آموزشگاه خلبانی ایلام

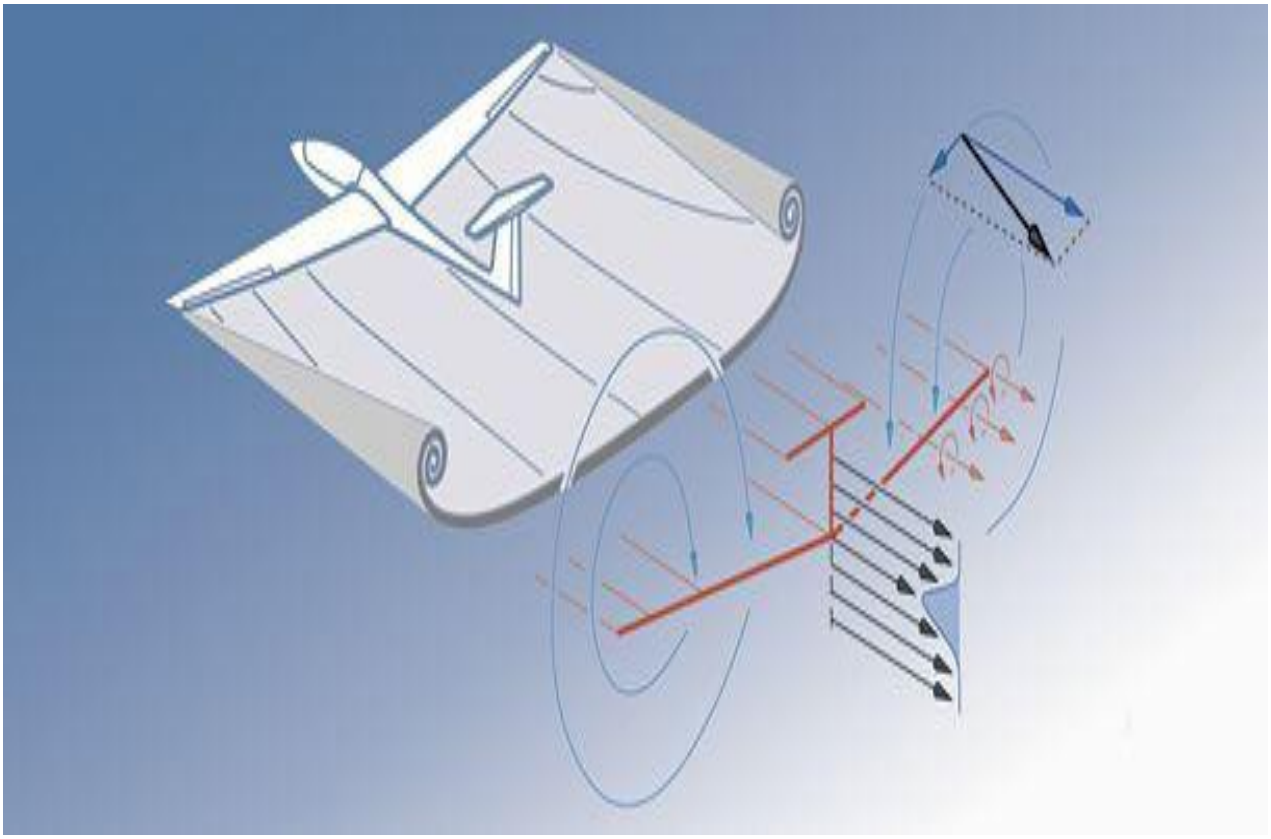
مسعود فرجی

ILAM CIVIL AVIATION TRAINING

تحت نظارت مرکز آموزش فنون و خدمات هوایی

Aerodynamic

آئرودینامیک پرواز



مسعود فرجی

Masoud Faraji

www.ilam-aviation.loxblog.com

Royalfalcan@yahoo.com

www.facebook.com/iranianfalcon

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

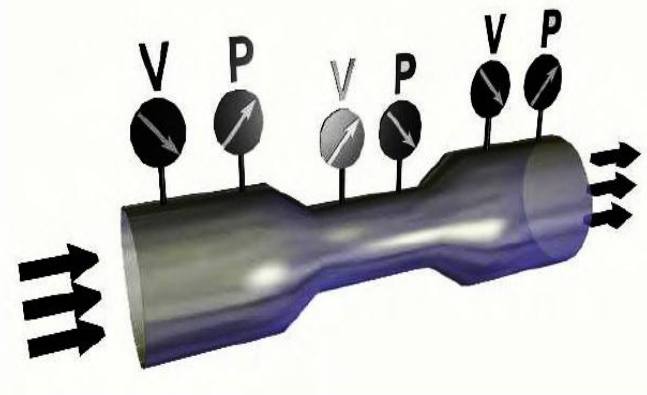
آئرودینامیک که دربرخی متون فارسی آنرا هواپویش نامیده اند شاخه ای از دینامیک گاز ها و درحالت کلی تر دینامیک سیالات می باشد که به بررسی رفتار جریان هوا و اثرآن براجسام متحرک می پردازد.
منظوراز حل یک معادله آئرودینامیکی محاسبه میدان سرعت،فشار و دمای هوا در اطراف یک جسم است.
بدین منظور می بایست مسائل مربوط به آئرودینامیک را حل کرد.
سپس به کمک معادله های بدست آمده می توان نیروها ، گشتاورها و .. وارد بر جسم پرنده را حساب کرد.
مهمترین کاربرد آئرودینامیک در صنعت هوافضا می باشد.

آئرودینامیک در هوانوردی

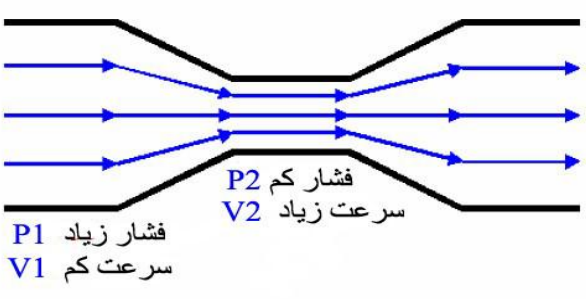
هوا مانند هر ماده دیگری از مولکول‌های کوچک تشکیل شده است که در حال حرکت و برخورد با هم هستند.
ولی چون فاصله این مولکول‌ها در عمل خیلی کوچک است در آیرودینامیک می‌توان هوا را یک محیط پیوسته فرض کرد.
با رقیق شدن هوا و افزایش فاصله بین مولکول‌ها، دقت فرض پیوستگی کم می‌شود.
قبل از پرداخت به نیروهای آئرودینامیکی لازم است ابتدا با بعضی مفاهیم آشنا شویم.

Bernoulli's Principle
قانون برنولی

دانیل برنولی دانشمند سوئیسی در جریان تحقیقاتی که هیچگونه ارتباطی به پرواز اجسام نداشت قانونی را کشف نمود که بعدها بعنوان قانون پرواز مطرح گردید.
در این آزمایش او با عبور یک سیال از درون لوله ای با قطر متغیر (لوله ونتوری) دریافت زمانی که سیال از قسمت نازک لوله میگذرد سرعت آن افزایش یافته و فشار داخلی آن کم میشود.
به زبان ساده تر قانون برنولی بصورت زیر می باشد.



فشار و سرعت در سیالات با هم نسبت عکس دارند.



آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

فشار استاتیکی و دینامیکی هوا

در سیالات دو گونه فشار (Pressure) داریم:

Static pressure (فشار استاتیکی)

Dynamic pressure (فشار دینامیکی)

Static pressure

فشار استاتیکی فشاری است که از سوی توده های هوای ساکن به جسم اعمال می شود.
برای درک بهتر این موضوع یک تانکر پر از آب را در نظر بگیرید.آب داخل تانکر که ساکن است به دیواره های تانکر فشار وارد می کند.این فشار را فشار استاتیکی می نامند.
فشار هوای وارد بر دست ما در مثال قسمت قبل نیز همین فشار استاتیکی است

Dynamic pressure

اما اگر هوا درجریان باشد علاوه بر فشار استاتیکی دارای فشار دینامیکی نیز خواهد بود که بسرعت جریان هوا بستگی دارد.
یک لوله را در نظر بگیرید که جریان آب از آن عبور می کند. جریان آب در حال حرکت نیز نیرویی دارد که به هر چیزی که بر سر راهش باشد وارد می کند.
به این نیرو نیز فشار دینامیکی می گویند.
فشاری که جریان آب به بدنه ی لوله وارد می کند فشار استاتیکی است.فشار دینامیکی به سرعت حرکت سیال بسگی دارد و با آن نسبت مستقیم دارد.یعنی با افزایش سرعت سیال(آب، هوا و...) فشار دینامیکی نیز افزایش می یابد.سرعت سیال نیز خود با سطح مقطع محل عبور آن رابطه عکس دارد.یعنی اگر سطح مقطع لوله را کاهش دهیم سرعت سیال آب افزایش می یابد و بالعکس

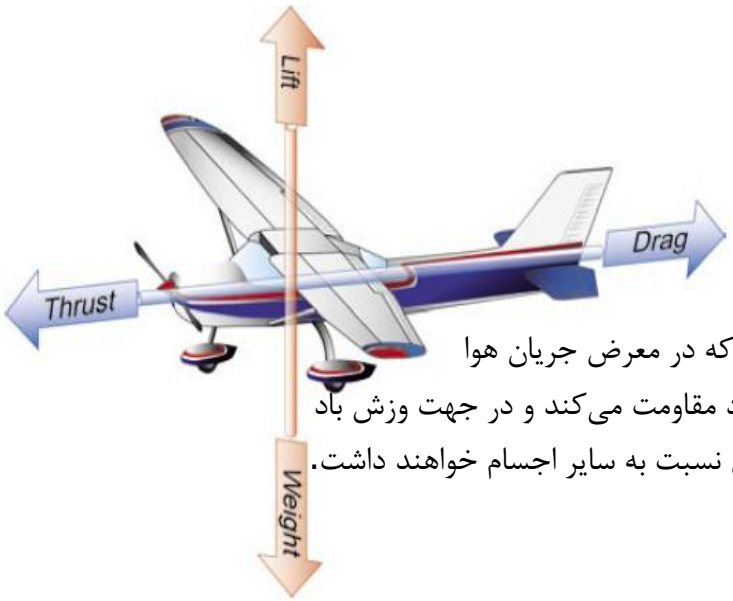
قانون برنولی بیان می دارد که هواره جمع این دو فشار در هرنقطه مقدار ثابتی است.
یعنی اگر سرعت جریان هوا بیشتر شود فشار دینامیکی هوا افزایش خواهد یافت.بنابراین در آن نقطه از فشار هوای استاتیکی کاسته می شود.بعدها از این قانون برای طراحی شکل مقاطع بال استفاده گردید.
مقاطع بال به گونه ای طراحی شده که باعث افزایش فشار استاتیک در سطح زیرین و کاهش این فشار درسطح رویی بال می شود و این اختلاف فشار نیروی برآ(Lift) را بوجود می آورد.
حاصل جمع فشار دینامیکی و فشار استاتیکی همواره مقدار ثابتی است .

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Airfoil
ایرفویل

هر جسمی که در برخورد با الیاف هوا بتواند نیروی آیرودینامیکی تولید کند را Airfoil میگویند.
ایرفویل شکلی است که قوانین آئرودینامیکی برروی آن صدق نموده و کمترین مقاومت را درمقابل عبور جریان هوا دارا می باشد و بصورت دوکی شکل است.
از برش عرضی این شکل برای ساختمان بال استفاده می شود.
اگر بال یک پاراگلایدر را در راستای طول برش دهیم ،شکل مقطع بال مشخص می گردد.
به این مقطع آیرودینامیک ایرفویل می گویند.
درتعریف مقطع خاصی که با عبور هوا ازاطراف آن ایجاد اختلاف فشار در بالا و پایین مقطع مینماید،ایرفویل گفته می شود و نیروی ایجاد شده نیروی آئرودینامیکی خوانده میشود.



Aerodynamic Forces
نیروهای آئرودینامیکی

نیروی آیرودینامیک در اثر جریان هوا بر روی یک جسم تولید می‌شود.
این جسم می‌تواند تیر چراغ برق ، یک آسمان خراش ، پل ، هواپیما و یا کابل برق فشار قوی باشد.
اما بازتاب نیروی آیرودینامیکی که ایجاد می‌شود، به شکل این جسم خاص که در معرض جریان هوا قرار گرفته است بستگی دارد.اگر هم پهن و دارای زاویه تند باشد در برابر باد مقاومت می‌کند و در جهت وزش باد خم می‌شود.اما اگر دارای زوایای خمیده و یا نیم‌دایره باشد، مقاومت کمتری نسبت به سایر اجسام خواهند داشت.

هر هواپیمایی که در حال پرواز باشد چهار نیروی اساسی بر آن وارد می شود که عبارتند از:

1. نیروی برآ LIFT
2. نیروی وزن WEIGHT
3. نیروی پسا DRAG
4. نیروی تراست THRUST

وظیفه اصلی یک خلبان ایجاد تعادل میان این نیرو هاست.یعنی در یک پرواز عادی می بایست تمام نیروها با هم برابر و در تعادل باشند .در هنگام صعود نیروی برآ را به اندازه کافی افزایش دهد و....

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

LIFT

نیروی برآ

نیروی برآ بعنوان نیروی اساسی پرواز نیرویی است که در اثر حرکت بال ها در هوا بوجود می آید.

