



کد مقاله که بعد از بارگذاری مشخص شده و توسط دبیرخانه وارد خواهد شد و یادداشت آن برای پیگیری‌های بعدی توسط نویسندگان مخاطب لازم است.

بررسی تاثیر سطح بر بالواره پایا در نزدیکی سطح آب

یگانه آذگون^۱، محمد حسن جوارشکیان^۲، اسماعیل اسماعیلی فر^۳

دانشگاه فردوسی مشهد - مشهد

چکیده

در این تحقیق، جریان پایا بر روی بالواره نزدیک سطح آب توسط یک روش عددی شبیه سازی شده است. در روش مذکور معادلات ناویر استوکس (Naver-stokes) با روش حجم محدود گسسته و توسط الگوریتم پیمپل (Pimple) حل گردیده است. در این شبیه سازی، تاثیر زاویه حمله، ارتفاع از سطح و ضخامت بالواره بر روی نیروهای آیرودینامیکی بررسی شده است. به منظور اعتبارسنجی، جریان سیال بر روی بالواره با زاویه ثابت، در یک فاصله ثابت از زمین و آب شبیه سازی شده و نتایج تغییرات ضریب برآ با داده‌های عددی منتشر شده، مقایسه که تطابق مطلوب نتایج، صحت شبیه‌سازی را تایید می‌نماید. در ادامه به بررسی بالواره نزدیک سطح آب در زاویه حمله‌های ۵، ۷.۵ و ۱۰ و ارتفاع‌های ۰.۵، ۱، ۱.۵ و ۲ و ضخامت‌های مختلف NACA0006، NACA0012 و NACA0020 و همچنین به مقایسه‌ی نتایج نزدیک سطح زمین و نزدیک سطح آب در شرایط یکسان پرداخته شده است. ارزیابی نتایج حاصل نشان می‌دهد که با کاهش ضخامت، کاهش فاصله از سطح و افزایش زاویه حمله مقدار ضریب برآ افزایش می‌یابد و تاثیر زاویه حمله در ارتفاع‌های پروازی کم بیشتر می‌باشد، همچنین مشاهده شد که مقدار ضریب برآ در شرایط یکسان برای بالواره نزدیک سطح زمین بیشتر از بالواره نزدیک سطح آزاد است.

واژه‌های کلیدی: بالواره نزدیک سطح - اثر سطح - اثر زاویه حمله

- اثر ضخامت

۱- مقدمه

پدیده‌ی تاثیر سطح بر معنی بهبود مشخصات آیرودینامیکی یک بالواره در نزدیک سطح است. در زمان برادران رایت بدون اطلاع دقیق از این پدیده در طراحی‌های خود از آن استفاده می‌کردند. در واقع به علت کاربرد- فراوان بالواره در نزدیکی سطح، کارهای مختلفی در مراکز تحقیقاتی دنیا بر روی این پدیده از گذشته تاکنون در حال انجام است. از سال ۱۹۲۰ این پدیده به طور جدی مطرح شد و تحقیقاتی نیز در این باره صورت گرفت. روسها وسیله‌ای ساختند که از تاثیر سطح روی هر سطح صاف مثل زمین و آب و برف و یخ استفاده می‌شد.

