شرکت پرآورپارس

تحقیقات و طراحی مهندسی (سهامی خاص)

مرکز آموزش و خدمات هوایی سپهر

اصول پرواز

اصول پرواز

یادگیری پرواز با هواپیمای میکرولایت و بکارگیری کنترلهای مختلف و آگاه شدن از اثراتش به مسیر پروازتان بستگی دارد. هر چند دانستن این آثار به تنهایی کافی نمی‌باشد؛ اما دانستن دلایلش به وقوع پیوستن این آثار و در حقیقت این که چرا هواپیما می‌تواند در اصل، پرواز کند الزامی است.

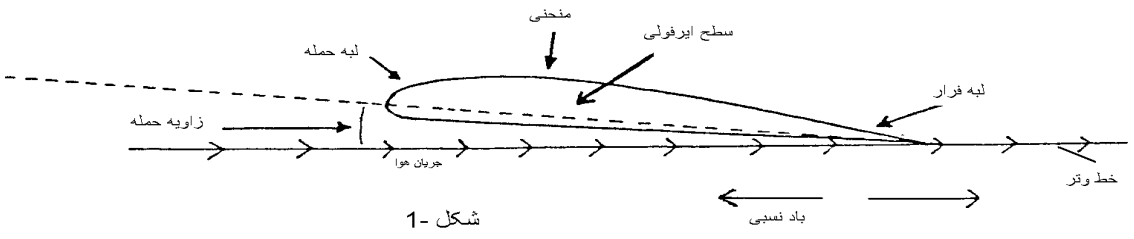
این بخش به بررسی کامل و دقیق انواع مختلف هواپیماهای میکرولایت و سیستم‌های کنترلی که صرفاً مربوط به مکانیزم‌ها و ماشین‌های اولیه است می‌پردازد، البته نه آن دسته از هواپیماهایی که دیگر تولید نمی‌شوند. این محتوا هنوز حذف نشده، زیرا که روزهای نوآوری هنوز به پایان نرسیده، و کسی چه می‌داند شاید- اصول مربوطه با طرحهای جدیدتر، مجدداً بروز شود.

ایرفویل (ماهی واره)

پرواز به این دلیل امکان‌پذیر است که هر بال (به دو طریق) قابلیت تولید نیروی برآرا را دارند:

۱- به وسیله زاویه‌ای که جریانات هوا با بالها برخورد می‌کنند- و زاویه حمله نامیده می‌شود. (زاویه حمله عبارتست از زاویه‌ای که باد نسبی با خط وتر می‌سازد.) این زاویه در ارتباط با خط وتر اندازه‌گیری می‌شود.

۲- به وسیله شکل خاص بال از جلو به عقب- از لبه حمله به لبه فرار. این شکل خاص با عنوان سطح ماهی واره‌ای شناخته می‌شود و معمولاً در قسمت بالا منحنی‌وار است و در قسمت پایین ایرفویل، صاف است (یعنی انحنای سطح بالایی از انحنای سطح پایینی بیشتر است). این منحنی با عنوان Camber (انحناء) شناخته می‌شود و بعدها خواهید فهمید که چگونه این منحنی، حدوداً ۲/۳ نیروی برآرا تولید خواهد کرد. خط مرجعی که لبه حمله را به لبه فرار وصل می‌کند و در طول سطح مقطع ایرفویل کشیده می‌شود، خط وتر نامیده می‌شود.



شکل -1

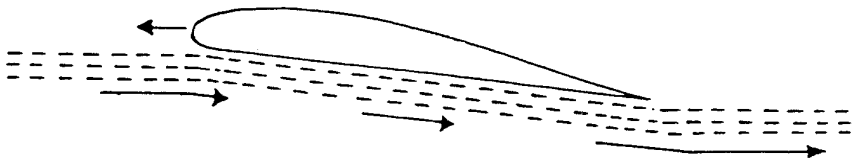
سرعت هوا یک بال انحناء یافته ساکن که در یک زاویه حمله مناسب قرار دارد به تنهایی نمی‌تواند نیروی برآرا تولید کند. وقتی شما برخاستن هواپیمای را از زمین مشاهده می‌کنید، در می‌یابید که اول هواپیما روی زمین شروع به حرکت می‌کند

تا به شتاب خاصی برسد و بتواند در این سرعت خاص نیروی برآی کافی برای پرواز را تولید نماید در این لحظه از روی زمین بلند می‌شود.

در این حالتها چه اتفاقی می‌افتدکه حرکت رو به جلو، سبب جریان یافتن هوا روی سطح بال می‌شود. به این جریان هوا، سرعت هوا می‌گویند که نیروی برآرا تولید می‌کند. هر چه سرعت هوا بیشتر باشد، نیروی برآیی که توسط بال تولید می‌شود هم بیشتر است. وقتی سرعت هوا برای تولید نیروی برآی مورد نظر و مطلوب، کافی باشد می‌گویند، هواپیما به سرعت پروازی رسیده است.

زاویه حمله Angle of Attack

زاویه حمله در تولید نیروی برآ نقش موثری را بازی می‌کند. وقتی جریان هوا به لبه حمله برخورد می‌کند به دو قسمت تقسیم می‌شود، قسمتی روی سطح فوقانی بال و قسمتی روی سطح زیرین بال جریان می‌یابد.

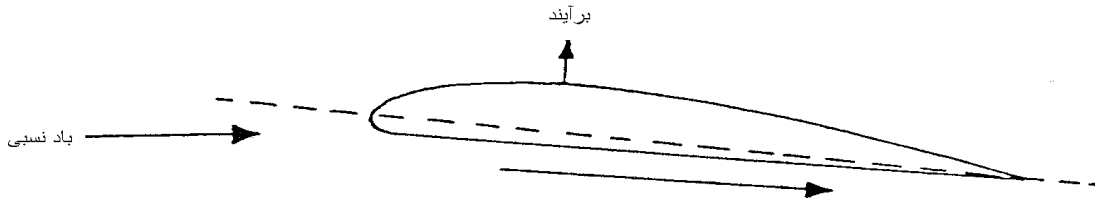


شکل-2

در شکل ۲: شما می‌توانید ببینید که چگونه جریان هوای عبوری از سطح زیرین بال به سمت پایین منحرف می‌شود. در عوض، یک نیرو به سمت بالا و خلاف جهت نیروی مذکور به ایرفویل وارد می‌شود و ایرفویل به سمت بالا منحرف شود. (به این نوع نیروی برآ که طبق قانون سوم نیوتن تولید می‌شود، Lift می‌گویند.) در حقیقت ۱/۳ کل نیروی برآ به این روش تولید می‌شود.

یک ورقه نازک مقوایی را در دست بگیرید، در حالی که بازوی خود را کاملاً کشیده نگه داشته‌اید و این ورقه را با زاویه خاصی در دست دارید، دست خود را بچرخانید. متوجه خواهید شد که ورقه مذکور، می‌خواهد از دست شما خارج شود و هر چه سرعت دست شما بیشتر باشد، ورقه بیشتر به سمت بالا میل می‌کند (یعنی نیروی برآی بیشتری تولید می‌شود).

جریان هوای منحرف شده به وسیله زاویه حمله یک برآیند نیروی به سمت بالا را ایجاد می‌کند.



شکل -3

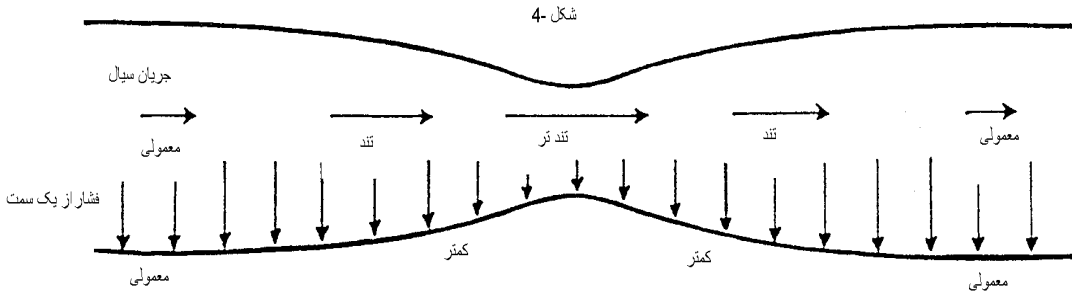
منحنی Camber

حال به بررسی چگونگی تولید نیروی برآ، به وسیله سطح منحنی می‌پردازیم.

جریان هوایی روی سطح بالایی بال ، نسبت به هوایی که روی سطح زیرین بال جریان می‌یابد مسافت بیشتری را طی می‌کند. از آنجا که هر دو جریان هوا به طور همزمان به لبه فرار می‌رسند سرعت هوایی که از روی سطح بالایی بال رد می‌شود، بیشتراست.

شکل زیر، تصویر رودخانه‌ای است که جریان یکنواختی از آب در آن جاری است و به طور ناگهانی با یک محدودیت روبرو می‌شود. حجم مشخصی از آب برای عبور از قسمت باریک شده، سرعت بیشتری پیدا می‌کند بدون اینکه در پشت این آب سرعت افزوده شود. این به معنای سرعت بیشتر در قسمت باریکتر است. دانشمندی به نام برنولی دریافت که جریان سیال عبوری از یک بخش باریکتر، سریعتر می‌شود ولی در مقابل فشار سیال کاهش می‌یابد.

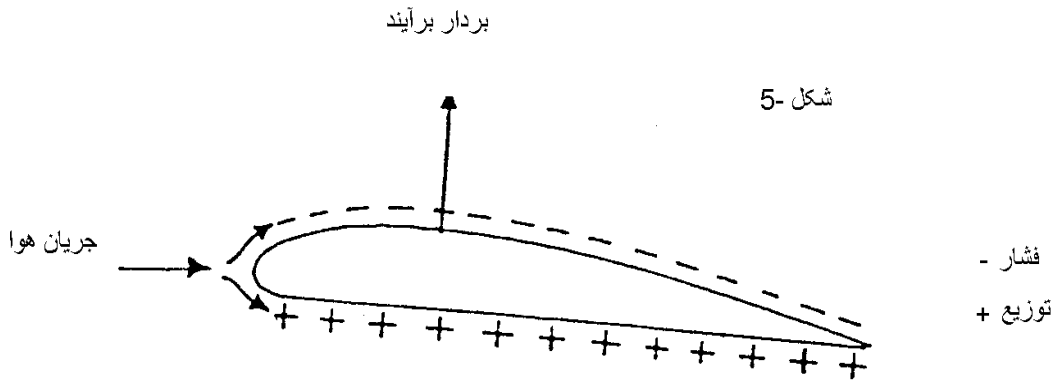
همراه: سرعت افزایش می‌یابد و فشار کاهش می‌یابد.



شکل -4

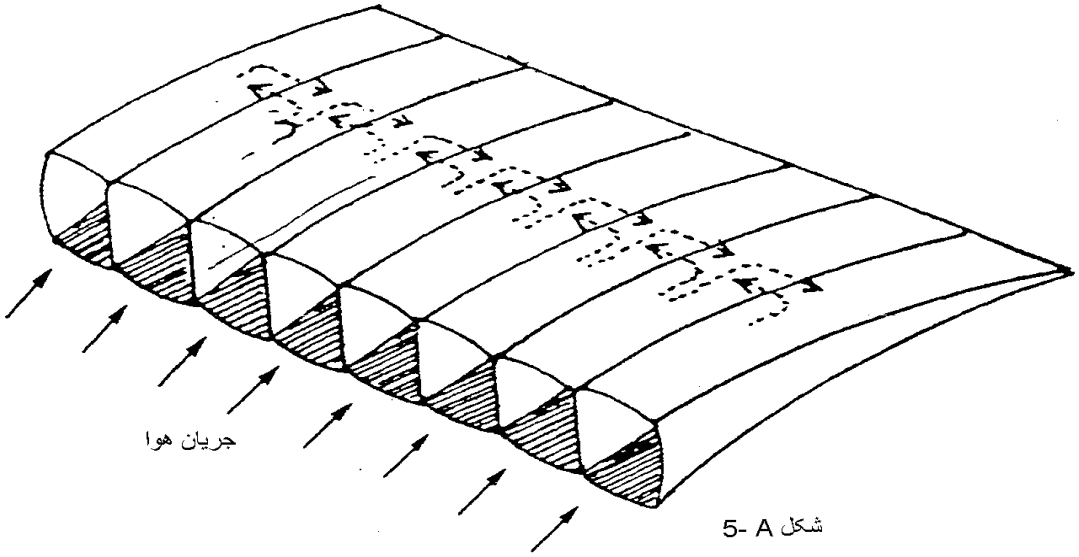
با دقت به شکل قسمت‌های باریک شده (همراه) نگاه کنید. چنانچه، سطح بالایی این شکل حذف شود، شما یک سطح منحنی شبیه به سطح انحناء یافته ایرفویلی را مشاهده می‌کنید. حالا، هوا به عنوان یک سیال در گذر از این قسمت باریک شده یعنی قسمت فوقانی ایرفویل، سرعتش افزایش می‌یابد و در مقابل شتابش کم می‌شود. به همان نحوی که در قانون برنولی آمده است.

به طور معمول، اگر فشار هوا روی سطح بالایی، کاهش یابد، فشار هوای سطح زیرین بال افزایش می‌یابد. در نتیجه بال به سمت بالا هول داده می‌شود. این کاهش در فشار دو بردار، برآیندی را که به وسیله هوایی که به سمت پایین منحرف شده را تولید می‌کند. یعنی: ۲/۳ نیروی برآی تولید شده.



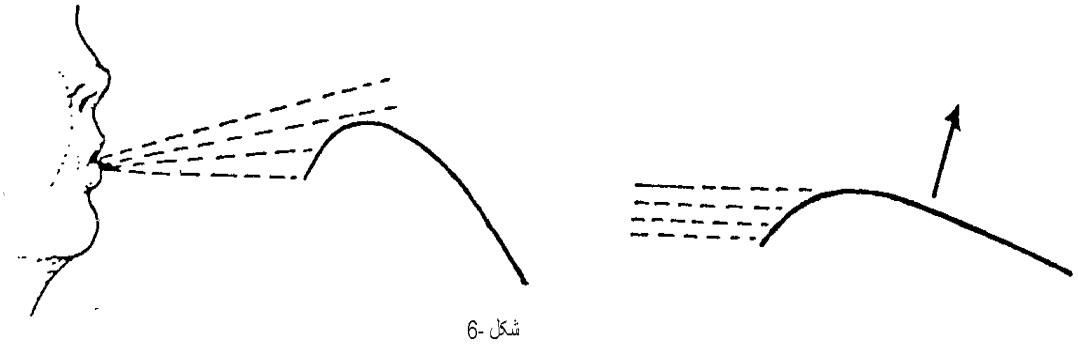
شکل 5-

جایی که ایرفویل‌ها از جنس بسیار محکم ، سخت وانعطاف- ناپذیر باشند، برای چتر نجات قدرتمند بکار نمی‌رود. دراین نوع هواپیماها از بالهای گرد و یا نیم کره‌ای که بیشتر مردم با آن آشنا هستند استفاده نمی‌شود. بلکه از یک بال که با هوا کار می‌کند و از تعدادی سلولهای متصل به یکدیگر با استفاده از مجرایی برای ورود و خروج هوا استفاده می‌کند تشکیل شده. این مورد سبب باد شدن یکسان ویکنواخت و سریع می‌شود وقتی که جلوی باز بالها در مقابل باد یا حرکت به سمت جلو در جریانات هوا قرار می‌گیرد. موقع باد شدن، یک سطح ایرفویلی تشکیل می‌شود که نیروی برآی لازم برای پرواز و بالا رفتن بدون نیروی موتور را برای وسیله پرنده فراهم می‌کند، کاملاً مانند یک هواپیمای معمولی.



شکل 5- A

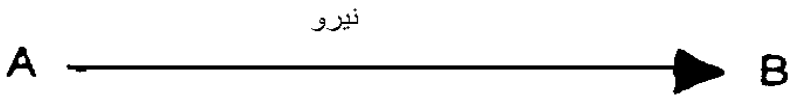
اثرات سطح انحناء یافته را برای خودتان اثبات کنید. یک تکه کاغذ کلفت و یا کارت نازک را بردارید و روی آن بدمید، به گونه‌ای که نفستان به بالای لبه حمله برخورد کند، شما خواهید دید که کارت در جریانات هوا آن هم به وسیله نفسهای شما بالا می‌رود.



شکل -6

- Forces at playنیروها در عمل

در ابتدای سخن درباره نیروها، این بسیار اهمیت دارد که بدانیم موقع ایجاد یا اعمال نیرو چه اتفاقی می‌افتد. یک جسم در نقطه A قرار دارد و سپس شروع به حرکت به سمت نقطه B می‌کند در اینجا می‌توان گفت که یک "نیرو" این حرکت را ایجاد کرده است.



شکل-7

همین موارد را می توان گفت ،وقتی جسم از نقطه A به نقطه Cمی رود .

شکل -8

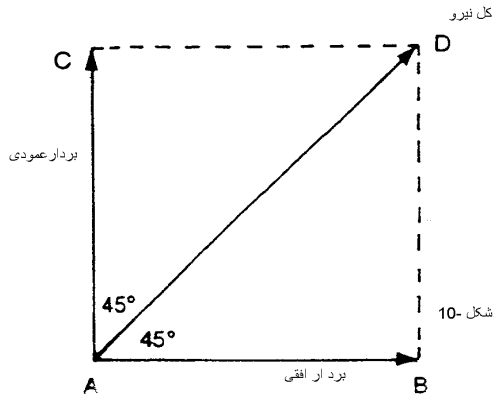
اگر دو نیروی افقی و عمودی از نقطه A به B و C ، وبه طور همزمان به یک جسم وارد شوند، جسم به سمت نقطه D حرکت می‌کند. مانند: یک بردار از یک کمان زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح افقی.

حالا دیاگرام بالا را به عنوان یک Parallelogram در نظر بگیرید- شکلی که هم بردارهای عمود بر هم و هم زاویه‌های تشکیل شده با هم برابرند. (۴۵^o)

بردار مورب A به D ، کل نیرویی است که تولید می‌شود اما، می‌توان گفت که جسم به صورت افقی و بخشی هم به صورت عمودی حرکت کرده است تا به نقطه D برسد.

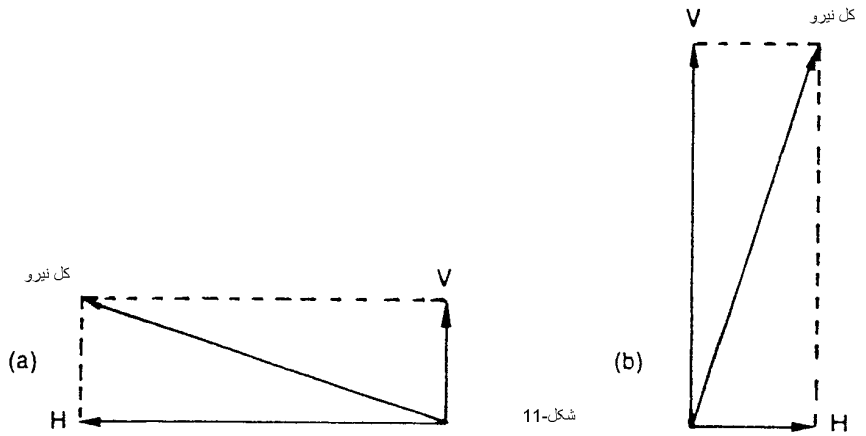
بنابراین، این نیروی به سمت جلوی D ، قابل تجزیه به دوبردار است. یک بردار افقی از A به B و یک بردار عمودی از A به C .

این دو نیرو به وسیله ضلع‌های متوازی الاضلاع که از نقطه A آغاز می‌شوند نمایش داده می‌شوند.



شکل -10

از آنجایی که زاویه‌های تشکیل شده با هم برابرند، طول AB با طول AC برابر است به کلامی دیگر، نیروی افقی و نیروی عمودی با هم برابر است. با اندازه‌گیری این نیروها، این موضوع را برای خود ثابت کنید. حال اگر زاویه‌ها تغییر کنند (یعنی دیگر با هم برابر نباشند) شکل بردارها مطابق زیر می‌شود:

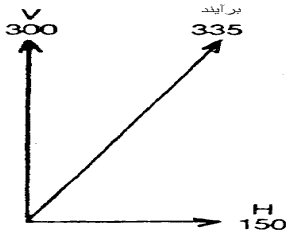


شکل-11

در شکل (a) ، بردار افقی (H) سه برابر بردار عمومی (v) است. در شکل (b) بردار عمودی (v) سه برابر بردار افقی (H) می‌باشد.

