گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می شود مقاله با عنوان

بررسی تاثیر مشخصه های ابعادی بال یک ریزپرنده ی بالزن و گسترش شرایط طراحی بال با استفاده از شبکه عصبی

با شماره شناسه Aero2014P935T102 توسط جناب آقای وحید بهلوری

در سیزدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران (۱۳ الی ۱۵ اسفند ماه ۱۳۹۲ - دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران) ارائه شده است.

نویسندگان مقاله: حسین حسن پور، وحید بهلوری، محمد حسن جوارشکیان، زهراسادات علوی

مهدی فکور

دبیر کنفرانس

بررسی تاثیر مشخصه‌های ابعادی بال یک ریزپرنده‌ی بالزن و گسترش شرایط طراحی بال با استفاده از شبکه عصبی

حسین حسن‌پور[1]، وحید بهلوری[2]، محمدحسن جوارشکیان[3]، زهرا سادات علوی[4]
1و3و4- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی- مشهد، میدان آزادی
2- دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده فنی مهندسی- تهران، پل نصر

چکیده

بال در ریزپرنده‌های بالزن نقش مهم و کلیدی داشته به طوری‌که طراحی بال همواره یکی از گلوگاه‌ها و چالش‌ها در سیستم‌های بالزن پرنده بوده است. لذا طراحی بال می‌تواند تاثیر به‌سزایی در نیروی پیشران و همچنین توان مورد نیاز سیستم داشته باشد. لذا در این مقاله به منظور طراحی یک ریزپرنده‌ی بالزن، بال این ریزپرنده به طور ویژه مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر مشخصه‌های ابعادی، شامل طول و مساحت بال و تاثیر آن بر نیروی پیشران و توان مصرفی، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا ابتدا یک مجموعه‌ی آزمایشگاهی راه‌اندازی شده است. با طراحی بال‌های مختلف و انجام آزمایشات متنوع داده‌های مورد نظر حاصل شده است. نتایج منتج شده حاصل از آزمایش، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته که تحلیل این نتایج، نشان دهنده‌ی نوع کیفیت تاثیر طول بال، اندازه‌ی زاویه‌ی مانور بال و فرکانس بال زدن بر روی نیروی پیشران و توان مصرفی مورد نیاز موتور، در این ریزپرنده‌ی بالزن می‌باشد. فرکانس بالزن، ابعاد بال، زاویه‌ی مانور بالزن، نیروی پیشران حاصل شده و توان الکتریکی مورد نیاز از جمله پارامترهایی بوده‌اند که برای طراحی بال، در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه‌ی این تحقیق علمی، به منظور طراحی یک بال بهینه از شبکه عصبی استفاده شده است. با استفاده از داده‌های تولید شده، یک شبکه عصبی NRAX آموزش داده شده است. سپس با استفاده از این شبکه عصبی بال مورد نظر طراحی و صحت‌سنجی شده است.

واژه های کلیدی: ریز پرنده‌ی بالزن - ابعاد بال - شبکه عصبی - نیروی پیشران

مقدمه

ریز پرنده‌ها یا بال زن‌ها ، وسیله‌های پرنده‌ی جدیدی هستند که در دهه اخیر مورد توجه کشورها و سازمان‌های علمی زیادی قرار گرفته‌اند. این پرنده‌های مصنوعی، مشابه پرنده‌ها و حشرات طبیعی، مدلسازی، طراحی و ساخته می شوند. کارهای تحقیقاتی و پژوهشی بر روی این سری از ربات-های پرنده در حال رشد و افزایش بوده است.

از جمله مهم‌ترین قسمت‌ها در یک ریز پرنده‌ی بالزن، بال آن است. شکل ظاهری بال، جنس بال و مشخصه‌های ابعای یک بال به طور مستقیم بر روی نیروهای پیشران و توان مصرفی تاثیرگذار است. بررسی انجام شده در این مقاله بر مبنای تاثیر ابعادی یک بال بر نیروی پیشران و توان مصرفی است، به طوری که برای بررسی این تحلیل یک مجموعه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شده است. آزمایشات مختلف بر روی یک بال با جنس پارچه شمعی برای ابعاد مختلف بررسی شده و نتایج، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

در قسمت اول این مقاله، تاریخچه و مختصری در مورد ریزپرنده‌های های بالزن توضیح داده شده است. در قسمت بعد طراحی آزمایش و داده-های بدست آمده ارائه شده است. در قسمت اصلی این مقاله به بیان یافته-های حاصل از نتایج و آزمایشات پرداخته شده است و یک شبکه عصبی آموزش یافته و شرایط برای طراحی بال‌های جدید فراهم شده است. در قسمت پایانی، به بیان نتیجه‌گیری و پیشنهادات آینده پرداخته شده است.

ریزپرنده‌های بالزن

از حدود سه ده گذشته توجه ویژه‌ای به ربات‌های پرنده کوچک صورت گرفته است. ابعاد و وزن این پرندگان کوچک می‌تواند از دهانه بالی به ابعاد چند سانتی‌متر تا حدود چند متر و وزنی از حدود 100 گرم تا حدود 30 کیلو گرم متغیر باشد. این وسایل پرنده کاربردهای وسیعی در زمینه‌های نظامی و غیر نظامی دارند[1].