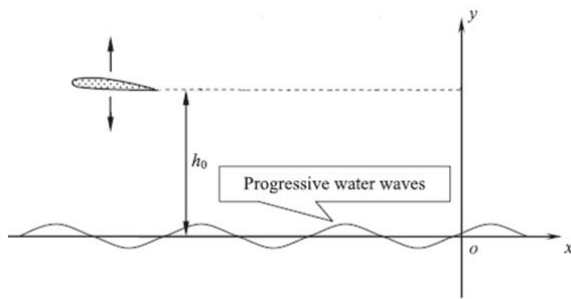
در جنگ جهانی دوم خلبانان در راه برگشت در فاصله‌ی کم از سطح دریا حرکت می‌کردند آنها مشاهده کردند که پرواز در این حالت به انرژی کمتری نیاز دارد، مقدار نیروی برآ بیش از ۴۵ درصد افزایش و مقدار نیروی پسا بیش از ۷۰ درصد کاهش می‌یافت. در اواسط قرن ۲۰ پژوهشگران متوجه شدند که این پدیده می‌تواند به منظور توسعه یک کلاس جدید در صنعت کاربرد داشته باشد و وسایل نقلیه‌ی تحت تاثیر سطح (WIG)، ۵ تا ۳۰ درصد نیروی پسای کمتری نسبت به یک هواپیمای معمولی دارند. در این زمان یکی دیگر از وسایل تحت تاثیر این پدیده، ماشین تحت تاثیر سطح (GEM) شناخته شد که با سرعت زیاد در ارتفاع کم پرواز می‌کرد. ویسلبرگر [۱] (Wiesesberger) با تئوری پراتنل نشان داد وقتی که بالواره در فاصله‌ی ۱۰ درصد طول بال از سطح قرار دارد در اثر سطح درگ القایی ۵۰ درصد کمتر است و در اثر افزایش وتر فاصله با سطح کمتر می‌شود که باعث ایجاد نقطه‌ی سکون (نقطه‌ی حداکثر فشار) در سطح پایین بال می‌شود. همچنین حداکثر نسبت نیروی برآ به پسا که ۱۵ تا ۲۰ است، در اثر سطح، این مقدار به ۲۳ می‌رسد. او یک سال بعد نیز با تعمیم تئوری پراتنل-لنچستر و به کارگیری مفهوم کلی پسای القایی چند باله‌ها به بررسی این پدیده پرداخت و یکی دیگر از WIGها را معرفی کرد در ادامه‌ی تحقیقات او تسیالکوسکی [۲] (Tsiolkovsky) نیز در سال ۱۹۲۷، یک حل تئوری برای وسایل نقلیه‌ی هوایی ارائه نمود. در مطالعات بعدی مشخص شد که یکی از مشکلات موجود پیچیده بودن دینامیک اثر سطح بر آیرودینامیک وسایل است از طرفی کاربرد این پدیده برای حرکت با سرعت بالا وسایل در نزدیک سطح آب یا زمین دارای اهمیت بود و تحقیقات در این باره ادامه پیدا کرد بطوری که زاو (zhao) به معرفی و طراحی یکی دیگر از WIGها که وسایل دریایی پر سرعت بودند و در نزدیکی سطح آب پرواز می‌کردند، پرداخت و از آنجایی که پارامترهای آیرودینامیکی یک وسیله نقلیه که روی موج آب حرکت کند کاملاً متفاوت است با وسیله نقلیه‌ای که روی آب آرام در حرکت است. کویی (Cui.E.J) [۳] در این زمینه به تحقیقات زیادی پرداخته است. او در مطالعات خود در سال ۲۰۰۳ مشاهده کرد که با وجود عملیات علمی وسایل نقلیه‌ی WIG، هنوز برخی از مشکلات از جمله ضریب اقتصادی، باد، توانایی موج‌های مقاوم، قابلیت سفر دریایی، پایداری و قابلیت مانور در داخل و خارج از ناحیه‌ی تاثیر سطح حل نشده است. همکار او رازدستونکی (Rozhdestvensky) [۴] در سال ۲۰۰۶، در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، 05138671246

v.azargoon@yahoo.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی، گروه مکانیک و هوافضا

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا



شکل ۱- بالواره پایا در فاصله‌ی h_0 از سطح آب

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

p, ρ, ν, u بترتیب مولفه‌های سرعت در جهت x و y ، چگالی و فشار می‌باشند. برای شبیه‌سازی جریان دو فازی و تسخیر سطح آزاد بین آب و هوا در حالتی که بالواره نزدیک سطح آب باشد روش کسری جزء حجمی سیال به کار برده شده است. در این روش تابع جزء حجمی سیال (VOF) تعریف شده و معادله‌ی انتقال اسکالر مربوط به آن حل می‌شود و در نتیجه نسبت کسر حجمی هر جزء سیال برای هر سلول به دست می‌آید [۱۳]:

$$u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

در صورتی که نسبت جزء حجمی $F=0$ باشد، سلول کاملاً از هوا پر شده است و در صورتی که $F=1$ باشد، سلول کاملاً از آب پر شده است. همچنین سلول‌هایی با مقادیر $0 < F < 1$ سلول‌هایی هستند که دارای مقداری آب و مقداری هوا هستند، این سلول‌ها تشکیل دهنده‌ی سطح آزاد هستند.

۴- مدل سازی عددی

۴-۱- شبکه بندی و شرایط مرزی

به منظور دقت بالاتر و تسخیر بهتر حوزه‌ی حل از شبکه سازمان یافته نوع H استفاده شده است. شبکه نوع H قادر به تسخیر کامل اطراف بالواره نیست برای احاطه‌ی بهتر از شبکه سازمان یافته‌ی نوع C برای اطراف بالواره استفاده شده است، شکل ۲ دامنه‌ی حل، شکل ۳ شبکه کلی دامنه-ی حل جریان روی بالواره نزدیک سطح آزاد و شکل ۴ شبکه در اطراف بالواره را نمایش می‌دهد.

