Archive of SID

مدلسازی تجربی و عددی یک شناور تندروی پروازی

بابک شعبانی[1] ، مهدی عسگری[2] محمد سعید سیف[3]

دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مکانیک

b_babakshabani@yahoo.com

چکیده

در این مقاله مقاومت هیدرودینامیکی یک شناور تندرو با بدنه ای از نوع پروازی و فرمی جدید با استفاده از دو روش تجربی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف این بررسی، مقایسه نتایج تجربی بدست آمده از تست کشش مدل و نتایج عددی حاصل از شبیه سازی جریان اطراف بدنه شناور، به کمک نرم افرار فلوئنت می باشد. مهمترین موضوع در مدلسازی عددی شناور پروازی، تعیین شرایط حرکت دائمی آن از لحاظ تریم و آبخور می باشد. با مقایسه نتایج می توان نتیجه گرفت که با وجود عدم اطمینان نسبت به شرایط حرکت دائمی و در نتیجه تعیین موقعیت مدلسازی، نتایج متناظر در محدوده ای نه چندان متفاوت از هم قرار دارند. لذا می توان با مدلسازی های کاملتر، امکان بررسی شرایط حرکت شناور را مخصوصا در سرعت های بالا با روشهای عددی بدست آورد.

کلمات کلیدی : مقاومت شناورها - شناور تندرو - CFD

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف
[2] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف
[3] دانشیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

www.SID.ir

Archvie of SID

مقدمه

تعیین مقاومت هیدرودینامیکی یک شناور هم از لحاظ تعیین توان مورد نیاز برای حرکت پس از طراحی فرم بدنه، و هم از لحاظ بهینه سازی فرم بدنه در حین طراحی موضوع بسیار مهمی تلقی می شود. دو روش تجربی و عددی ابزار های مناسبی هستند که در دستیابی به این مهم به کار می روند. منظور از روش تجربی، در واقع استفاده از آزمایش یک مدل مشابه در ابعاد کوچکتر است . به عنوان مثال از نتیجه تست مقاومت مدل می توان برای محاسبه مقاومت شناور اصلی اقدام نمود. این روش اکنون نیرومندترین ابزار برای تعیین مقاومت شناور ها می باشد. اما در روش عددی در واقع از شبیه سازی جریان اطراف شناور استفاده می شود . یعنی هندسه بدنه را در فضای حل که آن را دامنه می نامیم قرار داده و سپس معادلات حاکم بر جریان را با توجه به فیزیک مسئله اعمال کرده و با یکی از روش های عددی به حل آنها می پردا زیم. یکی از مزیت های مهم روش های عددی، کاهش اساسی در زمان و قیمت تحلیل ها و طراحی های جدید می باشد.

به همین منظور در مقاله حاضر به بررسی تجربی و عددی مقاومت یک شناور تندرو پرداخته شده است که در دسته شناور های پروازی قرار گرفته و از طراحی جدیدی نیز بهره می برد.

در قسمت تجربی پس از ساخت مدلی با طول تقریبا ۸۰ سانتیمتر، تست کشش شناور در حوضچه کشش دانشگاه صنعتی شریف برای تعیین مقاومت کل آن انجام شد. همچنین در قسمت عددی شناور با همان اندازه مدل، در نرم افرار فلوئنت شبیه سازی شد تا منحنی مقاومت شناور بر حسب سرعت با دو روش تجربی و عددی به دست آیند و با هم مقایسه شوند.

