

## طراحی هواپیمای بدون سرنشین با بهره گیری استفاده از اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطوح جامد

محمد واعظی<sup>۱</sup>، سمیه یعقوبی کوپایی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی هوافضا-دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۲- استادیار رشته مهندسی مکانیک-دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

### چکیده

در سال ۱۹۳۰ مهندس هنری ماری (Henri-Marie) پی به این نکته برد که اگر یک فیلم نازک از هوا به صورت مستقیم حول یک بدنه منحنی شکل قرار گیرد، جریان هوا تمایل دارد به طور طبیعی به سطح منحنی بچسبد و مسیر آن سطح را پیروی نماید. هنگامی که از اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطوح جامد در حرکت هواپیماهای بدون سرنشین استفاده شود، به دلیل اینکه سیال در حال حرکت و سیال در حال سکون دارای ویسکوزیته می باشد، سیال ساکن در محیط، به درون جریان سیال در حال حرکت کشیده می شود و در مسیر جریان افت فشار ایجاد می گردد، این اختلاف فشار نیروی برآ تولید می نماید. اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطح جامد که به اثر کواندا نیز معروف است، این پدیده گریزان به عواملی همچون جنس سطح، چگالی هوا، هندسه سطح و سرعت جت سیال بستگی دارد، در صورتیکه تمامی این پارامترها به خوبی تنظیم شوند، هوای بالا و پایین لایه فشاری را به گونه ای می کشاند که باعث ایجاد نیروی برآی بالایی می گردد و در صورت عدم تنظیم صحیح این پارامترها، جریان دچار جدایش شده که منجر به ایجاد درگ بالایی می گردد. بسیاری از سازمان ها امروزه اقدام به استفاده از این پدیده برای تولید نیروی برآ در بسیاری از وسایل مختلف نقلیه غیر معمول هوایی کرده اند.

**کلمات کلیدی:** اثر کواندا، اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطوح جامد، هواپیماهای بدون سرنشین

### ۱. مقدمه

در این مقاله به بحث و بررسی محدودیت های پهنای های کنونی عرضه شده در بازار و پتانسیل استفاده از اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطح جامد در ساخت سیستم های قدرتمند تر در هواپیماهای بدون سرنشین را خواهیم داشت. در حال حاضر بازار اصلی برای پهنای ها با ۵۷٪ طبقه بندی شده به عنوان پهنای های نظامی قابل دفاع است. آنها اغلب برای جاسوسی در موقعیت های خصمانه از راه دور، با تماشای اطراف یک سرباز مورد استفاده قرار می گیرند و حتی پتانسیل آن را دارند که به جستجوی مواد منفجره دست ساز تعبیه شده بپردازند. این امر نیاز به سرباز را با هر گونه خطرات غیر ضروری حذف می کند. ۷۱٪ از تمام پهنای ها بال ثابت هستند. [۱] این بدان معنی است که آنها برای باقی

ماندن در هوا باید پیوسته در حال حرکت باشند. یک قابلیت مطلوب تر برای یک پهپاد در بسیاری از این شرایط عمود پروازها می باشند. (برخواست و نشست عمودی) که از اهمیت به سزایی برخوردار می باشند، مزایای عمود پروازهای کواندا علاوه بر روش ساخت ارزان، فاقد اجزای چرخنده خارجی، آسیب پذیری کم در برخورد با دیواره ها و زمین، کنترل ساده این نوع عمود پروازها، توانایی شناوری، قرار گرفتن و نظارت بر یک منطقه از یک موقعیت ثابت را دارند، اما این معمولا منجر به کاهش زمان پرواز می شود. چرا که در عمود پرواز کواندا به دو طریق نیروی برآ تولید می شود. اولاً با تغییر جهت جریان در ناحیه پایین دست، ایجاد تراست عمودی می کند و ثانیاً با مکش هوای اطراف ایجاد خلأیی در بالای پرنده می شود. پهپاد های عمود پرواز کوچک اغلب توانایی حمل محموله های قابل توجهی را دارند. این فرصتی به آن ها می دهد برای حمل موارد زیر:

- ویدیو با کیفیت بسیار بالا و ثابت.
- تصویربرداری حرارتی و دوربین های مادون قرمز.
- تجهیزات منفجره.
- بسته های تحویل کوچک.
- دستگاه های شنود.
- آشکارسازهای معدن.

