

طراحی شناور زیرآبی با الهام از طبیعت

احمد صداقت

استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان
sedaghat@cc.iut.ac.ir

محمد حسین بخشنده

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک،
دانشگاه صنعتی اصفهان
Bakhshandehhossein@yahoo.com

مهدی مقیمی زند

استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان
moghimi@cc.iut.ac.ir

چکیده

فرم‌های موجود در طبیعت می‌تواند زمینه توسعه تکنولوژی‌های جدید را فراهم سازد. طراحی شناور زیرآبی با الهام از طبیعت همواره توجه بسیاری از مهندسین دریا را به دلایل مختلفی از جمله جستجو در اقیانوس و اکتشاف منابع جدید به خود جلب کرده است.

هدف اصلی از این تحقیق طراحی هندسه جسم زیرآبی و همچنین شبیه سازی مدل با استفاده از برنامه فلوئنت^۱ در حالت ۳ بعدی است. با الهام گرفتن از شکل بدن دلفین، هندسه جسم زیرآبی در برنامه کتیا^۲ تولید شده است. علت استفاده از فرم بدن دلفین خصوصیات منحصر بفرد بدن دلفین می‌باشد. برای تحلیل مدل در حالت دم زدن نیز از روش مش‌بندی دینامیکی بهره گرفته شده است. همچنین شناور در حالت مستعرق مورد بررسی قرار گرفته است که در آن از اثرات سطح آزاد صرف نظر شده است. هندسه مناسب با بررسی هیدرودینامیکی بدن دلفین تحت تغییر شکل‌های دم و بدن طراحی شده است. نتایج بدست آمده از این پژوهش حاکی از این مطلب است که با افزایش سرعت در محدوده ۱ تا ۳ متر بر ثانیه ضریب درگ افزایش یافته و با تغییر فرم بدن شناور زیرآبی میزان رشد ضریب درگ، کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: شناور زیرآبی، الهام از طبیعت، طراحی هندسه، مش‌بندی دینامیکی، ضریب درگ

Bio-Inspired Design of Underwater Vehicle

Natural structure can be the basis of new technology development. Underwater floating design inspired by nature, always has attracted many marine engineers; for different reasons such as search in the ocean to discover new sources of minerals.

The main purpose of this paper is geometrical design of underwater objects and model simulations by the Fluent in 3D mode. Inspired by the shape of dolphin, the geometry of underwater floating is generated by the Catia program. The reason of using forms of dolphin's body its unique features. To analyze the model in the mode of the moving tail, the method of dynamic mesh is used. The floating has been investigated for a fully submerged condition in which the effect of free surface is neglected. According to the Hydrodynamic of dolphin body proper geometry was designed under the

¹. Fluent

². Catia

deformations of the tail and the body. The results indicated that the drag coefficient values rose with an increase in floating speed from ۱ to ۳ m/s and decreased with changing the form of floating body.

Keyword: Under Water Floating, Bio Inspired, Geometrical Design, Dynamic Mesh, Drag Coefficient.

Mohamad Hossein Bakhshandeh¹, Ahmad Sedaghat^{2*}, Mehdi Moghimi zand³

1- M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*2- Assistant Professor,

Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Associate Professor,

Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

را می‌دهد که سیستم‌های مکانیکی که در ماهی‌ها و کوسه‌ها و آبزیان دریایی بکار گرفته شده است، هر چند لزوماً بهینه‌ترین نیستند، اما اگر ملاحظات مر بوط به محل سکونت و شیوه زندگی هر دسته از این جانداران در نظر گرفته شود در این زمینه بسیار کارا می‌باشد. ربات زیر سطحی یک وسیله‌ی نقليه‌ی پویش‌گر قابل کنترل از راه دور و یا هوشمند است که به کاربر این امکان را می‌دهد که این وسیله را در اعماق آب کنترل و هدایت کندر. ربات‌های زیر سطحی در اندازه‌ها و بعد متفاوت و با گستره متنوعی از تکنولوژی‌ها و امکانات در سال‌های اخیر طراحی، ساخت، آزمایش و به کارگیری شده و حتی در برخی موارد به تولید صنعتی رسیده‌اند. انواع این ربات‌ها از نمونه‌های کوچک و ساده‌ای که صرفاً مجهز به دوربین فیلم برداری کوچکی هستند تا گونه‌های پیشرفته و بسیار پیچیده‌ای که در عمیق‌ترین قسمت دریا امکان انجام عملکردهای متنوع و متعددی را دارند، شامل می‌شوند [۱].

۲. پژوهش‌های قبلی

آقای نیکولیس و همکارانش با الهام از فناوری سونار در خفash ، تحقیقاتی انجام داده‌اند که بر مدل سر

۱. مقدمه

بیش از ۷۰ درصد سطح زمین توسط آب پوشیده شده است. اقیانوس‌ها دارای حجم وسیعی از منابع معدنی و حیاتی هستند و منابع و صنایع دریایی نقش و تاثیر مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. با توسعه و گسترش صنایع دریایی، امروزه برای انجام بسیاری از فعالیت‌های مرتبط با کشف و استخراج منابع زیر سطحی، بازرگانی و جمع آوری اطلاعات زیست محیطی و تعمیر و نگهداری سازه‌های ساحلی و دریایی، به کار گیری تکنولوژی خاص وجدیدی برای پاسخگویی به نیازهای روز افزون پیش آمده، ضروری می‌باشد. استفاده از وسائل و ابزار آلات مهندسی که قابلیت به کار گیری در اعماق آب را دارد در سال‌های اخیر گسترش یافته است. این امر توانایی بشر را در بررسی، تحقیق و کار در اعماق دریا را به شدت متحول کرده است. در بسیاری از صنایع، استفاده از تجهیزاتی که بتوان آن‌ها را بدون حضور مستقیم نیروی انسانی و از راه دور هدایت و کنترل نمود، کاربردهای فراوانی یافته است. از این رو طراحی شناورهای زیر سطحی که به کاربر این امکان را می‌دهد که در اعماق آب عملیات مورد نظر را انجام دهد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اصل گزینش طبیعی این اطمینان



شکل ۱: رباتیک چتر دریایی [۳].

آقای نجم در سال ۲۰۱۲ پژوهه‌ای ارائه کرده است که در این تحقیق از کائوچو و مواد مرکب یونی پلیمر فلزی به عنوان محركی برای چتردریایی رباتیک استفاده شده است. مطالعات انجام شده بر روی الکترودهای فلزی، برای ایجاد نیروی پیشران و پیدا کردن یک گونه چتردریایی که خواص متناسب با خواص محرك را دارا باشد، از کارهای انجام شده می‌باشد. دو گونه چتردریایی مورد بررسی قرار گرفته است که یک گونه کشیده‌تر می‌باشد، که سرعت بیشتر ولی کارایی کمتری دارد و گونه پهن‌تر که کارایی بهتری در طراحی دارد. از خصوصیات فیزیکی این ربات می‌توان به سرعت حرکت به صورت عمودی $1/5$ میلی متربر ثانیه اشاره کرد [۴].