موضوع اصلی در مدلسازی عددی شناور های پروازی تعیین موقعیت پایدار شناور در هر مرحله می باشد. این موقعیت را می توان با دو متغیر تریم شناور و میزان فرورفتگی آن در آب، کنتر ل کرد. باید توجه داشت که با تغییر سرعت برای شناور پروازی این دو متغیر نیز تغییر می‌کنند. برای رسیدن به مدلسازی مورد قبول از نقطه نظر فیزیکی، نیاز به سعی و خطا در فلوئنت داریم که خود مسئله ای زمان بر در مسائل سه بعدی می باشد. همچنین باید از کیفیت شبکه، انتخاب مدل مناسب برای حل در فلوئنت مطمئن شد چرا که عدم دقت در این موارد باعث ایجاد خطا در مدلسازی عددی شده و نمی توان برای بررسی موقعیت شناور از نتایج بدست آمده بهره برد. ادامه مقاله توضیح مراحل کار و نتایج بدست آمده را در بر می گیرد.

www.SID.ir

Archvie of SID

مدلسازی تجربی

برای تست مقاومت، ابتدا از روی نقشه خطوط بدنه، مدلی چوبی و سپس به علت سنگینی، با استفاده از آن بدنه فایبر گلاسی نیز ساخته شد (شکل ۱و۲). این مدل در سرعت های متفاوت در بازه سرعت ۰/۵ تا ۳/۲ متر بر ثانیه در حوضچه کشش مورد آزمایش قرار گرفت . شکل ۳ منحنی مقاومت بر حسب فرود حجمی را برای شناور مدل نشان می دهد.

برای یک شناور پروازی، با افزایش سرعت نیروی دینامیکی برا وارد بر بدنه افزایش می یابد و قسمتی از بدنه از آب بیرون می آید یا به قولی میزان فرورفتگی شناور در آب تغییر می کند. همچنین با جابجایی محل اعمال نیروهای هیدرودینامیکی بر بدنه، تغییرات تریم در شناور رخ میدهد . در نتیجه در هر سرعت، علاوه بر مقاومت باید مقدار زاویه تریم شناور و میزان فرورفتگی آن در آب نیز ثبت شود.

مدلسازی عددی

با توجه به تاثیرات متقابل آب و بدنه شناور پروازی، در سرعت های متفاوت و نحوه مدلسازی در فلوئنت این سئوال مطرح می شود که چگونه می توان در فلوئنت به جوابی رسید که علاوه بر دقت از لحاظ فیزیکی، با معنا نیز باشد. بی شک برای رسیدن به این جواب باید از معیارهایی استفاده کرد که بر اساس آن ها بتوان دقت نتایج عددی را ارزیابی نمود. این معیارها را می توان بر اساس شرایط تعادل شناور تعریف کرد که شامل دو شرط است. شرط اول آنکه برآیند نیروهای وارد بر بدنه در راستای عمودی به دست آمده از نتایج عددی، با وزن شناور مدل شده در واقعیت برابر باشد و شرط دوم آنکه گشتاور نیروهای وارد بر بدنه ناشی از نتایج عددی حول نقطه ی کشش مدل در آزمایش، باید گشتاور حاصله از وزن در حالت واقعی حول آن نقطه را خنثی کند. در این صورت می توان روند مدلسازی شناور پروازی در این حل عددی را با توجه به شکل ۴ بیان کرد. این روش باید در سرعت های متفاوت مورد استفاده قرار گیرد تا منحنی مقاومت بر حسب سرعت به دست آید.

به طور کلی با توجه به نتایج آزمایش و شرایط بالا می توان سه روند را برای مدلسازی دنبال کرد که در زیر به آنها اشاره می کنیم. برای روشن تر شدن مطلب شکل ۴ می تواند کمک نماید.

۱- روند صفر درجه آزادی : در این روند موقعیت شناور در هر سرعت توسط دو متغیر تریم و میزان فرورفتگی به

www.SID.ir

Archvie of SID

دست آمده از آزمایش تثبیت می شود و تغییری نمی کند . لذا با معیار قرار دادن نتایج آزمایش، نتایج عددی بدون چک کردن شرایط تعادل ضبط میگردد و به عنوان نتیجه نهایی مورد استفاده واقع میشود.