تحقیقی نمای کلی از وسایل WIG و تاریخچه‌ی آنها ارائه نمود. در سال بعد یونگ مون (Youn Moon) و همکارانش [۵] شبیه‌سازی دو بعدی بالواره را در نزدیکی زمین انجام دادند، آنها بالواره‌ی NACA/Munk M15 را در نزدیک سطح زمین و در جریان آزاد مورد بررسی قرار داده و یک رابطه برای ضریب برآ در نزدیکی سطح بر حسب ضریب برآی جریان آزاد ارائه نمودند، در ادامه‌ی تحقیقات در سال ۲۰۱۰، جوارشکیان و همکارانش [۶] به بررسی یکی دیگر از پارامترهای موثر، اثر خمیدگی بالواره بر ضریب برآ پرداختند، و به نتیجه رسیدند که اثر مثبت خمیدگی بر ضریب برآ فقط در زاویه حمله‌های کوچک اتفاق می‌افتد. آنها در تحقیق دیگری [۷] تاثیر بالچه هوشمند با بالچه معمولی را در نزدیکی سطح زمین و زاویه حمله و زاویه بالچه متناظر با ماکزیمم نسبت برآ به پسا را بررسی نمودند. از سال ۲۰۱۱ لیانگ (Liang) و همکارانش [۸] مطالعات متعددی در این زمینه انجام دادند، آنها ابتدا رفتار آیرودینامیکی یک بالواره مجاور سطح زمین در جریان مادون صوت و تراکم پذیر در تاثیر فاصله‌ی بالواره از سطح و تاثیر عدد ماخ (Mach) را بررسی کردند و مشاهده نمودند که با افزایش فاصله اثر سطح خیلی کاهش می‌یابد. آنها در تحقیق دیگر [۹] شرایط فیزیکی جریان حول بالواره نوسانی در نزدیکی سطح زمین را بررسی نمودند و با استفاده از مفهوم تاخیر فاز بین حرکت و نیرو تاثیرات هر کدام را بر تولید برآ به صورت جداگانه مورد مطالعه قرار دادند در ادامه‌ی تحقیقات در سال ۲۰۱۳ چینی‌ها برای بررسی وسایل تحت تاثیر این پدیده از آنالیزهای مزیت‌های WIG نسبت به هواپیما و کشتی پیروی کردند. در سال ۲۰۱۴ نیز نایکل (Nikhil) و همکارانش [۱۰] تاثیر زاویه‌ی حمله بر ضرایب آیرودینامیکی بالواره نزدیک سطح را مورد مطالعه قرار دادند، شارما (Sharma) و کلیمنت (Climent) [۱۱] به مطالعه‌ی تاثیرات سطح بر خواص آیرودینامیکی یک بالواره دو بعدی NACA0012 در زاویه حمله‌های مختلف و ارتفاع‌های مختلف پروازی پرداختند. از کارهای دیگر می‌توان به بررسی‌های انجام شده بر روی تاثیر زاویه حمله بالواره ناپایا و ارتفاع پرواز بر خواص آیرودینامیکی زمین صاف و موجدار توسط کیولینکو (QiulinQu) و همکارانش [۱۲] اشاره نمود. در تحقیقات انجام شده در این زمینه کمتر به یک تحقیق کلی از پارامترهای موثر بر ضرایب آیرودینامیکی بالواره نزدیک سطح آب پرداخته شده است. در تحقیق جاری به شبیه‌سازی جریان حول بالواره نزدیک سطح آب در ۴ فاصله از سطح، ۳ زاویه حمله و سه ضخامت مختلف خواهیم پرداخت و در نهایت به شبیه‌سازی و مقایسه‌ی بالواره نزدیک سطح زمین و نزدیک سطح آب می‌پردازیم.

۲- بیان مسئله

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود مسئله‌ی مورد بحث این تحقیق یک بالواره‌ی دو بعدی با طول وتر C است که در فاصله‌ی h_0 از سطح آب قرار دارد. جریان آزاد یکنواخت با سرعت U در جهت x از روی بالواره عبور کرده است.

۳- معادلات حاکم

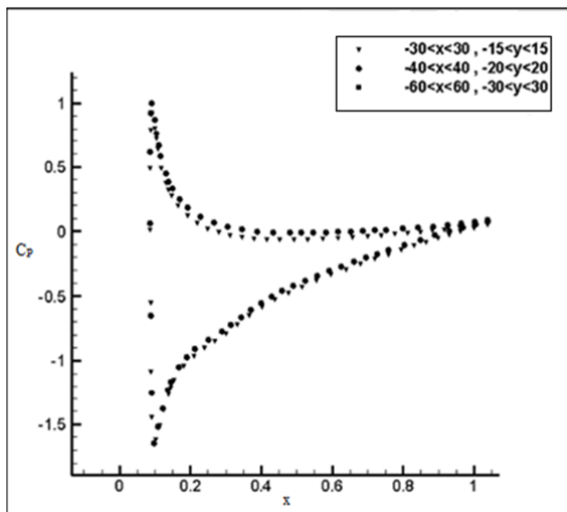
به منظور شبیه‌سازی جریان پایا، لزج و تراکم ناپذیر باید معادلات اساسی حاکم بر میدان جریان حل شود که شامل بقای جرم (۱)، جابجایی (۲) و انرژی (۳) می‌باشد.

