

بررسی الگوی جریان اطراف مقطع دو بعدی بال نامتناهی در فاصله مختلف از سطح

علی اسماعیلی

استادیار، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،
مشهد، ایران
aliesmaeili@um.ac.ir

فاطمه لطف‌آبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه
فردوسی مشهد، مشهد، ایران
fatemeh.lotfabadi@mail.um.ac.ir

چکیده

با توجه به افزایش روز افزون آلاینده‌های زیست محیطی ضرورت و اهمیت تحقیق بر روی پرنده‌ای که قابلیت استحصال انرژی پاک از محیط اطراف خود را داشته باشد بیشتر حائز اهمیت می‌شود. پرواز پرنده نزدیک سطح در قیاس با همتای خارج از سطح، نسبت ضرایب برآ به پسای بالاتری از خود نشان می‌دهد و با کاهش فاصله از سطح این نسبت بیشتر می‌شود. در این مطالعه، به بررسی الگوی جریان اطراف بالواره دو بعدی همراه با پیزوالکتریک در فواصل سطح مختلف از زمین در زاویه حمله ثابت با هدف برداشت انرژی پرداخته شده است. شبیه‌سازی با ایرفویل متقارن NACA0015 همراه با پیزوالکتریک در رژیم جریان مادون صوت و آشفتته صورت گرفته است. داده‌های حاصل از این شبیه‌سازی بیانگر بهبود ضرایب آیرودینامیکی و تولید ولتاژ در حضور پیزوالکتریک است که موجب افزایش راندمان و کاهش زمان مصرفی برای تامین توان پرنده کوچک بال ثابت شده است.

کلمات کلیدی: فاصله سطح، زاویه حمله، پیزوالکتریک

فهرست علائم

α زاویه حمله
 h فاصله از سطح

۱- مقدمه

خلبان در پرواز نزدیک زمین برآ اضافی ناخواسته یا به اصطلاح "شناوری"^۱ را تجربه می‌کند. اولین پرواز برادران رایت در اثر زمین بود و از آن سال به بعد تحقیقاتی متعددی بر روی پدیده اثر سطح صورت گرفته است. هرچند از زمان ظهور هواپیماها تا به امروز پیشرفت‌های زیادی در صنعت هوانوردی صورت گرفته است اما اکنون کاهش ذخایر سوختی و از طرفی افزایش روزافزون آلاینده‌های زیست محیطی حاصل از آن دانشمندان را به سمت طراحی وسایل پرنده با صرف سوخت کمتر ترغیب کرده است [۱]. در هوانوردی افزایش سرعت با صرف هزینه گزاف در تعامل است. بشر با نگاهی به عملکرد پرنده‌ها از پدیده اثر سطح برای پروازهایی طولانی‌تر الگو برداری کرده است. از جمله وسایلی که به عنوان چشم انداز حمل و نقل سریع و ارزان در آینده محسوب می‌شوند، پرنده‌های اثر سطحی هستند. در نمونه کاربردی می‌توان به پرنده‌های آب‌نشین یا به اصطلاح ویگ‌ها^۲ اشاره کرد که جایگاه آن‌ها بین هوانوردی و دریانوردی است و موجب افزایش سرعت در حمل و نقل دریایی می‌شوند و در قیاس با دیگر وسایل آبی سرعت و پایداری بیشتری دارند و خلاء موجود بین این دو صنعت را پر می‌کنند این وسایل از لحاظ سرعت، در محدوده وسایل حمل و نقل هوانوردی و از لحاظ هزینه در محدوده وسایل حمل و نقل دریانوردی قرار دارند و چند متر بالاتر از آب به پرواز در می‌آیند [۲]. دو ویژگی بارز در پرواز پرنده اثر سطحی وجود دارد که آن را متمایز از دیگر وسایل