شما می‌توانید ببینید که بردار برآیند (مورب است)را می‌توان صرفاً با اندازه‌گیری مقادیر اجزای آن تعیین نمود، مگر اینکه شما بخواهید از طریق مثلثات عمل کنید.

یک بار محاسبه کنید و آن را برای خودتان امتحان کنید.



شکل -12

اصولی که تا حالا دریافته‌اید با عنوان "متوازی الاضلاع نیروها" شناخته می‌شود. برای این تعدی جزیی به ریاضیات، هیچ عذر و دلیلی ارائه نشده است. زیرا با درک این مسأله، شما برای فهمیدن نیروهایی که در پرواز دخیل هستند، آماده می‌شوید.

۴ نیرو در پرواز The Four Forces in Flight

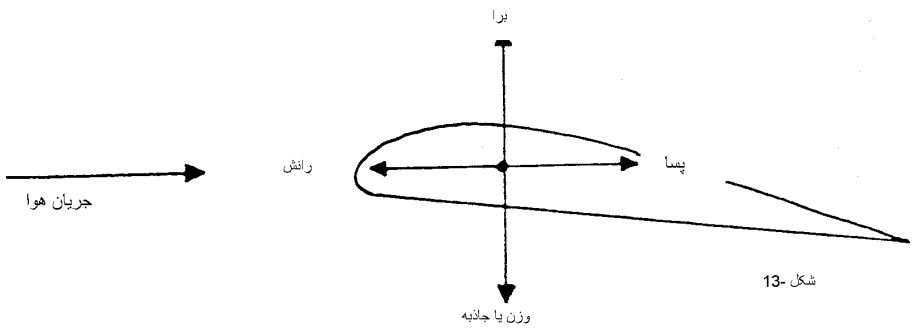
۴ نیروی اصلی در پرواز هواپیما موجود است.

۱- وزن (Weight) : یک نیروی عمودی به سمت پایین است (نیروی جاذبه) و باید به وسیله نیروی عمودی به سمت بالا (نیروی برآ) خنثی شود تا پرواز امکان‌پذیر شود.(مسلماً، این نیرو در حین پرواز ثابت است مگر بر اثر استفاده از سوخت، وزن کم شود.)

نیروی برآ (Lift) : یک نیرو به سمت بالا است که وزن را خنثی می‌کند. این نیرو متناظر با سرعت هواپیما و زاویه حمله تغییر می‌کند. این نیرو با زاویه قائمه به جریان هوا وارد می‌شود. اما نه کاملاً در جهت مخالف وزن در پروازهای غیر تراز (غیر افقی). بعدها بیشتر درباره این مورد خواهید دانست.

نیروی رانش (Thrust) :این نیرو حرکت به سمت جلو را برای جریان هوا روی بال، فراهم می‌کند. این نیرو متناسب با قدرت اعمال شده و یا زاویه حمله، تغییر می‌کند.

نیروی پسا (Drag) : این نیرو تمایل به عقب کشیدن هواپیما دارد و در مقابل حرکت به سمت جلو مقاومت می‌کند. این نیرو متناظر با سرعت هوا، زاویه حمله تغییر می‌کند و برخلاف نیروی رانش (Thrust) عمل می‌کند.



شکل -13

این ۴ نیرو را در شکل فوق می‌بینید.

تعادل Equilibrium

اگر هواپیما در یک ارتفاع ثابت، سرعت ثابتی را حفظ کند، نیروی برآی آن با وزن آن کاملاً برابر خواهد بود (یعنی هواپیما در حال اوج گیری یا نزول نیست) و نیز نیروی رانش کاملاً با نیروی پسا برابر است (یعنی هواپیما در حال افزایش شتاب نه در حال کاهش شتاب است). (به این پرواز "Cruise Flight" می‌گویند.)

پسا "Drag"

نیروی پسا به مقداری توسعه و تقویت نیاز دارد به گونه‌ای که به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

پسای القایی "Induced Drag"

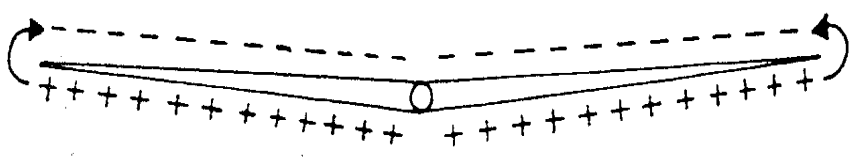
این نیرو به طور مستقیم با تولید نیروی برآ در ارتباط است.

قبلاً درباره زاویه حمله که در آن ایرفویل با جریانات هوا برخورد می‌کند و اینکه چگونه این جریانات به سمت پایین منحرف می‌شود را توضیح دادیم.

نیروی برآیند به سمت بالا که باید قائم به جریان هواباشد، تحت تأثیر جریان(Down wash) رو به پایین اعمال می‌شودو به عقب کشیده می‌شود و از حالت عمود خارج می‌شود پس می‌توان این مولفه را به دو، پرواز تجزیه کرد. حالا بردار عمودی حاصل از تجزیه را نیروی برآ مولفه افقی که به سمت عقب است، طبیعتاً نیروی پسا نامیده می‌شود و با عنوان پسای القایی شناخته می‌شود.

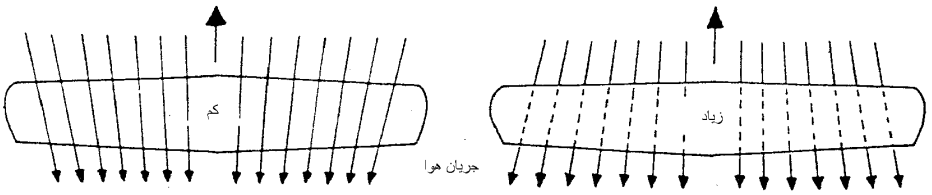
حال به بررسی اتفاقاتی که در حالت اعمال پسای القایی می‌افتد، می‌پردازیم.

اعمال فشار غیر مساوی، به بال توانایی تولید نیروی برآ و پسای القایی را می‌دهد. افزایش فشار زیر بال تلاش می‌کند که با کاهش فشار روی بال برابر شود و این اتفاق در نوک بال هم می‌افتد. (شکل ۱۵)



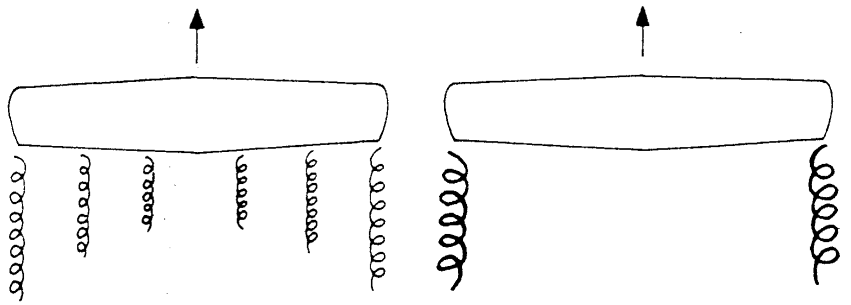
شکل -15

این حرکت منجر به دو جریان جهت‌دار هوا می‌شود.- به سمت خارج زیر بال و به سمت داخل روی بال. این تغییر جهت بیشتر در جهت نوک بال احساس می گردد.



شکل -16

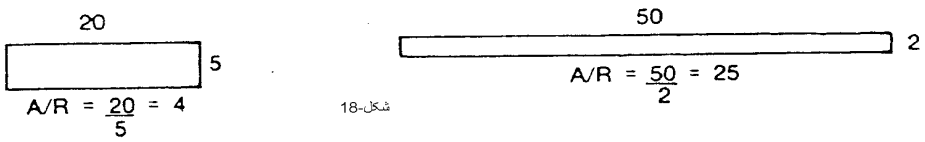
وقتی دو جریان هوا با یکدیگر برخورد می‌کنند، فضایی از جریانات متقاطع ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به ایجاد جریانات حلقوی می‌شوند و با عنوان جریانات حلقوی و متلاطم لبه فرار شناخته می‌شوند. شمار متعددی از جریانات حلقوی موجود در لبه فرار بال بدینسان شکل گرفته،و به سمت نوک بال حرکت می کنند و ضمن تجمع در آنجا، جریانات حلقوی نوک بال را تشکیل می‌دهند.


شکل-17

در جایی که جریانات منظم و موازی هوا بهم بخورد، به طورطبیعی نیروی پسا تولید می‌شود. در این مورد، تولید این نیرو اجتناب ناپذیر است. همان طور که جایی که نیروی برآ تولید می‌شود، نیروی پسا القایی هم تولید می‌شود. به منظور کاهش جریانات متلاطمی که در نوک بال ایجاد می‌شود، از بالهایی استفاده می‌کنیم که طول زیاد و عرض کمی دارند. (در نتیجه سطحی که روی آن جریانات متلاطم ایجاد می‌شود و گسترش می‌یابد- نوک بال کمتر می‌شود، پس احتمال این جریانات هم کمتر می‌شود.)- معمولاً در ارتباط با هواسر (Sail plane) .

در پسای جانبی، شما ممکن است به خوبی با واژه‌ای که برای تشریح رابطه بین طول و عرض بال بکار می‌رود، آشناشده باشید.

این موضوع نسبت منظری (Aspect Ratio) نامیده می‌شود و حاصل تقسیم طول بال به عرض متوسط اندازه وتر آن می‌باشد. با توجه به شکل ۱۸ در می‌یابید که چگونه دو بال ممکن است سطح مساوی داشته باشند ولیکن نسبت‌های منظری آنها متفاوت باشد.



شکل-18

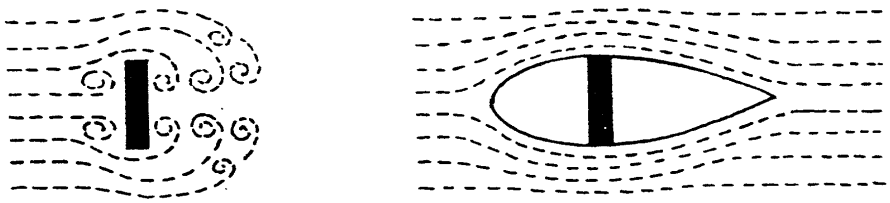
بالهایی که نسبت منظری آنها پایین است بیشتر در هواپیماهای جنگی یا آکروباتیک که نیاز به مانورهای سریع السیر است بکار می‌روند. در این سری از هواپیماها نیروی زیادی برای غلبه به پسای القایی مورد نیاز است. بالها با افت منظری بالا در هواپیماها، محدود می‌شوند، در جایی که حداقل بودن نیروی پسا در نبود موتور (قدرت) حیاتی می باشد و نیاز به حداقل کاهش ارتفاع و حداکثر اوج گیری دارد،باید همه پارامترهای هواپیما را مدنظر بگیریم تا به اهداف فوق برسیم.

پسای ظاهری یا فرعی (Pressure Drag یا Profile =) Form Drag

دومین نوع نیروی پسا، به وسیله خود هواپیما ایجاد می‌شود. هر شی که در آب یا هوا حرکت کند با چنین نیرویی که در مقابل حرکتش مقاومت می‌کند، روبرو می‌شود.

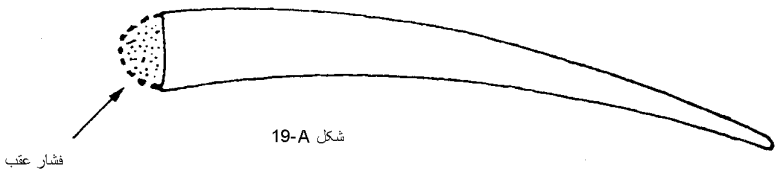
یک مثال عملی برای پسای ظاهری، راه رفتن در مقابل باد است. این کار را انجام دهید در شرایطی که یک چتر کاملاً باز را در جلو خود گرفته‌اید و شما بدون هیچ شکلی به عقب کشیده خواهید شد.

همین اثر به وسیله یک هواپیما که در هوا پیش می‌رود تجربه می‌شود. این نیروی مقاومت که ناشی از شکل ظاهری هواپیما است، پسای ظاهری یا شکلی نامیده می‌شوند و (هر چه شکل هواپیما "مخصوصاً قسمت جلوی آن و ارابه فرودش" به شکل ایرفویل باشد یعنی به موازات جریانات هوا باشد، نیروی پسا فرعی کمتر است چرا که جریانات هوا کمتر بهم می‌خورند). در نهایت می‌تواند گفت، این نیرو به وسیله بکارگیری مقاطعی که جریان هوای عبوری از آنها، منظم و موازی با یکدیگر است، کاهش می‌یابد.


شکل-19

(می‌بینید که جریان هوای عبوری از شکل ایرفویلی منظم‌تر است چرا که به موازات جریان است نه عمود بر آن).

در این مورد، ممکن است تصور شود که قسمت بار جلوی بال یک چتر نجات قدرتمندباشد،که احتمال دارد با نیروی پسای قابل توجهی مواجه شود که در حقیقت به وسیله هوا یک فشار رو به عقب ایجاد شده که در موقع باد شدن بال یک لبه حمله نامرئی مطابق شکل تولید می‌شود.



شکل 19-A

پسای فرعی، پسای پروفایلی (پسای جانبی) هم نامیده می‌شود.

قانون مجذور سرعت Speed Squared Law

پسای فرعی با مجذور سرعت متناسب است. شما ممکن است توجه کرده باشید که وقتی سرعت دو چرخه در حال حرکت را افزایش دهید، این مقاومت (نیروی پسای فرعی) خیلی بیشتر از حد مورد انتظار می‌شود.

دلیل آن این است که وقتی شما، سرعتتان را دو برابر می‌کنید، نیروی پسا ۴ برابر می‌شود. حال اگر سرعت ۱۰ برابر شود، نیروی پسا، ۱۰۰ برابر می‌شود.

$\text{Drag} \times v^2$, $\text{Lift} \times v^2$

این "Pearl of Wisdow" ، "قانون مجذور سرعت" نامیده می‌شود.

حال، این قانون، برای نیروی برآ هم قابل قبول است. یعنی نیروی برآ هم،با مجذور سرعت متناسب است. یعنی اگر سرعت شما، دو برابر شود، نیروی برآ هم ۴ برابر می‌شود.

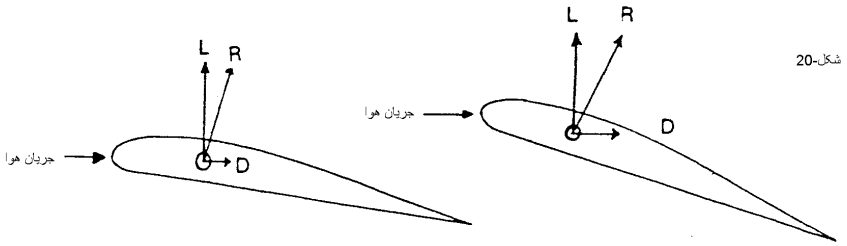
تغییر زاویه حمله varying the Angle of Attack

زاویه حمله، زاویه‌ای است که بال با جریان هوا برخورد می‌کند، و مطابق، با روشی که شما با هواپیما پرواز می‌کنید، قابل تغییر است.

همگام با افزایش زاویه حمله، سرعت هوایی که روی سطح فوقانی بال جریان دارد، افزایش می‌یابد. در همین لحظه، سرعت هوایی که روی سطح زیرینی بال جریان دارد، کاهش می‌یابد (فشار سطح زیرین بال بیشتر از فشار هوایی می‌شود که روی سطح بال جریان دارد). اختلاف فشار بین سطح بالایی و پایین بال سبب ایجاد نیرویی می‌شود که تمایل به بالا بردن بال دارد(و نیروی برآ نامیده می‌شود.) هر چند هر چه زاویه حمله زیاد می‌شود، نیروی برآیند (که همان بردار مورب بود و پس از تجزیه به دو نیروی برآ پسای القایی تبدیل می‌شود)، بیشتر به سمت عقب متمایل می‌شود. چون همانطور که در شکل

می‌بینید با افزایش زاویه حمله نیروی برآ افزایش می‌یابد. نتیجه این عمل افزایش‌رسانی نیروی پسای القایی همگام با افزایش نیروی برآ می‌باشد. (شکل ۲۰)

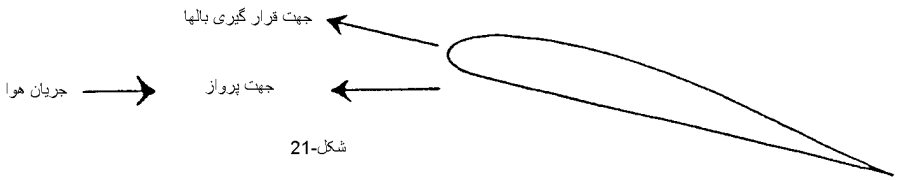
زاویه حمله بیشتر = نیروی برآ پسای القایی بیشتر



شکل-20

هر چه سرعت هواپیما زیاد شود، نیروی برآ هم زیاد می‌شود و هیچ محدودیتی موجود نیست، اما با افزایش زاویه حمله همیشه نیروی برآ افزایش نمی‌یابد، بلکه افزایش زاویه حمله تا حد خاصی، سبب افزایش نیروی برآ می‌شود. (به این زاویه حمله که حداکثر نیروی برآ ارائه می‌کند، زاویه حمله بحرانی می‌گویند. بعدها درباره موضوعات فوق، توضیحات بیشتری ارائه خواهد شد.

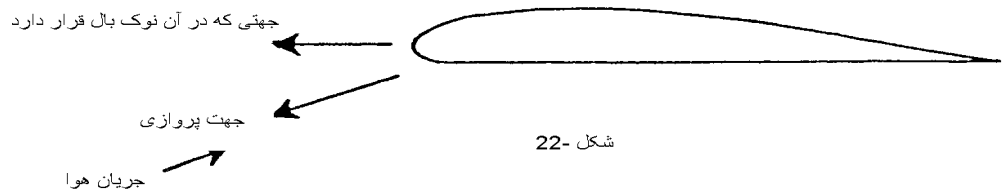
اوج گیری با زاویه حمله بسیار تند (حاده)و با نیروی ناکافی هر چند بالهای هواپیما در موقعیت به سمت بالا قرار گرفته باشد، سبب می‌شود، که شما بتوانید سرعت هواپیما را کم کنید. در این حالت مسیر واقعی پرواز افقی است و هواپیما، اوج نمی‌گیرد. به محض کاهش سرعت، چتر شما حالت نرمتری به خود می‌گیرد و در واقع مسیر پروازی شما به حالت افقی نزدیک می‌شود. روش پروازی فوق برای موقعیتی مناسب است که شما می‌خواهید با سرعت پایین ولی بدون کاهش ارتفاع پرواز کنید.



شکل-21

هر چند این می‌تواند یک موقعیت بحرانی باشد که شما خود را در آن قرار می‌دهید و اینکه چرا این حالت را بحرانی می‌خوانیم، در بخشی که واماندگی را به طور خلاصه تشریح خواهیم کرد، توضیح داده خواهد شد.

شما، احساس می‌کنید خیلی سریع در حال فرود آمدن هستید، بدون بکارگیری هیچ نیروی اضافی که در حین اوج-گیری بکار می گیرید. وقتی شما با نیروی ناکافی در حال پرواز هستید، برای اینکه هواپیما را در مسیر پروازی مورد نظرتان نگه دارید بال هواپیما حالت نرمتری به خود می‌گیرد (یعنی از کشیدگی قوس آن کم می‌شود) و جهت پروازی از جهتی که بال در آن قرار گرفته، متفاوت خواهد شد.



شکل -22

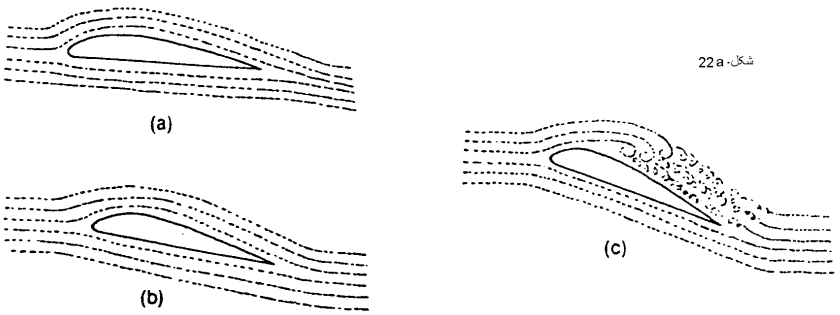
به یاد آورید: زاویه حمله، زاویه‌ای است که در آن زاویه، بال با جریانات هوا برخورد می‌کند، نه جهتی که بال در آن سمت قرار گرفته باشد. در یک لحظه زاویه حمله به حد بحرانی می‌رسد و از این زاویه به بعد، نیروی برآ کاهش می‌یابد.