۳-۴- حوزه‌ی حل و شرایط مرزی

حوزه‌ی حل در محدوده‌ی $40 < x < 40$ - و $20 < Y < 20$ - در نظر گرفته شده است، شرط مرزی ورودی سرعت ثابت، خروجی فشار ثابت، شرط مرزی بالا و پایین از نوع لغزشی و سطح بالواره دیوار در نظر گرفته شده است.

۴-۴- استقلال از دامنه‌ی حوزه‌ی حل

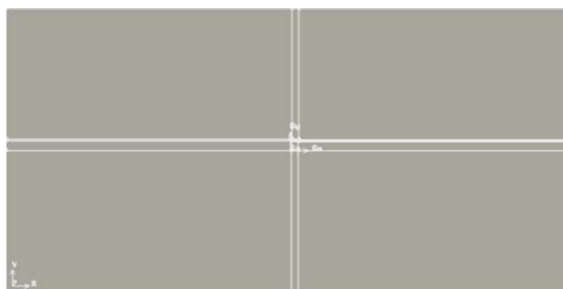
حوزه حل در بالا و پایین باید با اندازه‌ی کافی بزرگ باشد تا موج‌های سطحی به خوبی شکل بگیرند و تا حد امکان از انعکاس امواج از انتهای حوزه‌ی حل جلوگیری شود، بدین منظور با در نظر گرفتن جریان را برای سه حوزه‌ی حل گردید و به بررسی توزیع ضریب فشار بر روی سطح بالواره و امواج تشکیل شده پرداخته شد، شکل ۵ توزیع ضریب فشار بر روی سطح بالواره را نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود نتایج استقلال از حوزه‌ی حل به ازای محدوده‌ی $40 < x < 40$ - و $20 < Y < 20$ - قابل مشاهده می‌باشد.



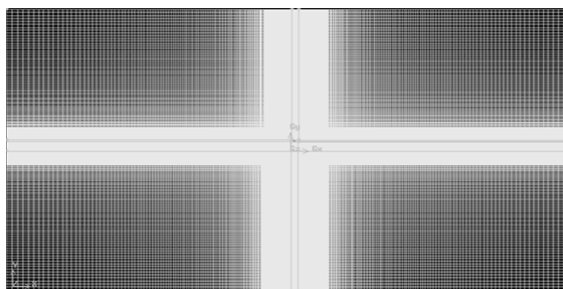
شکل ۵- توزیع ضریب فشار روی بالواره برای سه حوزه‌ی حل مختلف

۵-۴- استقلال از شبکه

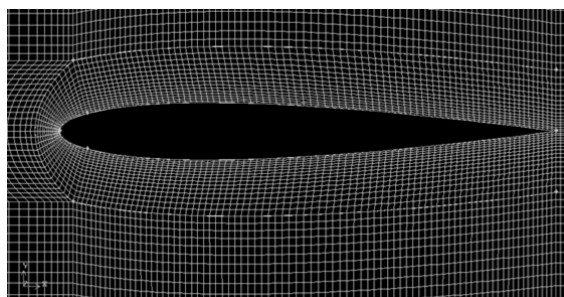
برای بررسی استقلال نتایج از شبکه، سه شبکه مختلف با یک رویکرد یکسان در شبکه بندی تولید شده اند. طول المان های شبکه با یک روش اصولی و با یک نسبت ثابت کاهش پیدا کرده، به عبارت دیگر تعداد سلول روی همی لبه‌ها با نسبت ۱.۲ افزایش یافته و شبکه‌هایی با تعداد سلول-های ۱۲۰۰۰۰، ۱۷۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ تولید شده‌اند. شکل ۶ توزیع ضریب فشار بر حسب زمان را برای سه شبکه مختلف نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود استقلال از شبکه به ازای شبکه‌ی ۱۷۰۰۰۰ سلولی حاصل گردیده است.



