عنوان پروژه (به فارسی و انگلیسی)

اصول طراحی و ساخت کامپوزیت های انعطاف‌پذیر در صنایع هوایی

Principle of design and manufacturing flexible composites in aerospace industry

نوع پروژه: نظري □ تحقيقاتي ■ ساخت وسيله □ بستة نرم‌افزاري □ پردازش/مدلسازي/شبيه‌سازي كامپيوتري ■

بيان مسالة اساسي، اهميت و ضرورت پروژه (شامل مقدمه‌اي در مورد موضوع پروژه و طرح مشكل يا مساله‌اي كه اين پروژه يا محصول آن به دنبال حل آن است به همراه بيان اهميت و ضرورت انجام پروژه):

شناخت انواع مواد کامپوزیتی جهت بهره‌گیری از آنها در معماری و ساخت قطعات مختلف، از مهمترین دلایل استفاده از کامپوزیت‌ها در صنایع مختلف به علت ویژگی‌های خاصی است که نسبت به دیگر مصالح جایگزین دارا می‌باشد. بر این اساس و با عنایت به کاربرد روز افزون کامپوزیت‌ها در صنایع مختلف، بهره‌گیری از دانش نحوه ساخت و اصول طراحی این مواد برای توسعه و بهبود صنایع مربوطه امری مهم به شمار می‌رود.

از جمله ویژگی‌های خاص کامپوزیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد[1]:

- 75 درصد سبک تر از فلزات و 35 درصد سبک تر از آلومینیوم، که به موجب آن سازه‌ی نهایی بسیار سبک ترمی‌شود.

- نسبت استحکام به وزن بالاتر از فولاد، آلومینیوم، چوب و بتن، که به موجب آن سازه مستحکم تر و با کیفیت بالاتر تولید می‌شود.

- مقاومت در برابر آب شیرین، آب نمک و مواد شیمیایی و اشعه فرابنفش، که به موجب آن از تغییر شکل سازه و کاهش استحکام آن جلوگیری می‌شود.

- و غیره

همانطور که گفته شد این ویژگی‌ها باعث شده تا کامپوزیت‌ها در صنایع مختلف استفاده گسترده‌ای داشته باشند،

Scanned by CamScanner

یکی از صنایع نوین و پرکاربرد در این امر صنعت هوانوردی و هوافضا میباشد[1] .

کامپوزیت‌ها در صنایع هوافضا به صورت گسترده در ساختار انواع هواپیماها و برخی بالگردها استفاده می‌شوند. در ابتدا از مواد کامپوزیتی فقط در ساختار ثانویه استفاده می‌شد، اما با افزایش دانش و توسعه مواد، استفاده از آن‌ها در ساختار اولیه مانند بال‌ها و بدنه‌ها افزایش یافته است. تاریخچه اولین استفاده از مواد کامپوزیت مدرن به حدود 40 سال پیش برمیگردد که کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با بور برای پوسته‌های خروجی جنگنده‌های F14 و F15 ایالات متحده استفاده شد.

Fighter Aircraft	U.S. Europe Russia	AV-8B, F16, F14, F18, YF23, F22, JSF, UCAV Harrier GR7, Gripen JAS39, Mirage 2000, Rafael, Eurofighter, Lavi, EADS Mako MIG29, Su Series
Bomber	U.S	B2
Transport	U.S. Europe	KC135, C17, 777, 767, MD1 1 A320, A340, A380, Tu204. ATR42, Falcon 900, A300-600
General Aviation		Piaggio, Starship, Premier 1, Boeing 787
Rotary Aircraft		V22, Eurocopter, Comanche, RAH66, BA609, EH101, Super Lynx 300, S92

شکل1- فهرستی از هواپیماهایی با میزان قابل توجهی مواد کامپوزیتی[2]

در شکل1 تعدادی هواپیما را فهرست می‌کند که در آنها مقادیر قابل توجهی از مواد کامپوزیتی در بدنه هواپیما استفاده شده است. در ابتدا، درصد وزن ساختاری کامپوزیت‌های مورد استفاده بسیار اندک بود، مثلاً در F15 حدود دو درصد. با این حال، این درصد رشد قابل توجهی داشته است، بطوری که از کامپوزیت‌ها تا 19 درصد در F18 تا 24 درصد در F22 استفاده شده‌است.