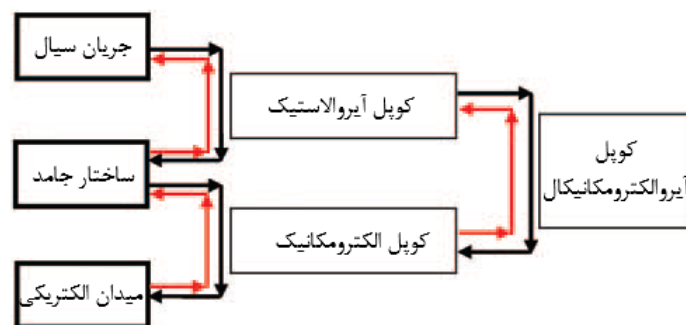
¹ . Floating

² . WIG - Wings in Ground

هوانوردی کرده است. یک در هنگام حرکت به دلیل شکل آیرودینامیکی خاص نسبت ضریب برآ به پسای بالاتری از خود نشان می‌دهند و با کاهش فاصله از سطح این نسبت در قیاس خارج از سطح بیشتر بوده است. ویژگی دوم آن‌ها تعادل دینامیکی خوب در پرواز با ارتفاع کم در نزدیک سطح است [۳]. مدت‌هاست که برداشت انرژی از محیط طبیعی به عنوان یک راه‌کار امیدوار کننده در کنار منابع سوخت تجدید ناپذیر مورد توجه قرار گرفته است. تا به امروز منابع زیادی برای یافتن منابع انرژی جایگزین برای سوخت‌های سنتی مورد بررسی قرار گرفته است. در میان همه منابع انرژی مکانیکی به دلیل دسترسی گسترده و عملکرد بالا و مستقل از آب و هوا توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از سه اثر الکترومغناطیسی، الکترواستاتیکی و پیزوالکتریک می‌توان برای برداشت انرژی مکانیکی استفاده کرد [۴]. از این میان پیزوالکتریک به خاطر بازده و توان خروجی بالا، مواد سبک، ساده و مقرون به صرفه و با سازگاری بالا به عنوان امیدوارکننده‌ترین فناوری برای استحصال انرژی مکانیکی مورد توجه قرار گرفته است [۵]. از طرفی جریان آشفته درجه بالایی از انسجام را در مقیاس مکانی و زمانی از خود نشان داده است که فرصت انحصاری برای برداشت انرژی از محیط فراهم می‌کند [۶]. از این رو در این مطالعه با نگاهی به طبیعت مرغ دریایی^۳ که برای حفظ انرژی خود نزدیک زمین پرواز می‌کند و الهام گرفتن از پرهاي آن به بررسی ایرفویل همراه با پیزوالکتریک، نزدیک سطح در زاویه حمله ثابت و فواصل مختلف از سطح پرداخت شده است.

۲- روش محاسباتی

معادله حل جریان با پیزوالکتریک شامل کوپل سه گانه بین جریان سیال، میدان الکتریکی و ساختار جامد است [۷]. تعامل بین کوپل سه گانه توسط کد UDF در FLUENT توسعه داده شده است تا جابجایی پیزوالکتریک و ولتاژ حاصل از آن را در هر مرحله زمانی محاسبه کند.



شکل ۱: الگوریتم کوپل معادلات

نیروی ناشی از جریان سیال از توزیع فشار و با ادغام تنش برشی لزجت دیوار روی سطح پیزوالکتریک مطابق فرمول (۱) به دست می‌آید:

$$f_r(t) = \int_{x=0}^L (f_p(x, t) + f_v(x, t)) \phi_r(x) dx \quad (1)$$

ولتاژ خروجی از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود

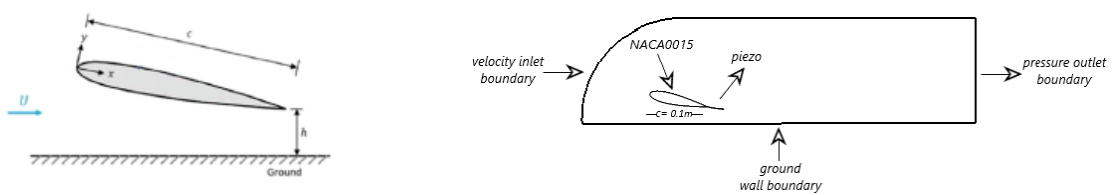
$$v(t) = e^{-t/\tau_c} \left(\int e^{-t/\tau_c} \sum_{r=1}^{\infty} \phi_r(x) \frac{d\eta_r(t)}{dt} dt + c \right) \quad (2)$$

که در آن c یک ثابت دلخواه که با توجه به جابجایی و سرعت اولیه پیزوالکتریک صفر در نظر گرفته می‌شود