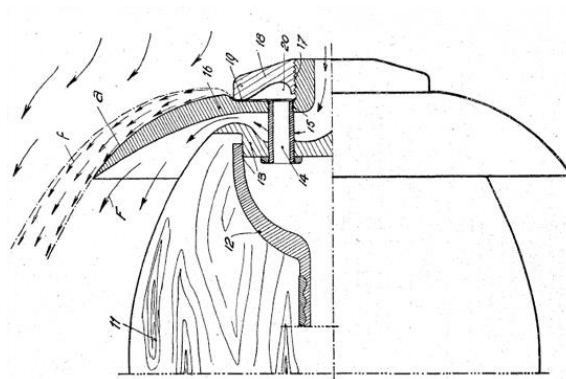
"توانایی تشخیص دشمن قبل از آنکه او شما را ببیند باعث افزایش چند برابر قدرت شما می شود. اگر این قابلیت را به توان به نیروهای خط مقدم جنگ در مبارزه گسترش داد آنگاه به عنوان یک دارایی می تواند توسط سربازان نیز استفاده شود در نتیجه ارزش آن حتی بیشتر نیز می شود." [۲]

مشکلات اصلی پهپاد ها در حین انجام یک عملیات عبارت است از:

- بار مفید.
- استقامت.
- جستجو و اجتناب از استراتژی.
- وزش باد.
- ارتباطات.
- قابلیت مانور.
- خودگردانی.

• خفا کاری.

با در نظر گرفتن محدودیت های بسیار برای خلبان یک پهپاد، در یک جهان ایده آل کنونی، پهپاد ها بدون نیاز به کنترل انسان به کار گرفته می شوند. بسیاری از شرکت های در حال توسعه، پهپادهای خود مختار تولید می کنند. اما تا کنون تنها چند پهپاد در بازار می باشد که به طور کامل مستقل عمل می کنند، وجود دارد. خودمختاری یک راه حل بسیار چالش برانگیز از منظر توسعه دهندگان است اما در نهایت به کارآمد ترین سیستم منجر به خواهد شد.



شکل ۱- ثبت اختراع اثر کواندا توسط هنری ماری [۳].

اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطوح جامد و نیروی برآ

اثر سیال هنری بیان می کند: "اگر یک ورق گاز با سرعت زیاد در یک فضا به فضای گاز دیگری از هر نوع وارد شود، این امر در نقطه تخلیه ورق گاز نام برده شده، اثر مکش تولید خواهد کرد، در نتیجه گاز مجاور خود را به جلو می کشاند." [۵]

"اگر، در خروجی از ورقه یا خط جریان سیال، در آنجا یک اثر عدم توازن در سیال به علت سیال اطراف ناشی از آن سیال مذکور، وجود داشته باشد، جریان دومی به سمت کنار حرکت می کند و حرکت سیال مشکل تر می شود." [۵]

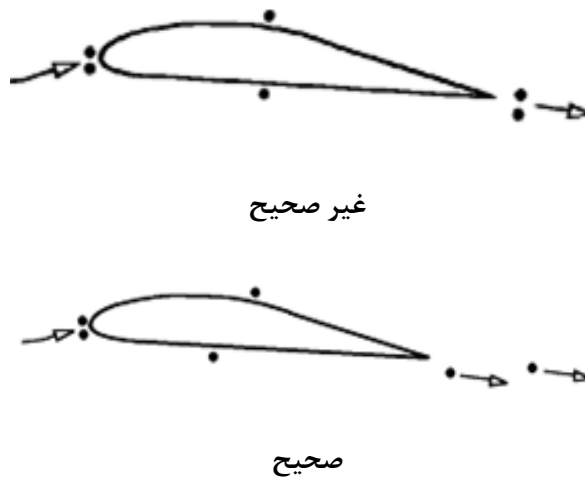
به عبارت ساده تر، یک جریان هوا در سرعت بالا به یک سطح منحنی متصل می شود تا اینکه در جهت اصلی خود یک خط راست را دنبال کند. این جریان نیز هوا را از اطراف جمع می کند تا دبی جرمی کلی جریان هوا را افزایش دهد. این پدیده را می توان به دو روش برای تولید نیروی برآ مهار کرد:

مرحله اول، می توان آن را برای تغییر جهت جریان هوا به نقطه پایین و منتج شدن به نیروی عمودی مورد استفاده قرار داد.