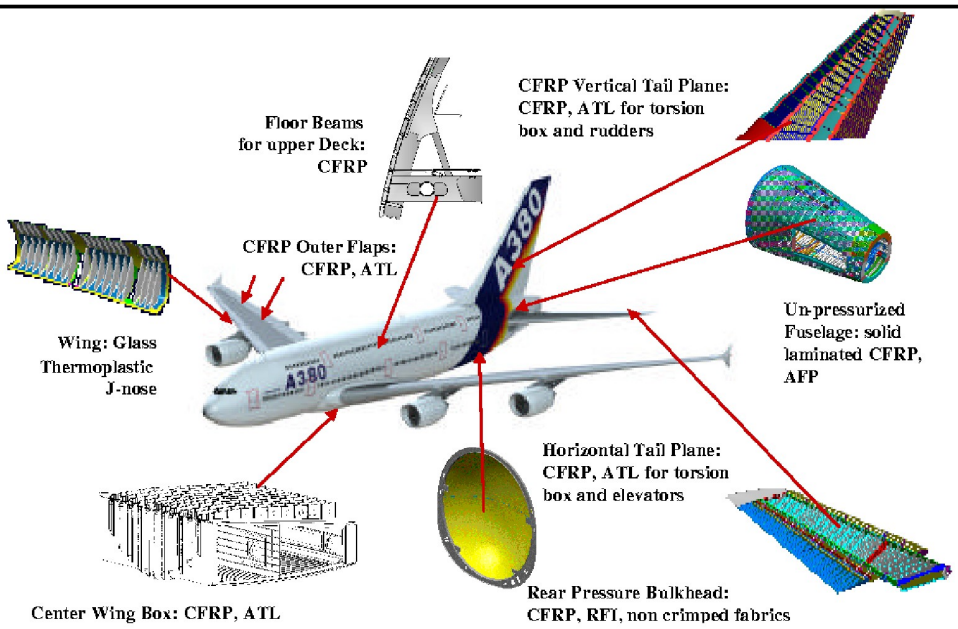
یکی از مهمترین موارد استفاده‌ی کامپوزیت‌ها در صنایع هوایی بهره‌گیری این مواد در بدنه و بال هواپیما می‌باشد. بال یکی از اجزای اصلی هواپیما است که برای تولید نیروی بالابری[1] استفاده می‌شود و معمولاً به پروفیل‌های ایرفویل چپ و راست تقسیم می‌شود که به طور متقارن در هر دو طرف هواپیما قرار گرفته اند[2].

برخی از قسمت‌های بال (عمدتاً لبه‌های حمله و انتهایی) قابل جابجایی هستند. با ایجاد تغییرات برروی این قسمت‌ها می‌تواند ایرفویل‌ها را تغییر داده و توزیع نیروی بالابری یا مقاومت در برابر حرکت[2] را کنترل کرد تا نیروی بالابری را افزایش دهد یا وضعیت هواپیما را تغییر دهد. با این حال، عملکرد بال اغلب در حالت صلب بی فایده است. به عنوان مثال، هواپیماها به دلیل طول بال به محل نگهداری نسبتا بزرگی نیاز دارند و هنگام حرکت و چرخش روی باند، شعاع گردش زیادی دارند.

[1] Lift

[2] Drag

Scanned by CamScanner



شکل2- مواردی از استفاده کامپوزیت ها در هواپیما[3]

پس از تحقیقات گسترده در حیطه‌ی کامپوزیت‌ها و با توجه به توسعه فناوری دفاعی و نیاز به استراتژی جهانی، هواپیمای بال انعطاف‌پذیر به وجود آمد. بال انعطاف‌پذیر به هواپیما اجازه می‌دهد تا تحت تغییر شکل پیچشی یا خم شدن با توجه به شرایط مختلف پرواز و بارهای ساختاری قرار گیرد تا عناصر محرک را برای تغییر شکل بال و زاویه حمله تحریک کند و در نتیجه بهترین ویژگی‌های آیرودینامیکی را به دست آورد، همچنین بال قابل انعطاف می‌تواند عملکرد عملیاتی موشک را بهبود بخشد، مشکلات حمل و نقل و نگهداری را کاهش دهد و قابلیت اطمینان را بهبود بخشد.

