

## مطالعه عددی یک هاورکرافت جهت دست یابی به یک پروفیل مناسب برای قطعه انتقال دهنده جریان هوا به داخل کانال جانبی

حسین صادقی<sup>۱</sup>، مهرشاد یساری<sup>۲</sup>، محسن پورفلاح<sup>۳\*</sup>،

محمد ملا علی پور<sup>۴</sup>، احمد علی ربیع نتاج درزی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم و فنون مازندران

۲- دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم و فنون مازندران

۳- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه علوم و فنون مازندران

۴- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه مازندران

۵- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه مازندران

\* m.pourfallah@ustmb.ac.ir

ارسال: اردیبهشت ماه ۹۸ پذیرش: خرداد ماه ۹۸

### چکیده

اساس کلی کار یک هاورکرافت این است که بر روی لایه ای از هوا حرکت می کند. این کار با استفاده از یک پروانه محقق می شود که هوای بیرونی را به درون محفظه هوا می کشد و سپس آن هوا را از طریق نازل هایی که بر روی رینگ های حلقوی در سرتاسر کفه مسطح هاورکرافت سوار شده اند به بیرون می راند. این هوای خروجی سپس به زمین برخورد می کند و در نتیجه از لبه های اطراف هاورکرافت فرار می کند. استفاده از این پروانه موجب پیدایش یک ناحیه با فشار هوای کم در بالای هاورکرافت و یک ناحیه با فشار هوای بیشتر در زیر هاورکرافت می شود. این اختلاف فشار باعث تولید نیروی بالا برنده می شود. آنالیز عددی سه بعدی انتقال جریان هوای آشفته تراکم ناپذیر در حالت دائمی از دریچه ورودی به داخل کانال در این مقاله با استفاده از نرم افزار آنسیس-فلونت صورت گرفته است. نتایج برای کانتورهای فشار، سرعت و منحنی نیروی لیفت برای پروفیل های قطعه هادی جریان از درجه دو و سه بررسی شده اند که در نهایت می توان به توزیع متوازن تر فشار و نیروی لیفت پروفیل درجه سه نسبت به درجه دو اشاره نمود.

کلمات کلیدی: هاورکرافت، قطعه انتقال دهنده جریان، کانال هوا، نیروی لیفت، دینامیک سیالات محاسباتی.

### ۱- مقدمه

هاورکرافت یک وسیله نقلیه منحصر به فرد می باشد. این وسیله به راحتی بر روی آب های آرام و زمین های مسطح حرکت می کند. در یک نگرش ساده، هاورکرافت شامل سازه ای دریایی است که بوسیله یک سیستم بالابر از سطح زمین بلند شده و در نهایت توسط سیستم رانش به حرکت درمی آید. بطور کلی، از جمله سیستم های اساسی هاورکرافت می توان به ساختارهای سیستم

بالابری شامل پروانه، کانال هوا و متعلقات و سیستم رانش و جلوبری که شامل ملخ، داکت و تجهیزات جانبی و همین طور سیستم های انتقال قدرت که شامل موتور، تجهیزات انتقال قدرت و متعلقات می باشند نام برد. بکار گیری از تجهیزات کنترلی رانش، به عنوان عاملی مهم در کنترل راستای حرکت شناور حائز اهمیت است. در برخی از مدل های هاورکرافت، با استفاده از داکت های گردان، جهت حرکت هاورکرافت تغییر می کند. سیستم کنترل گام ملخ و تغییر نیروی رانش نیز جزو تجهیزات کنترلی سیستم رانش محسوب می شوند. در این سیستم با استفاده از تغییر گام ملخ سرعت شناور کنترل می شود و در وضعیت گام صفر، سرعت به صفر کاهش می یابد. استفاده از ملخ دارای گام متغیر یکی از کارآمدترین شیوه های کنترل حرکت هاورکرافت است. امروزه از هاورکرافت به طور گسترده در کاربردهای تفریحی، امدادی، نظامی و... به عنوان دستگاهی برای حرکت در شرایط مختلف محیطی (روی آب، برف، یخ، چمن، آسفالت و...) استفاده می شود.

آمیرودین و همکاران [۱] با استفاده از نرم افزار نسترن-پترن آنالیزی بر روی قابل اطمینان بودن کامپوزیتی از جنس الیاف شیشه با روکش اپوکسی برای بدنه هاورکرافت انجام دادند. نتایج شبیه سازی آنها بر اساس دو اصل مقاوم بودن بدنه هاورکرافت در برابر فشارهای وارده و در عین حال سبکی وزن آن حاصل شد.