شکل ۲- دامنه‌ی حل



شکل ۳- شبکه کلی دامنه‌ی حل

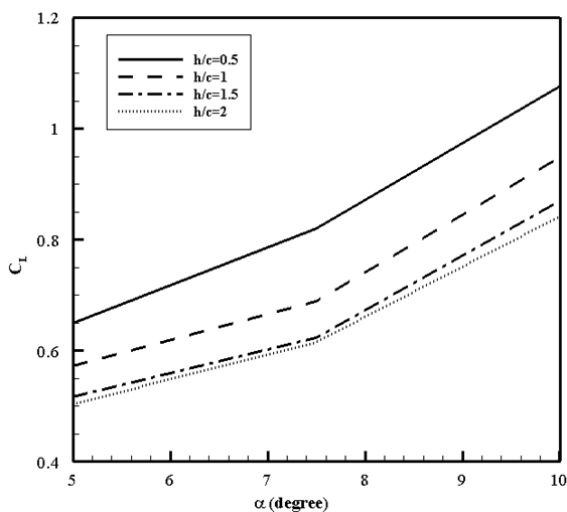


شکل ۴- شبکه در اطراف بالواره

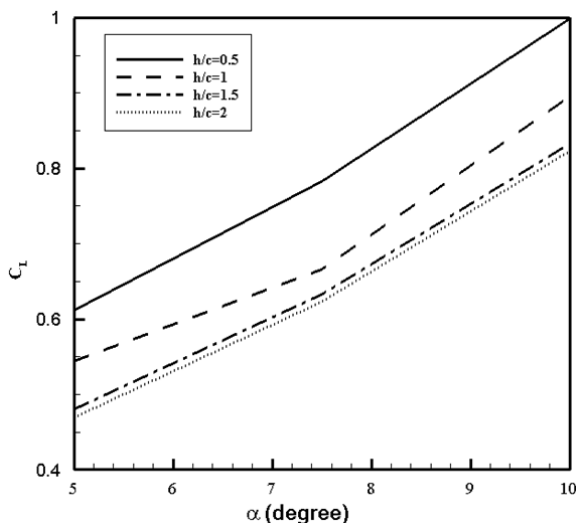
۲-۴- حلگر

برای شبیه سازی جریان و حل معادلات ناوراستوکس، یک حلگر چند فازی که در نرم افزار متن باز اپن فوم (OpenFOAM) موجود است استفاده شد. این حلگر برای شبیه سازی جریان های تراکم ناپذیر چند فازی طراحی شده است. که شبکه‌ی دینامیکی را پشتیبانی می‌کند و برای تسخیر سطح آزاد از روش کسر جزء حجمی سیال استفاده می‌کند. ترم های جابجایی با استفاده از یک طرح مرتبه ۲ با خاصیت محدودکنندگی گسسته‌سازی شده اند. در حالتی که بالواره نزدیک سطح آب است به دلیل حضور سطح آزاد، جریان در نزدیکی سطح آزاد بسیار ناپایدار است و انتخاب یک طرح مرتبه ۱ پایداری حل را حفظ خواهد کرد ولی دقت حل شدیداً تحت تاثیر قرار خواهد گرفت، بنابراین انتخاب یک طرح مرتبه ۲ با خاصیت محدودکنندگی علاوه بر حفظ پایداری حل، دقت حل را نیز تضمین می‌نماید. ترم های مربوط به معادله‌ی کسر جزء حجمی سیال با استفاده از طرح مرتبه‌ی ۲ ونلیر گسسته سازی شده‌اند. برای حل معادلات کوپل سرعت-فشار از الگوریتم ترکیبی پیمپل (PIMPLE) که ترکیبی از الگوریتم های سیمپل (SIMPLE) و پی‌زو (PISO) بوده و توانایی حفظ پایداری حل در اعداد کورانت بالا را دارا می‌باشد، بهره گرفته شده است.

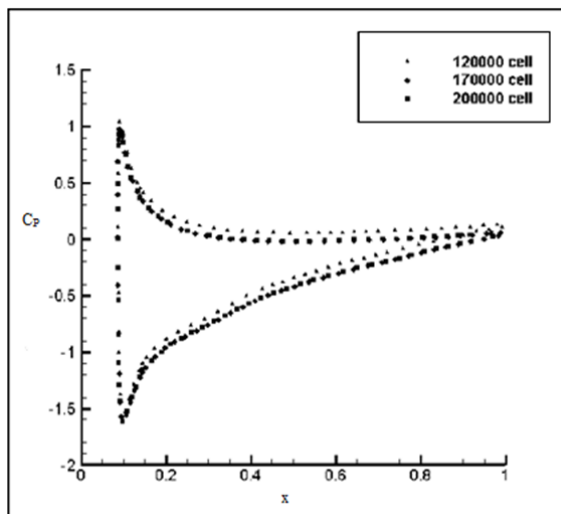
افزایش یافته است، بیشترین مقادیر ضریب برآ مربوط به کمترین فاصله از سطح است و بازه‌ی تغییرات ضریب برآ با افزایش ضخامت از NACA0006 تا NACA0020 در حال کاهش است بنابراین می‌توان گفت افزایش زاویه حمله، کاهش فاصله‌ی بالواره از سطح، کاهش ضخامت باعث افزایش ضریب برآ می‌شود، در واقع این پارامترها بر اختلاف فشار سطح بالا و پایین بالواره تاثیر گذار می‌باشند و از این اختلاف فشار نیروی برآ تولید می‌گردد و هر چقدر این اختلاف بیشتر باشد نیروی برآ بیشتری تولید می‌گردد و ضریب برآ افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که در ضخامت‌های کم و ارتفاعات کم زاویه حمله پارامتر موثرتری است و تاثیر ضخامت نیز در ارتفاعات کم بیشتر می‌باشد.



