آیرودینامیک هواپیما

درس فنی و مهارتی رشته هوانوردی آموزش متوسطه ، دوره دوم

گردآورند ه
غلامرضا علیزاده نیلی

با نظارت : سازمان هواپیمایی کشوری

سرشناسه	:	علیزاده نیلی، غلام رضا، ۱۳۳۴
عنوان و نام پدیدآورنده	:	آیرودینامیک هواپیما: درس فنی و مهارتی رشته هوانوردی آموزش متوسطه، دوره دوم/ گردآورند ه غلامرضا علیزاده‌نیلی؛ با نظارت سازمان هواپیمایی کشوری؛ ویراستار رامین کیشی‌گرمرودی؛ به سفارش هنرستان هوانوردی دانش پرواز مشهد.
مشخصات نشر	:	مشهد: مؤسسه فرهنگی، هنری و انتشاراتی ضریح آفتاب.
مشخصات ظاهری	:	۶۸ ص
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۴۷۶-۱۶۵-۹
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	آیرودینامیک -- راهنمای آموزشی (متوسطه)
یادداشت	:	سازمان هواپیمایی کشوری - هنرستان هوانوردی دانش پرواز
رده‌بندی کنگره	:	TL۵۷۰/ع۸آ۹ ۱۳۹۷
رده‌بندی دیویی	:	۶۲۹/۱۳۲۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۳۱۱۶۵۶

نام کتاب ..... آیرو دینامیک هواپیما
به سفارش.....هنرستان هوانوردی دانش پرواز مشهد
مولف..... غلام رضا علیزاده نیلی
ویراستار.....رامین کیشی گرمرودی
ناشر..... مؤسسه فرهنگی، هنری و انتشاراتی ضریح آفتاب
طراح و صفحه آرایی..... رامین کیشی گرمرودی
نوبت چاپ..... دوم ۱۳۹۸
قطع..... وزیری
شمارگان ..... ۲۰۰ نسخه
قیمت ..... ۱۳۰۰۰ تومان
چاپ..... معین
شابک..... ۹۷۸-۶۰۰-۴۷۶-۱۶۵-۹

اساتید ارجمند، اولیای گرامی و هنرجویان عزیز؛ شما می‌توانید، پیشنهادات و نظرات اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب به آدرس سایت آموزشگاه ارسال فرمایید.

site: www.danesh-parvaz.ir

«حق چاپ برای هنرستان هوانوردی دانش پرواز مشهد محفوظ می‌باشد»

مقدمه

" هوانوردی " به عنوان یک رشته بین‌المللی در راستای تربیت نیروهای متخصص و متعهد موردنیاز این صنعت در کشور با گرایش‌های مختلف از جمله: ۱- خلبانی ۲- مهندسی تعمیر و نگهداری هواپیما ۳- اویونیک ۴- مهمانداری ۵- دیسپچری ۶ – ایمنی زمینی فرودگاهی ؛ جهت آموزش هنرجویان علاقه‌مند تعریف و پایه‌گذاری شده است.

هنرجویان این رشته علاوه بر گذراندن دروس عمومی تعریف شده، دروس مهارتی مربوط را مطابق استانداردهای اعلام شده از سوی سازمان هواپیمایی (زبان فنی و مکالمه انگلیسی ، مدل سازی هواپیما، الکتریک هواپیما ، ساختمان و بال و بدنه هواپیما و دوره پرواز عملی و ...) به منظور کسب مهارت‌ها و توانایی‌های لازم می گذرانند و سپس بعد از فراغت از تحصیل مقطع متوسطه می‌توانند ابتدا در مقطع کاردانی و سپس کارشناسی در دانشگاه جامع علمی کاربردی در یکی از رشته‌های نامبرده ، ادامه تحصیل داده و بعد از فارغ التحصیلی در یکی از شرکت های هواپیمایی و سازمان هواپیمایی کشوری ، مشغول به کار شوند .

رشته «هوانوردی» در حال حاضر مطابق استانداردهای اعلام شده مشترک از سوی وزارت آموزش و پرورش و سازمان هواپیمایی کشوری دارای ۱۷۷۰ ساعت آموزش فنی مهارتی است که بصورت نظری و عملی طی دوره ی سه سال متوسطه دوم در پایه های دهم ، یازدهم و دوازدهم ارائه می شود .

هنرستان های هوانوردی ، با دریافت مجوز فعالیت و تایید از وزارت آموزش و پرورش و نظارت و هماهنگی سازمان هواپیمایی کشوری از سال ۱۳۷۹ با تاسیس اولین هنرستان هوانوردی در کشور به نام " هنرستان پسرانه هوانوردی دانش پرواز " در شهر مشهد تاسیس شده و شروع به فعالیت کردند .