۲- روند ۱ درجه آزادی : در این روند از دو متغیر تریم و میزان فرورفتگی در هر سرعت ، متغیر تریم همان مقدار بدست آمده از آزمایش در نظر گرفته شده و ثابت نگه داشته می شود. متغیر دوم یعنی میزان فرورفتگی شناور را آنقدر تغییرداده تا شرط تعادل عمودی نیروها برقرار شود. همچنین شرط تعادل گشتاور در نظرگرفته نمی شود.

۳- روند ۲ درجه آزادی : در این روند پس از تعیین موقعیت شناور در مرتبه اول بر مبنای آزمایش هر دو متغیر تریم و میزان فرورفتگی را برای تجدید موقعیت مدلسازی بکار گرفته تا هر دو شرط تعادل ذکر شده برقرار شوند[۲].

در این تحقیق به دلیل عدم دسترسی به نتایج آزمایشگاهی دقیق برای تریم و میزان فرورفتگی و با توجه به حالت های بالا، مدلسازی در دو بخش ساده تر انجام گردید. مدلسازی در بخش اول با در نظر گرفتن یک زاویه تریم تقریبی و ثابت و نیز میزان فرو رفتگی برابر با آبخور شناور در حالت ساکن، برای تمامی سرعت ها انجام گرفت و هیچ کدام از شرایط تعادل مد نظر قرار نگرفتند. این کار برای زاویه تریم ۲/۲ درجه انجام پذیرفت. در بخش دوم با در نظر گرفتن زاویه تریم ۳ درجه به صورت ثابت برای تمامی سرعت ها و متغیر قرار دادن میزان فرورفتگی شناور در هر سرعت سعی گردید تا شرط تعادل نیروهای عمودی برقرار شود و شرط تعادل گشتاور در نظر گرفته نشد.

شبکه محاسباتی و شیوه حل

به عنوان ورودی هر مسئله عددی، باید در قسمت پیش پردازنده به تعریف هندسه موردنظر، تشکیل دامنه محاسباتی و در نهایت تقسیم بندی دامنه به نواحی کوچکتر و یا تولید شبکه پرداخته شود . در تحقیق حاضر این کار در نرم افزار Gambit انجام گرفت. به علت هندسه غیر یکنواخت بدنه استفاده از شبکه بی سازمان اطراف بدنه مناسب تشخیص داده شد. همچنین برای کاهش تعداد سلولها در نواحی دور از بدنه از شبکه سازمان یافته استفاده و با توجه به تقارن، تنها نیمی از بدنه شناور در دامنه مدلسازی وارد شد. ابعاد دامنه محاسباتی به عنوان تابعی از طول شناور بر اساس کار های مشابه انتخاب گردید(شکل۵)[۲]. تعداد سلول های ایجاد شده در بازه ی ۲۰۰ تا ۲۳۰ هزار برای دو حالت شبیه سازی شده قرار دارد.

در این مدلسازی با مسئله ای سه بعدی ، مغشوش، دو فاز و گذرا در فلوئنت مواجه هستیم. قابل توجه است که هر

www.SID.ir

Archvie of SID

چند، مسئله در واقعیت پایا است اما در فلوئنت برای این مسئله دو فاز، لازم است حالت گذرا حل شود تا شرایط پایا بدست آید . این موضوع را می توان با استفاده از تغییرات نیروهای برا و پسا با افزایش زمان تحقیق کرد . باید به شرایطی رسید که پس از آن با گذشت زمان تغییر چندانی در مقادیر نیرو ها ملاحظه نشود. همچنین می توان از کانتور های فشار یا سرعت در صفحه تقارن کمک گرفت . در حالت نهایی باید کل میدان از نظر پیوستگی منطقی به نظر برسد.

