی اضافی نیز برای فهم بهتر مطالب در پاورقی یا در میان مطلب عنوان شده است. بااین‌حال ترجمه خود را به‌هیچ‌عنوان عاری از ایراد و اشتباه نمی‌دانم. بنابراین در صورت مشاهده هرگونه ایراد در کتاب لطفاً من را از طریق نشانی ایمیل mrazzazan@yahoo.com در جریان بگذارید. پیشاپیش سپاسگزارم!

اما نکته آخر اینکه، برای راحتی بیشتر شما یک واژه‌نامه به انتهای کتاب افزوده‌ام تا در صورت مواجهه با اصطلاحی گنگ و ناآشنا در ارتباط با مطالب عنوان شده در کتاب بتوانید به آن مراجعه کنید. تلاش بر این بوده است تا بیشتر تعاریف ارائه شده بر اساس نسخه پیشنهادی فرهنگستان زبان و ادب فارسی باشد. بااین‌حال از منابع دیگری نیز برای تهیه واژه‌نامه استفاده شده است.

در پایان امیدوارم در هر سنی که باشید و هر تخصصی که داشته باشید، این کتاب بتواند دانش شما را در زمینه پرواز افزایش دهد و بیشتر از گذشته در آسمان غرق شوید!

با مهر و احترام
محمد رزازان
تابستان ۱۴۰۱

فهرست

۱۳ مقدمه

۲۱ فصل ۱ اصول پرواز

۷۱ فصل ۲ بال‌ها

۱۲۳ فصل ۳ پایداری و کنترل

۱۴۵ فصل ٤ پیشرانش هواپیما

۱۸۷ فصل ۵ پرواز در سرعت‌های زیاد

۲۱۱ فصل ۶ کارایی هواپیما

۲۴۹ فصل ۷ آزمایش‌های آیرودینامیکی

۲۸۱ فصل ۸ بالگردها و اتوجایروها

۳۱۵ فصل ۹ سازه هواپیما

۳۳۳ پیوست الف مفاهیم ابتدایی

۳۴۹ پیوست ب استفاده‌های اشتباه از اصل برنولی

۳۵۷ واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

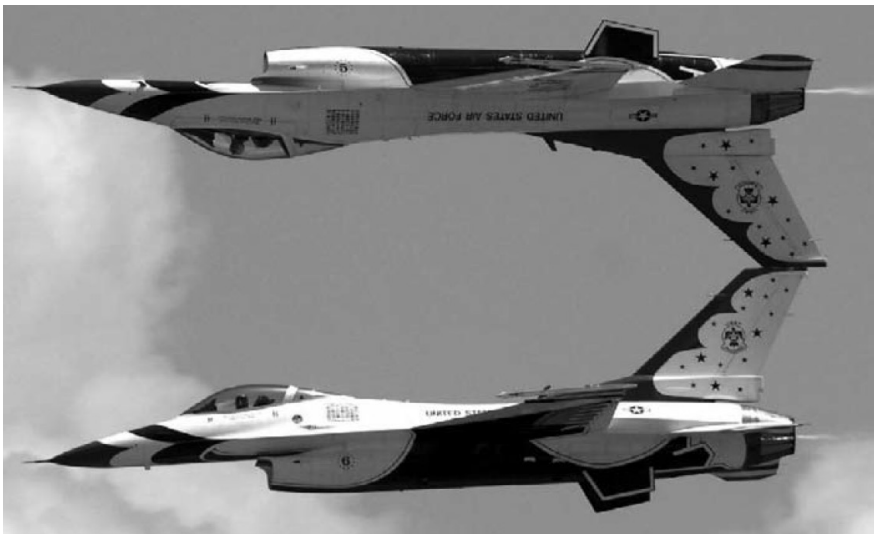
مقدمه

همـواره تعاریـف و توصیفـات سـنتی و مشـابهی از پدیـده **پـــرواز** جلـوی چشـم علاقه‌مندان ایـن علـم قـرار گرفتـه اسـت. بااین‌حـال جـای شـگفتی اسـت کـه بـاز هـم ایـن قـدر در مـورد آن کج‌فهمـی وجـود دارد. بـه عنـوان یـک مثـال، اکثـر توضیحـات در مـورد فیزیـک نیـروی بـرآ[1] بـر پایـه شـکل بـال (ایرفویـل[2]) اسـتوار اسـت کـه البتـه خـود عامـل کلیـدی در شـناخت نیـروی بـرآ محسـوب می‌شـود. بال‌هـا در ایـن نـوع تعاریـف در قسـمت بـالا برآمدگـی داشـته و محـدب هسـتند، در نتیجـه هـوا می‌بایسـت