با حرکت بال در هوا بدلیل انحنای قسمت بالای بال , هوای روی بال دارای سرعت بیشتری نسبت به زیر بال است این اختلاف سرعت باعث اختلاف فشار می شود بطوریکه در قسمت بالای بال فشار کم و در قسمت زیر بال فشار زیاد است.

فشار زیاد زیر بال ، بال را بسمت بالا هدایت کرده و در نتیجه نیروی برآ ایجاد می شود که با بالا بردن بال کل مجموعه هواپیما صعود می کند.

با توجه به قانون برنولی (Bernoulli's Principle) که رابطه فشار و سرعت یک سیال را در دو سطح مقطع مختلف و در یک واحد زمان مشخص تعریف میکند میتوان گفت که بر اساس این قانون رابطه فشار و سرعت سیال عکس یکدیگر می باشد از این قانون و حرکت Air Stream هوا روی Airfoil در جهت تولید نیروی Lift استفاده میشود .

به طوری که وقتی هوا به Airfoil میرسد به دو مؤلفه تقسیم میشود یک دسته از روی بال و دسته دیگر از زیر بال حرکت میکنند با توجه به قانون پیوستگی مولکولی چون مولکولی که از روی بال حرکت کرده است با مولکولی که از زیر بال حرکت کرده است باید در یک زمان مشخص در نقطه ای به نام Trailing Edge(لبه فرار) به یکدیگر برسند هوایی که از روی بال عبور میکند باید سرعتش بیشتر باشد. این سرعت بیشتر باعث میشود که فشار روی بال کم شود و یک منطقه کم فشار (Low Pressure) روی بال بوجود آید و چون هوایی که از زیر بال عبور کرده سرعتش کمتر است پس فشار زیر بال زیاد میشود و یک منطقه پرفشار (High Pressure Area) زیر بال ایجاد میشود

چون با بوجود آمدن منطقه کم فشار روی بال فشاری از روی بال برداشته شده است و عملا با کمترین فشاری که از زیر بال وارد کنیم Airfoilبه سمت بالا حرکت میکند که اصطلاحا این نیرویی را که در اثر اختلاف فشار دو منطقه رو و زیر بال بوجود آمده است را Liftمینامیم .

نکته مهم این است که بیش از 75٪ از Total Liftیک Airfoil توسط Suction روی بال انجام میشود و 15٪ باقیمانده توسط قانون سوم نیوتون بر اثر برخورد هوا به زیر بال بوجود می آید.

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

ILAM CIVIL AVIATION TRAINING

تحت نظارت مرکز آموزش فنون و خدمات هوایی

فرمول محاسبه Lift

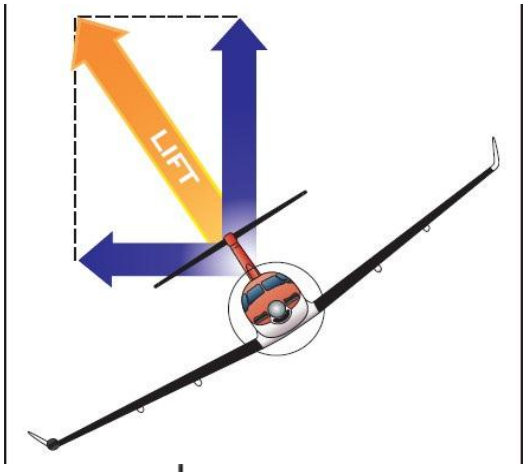
$$L = 1/2\ CL\ \acute{a}\ S\ V^{2}$$

CL ضریب Lift است که خود به دو مؤلفه A.O.A و Wing Design تقسیم میشود .

ά همان غلظت هوا است .

S سطح بال یا همان Wing Area است

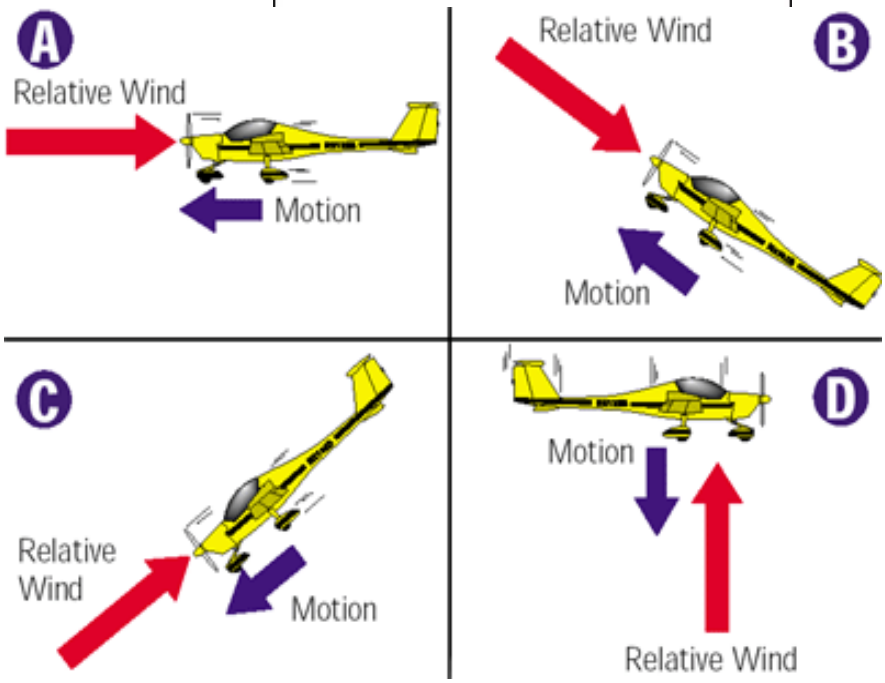
V^{2} همان توان دوم سرعت هواپیما است



این نیرو همیشه بر Relative Wind عمود است .

Relative Wind

باد نسبی



همان باد نسبی است که عبارت است از حرکت الیاف هوا حول یک جسم که در اثر حرکت خود جسم در سیال بوجود می آید که جهت آن همیشه موازی و مخالف جهت حرکت جسم میباشد و سرعت آن حدود سرعت جسم دلخل سیال است.

شخصی را تصور کنید که در یک روز صاف و آفتابی بدون وجود هرگونه بادی در حال دویدن است. با وجود اینکه بادی در حال وزیدن نیست اما این شخص وجود باد را بر صورت و اعضای بدن خود حس می کند.

در حقیقت این باد یک باد نسبی است که در اثر حرکت شخص در هوا بوجود آمده است و در حالت سکون وجود ندارد.

باد نسبی همیشه در مسیر مخالف جهت حرکت هواپیما یا هر جسم دیگری در هواست.

آموزشگاه خلبانی ایلام

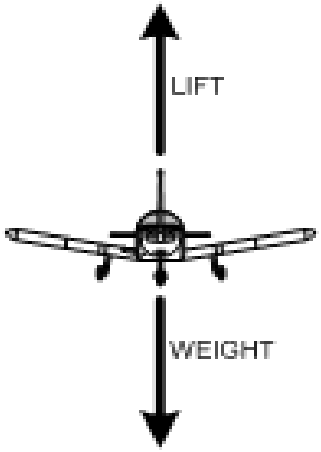
مسعود فرجی

Weight

نیروی وزن

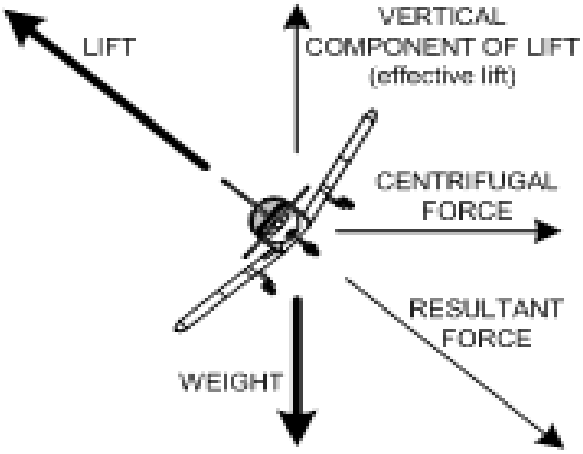
نیرویی است که زمین بر هر جسمی وارد می کند وآنرا بطرف خود می کشد و بنام نیروی جاذبه نیز شناخته می شود.

مقدار نیرویی که از مرکز زمین به گرانیگاه یک جسم وارد میشود را اصطلاحا Weightیا Gravity میگویند که این نیرو متناسب با وزن جسم است که بر اساس واحد 1 gتعریف میشود .



در زمانی که هواپیما در Level Flight است دو نیروی Liftو Weight با هم برابرند و برآیند نیروهای وارد بر هواپیما صفر است ولی هر زمان تعادل این دو نیرو از بین برود اصطلاحا میگوییم که عامل تولید نیرویی به نام Load Factorشده است .

مهمترین آیتمی که عامل تولید Load Factor میباشد Bank Angel است و از جمله عوامل دیگری که میتوانند این تعادل را برهم بزنند میتوان به Turbulenceو یا حتی به Vertical Gust اشاره کرد



هر هواپیمایی نسبت به Load Factor دارای یک محدودیت است که توسط کمپانی سازنده هواپیما در POH تعریف شده است .

یکی از عواملی که این Limitation را میتواند کم کند Flap Setting میباشد. نیروی وزن در پروازی که هیچگونه صعود یا نزول ندارد با نیروی برآ مساوی و هم اندازه است.

DRAG

نیروی پسا

نیرویی مقاوم است که در اثر حرکت هواپیما در هوا و مقاومت آن در برابر مولکول های هوا بوجود می آید.

درگ (Drag) همان نیروی مقاومت کننده در برابر حرکت وسیله پرنده بسمت جلو است.
اگر جهت این نیرو را بررسی کنیم نیرویی است مخالف جهت حرکت وسیله پرنده و بدلیل آنکه اندازه آن درحالت عادی از نیروی Lift کمتر است برآیند آن با نیروی Lift نموداری بسمت جلو و در جهت حرکت وسیله پرنده ترسیم می کند.

درحقیقت اگر نیروی پسا وجود نداشت هیچگاه بر سرعت هواپیما افزوده نمیشد. به عبارت دیگر نیروی پسا در تقابل با نیروی تراست قرار دارد.

بعنوان مثال هنگامیکه می خواهید با چاقو یک شی را ببرید متوجه می شوید که در ابتدا شی مورد نظر به دست شما نیرویی وارد می کند که مانع انجام برش می شود. این مقاومت تا زمانی ادامه دارد که نیروی دست شما بر نیروی مقاومت جسم غلبه کند. بهمین دلیل بعضی از اجسام که مقاومت کمتری دارند با نیروی کمتری بریده می شوند و بعضی از اجسام بدلیل مقاومت بیشتر سخت تر بریده می شوند و بعضی دیگر بدلیل عدم توانایی دست شما برای غلبه بر نیروی مقاومت اصلا بریده نمی شوند.

هوا را می توان بدلیل مقاومت کم براحتی برید و برای اینکار بجای چاقو وسیله ای بنام بال ساخته شده که براحتی هوا را بریده و کاربرد فراوانی در هوانوردی دارد.طبیعی است بال هم که هوا را می شکافد باید بر نیروی مقاومت هوا غلبه کند پس مقدارقابل توجهی از نیروی موتور (تراست) صرف غلبه بر نیروی مقاومت هواپیما (Drag) می شود.

شاید نیروی لازم برای بریدن هوا در سرعت های پایین چندان مد نظر نباشد و به نظر اندک بیاید اما در سرعت های بالاتر این نیرو میزان قابل توجهی از قدرت و نیروی موتور را صرف غلبه بر خود می سازد.

Total Dragهواپیما به دو زیر مجموعه تقسیم می شود :

- Induced Drag
- Parasite Drag

1) Induced Drag

نوعی از Drag است که در هنگام تولید Lift بوجود می آید .

دو آیتمی که این Drag را تعریف میکنند A.O.A و Flap Setting هستند

چون تغییر این دو آیتم باعث کاهش سرعت هواپیما میشوند پس میتوان گفت رابطه Induced Drag با سرعت هواپیما یک رابطه معکوس است یا بهتر Induced Drag با معکوس مجذور سرعت متناسب است

یعنی اگر سرعت هواپیما دو برابر شود Induced Drag هواپیما 1/4 یا ربع میشود .

