



## بررسی آبرودینامیکی جریان پتانسیل روی هواپیماهای بال و بدنی یکپارچه و مقایسه‌ی آن با هواپیماهای معمولی رایج

هادی دستورانی<sup>۱</sup>، محمدحسن جوارشکیان<sup>۲\*</sup>

Hadi.dast@gmail.com  
Javarehkian@ferdowsi.um.ac.ir

### تئوری روش شبکه‌ی حلقوی

در این تحقیق یک نرم افزار به زبان فرتون بر مبنای جریان حلقوی برای تعیین مشخصه‌های آبرودینامیکی در جریان مادون صوت توسعه داده شده است. این روش بسط یافته‌ی تئوری پرانتل می‌باشد. برای اعمال تاثیر تراکم پذیری از قانون تشابه گلورت استفاده شده است و تئوری جریان پتانسیل در فرم قانون باپوت ساواتر به کار رفته است.

شرایط مرزی برای هر جریان حلقوی نعلی شکل به وسیله‌ی شبیه مورد نیاز برای انطباق خطوط جریان سیال با زاویه حمله در نقطه‌ی سه چهارم وتر پنل مربوطه بدست می‌آید. قدرت دوران جریان حلقوی مورد نیاز برای اراضی این شرایط مرزی مماسی با حل یک دستگاه معادله تعیین می‌شود. با محاسبه‌ی قدرت گردابه از آن برای محاسبه‌ی لیفت و ممان خمشی و سایر مشخصه‌های آبرودینامیکی استفاده می‌شود. به طور کلی معادلات ضریب لیفت و ضریب ممان خمشی و درگ القایی به صورت زیر است:

$$C_L = \frac{L}{q_\infty S_{ref}} = 2 \sum_{n=1}^{N/2} \left( \frac{\hat{l}_s}{q_\infty S_{ref}} \right)_n + \left( \frac{\hat{l}_t}{q_\infty S_{ref}} \right)_n \quad (18)$$

$$C_m = \frac{M_Y}{q_\infty S_{ref} c_{ref}} = 2 \sum_{n=1}^{N/2} \left( \frac{m_Y}{q_\infty S_{ref} c_{ref}} \right)_n \quad (19)$$

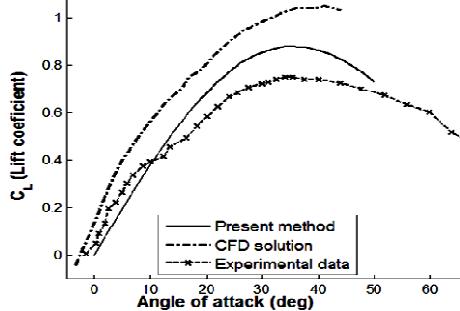
$$\frac{C_{D,i}}{C_L^2} = \frac{4b}{S_{ref} (C_{L_a})_{ref}^2} \sum_{k=1}^{N_s} \left( \frac{c_{d,i} c}{2b} \right)_k 2s_k \cos\phi_k \quad (41)$$

به علت محدودیت فضای جزئیات مربوط به تئوری آورده نشده است. معادلات جزئیات کامل در مقاله‌ی کامل آورده شده است.

### بحث و بررسی نتایج مقایسه‌ی نتایج روش حاضر با نتایج تجربی

ابتدا برای اطمینان از صحت نتایج روش حاضر، نتایج حاصل از این روش با نتایج تجربی و حل CFD یک هواپیمای بال و بدنی یکپارچه مقایسه شده است. نتایج تجربی و CFD این هواپیما از مرجع [۴] استخراج شده است.

ضریب لیفت بر حسب زاویه حمله در شکل زیر نشان داده شده است



شکل ۱: منحنی ضریب لیفت بر حسب زاویه حمله

### چکیده

در این تحقیق یک روش عددی بر مبنای جریان حلقوی برای تحلیل آبرودینامیکی پیکربندی‌های مختلف هواپیما توسعه داده شده است. در کار حاضر ابتدا نتایج حاصل از این روش با نتایج تجربی صحه گذاری شده است و سپس یک هواپیمای متداول معمولی و یک هواپیمای بال و بدنی یکپارچه موردن تحلیل و بررسی قرار گرفته و با هم مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد هواپیمای بال و بدنی یکپارچه به دلایل مختلف از جمله: دارا بودن مشخصه‌های آبرودینامیکی بهتر (لیفت بیشتر، درگ القایی کمتر و گشتاور خمشی کمتر)، داشتن فضای خالی بیشتر و به طبع آن حمل بار مفید بیشتر، وزن کمتر، مصرف سوخت کمتر و ... نسبت به هواپیمای متداول معمولی برتری دارد.