هنرستان هوانوردی دانش پرواز از سال ۱۳۷۹ تا کنون ، با گزینش اساتید برجسته در رشته های مرتبط با دروس و آگاه به علم و فناوری روز در صنعت هوانوردی ، مشغول به فعالیت است و تاکنون دانش آموختگان بسیاری را پس از آموزش و تربیت و فارغ التحصیلی روانه بازار کار ساخته است که هم اکنون در مراکز مختلف مرتبط با صنعت هوانوردی و خطوط هوایی داخل کشور و حتی برخی در کشورهای دیگر و در همه رشته های نامبرده شده ، مشغول بکار شده اند .

در پایان از هیئت موسسین محترم و همچنین کادر اداری آموزشگاه (آقایان عصمتی ، بزرگ زاده رضوی ، خاقانی ، غفاری ، کیشی گرمرودی) و کادر آموزشی فنی (آقایان فتحی ، علیزاده ، اکرمی ، بهشتی روی ، عسکری زاده ، رفیعی ، رشیدی ، پندار ، سروش) ، سپاس و قدردانی می شود .

((بامید روزهای بهتر برای فرزندانمان))

تابستان ۱۳۹۷

فهرست مطالب

عنوان	ش صفحه	عنوان	ش صفحه
مقدمه	۱	Load Factor	۳۷
ا تمسفر	۲	Differential ailerons	۳۹
خصوصیات فیزیکی هوا	۲	Spoilers	۳۹
اندازه گیری فشار هوا	۳	Stability	۴۰
درجه حرارت هوا	۴	Supersonic Fight	۴۲
غلظت (چگالی) هواپیما	۵	Local Speed	۴۴
رطوبت هوا	۶	طبقه بندی سرعت در پرواز	۴۵
حرکت نسبی	۶	دیوار صوتی	۴۶
اصل برنولی	۷	How to improve critical Mach number	۴۸
لوله وانتوری	۸	Thin wings	۴۹
Air Foil Terminology	۱۰	Wing Sweep Back	۴۹
تئوری پیدایش برا	۱۱	Lower Aspect ratio	۵۰
واماندگی	۱۴	هلیکوپتر	۵۰
پسا	۱۷	HELICOPTER CONTROLS	۵۲
نیروهای آیرودینامیکی	۱۹	Coning	۵۴
عوامل موثر بر نیروهای آیرودینامیکی	۱۹	Dissymmetry of lift	۵۴
رابطه بین نیروهای هواپیما	۲۰	Autortation	۵۵
Aspect Ratio	۲۰	انواع هلیکوپتر	۵۶
Wing-tip Vortices	۲۰	WHEIGHT & BALANCE	۵۸
Wing Taper	۲۱	Over loading	۵۸
زاویه نصب بال	۲۲	Improper Loading	۵۹
Washin & Washout	۲۲	مرکز ثقل	۵۹
Propeller Torque	۲۳		
هواپیماهای دو باله	۲۳		
Decalage	۲۵		
محورهای هواپیما	۲۵		
Unusual Contorols	۲۶		
Auxiliary Controls	۲۸		
FLAPS	۲۹		
Types of Flap	۲۹		
Leading Edge Flap	۳۰		
Slat	۳۱		
TABS	۳۱		
Movable Horizontal Stabilizer	۳۳		
Control Balance	۳۴		
Vortex Generators	۳۴		
Turn	۳۶		

مقدمه

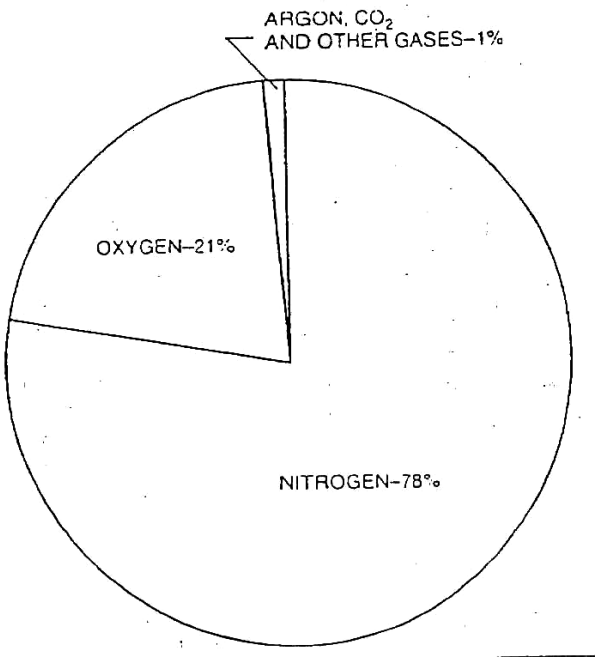
علم آیرودینامیک به طریقی که دراینجا مورد گفتگو و بحث قرار می‌گیرد در مورد پرواز و چگونگی پروازهواپیما صحبت می‌نماید . از این رو آن را تئوری پرواز**(theory of flight)** و یا مکانیک پرواز**(mechanics of flight)** نیز می‌نامند .