شکل الف-۷- تغییرات ضریب برآی بالواره NACA0006 بر حسب زاویه حمله در ارتفاعات مختلف پروازی



شکل ب-۷- تغییرات ضریب برآی بالواره NACA0012 بر حسب زاویه حمله در ارتفاعات مختلف پروازی



شکل ۶- توزیع ضریب فشار روی بالواره برای سه حوزه‌ی حل مختلف

۵- اعتبار سنجی

بمنظور اعتبارسنجی شبیه سازی انجام شده، ابتدا جریان حول یک بالواره پایا با زاویه حمله ۲ درجه و فاصله‌ی پروازی ۱ متری از سطح زمین در عدد رینولدز ۹۰۰۰۰ پرداخته شده و ضریب برآی این شبیه سازی با مرجع [۱۱] مقایسه شده همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود دو مقدار ضریب برآ خطای کمی دارند. همچنین یک بالواره با زاویه حمله‌ی ۵ درجه در فاصله‌ی ۱ برابر طول وتر از سطح آب را شبیه سازی نمودیم برای اطمینان از صحت حل در ابتدا جریان را به صورت آرام و آشفته حل نمودیم و به مقایسه‌ی نتایج حاصل از حل جریان با مرجع [۱۲] پرداختیم در جدول ۲ مشاهده می‌شود حل جریان آشفته دارای اختلاف کمتری است، و از طرفی علت خطای ایجاد شده در شبیه سازی جاری نسبت به حل مرجع تفاوت در روش حل جریان است زیرا مرجع مورد نظر با استفاده از روش پتانسیل به حل پرداخته است که در این روش با فرض جریان غیر چرخشی و غیرلزج شبیه سازی انجام می‌شود در حالی که در تحقیق حاضر معادلات ناویراستوکس حل شده است.

جدول ۱- مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با نتایج مرجع [۱۱]

نتایج مرجع [۱۱]	مقدار ضریب برآ = ۰/۲۱۲۱۵
نتایج شبیه سازی	مقدار ضریب برآ = ۰/۲۱۷۸۲
درصد خطا	٪ ۲/۶

جدول ۲- مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با نتایج مرجع [۱۲]

نتایج مرجع [۱۲]	مقدار ضریب برآ = ۰/۵۸۱
نتایج شبیه سازی جریان آرام	مقدار ضریب برآ = ۰/۵۲۱
نتایج شبیه سازی جریان آشفته	مقدار ضریب برآ = ۰/۵۴۴
اختلاف شبیه سازی جریان آرام با مرجع	٪ ۱۰/۳۲۷
اختلاف شبیه سازی جریان آشفته با مرجع	٪ ۶/۳۶۸۳