واماندگی

برای ایرفویلی که نیروی برآ را تولید می‌کند، باید جریان هوای روی سطح فوقانی آن منظم و موازی با یکدیگر و سطح ایرفویلی بدون پراکندگی و آشفتگی باشد. (چرا که حداکثر نیروی برآ، از، سطح بالایی ایرفویل تولید می‌شود).

یکی از ویژگیهای سیالات این است که تمایل دارند، به سطحی که روی آن جریان می‌یابند بچسبند و لایه‌ای به نام "لایه مرزی" تولید کنند. (هر چه ضخامت این لایه بیشتر باشد احتمال آشفتگی بیشتر است.) حال در صورت وجود کوچکترین آلودگی مانند:

میخ، پرچ یا هر برجستگی نابجایی روی سطح ایرفویل یا افزایش بیش از حد زاویه حمله، جریانات هوا از سطح ایرفویلی جدا می‌شود و آشفته می‌گردند.



شکل-22a

(می‌بینید هرچه زاویه حمله افزایش یابد نقطه آشفتگی از لبه فرار بیشتر به لبه حمله نزدیک می‌شود یعنی میزان کاهش نیروی برآ افزایش می‌یابد.)

در شکل (c) ، زاویه حمله بسیار تند می‌باشد در نتیجه جریانات هوا نمی‌توانند کاملاً روی سطح بالایی ایرفویل جریان یابند، بلکه بخشی از این جریانات از روی سطح ایرفولی بلند می‌شود و جریانات منظم هوا را بهم می‌زند (آشفتگی) که منجر به کاهش فشاری می‌شود که اصل نیروی برآ، ماکزیمم نیروی برآ را فراهم می‌کند.

به طور مختصر، می‌توان گفت: در این حال بال دچار استال (واماندگی) می‌شود و به سرعتی که در آن، بال دچار استال می‌شود،سرعت واماندگی می‌گویند. اگر سرعت هواپیما کم شود، زاویه حمله افزایش می‌یابد و ۲/۳ کل نیروی برآ، در حین استال هدر می‌رود. زاویه حمله‌ای که در آن این اتفاق می‌افتد، حدود ۱۵° است.

چگونگی رویارویی و مقابله هواپیما با پدیده استال بستگی به نوع هواپیما دارد. در لحظه استال، دماغه هواپیما، به سمت پایین متمایل می‌شود و وقتی که هواپیما، سعی در بالا بردن دماغه نزول کرده را دارد، سرعت هوا، شروع به تشکیل خواهد کرد. در لحظه که هواپیما،به سرعت پروازی می‌رسد پرواز نرمال (بدون واماندگی) از سر گرفته می‌شود.

سرعت واماندگی برای هر هواپیمایی روی عدد خاصی تنظیم شده است. هر چند، هواپیماها، می‌توانند با توجه به میزان سوخت و بار و تعداد مسافرین سبک‌تر یا سنگین‌تر بشوند.

اگر هواپیما سنگین‌تر شود، سرعت بیشتری برای تولید نیروی برآی مورد نیاز، لازم است و اگر هواپیما سبک‌تر شود، نیروی برآی کمتری مورد نیاز است. یعنی هواپیما می‌تواند با سرعت کمتری نسبت به سرعت نرمال پرواز کند. در نهایت می‌تواند نتیجه گرفت که سرعت استال می‌تواند تغییر کند. نکته‌ای دیگری که باید به آن توجه کنید. جایی که سرعت استال بیشتر است طول باند فرود یا به هوا برخاستن طولانی‌تر است.

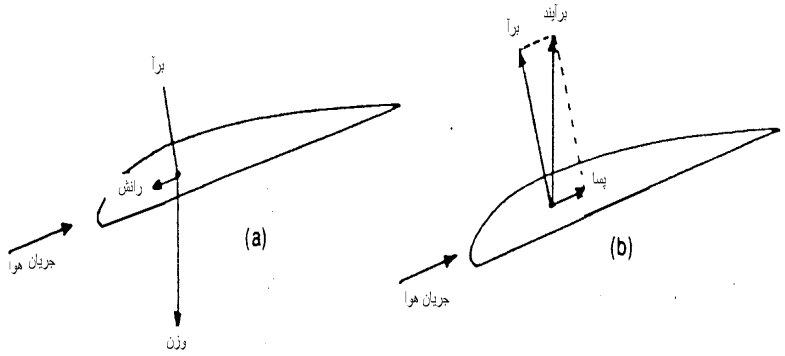
سرعت هوای مطمئنه، یکی از ضروری‌ترین نکاتی است که باید در پرواز به آن توجه شود. زمانی که سرعت هوابه اندازه و کافی باشد، سبب حفظ هواپیما در مقابل واماندگی می‌شود؛ چرا که در این حالت زاویه حمله همواره از زاویه استال کمتر است.

نیروی رانش بدون قدرت Thrust with no power

این سوال ممکن است در ذهنتان ایجاد شود که چگونه یک هواپیمای بدون موتور می‌تواند نیروی رانش را به منظور تولید سرعت هواپیما به دست آورد. جواب این سوال بهتر است ابتدا با یک مثال ساده بیان شود و سپس به توضیحی تکنیکی آن می‌پردازیم. یک واگون قطاری که روی یک ریل تراز قرار گرفته به سمت جلو حرکت نخواهد کرد، تا وقتی موتور آن را حرکت دهد. حال اگر ریل را روی یک سطح شیب‌دار قرار دهیم، قطار شروع به حرکت به سمت پایین خواهد کرد.

بدین ترتیب، در هواپیماهای بدون موتور یا با موتور خاموش نیز دیده می‌شود. که از نیروی جاذبه نیروی رانش تولید می‌کند. همچنین به وسیله قرار دادن دماغه به سمت پایین، نیروی برآ به عنوان یک نیروی رو به جلو عمل می‌کندو ترکیب می‌شود با وزنی که یک نیروی رو به جلو یا نیروی رانش به نام (Hypothetical thrust) تولید می‌کند(شکل ۲۳a)

در همین زمان، می‌توان دید که چگونه در این وضعیت، نیروی پسا با تولید نیروی برآیند رو به بالا برخلاف وزن که بزرگتر از نیروی برآ است، ایفای نقش می‌کند.

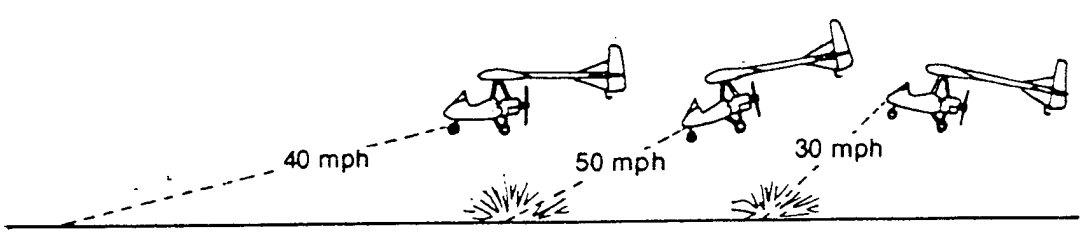


نیروی برآ- نیروی پسا (Lift / Drag Ratio (Curve

در یک سرعت و زاویه حمله مشخص، مقدار معینی نیروی برآ به همراه مقدار معینی نیروی پسا تولید می‌شود. رابطه‌ای بین این دو نیرو (Curve)نامیده می‌شود. اگر تولید نیروی برآ، ۱۰ برابر تولید نیروی پسا باشد می‌گویند این نسبت ۱۰/۱ است.

هر هواپیما در یک زاویه حمله خاص، ماکزیمم مقدار نیروی برآ،با حداقل مقدار نیروی پسا تولید می‌کند. دانستن این سرعت هوایی خاص، محدود می‌باشد. شما باید خودتان را با یک هواپیمای بدون موتور در نظر بگیرید . برای اینکه شما سالم و با حفظ امنیت پروازی به زمین برسید نیاز به این است که سرعت شما حداکثر مسافت قبل از رسیدن به زمین را پوشش دهدوبدانید که کاهش سرعت هواپیما با ایده زمان بیشتری را بالا ماندن، مسافت بیشتری را پوشش نمی‌دهد. افزایش زاویه حمله، میزان نیروی برآ را افزایش می‌دهد ولی در مقابل نرخ فرود را کم می‌کند، در اینجا یک افزایش در نیروی پسا، نسبت Lift/Drag را کاهش می‌دهد و همچنین مسافتی که شما می‌توانید در این زمان در هوا سپری کنید را کاهش می‌دهد.

افزایش سرعت هواپیما که به مکانی خاص برسد قبل از اینکه ارتفاع کاهش یابد، بکار نمی‌آید. افزایش سرعت نیازمند کاهش زاویه حمله است که در نهایت باعث کاهش نیروی برآ می‌شود. هر چند به همین میزان، نیروی پسا هم کاهش می‌یابد، اما این مقدار برای جلوگیری از کاهش نسبت Lift/Drag کافی نیست. سه مثال درباره موضوع فوق را در شکل ۲۴ می‌بینید. (همان طور که می‌بینید در سرعت ۴۰mph بهترین Curve و بهترین سرعت موجود است.)



بهترین زاویه فرودی

شما در نهایت عبارت بهتری از " زاویه فرود" پیدا نمی کنید؛ که ما در اینجا آن را با نسبت ۱۰/۱ تشریح می‌کنیم. نسبت ۱۰/۱ به معنای ۱۰ فوت پیشروی هواپیما به ازای یک فوت کاهش ارتفاع آن است. پرواز در بهترین زاویه فرود، همگام با پرواز در بهترین سرعت هواپیما است.- که در این پرواز، نسبت نیروی برآ به نیروی پسا، ماکزیمم می‌شود. (Max Curve) برای پرواز در بهترین زاویه فرود، شما در عمل باید در هوای آرام پرواز کنید. اگر باد در حین پرواز رو به جلو بوزد، سبب تند شدن این زاویه نسبت به زمین می‌شود و با یک باد رو به عقب این زاویه نسبت به زمین گودتر می‌شود.

از آنجایی که نمایش موارد فوق با استفاده از عملیات ریاضی کار مشکلی است؛بنابراین شما می‌توانید در عمل، یک بار سرعت را، در باد رو به جلو افزایش دهید و در باد رو به عقب سرعت را کاهش دهید، تا حداکثر مسافت به دست آید.

این به آن دلیل است که: افزایش سرعت در باد رو به جلو، به معنای تند کردن زاویه فرود است . بنابراین حرکت به سمت بیرون در صورت قدرتمندتر بودن باد، سبب جریان هوای رو به بالا در نزدیک زمین می‌شود و کاهش سرعت در باد رو به عقب، به معنای بیشتر شدن زاویه فرود می‌باشد، بنابراین زمان بیشتری در صورت قدرتمندتر بودن باد مورد نیاز است تا به مسافت بیشتر دست یابیم.

بهترین نرخ صعود و بهترین زاویه اوج گیری (صعود)

با بکارگیری دستورالعملها برای بسیاری از هواپیماها سبب ارائه ۲ سرعت اوج گیری برای هواپیما می‌شویم:

- بهترین نرخ صعود
- بهترین زاویه صعود

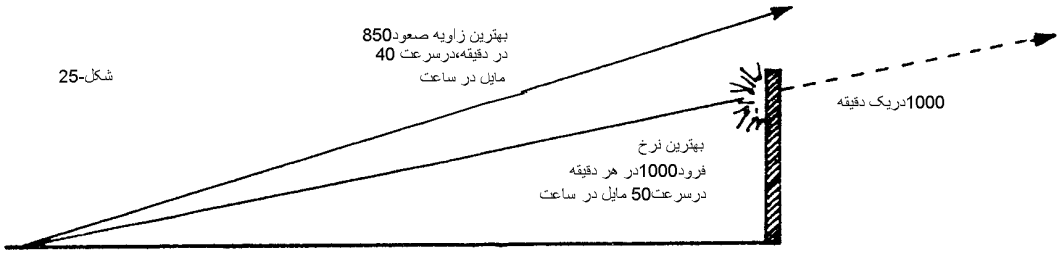
بین این دو سرعت، تفاوتهایی موجود است، که اگر قبلاً شما این دو واژه را هم معنی فرض می‌کردید الان بایستی نظریه قبلی خودتان را فراموش کنید.

بیشترین نرخ صعود به معنای کسب بیشترین ارتفاع در کمترین زمان و در بیشترین قدرت می‌باشد. در کتاب راهنمای هر هواپیما، سرعتی که در آن هواپیما به بیشترین نرخ صعود می‌رسد ذکر شده است. حال، زاویه صعودی که این نرخ را شامل می‌شود ممکن است، برای جلوگیری از برخورد هواپیما به مانع در حین برخاستن، کافی نباشد.

برای جلوگیری از چنین موقعیتی، در کتاب راهنمای هر هواپیما یک سرعت و یکسری اطلاعات برای پرواز ارائه شده است. در این سرعت، نرخ صعود از "بهترین نرخ" کمترین است اما زاویه صعود بیشتر از "بهترین زاویه صعود" خواهد بود.

در پروازی که سرعت خیلی کم است، برای رسیدن به مانع زمان بیشتری نیاز است، اما در این مدت زمان ، ارتفاع کافی برای گذشتن از مانع، باعث می‌شود که در این میان، نرخ صعودهم کاهش یابد.

با استفاده از شکلهای فرضی، این موقعیت ها، در شکل ۲۵ نشان داده می‌شود.



شکل-25

اگر شما واقعاً علاقه‌مند هستید که آن را خودتان اندازه بگیرید، بهتر است به راهنمایی های مربی تان راجع به چگونگی رد شدن از موانع گوش دهید. به جای این که خودتان را در بخش تئوری سردرگم کنید گاهی شما مجبور به پرواز در شرایط غیر نرمال و اضطراری از هر نقطه‌ای هستید و موانع بلند در مسیر پروازی تان، پرواز شما را به خطر می‌اندازد. حال اگر شما مجبور به فرود در چنین شرایطی هستید، بهتر است با حرکت هواپیما ،خودتان این کار را انجام دهید. (یعنی CG را تغییر ندهیم، بلکه با کشیدن دستگیره یا میله جلوی هواپیما زاویه حمله را افزایش دهید)زیرا تغییر زاویه حمله می‌تواند باعث موارد زیر شود.

به طورخلاصه:

- کاهش زاویه حمله، باعث کاهش نیروی برآ و افزایش سرعت می‌شود. بنابراین ،نیروی پسا کاهش می‌یابد.
- افزایش زاویه حمله، نیروی برآ را افزایش می‌دهد ولی سرعت را کم می‌کند.

این ممکن است سوال شما هم باشد؛ چرا با کاهش سرعت، نیروی پساافزایش می‌یابد؟ دلیل آن این است که کاهش سرعت، طبیعتاً باعث کاهش پسای فرعی (Form Drag) می‌شود اما در همین لحظه، افزایش زاویه حمله سبب افزایش پسای القایی می‌شود. در نهایت نیروی پسا افزایش می‌یابد. به یاد داشته باشید، پسای القایی در سرعت‌های پایین به بیشترین مقدار خود می‌رسد. بنابراین اثر جریانات متلاطم و گردابی(که در نوک بال تشکیل می‌شود و به Vovtex معروفند) در سرعت‌های پایین به حداکثر خود می‌رسد. پس یک آشفتگی ضعیف ناشی از این جریانات حلقوی ،در حین برخاستن هواپیما از زمین و نیز هنگام فرود به حداکثر مقدار خود می‌رسد، چرا که در این دو موقعیت، سرعت هواپیما نسبتاً پایین است و زاویه حمله زیاد است. آشفتگی‌های ضعیف در بخش "Micro-Metology" پوشش داده می‌شوند، همچنین به شدت تحت تاثیر شرایط جوی قرار می‌گیرند.

در نهایت می‌توان گفت با افزایش بی‌رویه زاویه حمله، سبب واماندگی هواپیما می‌شود.

گام بعدی

اکنون شما، باید بدانید که چرا هواپیمایتان پرواز می‌کند و مهمتر اینکه چنانچه شما به سرعت آن توجه نکنید ،از پرواز متوقف می‌شوید.

بیشترین موارد مورد بحث تاکنون، برای پرواز مستقیم و بدون مانور هواپیما (= Cruise) است. اما در حقیقت در حین پرواز از مکانی به مکان دیگر، بایستی هواپیما کمی از حالت پرواز مستقیم خود خارج شده و مانور انجام دهد. این تغییر موقعیت یا به صورت عمدی یا اغلب به وسیله هوای متلاطم ایجاد می‌شود.

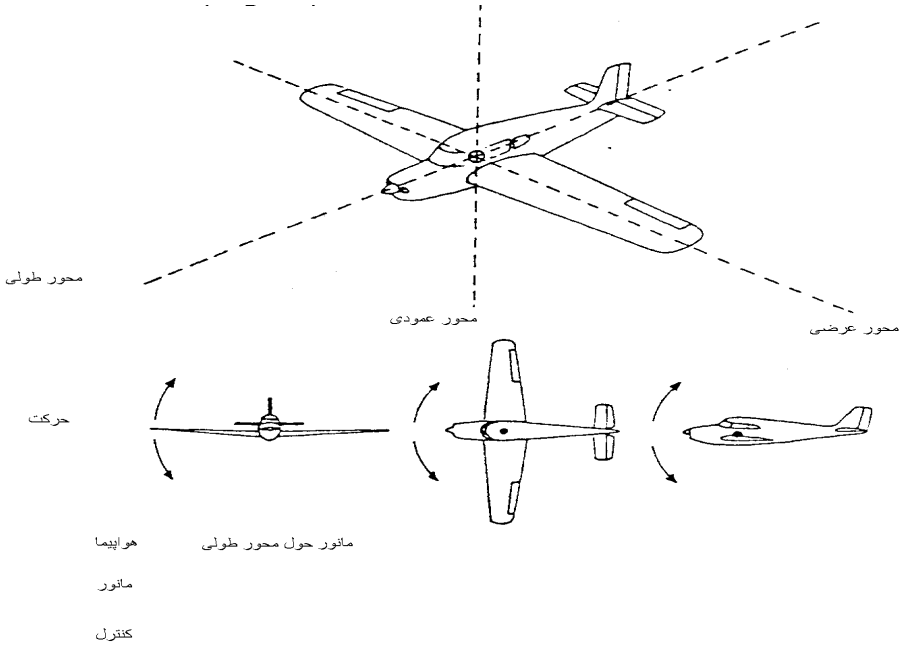
در ابتدا به بررسی اثر هوای متلاطم، که در آن هواپیما برای رهایی از این هوا ،مجبور به مانور در مسیر پروازیش می‌شود، می‌پردازیم.

برای بررسی این مورد، لازم است ابتدا به تشریح "پایداری و بالانس" هواپیما در آسمان بپردازیم.

تعادل و پایداری Stability

حالت تعادل، موقعیتی است که هواپیما در آن قادر است، به مسیر پروازی نرمالش برگردد، بدون اینکه خلبان در این موقعیتها، حتی زمانی که هواپیما از مسیرش منحرف می‌شود اعمال قدرت بکند.

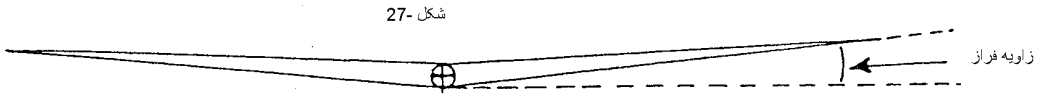
برای فهم بهتر این موارد به بررسی محورهای مختلفی که هواپیما حول آنها مانور می‌کند می پردازیم.



حال به بررسی راه ایجاد پایداری و تعادل که با حرکت حول هر محور مخالف می‌کند، می‌پردازیم.

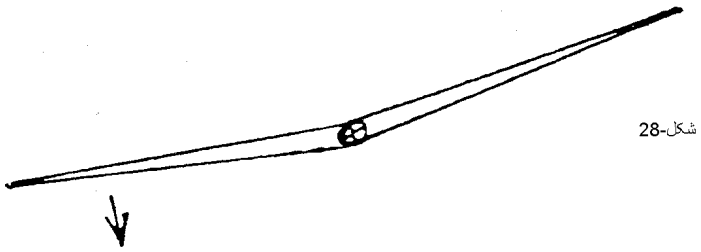
زاویه فراز

پایداری و تعادل در هواپیمای در حال Rolling به وسیله زاویه فراز به دست می‌آید. در اکثر هواپیماها، نوک بال بالاتر از ته بال قرار دارد. به زاویه‌ای که در این حالت بین امتداد طولی بال با سطح افقی ساخته می‌شود، زاویه فراز گفته می‌شود.