تجزیه و تحلیل و تطبیق موتور و پروانه هواناو جهت جلوگیری از مصرف زیاد سوخت و تنظیم کردن پارامترهای موتور و پروانه برای سازگاری با تغییرات در شرایط کاری هاورکرافت با استفاده از روش کنترل پیش بینی شده توسط وانگ و همکاران [۲] انجام شد.

اندرتون [۳] مطالعه ای بر روی عوامل ایجاد سر و صدا در هاورکرافت و مکانیسم اساسی تولید آن و همچنین روش های کنترل آن به عنوان عاملی جهت رفاه بیشتر در این وسایل حمل و نقل انجام داد. در این تحقیق نشان داده شده که در حقیقت سر و صدای اصلی نشأت گرفته از ساختار سبک دستگاه های انعطاف ناپذیر در هاورکرافت می باشد.

نیک سرشت و همکاران [۴] در مقاله خود مطالعه ای بر روی میدان جریان در اطراف ACV در مجاورت سطح آزاد با استفاده از یک الگوریتم سه بعدی با روش توسعه لاگرائژی در فضای محاسباتی انجام دادند که اثرات توزیع فشار زیر اسکرت، فاصله هوایی اولیه و اثرات عدد فرود بر ارتفاع موج و درگ موج مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصله حاکی از تطابق خوب با داده های تجربی بوده است.

کوهن و همکاران [۵] ارزیابی مقاومت امواج سطحی تولید شده توسط شناور متحرک در آبی با عمق محدود متشکل از دو لایه که لایه فوقانی را سیال غیر لزجی چون آب و لایه زیرین را سیال لزج (گل ولای) تشکیل می دادند، انجام دادند. محاسبات عددی آنها نشان داد که حداکثر مقاومت موج در مجاورت عدد فرود بحرانی روی می دهد.

آنالیز جریان درهم و پایای هوای اطراف یک هاورکرافت را با استفاده از روش عددی CFD برای بهینه سازی شکل هاورکرافت انجام و همینطور بهترین محل برای فن های بالابر توسط سعید و همکاران [۶] انجام شد. در شبیه سازی آنها از سه شکل مستطیلی، مستطیلی با جلو نیم دایره ای و مستطیلی با جلو مثلثی برای هاورکرافت بهره برده شده است که در نهایت هاورکرافت با شکل مستطیلی با جلوی نیم دایره ای به دلیل داشتن نیروی درگ اصطکاکی کمتر، مورد تأیید قرار گرفت.

کایا و اوزکان [۷] با استفاده از روش عددی CFD، جریان سه بعدی، تراکم ناپذیر، پایا و درهم هوای اطراف و درون یک مدل ساده هاورکرافت را بررسی کردند. نتایج حاصله از این تحقیق نشان داد نیروی لیفت هاورکرافت، با افزایش فاصله هوایی به صورت نمایی کاهش می یابد و به صورت خطی با فشار فن رابطه مستقیم دارد.

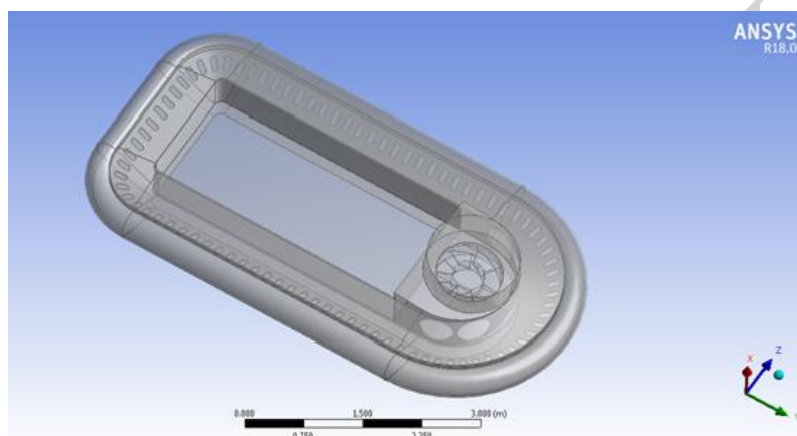
عدمی و تیرا [۸] تحلیل دو بعدی و سه بعدی جریان در داخل فن سیستم بالابرنده یک هاورکرافت را با استفاده از نرم افزار گمبیت - فلونتت به منظور بررسی توزیع سرعت و فشار در داخل فن در دبی های مختلف به صورت منحنی هایی مورد بررسی قرار دادند که مقایسه نتایج حاصله با نتایج تئوری حالت ایده آل تطابق نسبتاً خوبی را نشان داد.

