تکنولوژی نساجی

محاسبه نیروی برآ و پسای پارافویل با استفاده از مدل ویسکوالاستیک

صفیه عبدی نسب[1] | اسفندیار اختیاری[1] | محمد سفید[1]

چکیده

در این مقاله نیروهای آیرودینامیکی پارافویل(ایرفویل پارچه‌ای) مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه‌سازی ایرفویل به صورت متداول با نرم‌افزار فلوئنت انجام می‌گیرد. ارزیابی با نرم‌افزار فلوئنت پیچیده است بنابراین در این مقاله مدل جرم - فنر - دمپر برای محاسبه نیروهای آیرودینامیکی پیشنهاد شده است. این سیستم با چهار درجه آزادی و شامل جرم با فنر خطی و میرا کننده است. معادله تعادل نیروهای نیوتن با فرض متخلخل نبودن پارچه استفاده شده است. در این مقاله ضرایب برآ و پسا برای پارچه تاری پودی تافته محاسبه شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که زاویه حمله اثر مهمی روی ضریب پسا دارد.اثر سرعت جریان هوا روی نیروی پسا قابل توجه است در حالی که زاویه حمله نقش کمتری دارد. در این مقاله حداکثر میزان ضریب پسا و نیروی پسا برای زاویه حمله صفر در سرعت هوای ۲۰ متر بر ثانیه ۰,۳۰۳ و ۲۵ نیوتن به دست آمده است.

مقدمه

بررسی عکس‌العمل بین پارچه و هوا یا به عبارت دیگر رفتار آیرودینامیک پارچه برای بسیاری از کاربردهای پارچه مثل پاراگلایدر، چتر نجات و پوشاک ورزشی مهم است. در بررسی‌های اولیه به منظور اندازه‌گیری خواص آیرودینامیک پاراگلایدر، تأثیر مواردی مانند نسبت منظری، انحنای کانوپی، سرعت و غیره روی پاراوینگ‌های متداول مورد مطالعه قرار گرفت.

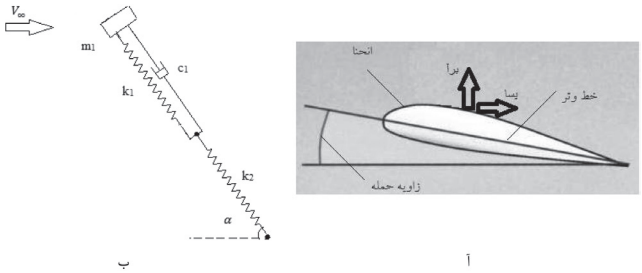
پس از آن مطالعات اغلب روی پاراوینگ تمام انعطاف‌پذیر متمرکز گردید. در سال ۱۹۷۰ بررسی تونل باد برای پاراوینگ‌های تمام انعطاف‌پذیر با ابعاد بزرگ که در آن طول دکل از ۱۵ تا ۲۴ متغیر است توسط فلارسکی و مورت انجام شده است. آزمایش‌ها روی پاراوینگ‌های تولید شده به روش‌های گوناگون(چسب، دوخت و دوخت با نوار تقویت شده) و نیز کانوپی با چندین روزنه انجام شده است.

در سال ۱۹۷۰ مورگان پاراوینگ تمام انعطاف‌پذیر دو دکله با میزان متفاوت مواد نفوذپذیر و مواد با نفوذپذیری متفاوت در لب‌های خارجی را بررسی کرد. آزمایش تونل باد به منظور اندازه‌گیری عملکرد و خواص باز شدن انجام گرفت. نتایج نشان داده است که تغییرات یاد شده تاثیر اندکی روی پارامترهای باز شدن دارد ولی باعث کاهش در عملکرد پرواز می‌گردد . مورگان و برداشاودر سال ۱۹۷۰ آزمایش‌های تونل باد و پرواز آزاد را برای بررسی خواص آیرودینامیک و باز شدن پاراوینگ تک دکله صلب و تک دکله دارای روزنه استفاده کردند . فورنیر و سلیمنو در سال ۱۹۷۰ مطالعه روی اثرات روش تولید، جزئیات طراحی و چینش متفاوت روزنه کانوپی را انجام دادند. آمورا و مشود رفتار دینامیکی پاراگلایدر را در تونل باد آزمایش کردند. از آنجا که پاراگلایدر از تعداد زیادی سلول‌های مشابه تشکیل شده است، آزمایش‌ها روی یک مدل سلولی پاراگلایدر انجام گرفته است. محققان در مقاله بعدی خود آزمایش تونل باد را به منظور به دست آوردن پروفایل سطح قابل تورم سه بعدی و توزیع فشار سطح روی مدل سلولی انجام دادند. مقایسه بین ضرایب پسا و برآ در حالت دو بعدی و سه بعدی نشان دهنده اختلاف اندک بین این دو مقدار بود.