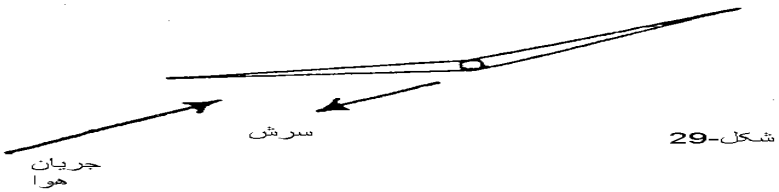


شکل -27

در هوای متلاطم، ممکن است بال به سمت پایین متمایل شود.

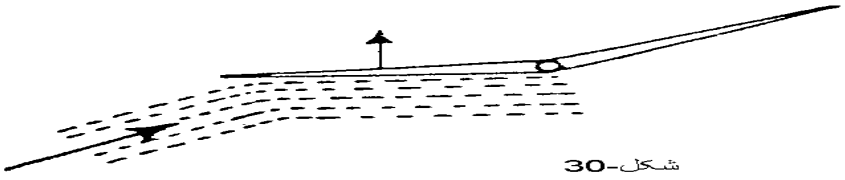

شکل-28

وقتی بال به سمت پایین منحرف می‌شود، هواپیما تمایل دارد درجهت نزول،درهواسربخورد. این حالت یک مولفه(؟؟؟) در جریان هوا در ارتباط با بال ایجاد می‌کند. (طبق قانون سوم نیوتن)



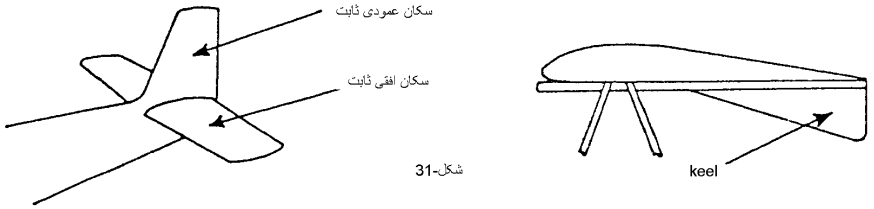
شکل-29

وقتی جریانات هوا، در این حالت، با بال برخورد می‌کند، بال پایین‌تر، با زاویه حمله بیشتری با جریانات هوا مواجه می‌شود پس به سمت بالا می‌رود و نیروی برآی لازم، برای بازگشت هواپیما به پرواز Level (یعنی مستقیم و بدون مانور) فراهم می‌شود.


شکل-30

پایداری و تعادل در حین Yawing , Pitching هواپیما، به صورت طبیعی و نرمال به واسطه سطوح عمودی و افقی ثابت که در قسمت دم هواپیما هستند، حاصل می‌شود. این سطوح ثابت معمولاً پشت مرکز جاذبه هواپیما (CG) قرار گرفته‌اند،

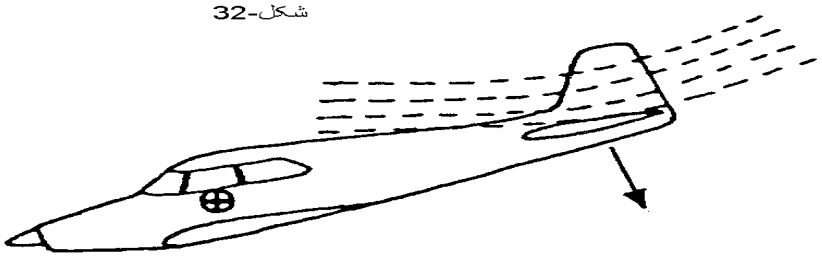
اما مواردی هم یافت می‌شود که این سطوح جلوی مرکز جاذبه واقع شده باشند. سطوحی که به هواپیما پایداری جهتی می‌دهند (در حین Yawing) ، سکان عمودی ثابت یا Fin یا Keel نامیده می‌شوند و سطوحی که منجر به ایجاد پایداری در حین Pitching می‌شوند (پایداری و تعادل طولی)، سکان افقی ثابت یا Tail Plane (دم هواپیما) نامیده می‌شوند.



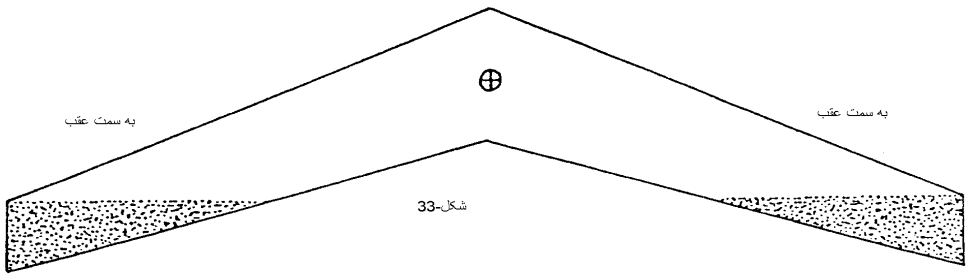
شکل-31

وقتی هواپیما از مسیر پروازی مورد نظر خلبان منحرف می‌شود، این سطوح در مقابل جریان هوا حاضر می‌شوند. و هوا منحرف می‌شود و یک نیروی به سمت بالا با زاویه ۹۰ درجه به هوا وارد می‌شود. این نیرو هواپیما را به سمت عقب و به داخل مسیر پروازی اصلیش هدایت می‌کند.

شکل-32



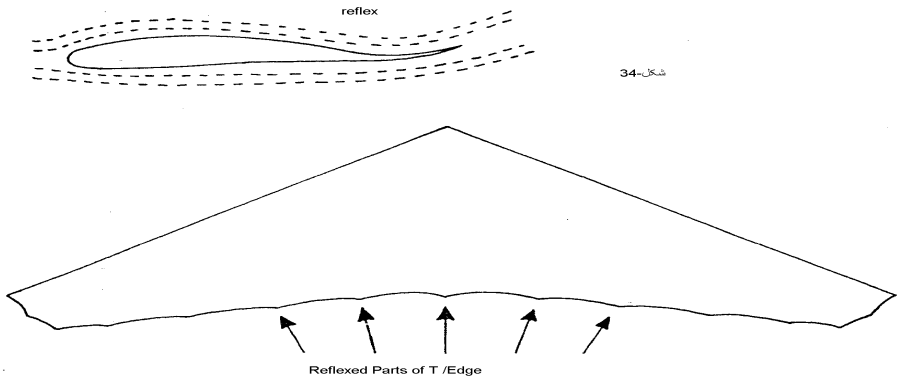
برخی از هواپیماهای بسیار سبک(میکرولایت) یک چنین سکان افقی ثابتی دارند. در این نوع از هواپیماها، معمولاً بالها با درجه مشخصی به سمت عقب کشیده می‌شوند (Swept book) در اینجا، مساحت نزدیک به نوک بال به عنوان سطوح ثابت عمل می‌کنند و پایداری و تعادل مورد نیاز در حین Pitching را به هواپیما می‌دهند.



شکل-33

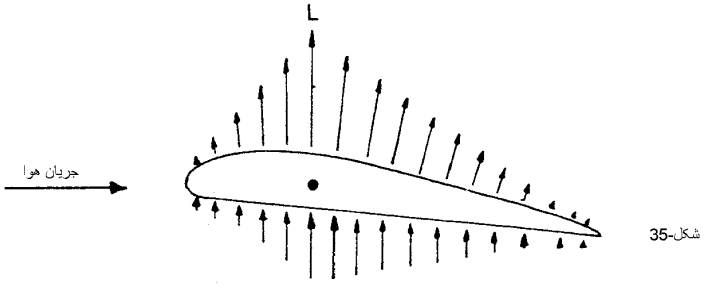
راه حل دیگر برای پایداری و تعادل در حین Pitching ، استفاده از بالها، با لبه فرار Reflexed (برگردان) می‌باشد. این بالها هنگام شیرجه، باعث تلاش برای حفظ پرواز افقی و تراز می‌شود. این حالت برگردان در نیمه داخلی بال دیده می‌شود.

شکل (۳۴)

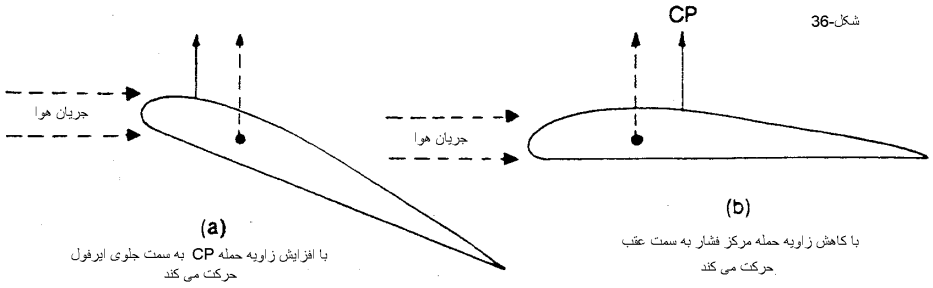


مرکز فشار

پایداری و تعادل هواپیما می‌تواند، با تغییر زاویه حمله، تغییر کند. برای ساده شدن مساله تا اینجا نیروی برآ را به عنوان یک خط نیروی تکی، نشان داده‌ایم که با زاویه قائمه نسبت به جریان هوا عمل می‌کند. در واقع این خط تکی نمایانگر کل نیروی برآی تولیدی است که در کل سطح بال مقدار آن متغیر است.

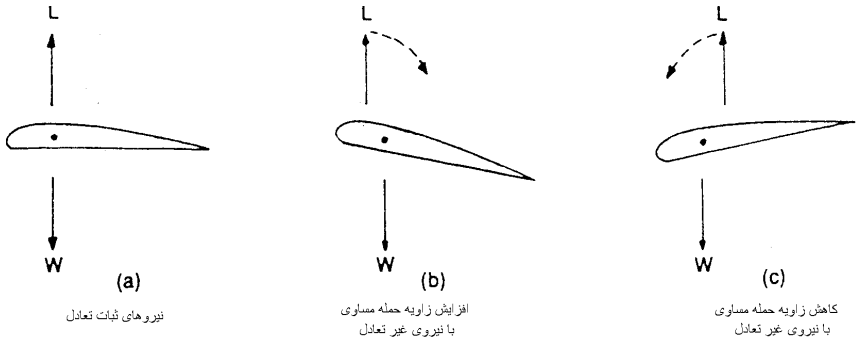


مرکز فشار (CP) نقطه‌ای است روی ایرفویل که نیروی برآی کل در آن نقطه اثر می‌کند و با تغییر زاویه حمله، مکان این نقطه تغییر می‌کند. افزایش زاویه حمله، سبب حرکت مرکز فشار (CP) به سمت جلو (به سمت لبه حمله) می‌شود و کاهش زاویه حمله، سبب دور شدن CP از لبه حمله می‌شود.



با کاهش زاویه حمله، مرکز فشار به سمت عقب حرکت می کند. با افزایش زاویه حمله، CP به سمت جلوی ایرفویل حرکت می کند.

در شکل ۳۷ می‌بینید که چگونه مکان CP در ایجاد بالانس موثر است.



برای ایجاد تعادل لازم است که با آشفتگی و توربالانس مبارزه شود، همچنین لازم است که هر جابجایی به مرکز فشار جبران شود. یک راه حل خاص برای این پایداری، استفاده از سکان افقی ثابت (Tail Plane) در هواپیماها با بال ثابت و استفاده از لبه فرار برگردان (Reflexed) در سایر هواپیماهاست.

مانور

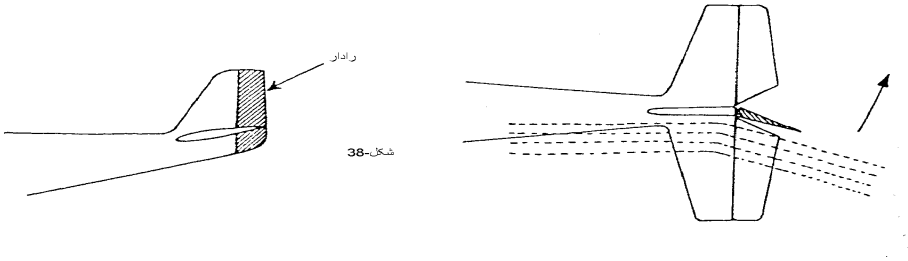
در این جا می‌خواهیم راجع به حرکت عمودی و ارادی هواپیما خارج از مسیر پروازی یعنی مانور صحبت کنیم. این حالات ممکن است: صعود، نزول، تغییر جهت یا احتمالاً ترکیبی از ۲ حرکت در یک زمان- مانند چرخش همراه صعود یا همراه نزول- باشد. طبق اصول پروازی توضیح چگونگی انجام مانور به عهده مربی پرواز است و ما در این جا در مورد چگونگی انجام مانور در عمل توضیح نمی‌دهیم هدف ما در این مرحله آشنا کردن شما با سطوح کنترل است که موجب پیدایش مانور می‌شوند تعادل به وسیله سطوح ثابت که در مقابل جریان هوا قرار دارند و سبب بازگشت هواپیما به مسیر پروازی اصلی می‌شوند، ایجاد می‌شود. این تعجب‌آور نخواهد بود که بدانید، سطوح کنترل متحرک (در اکثر موارد) سبب ایجاد مانور حول محورها می‌شوند این سطوح متحرک، با تغییر جهت و مقدار جریانات هوا، نیروها را برای ایجاد تغییر در مسیر پروازی، تنظیم می‌کنند. چنین کنترلی، آیرودینامیکی است، اما در انواع هواپیماهای Flexwing بکار نمی‌رود- به آسانی قابل تشخیص است که نقطه آویز متناسب با شکل کلی بال است-.

این ماشین‌ها، به طور رایج با عنوان "Tike" شناخته می‌شوند و فاقد سطوح متحرک هستند. در قسمت‌های بعدی توضیح خواهیم داد که مانور در این ماشین‌ها به واسطه اصولی به نام وزنه‌های تعادل "Weight Shift" انجام می‌شود.

تغییر جهت

در پرواز، چرخش (Turn) ترکیبی از ۲ مانور است- تغییر جهت و مانور حول محور طولی (bank)- در حال حاضر برای توضیح چرخش، تنها یکی از دو مانور را توضیح می‌دهیم تا از سردرگم شدن شما در یادگیری جلوگیری شود.

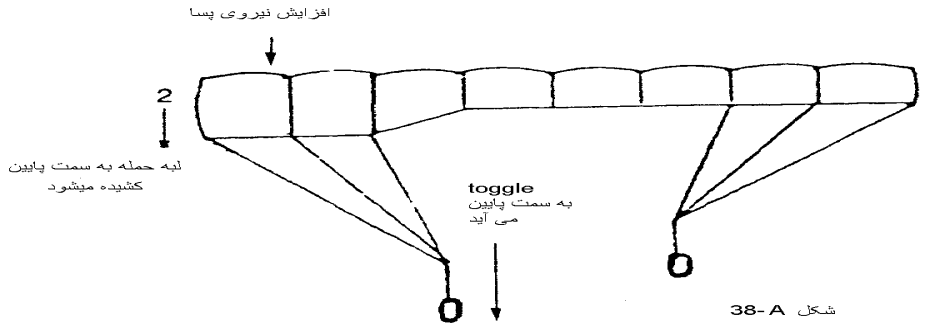
تغییر جهت (مانور حول محور عمودیYawing) توسط رادار (سکان عمودی متحرک) ایجاد می‌شود. بسیاری از مردم با این مفهوم آشنا هستند چرا که در قایق‌رانی از همین اصول استفاده می‌شود. رادار ، سطح عمودی متحرکی است که به لبه حمله سکان عمودی ثابت (Fin) لولا شده است.



شکل-38

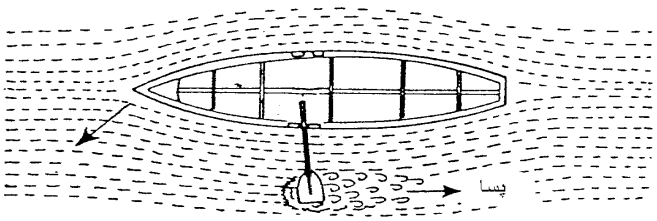
در شکل ۳۸ ، شما می‌بینید که در جریانات هوا رادار بکار گرفته می‌شود. بنابراین هوا را به یک طرف منحرف می‌کند و نیرو در جهت مخالف افزایش می‌یابد و سبب چرخش هواپیما حول محور عمودی می‌شود.

تغییر جهت در یک چتر نجات مستلزم فشار به چپ یا راست لبه فرار بال است این تغییر جهت بوسیله Toggle که خطهایی هستند بین لبه فرار تا انتهای بال، حاصل می‌شود. وقتی یک Toggle کشیده می‌شود، لبه فرار مربوط به آن بال به سمت پایین کشیده می‌شود و بنابراین، نیروی پسا حاصله باعث تغییر جهت می‌شود.



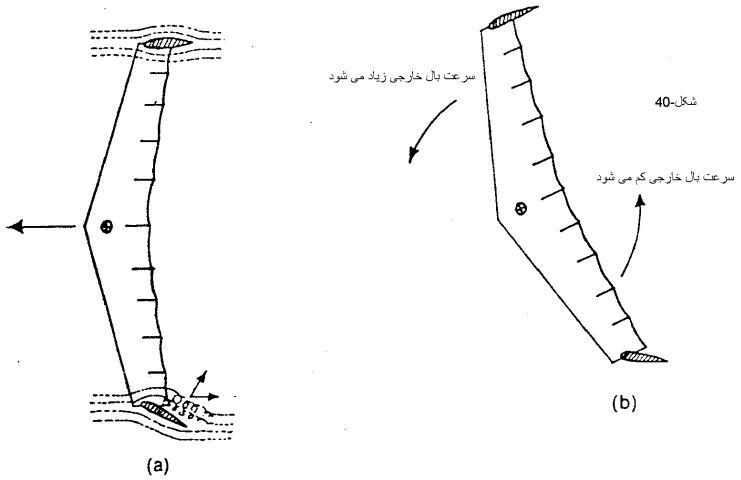
شکل 38-A

برخی از هواپیماهای میکرولایت که فاقد رادار هستند در قسمت انتهایی بالشان دارای سطوح متحرکی به نام " Tip Drggers" هستند. این سطوح به طور مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند و برای درک بهتر اثرشان، یک قایق را در آب در نظر می‌گیریم. حرکت پارو در این قایق سبب می‌شود که نیروی پسا ایجاد شود و قایق حول نقطه مذکور می‌چرخد.



شکل -39

در هر حال، رادار یا Canopy adjustment یا Draggers ، جهت حرکت جسم پرنده را حول محور عمودی تغییر می‌دهند، این مانور حول محور عمودی "Yawing" نامیده می‌شود.

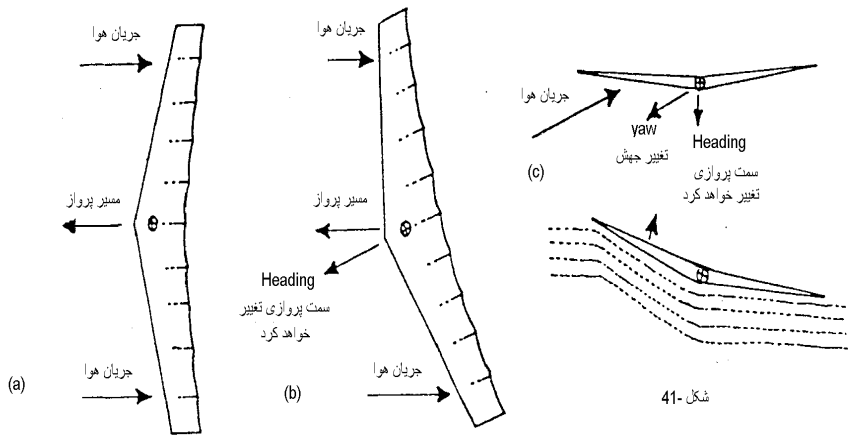


شکل-40

(a) Rudder یا Dragger به سمت چپ حرکت می‌کنند و سطح نوک بال را تغییر می‌دهند.

(b) Dragger به نوک بال لولا شده.و وقتی Dragger بال چپ منحرف می‌شود. نیروی برآ روی بال خارجی افزایش می‌یابد و نیروی برآ روی بال داخلی کم می‌شود = R.11

با دو نیروی برآی نابرابر، بال خارجی بالا می‌رود و بال داخلی، پایین می‌رود و بدین ترتیب هواپیما حول محور طولی،مانور انجام می‌دهد (Rolling) . Rolling در حین اثر حول محور قائم می‌باشد حرکت Rolling با بکارگیری Dihedral (زاویه فراز) افزایش می‌یابد. هواپیما مانند اتومبیل نیست .تا وقتی چرخهای آن نسبت به زمین تغییر موقعیت نداده‌اند، یک مسیر خاص را طی می کند، وقتی هواپیما در "Yaw" جهتش را تغییر می‌دهد، سمت پروازی آن تغییر خواهد کرد. (New Heading) برای یک مدت کوتاه، هواپیما در جهت مسیر اصلی پروازش سر خواهد خورد. این روی جهت جریانات هوا در ارتباط با بال اثر می‌گذارد.