مرحله دوم، آن را می توان برای کشیدن هوا از بالا استفاده کرد که در بالای بدنه باعث بروز یک منطقه کم فشار شده و در نتیجه باعث تولید نیروی برآ می شود.

### طراحی بال ثابت معمولی

این یک سوء درک متداول است که نیروی برآ ایجاد شده با ایرفویل را می توان با استفاده از معادله برنولی توضیح داد.

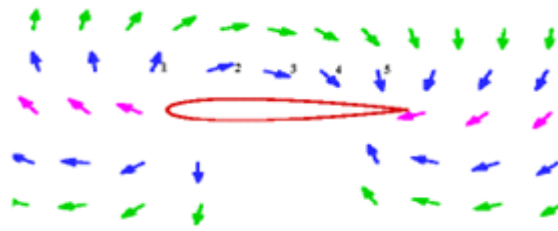


شکل ۲- یک برداشت متداول غیر صحیح مرتبط با جریان حول ایرفویل [۴].

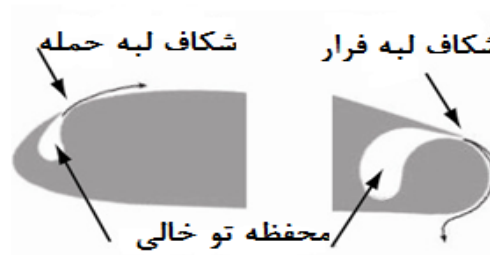
این توضیح که اغلب توسط دانشجویان به اشتباه نقل می شود، بیان می کند که به دلیل فاصله و طول بیشتر بالای ایرفویل از قسمت زیرین، هوایی که در بالا است سریع تر از هوا زیرین حرکت می کند تا دوباره در لبه فرار به هم برسند و در نتیجه با توجه به اینکه افزایش سرعت فشار را کاهش می دهد نیروی برآ ایجاد می شود [۵]. این در واقع نیمه واقعی است چنان که جریان هوا به همان جریان در لبه فرار نمی رسد (شکل ۲ را ببینید).

نیروی برآ در یک ایرفویل معمولی توسط گردش در اطراف بال تولید می شود. (شکل ۳ را ببینید) وقتی که هوا به سمت پایین شتاب می گیرد، باعث می شود که فشار زیر بال افزایش و فشار بالا کاهش یابد، و در نتیجه نیروی برآ تولید شود

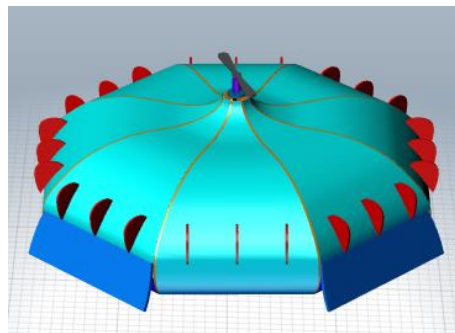
[۶].



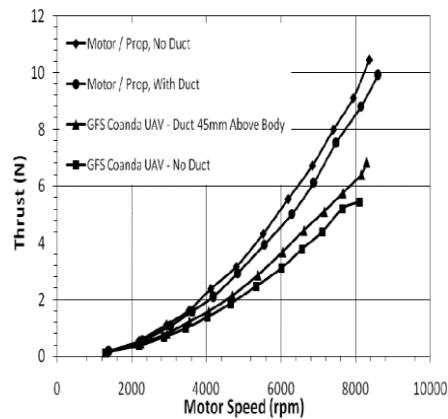
شکل ۳- چرخش جریان حول یک ایرفویل معمولی در پرواز به سمت جلو [۶].



شکل ۴- استفاده از اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد برای ایجاد نیروی برآ [۴].



شکل ۵- طراحی پهباد کواندا با نرم افزار CATIA [۲].



