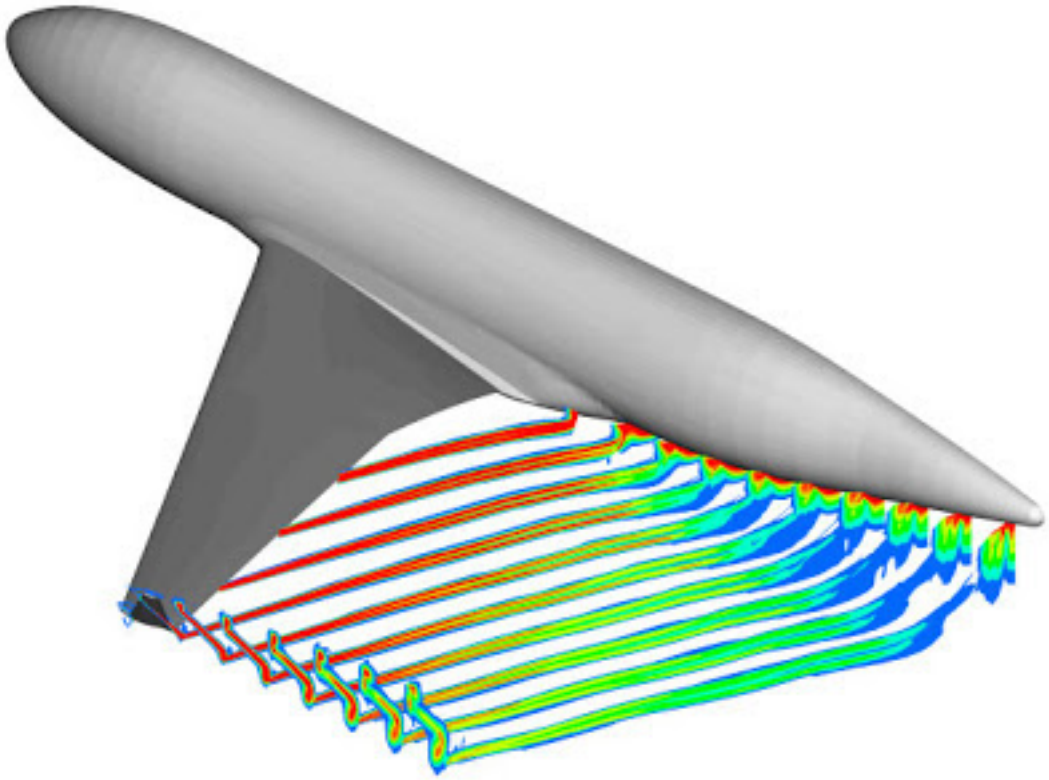
Institute for Advanced Studies
In Basic Sciences
Zanjan, Iran

انواع ورتکس های بال هواپیما راه کارها و مشکلات

محسن رمضانی
اسفند ۱۳۹۳



۱ مقدمه

از آغاز بشریت تا به امروز بشر به دنبال راههایی برای پرواز بوده است. این برگ به دنبال راه های بهبود پرواز است.

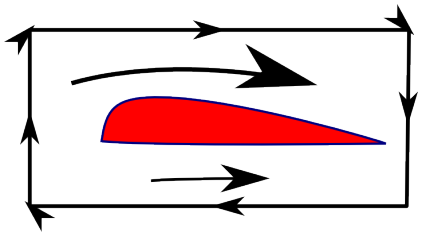
۲ شرح مسئله

برای کاهش تنش هنگام پرواز به دنبال کاهش گردابه ها یا کاهش اثر آنها بر پرواز هستیم. برای درک بهتر مسئله کمی به معادلات حاکم بر سیال خواهیم پرداخت.
در یک سیال تراکم ناپذیر و در ناحیه غیر چرخشی شدت یک گردابه از معادله زیر بدست می آید. که برای اندازه گیری شدت گردابه نیاز به یک مسیر بسته داریم:

$$\Gamma = \int v \cdot dx \tag{۱}$$

حال اگر سه مسیر بسته مستطیلی را در نظر بگیریم که با بردار نرمال های عمود بر هم مشخص شده اند (e_x, e_y, e_z) سه نوع گردابه خواهیم داشت. (محور e_z را محور حرکت هواپیما در نظر بگیرید.)

