



بررسی جریان در حرکت بال زدن در نزدیکی سطح زمین

محمدحسن جوارشکیان^۱، امیر فقیهی^۲، احمد پارسانی^۲
۱۲ و ۱۳- دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی مکانیک

چکیده

در این تحقیق جریان غیر لزج تراکم ناپذیر در حالت ناپایا برای بررسی حرکت بالزن در جریان آزاد و نزدیکی سطح به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته شده است. مقطع مورد بررسی NACA0012 بوده و شبکه مورد استفاده یک شبکه بی‌سازمان است. مقایسه حالت پایا و ناپایا، اثر سرعت جریان آزاد، زاویه حمله، و همچنین بسامد بال زدن و اثر متقابل هر کدام بر یکدیگر در فاصله دور و نزدیک به سطح مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده در حالت ناپایا، با کاهش سرعت جریان آزاد ضریب برآ افزایش و ضریب پسا کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش بسامد بال‌زدن ضریب پسا کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی: جریان ناپایا، بالزن، فاصله از سطح، فرکانس بال زدن

مقدمه

پرواز پرندگان و حشرات توسط حرکت بال زدن انجام می‌شود و نیروی برآ و رانش پرنده در طی این حرکت تولید می‌گردد در حالیکه در پرنده های مصنوعی ساخت دست بشر عمدتاً از ماشینهای جریان دائم (ملخ، موتورجت و...) برای تولید رانش استفاده می‌شود. الگوی به دست آمده از پرواز پرندگان از دیر باز تا کنون الهام بخش بشر بوده است. بالهای پرنده ایکاروس و بال ساخته شده توسط لئوناردو داوینچی دو نمونه از این دست می‌باشد.

با بررسی دقیق حرکات بال پرندگان و حشرات دامنه وسیعی از جزئیات حرکت بال‌زدن پیش رو قرار می‌گیرد که هر کدام خود به عنوان زمینه تحقیقاتی گسترده به حساب می‌آید. امروزه کاربرد اصلی حرکت بالزن در زمینه ریز پهپادها MAV می‌باشد، ریز پهپادها یا روبات های پرنده، زمینه بسیار جدیدی در علم هوافضا ایجاد کرده‌اند. این پرنده‌ها در واقع کوچک ترین هوابیمای بدون سرنشین هستند که تاکنون توسط بشر ساخته شده اند و به زودی نه تنها در عرصه نظامی بلکه در عملیات های امدادی و کمک رسانی، تحقیقات علمی و ... استفاده خواهد شد.

تحقیقات علمی گسترده‌ای در زمینه ریزپهپادها در حال انجام است که در ادامه به مهمترین و جدیدترین آنها اشاره می‌شود. پلاتزر و تانسر [۱] در سال ۱۹۹۶ نیروی رانش و بازده پیشرانی را به وسیله کد ناویر استوکس روی بالواره ناکا ۰۰۱۲ در حالت بالا و پایین خالص بررسی کردند در سال ۱۹۹۷ جونز و پلاتزر [۲] نتایج عددی خود را که برای جریان دو بعدی تراکم ناپذیر غیر دایم بوسیله کد به روش پائل ۱ انجام گرفته بود را گزارش کردند و دریافتند که تغییر ضخامت بالواره بر روی نیروی رانش یک اثر جزئی دارد. در سال ۱۹۹۸ تانسر و همکاران [۳] با استفاده از کد تراکم پذیر دوبعدی ناویراستوکس برای بالواره ناکا ۰۰۱۲ ضرایب بازده پیشرانی و رانش را برای حرکت بالا و پایین خالص در رینولدز ۱۰۶ گزارش کردند

با توجه به اینکه در زمینه حرکت بالزن در نزدیکی سطح تا کنون کار منتشر شده‌ای وجود ندارد در این تحقیق به بررسی حرکت بالزن و پارامترهای مؤثر بر آن در نزدیکی سطح پرداخته شده است.

ونکارمن [۴] طی شبیه سازی عددی روی بالواره بالا و پایین شونده خالص با استفاده از روش گردابه گسسته دو بعدی نتایج حاصل از جریان غیرسینوسی را بررسی کرده و متوجه شدند که در این حرکت مقدار ضریب رانش بیشتری بدست می‌آید اما مقدار بازده پیشرانی تغییر چندانی نمی‌کند. نتیجه اینکه در حرکت خالص بالا و پایین، نیروی رانش در هر فرکانسی تولید می‌شود. پدرزانی و دیگران [۵] در سال ۲۰۰۶ با بررسی دوبعدی جریان تراکم ناپذیر لزج ناویر استوکس در رینولدز ۵۰۰ دریافتند که اولاً بال های اعطاف پذیر بازده بالاتری نسبت به انواع صلب آن دارند، دوماً بالواره های سنگین تر رانش بیشتری با توان لازم ورودی کمتر نسبت به انواع سبکتر آن تولید می‌کنند. بنابراین بالواره های سنگین تر بازده بالاتری دارند.