در عبـور از سـطح بالایـی بـال (در مقایسـه بـا سـطح زیریـن) مسـافت بیشـتری را طـی کنـد. بااین‌حـال ایـن را نیـز می‌دانیـم و دیده‌ایـم کـه هواپیماهـا در شـرایط وارونـه نیـز می‌تواننـد به‌خوبـی بـه پـرواز خـود ادامـه دهنـد! در ایـن حالـت شـکل بـال معکـوس شـده اسـت. نمونـه آن را می‌توانیـد در شـکل ۱.م در پـرواز جنگنده‌هـای نمایشـی تاندربـرد بـا بال‌هایـی بـا ضخامـت بسـیار انـدک مشـاهده کنیـد. بـرای توضیـح ایـن تناقـض گاهـی بـا توضیحاتـی در مـورد پروازهای وارونـه روبـه‌رو می‌شـویم کـه به‌طـور کل متفـاوت از پروازهـای عـادی اسـت. امـا بایـد گفـت در واقعیـت و برخـلاف تعاریـف سـنتی، شـکل بـال تأثیـر اندکـی بـر میـزان نیـروی بـرآی تولیدشـده دارد و در واقـع هـر نـوع تعریفـی از پدیـده پـرواز کـه بـر پایـه شـکل بـال اسـتوار اسـت نوعـی مغلطـه اسـت. تبییـن ایـن موضـوع به‌طـور دقیـق در فصـل ۱ عنـوان شـده اسـت. البتـه قابـل انـکار نیسـت کـه شـکل بـال تأثیـر مسـتقیمی بـر کارایـی هواپیمـا در سـرعت پـرواز پیمایشـی (کـروز)[3] و همین‌طـور مشـخصات واماندگـی[4] دارد.

در جریان جنگ جهانی دوم قطار گلوله‌های کالیبر ۵۰ تیربار هواپیما در حدود ۹ متر بود. گاهی خلبان مجبور می‌شد کل ۹ متر را برای زدن یک هدف شلیک کند.

بیاییـد نگاهـی بـه سـه نمونـه از بال‌هـای موفـق بیندازیـم کـه به‌صـورت واضـح تعاریفـی کـه شـکل بـال را عامـل اصلـی و بلامنـازع نیـروی بـرآ می‌داننـد، بـه چالـش می‌کشـند. نخسـتین مثـال بـه یـک طراحـی قدیمـی بـاز می‌گـردد. در شـکل ۲.م عکسـی از هواپیمـای قدیمـی کرتیـس ۱۹۱۱ مـدل دی تایـپ ۴ موتورعقـب نشـان داده شـده اسـت. به‌صـورت مشـخص هـوا در بـالا و پاییـن بـال در یـک مسـافت برابـر عبـور

1 Lift
2 Airfoil
3 Cruise
4 Stall



شکل ۱.م دو فروند جنگنده تاندربرد در حال پرواز

شکل ۲.م هواپیمای کرتیس ۱۹۱۱ مدل دی تایپ ٤ موتورعقب

می‌کند. با این وجود این هواپیما پرواز می‌کرده و دومین هواپیمای خریداری‌شده توسط ارتش ایالات متحده در سال ۱۹۱۱ بوده است.