از سمتی دیگر تا قبل از توسعه بال‌های انعطاف‌پذیر هرگونه ایجاد تغییرات برروی بال نیازمند استفاده از لولا و ابزارهای مکانیکی بود که هم باعث افزایش وزن نهایی هواپیما می‌شد و هم در طول پرواز به علت ضربه‌های مکانیکی بین دستگاه‌ها پایداری پرواز را کاهش می‌داد[3].

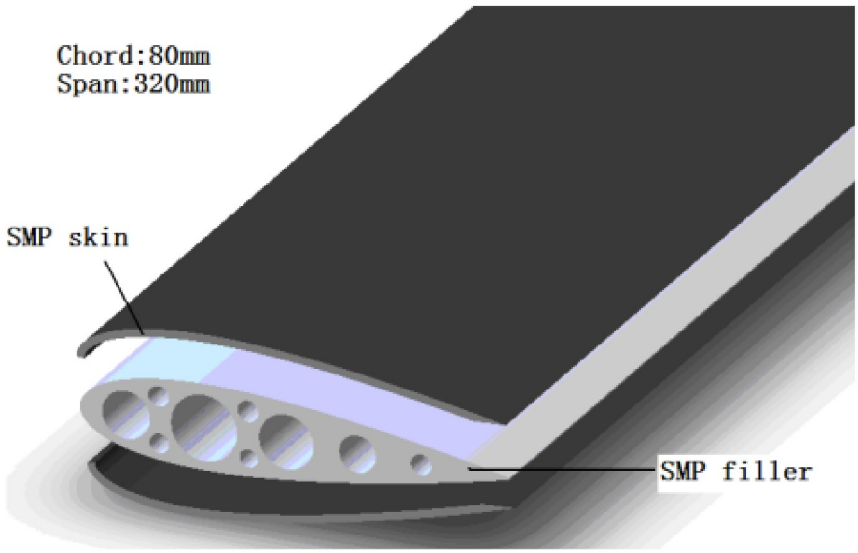
همه‌ی این مزیت‌ها و مزیت‌های دیگر باعث شده تا تحقیق و پژوهش درباره‌ی کامپوزیت‌های انعطاف‌پذیر به صورت گسترده افزایش یابد و به طبع آن انواع مواد کامپوزیتی با روش تولید، کارایی و ساختار متفاوت تولید شود. با پیشرفت فناوری و در حال حاضر دو روش کلی برای ساخت و کنترل بال انعطاف‌پذیر وجود دارد که عبارتند از :

1- استفاده از مواد کامپوزیتی با قابلیت پاسخ به محرک

کنترل بال انعطاف‌پذیر در این روش با تغییر یک محرک (مانند دما) اتفاق می‌افتد و موتور الکتریکی ای در این روش وجود ندارد.

Scanned by CamScanner

یکی از انواع کامپوزیت‌هایی که دربال انعطاف‌پذیر استفاده می‌شود، کامپوزیت اس ام پی[3] می‌باشد. جنس این کامپوزیت عمدتا از پلی استر، پلی اتر و پلی اولفین‌ها تشکیل می‌شود.این نوع کامپوزیت عملکرد خاصی دارد و به همین علت می‌توان فرم قرارگیری آن (شکل بال) را ثابت کرد و سپس با استفاده از یک محرک (مانند دما) و با استفاده از اثری بنام اثر حافظه آن را به فرم مورد نظر تغییر داد.



شکل3- نمایی از استفاده از کامپوزیت SMP در بال هواپیما[4]

این نوع کامپوزیت در کنار مزایایی که دارد اما به دلیل استحکام کم و مدول الاستیسیته پایین در مواردی که نیاز به استحکام بالا و نیروی بازیابی بالا باشد قابل استفاده نیست. پس از تحقیق و مطالعه تعدادی از محققان دریافتند که با تغییر در درصد مواد تشکیل دهنده و استفاده از سیم‌های اتصال[4] می‌توان خواص گفته شده را بهبود بخشید و در نتیجه کامپوزیت‌های انعطاف‌پذیر بهبود یافته با نام اس ام پی اس[5] تولید شد که نه تنها استحکام بالایی داشتند بلکه سرعت تغییر شکل بهتری نسبت به سری قبل داشتند [4][5].