آنالیزهای گریک [۶] نشان داد که حرکت پیش خالص برای داشتن نیروی رانش جالب نمی‌باشد زیرا فقط در فرکانس های بالا ($k > 4$) می‌تواند رانش تولید کند. کوچ اصفهانی [۷] به صورت تجربی این نتیجه را تثبیت کرد

در بررسی فرآیند بال‌زدن حرکات پیش خالص و بالا و پایین شدن خالص به عنوان حرکات ساده و حرکات به شکل 8 و حرکات دیگر که ترکیبی از این حرکات با حرکت جلو و عقب خالص می‌باشند به عنوان حرکات بال‌زدن پیچیده تر به حساب می‌آیند که ضمن تولید نیروی برآی مورد نیاز، نیروی رانش نیز تولید می‌کنند. یک روش برای تحلیل این گونه مسائل استفاده از شبکه دینامیکی^۳ یا متحرک است که هزینه محاسباتی زیادی در پی دارد، روش دیگر ثابت نگه داشتن بال و حرکت دادن جریان به گونه ای که اثرات بال‌زدن واقعی را ایجاد کند می‌باشد. در این تحقیق از روش دوم برای شبیه سازی حرکت بالا و پایین شدن خالص در نزدیکی سطح زمین استفاده شده و اثر عوامل مختلف بر ضرایب آیرودینامیک بررسی شده است.

روابط و معادلات حاکم

به منظور شبیه سازی جریان اطراف بال در نزدیکی سطح باید معادلات اساسی حاکم بر میدان جریان حل شود که شامل بقا جرم، ممنتوم و انرژی می‌باشد.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \vec{V})}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V} \otimes \vec{V} - \vec{T}) = \vec{S}_v \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V} \phi - \vec{q}) = \vec{S}_\phi \quad (3)$$

² Dynamic Mesh

¹ Unsteady Panel Method (UPM)

به طوریکه ρ چگالی، \vec{V} سرعت، ϕ متغیر بدون بعد، \vec{T} تنسور تنش و \vec{q} بردار شار پخش می باشند. روش مورد استفاده در این تحقیق برای حل معادلات فوق، روش حجم محدود می باشد که با انتگرال گیری از معادلات فوق روی حجم کنترل و استفاده از قضیه گوس و دیورژانس، معادلات گسسته شده و ترم نفوذ، از طرح تفاضل مرکزی و ترم جابه جایی از طرح اختلاف بالادست مرتبه دوم بدست آمده است. برخی دیگر از پارامترهای حل عددی به صورت زیر است

جدول ۱- پارامترهای حل عددی

الگوریتم حل	SIMPLE
طرح تفاضلی	بالادست مرتبه دوم
رینولدز	2×10^5
گام زمانی	0.01 و 0.005 S
نوع جریان	تراکم ناپذیر، غیر لزج، ناپایا
معادله حرکت بالزن	$Y = h * \cos(\omega t)$
فرکانس زاویه ای (ω)	10 Hz و 5
دامنه نوسان (h)	$0.2c$

در شکل ۶ نیز ضریب برآ به ازای دو زاویه حمله مختلف در حالت ناپایا نشان داده شده است همانطور که از شکل می توان مشاهده نمود با افزایش زاویه حمله، ضریب برآی میانگین افزایش پیدا می کند.

در شکل ۷ ضریب برآ در حالت پایا و ناپایا (بالزن) با یکدیگر مقایسه گردیده است به اختلاف بین بیشینه و کمینه ضریب برآ در حالت ناپایا با حالت پایا توجه کنید.