2) Parasite Drag

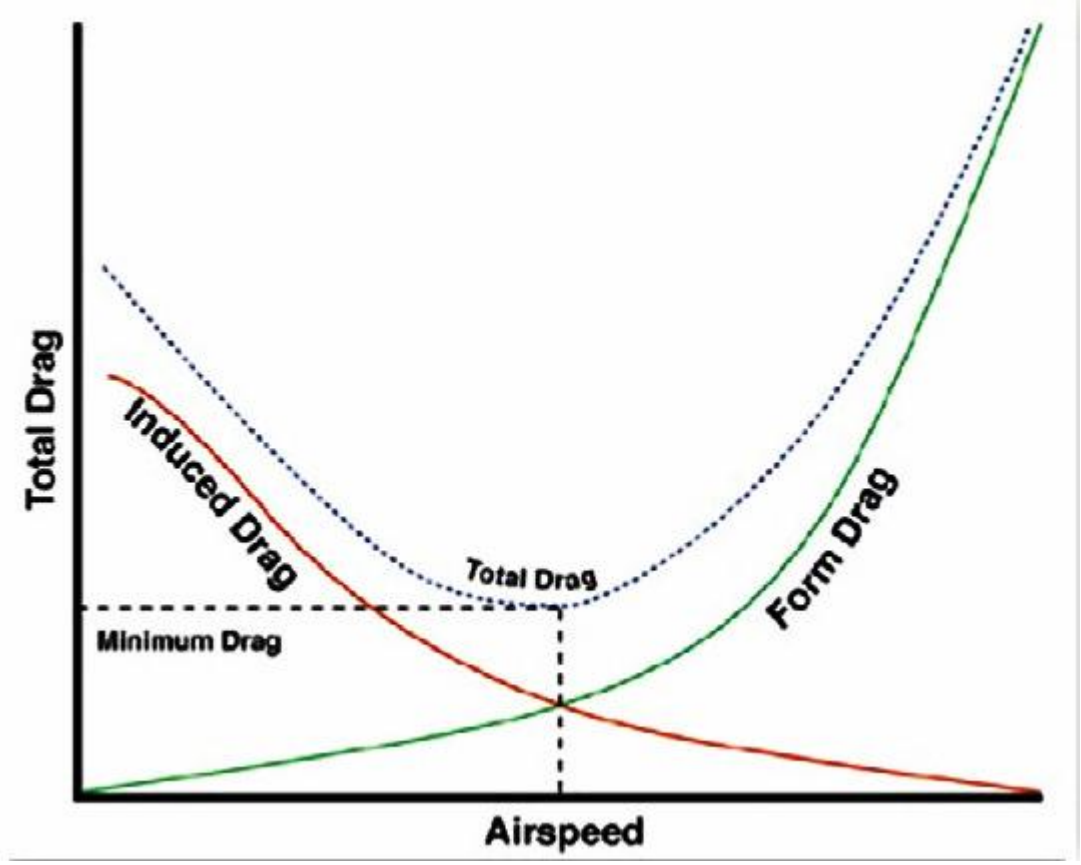
این Drag شامل Form Drag و Skin Friction Drag و Interference Drag می باشد .

این Drag با مجذور سرعت هواپیما رابطه مستقیم دارد یعنی اگر سرعت دو برابر شود Parasite Drag هواپیما 4 برابر میشود.

نکته مهم :

به مجموع Form Drag و Skin Friction Drag در بعضی کتب Profile Dragنیز گفته اند .

با توجه به مطالب گفته شده نمودار Total Drag هواپیما به شکل زیر است:



در منحنی Total Drag یک نقطه Minimum وجود دارد که در اصل بیانگر این است که هر دو نوع Drag در یک سرعت مشخص حداقل میباشد که اصطلاحا این سرعت را Best Power Off Glide Speedمینامند . یعنی در اصل سرعتی است که در زمان Engine Failکمترین Drag را نسبت به بهترین Lift برای هواپیما تضمین میکند

به تعبیر دیگر نقطه Min Total Drag همان Best L/D Ratio میباشد که در Clean Configurationبرای هر هواپیما در POHتعریف شده است که واحد آن میتواند Feet یا NM یا KM و یا SM باشد . این واحد را سازنده هواپیما مشخص میکند .

مهمتریت آیتمی که سرعت Best Glide را تغییر میدهد وزن هواپیما است یعنی با افزایش وزن Glide Speed نیز افزایش پیدا میکند و هواپیما روی همان Glide Angel ی که Best L/D Ratio را برای هواپیما تضمین میکند فقط با سرعت بالاتری حرکت میکند یعنی آن نسبت را در مدت زمان کوتاهتری طی میکند . این تغییر وزن تاثیری بر روی Glide Angel ندارد و فقط سرعت را جابجا میکند .

THRUST

نیروی پیشران

نیروی جلو برنده هواپیما است که توسط Power Plan و یا Engine تولید میشود

این نیرو یا توسط Jet Engine و یا توسط Prop Engine تامین میشود .

در داخل کابین Thrust Indicator هواپیما RPM و Manifold Pressure هستند که با تغییر Power Setting هواپیما این دو Indicator نیز تغییر میکنند .

هرچه نیروی تراست بیشتر باشد سرعت هواپیما بیشتر خواهد بود.

Three Axis

محور های هواپیما

بر اساس چهار نیرویی که بر هواپیما وارد می شود هر هواپیما برای چرخش دارای سه محور اصلی میباشدکه حول هر کدام از این محورها دارای یک حرکت میباشد .

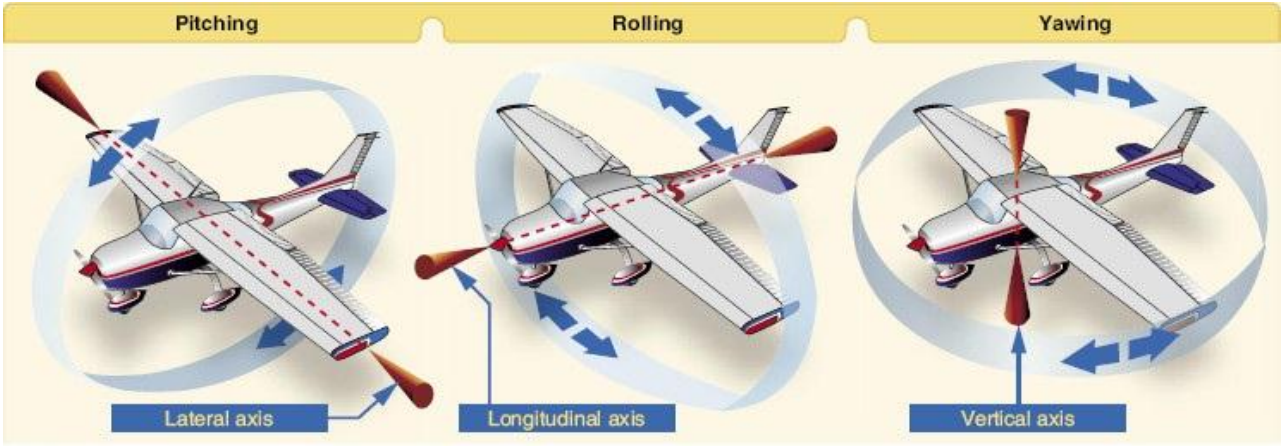
اساس تمام حرکتهای هواپیما حول هر سه محور از قانون Differential Pressureتبعیت میکند .

چون مرکز تلاقی سه محور هواپیما را Center Of Gravity (CG)مینامند پس میتوان تعریف دیگری برای CG داشت و آن این است که نقطه ای است که هر جسم حول آن بتواند دارای گشتاور باشد .

چون هواپیما سه حرکت حول سه محور دارد پس سه نوع گشتاور موجود حول نقطه ای به نام CG تعریف میشود .

این سه محور عبارتد از:

1. محور عمودی **Vertical Axis**
2. محور طولی **Longitudinal Axis**
3. محور عرضی **Lateral Axis**



Axes of an airplane.

Vertical Axis

محوری است که درست از نقطه وسط هواپیما از بالا به پایین کشیده می شود و چرخش حول این محور باعث به چپ یا راست رفتن دماغه هواپیما می شود. یا همان محور عمودی که عمود بر هواپیما است

به حرکت حول این محور Yawing میگویند

Longitudinal Axis

محوری است که در طول هواپیما یعنی از دماغه تا انتهای آن کشیده شده و چرخش حول این محور باعث بالا رفتن یک بال و پایین افتادن دیگری می شود.یا همان محور طولی که Nose هواپیما را بهTail آن وصل میکند

به حرکت حول این محور Rolling میگویند

Lateral Axis

محوری است که در عرض هواپیما یعنی از نوک یک بال تا نوک بال دیگر کشیده شده و گردش حول این محور باعث بالا وپایین رفتن دماغه هواپیما و درنتیجه موجب صعود (Climb) یا نزول (Descend) می شود. یا همان محور طولی که دو سر بالها را به هم وصل میکند

به حرکت حول این محور Pitching میگویند

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Flight Mechanic Maneuveres

1) Rolling

حرکت هواپیما حول محور طولی را میگویند Aileron . ها باعث این حرکت حول محور طولی میشوند به طوری که Aileron ی که پایین آمده Chord Line آن قسمت را تغییر میدهد A.O.A زیاد شده و در نتیجه Lift افزایش می یابد و این Lift بیشتر باعث ایجاد گشتاور حول محور طولی میشود

از طرف دیگر Aileron دیگر به سمت بالا آمده و مجددا A.O.A تغییر کرده ولی این بال نیروی Lift آن به سمت پایین است . این کجی هواپیما را نسبت به محور طولی Bank میگویند .

2) Pitching

حرکت هواپیما حول محور عرضی را میگویند

Elevator باعث این حرکت حول محور عرضی میشود .

به طوری که با حرکت Elevator به بالا Chord Line تغییر کرده و A.O.Aزیاد میشود و باعث تولید Lift میشود که این Liftباعث بالا رفتن هواپیما میشود . برعکس این قضیه هم صادق است .

3) Yawing

حرکت هواپیما حول محور عمودی را میگویند

Rudder باعث این حرکت حول محور عمودی میشود .

به طوری که با حرکت Rudder به چپ و راست Chord Line تغییر کرده و A.O.A زیاد میشود در نتیجه Lift تولید میشود که این Lift باعث چرخیدن به چپ و راست هواپیما میشود .

آموزشگاه خلبانی ایلام

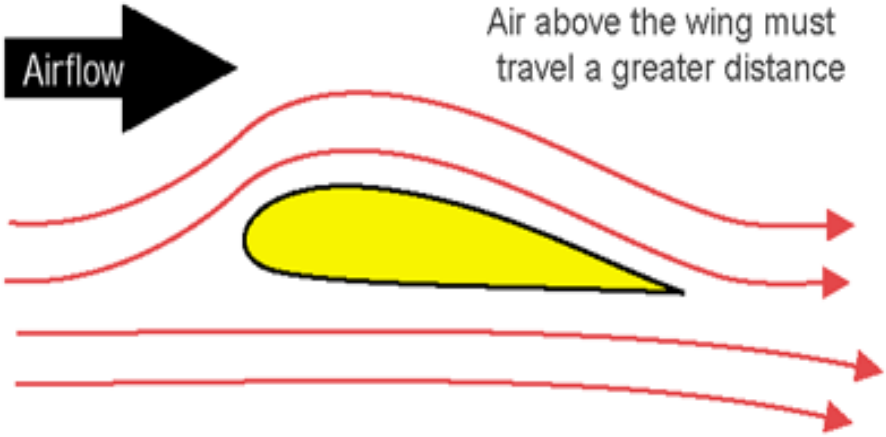
مسعود فرجی

ILAM CIVIL AVIATION TRAINING

تحت نظارت مرکز آموزش فنون و خدمات هوایی

Airfoil

ایرفویل

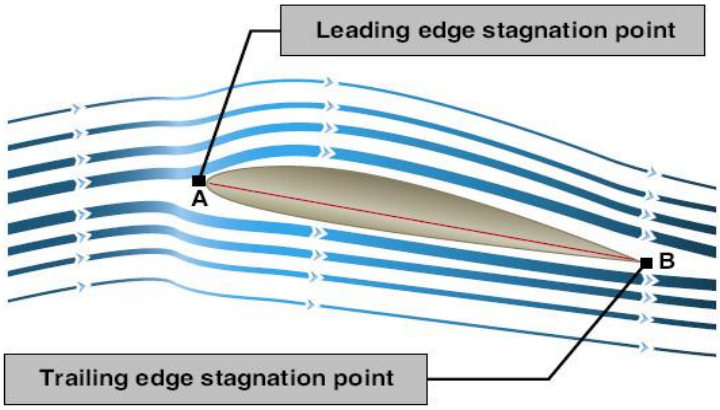


همانطور که گفته شد به هر روی برآ ساخته ساخته شده باشد ایرفویل می گویند.

Airfoil Component

قسمت های ایرفویل (بال)

1. Leading Edge (لبه حمله)
2. Trailing Edge (لبه فرار)
3. Upper Cambered Surface (سطح انحنای بالا)
4. Lower Cambered Surface (سطح انحنای پایین)
5. Chord Line (خط وتر بال)



Leading Edge

لبه حمله

لبه حمله قسمت جلویی بال است که مستقیما هوا را می شکافد و اولین قسمتی است که در آغاز پرواز با هوا برخورد کرده و در فرایند تولید برا شرکت دارد.

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

ILAM CIVIL AVIATION TRAINING

تحت نظارت مرکز آموزش فنون و خدمات هوایی

Trailing Edge

لبه فرار

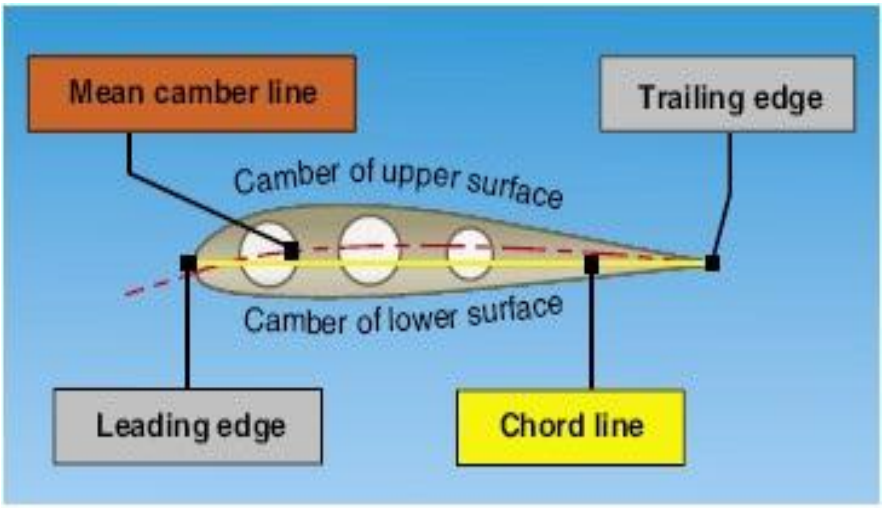
لبه فرار قسمت انتهایی بال و آخریم نقطه ای است که هوا پس از رد شدن از سطوح بالا و پایین بال از آن می گذرد.