آیرودینامیک به کار رفته در ریز پرنده‌ها با توجه به محیطی که برای کار کردن در آن ساخته می شود متفاوت است؛ لذا در یک شناخت اولیه، می توان ریزپرنده‌ها را به صورت زیر طبقه بندی کرد.

ریزپرنده‌های بال ثابت

در این ریزپرنده‌ها، بال‌ها ثابت بوده و هیچ گونه حرکتی ندارند موتور ملخی نصب شده بر روی این ریزپرنده ها، نیروی پیشران و در نتیجه برآی مورد نیاز آن را تولید می‌کند. ظاهر این ریزپرنده‌ها مشابه هواپیماهای سرنشین دار است جز آن که اندازه‌ی آن‌ها بسیار کوچک‌تر است.

ریزپرنده های بال متحرک

این نوع ریز پرنده ها خود به دو نوع ریزپرنده های بال زن و ریزپرنده های بال چرخشی تقسیم می‌شوند.

ریزپرنده‌های بال چرخشی، مانند هلی‌کوپترها، نیروی برآ و پیشران خود را با استفاده از موتورهای ملخی به دست می‌آورند. در این میان، مشابهت ریزپرنده‌های بالزن با پرنده‌های واقعی بسیار بیشتر است؛ زیرا این ریزپرنده‌ها مانند پرندگان و حشرات، نیروی برآ و پیشران مورد نیازشان را با استفاده از بال زدن تولید می‌کنند.

برای پرواز در سرعت‌های کم و با ابعاد کوچک، هواپیماهای بال ثابت کارایی خود را از دست می‌دهند ولی بال‌زن‌ها که در محدوده عدد رینولدز خیلی پایین پرواز می‌کنند، توانایی‌های نسبی قابل ملاحظه‌ای پیدا می-کنند. ابعاد کوچک، قابلیت مانور بالا، سرعت پایین و شباهت بال‌زن‌ها به پرندگان کاربردهای متنوعی را برای آنها متصور کرده است. موضوع

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین
2- دانشجوی دکتری مهندسی هوافضا، دانشگاه تربیت مدرس
bohluri@ut.ac.ir TEL:+9891591053049
3- دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد
4- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا-دانشگاه فردوسی مشهد

ریزپرنده‌ها، به ویژه از نوع بالزن، مبحث نسبتا جدیدی است که مورد توجه مراکز تحقیقاتی و پژوهشی در سرتاسر دنیا قرار گرفته است. بعد از ساخت انواع ریزپرنده‌های بالزن، اولین موضوعی که مورد توجه قرار می‌گیرد، تحلیل و بررسی عملکرد پروازی و آیرودینامیکی آن‌هاست.

میکرو ریزپرنده‌ها در حقیقت هواپیمایی است که به وسیله بال‌زدن پرواز می‌کند. طراحان با پیگیری و تقلید پرواز پرندگان، خفاش‌ها و حشرات اقدام به ساخت بالزن‌های مصنوعی در مقیاسی شبیه به پرواز آنها می‌نمایند.

اولین بالزن که توانایی پرواز را دارا بود در فرانسه ساخته شد و در سال 1858 مدل ژولیان (Jullien) پروازی در حدود 40 فوت انجام داد. مدل ترویاو (Troyve) در سال 1870 فاصله ی 70 متری را در نمایشی برای آکادمی علمی فرانسه انجام داد. بال‌های این پرنده توسط باروتی که لوله‌ی بوردون را شارژ می‌کند حرکت می‌کرد. در سال 1871جوبرت (Jobert) از یک حلقه‌ی لاستیکی برای توان مدلی از پرنده کوچک استفاده کرد. در سال 1884 هارگریو (Hargrave) بالزن‌های مشخصی را ساخت که قدرتشان را از حلقه‌های لاستیکی، فنر، بخار یا هوای کمپرس شده می‌گرفتند. او استفاده از بالزن‌های کوچکی را که نیروی پیشرانش را برای ابعاد بزرگتر یک بال ثابت ایجاد می‌کنند، نشان داد. در سال 1930 لاپیسچ (Lippisch) و موسسه NSFK آلمان یک سری بالزن اشتعال داخلی که از طراحی کلی به همراه نتایج قابل ملاحظه‌ای در نیروهای آیرودینامیکی بودند را برای مطالعات مرتبط طراحی کرده وبا موفقیت به پرواز در آوردند. در ادامه در سال 1930وان هولست(Von Holst) به عملکرد و حقایق بهتری در کار با بال‌زن‌هایی که از حلقه های لاستیکی قدرت خود را تامین می‌کردند، دست یافت. این احتمالا می‌تواند شامل اولین موفقیت یک بال‌زن با بال‌های خمشی به منظور تقلید هرچه بیشتر حرکت بال‌های تاشو پرندگان بوده باشد. امروزه به خاطر این که بالزن‌ها می‌توانند مشابه پرندگان یا حشرات ساخته شوند، از آنها در کاربردهایی مثل کسب و ارسال اطلاعات از محیط‌های غیر قابل دسترسی، کارگذاری حسگر، دنبال کردن اشیاء خاص، نفوذ به داخل ساختمان‌ها و اماکن مسکونی، پرواز در ارتفاع‌های بالای زمین با جو رقیق برای اهداف هواشناسی، شرکت در عملیات نجات، رفتن به اماکن خطرناک و غیره استفاده می‌شود[2].