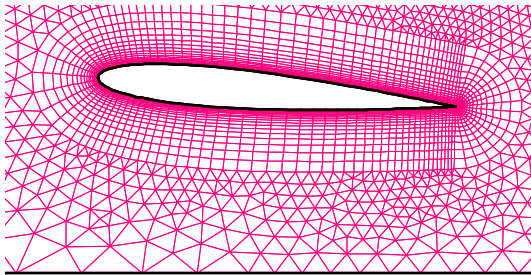
در این قسمت نتایج نزدیک سطح مقایسه شده است. عدد رینولدز مربوط به این قسمت برابر 2×10^6 در نظر گرفته شده است. در شکل ۷-الف ضریب برآی بالواره بالزن در نزدیکی سطح به ازای دو بسامد مختلف نشان داده شده است و نشان می دهد که ضریب برآ منفی به دست آمده است به عبارت دیگر بالزن در نزدیکی سطح برای منفی تولید کرده است. شکل تفاوت چندان را برای مقادیر کمینه و بیشینه بین دو بسامد مختلف نشان نمی دهد. شکل ۷-ب ضریب پسا را نشان می دهد. مقایسه ضریب پسا در دو بسامد مختلف نشان می دهد که در بسامد بال زدن بیشتر کمینه ضریب پسا کمتر می شود که این خود پسای میانگین را کمتر می کند به عبارت دیگر با افزایش بسامد بالزن ضریب پسای میانگین کاهش پیدا می کند.

نتیجه گیری

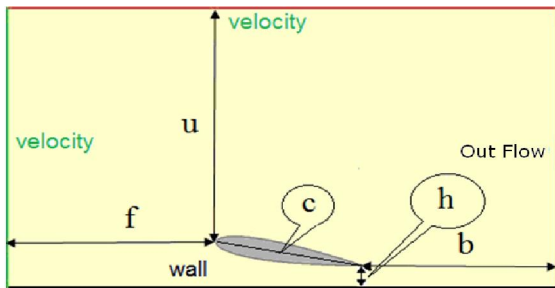
در این تحقیق جریان غیر لزج تراکم ناپذیر در حالت ناپایا برای بررسی حرکت بالزن در جریان آزاد و نزدیکی سطح به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج زیر به دست آمد:

- ۱- در جریان دو از سطح افزایش عدد رینولدز سبب کاهش ضریب برآ می گردد.
- ۲- در جریان دور از سطح کاهش رینولدز سبب کاهش ضریب پسا می گردد.
- ۳- در جریان نزدیک به سطح حرکت بالزن برای منفی تولید میکند و تغییر بسامد تأثیر چندان بر آن ندارد.
- ۴- در نزدیکی سطح افزایش بسامد بالزن سبب کاهش ضریب پسا می گردد.

شکل ها و نمودارها



شکل ۱- شبکه محاسباتی



شکل ۲- حوزه حل و شرایط مرزی

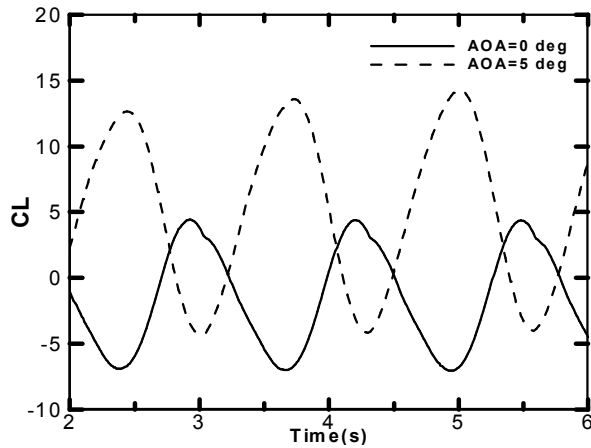
نتایج

در این قسمت به بررسی و تحلیل نتایج می پردازیم. مقطع بالواره برای این تحقیق NACA0012 در نظر گرفته شده است. قسمت اول نتایج مربوط به اعتبار سنجی بررسی جریان بالزن در جریان آزاد با توجه به شرایط ارائه شده تحقیق لیانگ جیمسون [۸] است در ادامه ضرایب برآ و پسا و اثر بسامد بالزن بر تغییرات آنها در نزدیکی سطح ارائه شده است.