این نقطه به نقطه ترک هوا نیز معروف است.

Upper Cambered Surface

سطح انحنای بالا

سطح بالایی بال را که بصورت منحنی و قوس دار ساخته شده و نقش مهمی در در ایجاد نیروی برآ دارد سطح انحنای بالای بال می گویند که همیشه مسافت طی شده توسط هوا از روی این سطح بیشتر یا مساوی سطح پایین است.



Typical airfoil section.

Lower Cambered Surface

سطح انحنای پایین

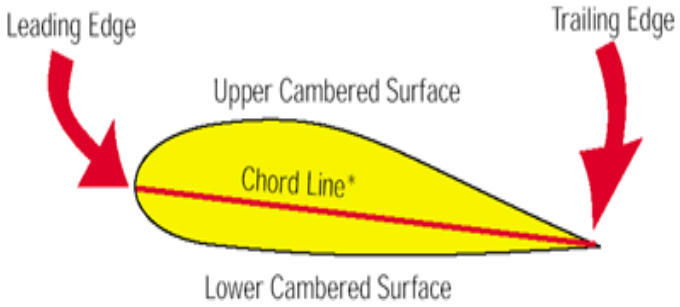
سطح پایین بال را که گاه همانند سطح بالا انحنا داده شده و گاه بصورت تخت و صاف است را سطح پایین بال می گویند.

Chord Line

خط وتر بال

خط وتر بال خطی فرضی است که برابر است با فاصله کوتاه ترین مسافت بین لبه حمله و لبه فرار.

لازم بذکر است که خط وتر عرض کلی بال را نیز مشخص می کند.

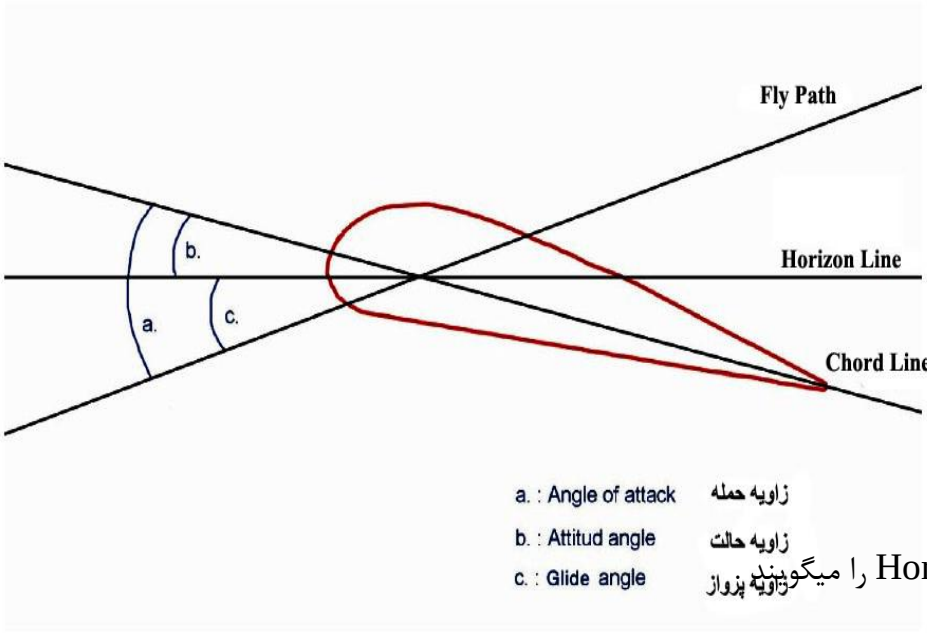


* The **chord line** is an imaginary line connecting the leading edge to the trailing edge of the wing.

وتر همواره افقی نبوده بلکه بنا به طراحی بال با سطح افق زاویه دارد.
همچنین دریک وسیله پروازی بدون موتور مسیر پرواز (Fly Path) همواره ثابت و بصورت یک خط مستقیم مایل می باشد که زاویه آن باخط افق بستگی به طراحی وسیله دارد.

باید دانست خط افق (Horizon Line) ، خط وتر (Chord Line) و مسیر پرواز (Fly Path) با یکدیگر زوایایی میسازند که عباتند از:

- زاویه حالت **Attitude Angle**
- زاویه سرش **Glide Angle**
- زاویه حمله **Angle of Attack**



Attitude Angle
زاویه بین Horizon Line و Chord Line
Glide Angle
زاویه بین Horizon Line و Fly Path
Angle of Attack
زاویه بین Chord Line و Fly Path

Glide Angel

زاویه ما بین Glide Path و Horizontal Plain را میگویند

مهمترین عاملی که Glide Angel هواپیما را تغییر میدهد تغییرات Drag میباشد

اگر Drag هواپیما افزایش پیدا کند Glide Angel هواپیما نیز افزایش پیدا میکند و اگر Drag کاهش پیدا کند Glide Angel نیز کاهش می یابد و مقدار مسافتی را که هواپیما طی میکند بیشتر خواهد شد .

نکته مهم :

در زمان Head Wind سرعت Glide را باید حدود 5 نات افزایش دهیم ولی در حالت Tail Wind باید این سرعت را افزایش دهیم .

نکته مهم

هواپیما در موقع Landing چون Flap و چرخش باز است Drag زیاد میشود و باعث میشود که Glide Angel افزایش پیدا کرده و در نتیجه Glide Distance کاهش پیدا کند.

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Angle of Attack

زاویه حمله – زاویه α آلفا

می توان گفت که یکی از مهمترین عوامل ایجاد نیروی برآ دارا بودن زاویه حمله است.

در اینجا مفهموم Chord Line (خط وتر بال) اهمیت می یابد که در مورد آن در آینده صحبت خواهد شد.

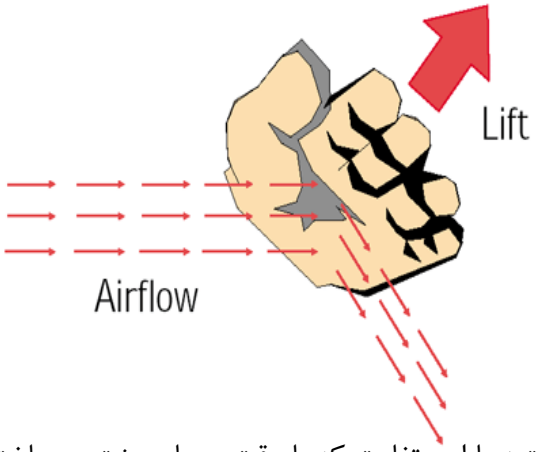
زاویه ای که Relative (باد نسبی) با Chord Line (خط وتر بال) می سازد زاویه حمله (α) نامیده می شود.

یک هواپیما برای اینکه بتواند صعود کند دماغه خود را بالا می دهد اما در حقیقت صعود هواپیما ناشی از بالا رفتن دماغه نیست بلکه با بالا رفتن دماغه هواپیما زاویه حمله بال افزایش یافته و بالطبع نیروی برآی بیشتری تولید شده و امکان صعود را برای هواپیما بوجود می آورد.

زاویه حمله (α) می تواند مبنایی برای تعیین نرخ صعود هواپیما نیز باشد.

اگر در یک اتومبیل که با سرعت زیاد در حال حرکت است دستتان را از پنجره بیرون آورده و انرا بصورت یک بال در مقابل جریان هوا قرار دهید و سپس مقداری دستتان را مایل کنید میبینید که با افزایش زاویه حمله دست شما میزان نیروی بالا برنده بیشتر و بیشتر می شود.

اینجاست که منظور از نیروی برا و زاویه حمله را بیشتر می توان درک نمود.



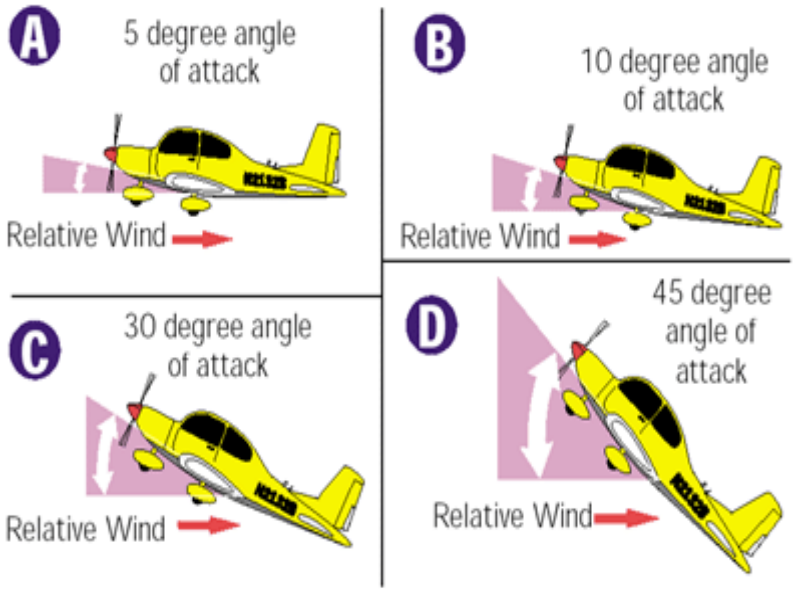
بالهای یک هواپیما نیز چیزی بیشتر از یک دست فرضی شبیه دست شما نیستند با این تفاوت که با دقت بسیار بیشتری ساخته شده و دارای سطوح صاف و همسانی است که که به تولید مساوی نیروی برآ در تمام نقاط بال و در نتیجه تعادل آن کمک بسیار می نماید.

هر چه بال هواپیما زاویه حمله بیشتری داشته باشد برای بیشتری تولید کرده و هواپیما سریعتر صعود می کند.

حال ممکن است یک سوال پیش بیاید.

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی



اگر با افزایش زاویه حمله برآ هم افزایش پیدا می کند پس آیا هیچ محدودیتی برای افزایش زاویه حمله نداریم ؟

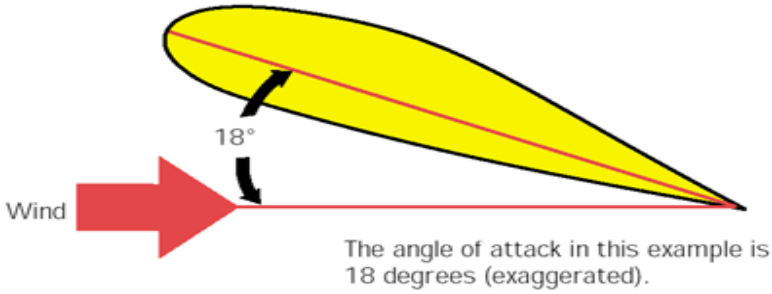
و اگر اینگونه باشد هروقت بخواهیم می توانیم نیروی برآ را به میزان دلخواه افزایش دهیم؟

در پاسخ باید گفت که نیروی برا تا حد مشخصی با افزایش زاویه آلفا (زاویه حمله) افزایش

می یابد.

Maximum Angle

زاویه حمله ای را که در آن نیروی برآ شروع به کاهش یافتن می کند Maximum Angle (حداکثر زاویه حمله یا زاویه حمله صفر) می نامیم.



یک بال چگونه نیروی برآ تولید می کند؟

هنگامیکه یک ایرفویل یا بال در حال حرکت در هواست مولکول های هوا در لبه حمله از هم گسیخته شده و تعدادی به سمت بالای بال و تعدادی نیز بسمت پایین بال به مسیر خود ادامه می دهند.

بر اساس قانون زمانهای انتقال مساوی ، مولکول هایی که از بالای بال می گذرند برای اینکه همزمان با مولکول هایی که از پایین بال گذر می کنند به لبه فرار بال برسند باید با سرعت بیشتری حرکت کنند.

بر اساس قانون برنولی هر سیالی مانند هوا در صورت افزایش سرعت با کاهش فشار روبرو می شود. در نتیجه جریانی که که از بالای بال می گذرد دارای فشار کمتری نسبت به جریان هوایی است که از سطح زیرین بال می گذرد.

بدلیل اینکه هوای زیر بال پر فشار تر از هوای روی بال است نیرویی موسوم به نیروی برآ تولید شده و بال به سمت بالا متمایل می گردد.

زاویه حمله (α) چگونه باعث افزایش برآ می شود؟

هنگامیکه زاویه بال با باد نسبی (Relative) که زاویه حمله زا تشکیل می دهند افزایش می یابد مقدار بیشتری از هوا به سطح پایینی بال برخورد می کند و با کاهش سرعت هوا بر فشار هوای زیر بال افزوده می شود.

بهمین دلیل خلبان هواپیمایی که می خواهد از سطح زمین برخیزد بواسطه اینکه سرعت ان بسیار کم است و بال قادر به تولید نیروی برآی کافی جهت برخاست نیست با بالا دادن دماغه هواپیما زاویه حمله (α) را افزایش داده و بالها نیروی برآی بیشتری تولید و عمل Take-off صورت می پذیرد.