نمودار ۱- عملکرد پهباد کلاه پرنده

اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد را می توان در یک هواپیمای بال ثابت معمولی برای بهبود نیرو برآ حتی تا ۳۰۰٪ استفاده کرد [۴]، با ذخیره هوای فشرده در یک محفظه پلنوم (شکل ۴) در لبه حمله یا فرار بال، جت هوا باریک و فشار بالا بر روی سطح می چسبد، در نتیجه از جدایش جریان جلوگیری می کند.

### سیستم های کنونی اثر کواندا

بر اساس شرکت های انگلستان (Aesir) (که از قبل پروژه های GFS محدود شده بود) در حال توسعه پهپاد بر اساس اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد است:

"با ایجاد یک سرعت هوا در مرکز پهپاد و به کمک یک فن و سپس هدایت کردن جریان هوا از خروجی آن که روی سطح منحنی را دنبال کند. مقدار نیرو برآ تولید شده وابسته به سرعت، جرم و چگالی هوا می باشد." [۷]

شکل ۶ نتایج یک آزمایش انجام شده را نشان می دهد، که در آن ما AXI 2217/20 موتور و GWS 1060 ملخ را در دسترس عموم در برابر راه اندازی با همان موتور نصب شده مورد آزمایش ولی با بدنه نامحدود قرار دادیم (۸). ما دریافتیم که آن تولید نیرو برآ کمتری می کند تا در حضور بدنه در محل، در ۸۰۰۰ دور در دقیقه، پروانه و موتور خود به خود وبا بدنه نا محدود ۹۰۴ تولید کردند در حالی که با بدنه در محل تنها ۶۰۲ نیروی تراست تولید شد.

این نشان می دهد که از طریق اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد نیروی برآ ناچیز تولید شده و این که اکثریت نیروی برآ از نقاط زیرین جریان هوا در محیط تشکیل می شود. یکی از معود مزایای استفاده از این طرح توانایی به راحتی دستکاری کردن جریان هوا از یک فن برای کنترل پیچ، رول و یاو است. کاهش در نیروی برآ تا حدی توسط بخش مقعر جسم که تولید نیروی برآ منفی می کند ایجاد می شود [۹].

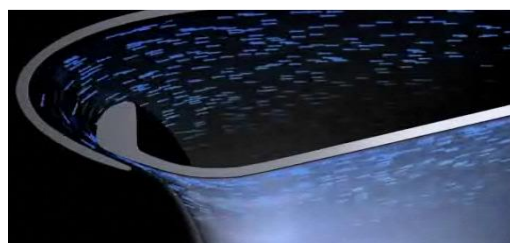
رابرت کالینز در انگلستان دارای حق ثبت اختراع بین المللی برای چندین جنبه از پرواز با اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد همراه موتور ملخی دارد [۱۰]. یکی از مفاهیم همان دیسک هواپیما بدون سرنشین است (UDAS) (شکل ۷ را ببینید) که واحد قدرت دیسک های توربین گازی (DGT) را مجهز می کند.



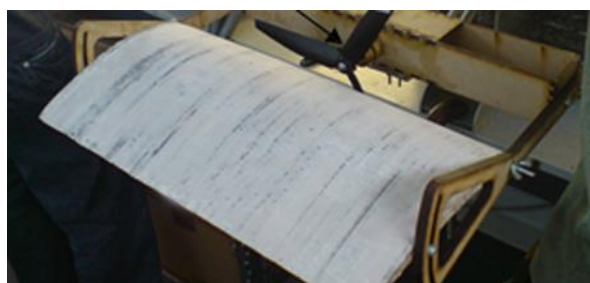
شکل ۶- UDAS سیستم دیسک [۱۱]



شکل ۷- افزایشنده هوا دایسون [۱۲].



شکل ۸- شتاب هوا را در مقطع افزایشنده هوا نشان می دهد [۱۲].