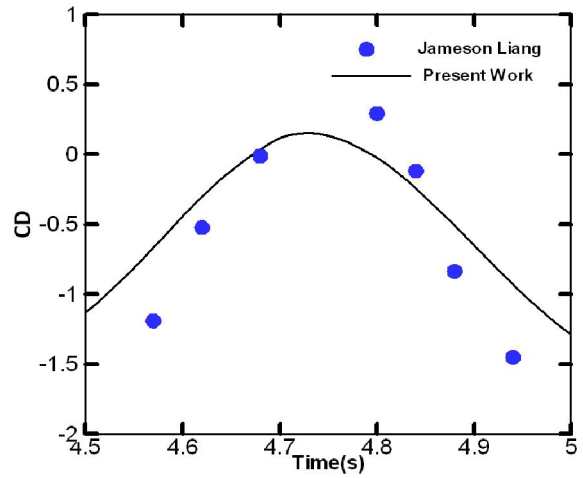
در این مسأله از روش نوسان دادن جریان برای شبیه سازی حرکت بالزن استفاده شده است مزیت این روش بر روش استفاده از شبکه دینامیکی کاهش هزینه محاسباتی است. البته استفاده شبکه دینامیکی به واقعیت مسأله نزدیکتر است. در روش نوسان جریان حرکت بالزن و حرکت رو به جلو با هم ترکیب شده و به صورت دو مؤلفه سرعت افقی و عمودی به مرز جلو و بالا اعمال شده است. مؤلفه افقی برابر سرعت جریان آزاد و مؤلفه عمودی به صورت کسینوسی در نظر گرفته شده است و رابطه آن در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به عدم وجود نتایج منتشر شده در زمینه حرکت بال زدن در نزدیکی سطح، به منظور اعتبار سنجی جریان از داده های منتشر شده در فاصله دور از سطح با داده های منتشر شده مرجع [۶] مقایسه گردیده که نتایج آن برای ضریب پسا به ازای بسامد 0.783 هرتز و رینولدز 40000 در شکل ۳ نشان داده شده است و سازگاری مناسبی را نشان می دهد

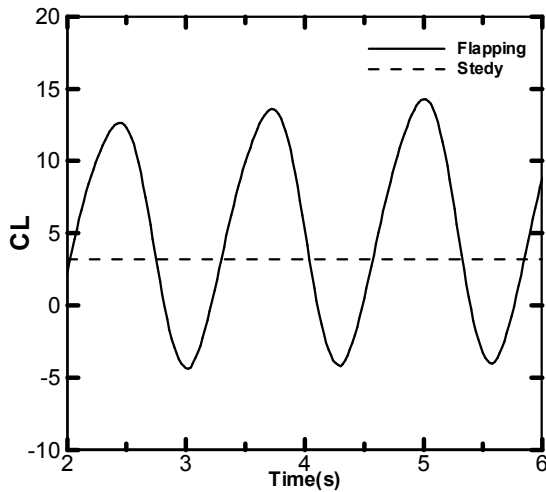
در شکل ۴ تغییرات نیروی برآ بر حسب زمان برای رینولدزهای مختلف نشان داده شده است مشاهده می کنیم که با کاهش رینولدز، نمودار به سمت افزایش ضریب برآ حرکت می کند یعنی در این حالت کاهش رینولدز سبب افزایش ضریب برآی میانگین خواهد شد. شکل ۵ تغییرات نیروی پسا بر حسب زمان را برای رینولدزهای مختلف نشان می دهد و نشان می دهد که با کاهش سرعت نیروی پسا کاهش پیدا کرده است. مقایسه دو شکل نشان می دهد که در زمانی که ضریب برآ بیشینه است ضریب پسا کمینه بوده و بالعکس. به عبارت دیگر اختلاف فاز بین ضریب برآ و پسا برابر π است.



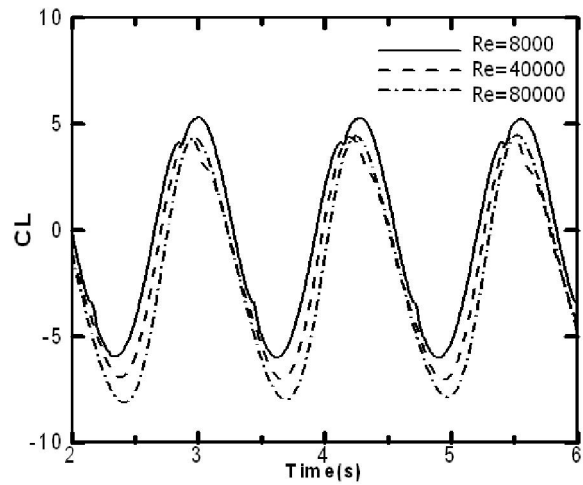
شکل ۶- ضریب برآ بر حسب زمان برای $Re=4000$