اصول فیزیکی پرواز و چگونگی تولید نیروی برآ و پیشران درپرواز یک بالزن

هواپیماهای متداول دارای بال ها و موتورهایی هستند که به طور جداگانه نیروی برآ و پیشران ایجاد می‌کنند، در حالی که پرنده‌ی بالزن هر دو نیروی برآ و پیشران تنها به وسیله بال ها ایجاد می‌شود. بال‌های بالزن از پوسته قابل انعطاف پوشیده شده است .حرکت بالا و پایین هر بال، منجر می‌شود که گام و انحناء پوسته به طور اتوماتیک با جریان نسبی هوا تغییر کند.

میزان انعطاف پذیری پوسته مشخص کننده‌ی میزان گام و انحنای بال خواهد بود .تغییرات غیر فعال پوسته نیروهایی را ایجاد می‌کند که طی سیکل بال زدن تغییر می‌کنند. نیروی برآی مثبت در حرکت به سمت پایین و نیروی برآی منفی در حرکت به سمت بالا ایجاد می‌شود. چنانچه حرکت به سمت بالا و پایین برابر باشد، خالص نیروی برآی ایجاد شده صفر است.

روش های تحلیلی و محاسباتی در مطالعه پرواز

در سال‌های گذشته کارهای تحلیلی متفاوتی بر روی بال‌زن‌ها صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به فعالیت فردی به نام والکر(Walker) در حدود سال‌های 1925 اشاره کرد. وی تحلیل تئوری‌ای از بال پرندگان بال زن ارائه کرد که کمک بسیاری در پیشبرد موضوعات تئوری در این رابطه داشت[3]. در سال 1935 تیودورسون (Theodorson) یک روش تحلیلی جدید برای محاسبه نیروی برآ ارائه کرد[4] که قسمتی از آن توسط جیریک(Garrick) و همچنین بعد از آن توسط کارمن(Karman) توسعه یافت[5 و6]. همچنین از سال1990 به بعد با توجه به افزایش قدرت محاسباتی سیستم‌های کامپیوتری، کارهای متعددی در زمینه مسائل تئوری بالزن‌ها صورت گرفت که از جمله آن می‌توان به کارهای صورت گرفته توسط دی لیبیر(De Laurier) در سال 1993میلادی، سریرام (Sriram) در سال 2005 میلادی و همچنین کلینجیبیر(Klingebiel) در سال 2006 اشاره کرد[7و8و9]. در سال 2005 مظاهری و همکارانش توانستند با ارائه مدل دینامیکی از هر یک از اجزا، ریزپرنده مانند موتور، جعبه دنده، مکانیزم، بال و غیره، رفتار دینامیکی کل مجموعه را استخراج نمایند. آنها توانستند به کمک نرم افزاری که بدین منظور تدوین شده بود اثر هر یک از متغیرها و اجزای سامانه را در رفتار بالزن مورد مطالعه قرار دهند و در جهت بهینه‌سازی عملکرد کلی سامانه از آن استفاده نمایند[10].

طراحی مکانیزم تولید داده

هدف اصلی ابداع این دستگاه، تخمین عملکرد آیرودینامیکی بال‌های مختلف ریزپرنده‌ی بالزن در شرایط بالزنی متفاوت (فرکانس بالزنی، زاویه مانور بالزنی، زاویه حمله، ارتفاع از سطح زمین و سرعت جریان هوا) در آزمایشات استاتیکی و دینامیکی می‌باشد. این دستگاه یکی از به‌روزترین و جدیدترین دستگاه‌ها در زمینه‌ی فنی هوافضایی و در حوزه‌ی سیستم اندازه‌گیری نیروهای آیرودینامیکی پهپادهای بالزن می‌باشد. از برجستگی-های این طرح می‌توان به عدم وجود پیچیدگی‌های فنی، دقت بسیار بالا به دلیل استفاده از ابزار اندازه‌گیری دقیق، بررسی تمامی پارامترهای مؤثر در یک بالزن (نیروهای پیشرانش و برآ، فرکانس بالزنی، زاویه بالزنی، زاویه حمله، ارتفاع از سطح زمین، جریان، ولتاژ و توان مصرفی)، قابلیت بررسی انواع بال‌ها با ابعاد و اشکال مختلف، ثبت بر خط و لحظه‌ای اطلاعات و نیز امکان استفاده در تونل باد برای آزمایشات دینامیکی را دارا می‌باشد. این دستگاه با توجه به مشکلات فنی که دیگر سامانه‌های ساخته شده دارا می-باشند، از جمله عدم امکان تغییر ابعاد بال به صورت گسترده، عدم امکان تغییر زاویه ی بالزنی و هم‌چنین فاقد قابلیت اندازه‌گیری همه‌ی فاکتورهای مؤثر در بالزنی به طور همزمان (به طوری که اثر مستقیم همه‌ی این پارامترها در اندازه‌گیری‌ها دیده نمی‌شود) طراحی و ساخته شده است. از جمله تجهیزات بکار رفته در این سیستم می‌توان به مکانیزم بالزن، مکانیزم تغییر زاویه حمله، نیروسنج، موتور، بال‌ها، منبع تغذیه، کارت اخذ داده، تقویت‌کننده، پایه و کامپیوتر اشاره کرد. این مکانیزم قابلیت آزمایش بال-های متفاوتی را دارد. در شکل‌های 1 و 2 این سیستم آزمایشگاهی نشان داده شده است.