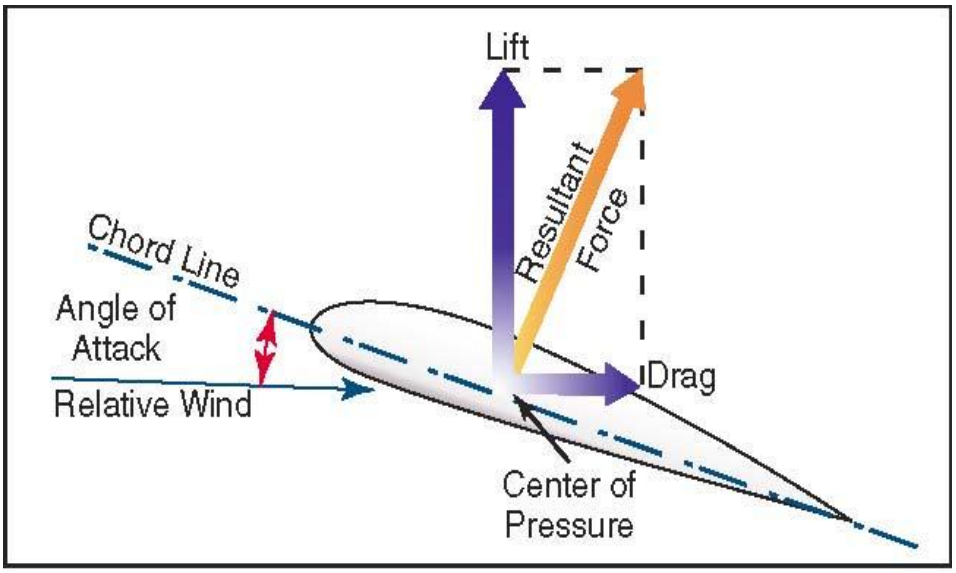


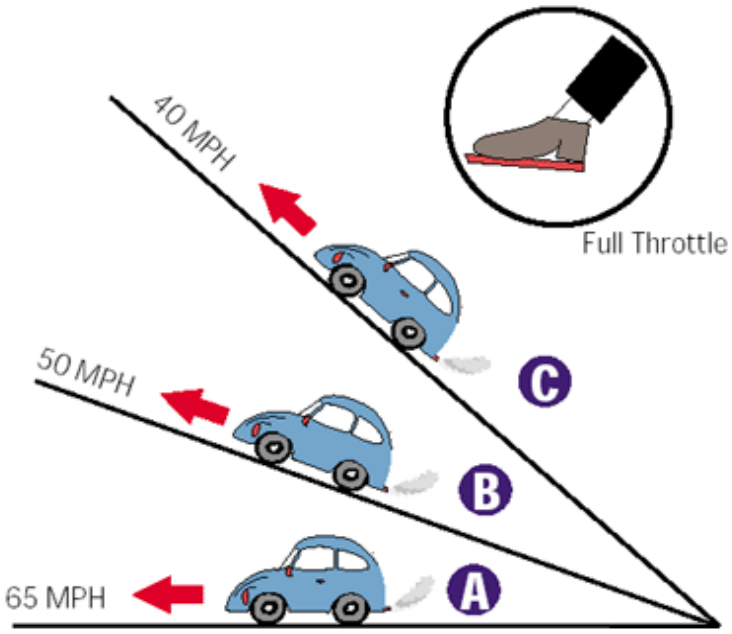
Figure 2-9. Force vectors on an airfoil.

البته کاهش سرعت و جبران نیروی برآی از دست رفته با افزایش زاویه حمله (α) تا حدی امکان پذیر است و محدودیت هایی نیز دارد.

هواپیما چگونه صعود می کند؟

در پرواز به عمل اوج گیری Climb و به عمل کاهش ارتفاع Descent گفته می شود .هواپیمایی که در حال صعود و افزایش ارتفاع است دقیقا شبیه اتومبیلی است که می خواهد از تپه ای بالا برود . یعنی هم اتومبیل و هم هواپیما به قیمت افزایش ارتفاع و صعود سرعت از دست می دهند.

تصور کنید که حداکثر سرعت اتومبیلی سطح صاف و هموار 65 m/h باشد حال اگر این اتومبیل بخواهد از تپه B بالا برود بناچاربرای غلبه بر نیروی جاذبه اضافی که در بالا رفتن از تپه بوجود می آید مقداری از نیروی خود را از دست می دهد و درنتیجه با کاهش شتاب روبرو و از سرعت آن کاسته می شودو به 50 m/h میرسد.

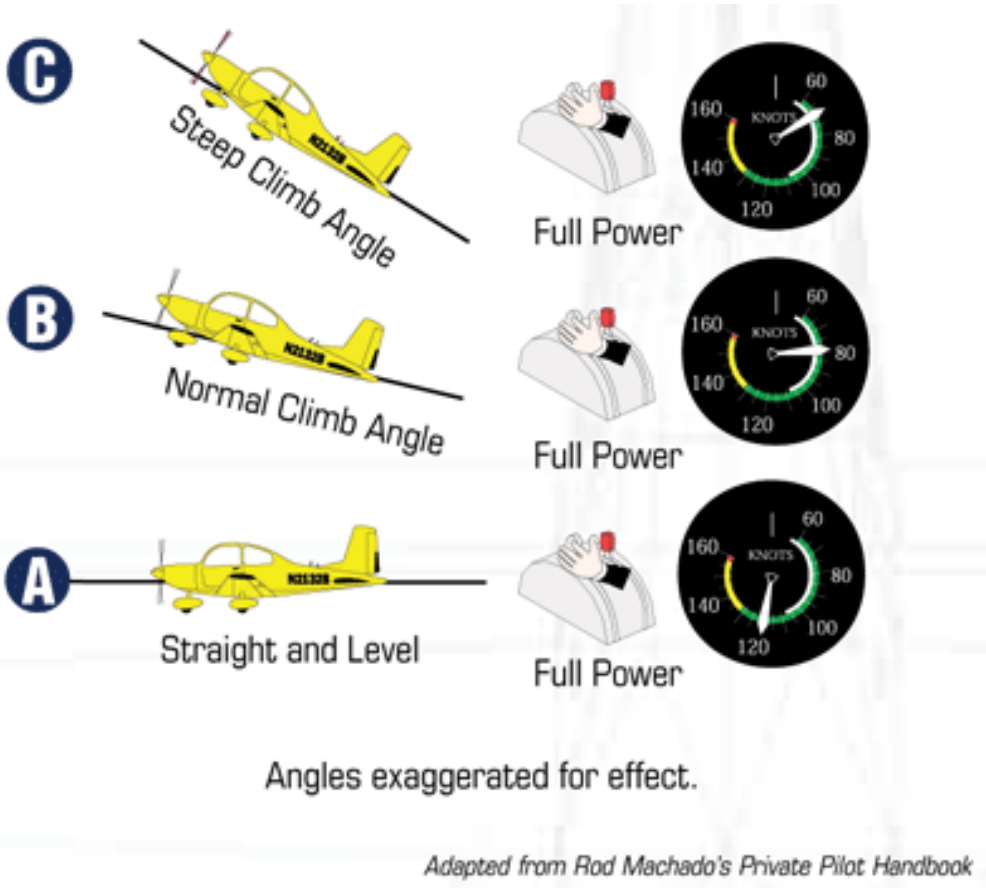


حال تصور کنید همین اتومبیل می خواهد از تپه C بالا برود. طبیعتا با افزایش ارتفاع بمیزان بیشتر بناچار دوباره قسمت دیگری از نیروی اتومبیل صرف غلبه بر نیروی جاذبه اضافی تپه C شده و نتیجتا دوباره با کاهش سرعت مواجه خواهیم بود و سرعت اتومبیل به 40 m/h میرسد.

هواپیما نیز در اوج گیری از مفهمو مشابهی پیروی می کند.

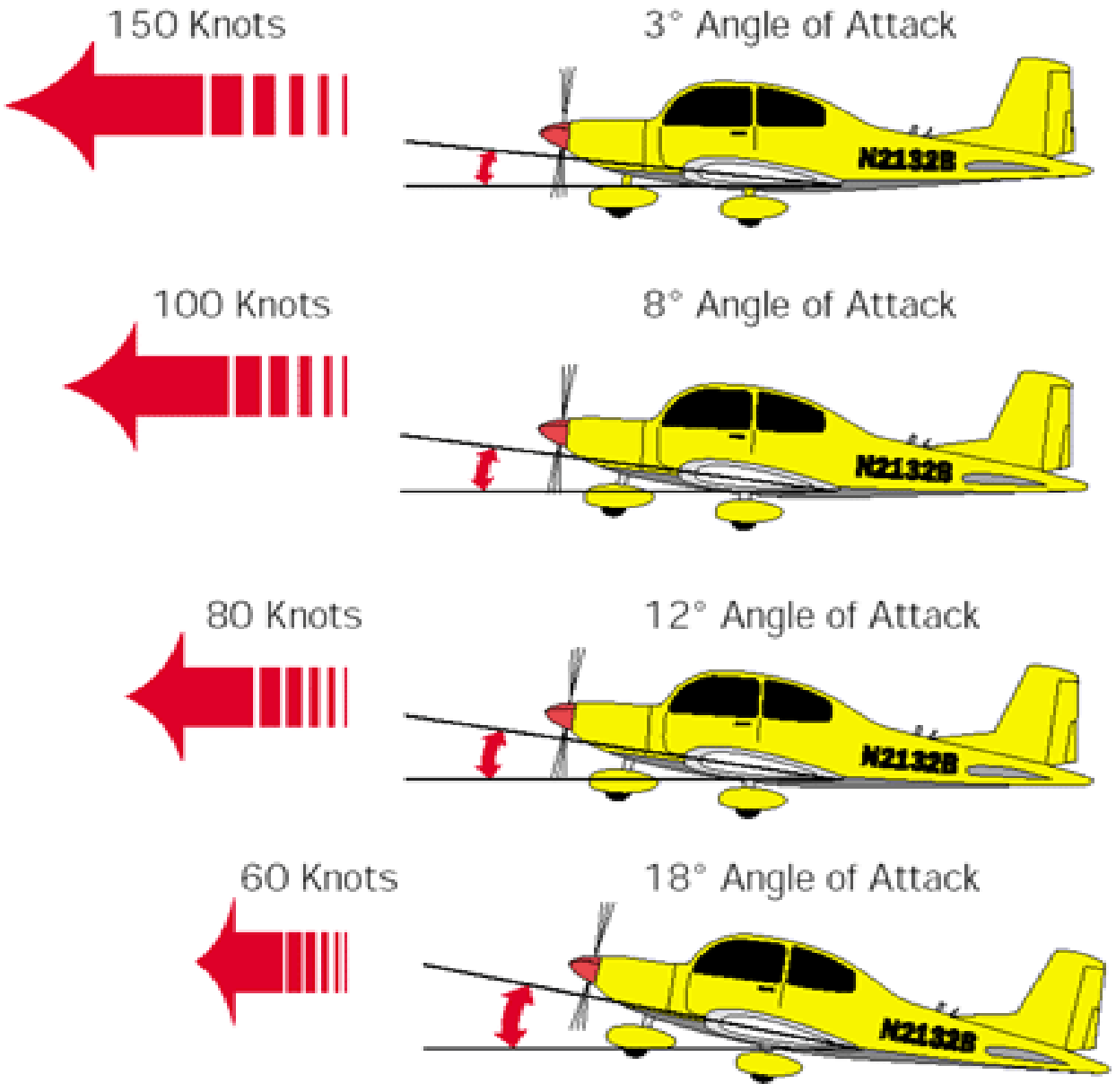
هواپیمایی که در حداکثرقدرت در مسیر مستقیم می تواند با سرعت 120 Knot حرکت کند اگر بخواهد با زاویه 30درجه صعود کند به قیمت افزایش ارتفاع سرعت خود را تا 80 Knot از دست می دهد.

حال اگر همین هواپیما بخواهد Steep Climb (صعود عمقی) انجام دهد بدلیل زاویه زیاد در صعود اگر چه ارتفاع زیادی بدست می آورد و نرخ صعود در VSI(Vertical Speed Indicator) بسیار بالا می رود به همان نسبت با کاهش سرعت روبرو خواهد بود و اگر این نوع اوج گیری بیش از حد ادامه یابد حالت Stall (واماندگی) بوجود آمده و هواپیما سقوط خواهد کرد.



به حداقل سرعتی که هواپیما می تواند به پرواز درآید (همان سرعت Take-offدر شرایط خاص) سرعت واماندگی یا Stall می گویند.

و این بدان معناست که در سرعتی پایین تر از این میزان جریان هوای لازم برای تولید نیروی برآ در زیر بال بوجود نمی آید و تولید نشدن نیروی برا هم بمعنی سقوط و یا در ارتفاع بالا از دست دادن شدید ارتفاع خواهد بود.



پس همواره در یک صعود موفق باید به گونه ای زاویه صعود مناسب را انتخاب نمود که هم نرخ صعود خوبی در اختیار داشته باشیم و هم کاهش سرعت بگونه ای باشد که سریعا به سرعت Stall نرسیده و به مشکل بر نخوریم.

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

ILAM CIVIL AVIATION TRAINING

تحت نظارت مرکز آموزش فنون و خدمات هوایی

Best Glide Ratio

نسبت مسافتی را که هواپیما به صورت افقی طی میکند به مقدار ارتفاعی که از دست میدهد را Glide Ratio میگویند

Best Glide Ratioهر هواپیما در زمانی تعریف میشود که Best Glide Speed را حفظ کنیم

در این شرایط هواپیما Best Glide Angel را نگه میدارد که در این حالت نسبت L/D Ratio در ماکزیمم خود قرار دارد .