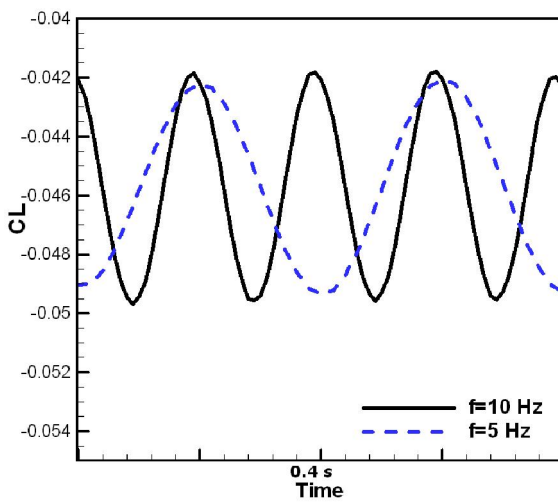
شکل ۳- مقایسه ضریب پسا با داده‌های منتشر شده در $Re=4000$



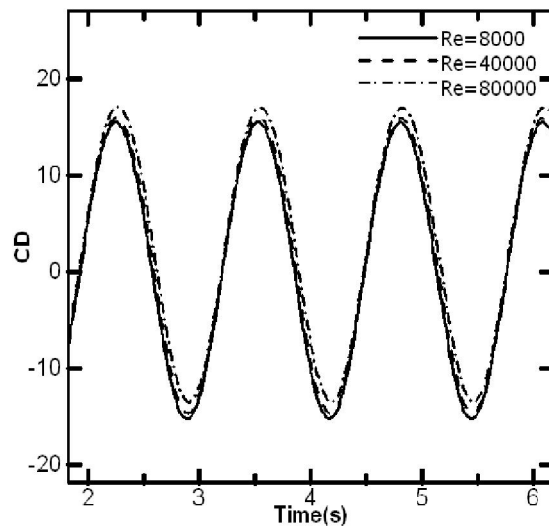
شکل ۷- ضریب پسا بر حسب زمان برای $Re=4000$



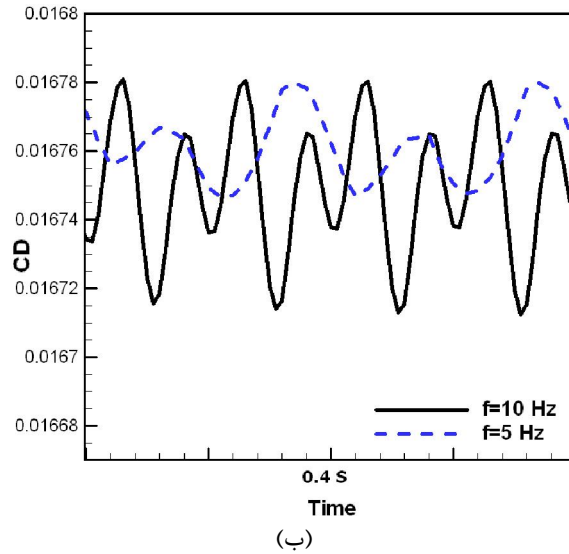
شکل ۴- ضریب برآ بر حسب زمان $AOA=0^\circ$



(الف)



شکل ۵- ضریب پسا بر حسب زمان $AOA=0^\circ$



شکل ۷- ضریب (الف) برآ و (ب) پسا بر حسب زمان $AOA = \delta^\circ$ و $h/c = 0.5$

مراجع

1. i. h. Tuncer and m. f. platzer, "Thrust generation due to airfoil flapping," AIAA, vol. 34, pp. 324-331, 1996.
2. Jones and m. f. Platzer, "Numerical computation of flapping-wing propulsion and power extraction," in 35th Aerospace sciences meeting and exhibit, 1997.
3. i. h. Tuncer, r. Walz, and m. f. platzer, "A computational study on adynamic stall of a flapping airfoil," in 16th Applied Aerodynamics Conference, 1998.
4. S. Sarkar and K. Venkatraman, "Numerical simulation of incompressible viscous flow past a heaving airfoil," in Int.J.Numer.Meth.Fluids. vol. 51, pp. 1-29, 2006.
5. J. Pederzani and H. Haj-Hariri, "Numerical Analysis of heaving flexible airfoils in a viscous flow " AIAA, vol. 44, p. 5, 2006.
6. I. E. Garrick, "Propulsion of a flapping and oscillating airfoil," NACA, Ed., 1937, p. 567.
7. M. M. Koochesfahani, "Vortical patterns in the wake of an oscillating airfoil," AIAA, vol. 27, pp. 1200-1205, 1989.
8. Jameson A, Liang CH. Unsteady flow past a plunging airfoil, Workshop on Vortex Dominated Flows, June, 2009, National Institute of Aerospace