بررسی عددی جریان آشفته و تراکم ناپذیر در یک هاورکرافت دو موتور کلاس متوسط با استفاده از نرم افزار انسیس-فلوئنت توسط ملاعلی پور و همکاران [۹] انجام شده است. رسیدن به توزیع یکنواخت تر سرعت و فشار در طول هاورکرافت با بکارگیری تیغه هادی جریان مضمون این تحقیق بود که نهایتاً توزیع متوازن سرعت و فشار و در پی آن افزایش ۳ درصدی نیروی لیفت با افزایش طول تیغه مشاهده شده است.

بکارگیری قطعه ای با پروفیل مناسب جهت هدایت بهتر جریان هوای عمودی در ورودی به صورت افقی با اتلاف هر چه کم تر در داخل کانال، برای رسیدن به یک نیروی لیفت بهتر در این مقاله با استفاده از نرم افزار انسیس-فلوئنت مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- هندسه مسئله و معادلات حاکم

جریان هوای درهم، سه بعدی و گذرنده از فن در حالت پایدار، به داخل کانال جانبی هاورکرافت به منظور ایجاد نیروی لیفت در این جا مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور از نرم افزار انسیس-فلوئنت بهره برده شده است. شکل ۱ بیانگر مدل در نظر گرفته شده در این مقاله می باشد.



شکل ۱- هندسه هاورکرافت

همانطور که در شکل بالا ملاحظه می شود فرض شده که هاورکرافت در حالت کار باشد و انتهای بالشتک آن حدود ۲ سانتیمتر از زمین فاصله داشته باشد. معادلات بکار رفته در این مسئله عبارتند از:

معادله پیوستگی:

$$\partial_t(\rho) + \partial_i(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

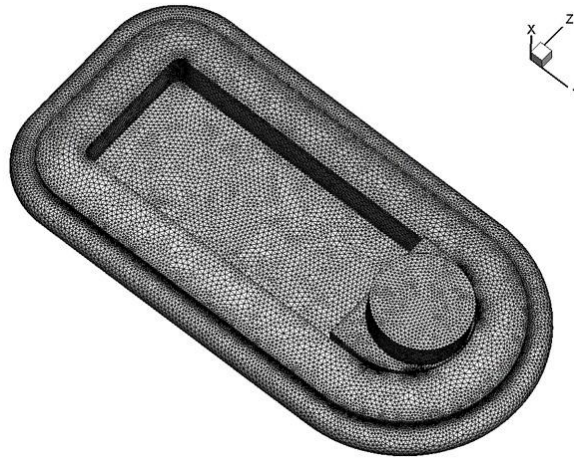
معادله مومنتوم:

$$\partial_t(\rho u_i) + \partial_j(\rho u_i u_j) = \mu \partial_{jj} u_i - \partial_i P + \rho g_i + S_i \quad (2)$$

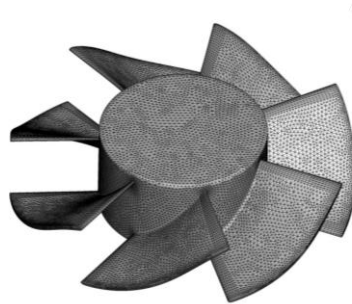
به علاوه برای مدل کردن جریان آشفته نیز از روش k-ε-realizable بهره برده شده است. شبیه سازی جریان چرخشی فن با استفاده از روش frame motion انجام شده است و سرعت دورانی در نظر گرفته شده ۳۴۰۰ rpm می باشد. برای میانمایی معادله فشار از روش استاندارد و برای معادلات مومنتوم از روش طرح بالا دست مرتبه دوم استفاده شده است. به علاوه جهت تسریع در رسیدن به جواب برای معادلات انرژی جنبشی و پتانسیل از روش طرح بالا دست مرتبه اول استفاده شده است. لازم به ذکر است از الگوریتم سیمپل برای کوپلینگ فشار-سرعت استفاده شده است.

### ۲-۱- شبکه بندی

با توجه به پیچیدگی مدل مورد نظر، عمدتاً از مش های ۴ وجهی، در شبکه بندی بهره برده شده است. همچنین به علت اینکه گرادیان در نزدیکی دیواره بسیار است در شبکه بندی از مش لایه مرزی استفاده شده است. در شکل های ۲ و ۳ هندسه شبکه بندی شده به نمایش در آمده است.