برای داده‌برداری در این آزمایش از سه بال با طول‌های 23 ، 26 و 29 سانتی‌متری و عرض ثابت 13 سانتی‌متری استفاده شده است. بال‌های مورد نظر در پنج فرکانس مختلف و همچنین چهار زاویه‌ی مختلف بالزنی 40، 50 ، 60 و 70 درجه آزمایش شده و به ازای هر کدام از حالت‌های

فوق الذکر میزان نیروی پیشران و همچنین مقدار توان مصرفی موتور ثبت گردیده است.

تحلیل و بررسی داده‌های بدست آمده از آزمایش

میزان افزایش و یا کاهش نیروهای آیرودینامیکی و توان مصرفی موتور در بالزن‌ها به متغیرهای متعددی بستگی دارد. از جمله متغییرهای موثر و مهم می‌توان به میزان اثر گذاری مساحت بال بر نیروها و توان مصرفی موتور اشاره کرد. آزمایشات نشان می‌دهد که نسبت مساحت بال با میزان نیروها و توان مصرفی در بردارنده‌ی یک رابطه تقریبا متناسب است و افزایش مساحت بال، افزایش میزان نیروهای آیرودینامکی و توان مصرفی را در پی دارد. این قاعده در افزایش میزان فرکانس بال زدن و تغییر زاویه‌ی مانور بال زدن نیز مشهود می‌باشد.

بررسی نتایج بدست آمده از آزمایشات، موید رابطه بیان شده در بالا می‌باشد. روند تغییرات فرکانس، مساحت و زاویه‌ی مانور بال‌زدن بر روی نیروی پیشران و همچنین توان مصرفی موتور در نمودارهای شکل 3 تا 8 ارائه شده است. همان طور که از نمودار شکل 5 مشخص می‌باشد به علت بلندتر بودن بال، نیروی پیشران ایجاد شده به ترتیب از نیروهای پیشران اندازه‌گیری شده در نمودار های 3 و 4 بیشتر می‌باشد همچنین در هر یک از نمودارهای 3 تا 5 با افزایش فرکانس، میزان زاویه‌ی مانور بال‌زنی در هر بال افزایش می‌یابد. میزان توان مصرفی موتور نیز در اشکال 6 ، 7 و 8 قابل مشاهده می‌باشد. در مقایسه این سه نمودار به خوبی مشخص است که افزایش فرکانس بال زدن و طول بال، می‌تواند میزان افزایش توان مصرفی موتور را در برداشته باشد.

اما دریافتن این نکته که دقیقا چه رابطه‌ای بین این پارامترها می‌باشد و با افزایش مساحت بال به چه مقدار نیروی پیشران افزایش می‌یابد و یا تاثیر طول و فرکانس به صورت عددی بر نیروی پیشران و توان مصرفی موتور به چه صورت خواهد بود؛ نیاز به الگوریتم و یا شبکه‌ای هوشمند هست تا این ارتباطات بین پارامترهای مختلف را کشف نماید که بدین منظور از آموزش یک شبکه عصبی NRAX استفاده شده است.

اعمال شبکه عصبی بر روی داده ها و طراحی بال

به منظور ایجاد شرایط لازم برای طراحی یک بال و همچنین مرتبط کردن پارامترهای آزمایش شده نسبت به هم و تحلیل نتایج، از آموزش یک شبکه عصبی استفاده شده است. شبکه‌های عصبی، یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای پیدا کردن رابطه بین چند ورودی و خروجی هستند. در این شبکه پارامترهای قابل تغییر وزن‌های بین لایه‌های ورودی و خروجی و تعداد نرون‌های لایه‌ها می‌باشند. در این تحقیق علمی از یک شبکه عصبی NARX با 10 نرون و یک لایه مخفی استفاده شده است. ساختار این شبکه عصبی در شکل 9 نمایش داده شده است.

