

شبه سازی عددی هندسه ها بر پایه ی متد RANS با استفاده از روش VOF، همراه با بکارگیری روش sliding mesh در ضرایب پیشروی با ماکسیموم افیشنسی صورت گرفته است. نتایج عددی مطابقت خوبی با داده های تجربی دارد. در نهایت توزیع فشار و پترن هوادهی روی پره ها و همچنین ضریب فشار مقاطع مختلف در هندسه های مختلف با هم مقایسه شده است.

### 1-1-1-1 متد حل عددی

اساس روش عددی، مدل سازی جریان دو فازی آب و هوا به صورت همزمان و حل معادلات بقای جرم و ممنتوم با استفاده از روش المان محدود به صورت انتگرالی است. انتگرال ها تقریبی بوده و از قانون نقطه ی متوسط حل می شوند. معادلات بقای جرم و ممنتوم برای جریان غیر قابل تراکم پیوسته مطابق با معادلات زیر... می باشد.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1-3)$$

$$\rho \left[ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] = \bar{B}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right] \quad (2-3)$$

جهت حل معادلات از روش RANS استفاده شده است که در واقع معادلات متوسط زمانی برای حرکت جریان سیال می باشند. ایده تشکیل دهنده این معادلات، تجزیه ترم رینولدز است که به وسیله آن یک مقدار لحظه ای، به مقادیر متوسط زمانی و نوسانی خود تجزیه شده است. از معادلات RANS برای توصیف جریان های آشفته استفاده میشود. این معادلات بر اساس خواص جریان آشفته، تقریبی از حل های متوسط زمانی معادلات ناویرستوکس ارائه میدهند. سمت چپ این معادله تغییراتی را در مومنتوم اجزای سیال با توجه به ناپایداری و جابجایی در جریان متوسط نمایش میدهد. این تغییرات به وسیله نیروهای جسمی، تنش های ایزوتروپیک مربوط به میدان فشار، تنشهای لزجی و تنش های ظاهری مربوط به سرعت نوسانی (که به تنش های رینولدز معروفند) متوازن میشوند. حل ترم غیرخطی تنش آشفتگی یا تنش رینولدز  $(\overline{\rho u'_i u'_j})$ ، نیاز به مدلسازی اضافی به منظور نزدیکی به معادله RANS دارد. روشهای مختلفی برای مدل سازی تنش رینولدز ارائه شده است و هر روش متناسب با یک جریان خاص است (ویلکاکس ، 1998). در اینجا، از مدل تلاطم k- $\omega$  SST استفاده شده است. این مدل تلاطم ترکیبی از مدل های k- $\epsilon$  و k- $\omega$  است. به طوری که از مدل k- $\omega$  در منطقه داخلی لایه مرزی (نزدیک دیواره) استفاده می شود و در جریان برشی آزاد (دور از دیوار) به k-epsilon تغییر می یابد. کاربرد روابط کا اومگا در بخش درونی لایه مرزی باعث میشود که این مدل در تمام

ناحیه زیر لایه لزج نزدیک دیواره عملکرد بسیار مناسبی داشته باشد و لذا مدل SST میتواند به عنوان یک مدل آشفتگی رینولدز پایین بدون هیچ گونه تابع میرایی اضافی مورد استفاده قرار گیرد. روابط SST در جریان آزاد به رفتار کا اسیلون گرویده میشود و از مشکلات کا اسیلون که به خواص آشفتگی جریان آزاد ورودی بسیار حساس است، جلوگیری میکند. بنابراین، از مزایای هر دو مدل استفاده می شود که همگرایی خوب مدل  $k-\epsilon$  و دقت بالای مدل  $k-\omega$  در مجاورت دیوار است (منصورزاده و جوانمرد، 2014). پژوهشگرانی که از مدل آشفتگی SST استفاده میکنند، عقیده دارند که این مدل رفتار بسیار مناسبی در جدایش جریان و گرادیان فشار معکوس از خود بروز میدهد (منتتر و همکاران، 2003).

در شبیه سازی پروانه نیمه مغروق سطح آزاد آب و فاز هوای ورودی به آب اهمیت بالایی دارد. به طور طبیعی سطح آزاد، جریان را در پروانه تغییر می دهد و ما مجبور به مدل کردن حرکت سریع آب ورودی و خروجی پروانه هستیم. میدان جریان، به عنوان یک جریان دوفازی بین آب و هوا مدل سازی شده است. مدل (VOF) volume of fraction، جهت مدل سازی سطح آزاد (free surface) استفاده شده است. مدل (VOF)، توانایی مدل کردن یک میدان جریان شامل چند سیال مخلوط نشدنی را داراست. در این مدل به جای حل هر فاز به صورت جداگانه، معادلات حاکم بر جریان (به عنوان مثال، معادلات حرکت و پیوستگی) به طور همزمان برای یک سیال موثر با خواص فیزیکی متغیر نسبت به ضریب فاز حل می شوند. ارزیابی نسبت حجمی در ناحیه اینترفیس بین سیال های مختلف با روش surface-capturing بر پایه ی متد HRIC<sup>1</sup> صورت می گیرد. این روش توسط [46] Muzaferija برای گرفتن الگوی جریان تهویه تولید شده توسط پروانه پیشنهاد شده است. حل معادلات پیوستگی برای نسبت حجمی یک یا تعدادی از فازها انجام می شود. معادله انتقال volume fraction بر پایه معادله پیوستگی تعیین می گردد. خصوصیات موثر بر حسب درصد حضور آب و هوا، مطابق با معادلات (3-3) و (3-4) به صورت میانگین وزنی (material locally-weighted properties) بدست می آید.

$$\mu_{\text{eff}} = \alpha\mu_{\text{water}} + (1 - \alpha)\mu_{\text{air}} \quad (3 - 3)$$

$$v_{\text{eff}} = \alpha v_{\text{water}} + (1 - \alpha)v_{\text{air}} \quad (4 - 3)$$

در این فانکشن عدد 1 به معنی آب و صفر به معنی هوا می باشد.  $0 < \alpha < 1$ ، سل هایی که در سطح آزاد هست را توصیف می کنند. در نهایت معادلات نویراستوکس در کل دومین محاسباتی برای سیال موثر با دانسیته و گرویتی محاسبه شده حل خواهد شد.