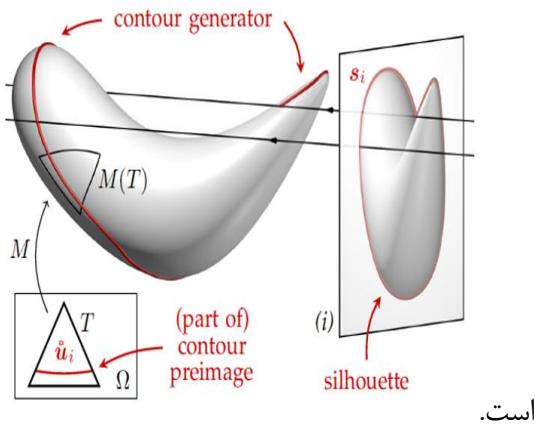
۲-۱. معرفی برنامه ارائه دهنده هندسه

۳ بعدی دلفین از اشکال ۲ بعدی

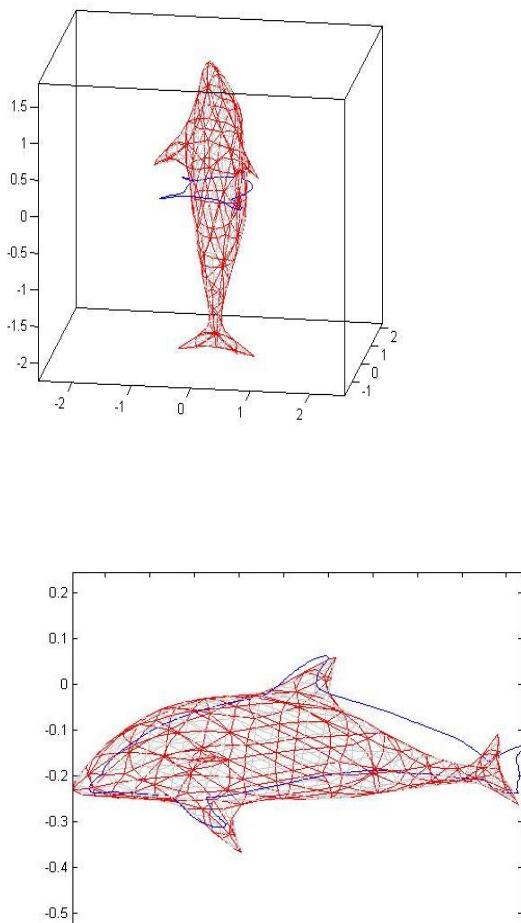
خفاش^۳ تمرکز دارد. این مطالعه قصد دارد برای کمک به درک ویژگی‌های گیرنده‌های سونار خفاش منطبق بر سیستم شنوازی آن باشد. در این تحقیق به بررسی چگونگی دریافت سیگنال آکوستیک با توجه به شکل و خصوصیاتی از سر و لاله گوش خفاش می‌باشد که در نهایت به طراحی بهتر گیرنده‌های صوتی مبتنی بر این خاصیت می‌شود [۲]. الکس ویلانیووا به پژوهش در زمینه رباتیک چتردریایی پرداخته است. او در حال توسعه یک وسیله نقلیه بدون سرنشین در زیر آب برای دفتر تحقیقات نیروی دریایی می‌باشد که برای مقاصد نظارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله نقلیه می‌تواند طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی برای هر دو مصارف نظامی و غیرنظامی داشته باشد. او در تلاش است با بررسی حرکت و عملکرد طبیعی چتردریایی، رباتی زیر آبی را طراحی کند. در شکل ۱ می‌توانید این ربات را مشاهده کنید. نسل اول از وسیله نقلیه ساخته شده است و در حال حاضر در مرحله آزمایش و تجزیه و تحلیل می‌باشد. بهره‌گیری از بیوگرافی الهام گرفته از شکل آلیاژ کائوچو و مواد مرکب که توسط الکس (ویلانیووا و همکاران)، که در سال ۲۰۰۹ بررسی شد مورد نظر می‌باشد [۳].

³. Head-Related Transfer Function

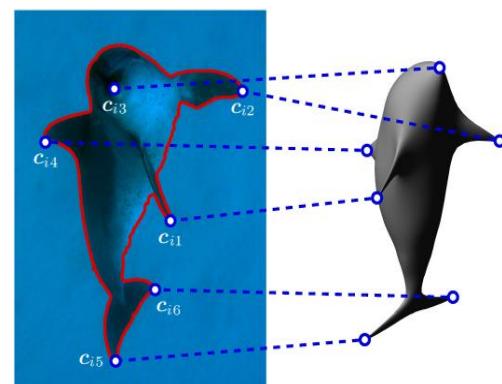
که منجر به ایجاد هندسه ۳ بعدی دلفین شده است.



آقای توماس با ارائه برنامه MATLAB که از روی شکل ۲ بعدی، هندسه ۳ بعدی جسم دلفین را نمایش می‌دهد، به ایجاد ۳۲ فرم از حالت‌های مختلف فرم بدن دلفین پرداخته است. در شکل (۴) می‌توان نتایج اجرای این برنامه که توسط اینجانب بدست آمده است را مشاهده کنید. شکل (۳) فرم ایجاد هندسه ۳ بعدی از ۲ بعدی را نشان می‌دهد و شکل (۲) فرم ایجاد هندسه ۲ بعدی از عکس دلفین، به هندسه ۳ بعدی را نمایش می‌دهد. [5].



شکل ۴ [5]

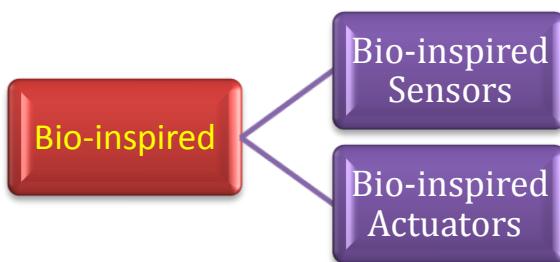


شکل ۵.۲

آقای توماس و همکارانش با نقطه‌یابی اطراف بدن دلفین که از عکس‌های ۲ بعدی حاصل می‌شود، طرحی از بدن دلفین ایجاد می‌کنند. این طرح با خطوط قرمز رنگ در شکل (۴) قابل مشاهده است. در ادامه با استفاده از کد نوشته شده در برنامه MATLAB، کانتورهای خاص تولید می‌شود

بیواینسپایر نه و باید داده‌های مهندسی نیز مد نظر گرفته شود و از این دید حمل بار توسط این متحرک مد نظر می‌باشد. این ایده از دید بیواینسپایر موجب به تولید هوایپیما با بال‌های ثابت می‌شود. این موضوع از تفاوت‌های بارز این دو مفهوم می‌باشد. [6]

همان طور که در شکل(5) مشاهده می‌شود می‌توان مباحث بیواینسپایر را به دو قسم زیر تقسیم بندی کرد:



شکل ۵. نمونه‌ای از تقسیم بندی Bio-inspired

Bio-inspired Sensors.^{۴-۳} بیشتر در زمینه بررسی و شناخت حسگرهای صوتی بروز و شناخت حسگرهای صوتی که در طبیعت وجوددارد تحقیق می‌کند. برای مثال می‌توان به سیستم صوتی گوش خفash که در جهت منبع صوت چرخش می‌کند اشاره کرد.

Bio-inspired Actuators.^{۵-۳} انتخاب یک خصوصیت فیزیکی جاندار مثل خزیدن، پریدن، شنا کردن و... به عنوان الهامی برای طراحی و ساخت سیستمی جدید با این خصوصیات می‌باشد. به طور نمونه می‌توان به ربات چتر

۳-۱. مفهوم الهام از طبیعت

۱-۳ **Bio-inspired:** تقلید از سیستم‌های بیولوژیکی با در نظر گرفتن داده‌های مهندسی - می‌باشد و به نوعی ارتباط دهنده زیست‌شناسی و فنون مهندسی است.

۲-۳ **Biomimetic:** تمایل به جایگزینی راه حل های مهندسی کلاسیک بر اساس مشاهدات و باعلم تقلید از موجودات زنده برای طراحی های هوشمندمی‌باشد.

این دو مفهوم به طور قابل توجهی به هم نزدیک می‌باشند. در هردو این ایده که یک خاصیت یا یک فعالیت را مورد توصیف و بررسی قرار می‌دهندتا طرحی الهام گرفته از طبیعت ایجاد کنند. در بسیاری از موارد بیومیمتیک^۴ می‌تواند شرایط را برای پیاده سازی یک طرح الهام گرفته از طبیعت فراهم سازد، ولی همواره این طرح‌ها از جنبه مهندسی مفید و مطلوب نمی‌باشد. بیومیمتیک به طور عمده بر شبیه‌سازی عینی از یک جنبه از سیستم بیولوژیکی تأکید می‌کند ولی بیواینسپایر^۵ با بررسی داده‌های بیولوژیکی و در نظر گرفتن فنون مهندسی به ایجاد سیستمی الهام گرفته از طبیعت می‌پردازد. به طور مثال اگر هدف پرواز کردن باشد، با دیدن پرواز پرنده‌گان اولین ایده‌ای که به ذهن می‌رسد طراحی متحرکی با بال‌های متحرک می‌باشد. این ایده از دید بیومیمتیک مورد قبول می‌باشد ولی از دید

⁴ Biomimetic

⁵ Bio-inspired

است. این قسمت از دماغه نیز می‌تواند جایگاه مناسبی برای قرار گرفتن سرنوشتی و یا تجهیزات دیگر باشد. [۱].

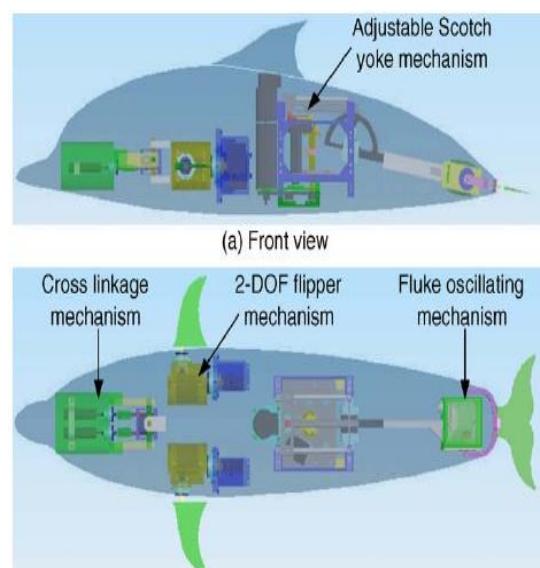
۲- داشتن استراتژی‌های رفتاری مناسب برای صرفه‌جویی در انرژی هنگام شنا کردن. فرم و طراحی مورفولوژی بدن دلفین‌ها و همچنین حرکت گروهی این جانداران با یکدیگر و سعی در قرار گرفتن در قسمت ویک کشته‌ها، این امکان را به این جاندار می‌دهد که نیروی کمتری صرف غلبه بر نیروهای مقاوم هنگام شنا کردن با سرعت بالا کند و این امر باعث ذخیره‌سازی انرژی در این پستانداران آبروز می‌شود [۱].

