مقاله

استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار در طراحی بال هواپیما

سروش قلی‌زاده*
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحدپردیس
soroush_iaupp@yahoo.com

مهدی منصوری
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی واحد پردیس
mehdimansouri.m@gmail.com

امین عقیله
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک
دانشگاه ازاد اسلامی، واحد پردیس
amin.aghileh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳

چکیده

آشفتگی جریان سیال در اطراف بال و وجود ارتعاشات در اثر حرکت فلپ‌ها، از جمله مشکلاتی است که در عملکرد هواپیماها به‌وجود می‌آید. از عوامل بروز این مشکلات می‌توان به عدم یکپارچگی قسمت‌های ثابت و متحرک بال و عدم کنترل کامل حرکت سازوکار فلپ بال اشاره کرد. طی سالیان اخیر یکی از راه‌های اصلاح و بهبود این مشکلات استفاده از خواص آلیاژهای حافظه‌دار در ساخت بال‌هاست. با استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار بال‌هایی ساخته می‌شود که متناسب با شرایط هواپیما، توانایی تغییر حالت را دارند. در این‌صورت عملکرد پرواز هواپیما بهبود می‌یابد و ضمناً وزن سازه‌ها و سازوکارهای مورد استفاده و مصرف انرژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم می‌شود. در این مقاله به چگونگی استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار در سازوکار فلپ بال مورفینگ، در کلاس پروازی هواپیمای بدون سرنشین، پرداخته می‌شود. در ادامه روند طراحی و تحلیل ائرودینامیکی پروفیل مقطع بال با استفاده از خواص آلیاژهای حافظه‌دار ارائه شده است. ابتدا طراحی ایرفویل در محیط نرم‌افزار کتیا ارائه شده، سپس تحلیل نیروهای ائرودینامیکی در نرم‌افزار XFLR5 بیان شده است. در پایان بال طراحی‌شده با استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار ساخته و ارائه شده است.

واژگان کلیدی: آلیاژهای حافظه‌دار[1]، مورفینگ، ایرفویل، هواپیما

۱. مقدمه

بهینه‌سازی عملکرد هواپیما در شرایط مختلف پرواز مهمترین نکتهٔ مورد نظر طراحان و سازندگان هواپیما در ساخت نمونه‌های اولیه تا به امروز بوده است. با توجه به اینکه بسیاری از شرایط محیطی اثرگذار به سازهٔ پرنده قابل پیش‌بینی نمی‌باشند، سازندگان درپی طرح‌هایی بوده‌اند که بیشترین میزان سازگاری سازهٔ پرنده را با شرایط محیطی داشته باشند. تغییر شکل سازهٔ پرنده از جمله روش‌های ایجاد سازگاری با شرایط محیطی است. یکی از بهترین شیوه‌های ارائه‌شده برای ایجاد تغییر شکل مورد نیاز سازهٔ پرنده جهت هماهنگ‌شدن با شرایط محیطی، شیوهٔ مرفینگ است. پیشرفت‌های نسبتاً قابل توجهی در این حوزه صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به امکان به‌کارگیری آلیاژهای حافظه‌دار در سیستم‌های عملگر این نوع از سازوکارها اشاره کرد [۱].

یکی از مهمترین اجزای سازی پرنده، بال سازه است. در این زمینه، طراحی ایرفویل بال با استفاده از فناوری مورفینگ از حساسیت بیشتری برخوردار بوده است. ایرفویل به مقطع هر جسمی که در تحت تأثیر جریان هوا قرار گیرد گفته می‌شود.

در این مقاله، نخست به معرفی فناوری مورفینگ و آلیاژهای حافظه‌دار پرداخته می‌شود؛ سپس پژوهش‌های انجام‌شده با شیوهٔ مورفینگ در طراحی بال هواپیما با استفاده از خواص آلیاژهای حافظه‌دار بیان می‌شود. پس از آن، روند طراحی و تحلیل ائرودینامیکی پروفیل مقطع بال با استفاده از خواص آلیاژهای حافظهدار ارائه می‌شود. ابتدا طراحی ایرفویل در محیط نرم‌افزار کتیا ارائه شده، سپس تحلیل نیروهای ائرودینامیکی در نرم‌افزار XFLR5 در آخر بال طراحی‌شده با استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار ساخته و ارائه شده است.

۲. فناوری مورفینگ

در سال‌های اخیر، فناوری مورفینگ توجه مهندسان پرواز و متخصصان علم ائرودینامیک را به‌خود جلب کرده است. مورفینگ در لغت به‌معنای تغییر شکل از حالتی به حالت دیگر بدون ایجاد گسستگی است. در علوم مهندسی و صنایع، مورفینگ به سازه‌هایی گفته می‌شود که قابلیت تغییر شکل و هندسهٔ سازه را با توجه به شرایط مختلف پرواز دارند و از این راه سبب افزایش عملکرد سازه‌ها می‌شوند [۲].