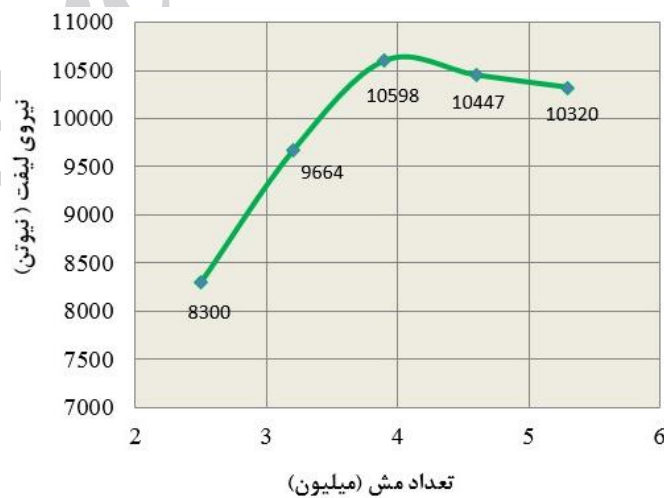


شکل ۲- مش بدنه هاورکرافت



شکل ۳- مش سطح فن

شبکه مطلوب از میان ۵ شبکه بندی با تعداد مش های مختلف انتخاب شده که نتایج حاصله از مقدار نیروی لیفت هر کدام پس از شبیه سازی در شکل ۴ گردآوری شده اند:

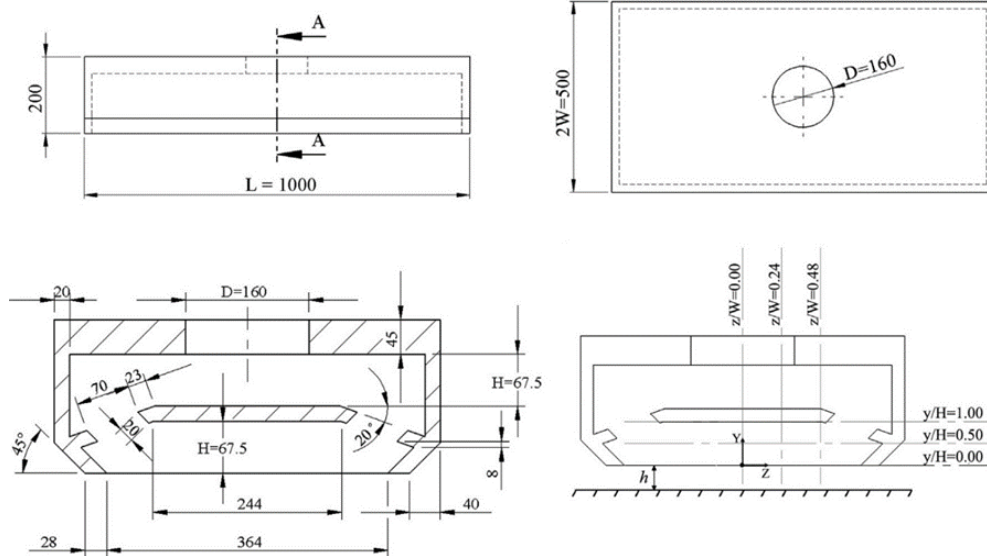


شکل ۴- نمودار استقلال حل از شبکه

با توجه به نمودار بالا، شبکه بندی با تعداد سلول  $3938025$  و نیروی لیفت  $10598$  نیوتن اتخاذ شده است که حدود ۲ درصد با نیروهای لیفت حاصله از شبیه سازی با تعداد مش های  $4.6$  و  $5.3$  میلیون اختلاف دارد که به معنای دقت خوب شبکه بندی می باشد. لازم به ذکر است در شبکه بندی انتخاب شده تعداد سلول بکار رفته برای فن و بدنه هاورکرافت به ترتیب  $966119$  و  $2971906$  می باشد. مینیمم سایز مش بکار رفته  $3$  میلیمتر می باشد.