مدل انتخاب شده برای حل در فلوئنت در جدول ۱ خلاصه شده است. شرایط مرزی در نظر گرفته شده نیز در جدول ۲ ارائه شده است. با استفاده از رایانه با 2.4GHz و 1GB RAM مدت زمان مورد نیاز برای محاسبه با در نظر گرفتن گام زمانی ۰/۰۰۱ ثانیه نزدیک به ۳۶ ساعت می باشد. با توجه به اینکه این مدت زمان، تنها برای بدست آوردن یک نقطه از نمودار مقاومت بر حسب سرعت است زمان قابل توجهی صرف محاسبات می شود . حال اگر برای رسیدن به شرایط فیزیکی با دقت کافی، تلاش شود زمانی دیگر نیز جهت تشکیل هندسه جدید و شبکه بندی و همچنین حل مجدد برای همان نقطه از نمودار صرف می شود که روند پیشرفت را کند تر می کند. با این حال نتایج حاصل از این مدلسازی، در ادامه آورده شده است.

با توجه به مدل انتخاب شده در فلوئنت، جواب ها از روند همگرایی مناسبی برخوردار هستند. این موضوع در شکل ۶ که در واقع تاریخچه همگرایی نتایج می باشد ملاحظه می شود. قابل توجه است که برای اینکه میدان در زمان های پایا از نظر پیوستگی مناسب باشد در گام های زمانی پایانی می توان تعداد تکرار در هر گام زمانی را زیاد کرد تا به دقت همگرایی مناسبی رسید. شکل ۷ نیز تاریخچه تغییرات نیروها را برای یک حالت نمایش می دهد. همان طور که ملاحظه می شود این مقادیر بعد از گذشت حالت گذرا به سمت مقادیر ثابت میل نموده اند. تغییرات شکل سطح آزاد پشت شناور نیز موضوع جالبی می باشد که در شکل ۸ نمونه ای از آن ارائه شده است. این فرورفتگی در صفحه تقارن با مشاهدات آزمایشگاهی مطابقت دارد. کانتور های فشار دینامیک روی بدنه در شکل ۹ آورده شده است . همان طور که مشاهده می کنید در قسمت های نزدیک پاشنه بیشترین مقادیر فشار وجود دارد که باعث ایجاد نیروی دینامیکی برا می شود. منحنی مقاومت شناور در حالت های گفته شده به همراه منحنی حاصل از آزمایش در شکل ۱۰ آورده شده است . به علت نبود نتایج تجربی در سرعت های بالا در مدلسازی عددی این موضوع مورد تحقیق قرار گرفت که نتایج آن را نیز مشاهده می کنید.

www.SID.ir

Archvie of SID

نتیجه گیری

با توجه به اینکه شناورهای پروازی در سرعت های مختلف دارای زاویه تریم و میزان فرورفتگی متفاوتی هستند، مدلسازی عددی مستلزم تغییرات دائمی موقعیت شناور خواهد بود. موقعیت شناور را می توان براساس آزمایش پایه ریزی کرد اما باید توجه داشت حتی در این حالت، حل عددی ممکن است به علت عدم برقراری شرایط تعادل از نظر فیزیکی، بامعنا نباشد. بنابراین باید در یک روند مناسب با استفاده از سعی و خطا موضوع بررسی شود تا شرایط مناسب بدست آید. مقایسه نتایج تجربی و عددی نشان می دهد که با وجود عدم اطمینان نسبت به تعیین مناسب موقعیت شناور در مدلسازی، جواب های متناظر در محدوده ای قابل قبول قرار می گیرند و می توان با مدلسازی های دقیقتر پاسخ های کاملا مناسبی بدست آورد. بنابراین این موضوع می تواند در طراحی ها و بررسی تغییرات فرم بدنه و عملکرد آن بسیار مفید باشد.

مراجع

۱- شعبانی، بابک ، " بررسی تجربی و عددی مقاومت کل یک شناور تندرو با بدنه پروازی " ، پایان نامه کارشناسی ، دانشگاه صنعتی شریف ، تابستان ۸۴.