از آنجایی که آشنایی با این علم تاثیر مستقیم و عمیقی در شناخت هواپیما دارد ، از این رو آگاهی از آن بر کلیه پرسنل پروازی اعم از خلبانان و افراد فنی امری واجب و ضروری است. با توجه به این که پرواز هواپیما منوط به هواست، به همین دلیل بهتر است که در ابتدای امر با هوا و خصوصیات فیزیکی آن آشنا شویم.

۱ تمسفر

جو همچون اقیانوسی از هواست که کره زمین را احاطه نموده و ارتفاع آن به صدها هزار پا می‌رسد و می‌گویند که تا ارتفاعی را که بتوان حتی یک مولکول هوا مشاهده نمود، می‌توان جزء اتمسفر محسوب داشت. البته با توجه به اینکه پرواز موثر هواپیماها در ارتفاعات پایین جو امکان پذیر است، گفتگو در مورد ارتفاعات بالای جو مورد بحث نخواهد بود.

هوا مخلوطی از گازهای مختلف است. ولی برای منظورهای عملی کافی است گفته شود که هوا از $\frac{1}{5}$ اکسیژن و $\frac{4}{5}$ ازت (نیتروژن) تشکیل شده است. هوای خشک خالص به طور حجمی از ۷۸ درصد نیتروژن و ۲۱ درصد اکسیژن و یک درصد آرگون تشکیل شده است. البته آثاری جزئی از گازهای دیگر همچون Co_2، ئیدروژن، هلیوم و نئون نیز در هوا یافت می‌شود.

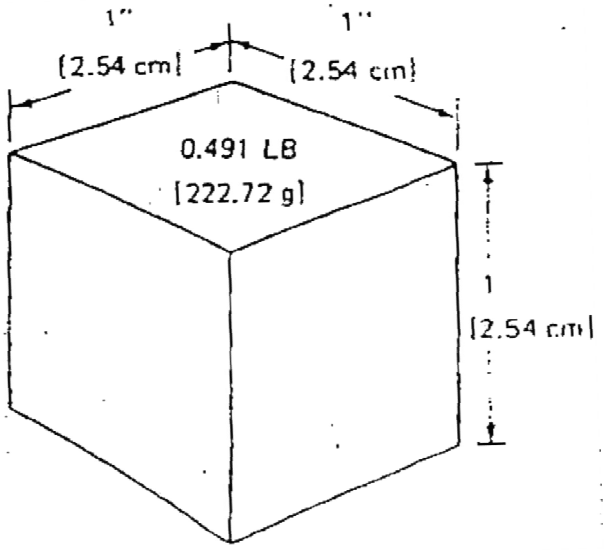


شکل ۱

خصوصیات فیزیکی هوا Physical Properties of Air

فشار هوا Air Pressure

هوا دارای وزن است و آزمایش نیز طبق تصویر زیر این مطلب را ثابت می‌کند.