۳- شکل و فرم خطوط جریان بدن دلفین باعث می‌شود که درگ فشاری در این جاندار به خوبی کاهش یابد. در ضمن پوست دلفین این قابلیت منحصر بفرد را دارد که درگ اصطحکاکی را به میزان زیادی کاهش می‌دهد [۶].

۴- داشتن سرعت بالای شنا که این امر بخارط فرم باله‌های این جاندار و بالا بردن بازده شنای دلفین می‌باشد [۷].

۵- داشتن موقعیت مناسب مرکزبیانسی که از مهم‌ترین مزیت‌های این جاندار در زمینه‌های پایداری هیدرودینامیکی می‌باشد. از این مزیت می‌توان در طرح الگو گرفته شده از این جاندار بدون تغییرات اساسی در فرم بدن سود برد [۸].

دریایی (شکل ۱) و همچنین ربات دلفین گون (شکل ۶) اشاره کرد.



شکل ۶. ربات دلفین گون [۷].

۴. خصوصیات هندسه دلفین

از جمله خصوصیات بدن دلفین که باعث منحصر بفرد بودن این هندسه در طراحی می‌شود، می‌توان به داشتن موقعیت مناسب مرکز بیانسی که از مهم‌ترین مزیت‌های این جاندار در زمینه‌های پایداری هیدرودینامیکی می‌باشد و همچنین فرم این بدن که در کاهش درگ فشاری اثر زیادی دارد، اشاره کرد. این خصوصیات منحصر بفرد در انتخاب این هندسه بی‌تأثیر نبوده است.

۴-۱. خصوصیات دلفین:

۱- داشتن مکانیزم سونار و خصوصیات منحصر بفرد فیزیکی مربوط به اکوی صدا، که در قسمت دماغه این جاندار این سیستم واقع شده

کاویتاسیون کم می‌باشد. مسئله به صورت ۳ بعدی در برنامه فلوزنت حل می‌شود.

معادله پیوستگی:

(۱)

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

معادله مومنتوم:

(۲)

$$\rho \frac{D\bar{V}}{Dt} = -\nabla \bar{P} + \nabla \cdot \tau_{ij}$$

(۳)

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \bar{u}_i \bar{u}_j$$

(۴)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i$$

برای تحلیل مدل‌ها بیشتر از مدل اغتشاشی (K-ε) استفاده شده است.

۶. مراحل انتخاب هندسه مناسب

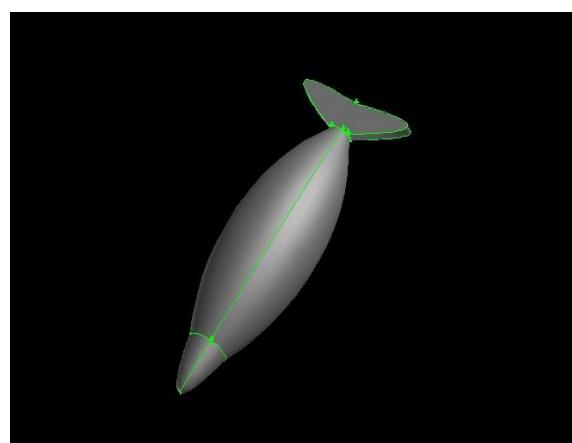
۱- طراحی مدل در نرم افزار کتیا

۲- شبکه بندی مدل در نرم افزار گمبیت

۳- شبیه سازی جریان در نرم افزار فلوزنت

با مقایسه خصوصیات استخراج شده و مقایسه با طرح‌های دیگر که در گذشته انجام شده است،

۶- از دید هیدرودینامیکی و مانورپذیری موقعیت باله‌های جلویی و همچنین هندسه آن در این جاندار به گونه‌ای می‌باشد که فرآیند انتقال از حالت سطحی به زیرسطحی، بدون ایجاد ممان‌های جانبی امکان‌پذیر باشد. همچنین هشتی بودن^۶ باله‌های جلویی باعث افزایش پایداری در حرکت رول و یا و در شناور و بهبود در خصوصیات مانورپذیری چرخشی شناور می‌شود [۹].

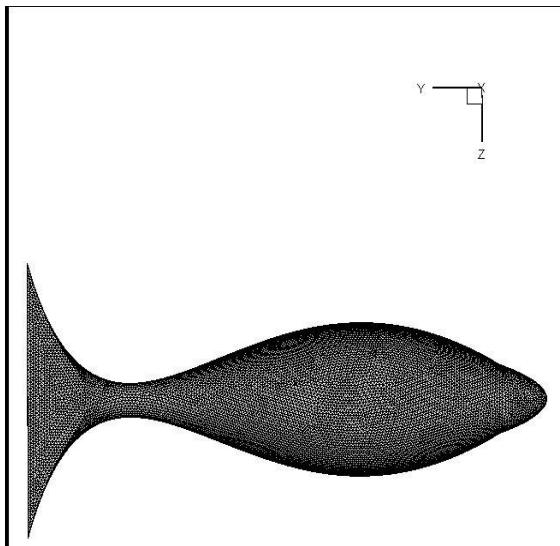


شکل ۷. طراحی شناور با برنامه کتیا

۵. معادلات حاکم

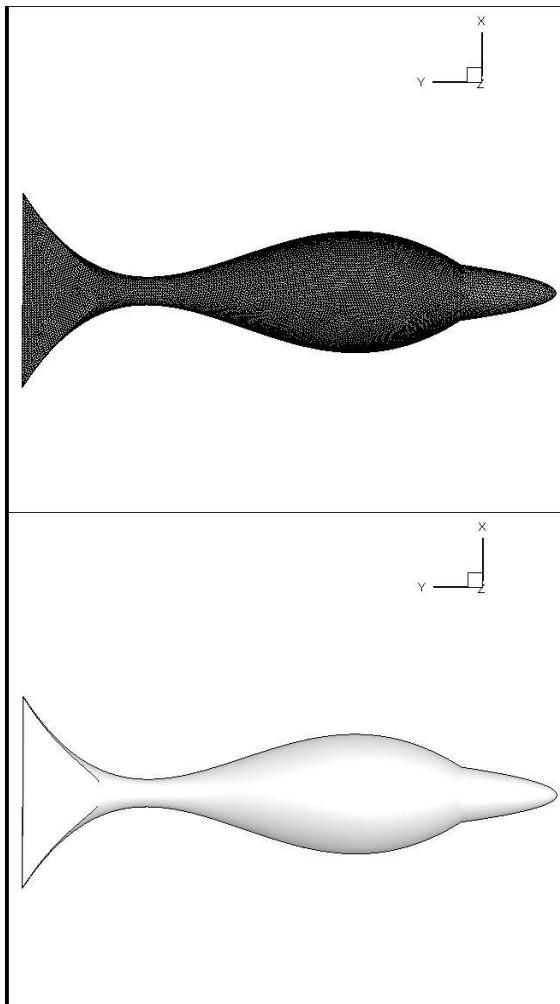
فرضیات مسئله شامل جریان تراکم ناپذیر، خواص ثابت و همچنین شناور در عمقی حرکت می‌کند که از اثرات سطحی صرف نظر می‌شود و احتمال وقوع