ایدهٔ استفاده از فناوری مورفینگ مانند بسیاری از فناوری‌های دیگر ریشه در طبیعت دارد. با بررسی پرواز عقاب مشاهده می‌شود که بال این پرنده هنگامی که در ارتفاع قرار دارند به‌صورت کامل باز می‌شود. در این‌صورت پرنده به‌راحتی اوج می‌گیرد و قادر است برای مدتی طولانی به پرواز و جستجوی شکار ادامه دهد. بال‌هایی با ابعاد ثابت، برای حالت‌های گوناگون پرواز شرایط بهینه‌ای ندارند، از اینرو پرنده در حین پرواز، با عقب راندن بال‌های خود می‌توانند با کاهش نیروی مقاوم در برابر پرواز سرعت خود را افزایش دهند. در شکل ۱ حالت‌های مختلف پرواز پرنده مشاهده می‌شود [۳].

شکل ۱. تغییرات هندسهٔ بال در سرعت‌های گوناگون

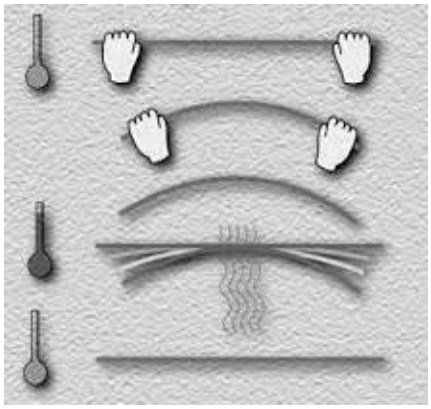
چون برای انجام یک پرواز خوب و ایده‌آل لازم است بال هواپیما در هر یک از شرایط پرواز هندسهٔ متفاوتی داشته باشد [۳]، متخصصان پس از مطالعه و بررسی شیوه‌های پرواز پرندگان تصمیم به تولید بال‌هایی با توانایی عملیاتی بالا به‌منظور جایگزینی بال‌های هواپیماهای کنونی گرفتند. ایدهٔ ساخت بال‌های قابل تغییر، که بال مورفینگ نامیده می‌شوند، برای نخستین‌بار در سال ۱۹۲۰ م توسط ناسا مطرح شد. یکی از معروف‌ترین طرح‌های بال هواپیما با قابلیت تغییر شکل‌پذیری، در سال ۱۹۴۴ م توسط اشمیت[۲] مطرح شد [۳].

امروزه استفاده از این سازه‌ها، که به آنها سازه‌های هوشمند نیز گفته می‌شود، در صنایع مختلف به‌ویژه صنایع هوایی، مورد علاقهٔ طراحان قرار گرفته است [۴]. از فناوری مورفینگ در چهار هواپیمای تامکت[۳]، لنسر[۴]، هرنت[۵] و ماو[۶] استفاده شده است [۵].

۳. آلیاژهای حافظه‌دار

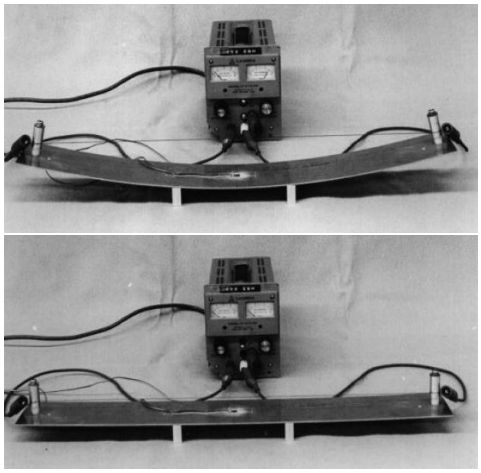
طراحان به‌منظور ایجاد سازه‌ای یکپارچه از ترکیبی از موادی خاص و پیچیده در طراحی بال مورفینگ استفاده کرده‌اند. استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار در این فناوری به‌دلیل امکان ترکیب سیستم عملگری با سازهٔ اصلی موجب کاهش بسیاری از محدودیت‌ها و در نتیجه افزایش کارآیی

می‌شود [۶]. یکی از اولین کاربردهای آلیاژهای حافظه‌دار در مقیاس انبوه، استفاده در اتصالات لوله‌های هیدرولیک هواپیمای اف. ۱۴ بوده است. آلیاژهای حافظه‌دار به دسته‌ای از آلیاژها گفته می‌شود که قادرند تغییر شکل و کرنش‌های دائمی اعمال‌شده را بازیابی نمایند و در نهایت به شکل اولیهٔ خود بازگردند. این مواد برای نخستین‌بار در سال ۱۹۳۲ م کشف شد و به‌عنوان اولین نمونه آلیاژ طلا - کادمیم[۷] درسال ۱۹۵۱ م ساخته شد. سپس این خاصیت در سال ۱۹۵۳ م در ایندیم - تیتانیم[۸] نیز مشاهده شد. این مواد دارای دو فاز ثابت‌اند. فاز در دمای بالا آستنیت[۹] و فاز با دمای پایین مارتنزیت[۱۰] نامیده می‌شود. در رفتار آلیاژهای حافظه‌دار براساس یک دگرگونی فازی و تغییر ساختار بلوری که در آنها رخ می‌دهد، سبب می‌شود آلیاژ از یک ساختار مستحکم و پایدار در دمای بالاتر به یک ساختار تغییرفرم‌پذیر پایدار، در دمای پایین‌تر تبدیل گردد. ساختار مارتنزیتی در دمای پایین با افزایش دما به ساختار آستنیتی تبدیل می‌شود و در هنگام سردکردن، فرایند عکس رخ خواهد داد. در شکل ۲ تغییرحالت آلیاژ حافظه‌دار در اثر تغییر دما مشاهده می‌شود.