در شبیه سازی جریان پروانه نیمه مغروق، باید شبکه های ثابت و چرخان با هم ترکیب شوند. بر خلاف پروانه های مغروق، جریان در تحلیل پروانه نیمه مغروق، یکنواخت فرض نمی شود چراکه بارهای هیدرودینامیکی وارد بر پره وابسته به زمان می باشد لذا شبیه سازی میدان جریان در اطراف SPP ها به صورت گذرا از انجام شود. جریان در طول یک یا چند دور چرخش کامل پروانه دنبال می شود. در این حالت جهت شبیه سازی چرخش پروانه در حالت گذرا از روش مش لغزان<sup>۲</sup> استفاده خواهد شد. در این روش حوزه محاسباتی باید به دو قسمت تقسیم شود، بخش خارجی ثابت است که مرزهای دومین شبیه سازی را ایجاد می کند و سیلندر داخلی شامل پروانه بوده و در داخل بخش خارجی قرار می گیرد. در هر مرحله ی زمانی سیلندر درونی به اندازه ای می چرخد و پروانه نیز با آن می چرخد. متغیرهای مطلوب در محل مرز لغزنده ی سطوح مشترک دو سیلندر آنها با یک طرح درون یابی<sup>۳</sup> منتقل می گردد. محور چرخش سیلندر داخلی می تواند به نمایندگی از شفت، در جهت دقیق انحراف آن قرار بگیرد. بدین ترتیب، محاسبه ی نیروی محوری آبی بر حسب موقعیت زاویه ای پره و مقدار انتگرالی تراست با درصد خطای کم، امکان پذیر است [57,58]. زمان نیز با استفاده از الگوی ضمنی اوپلری<sup>۴</sup> گسسته سازی شده است. تنظیمات مربوط به حل عددی به طور جزئی در جدول (1-3) اشاره شده است.

جدول (1-1) تنظیمات حل در نرم افزار انسیس فلونت

تنظیمات	موارد
k- $\omega$ SST	<u>مدل توربولانسی</u>
<u>Piso-copeld</u>	<u>کوپلینگ فشار و مومنتم</u>
<u>Less squares cell based</u>	<u>گسسته سازی گرادیان</u>
<u>PRESTO</u>	<u>گسسته سازی فشار</u>
<u>Secound order upwind</u>	<u>گسسته سازی مومنتم</u>
<u>Secound order upwind</u>	<u>گسسته سازی K</u>
<u>First order upwind</u>	<u>گسسته سازی w</u>
<u>Modify HRIC</u>	<u>گسسته ساز کسر حجمی</u>

2 Sliding mesh

3 interpolation scheme

4 Euler implicit scheme

## 1-2- شرط مرزی و شرط اولیه

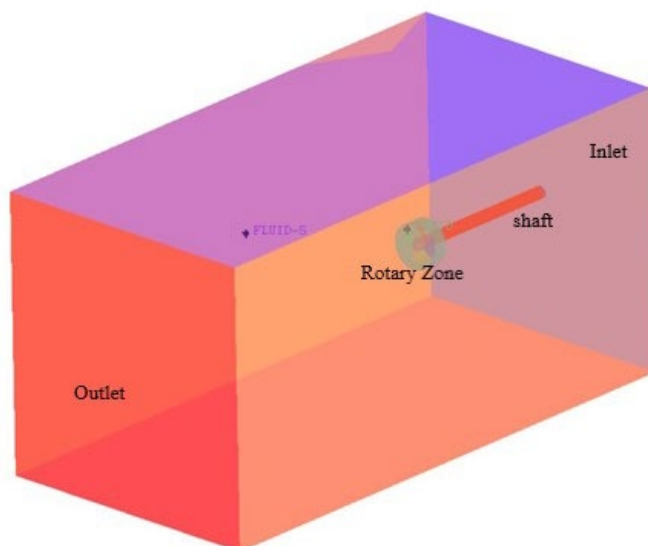
در نرم افزار فلوئنت جهت شبیه سازی سطح آزاد از شرط مرزی open channel، استفاده شده است. در این شرط مرزی فرض می شود که یک سطح آزاد بین جریان آب و سیال فوق آن (هوا) وجود دارد. در جریان های دارای سطح آزاد که معمولاً در کاربردهای دریایی وجود دارند، انتشار امواج و رفتار سطح آزاد از اهمیت بسیاری برخوردار است و نیروهای اینرسی و گرانش نیروهای غالب در جریان هستند. بنابراین، جهت حذف بازتاب عددی امواج در مرز خروجی، یک ترم اصلاحی<sup>5</sup> به نام numerical beach treatment، در معادله مومنتوم برای سلولهای نزدیک به مرز خروجی فشار اضافه می شود.

در ورودی پروانه، مؤلفه های سرعت، انرژی جریان آشفتنه و نرخ پراکندگی آن تعیین می شود و در خروجی، در راستای طولی گرادیان صفر ایجاد می گردد. در سطح پروانه هم با استفاده از اثر دیوار، شرایط بدون لغزش فراهم می شود. شرایط مرزی اطراف دومین هندسی به صورت slip در نظر گرفته است. شرط اولیه برای حل مسئله به گونه ای است که جریان سطح آزاد دو فازی شکل گرفته باشد و سرعت از ناحیه ورودی برای کلیه قسمت آب در نظر گرفته شده باشد.

جدول (1-2) شرایط مرزی دامنه محاسباتی

## 1-3- هندسه شبیه سازی

در شبیه سازی پروانه نیمه مغروق همانطور که قبلاً ذکر شد به دلیل وابسته بودن پارامترهای هیدرودینامیکی به زمان، هندسه کلی به دو بخش چرخان و ثابت تقسیم شده است. استوانه داخلی شامل پروانه بخش چرخان و مکعب بیرونی که شفت به صورت ثابت و مرزهای انتقال اطلاعات به قسمت چرخان در آن وجود دارد تقسیم می شود. به منظور ایجاد جریان دقیق در اطراف پروانه، و از بین بردن اثرات دیواره ها اندازه کل دامنه محاسباتی مطابق با تصویر... می باشد. همچنین ابعاد استوانه چرخان داخلی نیز نسبت به قطر پروانه برابر با 1.12 می باشد. این فاصله بر حسب مرجع.... به دلیل... انتخاب شده است.



شکل (1-1) هندسه شبکه شبیه سازی

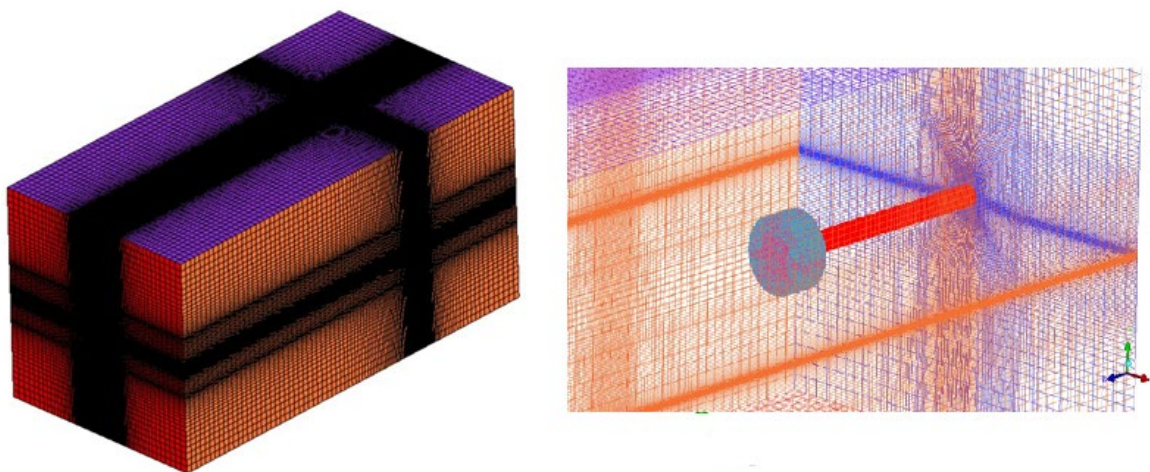
#### 1-4- شبکه بندی

شبکه بندی و فرآیند گسسته سازی میدان حل سهم قابل توجه ای در کیفیت حل میدان و دقت نتایج عددی دارا می باشد. وجود یک شبکه ی نامناسب می تواند بر همگرایی و پایداری روش عددی اثرگذار بوده و باعث ایجاد پاسخ نامطلوب در میدان جریان شود.