شکل -41

(a) مسیر پرواز با جهت منطبق است.

(b) مسیر پروازی اصلی و جهت جدید = Yaw

(c) Yaw تنظیم می‌کند یک حرکت رو به پهلو یا سرش را (Skid) ، زاویه فراز، یک زاویه حمله می‌باشد. نیروی برآی اضافی روی بال خارجی ایجاد می‌شود.- و به Rolling کمک می‌کنند.

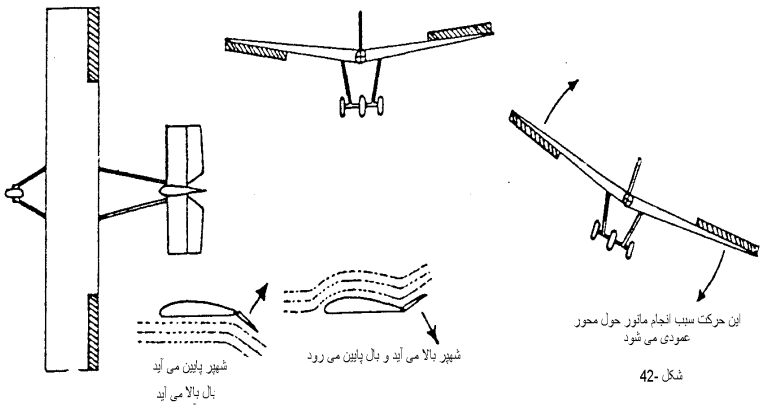
هواپیماهای Flexing یا Trike ، فاقد رادار یا Draggers یا C پوشش شفاف روی قسمت خدمه پروازanopy adjustment هستند. پس چگونه آنها، تغییر جهت می‌دهند؟ این عمل به وسیله اثرات بیشتر banking انجام می‌شود- درباره این مانور بعداً صحبت می‌شود.

(مانور حول محور طولی) Banking

Banking مانوری است که هواپیما در طی آن حول محور طولی می‌چرخد و Rolling انجام می‌شود. تا حالا دیدید که چگونه، Rolling به عنوان بخشی از اثر Yawing ، قابل اجراست. در حقیقت این مورد در هواپیماهایی بکار می‌رود که تنها شامل رادار است و فاقد شهپر (قسمت متحرک بال هواپیما) می‌باشد. در اینجا ما به بررسی کنترلهایی که منجر به بانکینگ می‌شود می‌پردازیم.

شهپرها Ailerons

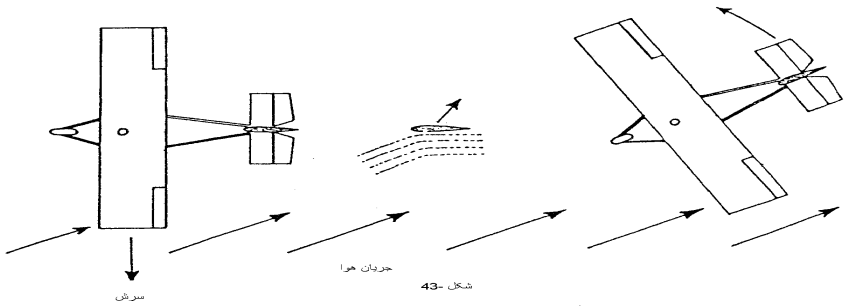
مرسوم‌ترین وسیله برای انجام مانور حول محور طولی، بکارگیری شهپر است، که سطوح متحرکی هستند که در لبه فرار بال نصب می‌شوند. وقتی خلبان فرمان هواپیما را به راست متمایل می‌کند. شهپر بال راست بالا می‌آید و شهپر بال چپ پایین می‌رود، در نتیجه هواپیما به سمت راست، Rolling دارد.



شکل -42

شهپرها، در حین Taxiing ،(برخاست هواپیما یا فرود) در شرایط بادی، استفاده می‌شوند و به هواپیما قابلیت پایین نگه داشتن بال را تحت این شرایط می‌دهد. شهپر در برخی از هواپیماهای بسیار سبک(میکرولایت) هم استفاده می‌شود.

اثر دیگری که از banking مشاهده می شود. این است که که وقتی هواپیما در حال Rolling است دچار لغزش (=Sideslip) به سمت بال رو به پایین می‌شود. این اثر باعث ایجاد یک نیروی برداری رو به پهلو می‌شود که با جریان هوا برخورد می‌کند. این حالت سبب می‌شود هواپیما تمایل به Weather cock به داخل جریانات هوا پیدا کند که در نهایت منجر به چرخش هواپیما می‌شود.



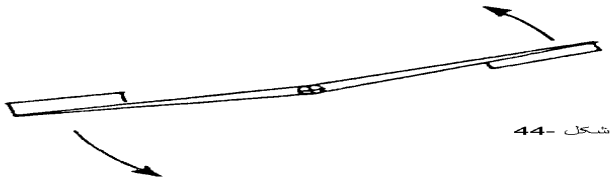
شکل -43

بکارگیری همزمان شپهر رادر به واسطه وارد کردن لغزش (Skid) برای مقابله با Slip یک چرخش متعادل را ایجاد می‌کند که شما در حین پرواز عملی حتماً باید این نوع مانور را اجرا کنید. (شکل ۴۱)

استفاده از شهپر آثار جالب دیگری نیز دارد.

شهپر روی قسمت خارجی بال، وقتی به سمت پایین متمایل می‌شودو شکل ایرفویل را تغییر می‌دهد، زاویه حمله را افزایش می‌دهد. شهپر بال دیگر که بالا رفته، زاویه حمله را کم می‌کند. (پس یک بال نسبت به دیگری نیروی برآی بیشتری تولید می‌کند). شما ممکن است بپرسید، چرا، هر ۲ شهپر اثر همدیگر را خنثی می‌کنند. این سوال در حین عمل زیاد پیش می‌آید.

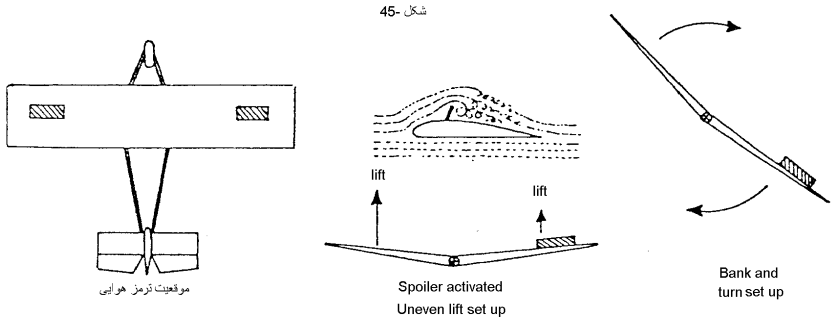
هر چند افزایش زاویه حمله به وسیله پایین رفتن شهپر سبب می‌شود پسای القایی زیادی تولید شود که منجر به Yaw هواپیما در خلاف جهت banking می‌شود. (یعنی مثلاً اگر Rolling به سمت راست است، دماغه به سمت چپ می‌رود و این به خاطر پسای القایی است). این اثر "Adverse Yaw" (Yaw معکوس) نامیده می‌شود و به وسیله میزان حرکت متفاوت شهپرها نسبت به هم "Different ional Aileron" کاهش می‌یابد. (یعنی شهپری که بالا رفته، نسبت به شهپری که پایین می‌رود، مسافت بیشتری را طی می‌کند). پس بالی که شهپرش بالا رفته نسبت به بال دیگر، نیروی پسای بیشتری، همیشه خواهد داشت.



شکل -44

ترمز هوایی Spoilers

یک وسیله دیگر برای کنترل banking ، مخصوصاً در هواپیماهای بسیار سبک، استفاده از ترمز هوایی می‌باشد. ترمزهوایی سطوح متحرکی هستند که روی بال نصب می‌شوند و به طور مستقل از یکدیگر حرکت می‌کنند. آنها در نقطه‌ای نصب می‌شوند که حداکثر نیروی برآ، از آنجا حاصل می‌شود. وقتی ترمزهوایی از روی سطح بال بلند می‌شوند، جریان منظم هوا را بهم می‌زنند، پس نیروی برآ را کاهش می‌دهند.



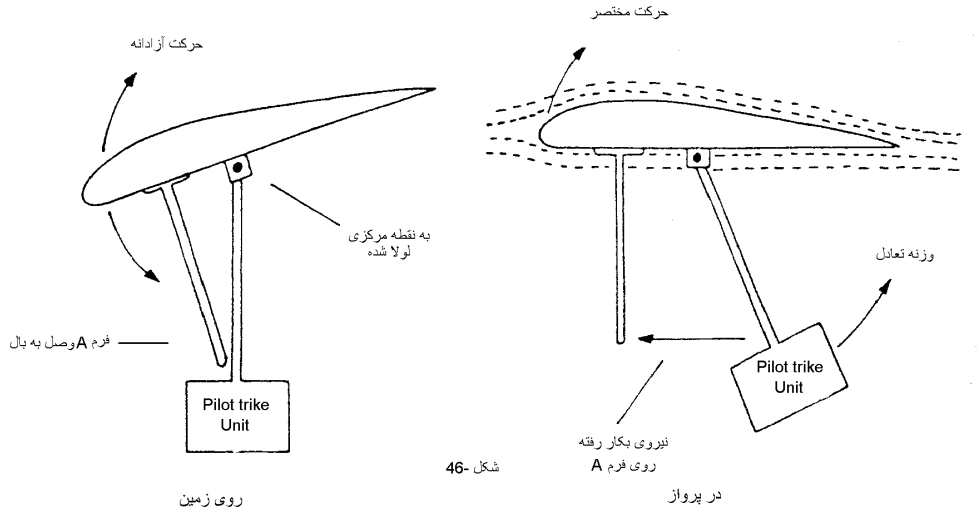
به واسطه دو مقدار نابرابر، نیروی برآی تولیدی، مانور حول محور طولی (Rolling) انجام‌پذیر است. هر چند، نیروی پسا، در این موقعیت، نقش مهمی را ایفا می‌کند و ترمزهوایی یک اثر مشابه با یک Dragger (یا یک پارو در آب) را خواهد داشت، بال پایین‌تر، تا حدی در حین حرکت کند عمل می‌کند بنابراین Yaw وارد می‌کند. به کلام دیگر، وقتی شما در حال انجام مانور bank هستید، با استفاده از ترمزهوایی ، شما می‌توانید Trun هم داشته باشید. به این نوع ترمزهوایی ، Spoileron می‌گویند.

وزنه تعادل Weight shift

قبلاً گفتیم که هواپیماها از نوع Flexwing یا Trike می‌توانند با اصول "وزنه تعادل" مانور انجام دهند. هواپیماهای "Trike" که از مکانیزم "Weight Shift" استفاده می‌کنند حتماً دارای واحدی به نام "Pilot/Trike" است. هر چند معلق بودن از یک نقطه مرکزی زیر بال، تمایل طبیعی برای حرکت آونگی ایجاد می‌کند. حال تنها راهی که می‌توان این آونگ (یا وزنه) را از حالت تعادل خارج کرد، (وقتی که شما قسمتی از آن هستید) این است که آن را برخلاف جهت سایر قطعات بدنه بکشیم یا هل دهیم، نه در جهت قسمت Pilot/Trike در این حالت آونگ، فرم "A" خواهد بود که به صورت خیلی

محکمی به بال وصل است. اما روی زمین، حل دادن یا کشیدن روی میله کنترل که پایه فرم "A" می‌باشد، منجر به حرکت بال در هر جهتی، از پهلو یا از بالا به پایین خواهد شد.

هر چند، در موقعیتهای پروازی مختلف، این موارد متفاوت است.ولی تعادل اصلی بال که در میان هوا حرکت می‌کند، سبب عدم تمایل بال به حرکت در خارج از حالت تعادلش می‌شود بنابراین برای تحقق کلیه اهداف مورد نظرآن به اندازه کافی محکم است.



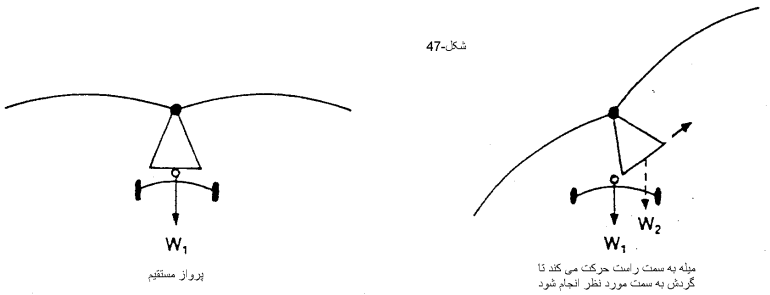
شکل -46

به گونه‌ای که، وقتی هوابرد، روی میله کشیده یا هل داده می‌شود (یا از قسمتی به قسمت دیگر حرکت می‌کند) باعث حرکت لحظه‌ای بال به میزان بسیار کم، خواهد شد. اما وزنه تعادل یا واحد آونگی Pilot/Trike ، خارج از نقطه تعادل حرکت می‌کند.

به کلامی دیگر، این مورد به وزنه(مرکز جاذبه) این قابلیت را می‌دهد که حرکت کند . این گشتاور سبب حرکت بال در جهتی که وزنه منتقل شده است می گردد (در خلاف جهتی که وزنه انتقال یافته است)و بسته به نقطه نظری که به آن نگاه می کنیم دارد.

بنابراین، bank (مانور حول محور طولی) در یک Trike تنظیم می‌شود به وسیله حرکت میله دور از جهت متمایل به bank ، این وزنه در خلاف جهت bank حرکت می‌کند تا بال بتواند در جهت مطلوب bank انجام دهد.

شکل-47



میله به سمت راست حرکت می‌کند وزنه به سمت چپ حرکت می‌کند تا Rolling به سمت مورد نظر انجام شود.

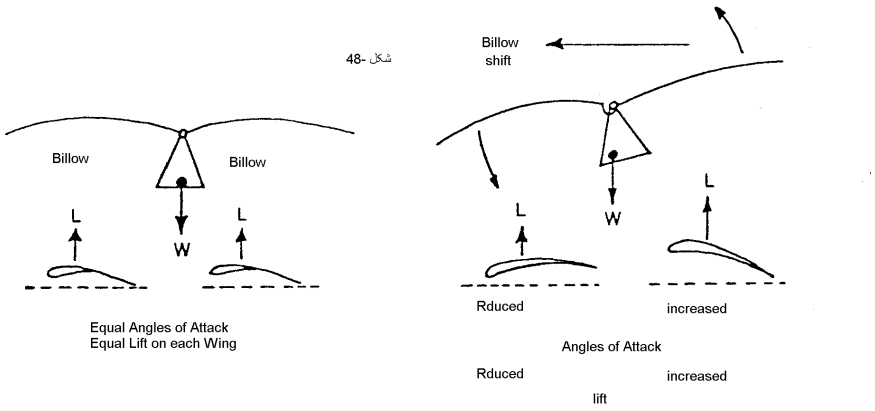
۲ فاکتور دیگر موجود هستند که در انجام Rolling موثر ودر برخی از هواپیماهای Flexwing دخیل هستند.

Billow Shift

اولین فاکتور ایجاد انعطاف پذیری داخل شناور، این است که در حالت دوباره پخش شدن نیروی القا شده به وسیله وزنه تعادل (Dragger ها در حالتی که یک هواپیمای فوق سبک Eagl است) اجازه یک تغییر در فرمت بال را می‌دهد که باعث مانور حول محور طولی می‌شود.

بدون اینکه بیش از حد وارد بحث مکانیکی بشویم، این پروژه "Billow Shift" نامیده می‌شود و در این راه کار می‌کند.

- bank به وسیله وزنه تعادل یا Dragger در جهت مورد نظر انجام می‌شود.
- انعطاف‌پذیری در بال سبب ایجاد Slackness در لبه فرار بال در حال bank و Tightening در بال دیگر می‌شود.
- Tightening باعث افزایش billow در بال در حال bank می‌شود- لبه فرار بالا می‌رود و زاویه حمله کاهش می‌یابد.
- Slackness روی بال دیگر، لبه فرار را به پایین هل می‌دهد، بنابراین زاویه حمله را افزایش می‌دهد.
- نتیجه نیروی برآی کمتر در بال در حال bank و نیروی برآی بیشتر روی بال خارجی می‌شود.
- بنابراین Rolling انجام می‌شود.

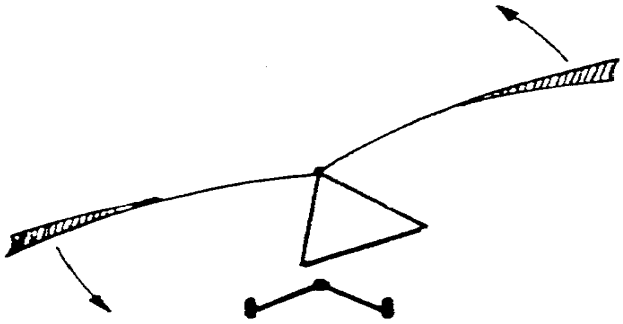


شکل -48

Billow Shift ، یک هدف مهم دیگر را تحقق می‌بخشد. در هوای بد هر برخورد قوی تند باد با یک بال، ایجاد در آن بال می‌کند و هوای زیادی به سمت خارج بال سر می‌خورد. بنابراین اثر توربالانس و آشفتگی کاهش می‌یابد.

Roach

پارامتر هم در کمک به انجام مانور Rolling عبارت است از گسترش Billow Shift به جز در حرکت بال، بیشتر در نوک بال یافته می‌شود. این پارامتر، Roach نامیده می‌شود و اثری مشابه شهپر دارد.



شکل-49

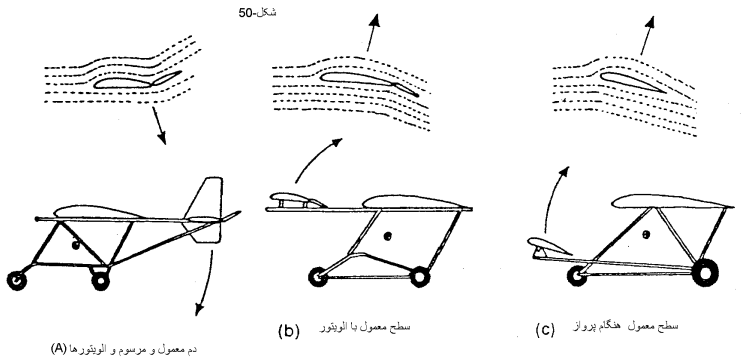
دماغه بالا / دماغه پایین

مانور بالا بردن دماغه و پایین آوردن آن به طور اولیه به بالا بردن یا کاهش زاویه حمله وابسته است و بنابراین با کنترل سرعت هواپیما این مانور انجام می‌شود. این حرکت "Pitch" نامیده می‌شود. برخلاف عقیده عموم،و برخلاف یک ماشین، که سرعت آن به وسیله قدرت کنترل می‌شود، مانور Pitch است که سرعت هواپیما را در پرواز(به جز در لحظه برخاستن به هوا و لحظه نشستن هواپیما) کنترل می‌کند. در مانور Pitch به سمت پایین، شما سرعت هواپیما را افزایش خواهید داد و در مانور به سمت بالا، سرعت هواپیما کاهش می‌یابد. قدرت در جهت تعیین میزان صعود و نزول استفاده می‌شود. افزایش قدرت به اوج گیری و کاهش قدرت به نزول منجر می‌شود.

Pitch حول محور افقی هواپیما انجام می‌شود. چنین کنترلی هم می‌تواند به وسیله سطوح متحرک آیرودینامیکی یا به وسیله وزنه تعادل انجام می‌شود.

سطوح افقی متحرک Elevators

کنترل آیرودینامیکی به وسیله سطوح متحرکی، به نام Elevator که به دم یا سطوح افقی ثابت وصل است که منجر به تعادل هواپیما حول محور افقی می‌شود.