شکل ۲. تغییر حالت آلیاژ حافظه‌دار در اثر تغییرات دما

این آلیاژها دو مشخصه مهم دارند: رفتار حافظه‌ای و رفتار شبه‌الاستیک. از ویژگی‌های دیگر این آلیاژها، مقاومت زیاد در برابر خوردگی، مقاومت ویژهٔ الکتریکی نسبتاً زیاد، خواص مکانیکی نسبتاً خوب، شکل‌پذیری بالا و قابلیت انطباق با بدن می‌باشند. آلیاژهای حافظه‌دار در دماهای مختلف خصوصیات مکانیکی متنوعی دارند. با استفاده از سیم‌هایی از جنس آلیاژ حافظه‌دار و در نتیجه اعمال گشتاور خمشی می‌توان در ورق‌های بال هواپیما گشتاور خمشی ایجاد کرد و منحنی ورق را تغییر داد. در شکل ۳ نحوهٔ استفاده از این سیم‌ها برای تغییر شکل ورق نمایش داده شده است [۶]. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با تحریک سیم، به‌وسیلهٔ ممان‌هایی که در نتیجهٔ فاصلهٔ عمودی سیم‌ها با سطح ورق ایجاد می‌شود، ورق خمیده می‌شود.



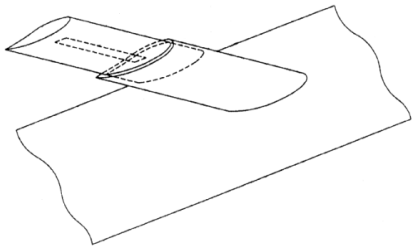
شکل ۳. نحوهٔ خمش ورق با استفاده از سیم حافظه‌دار

۴. پیشینهٔ طراحی مقطع بال هواپیما با استفاده از فناوری مورفینگ مبتنی بر خواص آلیاژهای حافظه‌دار

پژوهش‌هایی که دربارهٔ طراحی ایرفویل هواپیما با استفاده از فناوری مورفینگ انجام شده است در سه دستهٔ تغییر پلان فرم[۱۱]، تغییر خمیدگی در راستای طول بال[۱۲] و تغییر پروفیل مقطع بال قابل بررسی است [۱]. در پژوهش‌های انجام‌شده طی سال‌های اخیر از آلیاژهای حافظه‌دار به‌عنوان عملگر این تغییرات استفاده شده است.

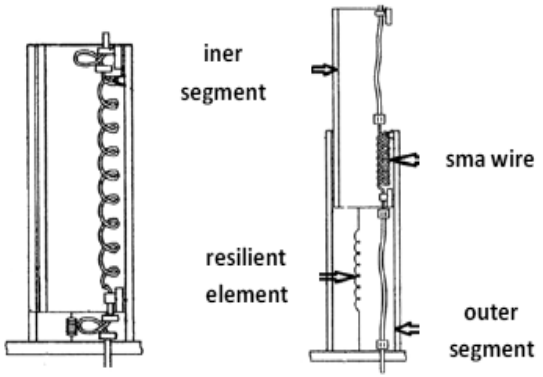
در سال ۲۰۰۳ م، دانو[۱۳] با استفاده از سیم‌های حافظه‌دار توانست در یک ورق ممان خمشی ایجاد کند. این ممان خمشی موجب تغییر شکل در ورق شد [۶، ۸]. از این

پژوهش در سال‌های بعد برای طراحی بال هواپیما استفاده شد. در فناوری مورفینگ، به‌منظور تغییر طول بال، از سازوکارهای متنوعی استفاده شده است؛ استفاده از سازوکار بال تلسکوپی از جمله آنهاست. در این حالت بال شامل دو یا چند قسمت مجزاست که به‌منظور افزایش طول بال، این قسمت‌ها به‌صورت خطی و در راستای طول بال جابه‌جا شده و بدین ترتیب طول بال تغییر می‌کند. در شکل ۴ نمایی از سازوکار تلسکوپی تغییر طول بال نمایش داده شده است.



شکل ۴. سازوکار تلسکوپی تغییر طول بال مورفینگ

گرت نولـز[14] و همکاران در سال ۲۰۰۴ م، برای ایجاد حرکت رفت‌وبرگشتی در قسمت‌های مجزای بال، از سازوکاری که در ساختار آن از سیم حافظه‌داری که ساختار فنر مارپیچ را پیدا کرده بود، استفاده کردند. در شکل ۵ نمایی شماتیک از این سازوکار نمایش داده شده است [۷].