2- استفاده از شبکه کامپوزیت‌های انعطاف‌پذیر با کنترل محرک الکترومکانیکی[6]

یک روش نسبتا نوین می‌باشد که علاوه بر ویژگی‌های مثبتی که در روش قبل گفته شد از نظر صرفه اقتصادی نیز از مزیت برتری برخوردار است، به این علت که چاپگرهای سه بعدی پیشرفته‌ی خودکار این امکان را فراهم

---

[3] SMP: Shape Memory Polymer

[4] Wires

[5] SMPs

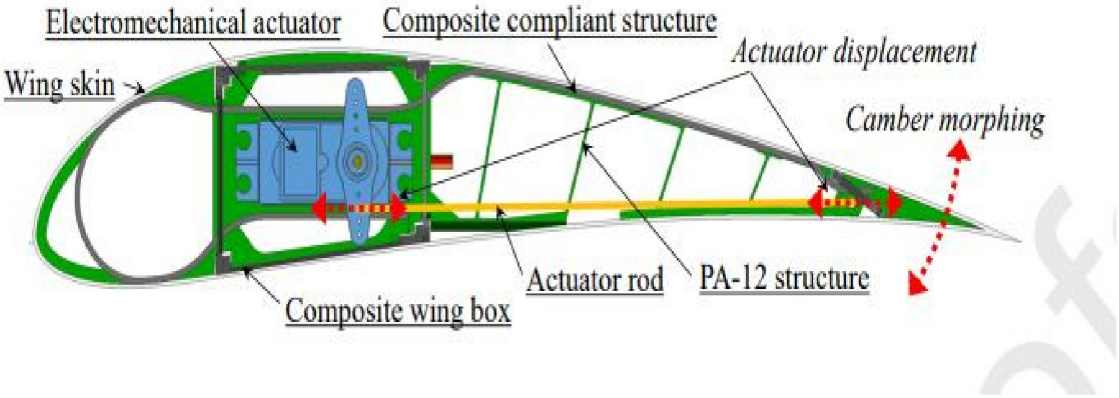
[6] Electromechanical Actuator

Scanned by CamScanner

می‌کند تا برای ساخت قطعات بزرگ در کنار تولید انبوه، به کیفیت ساخت بالایی هم دست یافت.

برای کنترل بال در این روش از یک محرک الکترومکانیکی استفاده می‌شود. با فشار آوردن یا کشیده شدن میله واسط محرک تغییرات در لبه‌ی حمله یا لبه‌ی انتهایی صورت می‌گیرد که باعث تغییر شکل بال می‌شود و در نتیجه شکل پروازی تغییر می‌کند.

مفهوم بال انعطاف‌پذیر و محرک الکترومکانیکی در شکل4 نمایش داده شده.



شکل4- اساس ساختار کامپوزیت انعطاف‌پذیر در کنار محرک[6]

- اضلاع خاکستری رنگ مطابق شکل از جنس پلاستیک تقویت شده با الیاف کربن و پلی آمید-12 (سبز رنگ) می‌باشند .

- محرک الکترومکانیکی به رنگ آبی در شکل نمایش داده شده‌است.