شبکه بندی میدان حل بر حسب دو بخش متحرک و ثابت به دو نوع تقسیم بندی شده است. در بخش متحرک، به دلیل هندسه پیچیده پروانه از متد مش بی سازمان (tetra) و همچنین شبکه لایه مرزی مطابق با شکل (1) استفاده شده است و در بخش ثابت از مش با سازمان از شبکه شش وجهی (Hexa) در نرم افزار ICEM CFD، شبکه مطابق با تصویر (2) تولید شده است. سطح آزاد آب مطابق با تست تجربی پروانه مدل، در عمق غوطه وری 0.4 فرض شده و در شبکه محاسباتی به جهت افزایش دقت ثبت تغییرات سطح آزاد از شبکه بندی ریزتر در این ناحیه مطابق با شکل (3)-3 استفاده شده است.



شکل (1-2) شبکه بندی سطح پروانه و سیلندر چرخان

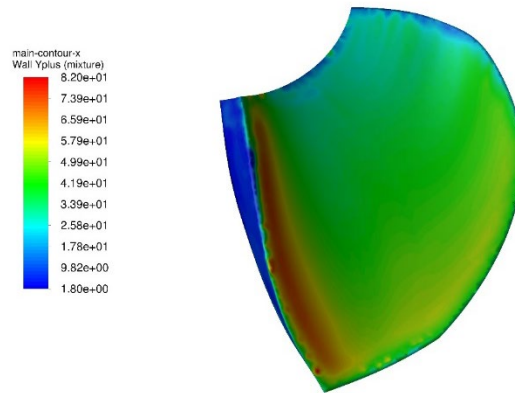


شکل (1-3) شبکه بندی بخش ثابت

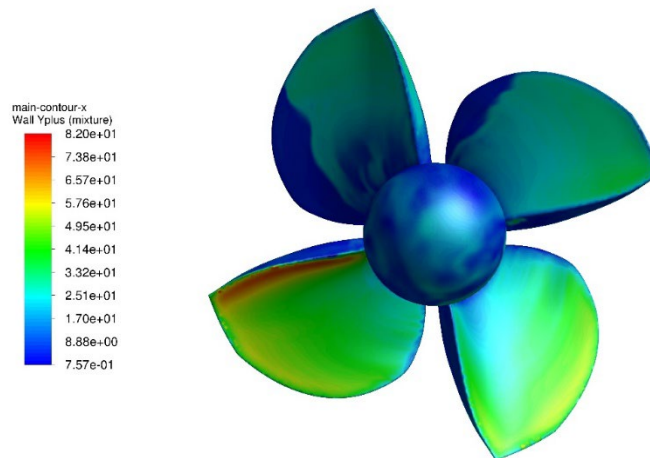
برای محاسبات صحیح نزدیک دیواره، شبکه نزدیک دیواره براساس فاصله بدون بعد  $y^+$  تولید می شود. مقدار  $y^+$  روی سطح بلید براساس شرایط کاری بین 30 تا 100 متغیر است. [2] که امکان شبیه سازی جریان در مجاورت سطح بلید با دقت مناسب و استفاده از رویکرد تابع خودکار دیواره را فراهم می کند. برای محاسبات اولیه  $y^+$  از معادله زیر در لایه مرزی روی سطوح صاف استفاده می شود:

$$\Delta y = L \times y^+ \times \sqrt{74} \times (Re)^{-\frac{13}{14}}$$

در این مطالعه، از تابع دیواره استاندارد و به همین دلیل شبکه های ریزتر و با کیفیت تری اطراف دیوار استفاده شده است. از آنجا که دامنه  $y^+$  کوچکتر از 100 است کیفیت بالای شبکه بندی اطراف پروانه را نشان می دهد.



شکل (1-4) کانتور  $y^+$  سطح پره



شکل (1-5) کانتور  $y^+$  سطح پروانه

## 1-5- استقلال از مش

دقت نتایج هیدرودینامیکی وابستگی بالایی به دقت مدل سازی هندسی، نوع و سایز شبکه بندی ها و شرایط فیزیکی به کار رفته در شبیه سازی دارد. بر این اساس جهت بررسی کیفیت و اندازه شبکه محاسباتی بررسی استقلال از شبکه را انجام شده است.

نیاز مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ( ) ذکر شده است. بر ساس این نتایج همگرایی حل در بین دو شبیه سازی 3 و 4 قرار می گیرد که جهت کاهش هزینه و زمان از مش 7 میلیون با مشخصات ذکر شده جهت

بررسی عملکرد پروانه در ضرایب پیشروی مختلف استفاده شده است. در قسمت لایه مرزی نیز از شبکه منظم hexa استفاده شده است، با توجه به محاسبات اندازه لایه اول 0.000245 و ضریب پیشرفت 1.2 تعداد 10 لایه قرار داده شده است.

جدول (1-3) بررسی خطای شبکه نسبت به شبکه بندی با 7 میلیون مش

E Kq %	E Kt %	Kq	Kt	تعداد المان ثابت (میلیون)	تعداد المان متحرک (میلیون)	تعداد المان (میلیون)	شماره شبیه سازی
-14.138	-18.2339	0.020	0.07804	0.8	1.2	2	1
-7.4815	-10.0572	0.022	0.08409	1.5	2.5	4	2
-3.0696	-3.92478	0.0235	0.0881	2.5	3.5	6	3
0.341072	0.572363	0.0246	0.0912	3	5	8	4