شکل ۵. سازوکار تلسکوپی بال

در این سازوکار با استفاده از خاصیت مقاومت حرارتی سیم حافظه‌دار، ابتدا با عبور جریان برق حرارت سیم افزایش یافته و دچار تغییر طول می‌شود، در ادامه با قطع جریان برق سیم سرد می‌شود و با بهره‌گیری از فنر بازگشتی، سیم به حالت اولیهٔ خود برگردانده می‌شود.

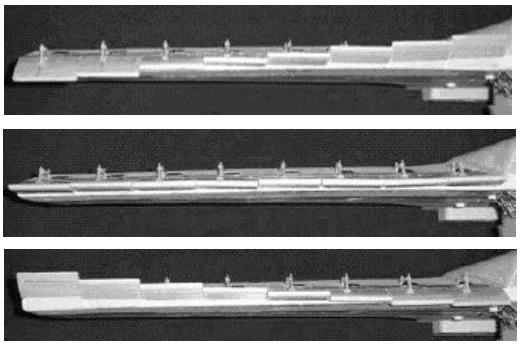
در هواپیماهای امروزی به‌طور معمول به‌منظور تغییر در مقطع بال و یا به‌عبارت بهتر، ایجاد خمیدگی در مقطع بال، از فلپ‌هایی در لبهٔ حمله و لبهٔ فرار بال استفاده می‌شود. در صورت به‌کارگیری آلیاژهای حافظه‌دار در عملگر این‌گونه بال‌ها، به‌دلیل عدم استفاده از قطعات مکانیکی متحرک، علاوه بر سبک‌شدن سازهٔ بال، در هواپیماهای نظامی و پهبادها، امکان رادارگریزبودن آنها نیز فراهم خواهد شد. پژوهش‌هایی توسط کانگ و همکاران در سال ۲۰۱۲ م صورت پذیرفته است که در آن با استفاده از ساختار قاب چهارگوش و استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار، مکانیزمی جهت تغییر وضعیت خمیدگی به‌صورت شکل ۶ طراحی شده است [۹].

شکل ٦. بال طراحی‌شده توسط کانگ و همکاران

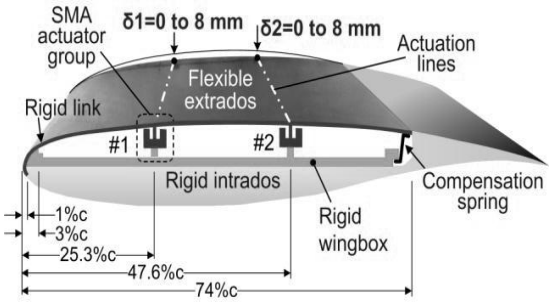
در سال ۲۰۰۳ م، پژوهشی دیگر توسط عبدالرحیم در دانشگاه فلوریدا انجام شد. در این پژوهش، در ساختار بال از مفاصل متعدد و قسمت‌های مجزا در طول بال استفاده شد. وی برای ایجاد امکان تغییر آرام خمیدگی در سه بعد از فلپ‌های متعدد با عملگرهای مجزا استفاده کرد. در شکل ۷ نمایی از نمونهٔ ساخته‌شده در دانشگاه فلوریدا نمایش داده شده است [۱۰].

در سال ۲۰۰۶ م مانزو این پژوهش را ادامه داد و نمونه‌هایی از این بال که دارای مفاصل متعددی بودند را در دانشگاه ویرجینیا و دانشگاه کورنل آمریکا ساخت [۱۱]. سومین شاخه از پژوهش‌های انجام‌شده برای ایجاد تغییر

طول در بال، تغییر پروفیل مقطع بال است. هاویلند در پژوهشی در این زمینه نمونه‌ای ساخت که در آن پوستهٔ بالایی بال از جنس انعطاف‌پذیر بود و تغییرات طول بال با استفاده از دو عملگر از جنس آلیاژهای حافظه‌دار که به‌صورت طولی به‌کار رفته بود انجام می‌گرفت. در شکل ۹ نمایی شماتیک از آن نمایش داده شده است [۱۲].



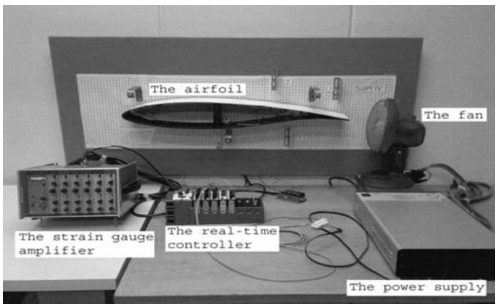
شکل ۷. بال طراحی‌شده در دانشگاه فلوریدا



شکل ۸ مقطع بال طراحی‌شده توسط هاویلند

در سال ۲۰۰۳ م توسط آدام بارون و همکاران در پژوهشی دیگر در این زمینه، نمونه‌ای ساختند که در آن سطح پایینی ایرفویل ارتجاعی بود و قابلیت تغییر شکل داشت و سطح بالایی به‌صورت صلب بود [۱۳]. در سال ۲۰۰۵ م توسط روی و همکارش در دانشگاه ماساچوست نمونه ساخته شد که در آن به‌منظور رسیدن بال به موقعیت‌های مختلف، در بازوی بال از سیم‌های حافظه‌دار استفاده شد. در شکل ۹ نمایی از آن نمایش داده شده است [۱۴]. در سال ۲۰۰۹ جاری آهولا و همکاران در پژوهشگاه مکاترونیک دانشگاه اولو توانستند با استفاده از مواد پلاستیک تقویت‌شده، مقطع کامپوزیتی بال را طراحی کنند و بسازند. در این مقطع با اعمال جریان و قطع آن و با استفاده از خاصیت برگشت‌پذیری پلاستیک، امکان تغییر شکل مقطع بال فراهم شد. در شکل ۱۰ نمایی از آن نشان داده شده است [۱۵].