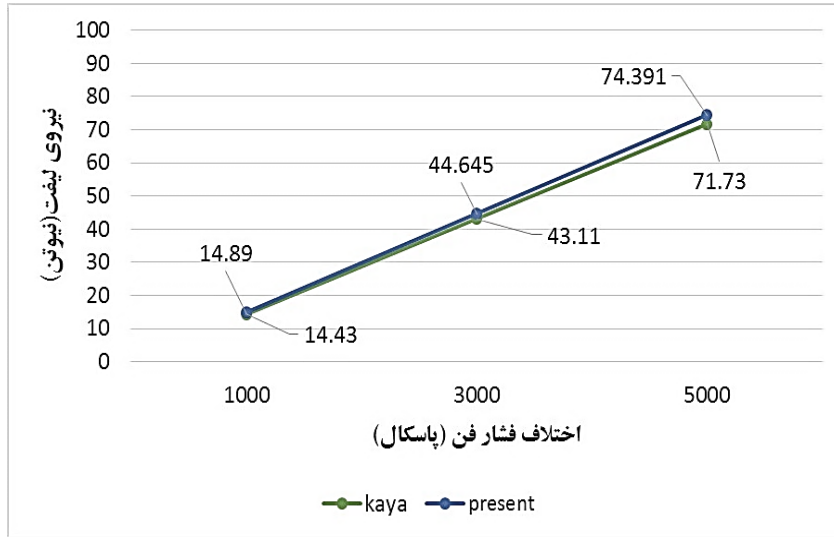
## ۲-۲- صحت سنجی روش حل

به منظور صحت سنجی از یک هاورکرافت ساده تر مدل شده توسط کایا و از کان [۷] بهره گیری شده است. در شکل ۵ هاورکرافت مذکور نشان داده شده است.



شکل ۵- مدل ساده هاورکرافت

به علت تقارن موجود نیمی از هندسه مدل شده و در مرز تقارن از شرط سیمتری استفاده شده است. یک فضای محاسباتی در اطراف هاورکرافت در نظر گرفته شده و در قسمت ورودی هاورکرافت از شرط مرزی فن استفاده شده است. فاصله هوایی  $20$  میلیمتر در نظر گرفته شده و برای سه اختلاف فشار متفاوت  $1000$  و  $3000$  و  $5000$  پاسکال نتایج مورد ارزیابی قرار گرفتند. معادلات حاکم بر میدان جریان کاملاً آشفته است و جریان تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده و معادله انرژی بکار گیری نشده است. از روش توربولانسی کا اپسین استاندارد استفاده شده است. برای معادله مومنتوم از طرح اختلاف بالادست مرتبه دوم و برای سایر مدل آشفتگی از آپویند مرتبه اول برای تمامی متغیرها استفاده شده است. شکل ۶ نشان دهنده تطابق نیروی لیفت بدست آمده از حل عددی در نرم افزار با حل عددی توسط کایا دارد.

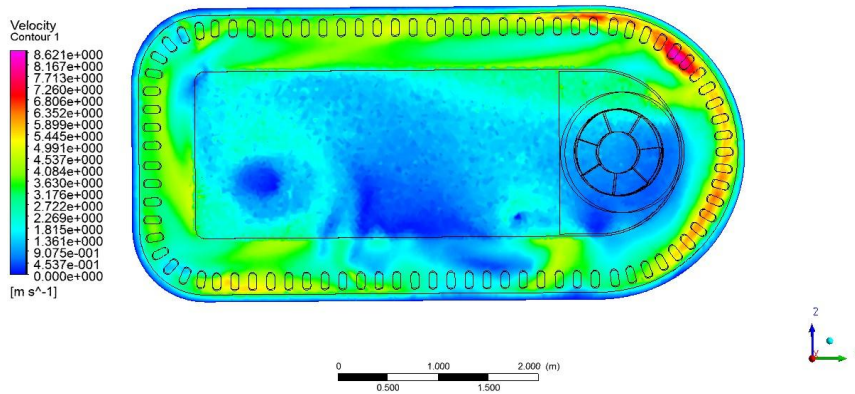


شکل ۶- صحت سنجی نتایج

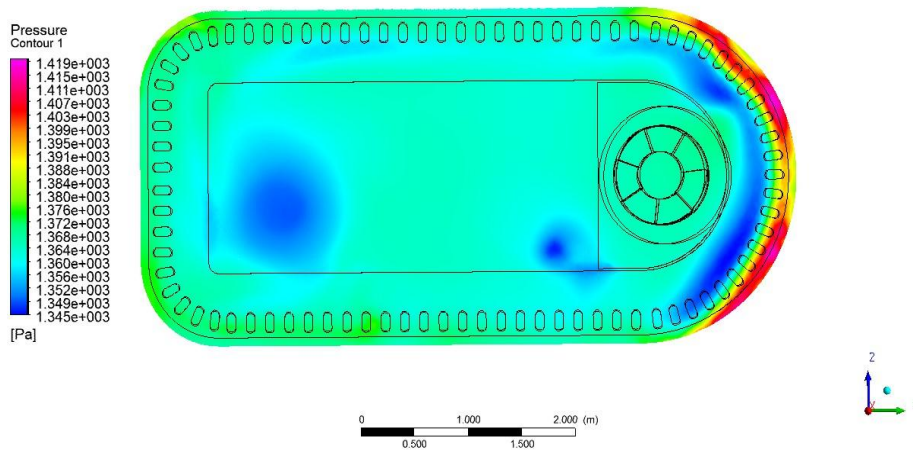
### ۳- بحث و بررسی نتایج

پس از حل معادلات در نرم افزار فلونت، نتایج بصورت کانتور هایی به نمایش درآمده است. شکل های ۷ و ۸ به ترتیب کانتورهای توزیع سرعت و فشار را برای هاورکرافت نشان می دهند.