## 1-6- صحت سنجی حل

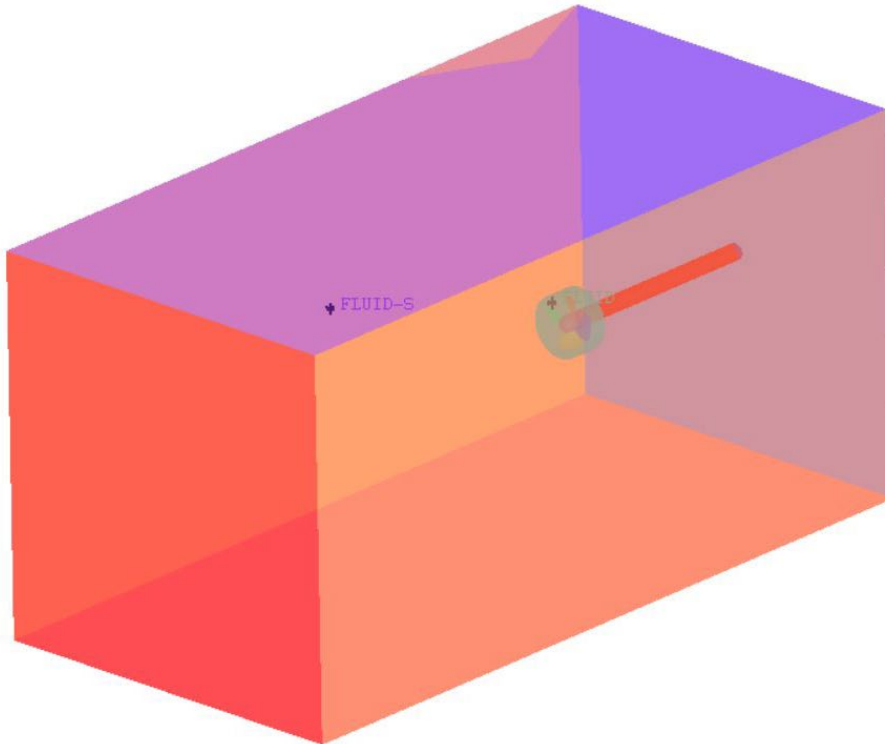
جهت ارزیابی نتایج عددی و تخمین دقت حل در ضرایب پیشروی مختلف، از نتایج تست تجربی ارائه شده در فصل اول، استفاده می شود

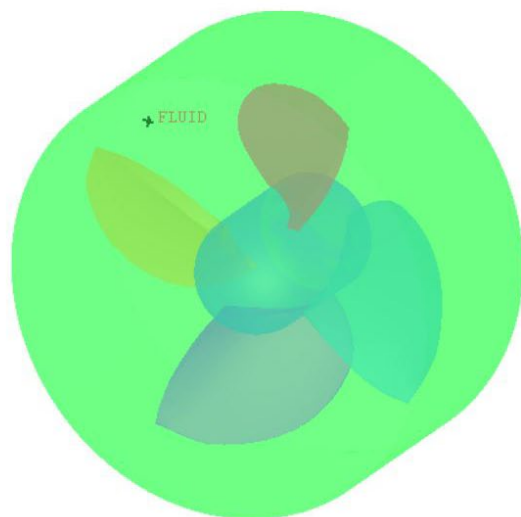


## شبکه بندی

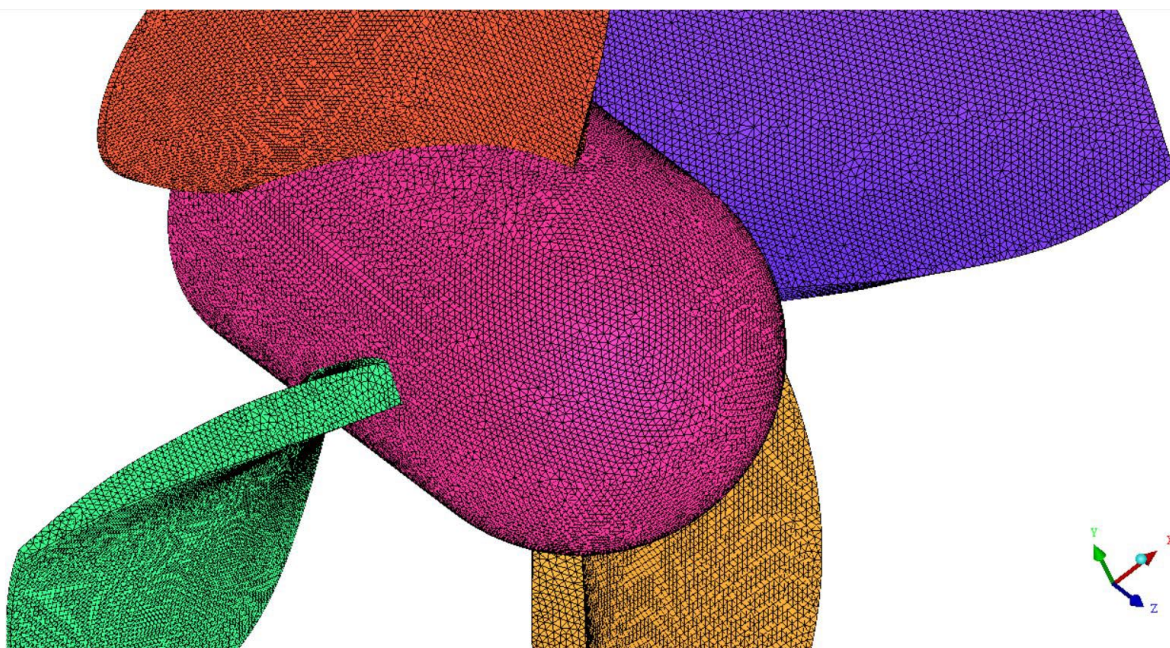
هندسه پروانه مورد نظر را در نرم افزار ICEM CFD شبکه بندی میکنیم.

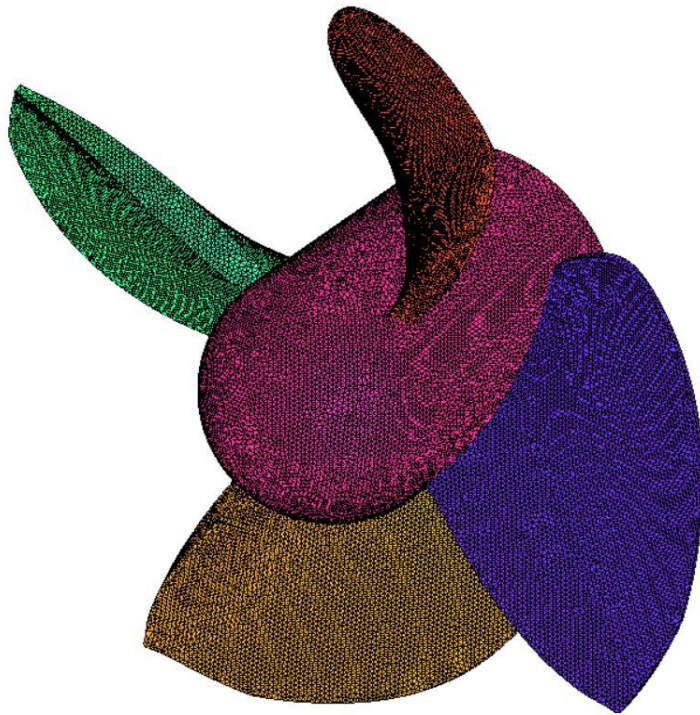
این شبکه بندی از بخش های مختلفی تشکیل شده است. شبکه بندی بخش متحرک یا روتاری دومین و شبکه بندی بخش ثابت یا استیشنری دومین به دو روش مختلف در این نرم افزار شبکه بندی می شوند.