شکل ۹. سازه و سازوکار عملگر طراحی‌شدهٔ روی و همکاران

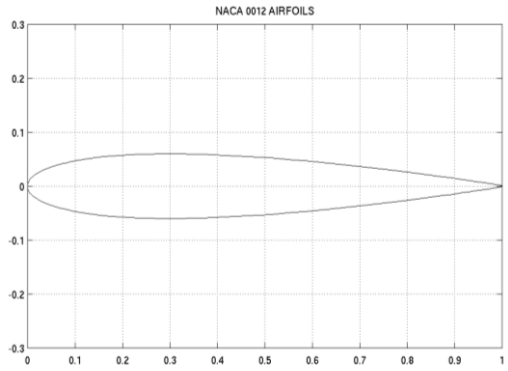


شکل ۱۰. مقطع بال ساخته‌شده توسط آهولا و همکاران

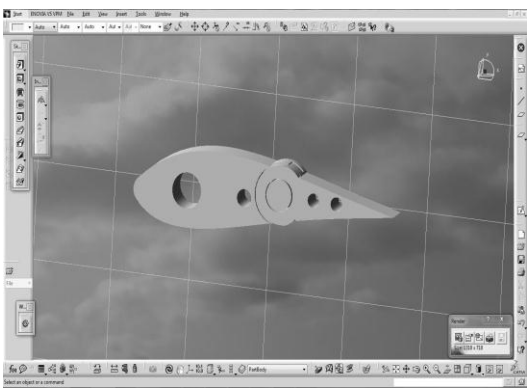
۵. طراحی و تحلیل ائرودینامیکی پروفیل مقطع بال

نمونه پروفیل مقطع بال (ایرفویل) که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است مربوط به هواپیمای بدون سرنشین می‌باشد و طرح ایرفویل منطبق بر استاندارد ایرفویل مدل ناکا ۰۰۱۲ [۱۵] طراحی و در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. در این نمونه به‌منظور دستیابی به پارامترهای بهینهٔ ائرودینامیکی بال، مقطع بال شامل یک قسمت ثابت و فلپ متحرک است. تمامی قسمت‌ها از مواد صلب تهیه و ساخته شده است. فلپ و قسمت اصلی با استفاده از یک اتصال ارتجاعی به هم متصل می‌گردند. تفاوت این نمونه با موارد فعلی موجود، ایجاد پیوستگی در سطح بال به‌هنگام تغییر شکل و همچنین تسهیل در سیستم کنترلی با توجه به استفاده از سیم آلیاژهای حافظه‌دار می‌باشد. طول وتر مقطع

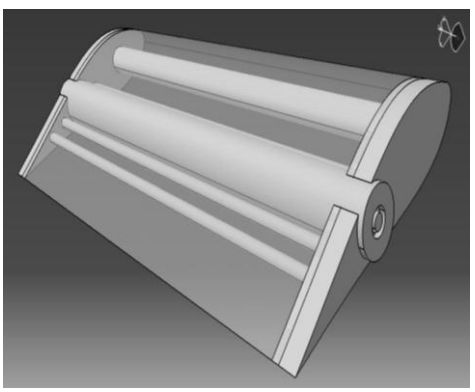
بال نمونه طراحی‌شده ۴۶۰ میلی‌متر و ضخامت آن ۱۰۷ میلی‌متر می‌باشد، که به‌صورت دو قسمتی است و دارای سازوکار حرکتی می‌باشد. جنس مقطع بال از مواد نارسانا با قابلیت تحمل دمای بالا در نظر گرفته می‌شود تا توانایی تحمل گرمای سیم آلیاژهای حافظه‌دار را داشته باشد. در شکل ۱۳ نیم‌پروفیل ایرفویل طراحی‌شده توسط این نرم‌فزار نمایش داده شده است. سازهٔ اصلی بال با استفاده از دو مقطع پروفیل بال، که در طرفین راست و چپ آن قرار گرفته، طراحی و با استفاده از چهار میلهٔ آلومینیومی به هم متصل شده است. به‌منظور تکمیل ساختار سازهٔ بال، با استفاده از پوشش پلیمری، کل سازه و سازوکار بال پوشیده شده و به‌صورت یک سازوکار یکپارچه در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۱۳ مدل طراحی‌شده آن توسط کتیا مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱. مقطع پروفیل ایرفویل مدل ناکا ۰۰۱۲