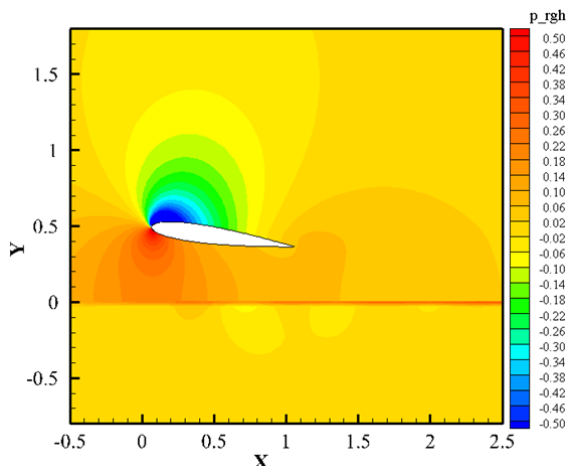
۶- بحث و نتایج

۶-۱- تاثیر ارتفاع پرواز در زاویه حمله‌های مختلف بر ضریب برآ در ضخامت ثابت

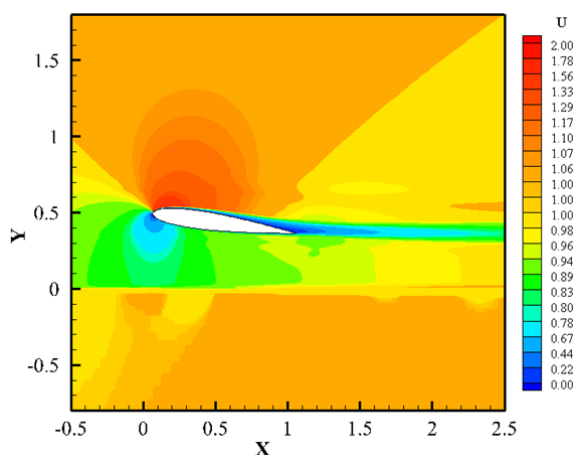
به منظور بررسی تاثیر فاصله‌ی بالواره از سطح آب بر ضریب برآ به شبیه سازی بالواره NACA0006, NACA0012 و NACA0020 در زاویه حمله‌های مختلف پرداختیم همانطور که از شکل‌های الف-۷ تا پ-۷ مشاهده می‌شود در همه‌ی حالت‌ها با افزایش زاویه حمله مقدار ضریب برآ

۴-۶- کانتورها

شکل الف-۹ کانتور فشار و شکل ب-۹ کانتور سرعت را نشان می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین فشار (نقطه‌ی سکون) مربوط به ابتدای سطح زیر بالواره می‌باشد، هوای بین سطح زیر بالواره و سطح آب فشاری بیشتری را تحمل می‌کند در این نقطه سرعت کمترین مقدار خود را دارد بطوری که کمترین فشار مربوط به ابتدای سطح بالای بالواره می‌باشد که در این نقطه همانطور که از شکل ب-۹ مشاهده می‌شود نقطه‌ی بیشترین سرعت می‌باشد.



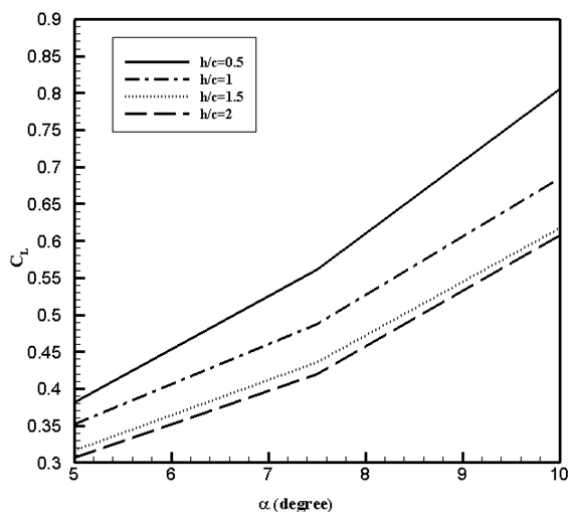
شکل الف-۹- کانتور فشار جریان آشفته



شکل ب-۱۰- کانتور سرعت جریان آشفته

۸- نتیجه گیری

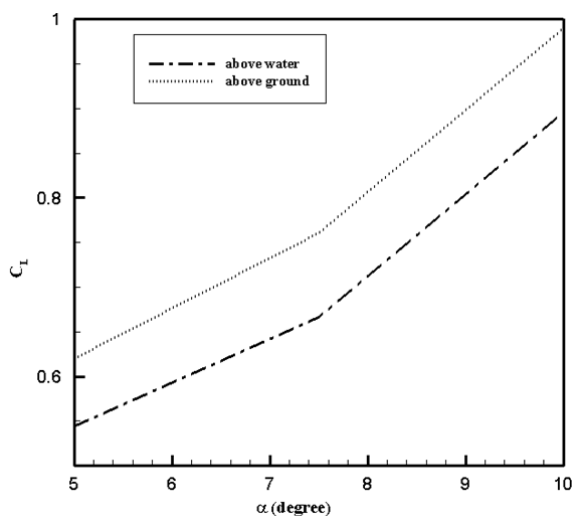
در این تحقیق با شبیه سازی جریان حول بالواره نزدیک امواج آب در ضخامت‌های مختلف، ارتفاع‌های پروازی مختلف و زاویه‌های مختلف مقدار ضریب برآ بررسی شد و نتایج نشان داد که با افزایش زاویه حمله، کاهش ضخامت و کاهش ارتفاع بالواره از سطح مقدار ضریب برآ افزایش می‌یابد، تاثیر زاویه حمله و تاثیر ضخامت در ارتفاع پروازی کم بیشتر می‌شود، همچنین از مقایسه‌ی مقادیر ضریب برآی بالواره نزدیک آب و زمین دیده شد که مقدار ضریب برآ در بالواره نزدیک زمین بیشتر است بنابراین تاثیر سطح در نزدیک سطح زمین بیشتر از سطح آب است و نتایج نشان می‌دهد که افزایش مقدار ضریب برآ با افزایش زاویه حمله در نزدیک سطح