^۶. Anhedral

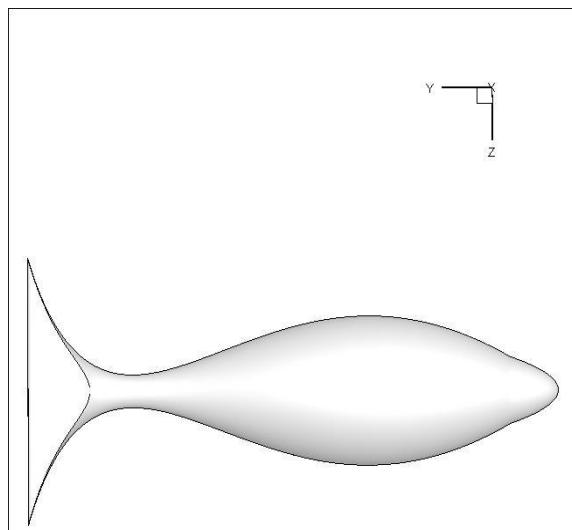


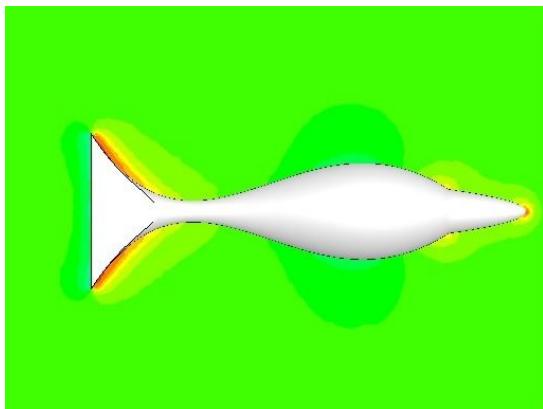
شکل ۸. مدل A

میزان بهبودی طرح بررسی شده است. در ابتدا با الهام گرفتن از فرم بدن دلفین و نقطه یابی بر روی بدن دلفین شماتیکی مشابه با بدن دلفین ایجاد می‌کنیم. طول طرح‌های ایجاد شده بین ۱,۷ متر تا ۱,۹ متر می‌باشد. در شکل ۷ می‌توان فرمی از این طراحی را که در برنامه CTIA2012 ایجاد شده است را مشاهده کرد. در برنامه کتیا چهار مدل طراحی شده است. با توجه به ضرایب هیدرودینامیکی حاصل از حل مدل‌ها در برنامه فلوئنت، یک مدل برای بررسی در سرعت‌های مختلف انتخاب می‌شود. در ادامه شکل‌های مدل‌های A, B, C, D نمایش داده شده است.



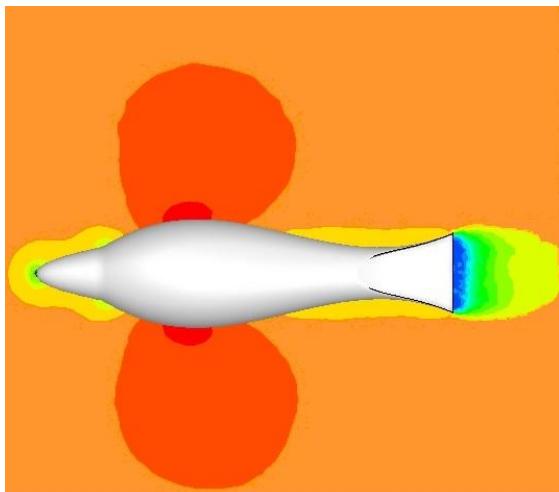
شکل ۹. مدل B





شکل ۱۰. زیر توزیع فشار اطراف مدل‌های A و b

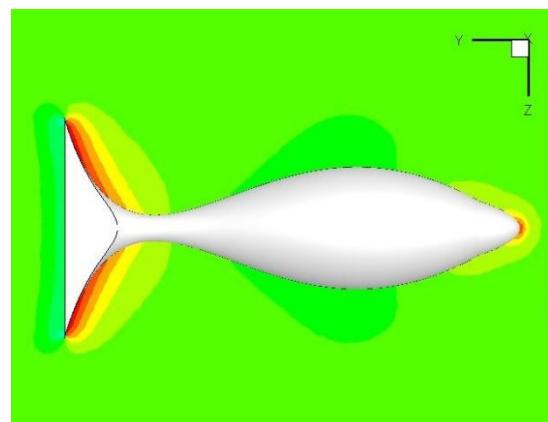
چون فرم بدن مدل‌های C و D به هم نزدیک‌تر است توزیع فشار اطراف بدن شناور در شکل ۱۱ و ۱۲ آورده شده است. با توجه به پهنا و ضخامت مدل‌ها، کانتور فشار مدل A, B نسبت به هم شباهت‌هایی دارند. تفاوت عمده این کانتوودها در ناحیه دماغه می‌باشد.

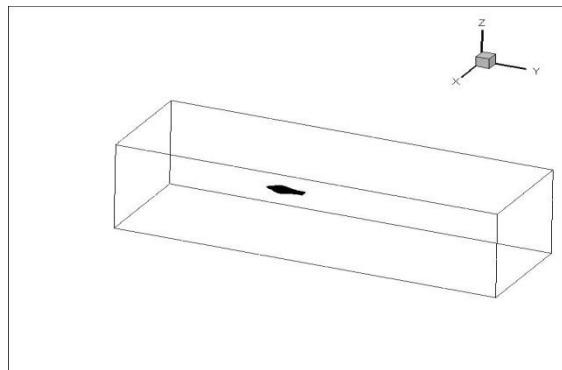


شکل ۱۱. مدل C

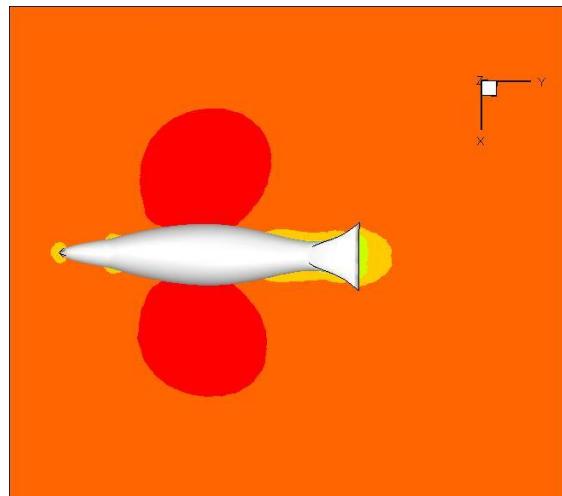
اگر بدن شناور را به ۴ ناحیه تقسیم کنیم (دماغه، بدن محل اتصال بدن و دم، دم) همانطور که مشاهده می‌شود، شکل ۸ بدن ای پهن تر و پهنای دم بیشتری نسبت به شکل ۹ دارد. در شکل ۹ دماغه طرح کشیده تر می‌باشد و پهنای دم کمتر شده است. در تصویر شماره ۱۰ توجه بیشتر برروی محل اتصال دم با بدن شناور می‌باشد. در شکل ۲ قبلی این ناحیه فرمی نزدیک به فرم اتصال بدن دلفین به دمش دارد ولی در مدل‌های D, C، این ناحیه ضخیم‌تر در نظر گرفته شده است. همچنان در شکل‌های ۱۱ و ۱۰ ناحیه دم دارای عرض کمتری می‌باشد. پس از شبکه بندی مدل‌های موجود، با قرار گرفتن مدل‌ها در حجم کنترل، مدل‌ها در برنامه فلوئنت در سرعت ۲m/s در شرایطی یکسان حل شده‌اند. با بدست آمدن ضرایب هیدرودینامیکی مدل‌های موجود و مقایسه آنها با یکدیگر، از بین ۴ مدل، یکی را انتخاب کرده و در محدوده سرعت ۱m/s تا ۳m/s حل عددی شده است.

در شکل زیر توزیع فشار اطراف مدل‌های A و B را می‌توان مشاهده کرد.





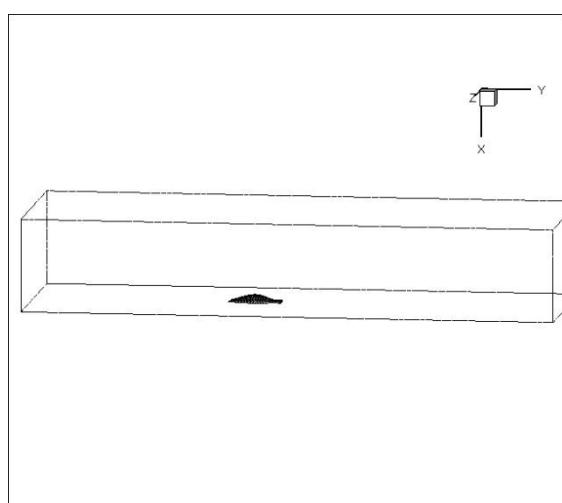
شکل ۱۳. شناور زیر آبی در حجم محدود



شکل ۱۲. مدل D

۶-۲. شرط مرزی تقارن

به منظور کاهش زمان حل و کاهش تعداد مشهای از شرط تقارن برای مدل‌ها استفاده شده است.



۶-۳. مشخصات هندسی شناور

در جدول ۴ ابعاد هندسی شناور و مساحت آن ارائه شده است.

Ay	1.5(m ²)
----	----------------------

۶-۱. محل قرار گرفتن بدن شناور در حجم

کنترل

شرط مرزی فشار خروجی، هفت برابر اندازه طول بدن در پشت مدل در نظر گرفته شده است.