ورودی‌های این شبکه مشخصه‌های ابعادی و فرکانس بال‌زن و زاویه-ی بالزن بوده و خروجی آن نیروی پیشران و توان مورد نیاز موتور می-باشد. ابتدا ورودی و خروجی‌ها نرمالایز شده و سپس به شبکه عصبی اعمال شده است. نمودار حاصل از آموزش، تست و خطای این شبکه عصبی در شکل 10 ترسیم شده است. در این شکل می‌توان مقایسه‌ای بین دو نمودار آموزش، تست و خطا داشت، از این نمودار مشخص است که با افزایش تکرارها، نمودار تست و آموزش به هم نزدیک شده و به سمت خطای کمتر میل می‌کند. با توجه به مقدار میانگین خطا که در شکل 10 دیده می‌شود و مقداری مطلوب است و با استفاده از این شبکه آموزش دیده شده، می‌توان یک بال دلخواه را با توجه به محدودیت توان الکتریکی موتور و همچنین نیروی پیشران مورد نظر طراحی نمود[12,11].

طراحی بال با استفاده از نتایج شبکه عصبی

در قسمت نهایی این تحقیق علمی با استفاده از شبکه عصبی آموزش داده شده برای بال‌هایی با مشخصه‌های ابعادی 13 و 23 سانتی‌متر و فرکانس بال زدن 3 هرتز و زاویه‌ی مانور 70 درجه دارای نیروی پیشران 42.45 میلی‌نیوتن و توان الکتریکی مورد نیاز 5.063 وات خواهد بود. و برای بالی با ابعاد 13 و 26 سانتی‌متر و فرکانس بال زدن 3 هرتز و زاویه‌ی مانور 70 درجه دارای، نیروی پیشران 74.66 میلی‌نیوتن و توان مصرفی 8.6 وات خواهد بود. و برای بالی با ابعاد 13 و 23 سانتی‌متر و فرکانس بال زدن 4 هرتز و زاویه‌ی مانور 70 درجه دارای نیروی پیشران 85.9 میلی نیوتن و توان مصرفی 8.8 وات خواهد بود. و برای بالی با ابعاد 13 و 26 سانتی‌متر و فرکانس بال زدن 4 هرتز و زاویه‌ی مانور 70 درجه دارای نیروی پیشران 145.8 میلی نیوتن و توان مصرفی 10.7وات خواهد بود. مشخصات بال اعمالی جدید برای طول 23 و عرض 13 و زاویه‌ی مانور 70 و فرکانس 5 161.2میلی نیوتن و توان 15.72 وات برابر شده است. و برای طول 26 و عرض 13 و زاویه‌ی مانور 70 و فرکانس 5 برابر 185 میلی نیوتن و توان 17.85 وات شده است. بنابراین به راحتی می‌توان برای بال‌های جدید و دلخواه با استفاده از این شبکه عصبی آموزش داده شده، مقدار توان مورد نیاز بال و همچنین نیروی پیشران آن را یافت. نکته‌ی قوت و مزیت اصلی این تحقیق در آموزش شبکه عصبی و استفاده از آن برای حالت‌های مختلف بال است. به طوری که با اعمال پارامترهای جدید، نتایج خوبی با این شبکه عصبی و البته با تقریب، تولید می‌شود. در ادامه برای صحت-سنجی نتایج شبکه‌ی عصبی، مقایسه‌ای بین نتایج بدست آمده از طراحی بال به‌وسیله‌ی شبکه عصبی و همچنین نمودارهای بدست آمده داریم.

صحت سنجی و مقایسه بین نتایج بدست آمده از شبکه عصبی

برای صحت سنجی ابتدا چند نمونه بال جدید مورد طراحی و بررسی قرار گرفته و سپس با توجه به نمودارهای بدست آمده حاصل از اشکال 3 تا 8، صحت این نتایج بررسی می‌گردد. هر چند که نمودار خطای شبکه عصبی، خود تاییدی دیگر بر صحت‌سنجی این روش است. مشخصات بال اعمالی جدید برای طول 24 و عرض 13 و زاویه‌ی مانور 70 و فرکانس 3 برابر 51.46 میلی نیوتن و توان 5.964 وات شده است. و برای طول 24 و عرض 13 و زاویه‌ی مانور 70 و فرکانس 4 برابر 105.6 میلی نیوتن و توان 10.72 وات شده است. و برای طول 24 و عرض 13 و زاویه‌ی مانور 70 و فرکانس 5 برابر 179.6 میلی نیوتن و توان 17.4وات شده است.

طراحی چند بال دیگر هم انجام شده که بقیه نتایج به صورت نمودار در اشکال 11 و 12 ترسیم شده است. با مقایسه نتایج حاصل از طراحی به‌وسیله‌ی شبکه‌ی عصبی(و نمودار اشکال 11 و 12) و نمودارهای بدست آمده در اشکال 3 تا 8 به خوبی مشخص است که طراحی بال انجام شده مناسب و تقریبا صحیح است. به عنوان مثال نتایج طراحی بال برای طول بال 24 و زوایه‌ی مانور 70 و فرکانس 3 با مقایسه با نمودارهای اشکال 3 و 4 کاملا تایید کننده‌ی صحت نتایج بدست آمده حاصل از طراحی بوسیله-ی شبکه‌ی عصبی است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله بررسی برخی مشخصه‌های طراحی یک بال و تاثیر آن‌ها بر نیروی پیشران و توان مورد نیاز موتور انجام شد. بدین منظور یک مجموعه آزمایشگاهی راه‌اندازی شده و با استفاده از داده‌های حاصل از راه‌اندازی آژمایش، اقدام به تحلیل داده‌ها نموده و رابطه‌ای بین مشخصه‌های فیزیکی بال، فرکانس بال زدن، زاویه‌ی مانور بال زدن، نیروی پیشران و توان مورد نیاز موتور الکتریکی، با ترسیم نمودارها و تحلیل آنها بدست آورده شد. نتایج بدست آمده، به صورت نمودارهایی ترسیم شده و رابطه‌ی بین پارامترهای طراحی بال و نیروی پیشران بدست آمده و توان مورد نیاز موتور بدست آمده است.