نکته مهم :

اگر در زمان Engine Fail که هواپیما با سرعت Best Glide Speed در حال Descent است خلبان سرعتی کمتر یا بیشتر از سرعت Glide تعریف شده خود را نگه دارد نسبت L/D Ratio کم خواهد شد به دلیل اینکه در زمانی که سرعت هواپیما کم میشود Induce Dragافزایش پیدا میکند و در نتیجه Total Drag هواپیما افزایش خواهد یافت

این افزایش Drag مقدار Glide Angel هواپیما را تغییر میدهد و نسبت L/D Ratio تغییر میکند و در زمانی که سرعت افزایش پیدا کند Parasite Drag هواپیما زیاد شده و باز هم باعث تغییر Glide Angel و در نتیجه تغییر L/D Ratioرا به همراه دارد

Ground Effect

اگر فاصله عمودی هواپیما تا زمین به اندازه یک Wing Span بشود را Ground Effect Altitude میگویند .

زمانی که هواپیما روی زمین قرار دارد زاویه Up Wash و Down Wash ی که از روی بال عبور میکند کم است

هوای Down Wash با هوایی که از زیر بال عبور میکند زاویه ای میسازد که اصطلاحا این زاویه را Induced A.O.Aمی نامند

هرچه A.O.A هواپیما بیشتر باشد زاویه Induced A.O.A به Airfoil نزدیکتر میشود

نزدیک شدن این زاویه به Airfoil عامل افزایش Total Drag هواپیما خواهد شد و چون رابطه مستقیم با A.O.A هواپیما دارد Dragی که تولید میکند زیر مجموعه Induced Drag محسوب میشود و در زمان Take Offچون A.O.A هواپیما کم است مقدار Induced A.O.A در فاصله ای دور تر از Airfoil تشکیل میشود

هر چه که این فاصله دور تر باشد Induced Drag کمتر خواهد شد به همین دلیل در زمان بلند شدن هواپیما میتواند با سرعتی کمتر از Take Off Speed خود Air Born شود

(در نقطه ای که هنوز Lift کافی برای هواپیما تولید نشده است)

ولی بیشترین ارتفاعی را که میتواند در این حالت بگیرد به اندازه یک Wing Span است که اگر هواپیما از این ارتفاع عبور کند افزایش A.O.A باعث افزایش Total Drag هواپیما میشود و از طرفی چون سرعت هواپیما نیز کم میباشد باعث میشود که هواپیما به سمت زمین برگردد

به همین دلیل اگر هواپیما زیر سرعت Take Off Speed خود Air Born شد باید هواپیما را در Ground Effect Altitude نگه داریم تا اینکه سرعت آن به Normal Climb Speed برسد تا بتواند از این ارتفاع عبور کند .

مادامی که هواپیما در این ارتفاع با یک A.O.A کم قرار دارد زاویه Up Wash و Down Wash و مقدار Wing Vortex های دو سر بال کم است اصطلاحا این خاصیت را Ground Effect میگویند که بیشترین خطر آن در زمان Take Off است.

Adverse Yaw

هنگامی که هواپیما وارد گردش میشود Aileron خارجی پایین آمده است و A.O.A بیشتری نسبت به بال داخلی دارد به همین دلیل Induced Drag بال خارجی بیشتر شده و هواپیما به سمت بیرون دایره گردش Yaw میکند .

Over Banking Tendency

چون در گردش بال بیرونی مسافت بیشتری را طی میکند پس سرعتش بیشتر است به همین دلیل Lift بیشتری تولید میکند که این مسئله باعث میشود که بال خارجی بیشتر بالا برود و در نتیجه زاویه Bank بیشتر میشود. این مسئله در Bank های بالای 45 درجه مشهود تر است .

نکته مهم :

برای تصحیح این دو مسئله کافیست به طور همزمان از Rudder برای کنترل و تصحیح Adverse Yaw و از Aileron برای کنترل Over Bank استفاده کنیم.

Loud Factor

هنگامی که هواپیما در یک مسیر منحنی شکل شروع به گردش میکند نیروی گریز از مرکز بر آن وارد میشود که این مسئله با مؤلفه وزن هواپیما برآیندی تشکیل میدهد که بال هواپیما می بایست وزنی بیش از وزن هواپیما را تحمل کند

به این برآیند اصطلاحا Positive g میگویند

اما اگر جهت نیروی گریز از مرکز همجهت با Liftشود در زمان Dive هواپیما وزن کمتری را تجربه میکند که به آن اصطلاحا Negative gمیگویند

Loud Factor مستقیما با زاویه Bank Angel هواپیما رابطه دارد.

Maneuvering Speed

سرعتی است که هواپیما میتواند در این سرعت متنورهایی را که سازنده هواپیما در POH تعریف کرده را انجام دهد بدون اینکه آسیبی به هواپیما برسد .

این سرعت با افزایش وزن هواپیما افزایش پیدا کرده و با کاهش وزن هواپیما کم میشود .

Left Turning Tendency

عواملی که باعث تمایل هواپیما به انحراف به سمت چپ میشوند عبارتند از:

- Torque
- Gyroscopic Precession
- P Factor
- Spiraling Slip Stream

1) Torque

چون ملخ از دید خلبان حرکتی ساعتگرد دارد طبق قانون سوم نیوتن هواپیما حول محور طولی خلاف جهت عقربه های ساعت یعنی به سمت چپ میگردد .

این مسئله در هواپیماهای Single Engine ملخی در هنگام Low Speed و High A.O.A و High Power بیشتر جلوه میکند .

برای جلوگیری از این پدیده میبایست مقداری Yuck را به سمت راست داد اما در برخی از هواپیماها Angel Of Incidence بال چپ را بیشتر میگیرند تا این مشکل خود به خود رفع شود .

2) Gyroscopic Precession

Precession از خواص Gyro است که اگر به یک جسم دوار نیرو وارد شود عکس العمل آن در جهت دوران 90 درجه بعد از نقطه اثر نیرو است .

در هواپیماهای Single Engineملخی هنگامی که خلبان Stick را به سمت جلو میدهد عکس العمل آن در روی ملخ 90 درجه بعد اعمال میشود و در نتیجه هواپیما به سمت چپ Yaw میکند

Precession معمولا خود را در هنگام Take Off در هواپیماهای نشان میدهد که Tail Weel هستند

چون این نوع هواپیماها برای بلند شدن نیاز دارند که توسط یک نیروی Forward Pressure توسط فرامین چرخ Tail را از زمین جدا کنند که این خود عامل Precession میگردد.

3) P Factor (Asymmetric Thrust)

هنگامی که هواپیما در High Power و High A.O.A پرواز میکند ملخی که به سمت پایین می آید نسبت به ملخ سمت چپ که به سمت بالا میرود A.O.A بیشتری دارد یعنی Lift بیشتری دارد یا به عبارت دیگر Thrust بیشتری دارد که این مطلب باعث گردش هواپیما به سمت چپ میشود .

4) Spiraling Slip Stream

وقتی هواپیما High Power و High A.O.A است جریان هوا به دور بدنه میپیچد و در انتها با قسمت Vertical Fin برخورد میکند در نتیجه Tail هواپیما به سمت راست منحرف میشود و Nose هواپیما حول CG به سمت چپ Yaw میکند

نکته مهم :

این چهار حالت در High Power و High A.O.A و Low Speed اتفاق می افتد که بیشتر در زمان Take Off و Initial Climbو Slow Flight اتفاق می افتد و اگر خلبان از این مسئله غافل شوند هواپیما به سمت چپ منحرف میشود .

در طراحی هواپیما دو مسئله رعایت شده تا این مشکل رفع شود اول اینکه Angel Of Incidence بال چپ را بیشتر از بال راست میگیرند و دوم آنکه Rudderهواپیما را مقداری متمایل به چپ میکنند.

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Stability
پایداری

در فیزیک سه نوع تعریف برای Stability دلریم که عبارتند از:

1) تمایل هر جسم به برگشتن به حالت اولیه پس از اعمال نیروی خارجی به آن
2) باقی ماندن در حالت جدید وقتی که به آن نیرو وارد شود
3) تمایل به دور شدن از حالت اولیه بعد از اعمال نیروی خارجی

که حالت اول را Positive Stability

حالت دوم را Neutral Stability

و حالت سوم را Negative Stability مینامند .

مهمترین Stabilityی که در طراحی یک هواپیما به کار میرود Positive Stability است ولی عملا هواپیما Positive و Neutralاست .

هر کدام از Stability های فوق به دو زیر مجموعه Dynamic و Static تجزیه میشوند

یعنی در مورد Positive Stability میتوان گفت Positive Static Stability و Positive Dynamic Stability

که این دو اصطلاح در معنی با هم متفاوتند

Positive Stability یعنی تمایل ذاتی که در هواپیما وجود دارد که معمولا در طراحی هواپیما برای بوجود آوردن Stabilityمورد نظر آیتم هایی لازم است لحاظ گردد

ولی منظور از Dynamic عملی است که هواپیما در بوجود آوردن آن Stability در هنگام پرواز از خود نشان میدهد

Stability در سه محور هواپیما به شرح زیر است:

1) Longitudinal Stability

پایداری در محور طولی یا به تعبیر دیگر Stability حول محور Lateral است

.یعنی هواپیما در مقابل حرکت Pitch Up و Pitch Down مقاومت دارد . برای طراحی این پایداری این مسائل را باید در هواپیما لحاظ کنیم:

1) هواپیما را طوری طراحی میکنند که Nose Heavy باشد یعنی تمایل مقداری به Nose Downشدن است .

2) Horizontal Stabilator را در Negative A.O.A طراحی میکنند تا بتواند Negative Liftتولید کند یا به تعبیری دیگر باعث بوجود آمدن یک Tail Down Force روی هواپیما باشد تا هواپیما بتواند Nose Down Tendency را جبران کند به طوری که در زمانی که هواپیما Pitch Up میشود سرعت الیاف هوا روی هواپیما کاهش می یابد

چون سرعت روی Horizontal Stabilator کم شده است جلو بودن CG باعث پایین آمدن دماغه میشود که در این حالت سرعت هواپیما افزایش می یابد این افزایش سرعت باعث میگردد Negative Lift ی که توسط Horizontal Stabilator تولید میشود بیشتر شود در نتیجه باعث میگردد دماغه به طرف بالا حذکت کند و باز این چرخه تکرار گردد .

برای اینکه هواپیما بتواند به ارتفاع اولیه خود برسد و به Attitude اولیه خود برگردد و ثابت بماند تغییر CG هواپیما بر روی این Stabilityتاثیر میگذارد .

در هواپیماهای کوچک زاویه Horizontal Stabilatorثابت میباشد چون تغییرات وزن در این هواپیماها محسوس نمیباشد ولی در هواپیماهای سنگین که تغییرات وزن در آنها محسوس است Horizontal Stabilatorدر یک زاویه ثابت قرار ندارد بلکه با توجه به تغییرات وزن و Flap Setting مقدار Stab Setting برای Take Off و Landing هواپیما تعریف میشود که این کار توسط جداول Performance هواپیما قابل محاسبه است .

مهمترین Stability هواپیما را میتوان Longitudinal Stability به حساب آورد چون در زمان Unstable بودن هواپیما را به Stallنزدیک میکند .

2) Lateral Stability

پایداری در امتداد محور عرضی یا پایداری حول محور طولی است

به تعبیر دیگر مقاوت هواپیما در برابر Bank وRoll را میگویند . برای بوجود آوردن این Stabilityسه طراحی را در نظر میگیرند که عبارتند از :

1) Dihedral

Upward Angel بین بال و افق میباشد که مهمترین عامل بوجود آمدن Lateral Stability میباشد .

زمانی که یک هواپیما وارد Bank میشود بال داخل گردش نسبت به الیاف هوا Air Stream تر میشود و باعث میشود Lift بیشتری نسبت به بال بیرون گردش تولید کند .

در اصل Dihedral Angel به دلیل Differential Pressure دو بال سبب ایجاد این پایداری میشود .

2) Swept Back

در حالت Side Slip الیاف هوا با زاویه بیشتری به بال برخورد میکنند و بال پایین Lift بیشتری تولید کرده و بالا می آید

3) Keel Effect

در حالت Side Slip الیاف هوا به Keel Area برخورد کرده و باعث Level شدن هواپیما میشود .

3) Vertical Stability

پایداری حول محور عمودی یا ثابت ماندن در یک راستای مشخص را Vertical Stability می نامند

یا به تعبیری دیگر Directional Stability .

که همان مقاومت هواپیما در مقابل Yaw کردن هواپیما است .

برای بوجود آوردن این پایداری این سه آیتم را در طراحی لحاظ میکنند:

1) Swept Back
2) Keel Effect
3) CG Position (Slightly Nose Heavy)

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Aircraft Turning Force

در زمان گردش هواپیما مؤلفه Lift به دو زیر مجموعه تقسیم میشود که مؤلفه عمودی آن همیشه در جهت وزن قرار دارد و در هنگام گردش باید وزن هواپیما را خنثی کند .

هرچه Bank Angel هواپیما افزایش پیدا کند مؤلفه عمودی Lift عددی کوچکتر خواهد شد

یا به تعبیری دیگر Effective Weight هواپیما نسبت به Lift ی که آنرا میتواند خنثی کند افزایش می یابد که اصطلاحا آنرا Load Factorمی نامیم

Load Factor زیر مجموعه Bank Angel محسوب میشود ولی عوامل دیگری مانند Turbulence و Vertical Gust میتوانند Load Factor را تغییر دهند .

هر هواپیمایی نسبت به Load Factor دارای محدودیت میباشدکه در POH به آن اشاره شده است .