شرط مرزی سرعت ورودی نیز سه برابر اندازه طول بدن در جلوی مدل در نظر گرفته شده است.

عرض حجم کنترل نیز ۶.۵ برابر عرض خود شناور در نظر گرفته شده است.

اندازه میدان حل $3.2 \times 3.7 \times 18$ متر در نظر گرفته شده است. در شکل ۱۳ می‌توان حجم کنترل را مشاهده کرد.

در جدول ۳ شرایط جریان و عدیرینولدر شناور آورده شده است.

Mach number	Pressure(Pascal)	Temperature(K)	Re
0.135	101325	300	1.89×10^6

جدول ۳.

مقادیر سرعت تصحیح شوند. از آنجا که سرعت‌هایی که در این مرحله بدست آمده‌اند ممکن است بطور موضوعی در معادلات پیوستگی صدق نکنند، یک معادله برای اصلاح فشار از معادلات پیوستگی و معادلات خطی شده مومنتم بدست می‌آید. از روش SAMPLE برای حل دستگاه معادلات استفاده می‌شود تا بر روی مقادیر سرعت، فشار و جریان‌های جرمی اصلاحات لازم به عمل آید و معادله پیوستگی ارضاع شود. معادلات مربوط به مدل اغتشاش نیز پس از آن با استفاده از مقادیر تجدید یافته قبلی حل می‌شوند.

در شکل شرایط مرزی استفاده شده برای میدان حل نشان داده شده است. در ورودی مقادیر سرعت مشخص هستند و گرادیان تمام متغیرها در راستای عمود بر سطح خروجی صفر است. روی سطح جسم شرط عدم لغزش و در صفحه تقارن مولفه عمودی سرعت و گرادیان‌های عمودی تمام متغیرها ای جریان صفر در نظر گرفته می‌شود.

سه نوع شبکه ریز، متوسط و درشت برای بررسی استقلال نتایج تحلیل جریان از شبکه تولید شد. شکل شبکه تولید شده روی سطح شناور در هر یک از مورد فوق الذکر نشان داده شده است. شبکه درشت برای مساله‌ای با چنین ابعاد و اندازه ناکافی است و مقدار ضریب نیروی وارد به شناور را به علت تعداد کم سلول روی بدن بسیار کمتر از انتظار پیش‌بینی می‌کند. از طرفی در شبکه ریز زمان همگرایی نتایج بسیار طولانی است در حالیکه ضرایب نیروی بدست آمده از این شبکه اختلاف ناچیزی با ضرایب بدست آمده از شبکه متوسط دارد. بنا براین شبکه متوسط از لحاظ تعداد سلول قابل قبول می‌باشد و نسبتاً زمان همگرایی مناسبی نیاز دارد، انتخاب می‌شود.

V	۲
(mm) طول	1800
(mm) ارتفاع	540
(mm) عرض	600

جدول ۴.

در این قسمت نیروهای هیدرودینامیکی وارد به بدن دلفین مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحلیل عددی بجای بدن متحرک در سیال ساکن، جریان سیال حول بدن ساکن مورد بررسی قرار گرفته است. دانسیته و ضریب

لزجت دینامیکی آب به ترتیب (kg/m³) ۱۰۰۰

و ۰۰۱۰۰۰. در نظر گرفته شده است. عدد رینولدز در سرعت ۱ متر بر ثانیه بر اساس طول بدن ۱۸۹۴۰۰۰ است.

در این مدل هندسی تقارن موجود در مساله نیز در نظر گرفته شده و تنها نیمی از شناور و محیط اطراف آن مدل شده است. برای تولید شبکه از نرم افزار GAMBIT 2.0.2 استفاده شده و در تولید شبکه سعی شده است تا المانها در نواحی اطراف بدن شناور که گرادیان‌های سرعت بزرگ هستند تا حد لازم ریز در نظر گرفته شوند. از آنجایی که با دور شدن از بدن گرادیان متغیرها کوچک می‌شود با دور شدن از بدن، المانها تدریجاً درشت می‌شوند.

برای حل مساله از نرم‌افزا FLUENT 6.3.26 استفاده شده است. برای منفصل سازی جمله‌های جابجایی در معادله ناویر استوکس از روش QUICK و جمله‌های دیفیوژن به روش تفاضل مرکزی گسسته شده‌اند. برای شروع محاسبات ابتدا میدان فشار بر اساس حدس‌های اولیه تعیین می‌شود، سپس معادلات مومنتم با استفاده از مقادیر فشار و جریان‌های جرمی حل خواهد شد تا

فرم دلفین در ۴ حالت بررسی شده است. با مشبندی ۴ فرم مورد نظر و محاسبه ضرایب درگ نتایج مورد نظر بدست آمده است. با بررسی نتایج بدست آمده و مقایسه آنها با یکدیگر به علت کاهش ضریب درگ در مدل D، این گزینه را برای طراحی انتخاب می‌شود.

با تغییر پهنهای دم شناور در ۲ حالت مختلف، ضرایب بدست آمده با یکدیگر مقایسه شده است. پس از مقایسه نتایج بدست آمده به این نتیجه میرسیم که حالت دوم که پهنهای کمتری دارد مناسب تر می‌باشد. در جدول ۵ نتایج حاصل از بررسی و حل عددی ۴ مدل ارائه شده است.

مدل	DRAG(N)	Cd
A	21.43	.011
B	20.12	.0102
C	19.72	.0093
D	19.35	.0091

جدول ۵.

چهار مدل به روش (K-ε) Standard در برنامه فلوئنت حل شده‌اند. در شکل زیر کانتور سرعت اطراف ۴ مدل A نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می-

برای تحلیل عددی جریان اطراف مدل زیرآبی سه مدل اغتشاشی مختلف در نظر گرفته شد و نیروی وارد به شناور در سرعت $m/s = 2$ با استفاده از هر یک از مدل‌های محاسبه شده است. در حل عددی هر سه مدل اغتشاشی برای توصیف رفتار دیوار از تابع دیوار استاندارد استفاده شده است. جریان بصورت دائم در اطراف شناور و با در نظر گرفتن معیار همگرایی 10^{-5} تحلیل شده است.

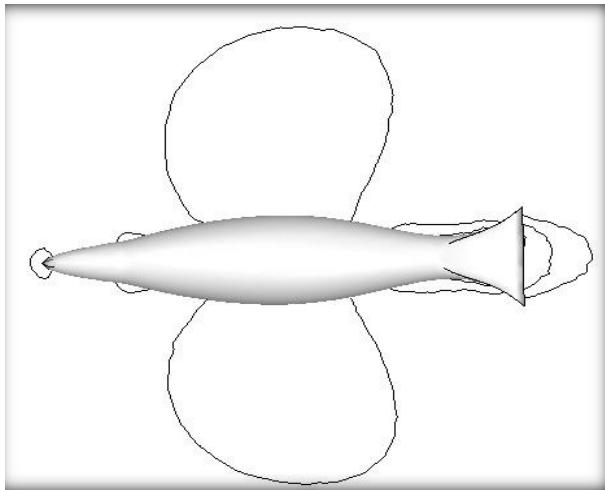
شبیه سازی نهایی جریان

برای شبیه سازی جریان در نرم افزار فلوئنت از حل کننده تفکیکی استفاده شده است. در خطی سازی معادلات سعی شده از بالاترین دقیقیت ممکن در حل استفاده شود. در شبیه سازی جریان لزج حالت‌های مختلف مدل‌های توربوالنس به منظور بررسی دقیق این مدل‌ها در نتایج بدست آمده بررسی و استفاده شده است. تابع دیواره در این مدل‌ها، تابع دیواره استاندارد می‌باشد.

۶-۵. شبکه بندی مدل در نرم افزار گمبیت:

برای شبکه بندی از المان‌های مثلثی استفاده شده است. مش بندی به گونه‌ای انجام شده است که در نواحی با گرادیان‌های بالا (مانند لایه مرزی) از تراکم بالای مشها استفاده شود و با دور شدن از دیواره تراکم مش‌ها کمتر می‌شود. برای این امر

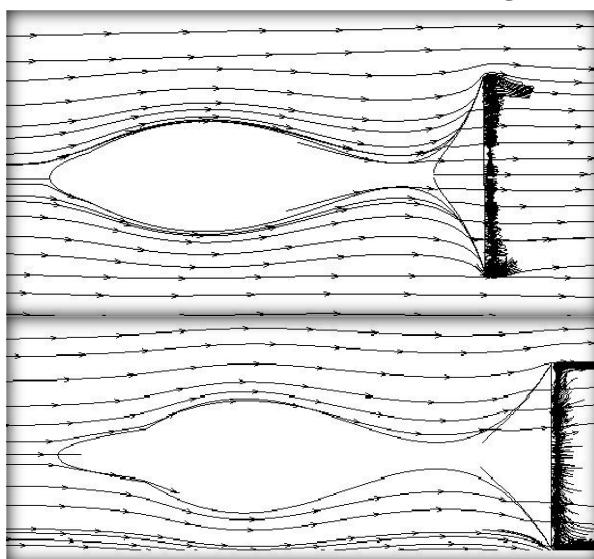
از دستور SIZE FUNCTION در برنامه گمبیت بهره‌گرفته شده است. ابتدا بر روی سطح بدنه شناور مش تولید می‌شود. در ادامه برای مشزدن حجم کنترل، سایز مشها با نسبتی مشخص رشد می‌کند.