در شکل ۳.م یک بال متقارن در هواپیمای آکروباتیک دیده می‌شود. بال این هواپیما ضخیم بوده و انحنای زیادی هم در بخش بالایی و هم زیرین دارد تا سرعت واماندگی هواپیما تا حد امکان پایین باشد. جنگنده جت شکل ۱.م

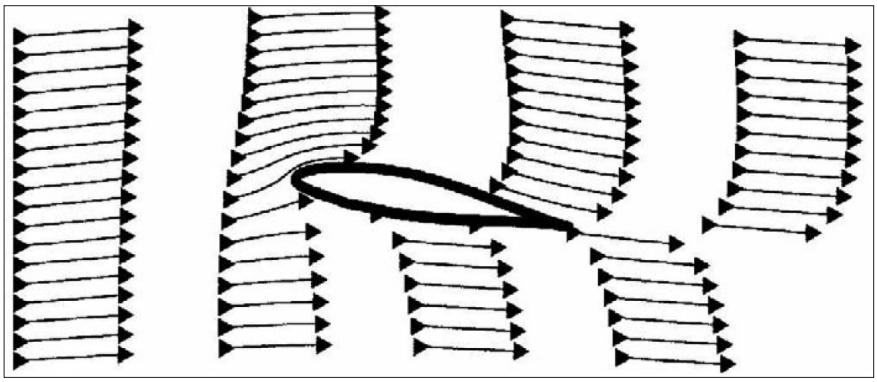
شکل ۳.م بال متقارن هواپیمای آکروباتیک

بال‌هایی کاملاً باریک و متقارن دارد. این امر سبب می‌شود این جنگنده بتواند با سرعت بسیار زیادی پرواز کند ولی در مقابل به‌آسانی وارد حالت واماندگی شود.

آخرین نمونه از بال‌هایی که نظریه وابستگی میزان نیروی برآی تولیدی به شکل بال را به چالش می‌کشد به بال بسیار مدرنی تعلق دارد. در شکل ۴.م نمایه ایرفویل فوق بحرانی موسوم به ویتکامب [NASA/Langley SC(2)-0714] نشان داده شده است. سطح بالای این بال صاف و سطح زیرین آن دارای انحناست. هر چند شکل این بال در تضاد با شکل معمول بال‌هاست ولی این نوع ایرفویل اساس بال‌های هواپیماهای مسافربری مدرن را تشکیل می‌دهد.

شکل ٤.م ایرفویل فوق بحرانی ویتکامب

تاکید بر این نکته که شکل بال عامل اصلی نیروی برآی تولیدی است به اصل زمان‌های انتقال برابر باز می‌گردد. این اصل به‌طور اشتباهی بیان