در همان سال آزمایش‌ها متعددی در تونل باد به منظور بهبود عملکرد کانوپی پاراگلایدر توسط همین محققان انجام شد. در این آزمایش‌ها چهار مدل سلولی متفاوت برای بررسی اثر شکل ورودی هوا روی خواص آیرودینامیک سلول کانوپی قابل تورم مورد استفاده قرار گرفت. لینگ و همکارانش انیمیشن حرکت لباس را به وسیله مدلی بر اساس ساختار دینامیکی و تئوری آیرودینامیکی بال با سرعت پایین به دست آورد. توزیع نیروهای ناپایدار روی پارچه اندازه‌گیری شده و سپس برای سنجش جابجایی لحظه‌های نقاط مختلف پارچه استفاده شد. در ادامه این کار، آنها مثالی از حرکت پرده در جریان هوای آزاد و نزدیک دیوار را حل کردند. در همان سال مطالعه‌ای روی ارتباط بین جریان هوای اطراف پارچه انجام شد. در این مطالعه، مدل نیروی نیمه پایدار و ناپایدار استفاده شد . در مطالعات انجام شده تنها به آزمایشات تجربی بسنده شده است. هدف این مقاله پیشنهاد یک مدل شامل جرم- فنر و میراکننده برای اندازه گیری نیروهای آیرودینامیکی پارافویل است.

مدل‌سازی

جی و دیگران در سال ۲۰۰۵ از مدل جرم- فنر برای پیش بینی رفتار آویزش پارچه‌های تاری- پودی استفاده کردند. خواص پارچه‌ها از سیستم کاواباتا محاسبه شده و برای محاسبه نیروهای خارجی مورد استفاده قرار گرفت . در مقاله حاضر نیز مدل جرم - فنر- دمپر برای محاسبه نیروهای آیرودینامیکی پارافویل استفاده شده است. مدل شامل پارافویل است که به صورت ثابت درون تونل باد قرار گرفته است همان‌طور که در شکل ۱ آ دیده می‌شود ۱ و ۲ به ترتیب به پارافویل و المان الاستیک اشاره دارد.



شکل ۱ آ) شماتیکی از پارافویل و ب) مدل شبیه سازی پارافویل

فرضیات:

۱- فنر و میرا کننده خطی هستند.

۲- جریان باد به عنوان نیروی ثابت برای تمام آزمایش در نظر گرفته می‌شود.

۳-از تخلخل پارچه صرفنظر شده است.

۱- آنالیز مدل

در این بخش معادلات حاکم بیان شده است. با حل این معادلات نیروهای برا و پسا محاسبه می‌شود. در این معادلات زوایای حمله نیز قابل تغییر است. سه نیرو در این سیستم عمل می‌کند. نیروهای خارجی شامل میراکننده که بر خلاف بردار سرعت عمل می‌کند و نیروی باد.

نیروی داخلی که در اثر تغییر شکل فنرها ایجاد می‌شود. با استفاده از قانون نیوتن معادلات ۱-۵ به دست می‌آید. در این معادلات m جرم x در راستای خط وتر ایرفویل و y در راستای عمود بر خط ایرفویل است.