۳ گردابه هم محور با بالها



گردابه ای که هم محور با بال هواپیماست e_y باعث حرکت روبه بالا هواپیما می شود. هر چه اخلاف سرعت روی بال و زیر آن بیشتر باشد هم اختلاف فشار [۱] و نیروی روبه بالا بزرگتر خواهد بود هم گردابه ناشی از آن!

$$P + \frac{۱}{۲}\rho v^{۲} = cte \quad \Rightarrow \quad \triangle P = \frac{۱}{۲}\rho \left(v_{Up}^{۲} - v_{Down}^{۲}\right) = \frac{۱}{۲}\rho \left(\triangle v\right) v \qquad (۲)$$

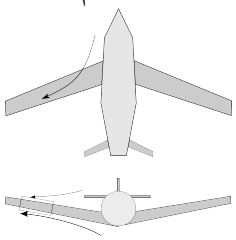
$$\Gamma = (v_{۲} - v_{۱})l \quad \Rightarrow \quad \triangle v = \frac{\Gamma}{l} \quad \Rightarrow \quad \triangle P = \frac{۱}{۲}\rho \left(\frac{\Gamma}{l}\right) v \qquad (۳)$$

از معادله بالا این استدلال می شود که اگر نیروی بالا بر بیشتری از یک بال هواپیما بخواهید داشته باشید باید عرض بال را کم و گردابه بزرگتری روی آن ایجاد کنید. این استدلال درست است اما دو نکته این جا اهمیت دارد که به آن خواهم پرداخت.

نخست معمولا به خاطر بهبود خواص ایرودینامیکی محور بالها عمود بر محور حرکت نیست! پس گردابه درست شده بر جهت حرکت عمود نیست. و بر آن تصویر دارد. [۱]

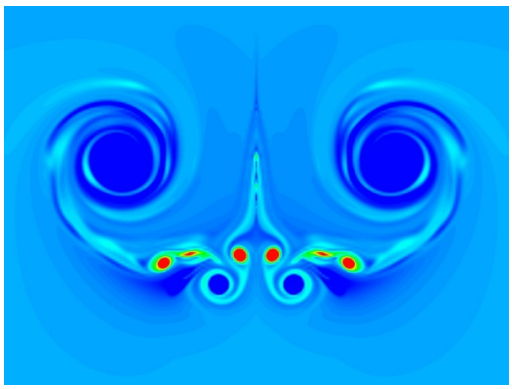
[۱] Bernoulli Equation

دوم این گردابه در انتهای بال هواپیما پایان نمی یابد و امتداد دارد! حال اگر این امتداد در انتهای بال بپیچد. ما یک گردابه بزرگ در جهت حرکت خواهیم داشت.



۴ گردابه هم محور با جهت حرکت

این نوع گردابه ها باعث نوسانات شدید در حرکت هواپیما می شود. پس با کاهش آنها می توان از نوسانان پرواز کاست و پرواز نرمتری را داشت! تصویر زیر برشی از شدت این گردابه در پشت هواپیماست. ۴ این گردابه ها بر اساس منشا تولیدشان به سه گروه دسته بندی می شوند:



شکل ۱: شدت گردابه ناشی از هواپیما A۳۲۰

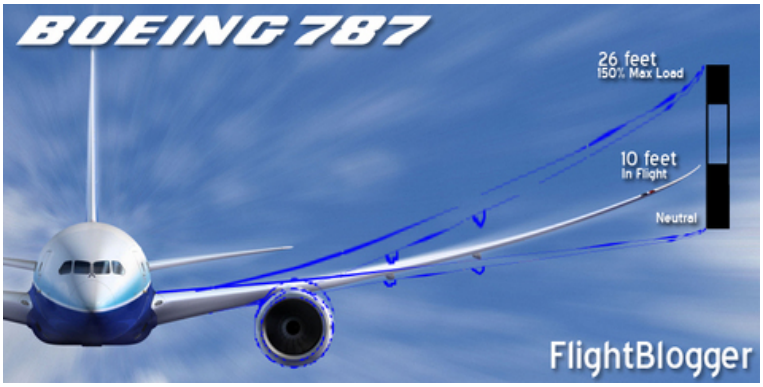
۱.۴ گردابه ناشی از موتور هواپیما

اگر موتور هواپیما به طور یکنواخت کار کند و نوسان نداشته باشد این گردابه به طور پیوسته و بدون نوسان و به شکل استوانه ای کامل تولید می گردد. اگر در مقابل استوانه تولیدی چیزی(همچون بال عقب) قرار نداشته باشد تاثیر بسیار کمی بر روی نوسان و آرامش مسافرین دارد.

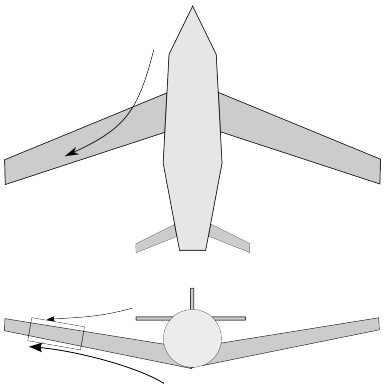
۲.۴ گردابه ناشی از اختلاف باد عرضی زیر و روی بال

معمولا برای حفظ بار بر روی تیغه افقی بال و کاهش وزن آن از بال هایی انعطاف پذیر استفاده می شود که کاملا افقی نیستند. شکل ۲.۴

عدم تقارن سرعت باد جانبی زیر و روی بال باعث بوجود آمدن این نوع گردابه می گردد. شکل ۲.۴



شکل ۲: انعطاف بال در بار اضافه هواپیما



شکل ۳: باد جانبی روی بال و زیر آن معمولا میزان باد جانبی در زیر بال بیشتر از روی آن است

۳.۴ گردابه دوران یافته از روی بال

چرخش گردابه ای که در جهت محور بال ها تولید شده است. باعث گردابه ای می شود که از نظر اندازه بسیار بزرگتر از انواع دیگر گردابه هاست. اما جلو گیری از گردش این گردابه کار بسیار شاده ایست. کافیست با استفاده از تیغه های زیر بال اقدام به کنترل باد زیر بال کرد! شکل ۳.۴

شکل ۴: پره های عمودی زیر بال A۳۴۰

۵ راهکار ها

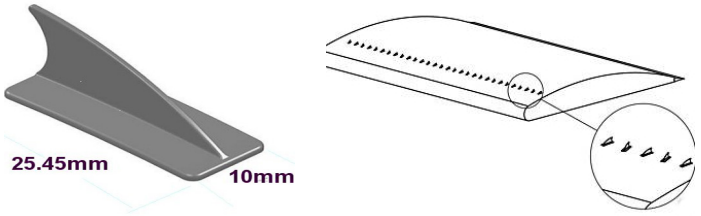
۱.۵ Wing Fence

یکی از راهکار های قدیمی در جنگ جهانی دوم روی هواپیمای سوخو امتحان شده قرار دادن فنس های بزرگی روی بال است. این کار علاوه بر افزایش وزن بال بر روی خواص ایرودینامیکی نیز تاثیر بدی دارد! شکل ۱.۵

شکل ۵: Wing Fence

۲.۵ vortex generator

برای مقابله با گردابه از تولید یک گردابه در جهت مخالف می توان بهره برد. استفاده از مولد گردابه [۲] دو پیامد کلی را دارد. نخست چون روی بال نصب می شود سرعت روی بال را کاهش می دهد. دوم آن که باعث نوسان شدید در بال می گردد.



جدول ۱: generator Vortex

[۲] vortex generator

winglets ۳.۵

در سال ۱۹۹۰ ناسا برای کاهش نوسانات شاتل آزمایشاتی را انجام داد. یکی از نتایج آن آزمایشات بالچه ای بود که در انتهای بال اتصال پیدا می کرد. این بالچه که تنها یک سوم عرض بال عرض داشت. کاهش اندازه گردابه و انتقال مرکز آن به نقطه ای بالاتر از بال مهمترین نقش این بالچه هاست. از سال ۲۰۰۸ این بالچه ها در هواپیما های مسافری استفاده شدند! این بالچه باتوجه به وزن و سرعت هواپیما به گونه متفاوت بر روی بال نصب می شود.