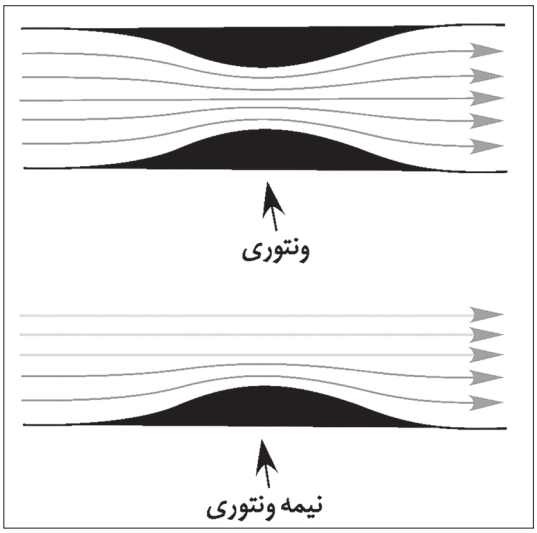


شکل ۵.م جریان هوای اطراف بال دارای نیروی برآ

می‌کنـد هـوا در زمان‌هـای برابـر از سـطح بـالا و پاییـن بـال عبـور کـرده و بـه لبـه فـرار[1] می‌رسـد. طبـق ایـن نظریـه چـون هـوا در فاصلـه بیشـتری از بخـش فوقانـی بـال عبـور می‌کنـد در نتیجـه می‌بایسـت سـرعت بیشـتری داشـته باشـد، پـس طبـق اصـل برنولـی[2] نیـروی بـرآ ایجـاد خواهـد شـد. در شـرایطی کـه ایـن نظریه‌پـردازان می‌داننـد کـه اصـل زمان‌هـای انتقـال برابـر قابـل دفـاع نیسـت بیانیـه خـود را تـا حـدودی تلطیف کـرده و می‌گوینـد چـون هـوا در سـطح فوقانـی می‌بایسـت دورتـر شـود پـس سـرعت آن بیشـتر اسـت. هرچنـد ایـن نیـز به‌نوعـی دیگـر بازگوکننـده همـان اصـل کذایـی اسـت. در دنیـای واقعـی اصـل زمان‌هـای انتقـال برابـر تنهـا در بالـی صـادق اسـت کـه نیـروی بـرآ تولیـد نمی‌کنـد. در شـکل ۵.م شبیه‌سـازی جریـان هـوا در اطـراف یـک بـال همـراه بـا نیـروی بـرآ نشـان داده شـده اسـت. به‌سـادگی قابل‌مشـاهده اسـت کـه هـوای عبـوری از بـالای بـال زودتـر از هـوای عبـوری از بخـش زیریـن بـه لبـه فـرار می‌رسـد. در واقـع هرچـه میـزان نیـروی بـرآ بیشـتر باشـد اختـلاف زمـان میـان رسـیدن هـوای سـطح بـالا و پاییـن بـال بـه لبـه فـرار بیشـتر خواهـد بـود. در دوره‌ای نزدیـک بـه جنـگ جهانـی دوم این ادعـای اشـتباه مـورد قبـول عمـوم قـرار گرفـت و از آن دوران از مـدارس ابتدایـی گرفتـه تـا کلاس‌هـای آمـوزش پـرواز بـه دانش‌آمـوزان همیـن مفهـوم تدریـس شـده اسـت.

زمانی که از سمت زمین به هواپیما می‌نگریم هوا در پشت بال تقریباً به‌صورت مستقیم حرکت می‌کند.

1 Trailing edge
2 Bernoulli



شکل ۶.م لوله ونتوری و نیمه ونتوری.

تـا پیـش از نفـوذ ایـن ایـده اشـتباه در آمـوزش پـرواز، ایـده صحیـح بـرآ بـه عنـوان نیـروی عکس‌العمـل مـورد اسـتفاده قـرار می‌گرفـت.

اسـتدلال اشـتباه دیگـری کـه منجـر بـه بـاور عمومـی نظریـه تأثیـر شـکل بـال در نیـروی بـرآ شـده آن اسـت کـه بـال نیمـه ونتـوری[1] اسـت. لولـه ونتـوری (کـه در بـالای شـکل ۶.م نشـان داده شـده اسـت) بـا منقبـض کـردن جریـان هـوا کار می‌کنـد. وقتـی جریـان هـوا از لولـه‌ای کـه وسـط آن تنگ‌تـر اسـت عبـور می‌کنـد سـرعت آن افزایـش می‌یابـد، درسـت مثـل زمانـی کـه انگشـت شسـت خـود را بـر روی شـلنگ آب قـرار می‌دهیـد. طبـق اصـل برنولـی، فشـار (کـه عمـود بـر جریـان هواسـت) در ناحیـه تنـگ کاهـش می‌یابـد. از ایـن وسـیله هوشـمند بـرای کاهـش فشـار به‌منظـور کشـیده شـدن سـوخت بـه سـمت کاربراتـور خـودرو اسـتفاده می‌شـود. اسـتدلال مـورد اشـاره در مـورد بـال چیـزی شـبیه بـه ایـن اسـت: بـا حـذف نیمـه بالایـی لولـه ونتـوری، بـه شـکلی شـبیه بـال می‌رسـیم کـه در قسـمت پاییـن شـکل ۶.م نشـان داده شـده اسـت. مشـکل اینجاسـت کـه همان‌طـور کـه می‌بینیـد هـر دانشـجوی فیزیکـی می‌توانـد بـه شـما بگویـد هیـچ نیـروی برآیـی در تصویـر دیـده نمی‌شـود. اگـر هـوا به‌صـورت افقـی وارد شـده و به‌صـورت افقـی نیـز خـارج شـود، پـس چطـور بـا یـک نیـروی عمـودی