شکل ۱۲. نیم پروفیل ایرفویل طراحی‌شده در نرم‌افزار کتیا

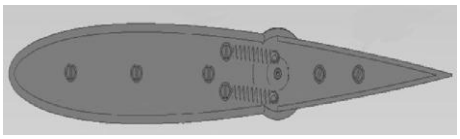


شکل ۱۳. سازهٔ اصلی طراحی‌شده در نرم‌افزار کتیا

سازوکار حرکتی فلپ سازهٔ بال در این طرح با استفاده از دو قطعه فنر از جنس آلیاژهای حافظه‌دار که در دو طرف راست و چپ پروفیل مقطع بال قرار دارد، ساخته شده است. این فنرها با توجه به عبور جریان الکتریسیته از آنها نقش محرک دورانی فلپ را برعهده دارند. در شکل ۱۴ نمایی شماتیک از آن نمایش داده شده است. در شکل ۱۵ یکی از پروفیل‌های مقطع بال طراحی‌شده در این زمینه، که از سیمی از جنس آلیاژهای حافظه‌دار و فنر بازگشتی در ساختار آن استفاده شده است، نمایش داده شده است.

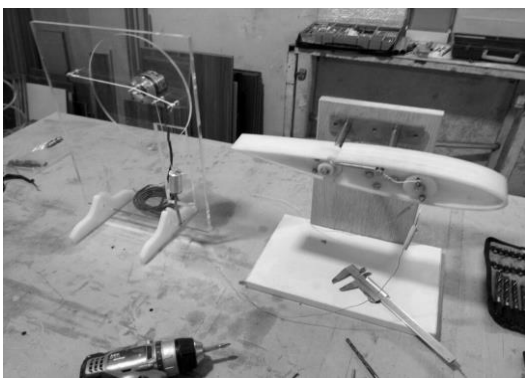
پس از ساخت این نمونهٔ اولیه به‌منظور بهینه‌کردن عملکرد آن، اصلاحاتی شامل تغییر عملکرد سازوکار برگشتی و نحوهٔ به‌کارگیری سیم حافظه‌دار انجام شد. با توجه به مشکلاتی که در سیستم کاهش اصطکاک قطعات و مشکلات مونتاژی دیگر پیش آمد، اقدام به طراحی و

ساخت نمونهٔ مدلسازی شدهٔ طرح با استفاده از جرم و فنر شد. در این مدل با اتصال انکودر به مرکز فلپ مدلسازی شده، امکان کنترل موقعیت فلپ تأمین شد. در شکل ۱۶ نمایی از این مدل نمایش داده شده است.



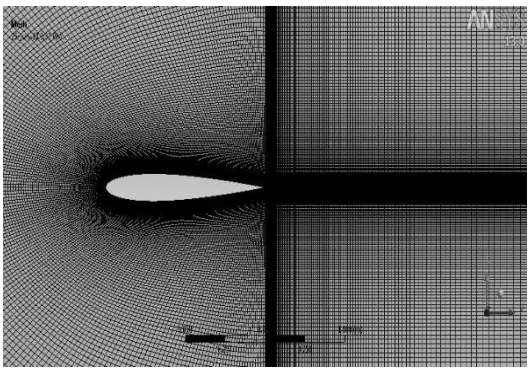
شکل ۱۴. سازوکار حرکتی فلپ

شکل ۱۵. پروفیل مقطع بال طراحی‌شده با فنر بازگشتی

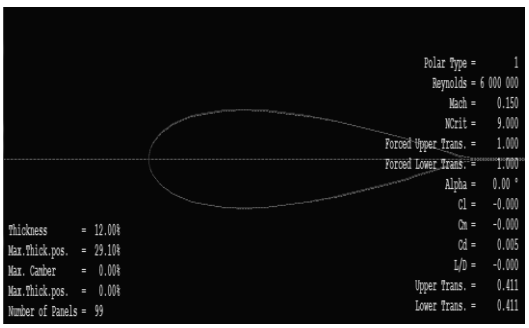


شکل ۱۶. نمونهٔ مدلسازی شده با جرم و فنر

پس از طراحی، با استفاده از شبیه‌سازی در محیط‌های نرم‌افزاری، ویژگی‌های ائرودینامیکی بال مورد بررسی قرار گرفت. از جمله نتایج حاصل، نسبت ضریب برآ به ضریب پسا با توجه به زاویهٔ خمیدگی بال است. ضریب برآ، ضریبی است که مقدار آن در آزمایش‌های تونل باد مشخص می‌شود و به شکل ایرفویل، زاویهٔ حمله، زاویهٔ بین وتر فرضی بال و جهت باد بستگی دارد. ضریب پسا اما تابعی از رینولدز و زبری نسبی سطح است. ضرایب ائرودینامیکی برآ و پسا اهمیت زیادی در هندسهٔ ایرفویل دارند؛ تحلیل این ضرایب می‌تواند میزان کارآمدی طرح را نشان دهد. به‌منظور تحلیل ائرودینامیکی سازه می‌توان از نرم‌افزارهای فلوئنت، انسیس، XFLR5 و جز این‌ها استفاده کرد. به‌عنوان مقال، نمایش شبکه‌ای ایرفویل ۰۰۱۲ که توسط نرم‌افزار انسیس انجام شده است در شکل ۱۷ نمایش داده شده است. در ادامه برای تحلیل ائرودینامیکی ایرفویل از نرم‌افزار XFLR5 استفاده شده است. این نرم‌افزار، بسته‌ای تخصصی است که از توانایی‌های آن می‌توان به تحلیل ایرفویل، رسم ایرفویل به‌صورت اسپلاین، تحلیل بال با نسبت باریک‌شوندگی و زاویهٔ نصب دلخواه، تحلیل ائرودینامیکی هواپیما و دینامیک پرواز هواپیما اشاره کرد. در شکل ۱۸ نمایی از محیط این نرم‌افزار نمایش داد شده است.