2- Eric Thornhill, Dan Oldford, Neil Bose, Planing Hull Performance Evaluation Using a General Purpose CFD Code, Twenty-Fourth Symposium on Navalydrodynamics,2003,pp 640-654

جدول۱ : مدل انتخاب شده در نرم افزار فلوئنت برای انجام محاسبات

حل گر	Segregated, implicit, unsteady,1st order implicit, 3D
مدل سطح آزاد	VOF, implicit, implicit body forced, air & water liquid
مدل اغتشاش	k-ε, RNG, standard wall functions

جدول ۲ : شرایط مرزی استفاده شده برای صفحات مرزی دامنه

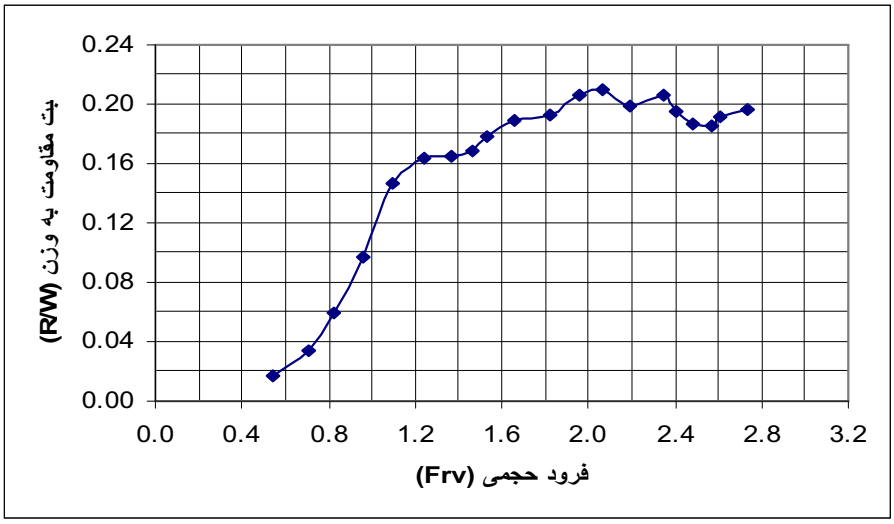
صفحه بالایی دامنه	صفحه پایینی دامنه	ورودی دامنه پایین صفحه آبخور	ورودی دامنه بالای صفحه آبخور
Velocity Inlet	Velocity Inlet	Velocity Inlet	Velocity Inlet
صفحه تقارن	صفحه کناری دامنه	بدنه شناور	خروجی دامنه
Symmetry	Velocity Inlet	Wall	Outflow

www.SID.ir

Archvie of SID

شکل ۱ : فرم بدنه شناور پروازی استفاده شده

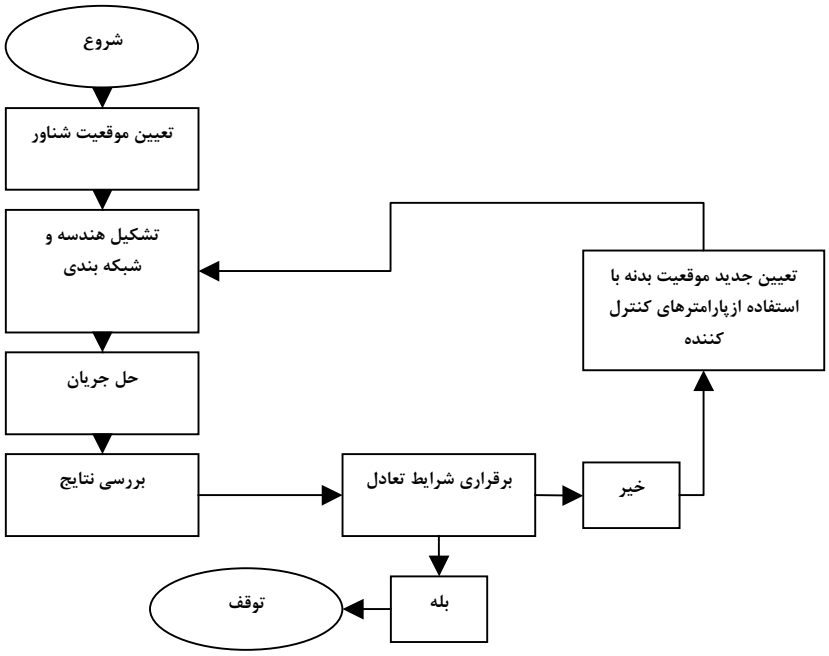
شکل ۲ : عکسی از مدل در حال تست در حوضچه کشش