1 Venturi

روبـه‌رو خواهیـم شـد؟ در مـورد ایـن مسـئله در فصـل ۱ بحـث خواهیـم کـرد.
همیـن سوءبرداشـت‌ها و تعاریـف اشـتباه بـه مـا انگیـزه داد تـا ایـن کتـاب را بنویسـیم. کتـاب بـا تعریـف بـرآ بـه عنـوان نیـروی عکس‌العملـی آغـاز می‌شـود، یعنـی توضیحـی نامتناقـض و از نظـر فیزیکـی صحیـح از نیـروی بـرآ. پـس از آن بـه جنبه‌هـای دیگـر پـرواز خواهیـم پرداخـت.
هـدف از ایـن کتـاب ارائـه توضیـح شـفاف و شـهودی از پدیـده پـرواز و هوانـوردی بدون درگیرکـردن مباحـث ریاضـی اسـت. مباحـث در دو سـطح ارائـه می‌شـوند. اکثرمطالـب ارائه‌شـده بـرای خواننـدگان عمومـی اسـت کـه از حداقلـی از اطلاعـات در زمینـه هوانـوردی برخـوردار می‌باشـند. همچنیـن بـرای روشـن‌تر سـاختن مطالـب، برخـی عناویـن کوتـاه نیـز در کتـاب آمـده اسـت کـه می‌تـوان آن‌هـا را اضافـه بـر مطالـب مـورد نیـاز در نظـر گرفـت. ایـن نـوع مطالـب در قاب‌هـای مسـتطیلی کوچکـی آورده شـده‌اند. گـذر از ایـن مـوارد اضافـی هیـچ خللـی در پیوسـتگی و فهـم متـن اصلـی کتـاب ایجـاد نمی‌کنـد. بااین‌حـال همـه تـلاش خـود را کرده‌ایـم تـا ایـن مطالـب اضافـی نیـز بـرای اکثـر خواننـدگان کتـاب جـذاب باشـد.

برخلاف نمونه‌های پیشین، دم افقی هواپیمای بوئینگ 747-400ER (برد افزوده) سوخت اضافی را در خود جای می‌دهد.

فصـل اول، «اصـول پـرواز» همـان جایـی اسـت کـه مـا وارد بحـث نیـروی بـرآ و پـرواز می‌شـویم. مـا بـر ایـن باوریـم کـه ایـن فصـل کامل‌تریـن و صحیح‌تریـن توضیـح فیزیکـی نیـروی بـرآ را تـا بـه امـروز در اختیـار شـما قـرار می‌دهـد. هماننـد بسـیاری کتاب‌هـای دیگـر، مـا نیـز نیـروی بـرآ را بـر اسـاس سـه قانـون نیوتـن شـرح خواهیـم داد. سـپس از همیـن تعریـف اسـتفاده خواهیـم کـرد تـا تقریبـاً تمامـی جنبه‌هـای پرواز را شـرح دهیـم. همیـن امـر سـبب می‌شـود تـا بتـوان جنبه‌هـای مختلـف پـرواز را کـه عمومـاً بـا زبـان ریاضـی بیـان می‌شـوند به‌صـورت حسـی و شـهودی درک کـرد. در ادامـه بـرای خواننـده روشـن خواهـد شـد چـرا زمانـی کـه سـرعت هواپیمـا کاهـش می‌یابـد زاویـه بـال افزایـش می‌یابـد و چـرا زمانـی کـه هواپیمـا سـریع‌تر پـرواز می‌کنـد نیـروی بـرآ تـوان کمتـری می‌گیـرد. همچنیـن بـرای شـما روشـن خواهـد شـد کـه چطـور هواپیماهـا می‌تواننـد بـال متقـارن داشـته باشـند یـا اینکـه به‌صـورت وارونـه پـرواز کننـد.