یکی از عواملی که Load Factor را کاهش میدهد Flap Setting است .

مؤلفه افقی Lift که عامل گردش هواپیما میباشد اصطلاحا Turning Force یا Centripetal Force نامیده میشود در هر گردش نیرویی وجود دارد که خلاف جهت گردش عمل میکند و تمایل دارد که هواپیما را به بیرون گردش هدایت کند که اصطلاحا این نیرو را Centrifugal Force مینامند .

از نظر برآیند نیروها هنگام گردش میتوان سه حالت زیر را بیان کرد:

1) CP = CF ---------- Coordinated Turn
2) CP > CF ---------- Slip Turn
3) CP < CF ---------- Skid Turn

انواع Turn

نوع گردش هواپیما با توجه به Bank Angel آن تعریف میشود که میتوان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

1) Shallow Turn ---------- Bank Angel < 15
2) Medium Turn ---------- 15 < Bank Angel < 30
3) Steep Turn (Over Bank) ---------- Bank Angel > 30

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Flight Controls

Flight Controlهواپیماکلا به سه دسته زیر تقسیم می شود:

1) Primary Control

سطوحی هستند که سه حرکت اصلی هواپیما را کنترل میکنند که عبارتند از Aileronو Rudder و Elevator

2) Secondary Control

در اصل شامل Tabs میباشد که روی هواپیما نصب شده تا به کمک آنها بتوان هواپیما را کنترل کرد .

هدف اصلی این سطوح کم کردن فشار از روی فرامین است

. حرکت Servo Tab برعکس Control Surface میباشد که معمولا روی هر Control Surface از این Servo استفاده میشود

Trim Tab هم مانند Servo Tab عمل میکند و فشار پشت فرامین را در هنگام Climb و Descent کاهش میدهد در اصل بیشتر برای کنترل هواپیما در حول محور عرضی مورد استفاده قرار میگیرد .

اما Anti servo Tabها هم جهت با Main Control Surface حرکت میکنند

و کارشان این است که حرکت Control Surface را محدود میکند

Control Tab معمولا در هواپیماهای High Performance مورد استفاده قرار میگیرد و زمانی که سیستم Hydraulic هواپیما از کار بیفتد این Control Tab میتواند وظیفه هدایت هواپیما را به عهده بگیرد .

3) Auxiliary Control

شامل Flap و Slat و Slot یا به تعبیر دیگرWing High Lift Devices و Spoilerو Speed Breakمیباشد.

نکته مهم

Wing High Lift Devices که در Leading Edge استفاده میشود شامل Slat و Slot و (Kruger (Leading edge هستند

Slat و Slot تغییری در Camberبال ندارند و هدف آنها به تاخیر انداختن Separation جریان هوا میباشد .

معمولا کنترل Slat به صورت اتوماتیک یا دستی میباشد که حرکت آن در هواپیماهای Transport با Handel اصلی کنترل Trailing Edge Flapمیباشد .

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Airfoil Design Factor

عواملی که در طراحی یک Airfoil موثرند عبارتند از:

- Plan Form
- Camber
- Aspect Ratio
- Wing Area

1) Plan Form

به شکل بال و بدنه هواپیما از نمای فوقانی پلن فورم میگوییم.

بالهای هواپیما کلا از نظر Wing Shape و Performance به پنج دسته تقسیم میشوند که استفاده از هر Airfoil به نسبت طراحی آن میباشد که برای آن هواپیما در نظر گرفته میشود که این پنج نوع بال عبارتند از:

- Straight Wing (Rectangular)
- Tapered Wing
- Elliptical Wing
- Sweptback Wing
- Delta Wing

Straight Wing

معمولا در هواپیماهای Low Speed از این نوع بال استفاده میکنیم برتری این بال در این است که از نظر طراحی ساده است و از نظر Stall Stand Point بهترین بالی است که Stall هواپیما را به خلبان نشان میدهد و ضعف این بال آن است که وزن زیادی دارد.

Tapered Wing & Elliptical Wing

این دو دسته بال در هواپیماهای High Speed تر مورد استفاده قرار میگیرند که از نظر طراحی نسبت به بال Straight طراحی مشکلتری دارند و از نظر Stall Stand Point به خوبی بالهای Straight عمل نمیکنند ولی وزنشان نسبت به بالهای Straight کمتر است

Sweptback Wing & Delta Wing

این دو دسته بال در هواپیماهای High Performance استفاده میشوند . هواپیماهایی که از این دسته بالها استفاده میکنند دارای Landing Speedهای بالایی هستند به همین جهت از نظر طول باند مورد نیاز برای نشستن دارای محدودیت هستند . یکی از بزرگترین برتریهای آنها Critical Mach Number بالای آنها است یعنی اینکه هواپیماهایی که از این نوع بالها استفاده میکنند قادر هستند سرعت خود را تا درصدی نزدیک به سرعت صوت افزایش دهند. (در قسمت ساختار بال هواپیما بیشتر در این مورد توضیح داده شده است)

2) Camber

به انحنای دو طرف بال میگویند که عامل اصلی تولید اختلاف فشار است که معمولا انحنای روی بال بیشتر از انحنای زیر بال است هرچه این انحنا بیشتر باشد میزان تولید Lift بیشتر میشود ولی این انحنا دارای محدودیت است.

3) Aspect Ratio

اصطلاحا نسبت طول بال به عرض بال را که همان نسبت Wing Span بال به Average Chord line بال یا همان Mean Aerodynamic Chord (MAC) میباشد را Aspect Ratio میگویند .

به تعبیر دیگر بدین معنا است که Airfoil در یک A.O.A ثابت به ازای Lift تولید شده چه مقدار Drag تولید میکند

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{\text{Wing Span}}{\text{Average Chord Line}}$$

در کل Airfoil ها را از نظر Aspect Ratio به دودسته تقسیم می شوند:

- Low Aspect Ratio
- High Aspect Ratio

Low Aspect Ratio

بالهایی هستند که طول و عرض زیادی دارند

High Aspect Ratio

بالهایی هستند که دارای طول زیاد و عرض کم هستند و از نظر کارایی و تولید Lift از Low Aspect Ratio کارآمد تر میباشند

زیرا زمانی که Wing Vortex توسط بالها بوجود می آیند با حرکت هوا از پرفشار به کم فشار درصدی از Total Lift هواپیما کاهش می یابد هرچه عرض بال در Wing Tip کمتر باشد درصدی از Lift ی که از دست میدهیم عدد کوچکتری خواهد شد .

یعنی در ازای تولید یک واحد Lift هواپیما Drag کمتری تولید میکند Efficiency . این بالها در هنگام Engine Fail بالاتر است که این Efficiencyرا بر اساس Lift به مقدار Drag Ratio در POH هواپیما تعریف میکنند

4) Wing Area

به مساحت کل بال Wing Area میگوییم که همان S در فرمول Lift است . هرچه مساحت بال بیشتر شود Lift تولید شده بیشتر خواهد شد .

بر اساس فرمول Lift میتوان گفت که پنج عامل در بوجود آمدن Lift هواپیما موثرند که عبارتند از:

- Aircraft Speed
- Wing Area
- Air Density
- Wing Design
- Angel Of Attack

عوامل 4 و 5 دو آیتمی هستند که تعیین کننده Coefficient Of Lift یا همان CL هستند .

ولی خلبان عملا در پرواز با سه آیتم میتواند Lift هواپیما را کنترل کند:

- سرعت هواپیما
- تغییر زاویه حمله A.O.A
- تغییر Wing Area وWing Surface

چون Flap هایی که روی هواپیما نصب شده است همه نمیتوانند سطح بال را تغییر دهند به همین جهت تغییر سطح بال در بعضی از موارد مورد استفاده قرار میگیرد .

از این رو مهمترین عوامل تغییر Lift تغییر سرعت و تغییر A.O.A می باشد که در اصل این دو آیتم عکس یکدیگر عمل میکنند . با افزایش A.O.A چون حرکت الیاف هوا روی Airfoil کمتر میشود در اصل سرعت هواپیما کم میشود ولی هوای پرفشار زیر بال در اثر Impact Air یا همان هوای برخوردی فشارش بیشتر میشود و چون اختلاف فشار بین دو منطقه اطراف بال زیاد میشود عامل افزایش Lift میشود .

افزایش A.O.A باعث افزایش Lift هواپیما میشود . در اصل با افزایش A.O.Aمقدار CL افزایش پیدا میکند که این افزایش باعث تولید Lift بیشتر میگردد .

افزایش A.O.A مقدار CL یا همان Center Of Lift یا همان مرکز برآیند نیروی Lift تولید شده توسط Airfoil را به طرف جلو یعنی به طرف Leading Edgeحرکت میدهد یعنی به طرف جایی که بیشترین اختلاف فشار وجود دارد .

افزایشA.O.A تا یک حد ماکزیممی که توسط سازنده هواپیما تعریف شدهاست میتواند عامل افزایش Lift باشد ولی اگر این زاویه از حد تعریف شده خود عبور کند افزایش A.O.A عامل کاهش Lift هواپیما خواهد شد که در این حالت هوای High Pressure زیر بال از قسمت Trailing Edge به روی بال حرکت میکند و حالت Air Stream هوا را به هم میزند که اصطلاحا به این حالت Stallمیگوییم

Critical A.O.A

ماکزیمم A.O.A ی که هواپیما هنوز Lift تولید میکند را Critical A.O.A مینامند

Critical A.O.Aهر Airfoil عددی است ثابت که با هیچ فاکتوری تغییر نمیکند و هواپیما در هر شرایط و هر Attitude پروازی که باشد اگر به این زاویه برسد Stall Warning خواهد داشت

چون Lift Indicator هواپیما Air Speed هواپیما است اصطلاحا سرعتی را که در آن سرعت به زاویه بحرانی یا Critical A.O.Aمیرسیم را Stall Speed میگوییم .زمانی که هواپیما به Critical A.O.Aرسید CL هواپیما به حداکثر خود رسیده است .

Air Stream

عبارت است از جریان الیاف هوا که شکل Airfoil را Follow کند.
زمانی که هوای پر فشار زیر بال به روی بال حرکت میکند عامل خراب شدن Lift هواپیما میشود . هر چه که A.O.A بیشتر می شود و به Critical A.O.A نزدیکتر میشویم باعث میشود که جریانات Turbulenceکل بال را در بر گیرد و بال نتواند Lift تولید کند در زمانی که این جریانات کل بال هواپیما را در بر بگیرند اصطلاحا میگوییم هواپیما Full Stall کرده است .

نکته مهم :

زمان برابری چهار نیرو وقتی است که هواپیما در حالت Level Flight و Un Accelerated باشد که منظور از Level Flight همان Wings Level بودن هواپیما است و Un Accelerated وقتی است که تغییر Power Setting نداشته باشیم .

عواملی که باعث شوند هواپیما زوئتر به Critical A.O.A برسند عامل افزایش Stall Speedهواپیما بوده و هر آیتمی که باعث شود هواپیما دیرتر به Critical A.O.Aبرسد Stall Speed هواپیما را کاهش میدهد .

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

در کل عوامل موثر بر Stall Speed عبارتند از:

- Aircraft Weight
- Bank Angel
- Load Factor
- CG Position
- Flaps
- Turbulence
- Ice Condition

1) Aircraft Weight

هر چه وزن هواپیما افزایش پیدا کند Lift مورد نیاز نیز افزایش پیدا خواهد کرد یا به تعبیر دیگر حداقل Lift ی که هواپیما نیاز دارد تا بر وزن خود غلبه کند افزایش خواهد یافت یعنی Stall Speed هواپیما افزایش خواهد یافت .

2) Aircraft Weight

زمانی که هواپیما داخل گردش میشود مؤلفه Lift به دو زیر مجموعه تقسیم میگردد که مؤلفه عمودی باید بر وزن هواپیما غلبه کند هرچه که Bank Angel بیشتر شود مؤلفه عمودی Lift کوچکتر میشود و برای ثابت ماندن در یک ارتفاع و جبران کاهش Lift هواپیما باید A.O.A را زیاد کنیم و در نتیجه زمان رسیدن به Critical A.O.A کوتاهتر میشود یا به عبارت دیگر چون هواپیما زودتر به Critical A.O.Aمیرسد سرعت Stall Speed هواپیما زیاد خواهد شد.

3) Load Factor

نسبت Effective Weight هواپیما را به وزن کلی هواپیما Load Factor میگویند که اصطلاحا آنرا G.Load هم میگویند که واحد اندازه گیری آن همان فشار G میباشد و مهمترین آیتمی که آن را تعریف میکند Bank Angel میباشد .

با افزایش Bank Angel چون Vertical Lift عدد کوچکتری میشود پس وزن هواپیما به نسبت Lift ی که آن را تحمل میکند بیشتر شده است که اصطلاحا این نیروی تولیدی را Load Factor میگویند .

اگر Bank Angel هواپیما ثابت بماند Load Factor هم ثابت باقی می ماند . هر هواپیما از نظر Load Factor یک Load Limitدارد که توسط سازنده هواپیما در POH تعریف میشود .

چون Load factor زیر مجموعه Bank angel است پس Stall Speed را افزایش میدهد .

CG Position (4

مرکز ثقل یا همان CG هواپیما روی محور طولی جابجا میشود .

با تغییر CG هواپیما Pitch Motion هواپیما تحت تاثیر قرار میگیرد هرچه که CG به سمت Noseنزدیکتر شود تمایل هواپیما بهNose Down شدن بیشتر میشود .