اما جهت بدست آوردن رابطه‌ی کمی و محاسباتی برای بدست آوردن شرایط لازم جهت طراحی یک بال، از آموزش یک شبکه عصبی NARX استفاده شد و نهایتا بال مورد نظر بر اساس این شبکه عصبی طراحی گردید. با مقایسه‌ی نتایج بدست آمده حاصل از طراحی بوسیله‌ی شبکه عصبی و نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده بر روی بال، عملکرد صحیح این شبکه‌ی عصبی و مناسب بودن طراحی بال مبتنی بر این شبکه انجام شد. انجام آزمایش بر روی بال، بررسی پارامترهای طراحی بال و تاثیر آنها بر روی نیروی پیشران و توان مورد نیاز، و همچنین آموزش دادن شبکه عصبی و انجام طراحی بال مبتنی بر آن از نتایج این تحقیق علمی است.

اعمال روش‌ها و الگوریتم های دیگر جهت کاهش خطای طراحی بال در شبکه عصبی، بدست آوردن شرایط بهینه طراحی بال برای نتایج بدست آمده، وارد کردن پارامتر جدید به آزمایش از جمله پیشنهادات برای ادامه کار بر روی این تحقیق علمی است.

مراجع

1. Jadhav Gautam. The development of a miniature flexible flapping wing mechanism for use in a robotic air vehicle. A thesis for Master of Science in the school of Mechanical engineering, 2007

2. شریعتی کوهبنانی ، زهرا.(1392). بررسی بال‌های ریزپرنده‌ها و حشرات. پایان نامه دوره کارشناسی دانشگاه فردوسی مشهد

3. Walker, G. T., “The Flapping Flight of Birds,” Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol.29, 1925, pp. 590–594.

4. Theodorsen, T., “General Theory of Aerodynamic Instability and the Mechanism of Flutter,”NACA Report No. 496, 1935.

5. Garrick, I., “Propulsion of a Flapping and Oscillating Airfoil,” NACA Report No. 567, 1937.

6. von K´arm´an, T. and Burgers, J., “General Aerodynamic Theory - Perfect Fluids,”
Aerodynamic Theory, edited by W. Durand, Vol. 2, Julius Springer, Berlin, 1935.

7. DeLaurier, J., “An Aerodynamic Model for Flapping-Wing Flight,” Aeronautical Journal, Vol.97, April 1993, pp. 125–130.

8. Sriram and Gopinath, A. and Van Der Weide, E. and Kim, S. and Tomlin, C. and Jameson,A., “Aerodynamics and Flight Control of Flapping Wing Flight Vehicles: A Preliminary Computational Study,” 43rd Aerospace Sciences Meeting, Reno, NV, January 10-13, 2005, AIAAPaper 2005-0841.

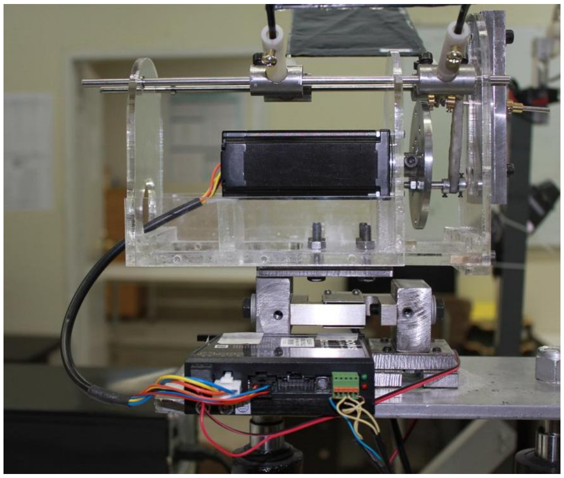
9. Klingebiel, K., “Computational Aerodynamics of Flapping Flight Using an Indicial Response Method,” August 2006.