در ویراست اولیه کتاب فصلی با عنوان «مفاهیم اولیه» وجود داشت که به نوعی مقدمه‌ای بر مفاهیم ابتدایی و اصول ابتدایی هواگردها به شمار می‌رفت. این فصل سبب می‌شد نویسندگان و خوانندگان به نقطه اشتراک و ابزاری ابتدایی برای شروع بحث در زمینه پرواز و دانش هوانوردی دست یابند. بااین‌حال در ادامه به این نتیجه رسیدیم که ارائه این حجم از مطالب به‌یک‌باره شروعی نسبتاً پیچیده و غیرضروری برای کتابی قابل‌فهم برای عموم خوانندگان محسوب می‌شود. در ویراست حاضر، این فصل به عنوان پیوست الف آورده شده است. اگر خواننده کتاب در زمینه دانش هوانوردی تازه‌کار و مبتدی باشد، می‌بایست این فصل (پیوست) را ابتدا به‌صورت گذرا مرور کند و سپس در هنگام خواندن کتاب از آن به عنوان یک مرجع استفاده کرده و در زمان مورد نیاز به آن مراجعه کند.

هواپیمای سسنا ۱۷۲ در هنگام پرواز پیمایشی در هر ثانیه حدوداً پنج برابر وزن خود هوا را منحرف می‌سازد تا نیروی برآ تولید کند.

همچنین دو فصل جدید نیز به چاپ جدید کتاب افزوده شده است. نخستین فصل در مورد بالگردها و اتوجایروهاست[1]. ما نتوانستیم منبعی کامل و قابل فهم در مورد این موضوعات را همراه با یکدیگر بیابیم. این نوع منابع یا ناقص بودند یا اینکه بسیار محاسباتی و پیچیده. این نوع مطالب به عنوان توضیح فیزیکی توان بالگرد، کمتر خارج از دایره روابط ریاضی تعریف شده بودند.

فصل آخر هم به‌صورت مختصر در مورد سازه هواپیما بحث می‌کند. هدف از این فصل ارائه توضیح مختصری به خواننده است تا با نحوه ساخت هواپیما آشنا شود.

در پایان، این کتاب را می‌توان منبع کاملی برای درس اصول هوانوردی دانست که به‌صورت سرراست و بی‌پرده اصول پرواز را به‌صورت فیزیکی بیان می‌کند. ما بر این باوریم که اطلاعات ارائه شده در این کتاب تقریباً برای تمامی خوانندگان آسان و قابل فهم است.

1 Autogyro

فصل ۱ اصول پرواز

بنابر توصیه مولف کتاب چنانچه هیچگونه آشنایی قبلی با علم پرواز ندارید، ابتدا پیوست الف کتاب را مطالعه فرمایید.

موتـور جـت و ملخـی بـا دمیـدن هـوا بـه سـمت عقـب نیـروی پیشـرانش[1] تولیـد می‌کننـد. ملـخ[2] بالگـرد هـم بـا دمیـدن هـوا بـه سـمت پاییـن نیـروی بـرآ[3] تولیـد می‌کنـد. در شـکل ۱,۱ فروشـار[4] یـک بالگـرد در حالـت پـرواز ایسـتایی[5] بـر فـراز آب کامـلاً مشـخص اسـت. به‌طـور مشـابه بـال هواپیمـا نیـز بـا منحـرف سـاختن هـوا بـه سـمت پاییـن نیـروی بـرآ تولیـد می‌کنـد. موتـور جـت، ملـخ هواپیمـا، ملـخ بالگـرد و بـال همگـی بـر اسـاس یـک ویژگـی مشـخص کار می‌کننـد: بـه هـوای اطـراف در جهتـی خـلاف نیـروی مطلـوب شـتاب می‌دهنـد.