شکل ۱۷. نمایش شبکه‌ای ایرفویل ۰۰۱۲ در انسیس

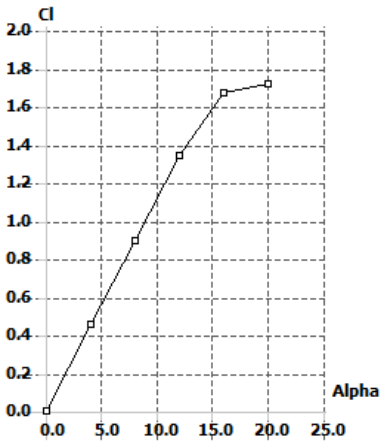


شکل ۱۹. نمایش ایرفویل در نرم‌افزار XFLR5

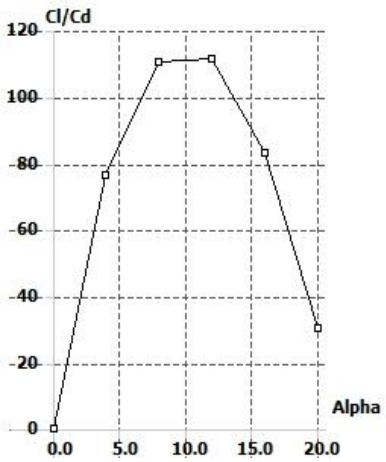
با پردازش اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی نرم‌افزاری مدل طراحی‌شده، نمودار تغییرات ضریب برآ به تغییرات زاویهٔ فلپ، نتیجه می‌شود (شکل ۲۰). با توجه به این نمودار، ضریب برآ ماکزیمم حدود ۱/۷ است، هرچقدر مقدار این

ضریب بیشتر باشد، هواپیما در هنگام فرود می‌تواند با سرعت کمتر فرد بیاید. این امر خود باعث کوتاه‌شدن باند فرود می‌شود، در هنگام برخاست نیز هواپیما می‌تواند زودتر از زمین بلند شود. همچنین بالابودن ضریب برآ ماکزیمم مصرف سوخت را کاهش می‌دهد و هواپیما می‌تواند محمولهٔ بیشتری را حمل کند. با توجه به نمودار، این ضریب در زاویه‌ای حدود ۲۰ درجه به حداکثر می‌رسد. از دیگر نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار، نسبت ضریب برآ به ضریب پسآ می‌باشد که در شکل ۲۱ نمایش داده شده است. این نسبت، یکی از مهمترین مشخصه‌های ایرفویل است. این پارامتر معروف به نسبت کارایی ائرودینامیکی است و معمولاً طراحان با عبارت L over D آن را تلفظ می‌کنند. برای افزایش این نسبت تلاش‌های زیادی از سوی طراحان انجام شده است؛ زیرا افزایش آن یعنی افزایش نیروی برآ در عین کاهش نیروی پسا، این تعریف بسیاری از مشکلات ائرودینامیکی و طراحی را حل می‌کند، ماکزیمم مقدار این نسبت با توجه به نمودار در حدود ۱۱۲ می‌باشد، که بهینه‌ترین وضعیت برای زاویهٔ خمیدگی است. کاهش این نسبت، که با افزایش خمیدگی رخ می‌دهد، نشان‌دهندهٔ پدیدهٔ جدایش جریان در مقادیر خمش زیاد است. همچنین زاویه‌ای که در آن نسبت برآ به پسا ماکزیمم می‌شود، مهمترین پارامتر است. این زاویه بسیار باارزش است؛ زیرا اگر هواپیما در این زاویه پرواز کند، بهترین کارایی را خواهد داشت. به‌همین دلیل است که این زاویه به‌عنوان زاویهٔ نصب بال انتخاب می‌شود. این زاویه با توجه به نمودار، در حدود ۱۲ درجه است.

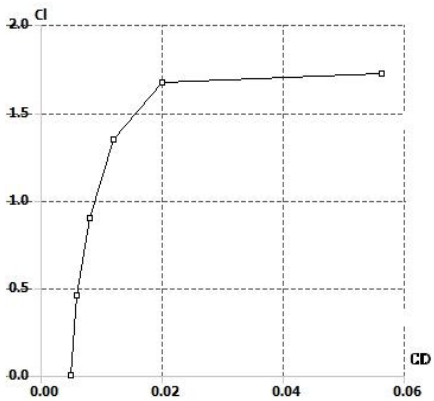
شکل ۲۳ منحنی تغییرات ضریب برآ به ضریب پسا را نشان می‌دهد. این منحنی مهترین منحنی یک ایرفویل است. در این منحنی کمترین مقدار ضریب پسا از اهمیت بالایی برخوردار است و هرچه این مقدار کمتر باشد، بهتر است این ضریب با توجه به نمودار ۳ در حدود ۰/۰۰۵ است، ضریب برآ متناظر به ضریب پسا را، ضریب برآی ایده‌آل می‌نامند. این ضریب با توجه به شکل ۲۳ در حدود ۰/۰۱ است.