10. مظاهری، کریم و ستایشگر، ابراهیمی. (1385). مدلسازی دینامیک اجزای سامانه‌ی پیشران یک بالزن. کنفرانس سراسری انجمن هوافضای ایران. دوره ششم

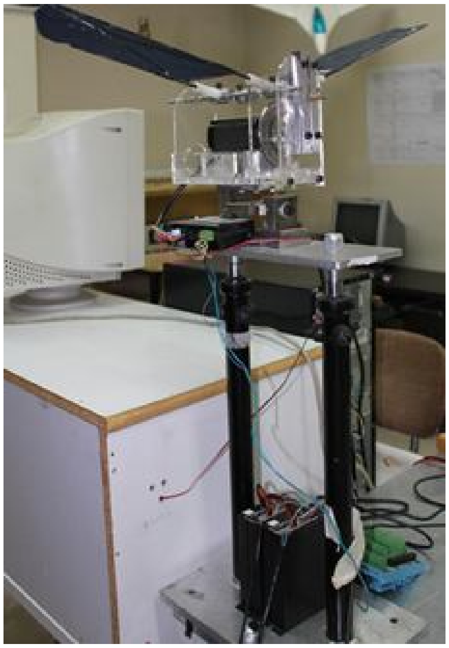
11. Fausett L., *Fundamentals of Neural Networks*. 2nd ed., Academic Press, USA, 1994.

12. Haykin S., Neural Networks a comprehensive Foundation. 2nd ed., Pearson Education press, India, 1999.

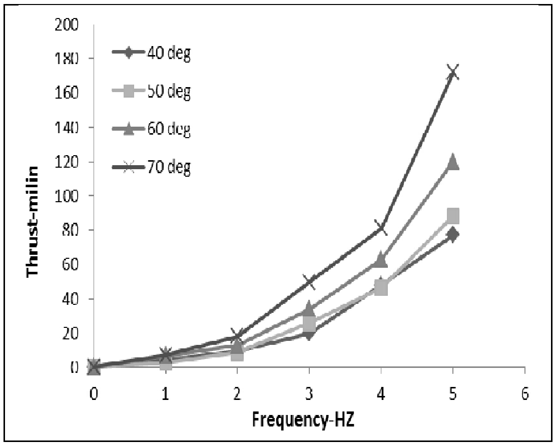
اشکال و نمودارها



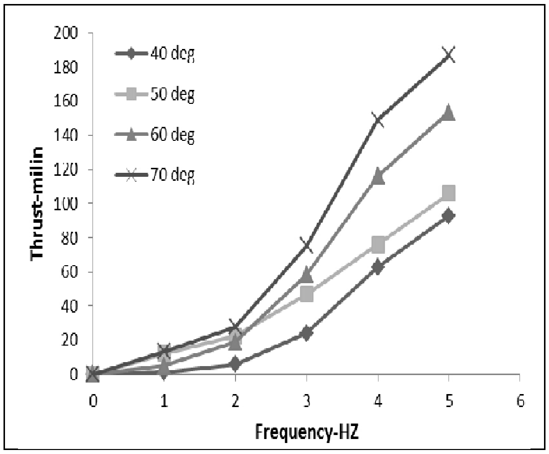
شکل 1- مکانیزم بال زن ساخته شده



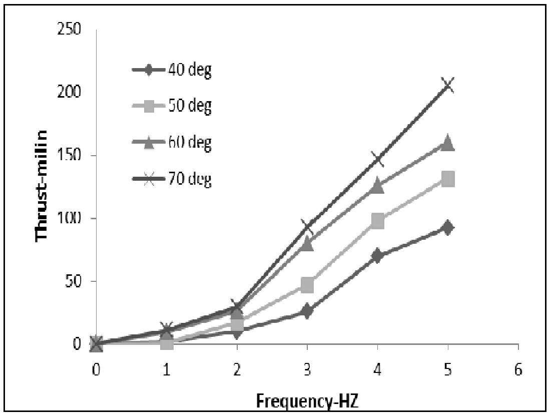
شکل2- نمای کلی از سیستم آزمایشگاهی ساخته شده



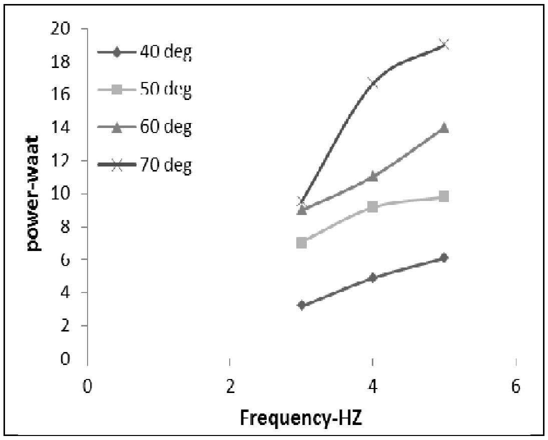
شکل **3**- نمودار نیروی پیشران بال **13*23**



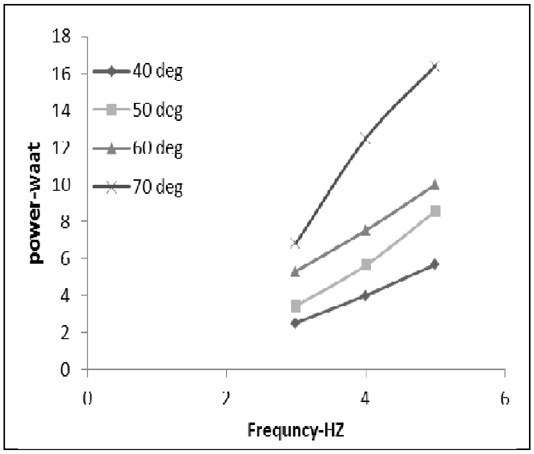
شکل **4**- نمودار نیروی پشران بال **13*26**