در ایـن فصـل در مـورد ویژگی‌هـای فیزیکـی نیـروی بـرآ صحبـت خواهیـم کـرد. ایـن ویژگی‌هـا به‌طـور اساسـی بـر پایـه سـه قانـون اصلـی نیوتـن اسـتوارند. ایـن توضیحـات به‌طـور خـاص بـرای درک مناسـب بسـیاری از پدیده‌هـای مرتبـط بـا پـرواز کـه از روش‌هـای دیگـر قابـل توضیـح نیسـتند مناسـب اسـت. ایـن رویکـرد بـه شـما اجـازه می‌دهـد تـا به‌روشـنی درک کنیـد کـه چطـور نیـروی بـرآ بـا تغییـر پارامترهایـی هـم چـون سـرعت، چگالـی، بارگـذاری، زاویـه حملـه و مسـاحت بـال تغییـر می‌کنـد. ایـن صحبت‌هـا هـم در پروازهـای سـرعت پاییـن و هـم مافـوق صـوت[6] معتبـر اسـت. همچنیـن توضیـح فیزیکـی نیـروی بـرآ اسـتفاده ویـژه‌ای بـرای خلبانانـی دارد کـه بـه دنبـال درک رفتـار و محدودیت‌هـای هواپیمـای خـود هسـتند. بـا مطالـب ارائـه شـده در ایـن کتـاب، به‌راحتـی درک خواهیـد کـرد کـه چـرا زاویـه حملـه در هنـگام کاهـش سـرعت بایـد زیـاد شـود، چـرا بیشـترین سـرعت هواپیمـا در هـوای متلاطـم[7] بـا افزایـش بارگـذاری کاهـش می‌یابـد و چـرا تـوان در پروازهـای سـرعت پاییـن بایـد افزایـش یابـد.

علت آنکه نمی‌توان با جریان آب در شلنگ گردوخاک را از سطح ماشین پاک کرد به دلیل این ویژگی سیالات است که سرعتشان بر روی سطوح صفر است.

بـرآ یـک نـوع نیـروی عکس‌العملـی[8]

1 Thrust
2 Rotor
3 Lift
4 Downwash
5 Hovering
6 Supersonic
7 Turbulent Air
8 Reaction Force

شکل ۱,۱ بالگرد هوا را به سمت پایین هل می‌دهد

است. بدین صورت که بال‌ها برای تولید نیروی برآ هوا را به سمت پایین منحرف می‌سازند. می‌دانیم که ملخ هواپیما با دمیدن هوا به سمت عقب و بالگرد نیز با دمیدن هوا به سمت پایین نیروی پیشرانش تولید می‌کنند، پس پذیرش این مفهوم که بال با منحرف ساختن هوا به سمت پایین نیروی برآ تولید می‌کند نباید چندان دشوار باشد. در نهایت سادگی می‌توان گفت ملخ‌های هواپیما و بالگرد، بال‌های چرخان هستند.

باید مراقب باشید که این تصویر ذهنی برای شما پدید نیاید که هوا به سطح زیر بال برخورد کرده و به سمت پایین منحرف می‌شود و در نتیجه نیروی برآ تولید می‌شود. این یک اشتباه عمومی بسیار رایج است که حتی خود سِر آیزاک نیوتن نیز به آن دچار شد. از آنجا که نیوتن با جزئیات جریان هوا بر روی بال آشنا نبود، تصور می‌کرد که هوا به دلیل برخورد با سطح زیرین بال‌های پرندگان به پایین منحرف می‌شود. این نتیجه‌گیری صحیح است که امکان دارد مقداری نیروی برآ از طریق برخورد هوا با سطح زیر بال ایجاد گردد، اما بخش بزرگی از نیروی برآ به خاطر اتفاقات صورت گرفته روی سطح فوقانی بال تولید می‌شود. همان‌طور که در ادامه خواهیم دید، فشار پایین شکل گرفته در بالای بال، هوا را به سمت پایین شتاب می‌دهد.