(a) دم معمول و مرسوم و Elevator ها

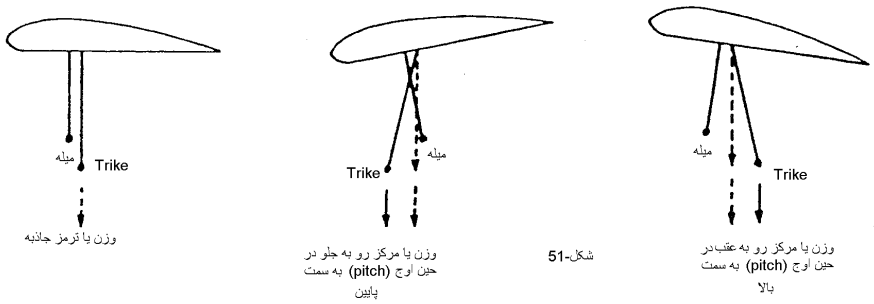
(b) سطح Canard با Elevator

(c) سطح Canard در حین پرواز

این شکل در (b) بسیار استادانه طراحی شده. Canard در این موقعیت یک نوع سطح افزایش نیروی برآ است. یک بال بسیار کوچک در قسمت خارجی و جلوی بال، به منظور توضیح و تشریح بهتر این بال Canard ، در یک زاویه حمله بیشتر، نسبت به بال هواپیما تنظیم می‌شود. بنابراین وقتی هواپیما به واماندگی نزدیک می‌شود؛ ابتدا Canard دچار این واماندگی می‌شودو دماغه می‌افتد. بنابراین از رسیدن واماندگی به بال اصلی جلوگیری می‌شود، اما پرواز غیر نرمال ایجاد می‌شود این تنظیم یک شکل هواپیما را فراهم می‌کند. امروزه از این نوع معمولاً استفاده نمی‌شود چون پسای فرعی زیادی را تولید می‌کند.

وزنه تعادل Weight Shift

در هواپیمای Flexwing ، یک میله به منظور جا به جا کردن بردار وزن در حین تغییر زاویه حمله بکار می‌رود.

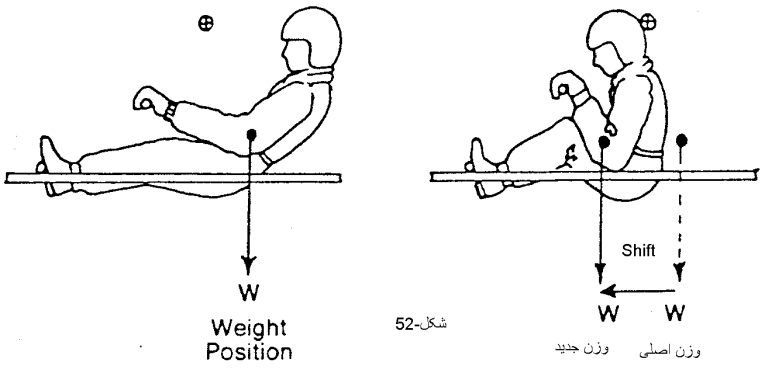


شکل-51

کلیه روشهای مختلف Pitch به وسیله وزنه تعادل در شکل فوق نمایش داده شده است. در برخی از موارد خلبان روی صندلی می‌نشیند که آزادانه به زیر بال آویخته شده و در اینجا توزیع وزن با کشیدن یا فشار دادن روی ساختمان هواپیما و اطراف خلبان تغییر می‌کند.

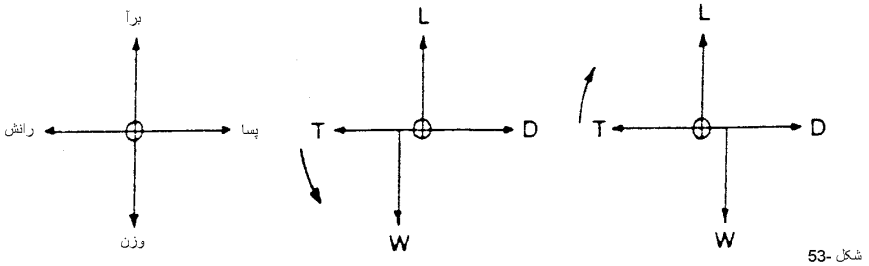
گاهی اوقات، این صندلی به کابلهایی که به سطوح کنترل متحرک وصل هستند، اتصال می‌یابند این سطوح کنترل به وسیله وزنه تعادل حرکت می‌کنند.

مثالهایی از این نوع را می‌توان در هواپیماهای جیوه ای silver " اولیه، جایی که یک حرکت رو به پهلو یا کنار به وسیله خلبان معلق،که سبب فعال شدن رادار می‌شود دید. به همین ترتیب در نوع عقابی، صندلی به یک الویتور روی پیش سکان (Canard) نزدیک به دماغه نصب است. نمونه‌هایی هم موجود است که صندلی محکم در جای خود نصب شده است اما خلبان این توانایی را دارد که در یک محدوده کافی و مشخصی به جلو و عقب برود تا کنترل Pitch کاملی را فراهم کنند. مانند هواپیمای PTERODVCTY .



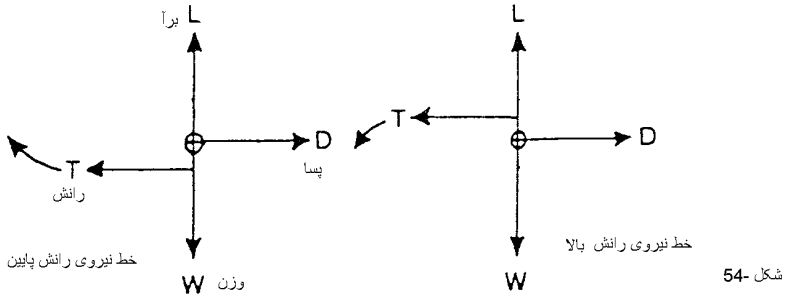
شکل-52

به طور نمایشی، مکان ۴ نیرو در Pitching با استفاده از وزنه تعادل، بدینسان است.



شکل -53

Pitch می‌تواند تحت تاثیر خط رانشی موتور انجام پذیرد که در اینجا ، تغییر تنظیم هواپیما به مقدار مشخصی به عنوان قدرت، افزایش یا کاهش می‌یابد. چنین تغییراتی باید به سرعت انجام شود خصوصاً وقتی هواپیما به زمین نزدیک است. این پارامترها در شکل ۵۴ ، نمایش داده شده است.



شکل -54

کنترل Pitch در چترهای نجات ، از حالت نرمال چتر را حرکت می‌دهدو در غیاب الویتور توانایی حرکت بال به عنوان یک قسمت کامل را باعث می‌شود.

در حقیقت کنترل نرمال، توسط قدرت به تنهایی ایجاد می‌شود. افزایش قدرت، سرعت هوایی راکه در Trun است افزایش می‌دهد. این افزایش، سبب افزایش نیروی برآ می‌شود و در نتیجه هواپیما صعود می‌کند. با کاهش سرعت، عکس این اتفاقات، انجام می‌شود. دوباره، در غیاب کنترل Pitch آیرودینامیکی یا بالچه‌های متحرک، شما باید بفهمید که نمی‌توانید، قدرت را وارد کنید، حرکت فرمان به جلو یا کشیدن میله به عقب و افزایش سرعت هواپیما، منجر به کنترل Pitch می‌شود.

حال، ممکن است شما، به ناچار قدرت چتر پرنده را با یک سرعت ثابت هوایی در حین پرواز کاهش داده باشید. هر تنظیم قدرت در این ترکیب، منجر به صعود یا نزول خواهد شد. یک عنصر دیگر برای کنترل Pitch موجود است که وقتی هر دو ماده Toggle با هم پایین کشیده می‌شوند بکار می‌رود. این اعمال فشار به لبه فرار در دو طرف بال (Canopy) منجر به افزایش زاویه حمله‌ای می‌شود که در یک لحظه، نیروی برآ و پسا را افزایش می‌دهد. نیروی برآ، نرخ نزول را کاهش می‌دهد و نیروی پسا، سرعت هواپیما را کاهش می‌دهد، به گونه‌ای که بکار بردن چنین کنترلی، سبب اعمال کمک زیادی به انجام دقیق آخرین مرحله فرود در نقطه تماس با زمین خواهد کرد. قبل از رها کردن کنترل Pitch ، بسیار مهم است که موقعیت مرکز جاذبه (CG) را بدانیم چرا که بسیار موثر است. خیلی جلو یا عقب بودن مرکز جاذبه سبب عدم تعادل

هواپیما در حین Pitch می‌شود. در هواپیماهای Flexwing که به وسیله وزنه تعادل، کنترل می‌شوند، یکسری نقاط آویز موجود است که Trikeunit می‌تواند به آنها وصل شود. این به خلبان اجازه تنظیم سرعت را می‌دهد- یا به طور معمول Hands off Speed نامیده می‌شود. دقت کنید در انتخاب نقطه خیلی دور و به سمت عقب در این موقعیت، مرکز جاذبه را جا به جا می‌کند ، بنابراین منجر به عدم تعادل می‌شود.

واماندگی با سرعت بالا High Speed Stall

کلام آخر در کنترل Pitch واماندگی است. شما به یاد خواهید آورد که وقتی Yaw انجام شد تنها در یک لحظه هواپیما در یک مسیر جدید حرکت می‌کند، اما در واقع در طول مسیر اصلی پرواز، حرکت می‌کند. همین موقعیت در استفاده از کنترل Pitch خیلی خطرناک‌تر می‌تواند رخ دهد اگر شما در حال پرواز با یک سرعت بسیار زیاد و دارای ارتفاع ناکافی هستید؛ و ناگهان تصمیم به بالا بردن دماغه می‌گیرید، دماغه، مطمئناً برای یک لحظه بالا خواهد رفت اما هواپیما به مسیر پروازی رو به پایینش به خاطر افزایش سریع و زیاد زاویه حمله ادامه خواهد داد.

اگر زاویه واماندگی بر جریان هوای منظم روی بال، غلبه کند، جریان منظم را تجزیه خواهد کرد.در واماندگی حتی وقتی سرعتتان بیش از سرعت Stall است، این عمل به وقوع خواهد پیوست. شما در معرض چیزی که High Speed Stall نامیده می‌شود، قرار خواهید گرفت و این موقعیت در فاصله‌ای دور از زمین پیش می‌آید. هر چند با بالهای رو به پایین هواپیماهای سبک، این حالت ایجاد مشکل برای هواپیما نخواهد کرد.

مانور خارج از مستقیم

Maneuvers Out of Straight and Level

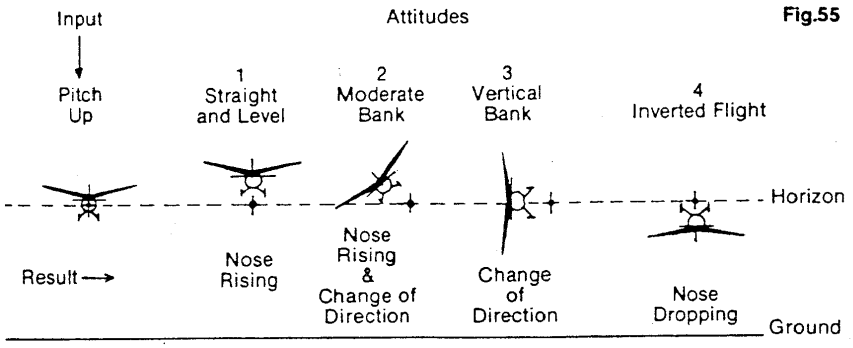
با در نظر گرفتن هر کنترل به طور جداگانه و فرض بر اینکه کاربرد آنها در شرایط پروازی ثابت، مستقیم و تراز انجام می‌گیرد، تاثیر کنترل‌ها را تشریح نمودیم.

چه اتفاقی می‌افتد، اگر همین نیروها در مانورهای خارج از خط مستقیم وارد شود؟

این موقعیت به بهترین نحو وقتی فهمیده می‌شود که بدانیم هواپیما در چه موقعیتی خودش را پیدا می‌کند. این نیروی مصرف شده برای این کنترل خاص، همان اثر مانور روی خط مستقیم را در حالت خارج از این خط هم خواهد داشت.

حرکتی در ارتباط با محورهای مربوط به هواپیما خواهد بود.

هر چند، حرکت ممکن است به طور یکسان در ارتباط با خط افقی یا زمین نباشد. این اثر به بهترین نحو، در شکل شماره (۵۵) نمایش داده شده است.



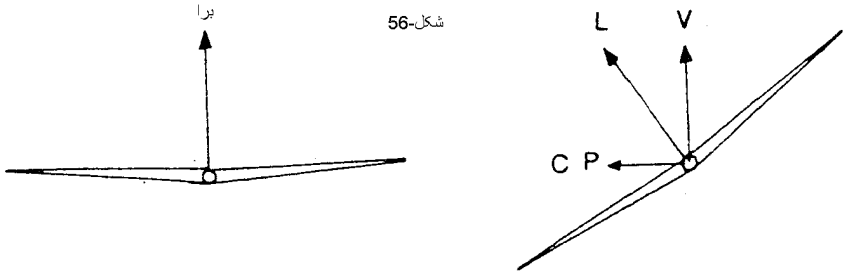
توجه کنید چگونه در موقعیت ۲ با استفاده از مانور Pitch Up ، تنها فقط دماغه بالا می‌رودو جهت هواپیما هم تغییر می‌کند. در موقعیت ۳ ، هواپیما به گونه‌ای مانور انجام می‌دهد که گویی از Rudder استفاده می‌شود. در موقعیت ۴ ، دماغه به پایین می‌افتد یک هواپیمای کوچک مدل را در نظر بگیرید و کلیه حالتهای زیر را با وارد کردن کنترل فرضی، اما نه فقط Pitch ، بلکه Yaw و Roll را وارد کنید- همه را با هواپیمای مدل در ارتفاعات مختلف تجربه کنید.

چرخش Truning

رایج‌ترین مانور، که شما با آن روبرو خواهید شد، Turn یا چرخش است.

اوایل گفته می‌شود که برای انجام مانور چرخش نیاز به ۲ مانور به صورت همزمان است.- ترکیبی از Rolling و Yawing اما در حقیقت Pitch به تنهایی، می‌تواند Turning را به خوبی انجام دهد. شما تا حالا آموخته‌اید که وارد کردن مانور Yaw روی بردارهای خودش در جهتی که هواپیما جلو می‌رود، باعث سر خوردن هواپیما در مسیر اصلی خودش می‌شود (Skid) .- شما ممکن است بگویید: توقف پرواز در یک خط مماس برای وارد کردن ماشینتان به یک مسیر از پیش تعیین شده نیاز به وارد کردن یک نیروی رو به جلو به مرکز چرخش است.- همچنین اگر هواپیما محدود به حرکت حول یک نقطه است و به آن نیرو داده می‌شود که حول همین نقطه مانور انجام دهد.

نیرویی که برای انجام این مانور مورد نیاز است، نیروی برآ است. همچنین Rolling وارد می‌شود و بال حول محور افقی (bank) مانور انجام می‌دهد.- به تمایل نیروها در دیاگرام نهایی این نیروها توجه کنید.

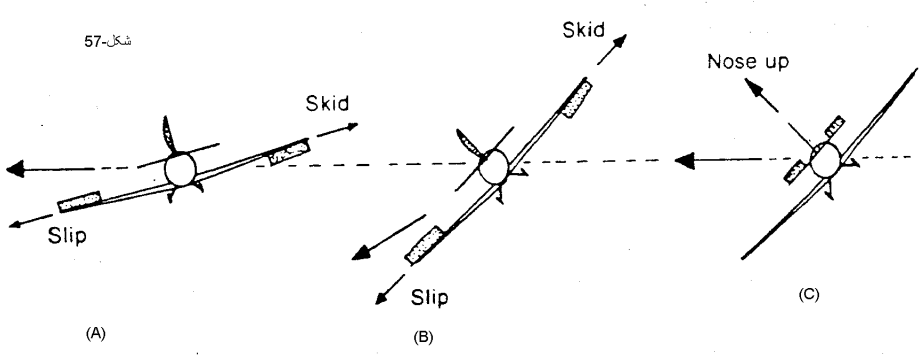


شکل-56

شما می‌توانید ببینید که چگونه نیروی برآ به دو نیروی دیگر تجزیه می‌شود. یکی نیروی عمودی (V) و دیگری به سمت داخل مرکز چرخش. که نیروی جانب مرکزی نامیده می‌شود. برای یک لحظه فراموش کنید که بردار عمودی حالا کمتر از بردار برآ است.- در آینده بیشتر در این بار توضیح می‌دهیم. هر چند وارد کردن Rolling روی خودش و اطمینان از سر خوردن، منجر به کاهش ارتفاع می‌شود. یک مقدار کاملاً معین از مقدار Yaw ، با سرش به سمت داخل (Slip) یا سرش به سمت خارج (Skid) مقابله می‌کند.

ترکیب همزمان دو نیروی Rolling و Yawing منجر به چرخش متعادل (Balanced Turn) می‌شود. وقتی چرخش، گسترش می‌یابد، رادر شروع به حرکت مانند الویتور خواهد کرد به خاطر وضعیت هواپیما ،یک بار دیگر ارتفاع می‌تواند کاهش یابد. همچنین بال خارجی، نسبت به بال داخلی سریعتر در چرخش حرکت می‌کند. به گونه‌ای که افزایش نیروی برآ روی بال خارجی می‌تواند منجر به Rolling به حد مورد نظر شود. هر دو این احتمالات می‌تواند به وسیله اعمال Pitch up چک گردد. در عین حال با Yaw ، در حین برخاست یا هر نوع گرایش به سمت Roll بیش از حد، می‌توان با کم کردن مقدار Rolling ، مقابله نمود.

شکل-57

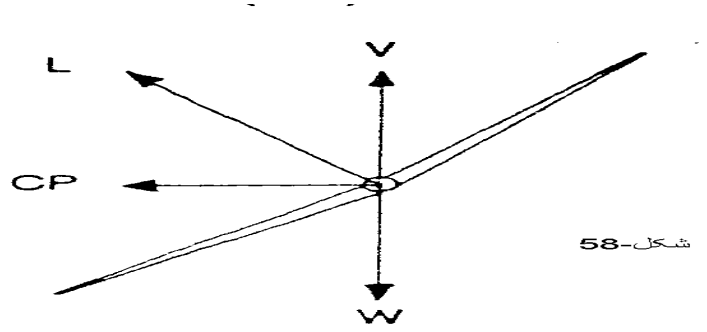


(a) سر خوردن به سمت خارج با سر خوردن به سمت داخل مقابله می‌کند تا یک چرخش متعادل داشته باشیم.

(b) اثر Rudder مانند Elevator در این وضعیت سبب کاهش ارتفاع می‌شود.

(c) کنترل Yaw همراه با بالا بردن دماغه، سبب می‌شود که بتوانیم ارتفاع را روی حد مورد نظر نگه داریم.

برای به دست آوردن چرخش خیلی بسته- در یک زاویه کوچک- به معنای افزایش bank است: به گونه‌ای که نیروی CP به منظور دست‌یابی به این هدف افزایش می‌یابد.



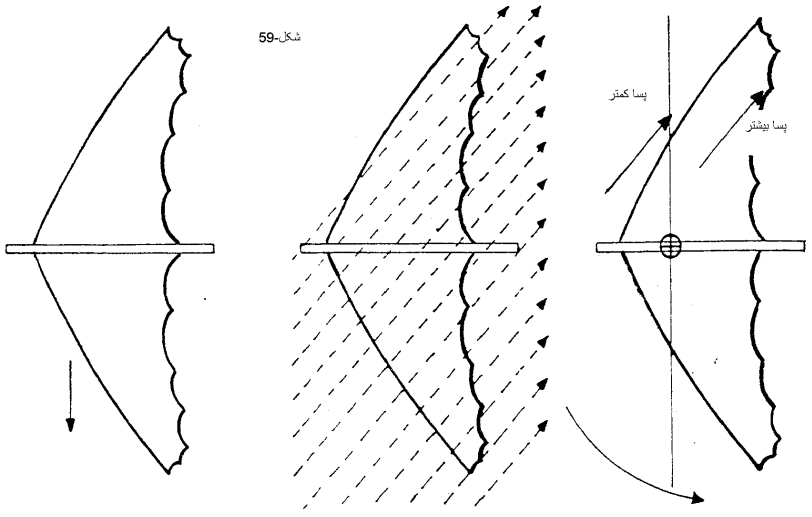
شکل-58

هر چند افزایش CP منجر به کاهش بیشتر نیروی CP می‌شود که به صورت عمودی جهت خنثی کردن وزن (W) بکار می‌رود. پس دوباره این حالت می‌تواند ما را دچار مشکل کند، که راه کارهایی که قبلاً گفته شده جهت اجتناب از این حالت بکار گرفته می‌شود.

بکارگیری Trike در چرخش The Trike in a Turn

این سوال بایستی تا حالا در ذهنتان خطور کرده باشد که کجا از "Trike" استفاده می‌شود. در سیستم‌هایی که Rudder یا Dragger برای ایجاد Yaw داخلی برای چرخش متعادل، موجود نیست، از "Trike" استفاده می‌شود. در حقیقت، "Trike" در نمی‌تواند منجر به "Yaw" بشود. اما در چرخش کلی، "Trike" تا حدی موثر واقع می‌شود.