متغیرهای k و c نیز ثابت فنر و ثابت میرایی است. α زاویه حمله را نشان می‌دهد.

$$\sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} \quad (۱)$$

$$\boldsymbol{F_{spring}} + \boldsymbol{F_{damping}} + \boldsymbol{F_{wind}} = m\boldsymbol{a} \quad (۲)$$

$$\boldsymbol{F_{spring}} = -\mathrm{k}(\mathrm{x}\boldsymbol{i} + \mathrm{y}\boldsymbol{j}) \quad (۳)$$

$$\boldsymbol{F_{damping}} = -\mathrm{c}(\mathrm{v_x}\boldsymbol{i} + \mathrm{v_y}\boldsymbol{j}) \quad (۴)$$

$$\boldsymbol{F_{wind}} = -\mathrm{CV}(\cos\alpha\boldsymbol{i} - \sin\alpha\boldsymbol{j}) \quad (۵)$$

برای حل معادلات لازم است که پارامترهای ثابت (m, k, c) محاسبه شود. ثابت فنر می‌تواند از منحنی تنش- کرنش پارچه محاسبه شود.

۲- حل عددی

حل عددی معادلات از روش رانگ‌کوتا امکان‌پذیر است. از آن‌جایی که روش رانگ کوتا تنها از معادلات درجه یک استفاده می‌کند معادلات، ابتدا به معادلات درجه یک تبدیل و سپس حل شد. سپس نیروی برآ و پسا برای تمام سرعت‌ها از معادلات ۶و ۷ محاسبه می‌شود، ضرایب برآ و پسا نیز از معادلات ۸و ۹ به دست می‌آید که در آن A مساحت سطح در معرض جریان هوا و ρ و V به ترتیب دانسیته و سرعت جریان هوا هستند. x جابجایی در راستای خط وتر ایرفویل و y جابجایی در راستای عمود است.

جدول ۱-داده‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی سیستم جرم- فنر- دمپر

M_1 (kg)	K_1 (Nm^{-2})	C_1 ($N.s\ m^{-1}$)	K_2 (Nm^{-2})	C
0.00616	1.16647×10^{4}	1.59175×10^{3}	3.678×10^{2}	1×10^{-2}

$$F_d = -k_2 y_2 \quad (۶)$$

$$F_l = -k_2 x_2 \quad (۷)$$

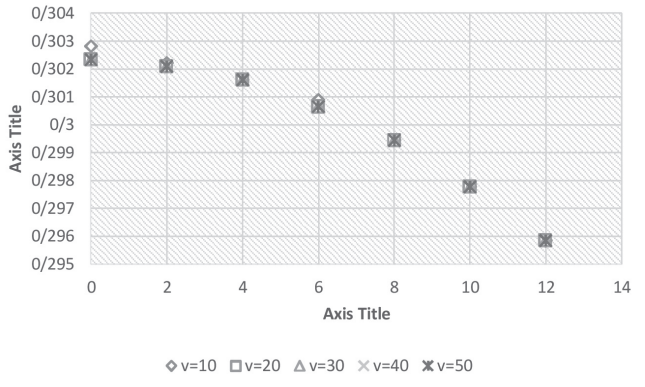
$$c_d = F_d / 0.5\rho V^2 A \quad (۸)$$

$$c_l = F_l / 0.5\rho V^2 A \quad (۹)$$

تست تجربی

برای آزمایش تجربی پارچه پلی استر صد درصد با بافت تافته انتخاب شده است. محاسبات در اعداد رینولدز متفاوت و زوایای حمله۰-۱۲ انجام شد. جدول ۱ داده‌های مورد استفاده برای شبیه سازی را نشان می‌دهد.

در نهایت با استفاده از برنامه مطلب معادلات رانگ کوتا برای پارچه مورد نظر حل شد و مقادیر ضریب پسا در سرعت‌های مختلف و با زوایای حمله مختلف به دست آمد . شکل ۲ این مقادیر را نشان می دهد.



شکل ۲- ضرایب پسای محاسبه شده برای مدل پارافویل در زوایای حمله و سرعت‌های متفاوت

نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل جرم - فنر- دمپر برای اندازه گیری نیروهای آیرودینامیکی ایرفویل استفاده شده است. این سیستم شامل جرمی و دو فنر و یک میرا کننده است. بنابراین معادلات تعادل از قانون دوم نیوتن به دست آمده و به وسیله روش رانگ- کوتا به صورت عددی حل شده است. سپس ضرایب برآ و پسا محاسبه می‌شود. نتایج شبیه سازی نشان میدهد که حداکثر نیروی پسا ۲۵ نیوتن در زاویه صفر درجه و برای عدد رینولدز $۳/۵\times۱۰^{۵}$ است. نیروی پسا با افزایش زاویه حمله کاهش می‌یابد.