شکل ۹- آزمایش ایرفویل خطی Eppler E423

"DGT دارای پروفایل اندک، کمپرسور دوار بالانس شده و توربین تعبیه شده در پیکربندی هواپیما می باشد که بر هر

گونه گرایش و تمایل پلت فرم به چرخش حول محور عمودی غلبه می کند" [۱۱]

یکی دیگر از مزیت های این سیستم این می باشد که در آن قسمت های متحرک خارجی وجود ندارد، که برای غیر نظامیان زمانی که در یک محیط شهری استفاده می شود امن تر است و به آماده بودن و حفظ آشیانه در صورت رخ داد کمک می کند. یک کاربرد بسیار جدید و غیر معمول از اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد، فن رومیزی افزایش دهنده هوا دایسون است. این دستگاه از پدیده های مختلف که ما مایل به بکار بردن آن در ماشین حرکت کننده اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد هستیم، بهره می گیرد. این کار را به جای جریان هوای اجباری در میان یا روی یک حلقه یا مقطع ایرفویل، با تیغه های فن معمولی انجام می دهد.

"هوا از طریق دیافراگم حلقوی، شتاب داده می شود. این از مانع ایرفویل شکل ۱۶ درجه عبور می کند، که مسیرش را کانال کانال می کند. هوا در پشت فن افزایش دهنده هوا دایسون به جریان هوا از طریق یک فرایندی به نام القا، کشیده می شود."

"هوا در اطراف دستگاه نیز از طریق یک فرایند شناخته شده به نام بر گرفتن به جریان هوا کشیده شده، که آن را ۱۵ برابر تقویت می کند." [۱۲]

### مفهوم ایرفویل بال حلقه ای

ما می توانیم نظریه بالا را برای عمود پروازها نیز استفاده کنیم با در نظر گرفتن مقطع ایرفویل و چرخاندن آن در اطراف لبه فرار به اندازه ۳۶۰ درجه تا تشکیل یک حلقه بدهیم. پس از آن ما می توانیم شرایطی را که یک بال مستقیم معادل در طول پرواز رو به جلو مواجه هست را با دمیدن هوا شعاعی از مرکز پرنده شبیه سازی کنیم.

در ای باب چندین عدم قطعیت در مورد دستیابی به حداکثر نیروی برآ با پیکربندی بال حلقه ای وجود دارد که نیاز به تایید شدن دارد که عبارت اند از:

• شکل ایرفویل حلقه ای.

• زاویه حمله  $(\alpha)$ .

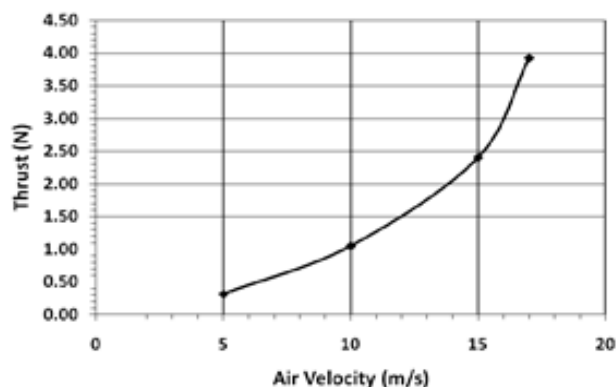
• ارتفاع حمله.

• منبع نیروی محرکه هوا.

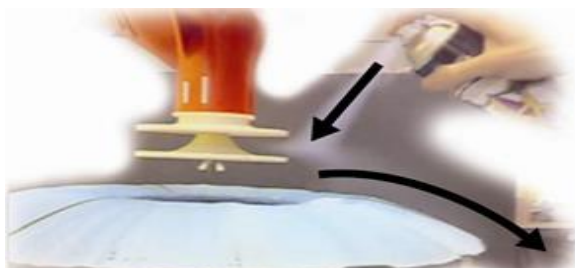


• سرعت هوا مورد نیاز در منبع هوا.

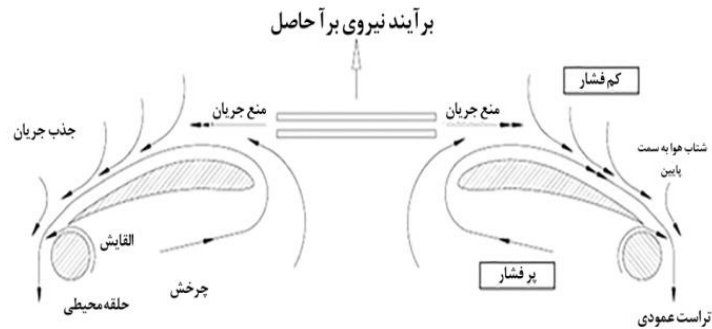
ما تصمیم به استفاده از ایرفویل Eppler E423 گرفتیم به این دلیل که این ایرفویل طراحی شده تا در رینولدزهای پایین عمل کند [۱۳]، که برای پهنپایه ها با سرعت کم ایده آل است.