سه قانون نیوتن

قدرتمندترین ابزار برای درک پرواز سه قانون حرکت نیوتن هستند. فهم این قوانین ساده، و کاربردشان عمومی است. این قوانین در پرواز یک پشه کوچک یا حرکت کهکشان‌ها کاربرد دارند. بحث را با شرح قانون اول نیوتن آغاز می‌کنیم: جسم در حال سکون در حالت سکون باقی خواهد ماند و جسم در حال حرکت به حرکت مستقیم خود ادامه خواهد داد، مگر آنکه نیرویی خارجی به آن اعمال شود.

در زمینه پرواز، این قانون بدان معنی است که اگر جرم یا حجمی از هوا در ابتدا ساکن باشد و سپس شروع به حرکت کند، حتماً نیروی به آن وارد شده است. به همین ترتیب، اگر جریان هوا خم شود -همانند روی بال- به آن نیرو وارد شده است. در مورد یک سیال همانند هوا، نیرو خود را به‌صورت تغییر فشار نمایش می‌دهد.

نیروی برآی بال متناسب با زاویه حمله است. این قانون در تمامی بال‌ها از هواپیماهای مدرن جت گرفته تا در اصطبل صادق است.

بیایید بدون رعایت ترتیب با قانون سوم نیوتن آشنا شویم: هر عملی عکس‌العملی دارد، مساوی ولی در خلاف جهت آن.

این قانون به‌آسانی قابل‌درک است. وقتی روی یک صندلی می‌نشینید، به

صندلی نیرو وارد می‌کنید و در مقابل صندلی نیز نیرویی مساوی ولی در خلاف جهت به شما وارد می‌کند. نیرویی که شما به صندلی وارد می‌کند را عمل یا کنش می‌نامند و نیروی وارده از سمت صندلی به شما را عکس‌العمل یا واکنش می‌نامند. بنابراین صندلی به نیرویی که شما بر روی آن اعمال کرده‌اید واکنش نشان می‌دهد. مثال دیگر خم شدن جریان هوا بر روی بال است. طبق قانون اول نیوتن برای خم شدن هوا روی بال می‌بایست نیرویی به آن وارد شده باشد. طبق قانون سوم نیوتن، هوا نیز می‌بایست به آن چیزی که باعث خم شدنش شده است، یعنی بال، نیرو وارد کند. وقتی‌که هوا به سمت پایین خم می‌شود، باید نیرویی رو به پایین بر آن اعمال شده باشد و طبق قانون سوم نیوتن نیرویی برابر ولی به سمت بالا نیز بر روی بال اعمال گردد. در این مثال، خم شدن هوا همان عمل و نیروی برآ بر روی بال همان عکس‌العمل است.

درک قانون دوم نیوتن کمی سخت‌تر است ولی برای درک بسیاری از پدیده‌های مرتبط با پرواز کاربردی‌تر است. شکل معمول قانون دوم نیوتن که بسیاری از دانش آموزان آن را در سال‌های ابتدایی در درس فیزیک یاد گرفته‌اند به این صورت است:

$$F = m \cdot a$$

یا به عبارت دیگر نیرو برابر است با حاصلضرب جرم در شتاب.

طبق این فرمول برای شتاب دادن به جسمی با جرم مشخص وجود نیرو ضروری است. برای توضیح حرکت هوا، از شکل دیگر این قانون استفاده می‌کنیم که می‌توان از آن برای توضیح عملکرد موتور جت، موشک یا نیروی برآ بر روی بال بهره برد. شکل دیگر قانون دوم نیوتن برای موشک این‌گونه بیان می‌شود: نیرو (یا پیشرانش) یک موشک برابر است با مقدار گاز خروجی در واحد زمان ضرب در سرعت آن گاز.

قانون دوم نیوتن به ما می‌گوید که چه میزان نیروی پیشرانش توسط موتور موشک تولید می‌شود. مقدار گاز خارج شده در واحد زمان می‌تواند بر حسب واحدهایی مانند پوند جرم بر ثانیه (lbm/s) یا کیلوگرم بر ثانیه (kg/s) باشد. سرعت گاز می‌تواند بر حسب واحدهایی مانند فوت (پا) بر ثانیه (ft/s) یا متر