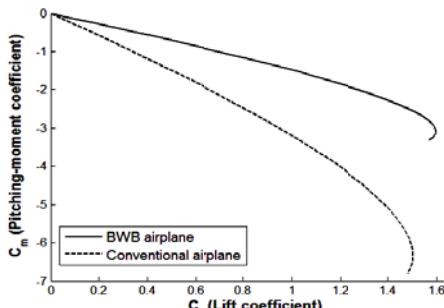
**واژه‌های کلیدی:** هواپیمای بال و بدنی یکپارچه - هواپیمای متداول معمولی - جریان حلقوی نعلی شکل

### مقدمه

هواپیمای بال و بدنی یکپارچه مفهومی است که در آن بدن، بال و بالجه عقب هواپیما با هم ادغام می‌شوند و یک پلان واحد را به وجود می‌آورند. در این نوع هواپیما بدن طوری طراحی شده است که شکل درگ کم به وجود می‌آورد.

در هواپیماهای متداول معمولی، بال سهم عمده‌ی لیفت را تولید می‌کند و بدنی هواپیما استوانه‌ای مانند بوده و مساحت در مقابل جریان بالایی دارد. در مقابل، در هواپیماهای بال و بدنی یکپارچه بدنی نیز همراه با بال لیفت تولید می‌کند. کاهش سطح در مقابل جریان نیز موجب کاهش درگ اصطکاکی می‌شود و تکامل اهسته‌ی ضخامت بال به طرف بدنی با طرح مناسب در داخل هواپیمای بال و بدنی یکپارچه فضای بیشتری به وجود آورد که نتیجه‌اش ظرفیت بار مفید بالا و مصرف سوخت کمتر این نوع هواپیماها نسبت به هواپیماهای رایج معمولی می‌باشد [۱].

کین و همکارانش در سال ۲۰۰۴ در مورد شکل ایرفویل موردن استفاده در هواپیماهای بال و بدنی یکپارچه تحقیق کرده‌اند [۲]. جین‌گو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ استفاده از فلپ در هواپیماهای بال و بدنی یکپارچه را مورد بررسی قرار داده اند [۳]. هر چند هواپیماهای بال و بدنی یکپارچه مزایای زیادی دارند اما متأسفانه داشن کمی راجع به بهترین شکل آبرودینامیکی آنها وجود دارد. در آکثر تحقیقات انجام شده از روش تجربی استفاده شده است اما امروزه به دلیل بالا بودن هزینه‌ی کارهای آزمایشگاهی روش‌های عددی در مراحل اولیه طراحی با اهمیت و پرکاربرد می‌باشند. در این تحقیق با استفاده از یک روش عددی بر مبنای جریان حلقوی، یک هواپیمای بال و بدنی یکپارچه و یک هواپیمای متداول معمولی با همدیگر مقایسه شده و مزایا و معایب آنها و برترهای آنها نسبت به یکدیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



شکل ۵: منحنی ضریب ممان خمی بر حسب ضریب لیفت

دو پیکربندی مذبور از نظر بار مفید (تعداد مسافر) یکسان فرض شده‌اند بنابراین هواپیمای بال و بدنه یکپارچه به خاطر ایجاد فضای مفید در بال‌ها از هواپیمای معمولی کوچکتر است (طول، بازه...)، بر این اساس تفاوت ضرایب لیفت‌شان زیاد نیست (شکل ۳). در منحنی ضریب درگ القایی بر حسب ضریب لیفت (شکل ۹) دیده می‌شود که به ازای ضریب لیفت یکسان هواپیمای بال و بدنه یکپارچه ضریب درگ القایی کمتری دارد. در شکل ۱۰، که ضریب گشتاور خمی بر حسب ضریب لیفت رسم شده است، دیده می‌شود که در یکسان اندازه  $C_m$  مربوط به هواپیمای معمولی بیشتر از هواپیمای پیکربنده است و همچنین مکریزم گشتاور خمی ایجاد شده توسط هواپیمای معمولی بیشتر است. بنابراین هواپیمای معمولی نیازمند پیکربندی مستحکم‌تری نسبت به هواپیمای یکپارچه می‌باشد.