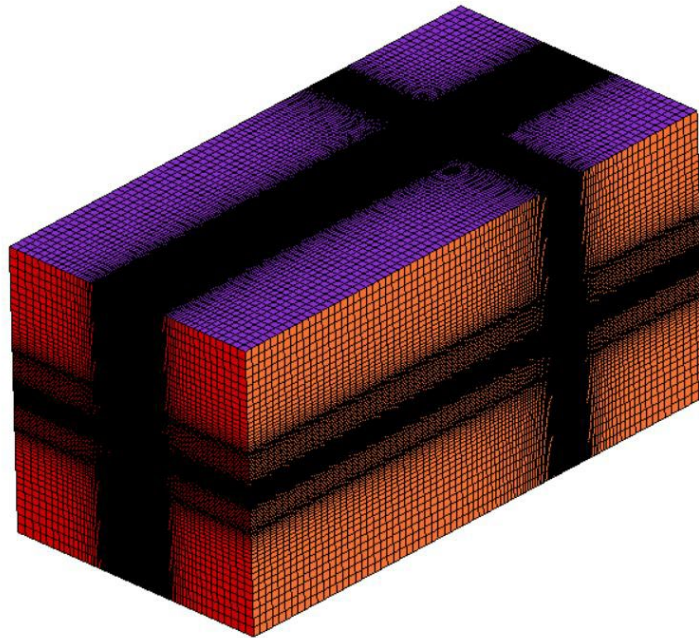
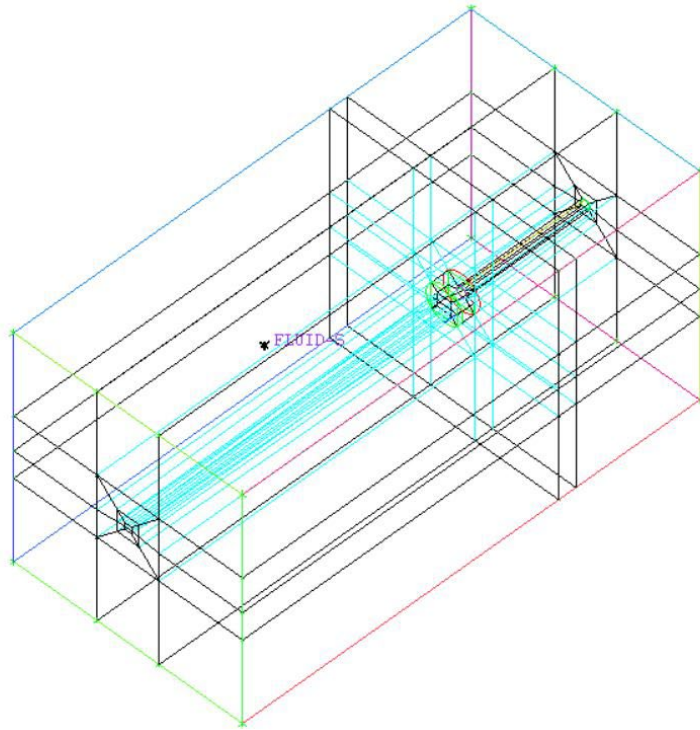


در بخش چرخشی استوانه ای با ابعاد 1.12 تا 1.15 برابر قطر پروانه رسم میشود که به این قسمت بخش روتاری میگویند. شبکه بندی بدون سازمان بخش چرخشی به این صورت است که ابتدا یک شبکه بندی Octree از مجموعه شبکه بندی های انسیس و سپس شبکه بندی به صورت Delaunay و سپس شبکه بندی بخش لایه مرزی انجام می شود.

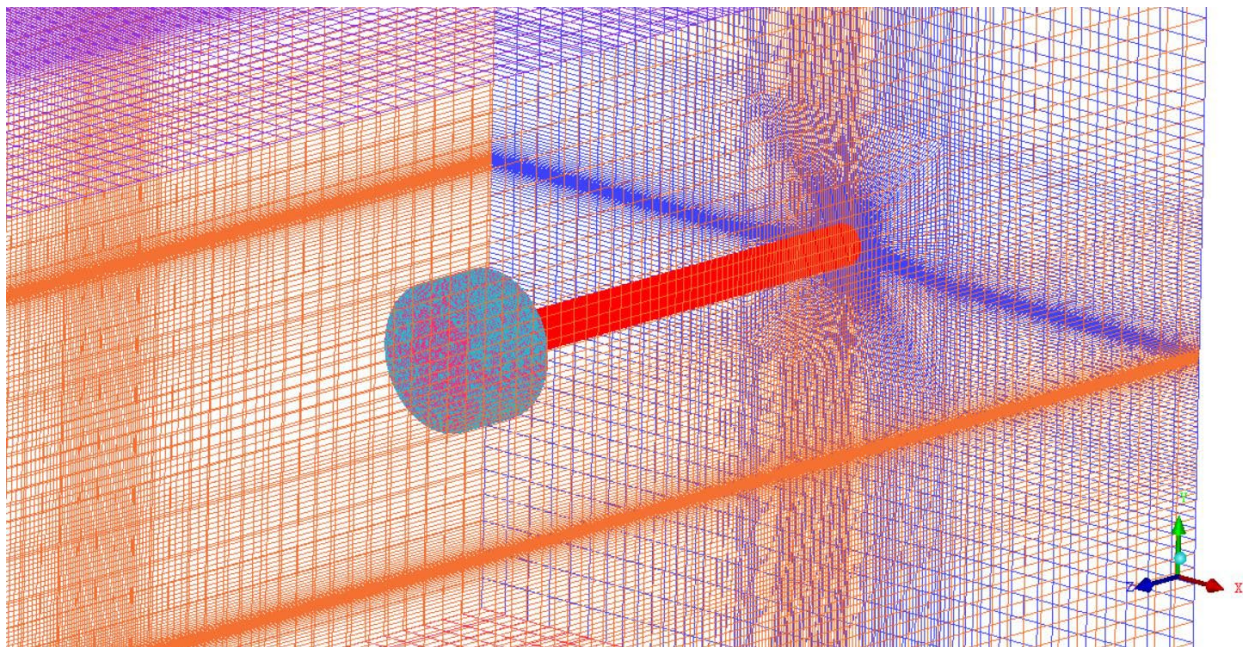




در بخش ثابت میدان حل با استفاده از بلاک بندی هندسه شبکه بندی به صورت ساختار یافته انجام می شود.  
در این شبکه بندی المان ها به صورت شش وجهی می باشد.