³. Albatross

۳_ شرایط مدل‌سازی

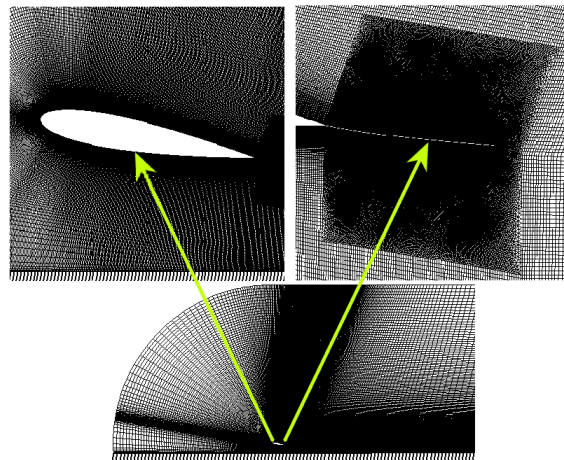
سرعت ورودی 35 m/s^2 و از مدل آشفتگی k_w_sst با 0.8% آشفتگی استفاده شده است. طول وتر ایرفویل m 0.1 با زاویه حمله ثابت 10° در سه فاصله سطح $0.2-0.5-0.8$ شبیه‌سازی صورت گرفته است. شبکه بندی در اطراف پیزوالکتریک به علت متحرک بودن آن بی‌سازمان در نظر گرفته شده است و سعی بر آن بوده است که در دیگر نواحی شبکه با سازمان طراحی و ایجاد شود (شکل ۳). با توجه به آشفتگی و ناپایداری جریان، اندازه نخستین شبکه در محدود $1/5$ تعیین شده است تا نتایج با دقت بیشتری حاصل شود و بعد از دستیابی به استقلال از شبکه (نمودار ۱) و استقلال از ابعاد دامنه حل (نمودار ۲) به $400,000$ سلول در شبکه بندی بسنده شده است و در نهایت گام زمانی $\Delta t = 0.0002$ با توجه به استقلال از گام زمانی (نمودار ۳) محاسبه شده است و پس از آن به طراحی و شبیه سازی ایرفویل همراه با پیزوالکتریک پرداخته شده است.



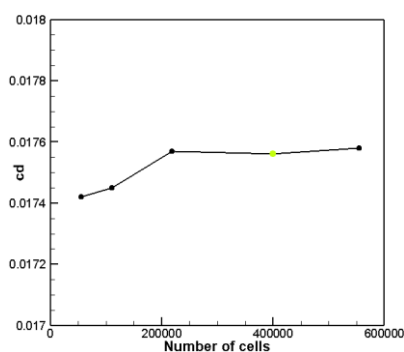
تعریف h فاصله از سطح

نمایی از دامنه و شرایط مرزی

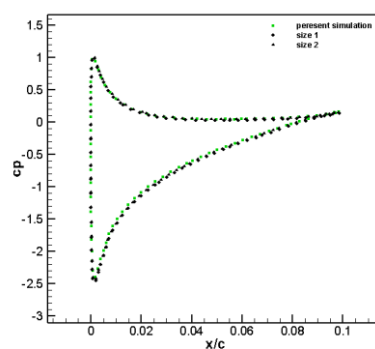
شکل ۲: نمایی از شرایط طراحی هندسه



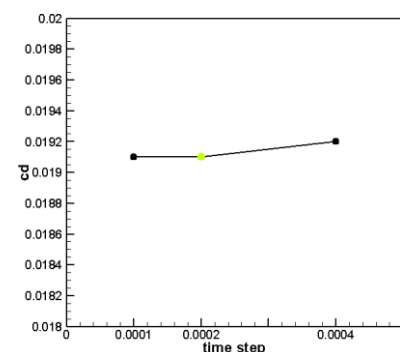
شکل ۳: تصویری از کیفیت و تراکم شبکه اطراف ایرفویل و پیزوالکتریک