ANSYS  
R18.0

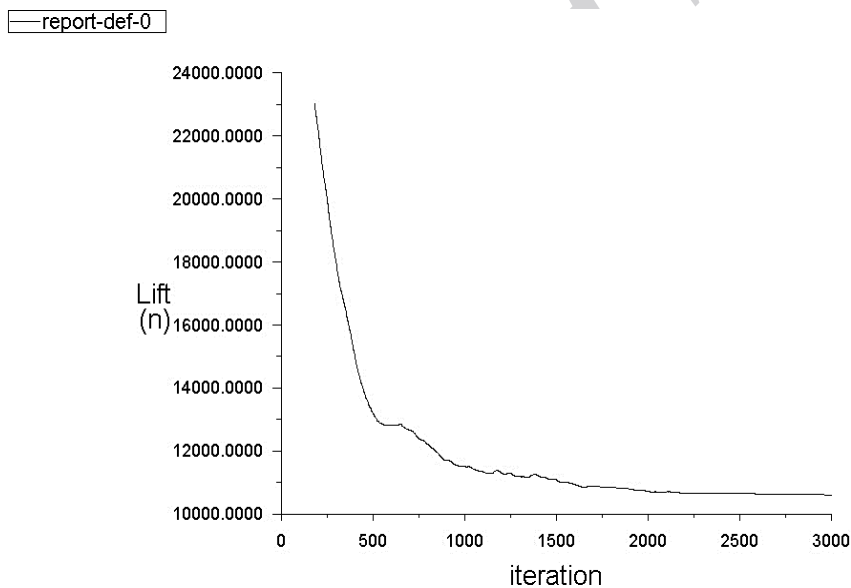


شکل ۷- کانتور سرعت در صفحه افقی زیر سازه برای قطعه درجه دو با ارتفاع ۲۷۰ میلی متر



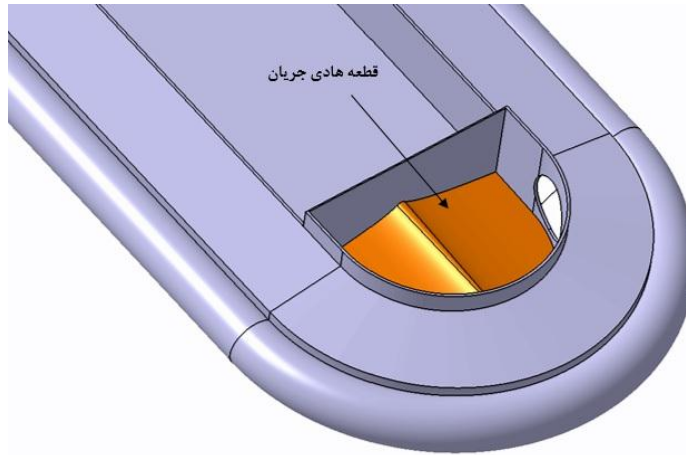
شکل ۸- کانتور فشار در صفحه افقی زیر سازه برای قطعه درجه دو با ارتفاع ۲۷۰ میلیمتر

همان طور که از شکل‌های بالا مشخص است، به علت قرار گیری فن در جلوی هاورکرافت، فشار در قسمت جلو بیش تر از سایر قسمت‌ها است. جریان چرخشی ناشی از فن در برخی از بخش‌ها نمایان شده است که توزیع فشار را تا حدی نامتوازن کرده است. شکل ۹ مقدار نیروی لیفت حاصل شده را نشان می‌دهد که تقریباً به عدد ثابتی رسیده است.