شکل ۲۰. تغییرات ضریب برآ به تغییرات زاویهٔ فلپ



شکل ۲۱. نسبت ضریب برآ به پسا



شکل ۲۳. تغییرات ضریب برآ به پسا

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، نخست دربارهٔ فناوری مورفینگ و آلیاژهای حافظه‌دار بحث شد و در ادامه به بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص استفاده از فناوری مورفینگ و آلیاژهای حافظه‌دار در طراحی مقطع بال هواپیما پرداخته شد. بر این اساس، درصورت استفاده از این فناوری و آلیاژهای حافظه‌دار، بال و سازه را به‌گونه‌ای می‌توان طراحی نمود که اولاً دارای ساختار یکپارچه باشند، ثانیاً با استفاده از عملگرهای ویژه، قابلیت تغییر شکل داشته باشند. همچنین به‌دلیل عدم استفاده از قطعات مکانیکی متحرک، علاوه بر سبک‌شدن سازهٔ بال، می‌توان سبب کاهش آثار منفی ائرودینامیکی بال و سازه و کاهش بسیاری از محدودیت‌ها شد و بازده هواپیما را بالا برد.

۷. مآخذ

[1] Barbarino, S., O. Bilgen, M. R. Ajij, M. I. Frisewell, D. J. Inman. “A Review of Morphing Aircraft.” *Journal of Intelligent Material Systems And Structures*, Vol. 22, June 2011.

[2] C., Thill, J. Etches, I. Bond, K. Potter, P. Weaver. "Morphing Skins." *Aeronaut. J.*, 112, 2008.

[3] Miguel, P. “Analysis of morphing, multistable structures actuated bypiezoelectricpatches.” Licenciado em Engenharia Mechanica pela Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Julho de 2005.

[4] Thill, C., J. A. Etches, I. P. Bond, K. D. Potter, P. Weaver. "Composite Corrugated Structures for Morphing Wing Skin Applications." *Smart Mater. Struct.*, 19, 124009-124019, 2010.

[5] Arrison, L., K. Birocco, C. Gaylord, B. Herndon, K. Manion, M. Metheny, 2002-2003 AE/ME Morphing Wing Design.

[6] Dano, M. "SMA-Induced Deformations in General Unsymmetric Laminates." Virginia University, Master of Science thesis, 2005.

[7] Marie, L. “SMAInduced Snap-Through of Unsymmet- ric .Ber-Reinforced Composite laminates.” *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 40, 2003, pp. 5949-5972.

[8] Hufenbach, W. “Design of Multistable Composites for Ap-plication in Adaptive Structures.” *Composites Science and Technology*, 2002, pp. 2201-2207.

[9] Kang, W., E. H. Kim, M. S. Jeong, I. Lee. “Morphing Wing Mechanism Using an SMA Wire Actuator,” *IJAAS*, 2012.

[10] Manuel, P., Magalhães da Costa Aleixo, "Morphing Aircraft Structures Design and Testing an Experimental UAV." Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Aeroespacial, 2007.

[11] Manzo, J. "Analysis and Design of A Hyper-Elliptical Cambered Span Morphing Aircraft Wing." Master Thesis, Faculty of the Graduate School, Cornell University, Agust 2006.

[12] Mamou, M., Y. Mébarki, M. Khalid, M. Genest, D. Coutu, A.V. Popov, C. Sainmont, T. Georges, L. Grigorie, R. M. Botez, V. Brailovski, P. Terriault, I. Paraschivoiu, E. Laurendeau. “Aerodynamic Performance Optimization of A Wind Tunnel Morphing Wing Model Subject to Various Crusie Flow Conditions.” 27th International Congress of The Aeronautical Sciences. 2010.

[13] Binayak, R., H. Harry. “Design of a Reconfigurable Robot Arm for Assembly Operations inside an Aircraft wing-Box." *proceeding of the 2005 IEEE*.

[14] Abdulrahim, M. “Flight Dynamics and Control of an Aircraft with SegmentedControl Surfaces.” University of Florida, AIAA-RSC2-2003-U-010.

[15] Aholai, J., T. Makkonen, K. Nevala, P. Isto, University ofOulu, Mechatronics and Machine Diagnostics Laboratory, ”Comparison of Position Control Algorithms of Embedded shape Memory Alloy Actuators”, Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics, Malaga, Spain, April 2009.

پی‌نوشت

1. shape memory alloy
2. Schmidt
3. Tomcat
4. Lancer
5. Hornet
6. Maw
7. Au-Cd
8. In-Ti
9. Austenite
10. Martensite
11. Planform
12. Span
13. Dano
14. Gareth Knowles
15. NACA0012