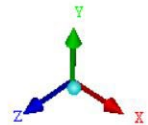
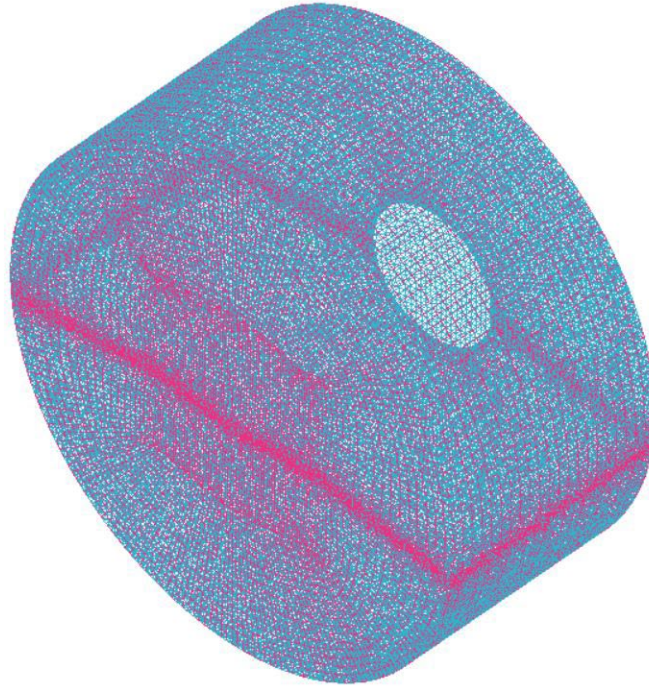


با توجه به نسبت مغزوقیت پروانه نیمه مغزوق، برای بهتر دیده شدن تفاوت بین سیال هوا و آب ترجیح داده شد که المان ها در این مرز سطح آزاد ریزتر شوند.



در محل اتصال دو سطح شبکه بخش چرخان و ثابت برای اینکه جریان به خوبی در بین دومین های محاسباتی (ZONE) رفت و آمت کند باید این دو سطح از کیفیت خوب و همچنین بر هم نهی نود ها و سلول های متناسبی برخوردار باشند. ب همین منظور سعی می شود این سطح ها با سائز المان مشابهی شبکه بندی شوند.





## استقلال از شبکه

برای رسیدن به شبکه بندی مطلوب از نظر دقت شبیه سازی و هزینه سیستم بررسی های مختلفی صورت گرفته که نتایج آن در قسمت های زیر شرح داده شده است.

شبکه های موجود در شبیه سازی در حالت کلی به دو بخش متحرک و ثابت تقسیم می شوند که در بخش متحرک از دو نمونه شبکه مثلثی (tetra) و چندوجهی (poly) و در بخش ثابت از شبکه شش وجهی (Hexa) به صورت شبکه منظم استفاده شده است.

در قسمت لایه مرزی نیز از شبکه منظم hexa استفاده شده است که میزان Y plus بر اساس آزمایشات انجام شده و همچنین با استفاده از تجربیات قبلی (رفرنس) بر رو مقدار میانگین 70 در نظر گرفته شده است و با توجه به محاسبات اندازه لایه اول 0.000245 و ضریب پیشرفت 1.2 تعداد 10 لایه قرار داده شده است.

مراحل بررسی استقلال از شبکه به این صورت است:

میزان تفاوت مقدار نیروی تراست با مرحله قبل	تعداد المان ثابت (میلیون)	تعداد المان متحرک (میلیون)	تعداد المان (میلیون)	شماره شبیه سازی
	0.8	1.2	2	1
	1.5	2.5	4	2
	2	3	5	3
	2.5	3.5	6	4
	3	4	7	5
	3.5	4.5	8	6

هر دو شبکه poly و tetra بر اساس این جدول تدوین شده اند.

نتایج حاصله از این شبیه سازی ها

1- سرعت حل در تعداد المان برابر شبکه tetra از polyhedral بیشتر است.

2- همگرایی شبکه polyhedral بهتر از شبکه tetra است.

3- مقایسه شبکه tetra و polyhedral در جریان های چندفازی برای اولین بار است که بررسی می شود. که با تکمیل این اطلاعات میتوان از این مقایسه در مقالات استفاده کرد.

4- شبکه 6 میلیونی tetra با مقدار تجربی حدود 12 درصد خطا دارد.

- بررسی تفاوت بین شبکه poly و Tetra در مش 6 میلیون
- در گزارش حاضر نتایج ضریب گشتاور آورده نشده اند ولی بررسی‌ها صورت گرفته و در حال تکمیل است.
- با توجه به بررسی شبیه سازی های 7 و 8 میلیونی که در حال ران هستند، شاهد کاهش میزان خطا از 12 درصد را خواهیم داشت و همچنین تفاوت نتایج شبکه 7 و 8 میلیونی پیش بینی میشود که از 5 درصد کمتر و نزدیک به 2 درصد خواهد بود. که در این صورت با توجه به کاهش هزینه و دریافت نتیجه مطلوب از شبکه 7 میلیونی به استقلال از شبکه خواهیم رسید.

## حل عددی

شبیه سازی پروانه نیمه مغروق در نرم افزار انسیس فلونت 2019 با متود حجم محدود انجام شده است. این حل با استفاده از متود اسلایدینگ مش و مدل دوفازی VOF در زیر مدل سطح آزاد برای پروانه نیمه مغروق در نظر گرفته شده است.

خلاصه ای از متود های حل در نرم افزار فلونت به صورت خلاصه در جدول پایین آمده است.

در این حل از مدل تورولانسی (k-w sst (Standard wall Functions) استفاده شده و همچنین برای کوپلینگ سرعت و فشار از الگوریتم پیزو استفاده می‌شود. الگوریتم های این شبیه سازی به صورت زیر است.

k-e realizable standard wall function	مدل توربولانسی
piso	کوپلینگ فشار و مومنتم
Less squares cell based	گسسته سازی گرادیان
PRESTO	گسسته سازی فشار
Secound order upwind	گسسته سازی مومنتم
Secound order upwind	گسسته سازی K
First order upwind	گسسته سازی W
Modify HRIC	گسسته ساز کسر حجمی