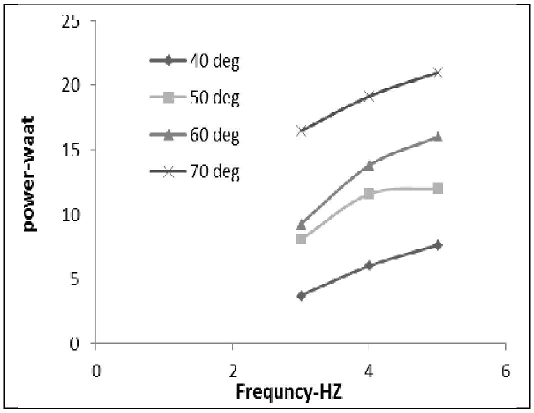
شکل **5**- نمودار نیروی پیشران بال **13*29**



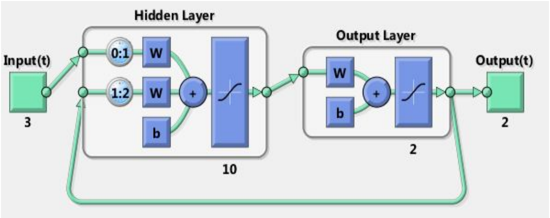
شکل **6**- نمودار توان مصرفی بال **13*23**



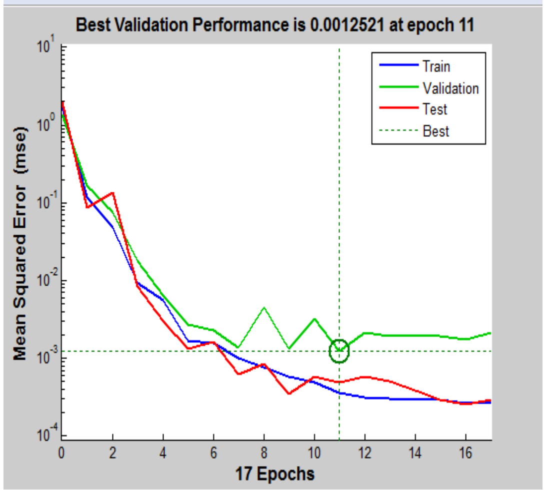
شکل **7** - نمودار توان مصرفی بال **13*26**



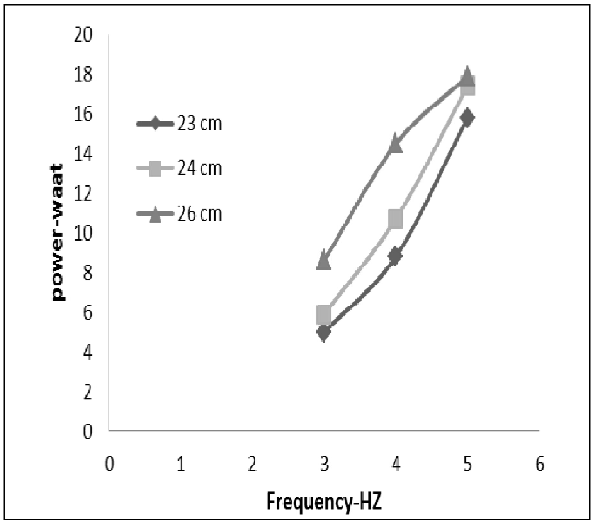
شکل **8**- نمودار توان مصرفی بال **13*29**



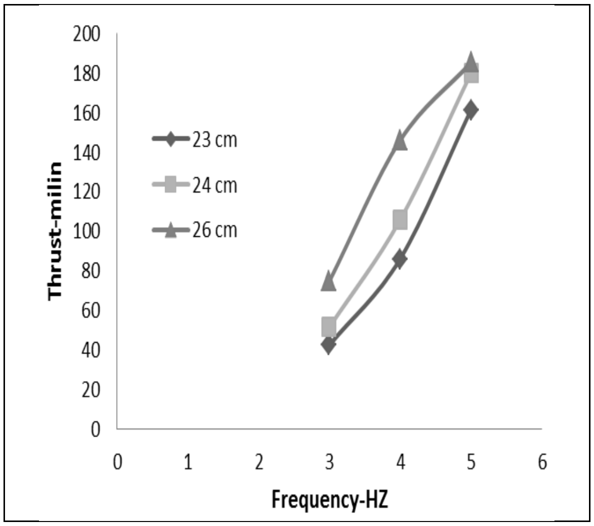
شکل **9**- ساختار یک شبکه عصبی **NRAX**



شکل 10- نمودار آموزش و مقدار خطای شبکه عصبی



شکل 11- نمودار تغییرات توان بر حسب فرکانس مبتنی بر شبکه عصبی



شکل 12- نمودار نیروی پیشران بر حسب فرکانس مبتنی بر شبکه عصبی