حرکت دادن "Trike" ، با وارد کردن bank و تنظیم نیروی CP در همان شکلی که توضیح داده شد آغاز می‌شود. همچنین bank اتفاق می‌افتد و نتیجه آن Slip (= سرش) است و شکل (۵۹) در نهایت ایجاد می‌شود.



شکل-59

سر خوردن به سمت داخل(Slip) به واسطه Bank ایجاد شده
(A)

نمونه ای از جریان هوا روی بالی که دچار سرش به سمت داخل است
(B)

تغییر جهت در slip به خاطر نیروی پسا ذاتی حول مرکز جاذبه
(C)

در (c) ، پسای شکلی، بزرگتر و پشت مرکز جاذبه (CG) خواهد بود. به خاطر این، شناوری بیشتر در این بخش موجود است. تغییر مقدار نیروی پسا، منجر به تغییر جهت هواپیما می‌شود بدون نیاز به سطوح کنترل متحرک مانند Rudder .

همچنین، برخی از Trike ها دارای یک سطح کوچک عمودی در قسمت بالا و یا زیر بال و عقب CG (مرکز جاذبه) هستند.

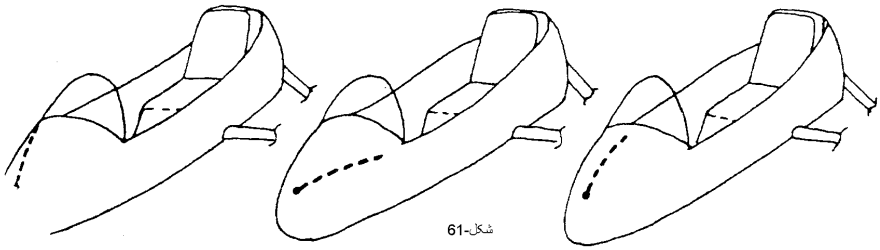
شکل-60

همچنین "bank" به یک اثر دارا می‌شود و به تغییر جهت کمک می‌کند. به گونه‌ای که بال در حین پرواز سر می‌خورد. یک بار دیگر، کاهش محسوس ارتفاع به خاطر Slip (سرش) در حین Roll پیش خواهد آمد و به تنهایی با Pitch Up به وسیله هل دادن میله به بیرون مقابله می‌کند. در این لحظه، ممکن است نادرست باشد که بگوییم، خلبان به یک سیستم کنترل سه محوره عادت دارد.- کنترل در این سه محور به وسیله رادر ، الویتور و شهپرها (Ailerons) ایجاد می‌شود.- ممکن است کنترل اولیه‌شان به وسیله یک "Trike" بیابید که هیجان‌آورترین تجربه است! به لحاظ اینکه، حرکت کنترل با میله جلوی کایت خلاف آن چیزی هست که حالت ماهیتی یا ذاتی پیدا کرده است. کافی است که بگوییم، آن مشکلی که احتمال وقوع آن می‌رود این نیست. خلبانان زیادی با هر ۲ نوع روش پرواز می‌کنند بدون آنکه درباره آن فکر نمایند. - زیرا آنها، هزینه تبدیل را با کمک یک مربی خلبان Trike کار آزموده، که نیازهایشان را به خوبی درک می‌کند و برآورده می کنند.

چرخش متعادل The Balanced Trun

در نهایت، چگونه یک چرخش متعادل و بالانس انجام می‌پذیرد؟ ابزارهای بسیار دقیقی وجود دارند اما اگر فقط شما جهت‌تان خارج از محفظه و در فضای آزاد است، نیازی به هیچ یک از این ابزارهای دقیق نیست. فرض کنید، شما با یک چرخش به سمت چپ وارد می‌شوید؛ Rolling خیلی زیاد وارد می‌شود و در نتیجه شما در هوا سر می‌خورید و جریان هوا به سمت چپ صورتتان برخورد خواهد کرد. Yaw خیلی شدید، منجر به Skid (سر خوردن به سمت خارج) به سمت راست می‌شود و شما باد شمالی را احساس خواهید کرد. اگر باد به طور کامل به صورتتان برخورد کند یعنی شما با Roll و Yaw خیلی شدید روبرو هستید. در جلوی کابین خلبان در هواپیماهایی که خلبان در فضای سر بسته قرار می‌گیرد و پرواز می‌کند. (Cover) یک نوار رنگی که از جنس پشم یا ربان است نصب می‌شود. حرکت این نوار به یک طرف خاص یا طرف

مقابلش نمایانگر Slip یا Skid (سرش) می‌باشد. ولی وقتی این نوار رنگی در یک خط مستقیم قرار دارد یعنی اوضاع پرواز نرمال است.



شکل-61

سرعت هوایی در چرخش Airspeed in a Turn

حال به جمع‌بندی آنچه تاکنون راجع به "چرخش" گفتیم آنهم در ارتباط با سرعت هواپیما می‌پردازیم. این قضیه را از دو بعد می‌توان بررسی کرد.

The Spin of Turn

در ابتدا اثری از Yaw القایی در حال انجام یک چرخش ساده موجود است-. شما به یاد خواهید آورد که چگونه Yaw منجر به تغییر جهت و کاهش سرعت بال داخلی و همزمان باعث افزایش سرعت بال خارجی می‌شود. حال فرض کنید سرعت واماندگی شما، ۳۰ مایل در هر ساعت می‌باشد و شما به یک چرخش ساده و تخت وارد می‌شوید- یا حتی به طور غیر عمدی رادر را نزدیک به این سرعت بکار می‌گیرید.

در اینجا شما باید با سرعت میانگین ۳۲ مایل در ساعت بچرخید؛ یعنی بال خارجی باید سرعتی معادل ۳۶ مایل در ساعت و بال داخلی سرعتی معادل ۲۸ مایل در سرعت داشته باشد. در این سرعت بال داخلی دچار واماندگی خواهد شد و به سمت پایین افت می‌کند ولی بال خارجی به تولید نیروی برآ ادامه می‌دهد. این حالت منجر به تکان ناگهانی هواپیما می‌شود و هواپیما به یک نزول مارپیچی حول محور عمودی وارد می‌شود. به طور ساده، اگر بالهایتان هم سطح و تراز نیستند در نقطه واماندگی، بال پایین می‌رود با جریان هوا در زاویه حمله بیشتری برخورد خواهد کرد و واماندگی با بال دیگر، هم چنان نیروی برآ تولید خواهد کرد. راه دیگری که شما اینجا با آن آشنا می‌شوید، Spin نامیده می‌شود.

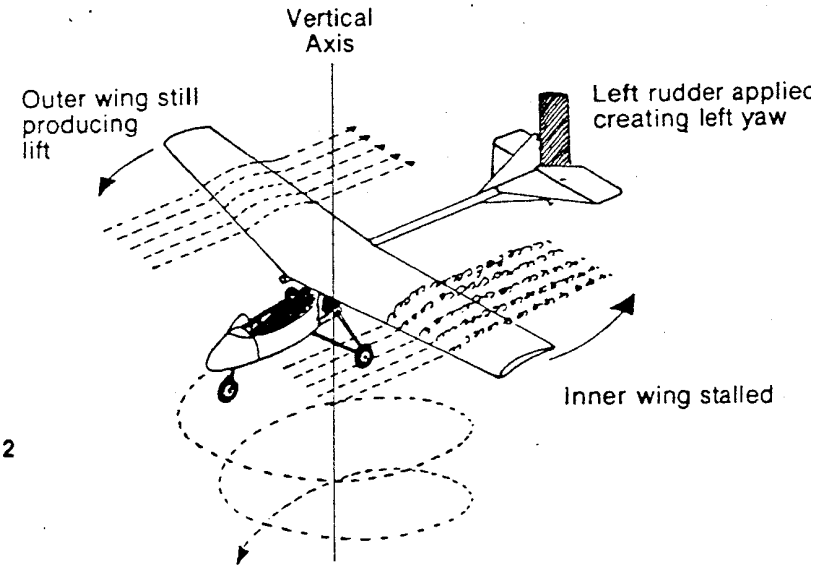


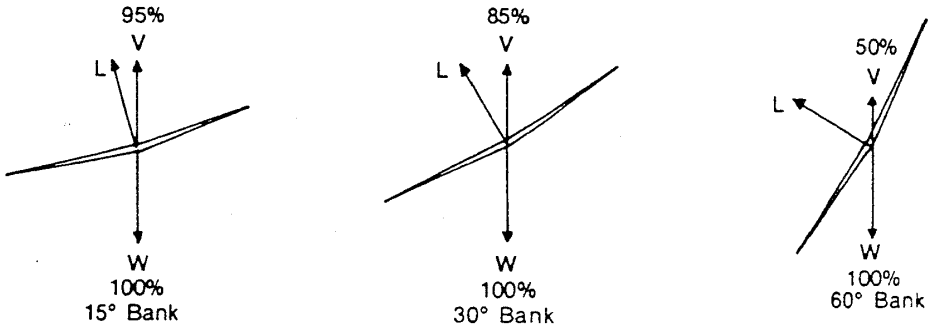
Fig.62

یک Spin نبایستی با شیرجه مارپیچی (Spiral dive) اشتباه گرفته شود. در یک Spin سرعت هواپیما افزایش نمی‌یابد ولی نزول عمودی خیلی با سرعت انجام می‌پذیرد. در یک شیرجه مارپیچی هواپیما در یک موقعیت وامانده نیست. دماغه در یک زاویه خیلی تندتر است و سرعت به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد تا به حد خطرناکی برسد. برای خارج شدن از حالت Spin ، بایستی تا حدی ارتفاع را کاهش دهیم که البته ممکن است در ارتفاع پایین برای هواپیما مشکل ایجاد شود. در هواپیماهای جدید مخصوصاً میکرولایت ها (فوق سبک‌ها) به طور کامل به یک Spin پیشرفته دچار نمی‌شوند، آنها به صورت ساده با نوع خاصی از Spin که Spin اولیه نامیده می‌شود- و سپس بعد از پیشروی Spin با خطر کلی، مواجه می‌شوند. اگر هواپیما از یک امکانات خاصی به نام Wash out بهره‌مند گردد احتمال Spin کاهش می یابد. Wash out یعنی زاویه نصب نوک بال کمتر از زاویه نصب مقر بال است. بنابراین، در یک زاویه حمله زیاد، در لحظه وقوع واماندگی، بخش‌های داخلی بال ابتدا دچار واماندگی می‌شود (یعنی مقر بال) و نوک بال همچنان بدون واماندگی می‌تواند پرواز کند. با وجود این حقیقت که القای چرخش می‌تواند نسبتاً مشکل باشد؛ اما این سختی به شما، این اجازه را نخواهد داد که نسبت به اعمال حداکثر دقت بر روی سرعت هوایی، نزدیک واماندگی کوتاهی نمایید.

حداکثر سرعت در چرخش Stalling Speed in Trun

سرعت واماندگی، دومین بُعد سرعت هواپیما در حین چرخش است که نسبتاً پیچیده‌تر است اما در اینجا تلاش می‌شود به ساده‌ترین شکل ممکن توضیح داده شود. برای یک لحظه به شکل ۵۸ برگردید. نیروی CP در bank افزایش می‌یابد اما مولفه عمودی که نیروی وزن را خنثی می‌کند کاهش می‌یابد. اگر هیچ عکس‌العملی در مقابل این کاهش (بردار عمودی) نشان داده نشود، درنتیجه چرخش رو به پایین (همراه نزول) اتفاق می‌افتد. در حین bank ، نرخ کاهش بردارعمودی (V)

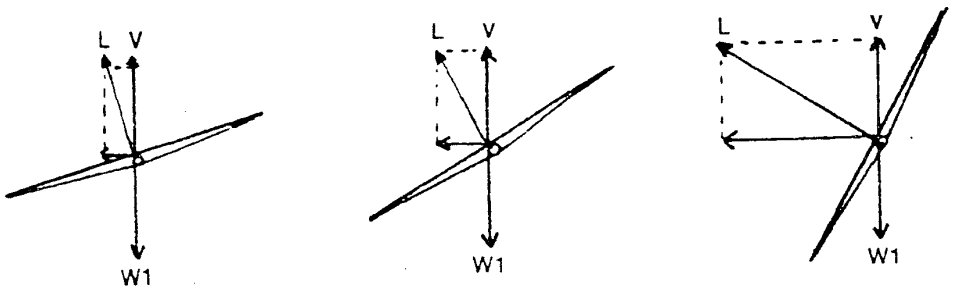
زیر W(وزن در ابتدا حداقل است) اما هر چه زاویه bank بیشتر می‌شود، میزان کاهش (V) هم بیشتر می‌شود و در نهایت باعث نزول هواپیما می‌شود. (بیشترین نرخ نزول در زاویه bank ، ۱۰۰° می باشد.)



شکل-63

تا حالا باید برای شما، آشکار شده باشد که اجرای یک چرخش متعادل و بالانس بدون کاهش ارتفاع، بسیار لازم و ضروری است چرا که بدین طریق V با W کاملاً مساوی می‌ماند. این حالت تنها می‌تواند به وسیله افزایش زاویه حمله و در نتیجه افزایش نیروی برآ و افزایش بردار V تا وقتی که با وزن برابر شود، به دست آید. هر چند افزایش زاویه حمله، منجر به افزایش پسای القایی و کاهش سرعت هواپیما می‌شود. برای جلوگیری از کاهش سرعت هواپیما، قدرت موتور را افزایش می‌دهیم تا در حین چرخش با افت سرعت مواجه نشویم. این که بدانیم چه سرعتی مناسب برای انجام Turn (چرخش) است بسیار مهم و ضروری است. این سوال، نیازمند امتحان بیشتر است به گونه‌ای که سرعت واماندگی در حین مانور افزایش می‌یابد.

اما ما بررسی می‌کنیم که چه مقدار نیروی برآ را افزایش دهیم تا بردار عمودی با وزن برابر شود در bank با زاویه زیاد (Steepen Bank)



شکل-64

در هر زاویه bank ، اندازه نیروی برآ به وسیله اندازه‌گیری بردار مورب L بدون دقت خیلی زیاد تعیین می‌شود. (به وسیله استفاده از)

شما خواهید دید که اگر نیروی برآ، در پرواز مستقیم برابر با ۱ باشد:

در زاویه bank ، ۱۵°- نیروی برآی مورد نیاز = × ۱۰۰۴

در زاویه bank ، ۳۰°- نیروی برآی مورد نیاز = × ۱/۱۶

در زاویه bank ، ۶۰°- نیروی برآی مورد نیاز = × ۲/۰۰

که نیروی برآ را با بردار عمودی مساوی نگه داریم.

شماباید ، نیروی برآ را دو برابر تولید کنید، تا ارتفاع را در یک چرخش با زاویه ۶۰° ، حفظ کنید. پس این به معنای افزایش حتمی زاویه حمله و نیز افزایش قدرت تا حد مورد نیازاست؛ تا سرعت هواپیما را روی حد خاصی نگه داریم. این مستلزم افزایش حتمی در سرعت واماندگی‌تان در این زاویه حمله است. با در نظر گرفتن افزایش سرعت واماندگی، در یک چرخش، در ابتدا غیر قابل مشاهده خواهد بود ؛اما زمانی شما به مانور bank شدت می‌بخشید،که تقریباً ۱/۵ برابر حالت نرمال در زاویه bank ۶۰° ، سرعت واماندگی، بالا می‌رود. همچنین اگر سرعت واماندگیتان در پرواز تراز و مستقیم ۳۰ مایل در ساعت است، در حین گردش bank ، آن می‌تواند به ۴۵ مایل در ساعت در زاویه ی bank ۶۰° برسد.

اگر شما علاقه‌مندید که بدانید چگونه این ارزیابی و استنباط به دست می‌آید، شما باید قانون مجذور سرعت را که قبلاً در همین کتاب توضیح دادیم را بیاد آورید.

به کلام دیگر، اگر سرعت دو برابر شود، نیروی برآ، ۴ برابر می‌شود. برای درک بهتر به این قانون مراجعه کنید. همچنین اگر حداقل سرعت برای پرواز تراز و مستقیم ۳۰ مایل در ساعت است. حال برای اینکه نیروی برآ، ۴ برابر شود باید سرعت ۲ برابر شود یعنی ۶۰ مایل در ساعت. ۶۰ = ۲×۳۰

فرض کنید، ۳۰ مایل در ساعت سرعت داریم و واماندگی اتفاق می‌افتد، پس در این موقعیت، سرعت واماندگی ۶۰ مایل در ساعت خواهد بود. این دلایل را برای مثالهایی که در شکل ۶۴ مشاهده کردید بکار ببرید - سرعت واماندگی را ۳۰ مایل در ساعت در نظر بگیرید.-

جدول ۱

در زاویه bank ، ۱۵º- افزایش سرعت واماندگی به وسیله $\sqrt{1/04}$ یا ۱/۰۲ ×

در زاویه bank ، ۳۰º- افزایش سرعت واماندگی به وسیله $\sqrt{1/16}$ یا ۱/۰۸ ×

در زاویه bank ، ۶۰º- افزایش سرعت واماندگی به وسیله $\sqrt{2}$ یا ۱/۴۱ ×

جدول۲

در زاویه bank ، ۱۵º- سرعت واماندگی برابر خواهد بود با (mph) ۳ ۳۰/۶ یا ۱/۰۲ × ۳۰

در زاویه bank ، ۳۰º- سرعت واماندگی برابر خواهد بود با (۳۳ مایل در ساعت) ۳۲/۴ یا ۱/۰۸×۳۰

در زاویه bank ، ۶۰º- سرعت واماندگی برابر خواهد بود با (۴۳ مایل در ساعت) ۴۲/۳ یا ۱/۴۱×۳۰

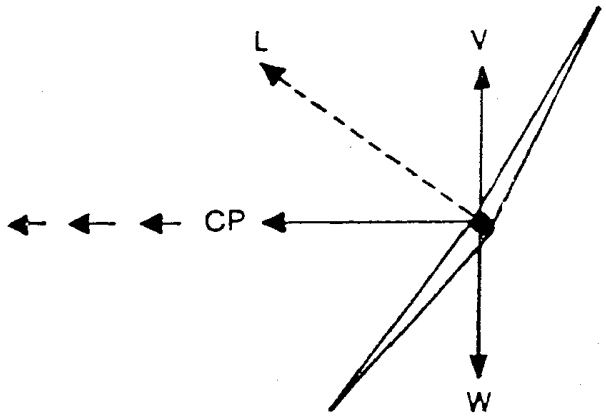
ملاحظه می کنید که در حین پرواز مستقیم و تراز، وقتی زاویه bank از ۱۵º به ۳۰º می‌رسد، سرعت ۳ مایل در ساعت افزایش می‌یابد. اما وقتی زاویه از ۳۰º به ۶۰º می‌رسد، سرعت ۱۰ مایل در ساعت افزایش می‌یابد ؛ در کل این پرواز (زاویه bank ۱۵º به زاویه bank ۶۰º) سرعت ۱۳ مایل در ساعت افزایش می‌یابد.

مهمترین چیزی که شما بایستی بیاد داشته باشید آن است.که به منظور جمع کردن سرعت هواپیما در هر شکل چرخش ،که می‌تواند پرواز به شکل مستقیم یا اوج گیری یا نزول باشد، باید کافی باشد که واماندگی را از بین ببرد، همین طور قدرت کافی را برای چنین مانوری در نظر بگیرید.

Loading

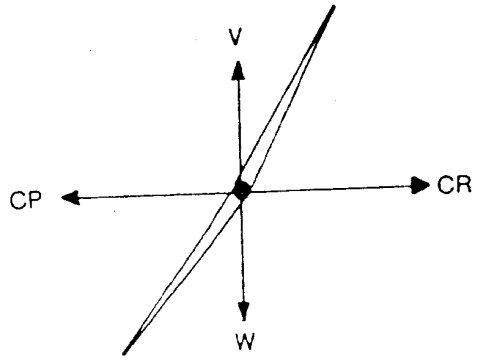
قبلاً تمایل به نیروهای در عمل احتمالاً خیلی یک طرفه بوده است.

به طور مثال، نیروی برآ در bank ، همانطور که قبلاً نشان داده شد، تنها نیروی CP و CV تولید می‌کند. حالا هر نیرویی بایستی یک عکس‌العمل مخالف و مساوی ایجاد کند در غیر این صورت، هر جسمی که به آن نیرو وارد می‌شود، همیشه در حال حرکت خواهد بود و هرگز به حالت تعادل نخواهد رسید.