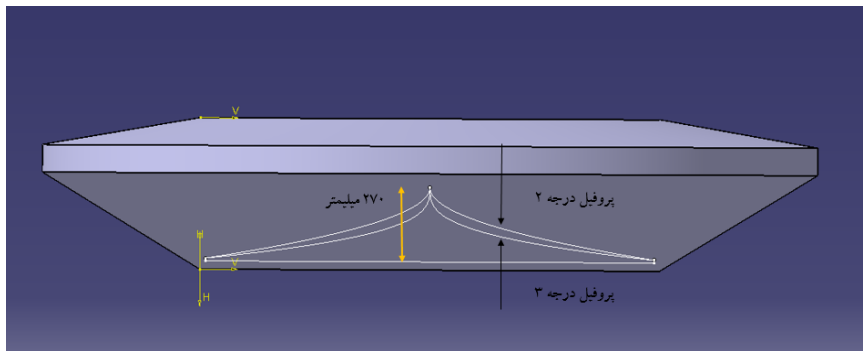


شکل ۹- نمودار لیفت هاورکرافت اولیه

با توجه به مطالب ذکر شده در قسمت قبل، به منظور دستیابی به نیروی لیفت و توزیع متوازن تر فشار، پروفیل قطعه با درجه سه و با همان ارتفاع، در نرم افزار کتیا ترسیم شده و پس از آن در نرم افزار انسیس-فلوئنت با در نظر گرفتن شرایط یکسان با تحلیل بدست آمده اولیه، مورد آنالیز قرار گرفت. شکل ۱۰ نمای سه بعدی از هاورکرافت و قطعه موردنظر را نشان می‌دهد. به علاوه در شکل ۱۱ نیز که نمای جلوی هاورکرافت را نشان می‌دهد، دو پروفیل با ارتفاع ۲۷۰ و از درجه‌های مختلف دو و سه ترسیم شده‌اند.



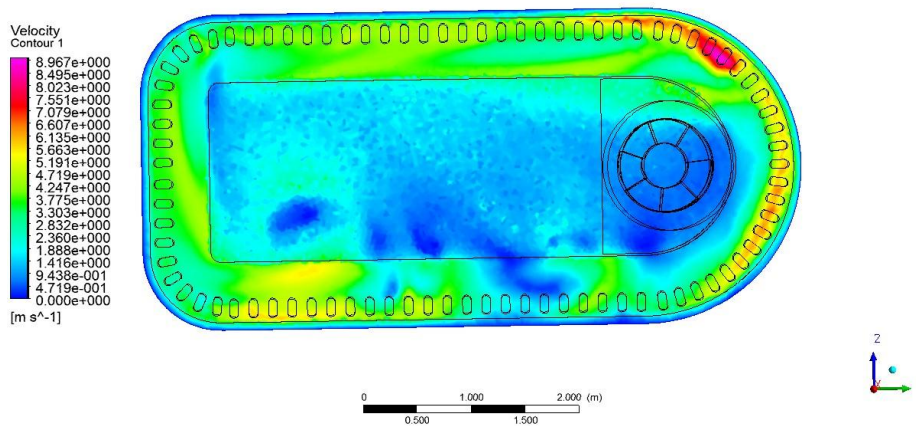
شکل ۱۰- نمای سه بعدی از هاورکرافت و قطعه موردنظر



شکل ۱۱- نمای جلوی هاورکرافت با دو پروفیل با ارتفاع ۲۷۰ و از درجه های مختلف دو و سه

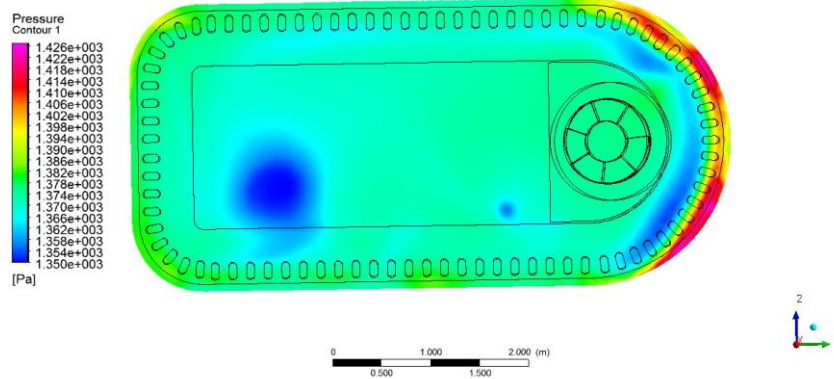
در این قسمت نتایج حاصل شده در نرم افزار انسیس- فلونت به صورت کانتورهای فشار و سرعت به نمایش در آمده اند تا از میان آنها پروفیل مناسب جهت توزیع بهتر هوا و ایجاد یک نیروی لیفت مناسب معین گردد. کانتور شکل های ۱۲ و ۱۳ برای پروفیل قطعه درجه سه با ارتفاع ۲۷۰ میلیمتر به نمایش در آمده است.