## شرایط مرزی

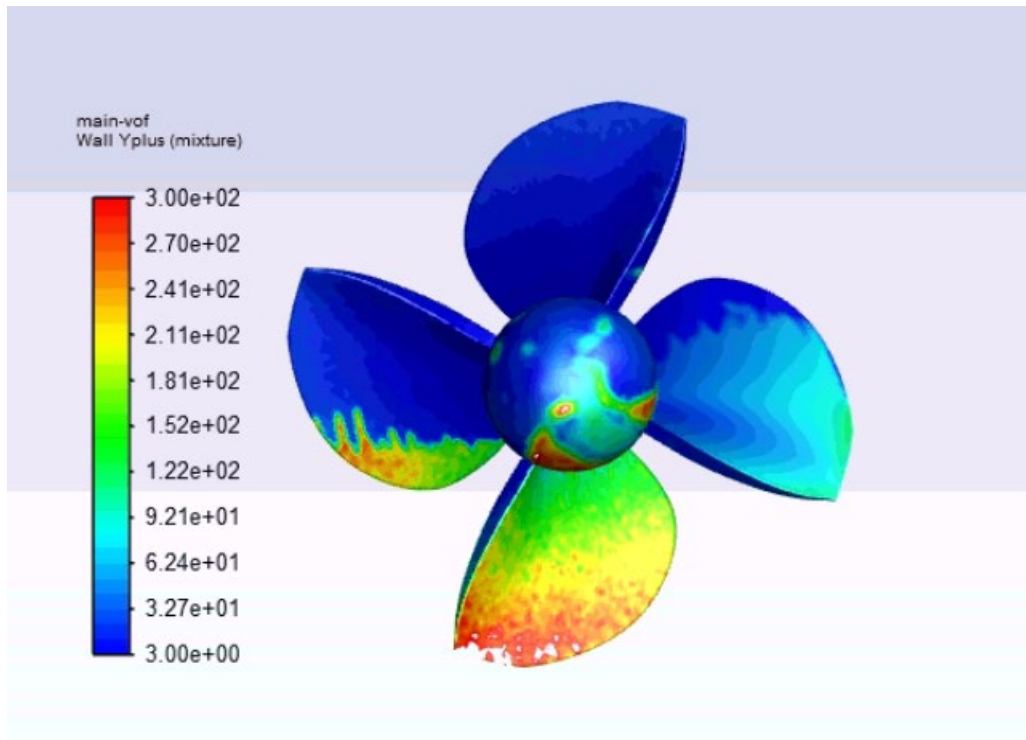
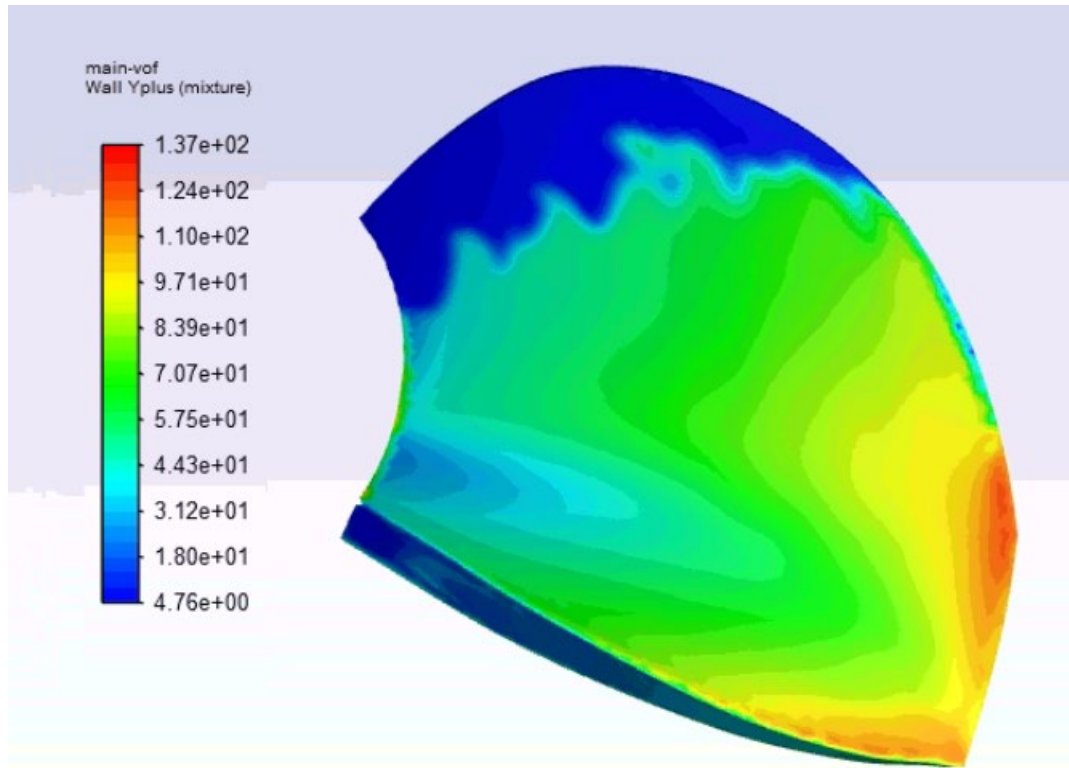
در این پژوهش، ابعاد دومین هندسی اطراف پروانه به این صورت است که فاصله دومین چرخشی تا ورودی 4 برابر قطر پروانه و فاصله آن تا خروجی 10 برابر قطر پروانه است. از اطراف نیز حداقل به فاصله 3 برابر قطر پروانه قرار گرفته است. اندازه دومین چرخشی نیز 1.12 قطر پروانه است. شرط مرزی ورودی به صورت دبی ورودی با استفاده از دستور "سطح آزاد" به دو قسمت کسر حجمی آب و هوا تقسیم می شود. نسبت مغروقیت پروانه در این پژوهش،  $i=0.4$  است که سطح آزاد آب 0.1 قطر پروانه پایین تر از مرکز پروانه قرار گرفته است. شرط مرزی خروجی نیز تحت تاثیر همین رفتار است. شرایط مرزی اطراف دومین هندسی به صورت slip در نظر گرفته است. محور پروانه به دلیل تاثیر کم و سهولت حل به صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

### y-plus

برای محاسبات صحیح نزدیک دیواره، شبکه نزدیک دیواره براساس فاصله بدون بعد  $y^+$  تولید می شود. مقدار  $y^+$  روی سطح بلید براساس شرایط کاری بین 10 تا 300 متغیر است که امکان شبیه سازی جریان در مجاورت سطح بلید با دقت مناسب و استفاده از رویکرد تابع خودکار دیواره را فراهم می کند. فاصله گره های بعدی با نرخ 1.15 افزایش می یابد. برای محاسبات اولیه  $y^+$  از معادله زیر در لایه مرزی روی سطوح صاف استفاده می شود:

$$\Delta y = L \times y^+ \times \sqrt{74} \times (Re)^{-\frac{13}{14}}$$

در این مطالعه، از تابع دیوار استفاده نشده است و به همین دلیل شبکه های ریزتر و با کیفیت تری اطراف دیوار استفاده شده است. از آنجا که دامنه  $y^+$  کوچکتر از 300 است کیفیت بالای شبکه بندی اطراف پروانه را نشان می دهد.