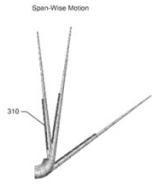
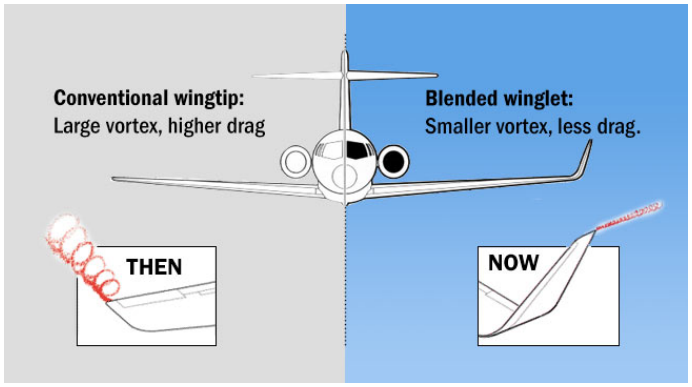


Fig. 4a

Fig. 4b

جدول ۲: winglets

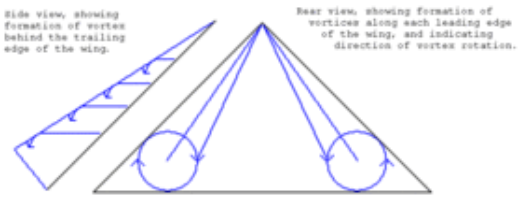


۶ کاربردها

۱.۶ بال پروازی

از مهمترین کاربرد های ورتکس بال خود پرواز است. یعنی هواپیما در گردابه خود پرواز کند. هواپیما $QF-۱۰۶$ از اولین نوع این هواپیما هاست. ۱.۶ نحوه عمل کرد این نوع هواپیما ها به این گونه است که دو زاعده بزرگ باعث تولید دو ورتکس بزرگ می شود. بالها نیز به گونه ای طراحی شده اند که درون این گردابه قرار گیرند! ۱.۶ پهباد ها معمولا از این تکنولوژی برای پرواز بهره می برد. زاویه راس پهباد با توجه به سرعت پخش گردابه تایین می شود.