ANSYS  
R18.0



شکل ۱۲- کانتور سرعت در صفحه افقی زیر سازه برای قطعه درجه سه با ارتفاع ۲۷۰ میلیمتر





شکل ۱۳- کانتور فشار در صفحه افقی زیر سازه برای قطعه درجه سه با ارتفاع ۲۷۰ میلی‌متر

همان طور که از شکل‌های بالا مشخص است، فشار در هاورکرافت به شکل نامتوازی توزیع شده که مسبب ایجاد جریان چرخشی در هاورکرافت می‌باشد. توزیع سرعت در قسمت جلوی هاورکرافت به دلیل وجود فن، زیاد است و مقدار نیروی لیفت ۱۰۶۵۹ نیوتن است. نتایج حاصله از پروفیل قطعه با درجه دو نشان دهنده توزیع نامتوازن تر فشار نسبت به پروفیل قطعه با درجه سه است و مقدار نیروی لیفت حاصل شده ۱۰۵۹۸ نیوتن می‌باشد.

تغییر شکل در نظر گرفته شده در قسمت قبل به منظور متوازن تر نمودن توزیع فشار و حاصل شدن یک نیروی لیفت بیش تر در زیر سازه هاورکرافت مورد تحلیل قرار گرفت که در نهایت قطعه با پروفیل درجه سه بیشترین نیروی لیفت ممکنه را ایجاد نمود. در ضمن، از لحاظ متوازن بودن فشار، پروفیل درجه سه از درجه دو در بیشتر قسمت‌ها بهتر بوده و نیروی لیفت بهتری را ایجاد نموده است. جریان چرخشی در پروفیل درجه سه در نواحی کم‌تری بوجود آمده اما در پروفیل درجه دو نواحی بیش‌تری را تحت تأثیر خود قرار داده است.

در جدول ۱ مقادیر نیروی لیفت برای شکل‌های مختلف پروفیل قطعه گردآوری شده است.

جدول ۱- مقادیر نیروی لیفت برای پروفیل‌های مختلف قطعه هادی جریان

شکل قطعه در نظر گرفته شده	پروفیل درجه دو با ارتفاع ۲۷۰ میلی‌متر	پروفیل درجه سه با ارتفاع ۲۷۰ میلی‌متر
نیروی لیفت حاصل شده	۱۰۵۹۸ نیوتن	۱۰۶۵۹ نیوتن

#### ۴- نتیجه‌گیری

مسئله ایجاد فشار متوازن و نیروی لیفت متناسب تر در طول هاورکرافت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد که در این تحقیق سعی بر آن بوده است که با تغییر پروفیل قطعه، این امر تحقق یابد. به همین منظور پس از طراحی دو پروفیل مختلف برای قطعه هادی جریان و اعمال شرایط مرزی در نرم افزار انسیس-فلوئنت، نتایج بصورت کانتورهای فشار و سرعت نشان داده شده اند که نتایج حاصل شده بیانگر بهتر هدایت شدن جریان هوا در پروفیل درجه سه نسبت به درجه دو و ایجاد نیروی لیفت بیش‌تر می‌باشد.

#### ۵- مراجع

1. Amiruddin, A.K., Sapuan, S.M. and Jaafar, A.A., (2008), Analysis of glass fibre reinforced epoxy composite hovercraft hull base, Materials and Design, Vol. 29, p.1453-1458.

2. Wang, Y., Zhang, F. and Wang, C., (2017), Research on Optimization Control of the Hovercraft-Engine-Propeller Matching, 29th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), p.2768- 2773.
3. ANDERTON, D., (1972), INTERNAL NOISE REDUCTION IN HOVERCRAFT, Journal of Sound and Vibration, Vol. 22, p. 343-359.
4. Nikseresht, A.H., Alishahi, M.M. and Emdad, H., (2008), Complete flow field computation around an ACV (air-cushion vehicle) using 3D VOF with Lagrangian propagation in computational domain, Computers and Structures, Vol. 86, p. 627-641.
5. Cohen, M., Miloh, T., Zilman, G., (2001), Wave resistance of a hovercraft moving in water with nonrigid bottom, Ocean Engineering, Vol. 28, p. 1461-1478.
6. Saeid, N.H., Yunus, E. and Fei, O.C., (2014), CFD SIMULATION OF AIR FLOW AROUND A HOVERCRAFT, 5th Brunei International Conference on Engineering and Technology.
7. 4- Kaya, K. and Özcan, O., (2013), A numerical investigation on aerodynamic characteristics of an air-cushion vehicle, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 120, p. 70-80.

۸. محمود عدمی، عبدالواحد تیرا، (۱۳۸۵)، تحلیل جریان در داخل فن سیستم بالا برنده هواناو، چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، اصفهان، ایران.

۹. محمد ملاعلیپور، سید امیرحسین ایمانی پارسا، احمد علی ربیع نتاج درزی. (۱۳۹۶)، بررسی عددی تاثیر تیغه هادی جریان بر روی توزیع فشار و نیروی لیفت هاورکرافت، اولین کنفرانس بین المللی فناوری های نوین در علوم، آمل، ایران.

Archive of SID