نمودار ۲- عملکرد ایرفویل Eppler E423



شکل ۱۰- تست ایرفویل نشان می دهد که جذب در سطح بالایی رخ می دهد.



شکل ۱۱- مقطع ایرفویل بیانگر رفتار هوا

برای شناسایی زاویه و ارتفاع حمله ما یک تست با ایرفویل خطی Eppler E423 و آرایش فن محوری طراحی کردیم (شکل ۱۰ را ببینید). با ارتفاع حمله خنثی، ما زاویه حمله را تنظیم کرده و مقدار نیروی برآ تولید شده را اندازه گیری می کنیم. مناسب ترین زاویه حمله ۱۰ درجه بود. سپس ایرفویل را در این زاویه حمله ثابت قرار داده و ارتفاع طوری تنظیم گردید تا حداکثر نیروی برآ به دست آمد. با انجام آزمایشات بیشتر شامل داکت و تغییر فاصله بین فن، ایرفویل و... متوجه شدیم که هر چه سرعت باد حول ایرفویل بیشتر باشد، نیروی برآ نیز بیشتر می شود.

این همزمان رخ می دهد با معادله نیروی برآ:

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L \quad (1)$$

که در آن:

L نیروی برآ هواپیما

$\rho$  چگالی هوا

V سرعت پرواز هواپیما

S مساحت بال

$C_L$  ضریب برآ

از نتایج حاصل از این آزمایش، ما اطلاعات لازم برای تولید یک بال حلقه ای برای تست را به کار می بریم. در طی این آزمایش ما یافتیم که افت در نیروی برآ هنگامی رخ می دهد که نازل در موقعیت های خنثی که توسط لبه فرار ایرفویل ناشی شده تا مانند یک دیوار رفتار کند قرار می گیرد و سرعت جریان هوا را کم می کند.

کارآمدترین روش گردش در ایرفویل زمانی است که نازل تنها بر روی سطح بالا می وزد و هوا را از طریق سوراخ مرکزی در بال حلقه ای القا می کند تا گردش را در اطراف سطح پایین تقویت کند. (به شکل ۱۳ و ۱۴ نگاه کنید). روش دستیابی به نیروی برآ در ایرفویل بسیار شبیه به اثر گردش هوا در بال هواپیما است، همان طور که در بخش "طراحی بال ثابت معمولی" مورد بحث قرار گرفت.

هنگامی که این پیکربندی پیدا شد، ما شروع به آزمایش با روش استفاده از اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد برای افزایش بهره وری و بازده نیرو برآ کردیم. حلقه محیطی با سطح مقطع دایره ای در پایین لبه فرار ایرفویل حلقه ای در موقعیت که در آن اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد می تواند هوای بیشتری را بکشد و هدایت کند هوایی که لبه فرار را ترک می کند به طوری که آن را در تولید تراست عمودی موثرتر می کند مورد استفاده قرار گرفت. با آزمایش در مورد فاصله بین لبه فرار ایرفویل و این حلقه جدید، ما قادر به افزایش نیروی برآ تا حدود ۳٪ بودیم.

#### نتیجه

با نمونه فعلی، تنها مقدار کمی از نیرو برآ را می توان حصول کرد، که برای فرآیند درخواست پهباد کلاه پرنده خود کافی نخواهد بود. آزمایش های بیشتری به منظور افزایش نیروی برآ به سطح قابل قبولی برای اعمال این نظریه در این مقاله برای نمونه ی خودمان باید صورت پذیرد. یک آزمایش پیشنهادی استفاده از یک فن برای افزایش سرعت چرخش هوا در اطراف بال را شامل می شود، همان گونه که می دانیم نیروی برآ با مربع سرعت هوا افزایش می یابد.