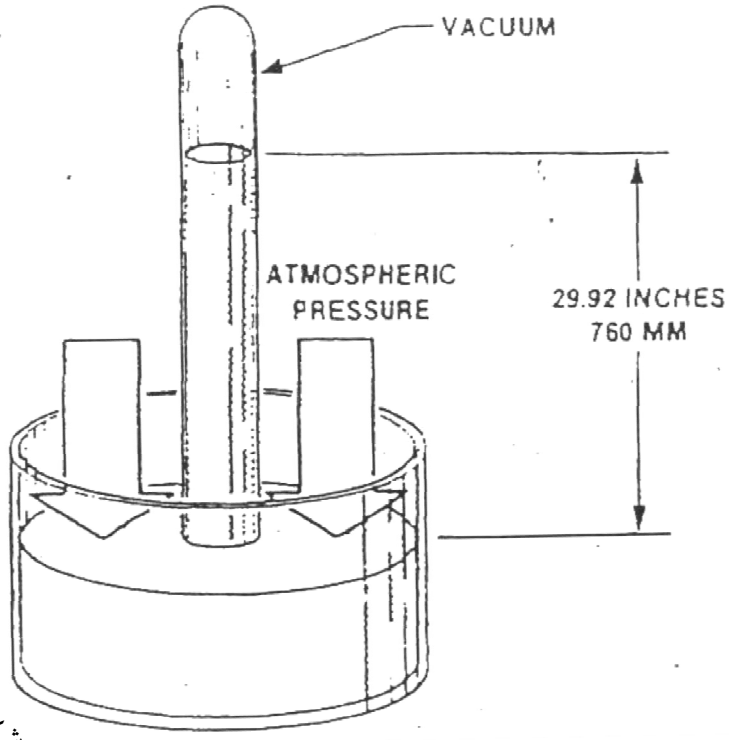
شکل ۲

پس اگر جو را به لایه‌های مختلف تقسیم کنیم، وزن لایه‌های بالاتر به لایه‌های پایین‌تر اثر گذارده و آنها را تحت فشار قرار می‌دهد. پس هوا دارای فشار است و طبیعی است که لایه مجاور سطح دریاهای آزاد بیشترین فشار را داشته باشد. در اینجا خاطر نشان می‌نماییم که سطح دریا (**sea level**) ارتفاع صفر محسوب می‌گردد. به سادگی روشن است که هر چه بالاتر رویم، از فشار هوا کاسته خواهد شد .

اندازه گیری فشار هوا

دانشمند ایتالیایی تریچیلی به وسیله یک تشتک جیوه و یک لوله شیشه‌ای طبق تصویر فشار هوا را اندازه گرفت و بعدها ایکائو **(Icao)** در یک روز معین در نقطه‌ای در مجاورت دریا با عرض جغرافیایی **N**۴۰° و حرارت ۱۵° سانتیگراد معادل ۵۹° فارنهایت فشار هوا را اندازه گرفته و آن را فشار استاندارد سطح دریا نامید که برابر است با ۷۶ سانتیمتر جیوه مساوی ۲۹/۹۲ اینچ جیوه و برابر **Psi**۱۴/۷ معادل ۱۰۱۳ میلی بار **(mb)** می باشد . (شکل ۳)
ایکائو تغییرات خصوصیات فیزیکی هوا را در شرایط متفاوت و ارتفاعات مختلف اندازه گیری کرده و در جدولی گرد آورده که در صفحات بعد خواهید دید. طبق این جدول مشاهده می‌کنیم که در ۲۰.۰۰۰ پا فشار هوا به ۱۳/۷۵ اینچ جیوه , کمتر از نصف فشار سطح

دریاست کاهش یافته که بدین ترتیب معلوم می‌شود که حدود ۵۰ درصد توده هوای کره زمین در لایه ۲۰.۰۰۰ پایی مجاور آن متمرکز بوده و علت این توزیع غیر یکنواخت همانا قابلیت تراکم هوا **(compressibility)** آن است .



شکل ۳

درجه حرارت هوا (Air Temperature)

هوا دارای حرارت است و طبیعی است که به طور نرمال **temp** آن در سطح دریا بیشترین بوده و با افزایش ارتفاع همچون فشار کاهش یابدو طبق جدول استاندارد به ازای هر هزارپا ۱/۹۸°C از حرارت هوا کاسته می‌شود و این مسئله تا حدود ۳۶۰۰۰ft تداوم داشته و بعد از آن تا حدود ۱۰۰.۰۰۰ft درجه حررات در ۵۶/۵°C- ثابت باقی می‌ماند . ولی چون شرایط استاندارد همیشه حاکم نیست ، جداول هواشناسی برای هرهزارپا ، ارتفاع ۱/۵۲°C کاهش درجه حرارت منظور می‌شود . از آنجایی که هیچ چیز به اندازه هوا متغیر نیست ممکن است

ندرتا در ارتفاع خاصی دما به عوض کاهش شروع به افزایش نماید که به این حالت وارونگی **(Inversion)** گویند .