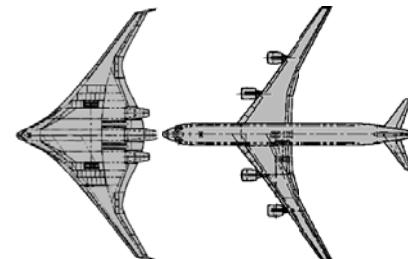
#### نتیجه گیری کلی

با توجه به بخش نتایج مشاهده می‌شود که هواپیماهای بال و بدنه یکپارچه مزیت‌های فراوانی نسبت به هواپیماهای معمولی دارند از جمله این مزیت‌ها دارا بودن مشخصه‌های آیرودینامیکی بهتر (لیفت بیشتر، درگ القایی کمتر و گشتاور خمی کمتر)، داشتن فضای خالی بیشتر و به طبع آن حمل بار مفید بیشتر، وزن کمتر، مصرف سوخت کمتر می‌باشد و همچنین با توجه به افزایش استفاده از حمل و نقل هوایی برای کاربردهای مختلف، کاهش منابع نفتی و افزایش قیمت آنهای، طراحان و محققان به سوی یافتن روش‌های مختلف برای بهینه سازی هر چه بیشتر هواپیماها سوق داده است. بر این اساس اهمیت مفهوم یکپارچگی بال و بدنه واضح و قابل توجه است و در این زمینه تحقیقات زیادی انجام شده است و نمونه‌های آزمایشی مختلفی در ابعاد بزرگ و کوچک ساخته شده است ولی هنوز پیکربندی مناسب برای هواپیماهای یکپارچه در ابعاد بزرگ قابل استفاده در حمل و نقل عمومی پیدا نشده است.

#### مراجع

- [1] Engels, H., Becker, W., and Morris, A., "Implementation of a Multi-level Methodology Within the E-Design of A Blended Wing Body", *Aerospace Science and Technology*, 2004, pp. 145-153
- [2] Qin, N., Vavalle, A., Le Moigne, A., Laban, M., Hackett, K., and Weinnerfelt, P., "Aerodynamic Considerations of Blended Wing Body Aircraft", *Progress in Aerospace Science*, 2004, pp. 321-343
- [3] Jianghao, WU., Chenfang, CAI., Yanlai, ZHANG., "The changes in structural and flight safety due to flap design of Blended-Wing-Body civil aircraft", *Procedia Engineering*, 2011, pp. 320 – 327
- [4] Wisnöe, W., et al., "Wind Tunnel Experiments and CFD Analysis of Blended WingBody (BWB) Unmanned Aerial Vehicle", 13th International Conference on *AEROSPACE SCIENCES & AVIATION TECHNOLOGY*, ASAT- 13, May 26 – 28, 2009.

مقایسه‌ی هواپیمای بال و بدنه یکپارچه با هواپیمای متداول معمولی برای ارزیابی مناسب از مفهوم هواپیمای بال و بدنه یکپارچه نیاز است یک هواپیمای مادون صوت متداول معمولی که با هواپیمای بال و بدنه یکپارچه مورد نظر از دیدگاه نوع ماموریت، تکنولوژی ساخت پیکربندی، تکنولوژی به کار رفته در موتورها یکسان است، در نظر گرفته شود. شکل ۲ تصویری از این دو هواپیما نشان می‌دهد و در جدول ۱ مقایسه‌ای از عملکرد این دو ارائه شده است.

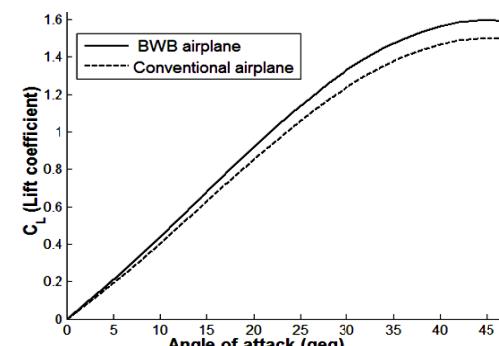


شکل ۲: پیکربندی هواپیمای معمولی و بال و بدنه یکپارچه

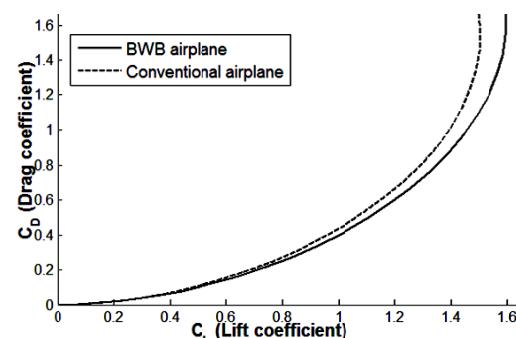
جدول ۱: مقایسه‌ی عملکرد هواپیمای بال و بدنه یکپارچه و هواپیمای معمولی

نمونه	هواپیمای بال و بدنه یکپارچه	هواپیمای معمولی
تعداد مسافر	۸۰۰	۸۰۰
منبهم وزن برخاستن (lb)	۸۲۳۰۰	۹۷۰۰۰
وزن (lb)	۴۱۲۰۰	۴۷۰۰۰
صرف سوخت (lb)	۲۱۳۰۰	۲۹۴۰۰
نسبت لیفت به درگ در گشت زنی	۲۳	۱۹
نیروی پیشان کل (lb)	۳۶۱۶۰	۴۶۳۶۰

در ادامه منحنی‌های ضریب لیفت بر حسب زاویه حمله، ضریب درگ القایی بر حسب ضریب لیفت و ضریب ممان خمی بر حسب ضریب لیفت ارائه شده اند.



شکل ۳: منحنی ضریب لیفت بر حسب زاویه حمله



شکل ۴: منحنی ضریب لیفت بر حسب ضریب درگ