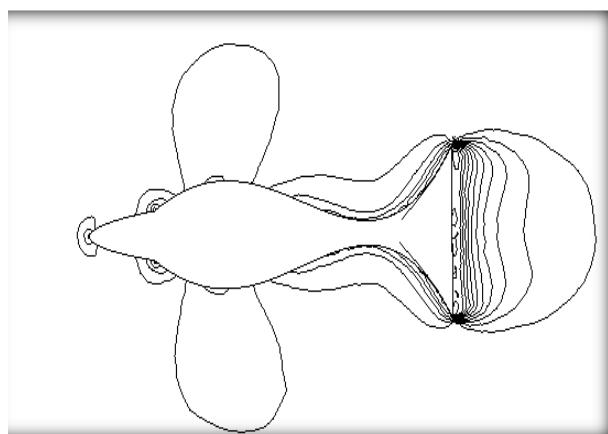
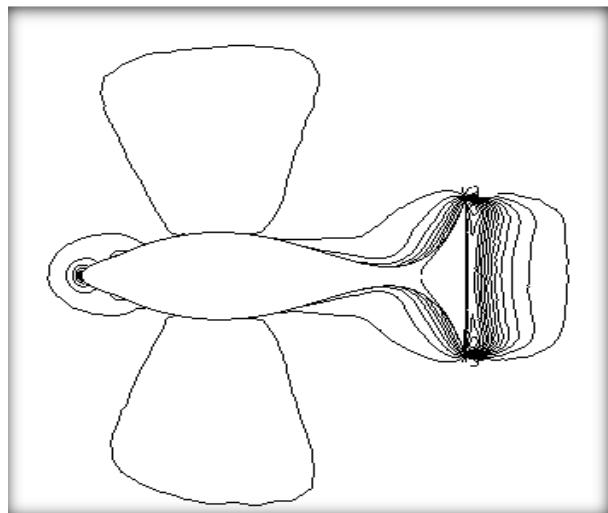
شکل ۱۴. کانتور سرعت در صفحه Y-Z مدل‌های C,D

با بررسی کانتورهای سرعت متوجه می‌شویم
مدل A,B نسبتاً با یکدیگر شباهت دارند و
همچنین با مشاهده شکل ۱۴ می‌توان به
شباهت کانتور سرعت مدل C,D بی برد.

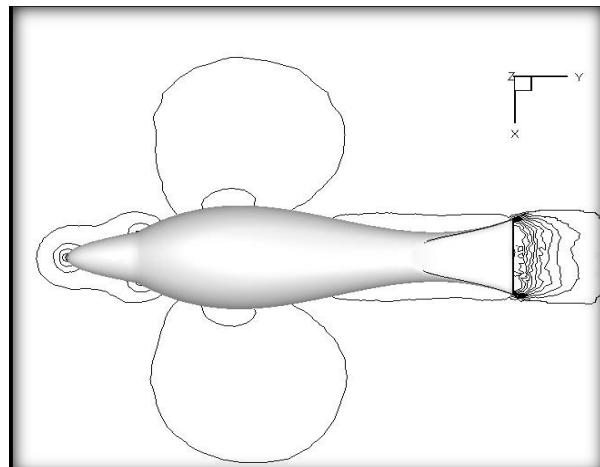
در شکل ۱۵ نیز خطوط جریان اطراف مدل‌های
MD نظر کشیده شده است. در ناحیه دم و
تطراف آن ورتكس‌های تولید شده در صفحه Y-
Z نمایش داده شده است.

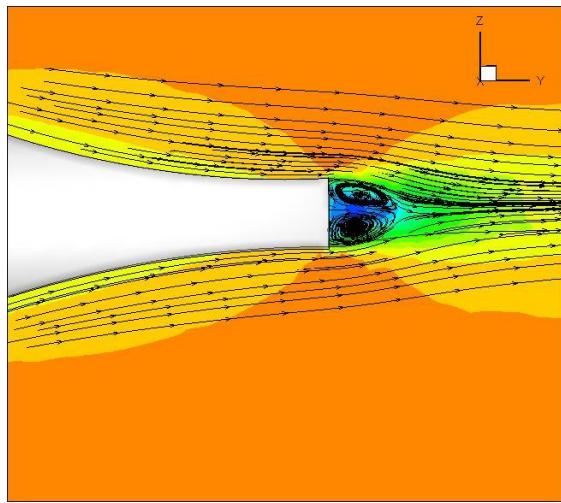


شود از مدل A تا B میزان نیروی درگ کاهش می
یابد.



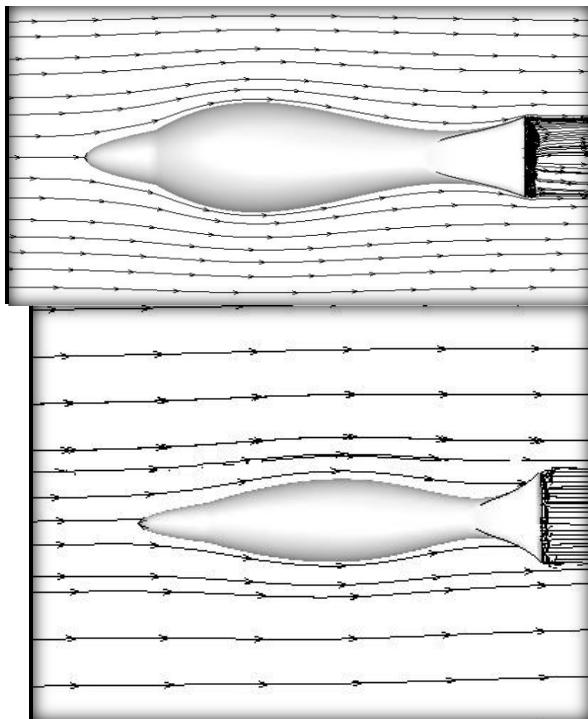
شکل ۱۳. کانتور سرعت در صفحه Y-Z مدل‌های A,B





شکل ۱۷.نمایش ورتسک در صفحه Z-Y

در شکل ۱۶ به گونه‌ای بزرگ نمایی شده دنباله‌های شناور همراه با خطوط جریان نمایش داده شده است.

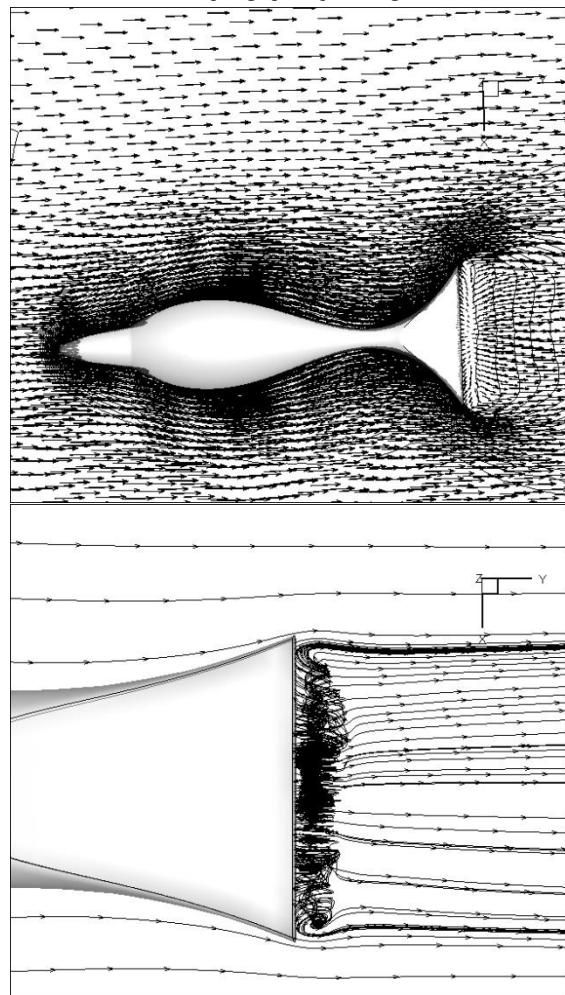


شگل ۱۵.خطوط جریان اطراف بدنه

۶-۶.مطالعه شبکه:

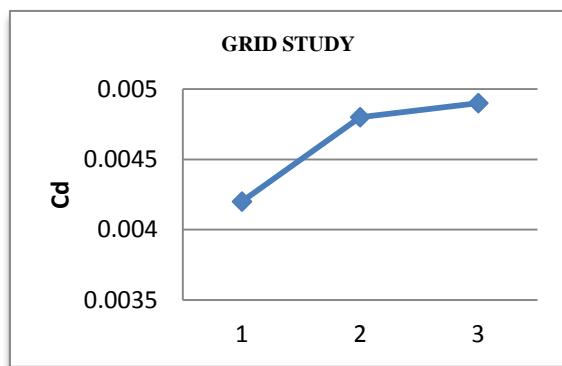
بعد از مشخص شدن اندازه بهینه میدان حل جریان و محل صحیح قرار گرفتن شرایط مرزی، نوبت به مطالعه شبکه حل میرسد. مطالعه شبکه به منظور استقلال نتایج حل از تعداد مش می باشد. بدین منظور برای مشهای مثلثی سه حالت مختلف مش بندی ارائه شده است و با بررسی نتایج حل، مش مورد نظر انتخاب شده است. بین ۳ حالت مش ریز ، مش متوسط و مش درشت، حالت متوسط برای مشبندی و استخراج نتایج انتخاب می شود.

در حالت اول تعداد مش ها ۳۰۰۰۰۰ عدد می باشد. در حالت دوم تعداد مشها ۱۴۰۰۰۰ عدد است. در حالت سوم نیز تعداد مشها ۷۷۵۰۰۰ عدد در نظر گرفته شده است. در ۳ حالت فوق استقلال نتایج بررس شده است.



شکل ۱۶.نمایش دنباله در انتهای دم شناور

است.

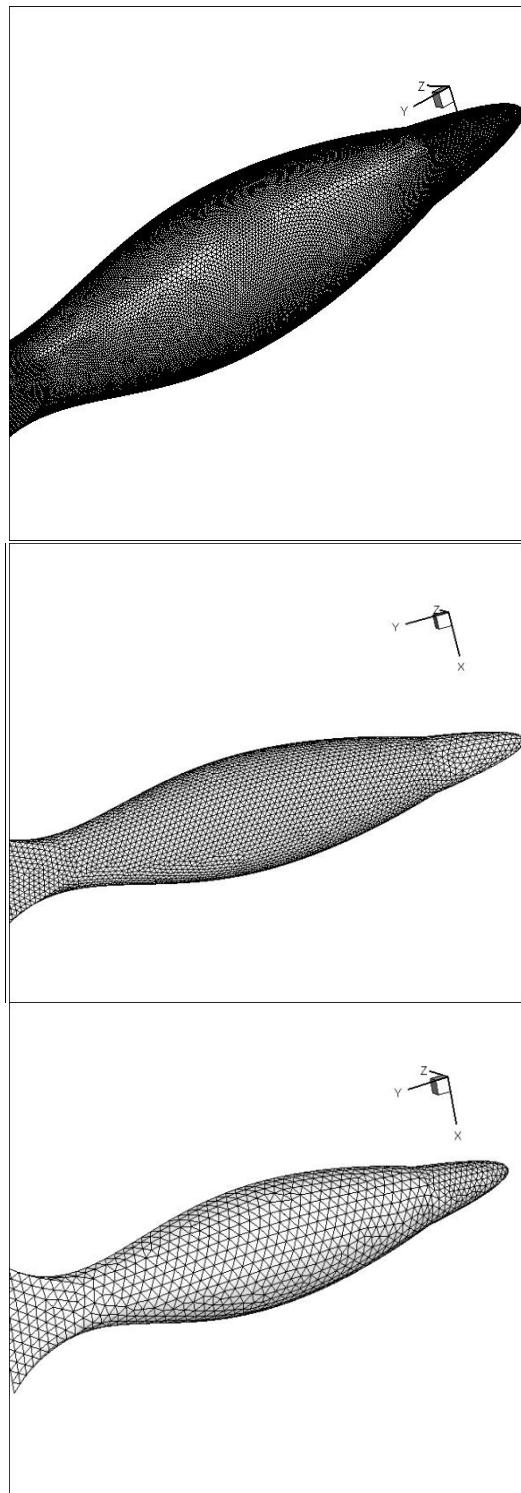


جدول ۵. بررسی استقلال شبکه

بعد از شبیه سازی جریان لزج برای سه حالت مختلف مشبندی و مقایسه نتایج حاصله برای ضرایب درگ، مشاهده می شود که از حالت دوم به بعد تغییرات بسیار ناچیز بوده و استقلال نتایج حل از تعداد مشاهده می شود.

برای تحلیل عددی جریان اطراف مدل زیر آبی سه مدل اغتشاشی مختلف در نظر گرفته شد و نیروی وارد به شناور در سرعت 2 m/s با استفاده از هر یک از مدل‌های محاسبه شده است. در حل عددی هر سه مدل اغتشاشی برای توصیف رفتار دیوار از قاب دیوار استاندارد استفاده شده است. جریان بصورت دائم در اطراف شناور و با در نظر گرفتن معیار همگرایی 10^{-5} تحلیل شده است.

در جدول ۶ نیرو حاصل از آزمایش شناور و نیروی عددی محاسبه شده در کار حاضر گزارش شده است. نیروی بدست امده از سه مدل اغتشاشی مورد



نتایج حاصل از استقلال شبکه در جدول ۵ آورده شده

۸. مشبندی دینامیکی

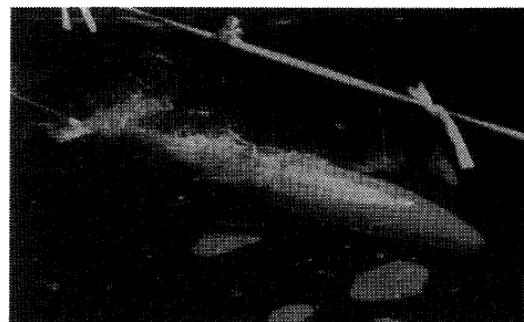
به منظور شبیه‌سازی حرکت واقعی مدل نیاز است که از روش مشبندی دینامیکی استفاده شود. در این مرحله به دلیل حرکت دم دیگر شرایط در بالا و پایین جسم یکنواخت نمی‌باشد.

در کد مربوط به مز متحرک سرعت زاویه‌ای با توجه به فرکانس‌های مختلف در نظر گرفته شده است. در حالت واقعی این مقدار ثابت نیست بلکه از مقدار صفر شروع شده و به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد و دوباره صفر می‌گردد که تابع آن بستگی به مکانیزم‌های مربوط به حرکت دم زدن همراه با حرکت مستقیم الخط فرض شده است. برای شبیه‌سازی حرکت دم زدن معادلات هارمونیک مربوط به حرکت دم به صورت برنامه‌ای به زبان C به مفصل متحرک داده شده است. بدین ترتیب می‌توان حرکت دم زدن را برای مدل شبیه‌سازی کرد. همانگونه که انتظار می‌رود بیشترین مقدار فشار بر روی ناحیه دم می‌باشد و در ابتدای دم زدن است چرا که در سطح دم در حین حرکت سرعت خطی بیشتر است بنابراین فشار دینامیکی وارد بر دم بیشتر خواهد بود و هرچه به سمت بدنه پیش می‌رویم فشار کاهش می‌یابد. در نمودار ۹ دامنه نوسانات در محدوده سرعت ۰ تا ۱,۲ m/s نمایش

استفاده بسیار به هم نزدیک است. جواب‌های بدست امده تقریباً ۱۰٪ با مدل تحقیقاتی دارد.

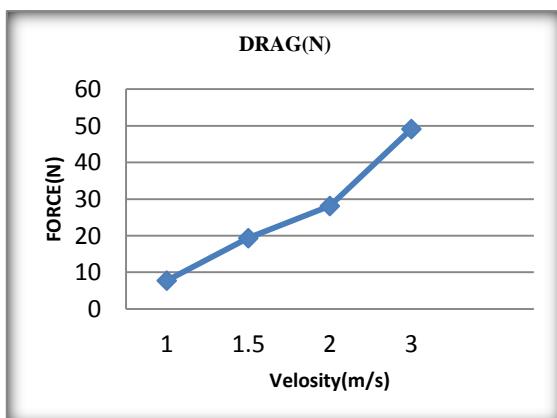
۷. اعتبار سنجی نتایج

برای اعتبار سنجی نتایج از یک مدل آزمایشگاهی استفاده شده است. این مدل طولی برابر با ۱,۹ متر دارد و مطابق با اندازه دلفین مورد طراحی است. این مدل در یک استخر بزرگ در دانشگاه توکیو مورد آزمایش قرار گرفته است. محدوده سرعت آزمایش بین ۰ تا ۱,۵ m/s می‌باشد. در جدول ۶ نتایج تجربی و عددی در سرعت m/s نمایش داده شده است.