نمودار ۱: استقلال از شبکه برای ضریب پسا



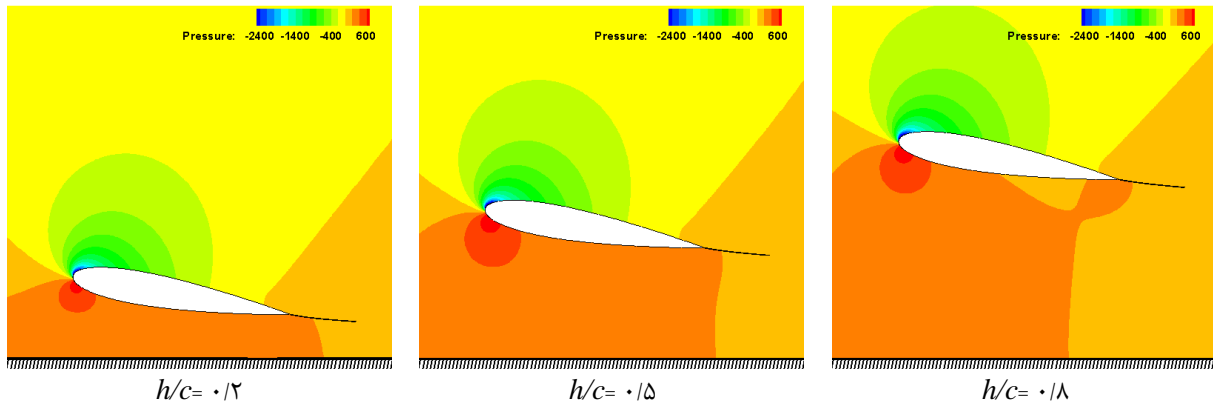
نمودار ۲: استقلال از ابعاد دامنه حل



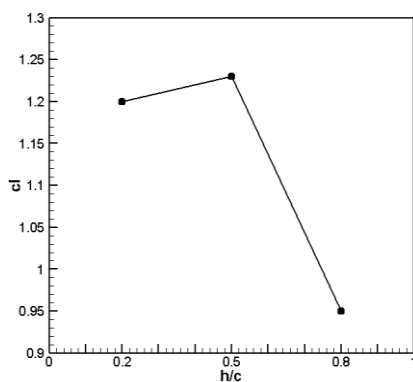
نمودار ۳: استقلال از گام زمانی

۴- تحلیل نتایج

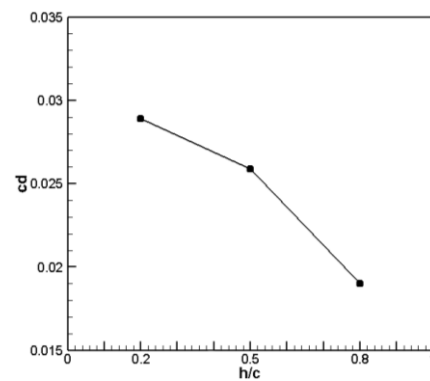
شکل (۴) کانتور فشار ایرفویل NACA0015 در زاویه حمله ۱۰ درجه است که بیان می‌دارد مجاورت سطح در قیاس با همتای خارج از سطح خود نسبت ضرایب برآ به پسا افزایش پیدا کرده و با کاهش فاصله این نسبت افزایش پیدا می‌کند. فشار سطح فوقانی ایرفویل به دلیل عدم محدودیت دیواره و شرایط مرزی مشابه ایرفویل خارج است. هنگامی که ایرفویل نزدیک سطح نسبت به خط افق دارای زاویه محسوس باشد جریان سطح زیرین ایرفویل محدب مانند نازل و نتوری رفتار می‌کند و در اثر کوبیده شدن جریان فشار افزایش پیدا می‌کند و حضور پیزوالکتریک به افزایش این فشار کمک می‌کند.