شکل پ-۷- تغییرات ضریب برآی بالواره NACA0020 بر حسب زاویه حمله در ارتفاعات مختلف پروازی

۲-۶- مقایسه مقادیر ضریب برآی بالواره نزدیک سطح آب و زمین

در این بخش به مقایسه‌ی مقادیر ضریب برآی NACA0012 در ارتفاع ثابت از سطح آب و سطح زمین در زاویه‌های حمله‌های ۵، ۷.۵ و ۱۰ در شرایط حل یکسان پرداخته شده است، شکل ۸ نشان می‌دهد مقادیر ضریب برآ در بالواره نزدیک سطح زمین در همه‌ی موارد بیشتر از بالواره نزدیک سطح آب است، زیرا به هوای بین سطح پایین بالواره و سطح زمین نسبت به هوای بین سطح پایین بالواره و آب فشار بیشتری وارد می‌شود و باعث ایجاد اختلاف فشار بیشتری بین سطح بالا و پایین بالواره می‌گردد که در نتیجه مقدار ضریب برآی حاصل از اختلاف فشار بیشتر می‌باشد. در هر دو نمودار با افزایش زاویه حمله مقدار ضریب برآ افزایش پیدا کرده است اما تاثیر زاویه حمله بر ضریب برآی بالواره نزدیک سطح زمین بیشتر از سطح آب است.



شکل ۸- مقایسه‌ی تغییرات ضریب برآی NACA0012 در زاویه حمله‌های مختلف و ارتفاع ثابت ۱

- [13] H. Jasak, "Automatic Mesh Motion for The Unstructured Finite Volume Method", Transactions of FAMENA, v. M, n. February, 2006.

زمین بیشتر است در نتیجه تاثیر مثبت زاویه حمله در نزدیک زمین بیشتر است.

۹- مراجع

- [1] Wiesesberger C , " Wing resistance near the ground", no.10,pp. 145-147,1921.
- [2] Tsiolkovsky, K, "Air resistance and the express train, in *Air Cushion Vehicle History*", in Neptune Hovercraft Shipbuilding Company", 1927
- [3] Cui.E.J,Advance and problems in WIG vehicle researchand application".Proceedings of the High Performance Marine Vehicles Conference, Shanghai, China, Vol 1,No. 15, 2003,pp. 1-6
- [4] Rozhdestvensky, K.V. "Wing-in-ground effect Vehicles". *Prog. Aerosp. Sci.*, Vol 42 ,2006,pp211-283
- [5] J. Young and J. C. S. Lai, "Vortex Lock-In in the Wake of a Plunging Airfoil", univcrity of new south wales, australian defence force academy canberra, australian capital territory 2600, v. 45, n. 2, 2007, pp.485-490.
- [6] M. H. Djavareshkian, A. Esmaeli, and A. Parsani, "Aerodynamics of Smart Flap Under Ground Effect, AerospaceScience and Technology", v. 2, 2010, pp. 1-6.
- [7] M. H. Djavareshkian, A. Esmaeli, and A. Parsani, "Aerodynamics of Smart Flap Under Ground Effect, Aerospace Science and Technology", v.15, n.8, 2011, pp. 642-652.
- [8] J. Molina and X. Zhang, "Aerodynamics of a Heaving Airfoil in Ground Effect", univcrity of southampton,southampton,england s017 1bj,united kingdom,v. 49, n. 6,2011, pp.1168-1179.
- [9] J. Molina, X. Zhang, and D. Angland, "On The Unsteady Motion and Stability of a Heaving Airfoil In Ground Effect", acta mechanica sinica, v. 27,n.2, 2011, pp. 164-178.
- [10] Nikhil S.Pillai, Anil T, Aravind R, Rahul Vinod, Sudheesh Kumer E, Zahir Ummer Zaid, Antony J.K, Manojkumar M, "Investigation on Airfoil Operating in Ground Effect Region", J International Journal of Engineering & Technology, v.3, n.4, 2014, pp.540-544.
- [11] Saurabh Sharma, Shibu Clement, "Cfd Simulation of the Flow Characteristics of NACA0012, and DHMTU Airfoils in Ground Effect",Department of mechanical Engineering BITS-Pilani K.K Birla Goa Campus Zuarinagar, Goa 403726 India, no.8, 2014,pp.1-8.
- [12] Qiulin Qu, Zhe Lu, and Peiqing Liu, Ramwsh K.Agarwal "Namerical Study of Aerodynamics of a Wing-in-Ground-Effect Craft", Department of Mechanical Engineering and Materials Science Washington University in St. Louis, St. Louis,