غلظت (چگالی) هواپیما Air Density (ρ)

منظور از این واژه چگالی یا غلظت هواست و طبیعی است که هوای مجاورسطح دریا **(S.L)** چون تحت بیشترین فشار است بیشترین غلظت را داشته و هر چه بالا رویم از دانسیته هوا کاسته می‌شود. یعنی هوا رقیق تر می‌شود. البته باید در نظر داشت که درست است که فشار و دانسیته نسبت مستقیم با هم دارند، ولی با افزایش ارتفاع از درجه حرارت کاسته می‌شود یعنی هوا سردتر می‌گردد. پس این نکته مقداری کاهش دانسیته را جبران می‌کند . دانسیته **(ρ)** در هواپیمایی و پرواز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است ودر مورد محاسبه **thrust** موتورها و مقدورات پروازی هواپیما **(performance)** عمیقا مورد توجه است و به طوری که بعدا خواهیم دید، در ارتفاعات با توجه به کاهش دانسیته (رقت هوا) نیروهای آیرودینامیکی همچون **drag** کاهش می‌یابند . بنابراین به منظور کاهش مصرف سوخت و افزایش برد **(range)** هواپیماهای مدرن در ارتفاعات بالا پرواز

Altitude, ft	t		p		ρ × 10³, slugs per ft³	c_s, ft per sec
	F	C	In. Hg	Lb per ft²		
−2,000	66.1	18.9	32.1	2,273.7	2.52	1,134.54
0	59.0	15.0	29.92	2,116.2	2.38	1,116.89
1,000	55.4	13.0	28.86	2,040.8	2.31	1,113.05
2,000	51.9	11.0	27.82	1,967.7	2.24	1,109.19
3,000	48.3	9.1	26.82	1,896.6	2.18	1,105.31
4,000	44.7	7.1	25.84	1,827.7	2.11	1,101.43
5,000	41.2	5.1	24.90	1,760.8	2.05	1,097.53
10,000	23.3	−4.8	20.58	1,455.3	1.76	1,077.81
15,000	5.5	−14.7	16.89	1,194.3	1.50	1,057.73
20,000	−12.3	−24.6	13.75	972.5	1.27	1,037.26
25,000	−30.2	−34.5	11.10	785.3	1.07	1,016.38
30,000	−48.0	−44.4	8.89	628.4	0.89	995.06
36,089	−69.7	−56.5	6.68	472.7	0.71	968.46
40,000	−69.7	−56.5	5.54	391.7	0.585	968.46
50,000	−69.7	−56.5	3.425	242.2	0.362	968.46
60,000	−69.7	−56.5	2.118	149.8	0.224	968.46
70,000	−69.7	−56.5	1.322	93.52	0.1388	968.46

t Standard temperature
p Pressure, lb per ft² or in. Hg
ρ Density
c_s Standard speed of sound

شکل ۴

می‌کنند و چون در ارتفاعات بالا به علت رقت هوا تنفس و زیست بشر مشکل است ، کابین این هواپیماها **pressurized** است .

دانسیته در واقع همان جرم مخصوص هواست و واحد جرم در سیستم انگلیسی **slug** است و دانسیته هوا تحت شرایط استاندارد در ارتفاعات مختلف در جدول ایکائو ارائه شده است . (شکل ۴) هوا با وجودی که رقیق است ولی دارای مقداری چسبندگی است که در آیرودینامیک معمولی از آن صرفنظر می‌شود ، یعنی هوا را **Non Viscous** تلقی می‌کنند .

رطوبت هوا Humidity

منظور از رطوبت وجود بخار آب در هواست و اگر دقت کنیم به سهولت درمی‌یابیم که وجود بخار آب باعث می‌شود که هوا سبکتر و به عبارت دیگر دانسیته آن کاهش یابد. حداکثر مقدار بخار آبی که هوا می‌تواند در خود جذب نماید به درجه حرارت هوا بستگی دارد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که تاثیر رطوبت بر دانسیته هوا در واقع تاثیر آن بر **performance** هواپیماست. مثلا در یک روز مرطوب چون داسنیته هوا کمتر از یک روز خشک است ، پس هواپیما به باند طولانی‌تری برای (**T.O**) نیاز خواهد داشت . **Dew Point** معیاری برای ارزیابی مقدار رطوبت هواست است.

حرکت نسبی Relative Motion

به هنگام گفتگو در مورد حرکات باید نسبی بودن آنها را در نظر داشت. این مسئله در مورد هواپیما نیز صادق است . مثلا هواپیما به هنگام پرواز یک سرعت نسبت به هوا و سرعت دیگری نسبت به زمین دارد و معمولا این دو با هم مساوی نیستند و بستگی به سرعت باد دارد.اگر هواپیما به هنگام پرواز با باد روبرو **(head wind)** مواجه شود، سرعت زمینی‌اش کم شده و اگر با باد پشت **(tail wind)** مواجه باشد، سرعت زمینی‌اش زیاد خواهد شد.