Swimming dolphin robot

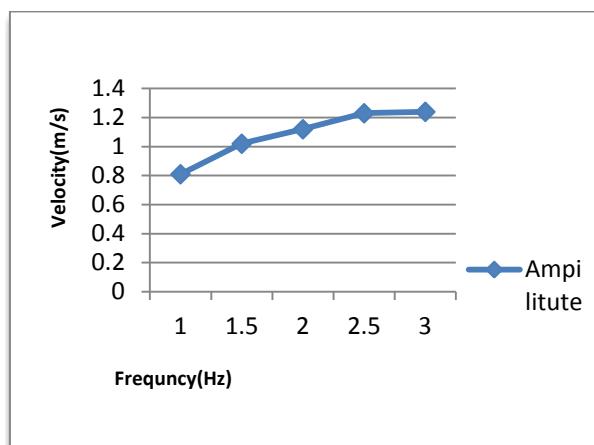
جدول ۶.



داده شده است.

نمودار ۸. نمایش نیروی درگ بر اساس تغیر سرعت جریان ورودی در حجم کنترل

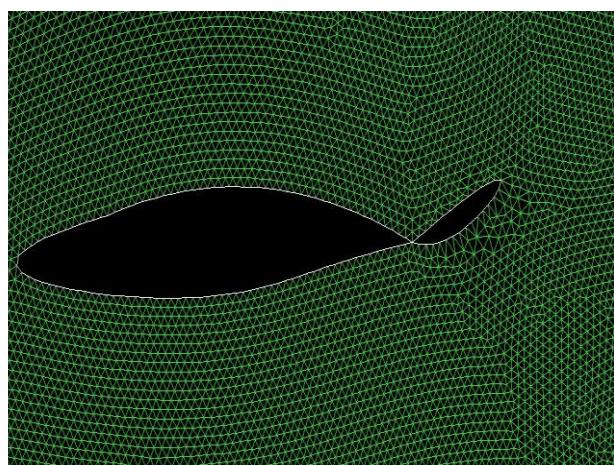
در نمودار ۸ نیز نتایج حل عددی برای محدوده سرعت ۰ تا ۱ m/s نمایش داده شده است.



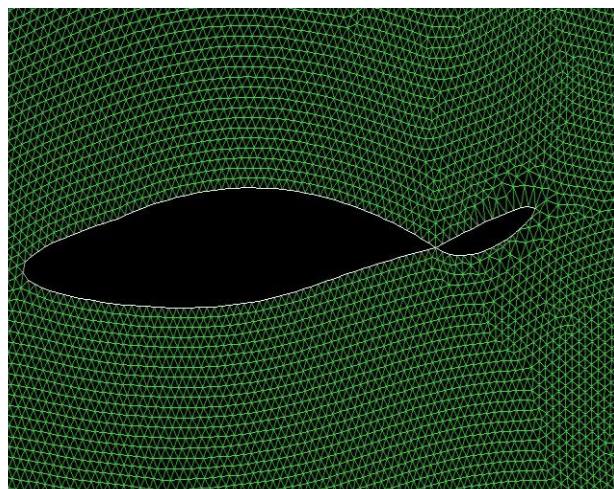
نمودار ۹

۹. نتیجه‌گیری و بحث در نتایج

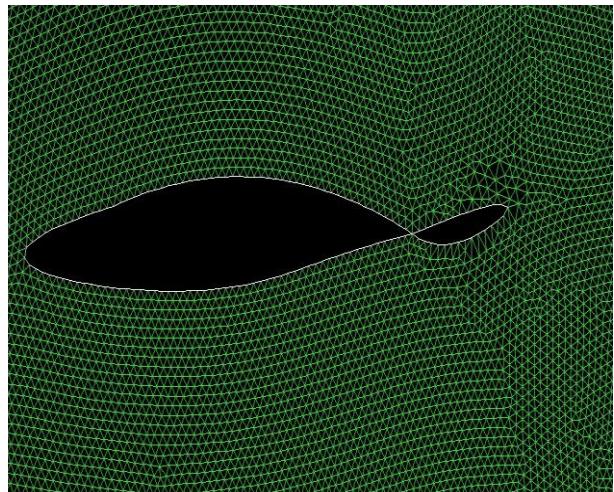
پس از معرفی شناور مورد بررسی و ویژگی های رفتاری آن و خصوصیات بدنه انتخاب شده، با تحلیل و بررسی متوجه می شویم که با افزایش سرعت، ضریب درگ افزایش می یابد. برای بهینه سازی در طراحی مورد نظر با تغییر شکل فرم بدنه شناور دلفین گون در ۴ حالت مختلف، و همچنین تغییر در شکل دم شناور و مقایسه طرح های ایجاد شده، طرحی مناسب برای هندسه شناور دلفین گون انتخاب شده است. این طرح باقیستی در پایداری و مانور پذیری بهتر شناور و همچنین کاهش ضریب درگ برای رسیدن به سرعت بالاتر برای شناور مناسب باشد. این نتایج با مقایسه داده هایی که از حل عددی مسئله در برنامه فلوئنت به صورت ۳بعدی به دست آمده حاصل شده است. با الهام گرفتن از فرم شنا کردن دلفین^۷ و با استفاده از این ویژگی، بدون استفاده از مکانیسم خیلی پیچیده‌ای می توان شناور را به حرکت کردن در حالات گوناگون وا داشت. در نمودار ۸ و در محدوده سرعت (۱ m/s تا ۳ m/s) نیروی درگ بر حسب نیوتون نمایش داده شده است. با افزایش سرعت



شکل. ۴. حالت دم زدن (a)



شکل. ۵. حالت دم زدن (b)



شکل. ۶. حالت دم زدن (c)

⁷. Thunniform

میزان نیروی فشاری افزایش می‌یابد. در سرعت های اولیه میزان افزایش ضریب درگ محسوس می‌باشد. همچنین در تحلیل عددی هرچه مقدار زوایای کوچک در طراحی کمتر باشد، در حل عددی میزان همگرایی نتایج به شرایط بهینه برای کاهش نیروهای مقاوم در حرکت شناور در سیال آب مناسب تر است.

[6] -Yonghua Zhang,Jianhui He .K. H. Lo, 201 ۲, Parametric Study of an Underwater Finned Propulsor Inspired by Bluespotted Ray, Journal of Bionic Engineering .

[7]- M. A. MacIver, E. Fontaine & J.W. Burdick, 20 ۰۴, *Designing Future Underwater Vehicles: Principles and Mechanisms of Weakly Electric Fish, IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING*, VOL. 29, NO. 3.

[8]- E. G. Drucker and G. V. Lauder, 2 ۰۰۲, *Function of pectoral fins in rainbow trout: behavioral repertoire and hydrodynamic forces, The Journal of Experimental Biology* VOL. 206, The Company of Biologists Ltd .

[9]- D.F. Anderson & S. Eberhardt, 2 ۰۰۰, *Understanding Flight, MacGraw-Hill Book Company Inc., USA.*

[10]- M. Nakashima, K. Tokuo, K. Kaminaga and K. Ono, 1999, "Experimental Study of a Self-Propelled Two-Joint Dolphin Robot". Tokyo Institute of Technology Tokyo, Japan.

مراجع

[1]- F.E. Fish & J.J. Rohr, 1999, *Review of Dolphin Hydrodynamics and Swimming Performance, Technical Report, SSC SAN Diego.*

[2]- D. Nikolic , S.Y. Kim, R. Allen, 2012, Identification of sound-localization cues in the HRTF of the bat-head model", *Biomedical Signal Processing and Control* pp. 270– 277 .

[3]-Joseph Samih Najem, 201 ۲, Design and Development of a Bio-inspired Robotic Jelly Fish that Features Ionic Polymer Metal Composites Actuators". Virginia Polytechnic Institute.

[4]- Diego Bernal, Kathryn A. Dickson, Robert E. Shadwick, Jeffrey B. Graham, 2 ۰۰۱, Analysis of the evolutionary convergence for high performance swimming in lamnid sharks and tunas, Department of Biological Science, California State University.

- [5]-Thomas J. Cashman and Andrew W. Fitzgibbon, Senior Member, IEEE "What Shape are Dolphins? Building 3D Morphable Models from 2D Images", University of Lugano, Switzerland,(2012)

پانزدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها
بندرعباس، دانشگاه هرمزگان، ۲۷-۲۹ آذر ۱۳۹۲