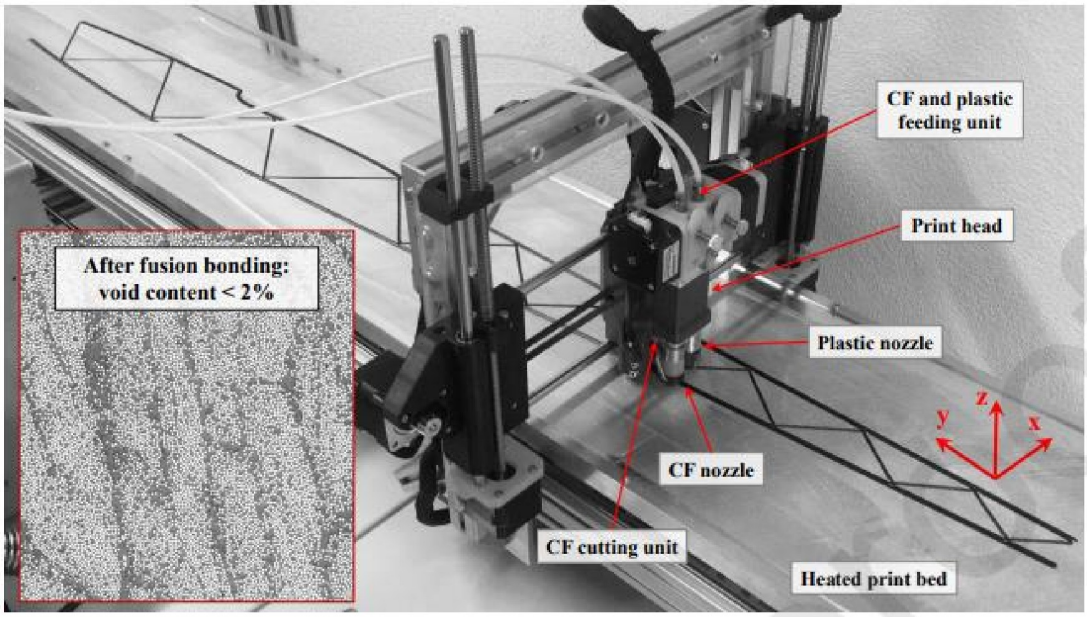
- میله واسط به رنگ زرد نشان داده شده که در مکانیزم تغییر حالت بال نقش مهمی ایفا می‌کند.

- پوست بال نیز به رنگ سفید نشان داده شده‌است.

برای ساخت این شکل از بال‌های انعطاف‌پذیر از روش ساخت افزودنی[7] استفاده می‌شود. استفاده از این روش باعث شده که نیازی به قالب سازی نباشد و در نتیجه امکان ساخت قطعات با هندسه‌های بسیار پیچیده و هزینه کمتر ممکن شود، همچنین پرینت قطعات کامپوزیتی باعث شده تا خواص مواد به صورت چشم گیری تغییر کند، بصورتی که حجم محتوای الیاف کربن تا 60 درصد افزایش و میزان فضای خالی بین مواد تا دو درصد کاهش یافته‌است. از نظر قدرت بین لایه‌ای نیز توانایی مقاومت مواد تا 48 مگاپاسکال افزایش داشته است.

[7] Additive manufacturing

Scanned by CamScanner



شکل5- تصویری از چاپگر سه بعدی پیوسته الیاف کربن که ساختار خرپایی بدنه را چاپ می‌کند. تصویر چپ پایین: تصویر میکروسکوپ نوری از تخلخل‌های بسیار کم و قابل دست یابی پس از پیوند هم جوشی یک نمونه.[6]

لازم به ذکر است که در حال حاضر فرآیند چاپ از دو مرحله تشکیل می‌شود، ابتدا قطعه چاپ می‌شود و در مرحله بعد با دیگر قطعات ادغادم صورت می‌گیرد. در آینده و با پیشرفت فناوری چاپگرهای سه بعدی این امکان می‌رود که بتوان کل فرآیند ساخت در یک مرحله انجام شود، که منجر به تسریع روند ساخت و استحکام بالاتر قطعات می‌شود [6].

با توجه به این که فناوری بال‌های انعطاف‌پذیر یک فناوری نوین و پیچیده است، در این پژوهش سعی می‌شود تا روش‌های مختلف طراحی بال‌های انعاف‌پذیر تشریح گردد، همچنین تلاش می‌شود تا بهترین روش طراحی این گونه بال‌ها با توجه به نیازها و منابع دردسترس برای توسعه کشور و آشنایی هرچه بیشتر علاقه‌مندان در این زمینه ارائه شود.