شکل ۴: کانتور فشار زاویه حمله ۱۰ درجه در فواصل مختلف از سطح



نمودار ۴: ضریب برآ



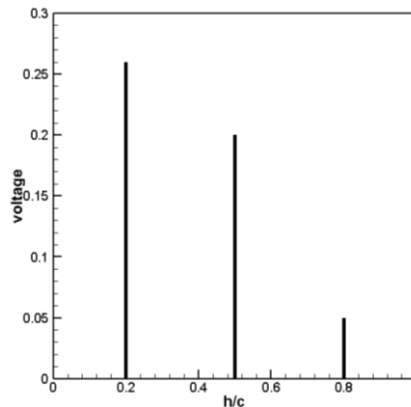
نمودار ۵: ضریب پسا

نمودار (۴) بیان دارد که ضریب برآ با کاهش فاصله از سطح افزایش پیدا کرده است اگر چه مقدار ضریب برآ در فاصله ۰/۵ از سطح به مقدار اندک از فاصله ۰/۲ بیشتر است که علت آن را می‌تواند محدود شدن عملکرد بالکشت هوا ایجاد در سطح ذیل ایرفویل در فواصل کم از سطح دانست. حضور پیزوالکتریک در زاویه حمله ۱۰ درجه موجب افزایش ضریب برآ شده است. نمودار (۵) نشان می‌دهد تغییرات ضریب پسا به نسبت ضریب برآ در فواصل مختلف از سطح کوچک است زیرا ضریب پسا بیشتر متأثر از تنش برشی ایجاد شده روی سطح ایرفویل و پیزوالکتریک است اگر چه نمودار روند صعودی پسا با توجه به کاهش فاصله از نشان می‌دهد زیرا داده‌های ارائه شده مجموع پسا ایرفویل و پیزوالکتریک است هرچند که پسا ایجاد شده با حضور پیزوالکتریک کمتر از همتای بدون پیزوالکتریک خود بوده است و مقدار اختلاف ضریب پسا بین فواصل مختلف است بسیار اندک است.

جدول ۱: توان تولیدی پیزوالکتریک در فواصل سطح مختلف

فاصله از سطح	توان الکتریکی (μW)
$h/c=0.2$	۶۷/۶
$h/c=0.5$	۴۰
$h/c=0.8$	۲/۵

جدول (۱) بیانگر این است که با کاهش فاصله از سطح نیز توان تولیدی پیزوالکتریک نیز افزایش پیدا می کند. حضور پیزوالکتریک در فاصله ۰/۲ از سطح منجر به تولید ۶۷/۶ میکرو وات توان الکتریکی و در فاصله ۰/۵ از سطح، ۴۰ میکرو وات توان الکتریکی و نیز کمترین مقدار توان الکتریکی ۲/۵ میکرو وات در بیشترین فاصله از سطح ۰/۸ برای زاویه ۱۰ درجه تولید کرده است.



نمودار ۵: ولتاژ تولیدی پیزوالکتریک در فواصل سطح مختلف

از نمودار (۵) مشهود است که کاهش فاصله ایرفویل از سطح منجر به افزایش ولتاژ تولید شده توسط پیزوالکتریک مشابه توان الکتریکی و فشار و نسبت ضریب برآ به ضریب پسا می شود. کمترین مقدار ولتاژ در فاصله ۰/۸ و بیشترین مقدار ولتاژ در فاصله ۰/۲ در زاویه ۱۰ درجه تولید شده است.

۵- نتیجه گیری

داده های حاصل از این شبیه سازی بیان دارد که حضور پیزوالکتریک به عنوان برداشت کننده بهینه و عاری از آلاینده های زیست محیطی و همراهی آن با مطالعات پیشین بدون هیچ منافاتی در فواصل مختلف از سطح موجب افزایش تعادل آیرودینامیکی پرنده بال ثابت شده است. و می توان با به کارگیری از ولتاژ و توان تولید شده حاصل از آن، موجب افزایش راندمان پرنده نزدیک سطح شد.

مراجع

[¹] E.P. Pereira¹ , A. Esmaili¹ & J.M.M. Sousa¹ ; , (2021), Energy Harvesting from Piezoelectric Fringes at the Trailing edge of a Finite Wing with Leading-edge Tubercles; 32nd Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences-ICAS.

[²] He Y;(2014) Shape optimization of airfoils without and with ground effect using a multi-objective genetic algorithm [Dissertation]. Saint Louis: Washington University in St.Louis;

[^۳] علی اسماعیلی؛ (۱۳۹۰)؛ شبیه سازی جریان لزج آشفته در اطراف یک بالواره هوشمند و بررسی اثر آن بر ضرایب آیرودینامیکی؛
دانشگاه فردوسی مشهد

[^۴] اسید محمد حسین رزمی (۱۳۹۹)؛ نانوژنراتورهای تریبوالکتریک و برداشت انرژی جهت بهبود عملکرد SUAV ها؛ دانشگاه فردوسی
مشهد

[⁵] A. Esmaili¹ · J. M. M. Sousa; , (2020), Flow-Driven Piezoelectric Energy Harvester on a Full-Span Wing for Micro-aerial-vehicle (MAV) Application Arabian Journal for Science and Engineering <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04526-2>

[⁶] H.D. Akaydin, N. Elvin, Y. Andreopoulos; (2010); Energy Harvesting from Highly Unsteady Fluid Flows using Piezoelectric Materials; Journal of Intelligent Material Systems and Structures.

[⁷] H. D. Akaydin , N. Elvin , Y. Andreopoulos ; (2010); Wake of a cylinder: a paradigm for energy harvesting with piezoelectric materials; Exp Fluids ;<https://doi.org/10.1007/s00348-010-0871-7>