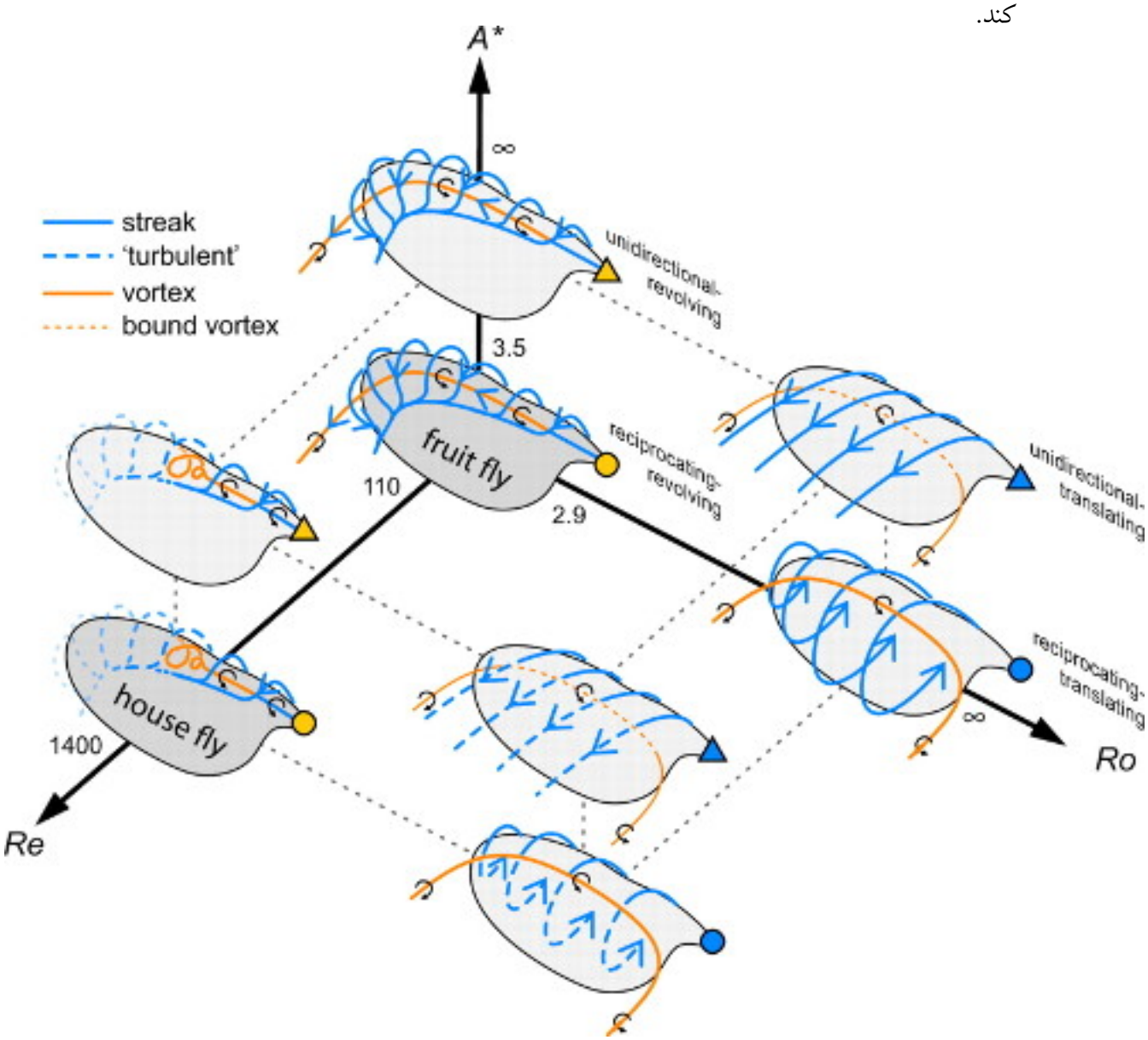
شکل ۶: $Eclipse\ \ program\ \ QF-۱۰۶\ \ aircraft\ \ in\ \ flight$



شکل ۷: Vortex-lift

۲.۶ مگس

مگس می تواند با تغییر سرعت بال زدن خود در عدد رینولدز ۱۱۰ تا ۱۴۰۰ پرواز کند. [۳] آن همچنین شدت و جهت گردابه به وجود آمده را عوض می کند. تا در جهت حرکت خود تغییر ایجاد کند.



مراجع

[1] Torenbeek, Egbert. **Advanced Aircraft Design**: Conceptual Design, Technology and Optimization of Subsonic Civil Airplanes. John Wiley & Sons, 2013.

[2] Rudolph, Peter KC. "High taper wing tip extension." U.S. Patent No. 5,039,032. 13 Aug. 1991.

[3] Ohno, Isao, et al. "Eosinophils as a source of matrix metalloproteinase-9 in asthmatic airway inflammation." American journal of respiratory cell and molecular biology 16.3 (1997): 212-219.

[4] Behnia, M., S. Parneix, and Paul A. Durbin. "Prediction of heat transfer in an axisymmetric turbulent jet impinging on a flat plate." International journal of heat and mass transfer 41.12 (1998): 1845-1855.

[5] Tao, Wen-Quan, Zeng-Yuan Guo, and Bu-Xuan Wang. "Field synergy principle for enhancing convective heat transfer—its extension and numerical verifications." International Journal of Heat and Mass Transfer 45.18 (2002): 3849-3856.

[6] Eiamsa-ard, S., et al. "Heat transfer enhancement in a tube using delta-winglet twisted tape inserts." Applied Thermal Engineering 30.4 (2010): 310-318.