شکل-65

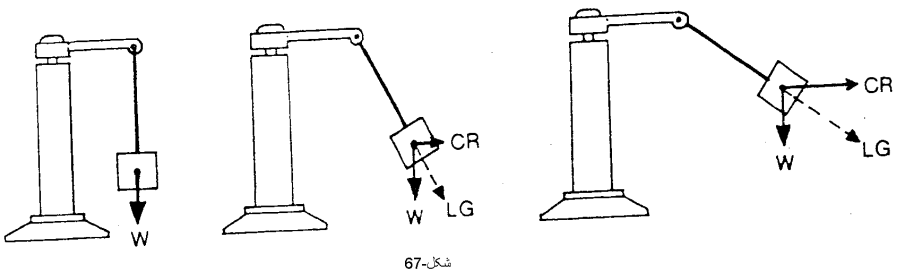
در شکل (۶۵)، شما می‌توانید ببینید که چگونه وزن (W) ، نیروی (V) را خنثی می‌کند و مانع صعود هواپیما می‌شود. همچنین در یک چرخش متعادل، نیروی دیگری برای بالانس کردن نیروی (CP) موجود است که به سمت خارج متمایل است و نیروی گریز از مرکز نامیده می‌شود (CP) . این نیرو را در شکل ۶۶ می‌بینید.



شکل-66

بهترین راه برای فهم این نیرو این است که: تصور کنید چگونه یک سنگ که به ریسمانی بسته شده و شما آن را با دست حول سرتان می‌چرخانید، تمایل حرکت به سمت خارج از مرکز چرخش را دارد ولی ریسمان مانع از این حرکت می‌شود. نیروی عکس‌العمل گریز از مرکز، سبب می‌شود ریسمان این سنگ را محکم به سمت مرکز دوران بکشد.

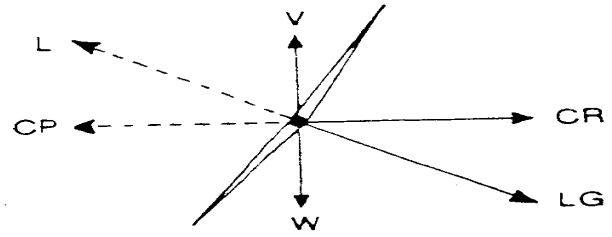
راه دیگر، برای فهم این نیرو این است که تصور کنید داخل یک صندلی پرنده نشسته‌اید؛ در ابتدا وقتی صندلی ساکن است، نیروی وزن شما به صورت عمودی به صندلی وارد می‌شود. حال وقتی صندلی شروع به چرخیدن می‌کند، شما بیش از پیش به صندلی فشار داده می‌شوید و نمی‌توانید حرکت کنید. حتی اگر خودتان بخواهید. به کلام دیگر، به طرز چشمگیری وزن شما افزایش می‌یابد. در حقیقت شما، تحت تاثیر دو نیرو به سمت زمین کشیده می‌شوید. یکی نیروی وزن واقعی خودتان و دیگری نیروی گریز از مرکز (CP).



شکل-67

می‌دانید هر چه سرعت بیشتر باشد، CR هم بیشتر می‌شود. ترکیب یا برآیند دو نیروی CR و W ، یک بردار مورب است (LG) . این بردار در یک خط مستقیم به صندلی وارد می‌شود و در زاویه‌ای که در نهایت نیروی LG عمود بر زمین باشد. (زاویه‌ای که شما خودتان را در آن می‌یابد). این نیرو Loading (LG) نامیده می‌شود. (شکل ۶۸)

در حقیقت،در زاویه bank ۶۰° ، نیروی Loading ، دو برابر می‌شود یعنی شما نسبت به حالت نرمال، دو برابر سنگین می‌شوید.



شکل-68

از شکل ۶۸ می‌توان به این نتیجه رسید که: اگر CR = CP و W = V باشد پس LG همان L (نیروی برآ) خواهد بود.

همین طور وقتی نیروی برآ به منظور ایجاد چرخش متعادل افزایش می‌یابد، با همان نرخ، LG هم زیاد می‌شود. دوباره به شکل ۶۴ رجوع کنید و فرض کنید نیروی برآ و زاویه‌های حمله مختلف افزایش می‌یابد. جدول دیگری می‌توان براساس جداول قبلی اینجا طراحی کرد، به این ترتیب که جایگزین L ، LG بشود و "وزن" برای هر دو موقعیت یکسان باشد.

جدول ۳

نیرو یا بار واقعی		وزن خلبان		پارامتر بار
پوند ۱۶۸	=	پوند ۱۶۸	×	۱/۰ پروازمستقیم
پوند ۱۷۵	=	پوند ۱۶۸	×	۱/۴درزاویه۱۵bank
پوند ۱۹۵	=	پوند ۱۶۸	×	۱/۱۶درزاویه۳۰bank
پوند ۳۳۶	=	پوند ۱۶۸	×	۲/۰درزاویه۶۰bank

چند نکته دیگر برای یادگیری بهتر چرخش به عنوان یک مانور، که درباره Loading موجود است در پایین ذکر شده است.

-تولید نیروی برآ نیازمند نگه داشتن یک چرخش تند است که خود این چرخش نیاز به سرعت زیاد هواپیما دارد. برای ایجاد این سرعت، نیاز به افزایش قدرت هواپیما داریم. البته افزایش سرعت علاوه بر افزایش نیروی برآ، موجب افزایش نیروی پسای القایی نیز می‌شود.- پس احتمال واماندگی یا Spin در این حالات زیاد است.

-تنها وزن خلبان در حین افزایش نیروی Loading افزایش نمی‌یابد. بلکه همه اجزای هواپیما بایستی این استرس را تحمل کنند. اگر میزان نیروی Loading بیشتر از حد تحمل هواپیما باشد، باعث قطعه، قطعه شدن هواپیما در حین پرواز می‌شود.

-نیروی Loading، تنها در حین چرخش افزایش نمی‌یابد بلکه در مانورهای دیگر مانند Loup مخصوصاً وقتی هواپیما می‌خواهد، از پایین به سمت بالا شیرجه بزند، هم افزایش می‌یابد.

سرعت مانور Manoeuvering Speed

بنابراین، تا حالا متوجه شدیم که در حین انجام مانور، نباید نیروی Loading از حد شخصی بیشتر باشد، چرا که استرس زیاد وارد به هواپیما سبب خرد شدن هواپیما می‌شود.

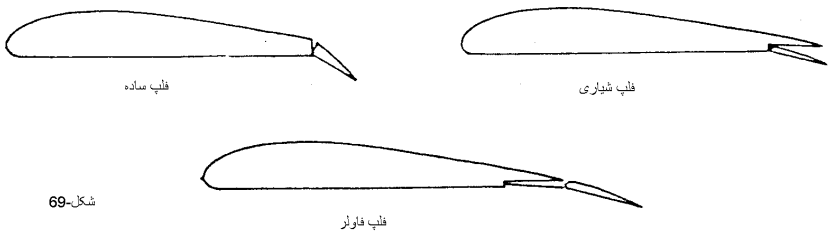
متأسفانه، به طور طبیعی ممکن است شرایطی ایجاد شود که نیروهای وارد بر هواپیما آنقدر افزایش یابند که دیگر قابل کنترل نباشند. چون هوا بسیار بی‌ثبات و جاری است به راحتی دچار آشفتگی می‌شود، مخصوصاً جایی که تند بادهای با سرعت زیاد موجود است. این تند بادها با سرعت به هواپیما برخورد می‌کنند و نیروی آنها مانند نیروی پتک یا چکش بر یک سطح است. وقتی دریا واقعاً متلاطم است، سطح تماس بادبان با باد را به حداقل می‌رساند. این حرکت سرعت قایق را کاهش می‌دهد، به گونه‌ای که قایق با نیروی معکوس با حداقل ضربه برخورد می‌کند. یک هواپیما در شرایط هوای متلاطم نمی‌تواند مانند قایق سطح تماس خود را با محیط متلاطم کم کند اما می‌تواند سرعتش را کاهش دهد. سرعت هوایی که در شرایط هوای آشفتگی و متلاطم به هواپیما داده می‌شود تا بتواند بر شرایط مسلط شود، سرعت مانور نامیده می‌شود و باید در شرایط اضطراری حتماً بکار گرفته شود تا از خطرات احتمالی در این شرایط، تا حد امکان دور شویم.

سطوح کنترل فرعی Ancillary Controls

غیر از سطوح کنترل اصلی که عبارتند از: Rudder ، Elevator و Aileron سطوح کنترل دیگری هم وجود دارند که برای پرواز امن‌تر و آسان‌تر بکار می‌روند. این سطوح متحرک عبارتند از: Flap ، Slat ، Trim Tab ، Servo Tab ، balance Tab و ترمزهای هوایی.

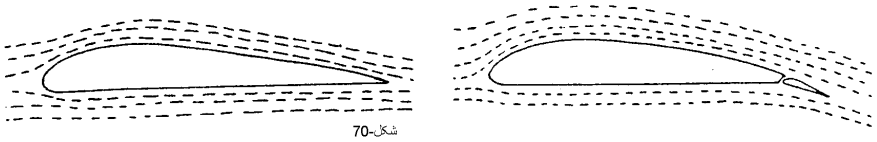
Flap

امن‌ترین فرود در شرایطی است که حداقل سرعت را با حداقل باند فرود داشته باشیم. در حال حاضر شما ممکن است تصور کنید که مساحت زیادی برای هواپیماهای فوق سبک، علامت‌گذاری شده است که در آنجا فرود بیایند، اما اگر به نکات حاشیه‌ای درباره کارایی هواپیماهای سبک توجه کنیم این مشکل را نمی‌توان نادیده گرفت. حداکثر نیروی برآ برای حداقل سرعت از یک سطح ایرفویلی که به لبه فرار بال لولا شده و Flap نامیده می‌شود، فراهم می‌شود. هر چند Flap ، سبب تولید نیروی پسای القایی زیاد می‌شود که سرعت نزول را کاهش نمی‌دهد. فلپ ها، سطوح متحرکی هستند که به سمت پایین بال در جریانات هوا خم می‌شوند و به این ترتیب سطح موثر بال یا انحنای بال را افزایش می‌دهند. Flap ها بین انتهای بال و شهپرها قرار می گیرند. انواع مختلفی از Flap موجودند که همه یک هدف را به انجام می‌رساند- افزایش نیروی برآ در سرعتهای پایین.



شکل-69

وقتی Flap باز می‌شود چگونه در مقابل جریان هوا عمل می‌کند؟ همه Flap ها وقتی باز می‌شوند انحنا را افزایش می‌دهند- Fowler هم سطح و هم انحنا را افزایش می‌دهند اما- فلپ، در مسیر جریان هوا مانعی را ایجاد می‌کند که به هوای پیش روی بال، ایجاد لازم می‌کند. در لحظه فلپ زدن، هوایی که روی بال جریان می‌یابد سرعتش زیاد و فشارش کمتر می‌شود،در نتیجه به واسطه انحنای سطح، نیروی برآ تولید می‌شود.



شکل-70

در(شکل ۷۰) زاویه‌ای که در آن Flap بکار می‌رود بسیار مهم است.

زاویه کوچک:

- نیروی پسا را به میزان کمی افزایش می‌دهد.
- نیروی برآ را به میزان زیادی افزایش می‌دهد.

زاویه زیاد:

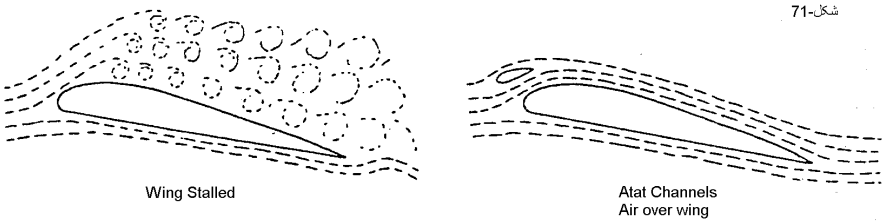
- نیروی پسا را به میزان زیادی افزایش می‌دهد.
- نیروی برآ را به میزان کمی افزایش می‌دهد.

بنابراین در حین فرود، زاویه Flap زیاد است اما در حین بلندشدن هواپیما، زاویه Flap بسیار کم است.

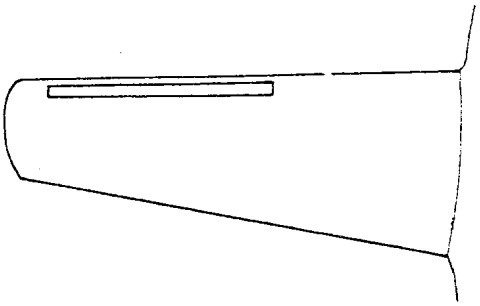
Slats

راه دیگری برای افزایش نیروی برآ در سرعت پایین این است که، واماندگی را حول نقطه‌ای که در آن نقطه، به طور نرمال اتفاق می‌افتد، به تأخیر اندازیم،تا بتوانیم از یک زاویه حمله بزرگتر در سرعت پایین استفاده کنیم بدون اینکه نیروی برآ کاهش یابد. این موقعیت به وسیله ایجاد کانال در لبه حمله هواپیما برای عبور هوا ایجاد می‌شود. در این فاصله هوای پر فشار زیر بال، به روی بال می‌رود و در حین گذر از این مجرا، سرعتش زیاد می‌شود و طبق اصلی ونتوری، نیروی برآ افزایش می‌یابد. از طرفی چون این جریانات، هوای آشفته روی بال را مرتب می‌کنند، تاخیری در ایجاد واماندگی ناشی از آشفتگی و گسستگی جریانات هوا ایجاد می‌کنند.

شکل-71



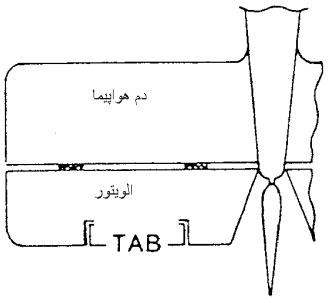
وسیله ای که همه اتفاق های فوق را باعث می‌شود Slat نام دارد و فاصله‌ای که ایجاد می‌کند Slot (شیار) نامیده می‌شود. Slat ها سطوح ثابت یا قابل متحرکی هستند که در لبه حمله بال یافت می‌شوند و شکل ایرفویلی دارند. نوع متحرک Slat با سطح لبه حمله بال کاملاً تراز و هم سطح است و وقتی بر اثر افزایش زاویه حمله، فشار سطح زیرین بال افزایش می‌یابد، این فشار، Slat را به بیرون پرتاب می‌کند. گاهی وقتها، فاصله (gap) یا Slat ، داخل لبه حمله، ساخته می‌شود و به عنوان یک سطح مجزا در نظر گرفته می‌شودو Slotted wing نامیده می‌شود.

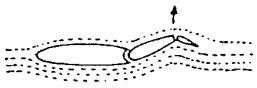


شکل-72

Trim Tabs

باید یک سطح کنترل بکار گرفته شود تا سطوح کنترل اصلی راحت تر حرکت کنند و خلبان نیروی کمتری برای حرکت سطوح بکار برد. برای رفع این مشکل از سطوح کنترل فرعی به نام "Trim Tab" که به لبه حمله سطوح کنترل اصلی لولا شده‌اند باید استفاده شود.



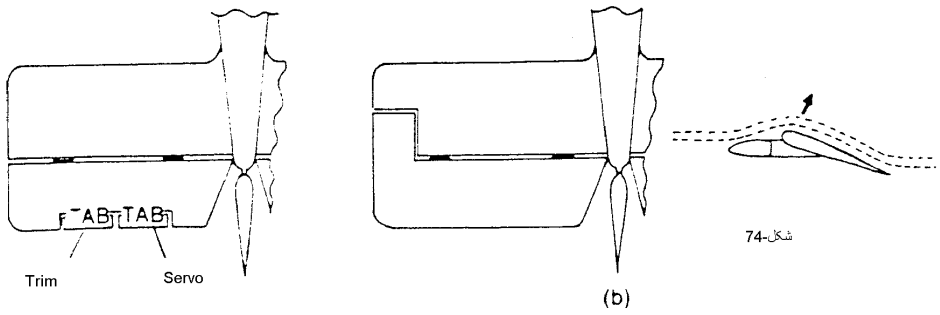


شکل-73

وقتی مثلاً می‌خواهیم دماغه هواپیما را بالا ببریم باید Trim Tab وصل به Elevator را پایین ببریم. به این ترتیب ،جریان هوا، یک نیروی رو به بالا به Elevator وارد می‌کند در نتیجه Elevator راحت تر بالا می‌رود و بدون هیچ نیروی اضافی بالا نگه داشته می‌شود.

تعادل Balance

در هواپیماهای بزرگ، که سطوح کنترل، بزرگ و سنگین هستند، حرکت آنها به وسیله خلبان کاری بس مشکل است. در این سری از هواپیماها، برای حرکت آسانتر سطوح کنترل از Balance Tab استفاده می‌شود که به سطوح کنترل لولا شده و در خلاف جهت آنها حرکت می‌کند



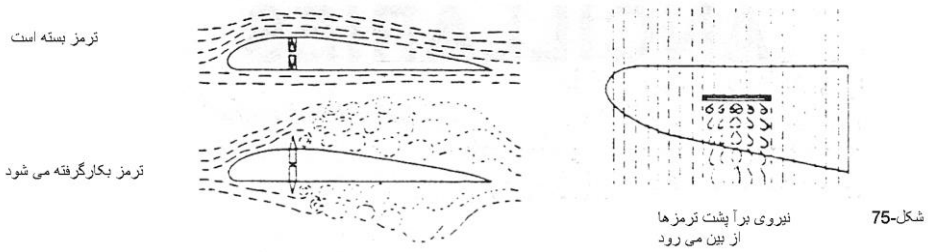
شکل-74

(شکل ۴۷ قسمت a). حال در شکل ۴۷ قسمت b ، نشان می‌دهد روش دیگری را برای کمک به حرکت سطوح کنترل به وسیله سطوح بالانس درجه‌بندی شده ،و به سطوح کنترل لولا شده است.

Balance Tab مانند Trim Tab ، جریان هوا را به نحوی منحرف می‌کنند که به حرکت سطوح کنترل کمک می‌کند.

ترمزهای هوایی Air Brakes

گاهی وقت‌ها نیاز است که سرعت و ارتفاع را در حین پرواز سریع کم کنیم.- مثلاً وقتی مجبور به فرود اضطراری به علت خرابی موتور هستیم ترمزهای هوایی برای این منظور بکار می‌روند. این ترمزها، سطوح تختی هستند که روی سطح بال و به فاصله ۱/۳ خط وتر از لبه حمله، روی خط وتر واقع می‌شوند، وقتی آنها از روی سطح بال، بلند می‌شوند، جریان منظم هوا را روی سطح بال ، بهم می‌زنند در نتیجه، نیروی برآ کاهش می‌یابد ترمزهای هوایی می‌توانند تنها یکی یا جفت باشند تک ترمزها تنها روی بال دیده می‌شوند اما ترمزهای دو تایی ، هم رو و هم زیر بال دیده می‌شوند.



شکل-75

شما بیاد خواهید آورد که قبلاً گفته شده، Spoiler ها به جای شهپر وقتی سرعت هواپیما بسیار زیاد است بکار می‌روند. البته تنها یکی از Spoiler ها روی بالی که باید در حین bank پایین برد، بکار گرفته می‌شود تا هواپیما بتواند bank کند. اما اگر هر دو Spoiler به طور همزمان بکار روند، نقش آنها مانند ترمز هوایی است. این نوع بکارگیری Spoiler در نمونه‌های اولیه هواپیمای Quick Silver دیده می‌شود.

خلاصه Summary

نکات مهمی در حین پرواز باید رعایت شود که عبارتند از:

- بدون سرعت کافی شما نمی‌توانید پرواز کنید- دچار واماندگی می‌شوید.
- افزایش سرعت هوا در حین مانورهای bank و Turn (چرخش) امری حیاتی و ضروری است. هر چه مانور تیزترباشد،سرعت استال(واماندگی) هم بیشترمی شود.
- واماندگی نزدیک زمین بسیار خطرناک است. چون شما ارتفاع کافی، برای فرار از واماندگی و دوباره به سرعت پرواز رسیدن را ندارید.
- واماندگی در حین چرخش ،درارتفاعی آنقدر کم شما را رها می‌کند که دیگر نمی‌توانید خود را از واماندگی برهانید. پس احتمال رهایی از واماندگی در این حالت بسیار کم است.

به سرعت پروازتان توجه کنید و بدین ترتیب خواهید توانست از پرواز بی‌خطری بهره‌مند باشید و از آن لذت ببرید.تا سالهای خوشی را، با پرواز در پیش داشته باشید.