Scanned by CamScanner

سابقة پروژه (فعاليت‌هاي همراستا يا مشابه انجام‌شده در دانشكده، در ايران ويا خارج كشور):

1. اوربان فازل و همکاران، طراحی و ساخت بال و قطعات یک هواپیمای نمونه‌ی کوچک (شامل چهار شاخه با قابلیت تحمل بار، ستون‌ها و دم مثلثی) به روش ساخت افزودنی با استفاده ازکامپوزیت‌های انعطاف‌پذیر و کنترل بال با محرک الکترومکانیکی و آزمایش برروی عملکرد آن که در نتیجه‌ی این آزمایش نشان داد که استفاده از بال انعطاف‌پذیر و قطعات کامپوزیتی وزن کلی سازه کاهش یافت و مانور پذیری هواپیمای نمونه افزایش یافت در نوامبر 2019 [6].
2. سوچان لی و همکاران، تحقیق بر روی پروژه‌ی طراحی بال انعطاف‌پذیر و بهبود آن در جهت افزایش استحکام و مدول الاستیسیته کامپوزیت‌های اس ام پی برای استفاده دربال هواپیماهای کاربردی و نظامی جهت افزایش مانور پذیری و افزایش مدت پرواز برای نابودی هدف‌های بسیار کوچک که نیاز است هواپیما مدت زمان زیادی درحال پرواز و مانور باشد زیر نظر نیروی هوایی آمریکا در مارچ 2010 [7].
3. شینگتون شی و همکاران، طراحی و شکل دهی یک لبه‌ی فرار[8] از جنس بال انعطاف‌پذیر و انجام آزمایش‌های مختلف برای بررسی عملکرد و پارامترهای آیرودینامیک بال از جمله ضریب نیروی بالابری و ضریب مقاومت که نشان دادهشد انعطاف‌پذیری بال بر روی تسریع کاهش ضریب مقاومت و افزایش ضریب بالابرندگی تاثیر بسزایی دارد در ژانویه 2023 [8].

هدف‌هايي كه دستيابي به آنها بطور مشخص در اين پروژه مورد نظر است (اين هدف‌ها بايد دقيق و ملموس باشند)**:**

1. بررسی مواد کامپوزیتی مناسب برای طراحی بال انعطاف‌پذیر
2. شناسایی الزامات و محدودیت‌های طراحی و مواد
3. آشنایی با اصول طراحی و معرفی بهترین روش طراحی بال انعطاف‌پذیر متناسب با شرایط موجود
4. شبیه سازی نمونه‌ای از بال انعطاف‌پذیر در برنامه آباکوس

لطفا مراجع اوليه را كه در تهية اين پيشنهاد پروژه از آنها استفاده شده است، در اين بخش ذكر شود (استاندارد مرجع دهی IEEE)

[1] By Adam Quilter, Head of Strength Analysis Group, IHS ESDU, may 2001

[2] Deo, R.B., Starnes, J.H., Holzwarth, R.C ,“Low-cost composite materials and structures for aircraft

[8] Trailing edge

Scanned by CamScanner

applications", May 2001.

[3] Yuntu Ao. Status and development of flexible wing aircraft, *et al* 2020 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci,* from https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/558/5/052045

[4] J.S.Leng, et al., "Electro-activate Shape Memory Polymer Filled with Nanocarbon Particles and Short Carbon Fibers," Applied Physics Letters, 91, 144105, 2007.

[5] Xin Lan, Yanju Liu, Jinsong Leng and Shanyi Du, "Thermomechanical behavior of fiber reinforced shape memory polymer composite," Proc. SPIE 6423, 64235R (2007)

[6] U. Fasel, D. Keidel, L. Baumann, P. Ermanni, G. Cavolina, M. Eichenhofer, Composite additive manufacturing of morphing aerospace structures, Manufacturing Letters (2019), doi: https://doi.org/ 10.1016/j.mfglet.2019.12.004

[7] Jee, Soo-Chan, "Development of Morphing Aircraft Using SMP" (2010). Theses and Dissertations. 2148. https://scholar.afit.edu/etd/2148

[8] Shi, X.; Yang, Y.; Wang, Z.; Zhang, S.; Sun, X.; Feng, W. Design and Shape Monitoring of a Morphing Wing Trailing Edge. Aerospace 2023, 10, 127. https://doi.org/10.3390/ aerospace10020127

مشاورين احتمالي پروژه:

موسسه يا شركت‌هاي مرتبط با پروژه و نوع ارتباط آنها:

Scanned by CamScanner