زمانی که هواپیما Forward CG باشد همیشه نیاز به یک Angelداریم تا هواپیما را در حالت Level بتوانیم نگه داریم این افزایش Angel فاصله هواپیما را تا Critical A.O.A کم کرده و زمان رسیدن به این زاویه کاهش می یابد پس میتوان گفت که Forward CG Position عامل افزایش Stall Speed میباشد .

زمانی که CG هواپیما به Tail هواپیما نزدیک میشود باعث Tail Heavy شدن هواپیما میشود و تمایل هواپیما به Pitch Up شدن میباشد

Aft CG Positionدو تاثیر متفاوت بر Stall Speed دارد .

حالت اول زمانی است که هواپیما در وضعیت High Speed است که در این حالت عامل افزایش Stall Speed است

ولی حالت دوم زمانی رخ میدهد است که هواپیما از Low Speed به High Speedشتاب میگیرد (مانند زمان (T.O که در این زمان Aft CG عامل کاهش Stall Speed میشود.

Flaps (5

Flapعامل تولید Lift برای هواپیما میتواند باشد .

زمانی که Flap ما Extend میشود با تغییری که در Upper Camber بال و Chord Line بوجود می آورد باعث اختلاف فشار بیشتری مابین رو و زیر بال میگردد که این اختلاف فشار بیشتر یعنی Lift بیشتر تولید شده است در نتیجه هواپیما میتواند سرعت خود را کاهش دهد به دلیل اینکه Lift مورد نیاز از طریق افزایش Flap جبران شده .

در نتیجه هواپیما میتواند در سرعتی پایین تر هم حداقل Lift خود را تولید کند پس میتوان گفت که Stall Speed هواپیما با افزایش Flap کاهش می یابد بطوری که اگر هواپیما Full Flap باشد در سرعتی به نام VSO یا همان ابتدای White Arc روی Air Speed Stallخواهد کرد .

Turbulence (6

Turbulenceعامل افزایش Stall speed هواپیما است چون Turbulence میتواند باعث تغییر ناگهانی در جهت Relative Windو هواپیما شود و باعث گردد هواپیما به Critical A.O.A خود برسد.

7) Ice Condition

باعث افزایش Stall Speed هواپیما میشود به دلیل اینکه Ice میتواند شکل Airfoilرا تغییر دهد و باعث گردد که Separation هوا از روی بال زودتر انجام شود و از طرف دیگر Ice عامل افزایش وزن و افزایش Drag برای هواپیما نیز میباشد.

8) Mach

به دلیل Shock Wave ی که ایجاد میکند باعث افزایش Stall Speed میشود .

Airfoilها خود به دو دسته کلی تقسیم میشوند که استفاده از این نوع Airfoil ها بستگی به هدفی که هواپیما برای آن طراحی شده است داردکه میتواند صرفا از یک نوع یا در کنار هم از آنها استفاده کرد که آن دو دسته به شرح زیر میباشند:

- High Speed Airfoil
- Low Speed Airfoil

High Speed Airfoil

Airfoil هایی هستند که اختلاف Upper Camber و Lower Camber در آنها کم است

به تعبیر دیگر این نوع بالها ضخامت کمی دارند و بیشترین کارایی آنها در تولید Lift در سرعتهای بالا میباشد یا به تعبیر دیگر سرعت مهمترین عامل تولید Lift در این نوع بالها میباشد که به همین دلیل این نوع بالها دارای Stall Speedبالایی هستند .

Low Speed Airfoil

Airfoilهایی هستند که اختلاف Upper Camber و Lower Camber در آنها زیاد است

به تعبیر دیگر این نوع بالها ضخامت زیادی دارند . این نوع بالها میتوانند در سرعتهای پائین هم Lift مورد نیاز را تولید کنند .

Angel Of Incidence

زاویه نصب بال

زاویه ما بین محور طولی و Chord Lineرا در یک Airfoil زاویه نصب بال میگویند .

این زاویه باعث میگردد که همیشه یک Positive A.O.Aداشته باشیم بدون اینکه روی فرامین تاثیری بگذاریم به همین دلیل Angel Of Incidence همیشه باعث میگردد تا Forward Visibility افزایش یابد .

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

شناسایی Stall

برای شناسایی Stall چهار راه مطرح میشود

1) **Stall Warning Horn**

یا همان صدای بوقی که هنگام Stall شنیده میشود .

2) **Wing Buffeting**

به لرزشهای بال در زمان Stall میگویند که همان ضرباتی است که الیاف هوا به بال میزنند

3) **Mushy Feeling**

زمانی است که احساس میکنیم فرامین شل و نرم شده است

4) **Fix Pitch**

در موتورهایFix Pitch هواپیما در زمان Stall با افت RPM روبرو میشود

Stall Recovery

چون Stall کردن هواپیما یکی از شرایط بحرانی پرواز است به دلیل آنکه Stall Recovery سریعتر و به موقع انجام شود در طراحی بال مسائلی را مد نظر قرار میدهند تا Wing Root زودتر از Wing Tip به مرحله Stall برسد تا خلبان از Stallهواپیما زودتر باخبر شود

این طراحی ها عبارتند از:

- Wing Twist
- Stall Strips
- Span Wise

1) Wing Twist (Wash Out)

در طراحی بال هواپیما همیشه Angel Of Incidence بال در Wing Root را بیشتر از Wing Tip در نظر میگیرند به طوری که با افزایش A.O.A هواپیما Wing Root سریعتر به Critical A.O.A میرسد و Stall میکند

در صورتی که Wing Tip هنوز به Critical A.O.A نرسیده است و هنوز روی بال جریان Air Stream برقرار است و Positive Aileron Control هنوز در هواپیما وجود دارد .

این طراحی معمولا در هواپیماهای Transport در نظر گرفته میشود .

2) Stall Strips

منظور از Strip استفاده از یک قطعه فلزی است که به Wing Rootبال وصل میشود

با افزایش A.O.A مقداری Separation هوا در اثر برخورد با آن روی بال ایجاد میگردد و باعث میشود که جریان هوا از حالت Air Stream بودن خود خارج شود و به صورت جریانهای Turbulence روی بال ظاهر شود.

به عبارت دیگر Wing Rootزودتر Stallکند و Stall Recovery توسط خلبان زودتر انجام شود

.استفاده از این قطه معمولا در هواپیماهای Low Performance رایج است .

3) Span Wise (Airfoil Variation)

در این نوع طراحی از High Speed Airfoil در Wing Root و از Low Speed Airfoil در قسمت Wing Tip بال استفاده میشود .

با افزایش A.O.A چون سرعت حرکت الیاف هوا روی Airfoil کم میشود قسمت Wing Root بال زودتر Stall میکند چون High Speed Airfoil است و این Airfoil ها در سرعت بالا قادر به تولید Liftهستند .

Wing High Lift Device

از جمله وسائلی که برای هواپیما به این منظور طراحی مشوند میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

1) Trailing Edge Flap
2) Leading Edge Flap
3) Slat
4) Slot

در تمام انواع مختلف هواپیما متداول ترین نوع Flap ی که استفاده میشود Trailing Edge Flap است در صورتی که سه نوع دیگر در هواپیماهای High performance مورد استفاده قرار میگیرند .

استفاده از Flap همیشه عامل افزایش Lift میباشد ولی در کنار این مطلب افزایش Drag نیز دارد پس میتوان گفت که Flap هم خاصیت Lifting دارد و هم خاصیت Dragging

حداکثر Flap ی که هواپیما در زمان Take Off میتواند داشته باشد نصف Full Flap خواهد بود چون در این حالت خاصیت Lifting از خاصیت Dragging است .

در صورتی که در هنگام Landing میتوانیم از Full Flap استفاده کنیم که در این حالت خاصیت Dragging از Lifting بیشتر است و باعث میگردد که هواپیما در حداقل سرعت خود یعنی VSO بتواند Lift تولید کند چون در این حالت هواپیما با سرعتی کمتر Approach میکند و مقدار Landing Distance هواپیما نیز کاهش می یابد .

زمانی که در پرواز Full Flap برای Landing می آییم باید همیشه بعد از Touch کردن هواپیما سریعا حداقل یک پله از Flap را جمع کنیم تا اینکه وزن هواپیما سریعتر روی چرخها قرار گیرد و Breaking Efficiency افزایش پیدا کند .

در General Air Craft مقدار Flap بین صفر تا 40 درجه است که اصطلاحا نسبت به Chord Lineهواپیما Extend میشود .

با Extend شدن Flap مقدار Upper Camber بال زیاد میشود به همین دلیل مولکول هوایی که از روی بال عبور میکند چون مسافت بیشتری را باید طی کند سرعتش افزایش پیدا میکند در نتیجه Low Pressure روی بال کمتر میشود که اصطلاحا میگوییم Lift زیاد شده است .

با Extendشدن Flap هواپیما همیشه CL هواپیما یا همان Center Of Lift هواپیما به طرف عقب حرکت میکند و فاصله آن از CG زیاد میشود به همین دلیل هواپیما Nose Down Tendencyمیگیرد و Forward Visibility خلبان افزایش پیدا میکند و همچنین با Nose Down شدن هواپیما باعث افزایش Rate Of Descent هواپیما میشود

چون Flap علاوه بر خاصیت Lifting خاصیت Dragging نیز دارد این خاصیت باعث میگردد که سرعت هواپیما افزایش پیدا نکند.

در زمانی که Flap هواپیما Extendمیشود جهت Chord Line نیز تغییر میکند پس میتوان گفت که اصلی ترین کار Flap در هنگام Landing است که باعث میشود هواپیما افزایش Rate Of Descent داشته باشد بدون آنکه سرعتش زیاد شود .

آموزشگاه خلبانی ایلام

مسعود فرجی

Center Of Lift

مرکز برآیند Total Lift ی که یک Airfoil تولید میکند را میگویند که معمولا این نقطه روی خط Average Chord Line تغییر میکند .

با افزایش A.O.A هواپیما چون Lift هواپیما زیاد میشود این نقطه به طرفی حرکت میکند که بیشترین اختلاف فشار در آنجا حاکم است که بیشترین اختلاف فشار روی یک Airfoilجایی است که ضخامت بال بیشتر است در نتیجه میتوان گفت که با افزایش A.O.Aهواپیما CL به سمت جلو یا به تعبیری دیگر به سمت Leading Edge حرکت میکند .

انواع Trailing Flap

کلا Flap ها در زمانی که Extend میشوند دو نوع حرکت دارند Down Ward و Back Ward که این نوع حرکات بسته به نوع و طراحی یک Flap دارد

در کل میتوان گفت که همه Flap ها Down Ward حرکت میکنند که حرکت Down Ward یک Flap تاثیری روی Wing Surfaceندارد ولی حرکت Flap به صورت Back Ward عامل افزایش Wing Surface میباشد .

ولی باید به این نکته اشاره کرد که همه Flap ها حرکت Back Ward ندارند .

انواع Trailing Flap عبارتند از:

- Plain Flap
- Slotted Flap
- Split Flap
- Fowler Flap

1) Plain Flap

این نوع Flap معمولا در هواپیماهای Low Performance مورد استفاده قرار میگیرد که حرکت آن صرفا Down Ward است . در این نوع Flap سطح بال تغییر نمیکند ولی جهت Chord Line و همچنین مقدار Upper Camber تغییر میکند .

2) Slotted Flap

این نوع Flap دارای دو حرکت است هم Down Ward و هم Back Ward که این نوع Flapدر زمان استفاده باعث بوجود آمدن یک Slot ما بین Flap و بال میشود و این شکاف باعث میگردد که هوای پر فشار زیر بال به روی بال حرکت کند و کارایی Flap را در تولید Lift افزایش دهد . این نوع Flap معمولا در هواپیماهای High Performance به کار گرفته میشود .

3) Split Flap

این نوع Flap اصطلاحا از نظر Performance و کارایی نسبت به بقیه انواع Flap کمترین کارایی را دارد .

این Flapبا Extend شدن تغییری در شکل Airfoil نمیدهد بلکه فقط یک Plait میباشد که زیر بال باز میشود که در اثر برخورد الیاف هوا با آن منطقه پر فشار زیر بال تقویت میشود و چون اختلاف فشار زیر و روی بال بیشتر میشود اصطلاحا میگوییم Lift ما افزایش پیدا کرده . این نوع Flapدر هواپیماهای قدیمی کار برد داشته و در سیستم های کنونی کاربرد ندارد .

4) Fowler Flap

کارآمد ترین نوع Flap همین نوع است که دو نوع متداول آن عبارتند از Double Slotted Fowler Flap و Triple Slotted Fowler Flapکه این نوع Flap ها در هواپیماهای High Performance مورد استفاده قرار میگیرند

باعث افزایش قابل ملاحظه Wing Surface میشودو در بعضی از مواقع میتواند تا 40درصد افزایش Wing Surface را به دنبال داشته باشد

به همین دلیل هواپیماهایی که از این نوع Flap استفاده میکنند تا حد قابل ملاحظهای میتوانند Approach Speed خود را کاهش دهند.

نکته مهم

Slot یک قطعه ثابت روی بال است ولی Slat یک قطعه متحرک است که معمولا با به حرکت در آمدن Trailing Edge Flap به طور خودکار حرکت میکند .

باز شدن Slat رو به جلو هنگامی که هواپیما در High A.O.A قرار دارد با افزایش Effective Camber تولید Lift را افزایش میدهد همچنین از شکاف بین Slat و بال جریان هوا از قسمت زیر بال به روی بال آمد و باعث چسبیدن Boundary Layer میشود که این امر باعث به تاخیر افتادن Stall است.