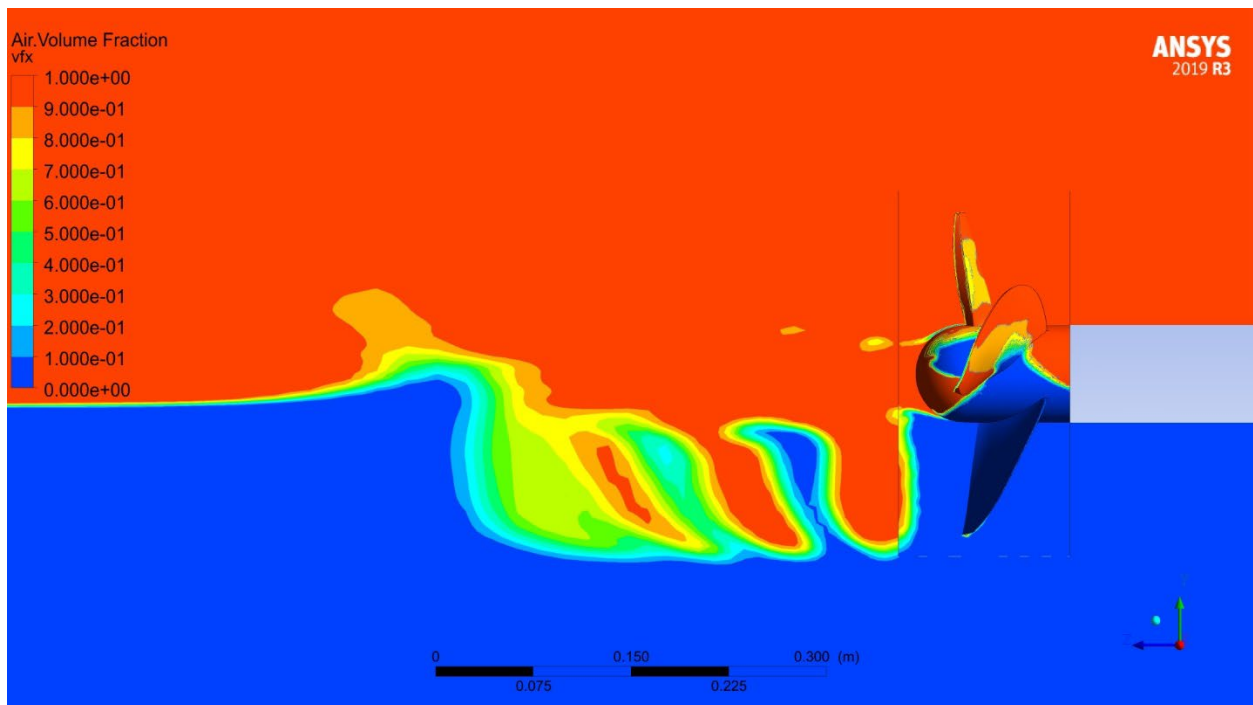
## مدلسازی سطح آزادی free surface

از مدل حجم سیال برای مدلسازی سطح آزاد استفاده شده است. با در نظر گرفتن وجود و اهمیت هر دو فاز سیال، به جای حل هر فاز به صورت جداگانه، معادلات حاکم بر سیال (مثل معادلات پیوستگی و مومنوم)، برای یک سیال موثر با خواص فیزیکی متغیر حل می شود.

در معادله (1)، آلفا نرخ سیال اول به کل سیال است که می توان برای مشخص کردن ویژگی فیزیکی سیال در هر نقطه ی دومین حل از آن استفاده کرد:

$$\rho_{eff} = \alpha \cdot \rho_1 + (1 - \alpha) \cdot \rho_2$$

$$\nu_{eff} = \alpha \cdot \nu_1 + (1 - \alpha) \cdot \nu_2$$



برای بررسی کردن پروانه نیمه مغروق آزمایش شده در آزمایشگاه لازم است که آن را به صورت یک پروانه نیمه مغروق در جریان دوفازی آب و هوا و با استفاده از معادلات Rans مدل کرد.

برای بررسی صحت این مدل باید مقادیر ضریب  $K_t$  و  $K_q$  که بترتیب ضریب تراست و ضریب گشتاور هستند را با مقادیر حاصله از کار تجربی مورد مقایسه قرار داد.

در این مقایسه ما دو نمودار  $Kt$  و  $Kq$  بر اساس ضریب پیشروی  $J$  که برابر است با نسبت سرعت جریان به دور پروانه  $j=v/nd$  با در نظر گرفتن قطر آن است انجام می‌دهیم.

برای ایجاد رابطه‌ی ذهنی بهتر با این عدد میتوان به این صورت تصور کرد که ابتدا قایق با سرعتی کم و دور زیاد یعنی ضریب پیشروی پایین شروع به حرکت میکند. و با ادامه حرکت پروانه سرعت حرکت قایق نیز بیشتر می‌شود و با نگه داشتن دور ثابت این سرعت به مقدار بالاتری میرسد که ضریب پیشروی بالا رو تولید میکند. در ابتدای این نمودار در ضریب پیشروی های پایین با استفاده از  $cf_d$  اعداد با در صد خطای اندکی همانگونه که در تصویر خطا مشاهده میکنید نتیجه مشابهی ایجاد شده است....

مقایسه حالت  $sub\ scale$  با  $full\ scale$  به این صورت که نمونه ی آزمایشگاهی پروانه به قطر  $0.1285\ m$  کوچک شده حالت واقعی که قطر آن  $0.25\ m$  است.

برای اینکه بتوانیم مدل قطر  $0.25\ m$  را مدل سازی کنیم نیاز است که آنالیز اسکالینگ انجام دهیم به صورتی که اعداد بی بعد که شامل عدد رینولدز، عدد وبر، عدد کویتی، عدد فرود که بر اساس دو طول مشخصه قطر پروانه و یا طول در جهت جریان است تعریف میگردد. بررسی به این صورت انجام شد که بر اساس تحقیقات گذشته محدوده ی مجازی برای این اعداد در نظر گرفته می‌شود، که اگر این اعداد محدوده را رعایت کنند مقادیر و ضرایب اسکالینگ دستخوش تغییر نمی‌شوند.

## مراحل شبکه بندی و بررسی شبکه برای هندسه های مختلف

	المان سائز	1
0.008	ماکزیمم گلوبال سائز	2
0.00008	لایه اولیه مش لایه مرزی	3
1.17	ضریب رشد لایه مرزی	4
8	تعداد لایه ها	5
1.05-1.07	ضریب رشد مش حجمی	6
up 0.2	بررسی معیار Orthogonality Quality	7
Under 500	بررسی معیار Aspect Ratio	8
	بررسی معیار Skew	9
4.800- 2.700=7.500	بررسی تعداد المان ها	10

Part ▲	Prism	Hexa-core	Maximum size	Height	Height ratio	Num layers
BLADE_1	<input checked="" type="checkbox"/>		0.0017	8e-005	1.17	8
BLADE_2	<input checked="" type="checkbox"/>		0.0017	8e-005	1.17	8
BLADE_3	<input checked="" type="checkbox"/>		0.0017	8e-005	1.17	8
BLADE_4	<input checked="" type="checkbox"/>		0.0017	8e-005	1.17	8
CYLINDER-R	<input type="checkbox"/>		0	8e-005	1.17	8
FLUID	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.002			
HUB	<input checked="" type="checkbox"/>		0.003	8e-005	1.13	8

مراحل حل عددی

-9.81 در جهت $\gamma$	gravity	general	1
	Transient	general	2
	K-w sst	model	3
Open Chanel Expilicit Sharp/Disperset Epilicit Body Force	Multy Phase	model	4
Water and Air	Fluid	Material	5
massFlow 12740.0537 kg/s Velocity 8.54 m/s Free Surface Level -0.025 Bottom Level -0.875	inlet	Boundry Condition	6
Free Surface Level -0.025 Bottom Level -0.875	outlet	Boundry Condition	7
Wall (specifild Shear)	Top Bottom Shaft	Boundry Condition	8
Wall (no slip)	Blades hub	Boundry Condition	9
Symmetry	Symmetry	Boundry Condition	10
Cylinder_r --- Cylinder-s	manual	interface	11
Coupled	Pressure Velocity Coupling	Method	12
Least squares Cell Based PRESTO!  Second order upwind Modified HRIC First order upwind	Gradient Pressure Momentum Volume Fraction K	Spatial Discretization	13

First order upwind	W		
0 – 30 iteration	Continuity	monitoring	14
8.54 m/s	Vz	initialization	15
1-5-8-12-8-5	Courant number	Time step size	16