آزمایشات بیشتری بر حلقه محیطی با استفاده از اثر سیال یا گاز برای چسبیدن به سطح جامد احتیاج است تا دوباره مسیر هوا را در لبه فرار به طور موثرتری تغییر دهد. همچنین معرفی جت های شبیه به شکل ۴ باید، در تئوری، مقدار مکش و جذب جریان هوا را از بالای بال افزایش دهد.

پس از این آزمایش ها و با تامل قکری با موسساتی مانند پژوهشکده شهید حسین سعادت که سرمایه گذاری زیادی در زمینه تحقیقات انجام شده داده اند، امکان استفاده از اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد برای هواپیماهای بدون سرنشین تجاری به زودی باید برجسته تر شود.

## قدردانی

جادارد در این جا از زحمات خانواده عزیزم و همچنین استاد ارجمندم کمال تشکر و قدردانی نمایم.

## مراجع

۱. وان بلیتنبگ، آمریکا ۲۰۰۹. (سالنامه آمریکا: چشم انداز جهانی (۲۰۱۰-۲۰۰۹)). نسخه ۷. بلیتنبگ و شرکت پاریس فرانسه.

2. Aesir Ltd. (2009). Defence. Retrieved 19 October 2009 from AESIR Unmanned Autonomous Systems: [http://www.aesir-uas.com/markets\\_defence.htm](http://www.aesir-uas.com/markets_defence.htm).

۳. اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد (۱۹۳۸). دستگاه پروانه ای. دفتر ثبت اختراع ایالات متحده، ثبت اختراع ایالات متحده ۲,۱۰۸,۶۵۲.

4. Day, T. (2008). Retrieved from New Fluid Technology: [http://www.newfluidtechnology.com.au/THE\\_COANDA\\_EFFECT\\_AND\\_LIFT.pdf](http://www.newfluidtechnology.com.au/THE_COANDA_EFFECT_AND_LIFT.pdf)

۵. اثر سیال برای چسبیدن به سطح جامد (۱۹۳۶). دستگاه برای منحرف کردن جریان سیالات الاستیک به سیال الاستیک. دفتر ثبت اختراع ایالات متحده، ثبت اختراع ایالات متحده ۲,۰۵۲,۸۶۹.

۶. اندرسون (۲۰۰۹). توضیح فیزیکی از پرواز: بازبینی شده. برگرفته شده از مطالعات آزمایشگاهی علوم فناوری و تحقیقاتی

7. Aesir Ltd. (2009). Explanation of the Technology. Retrieved 19 October 2009 from AESIR Unmanned Autonomous Systems: <http://www.aesir-uas.com/technology.htm>

8. نودلین (۲۰۰۶). پروژه پهپاد 19.GFS. اکتبر ۲۰۰۹ برگرفته شده از JLN آزمایشگاه آنلاین:

<http://jlnlabs.online.fr/gfsuav/gfsuavn01a.htm>

۹. بلوت، اسوالد، سگسمن (۲۰۰۹). شبیه سازی، ساخت و بهینه سازی هواپیما بدون سرنشین براساس اثر گرایش سیال برای چسبیدن به سطح جامد. (سطح کار-A) ۲۰۰۹، زوریخ، سوئیس.

۱۰. کالینز، (۲۰۰۳). دستگاه پرواز هوایی. دفتر ثبت اختراع انگلستان، ثبت اختراع GB 2,387,158#.

۱۱. کالینز، (۲۰۰۸). سیستم دیسک. ۱۹ اکتبر ۲۰۰۹. برگرفته از بستر نرم افزار طراحی آینده :

<http://www.createthefuturecontest.com/pages/view/entriesdetail.html?entryID=1961#at>

۱۲. دایسون با مسئولیت محدود. (۲۰۰۹). ۱۹ اکتبر ۲۰۰۹ برگرفته شده از دایسون:

<http://www.dyson.co.uk/technology/airmultiplier.asp#HowItWorks>

۱۳. لیون، بوررن، جیگور، گوپالاترام، خلاصه ای از داده های ایرفویل سرعت پایین - جلد ۲. انتشارات ویرجینیا، ایالات متحده

آمریکا