شکل ۳ : منحنی تجربی نسبت مقاومت به وزن بر حسب فرود حجمی برای مدل

www.SID.ir

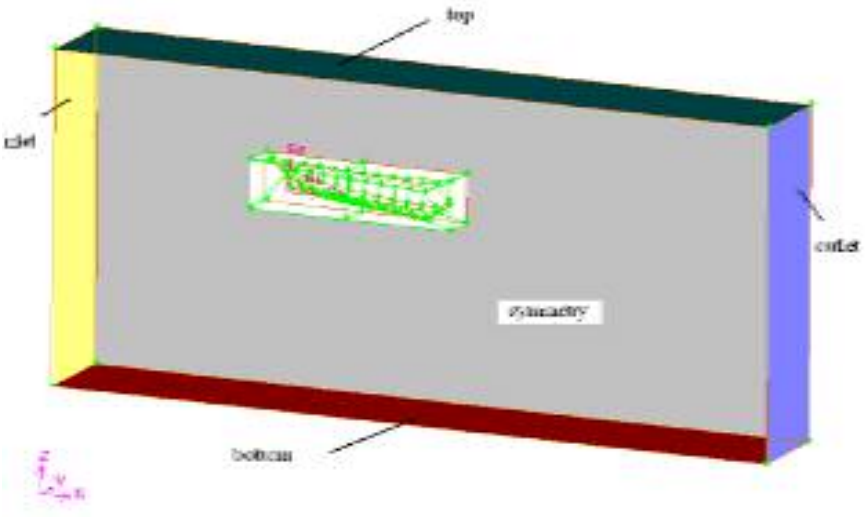
Archvie of SID



شکل ۴ : روند مدلسازی عددی شناور پروازی

جدول ۴ : ابعاد دامنه محاسباتی در بر گیرنده شناور بر حسب طول شناور(L)

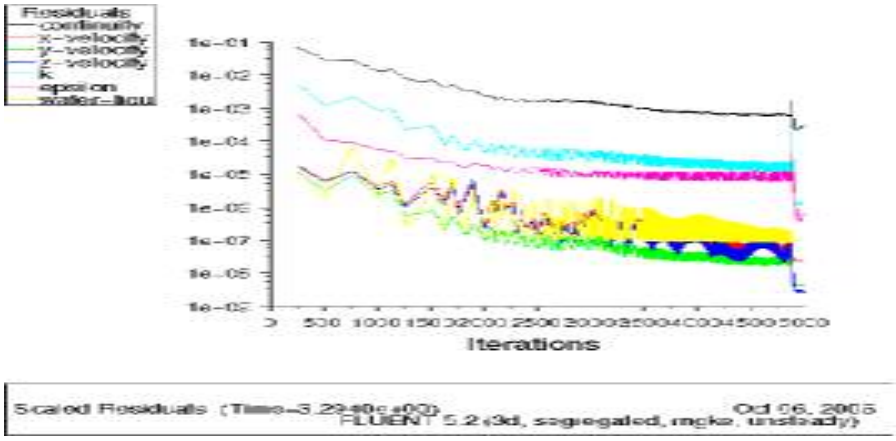
فاصله از پهلوی شناور تا صفحه کناری	فاصله از صفحه آبخور تا صفحه پایینی	فاصله از صفحه بالایی تا صفحه آبخور	فاصله از مرز خروجی تا پاشنه	فاصله از دماغه تا مرز ورودی
۰/۵۳L	۱/۱۲۵L	۰/۸L	۲L	L



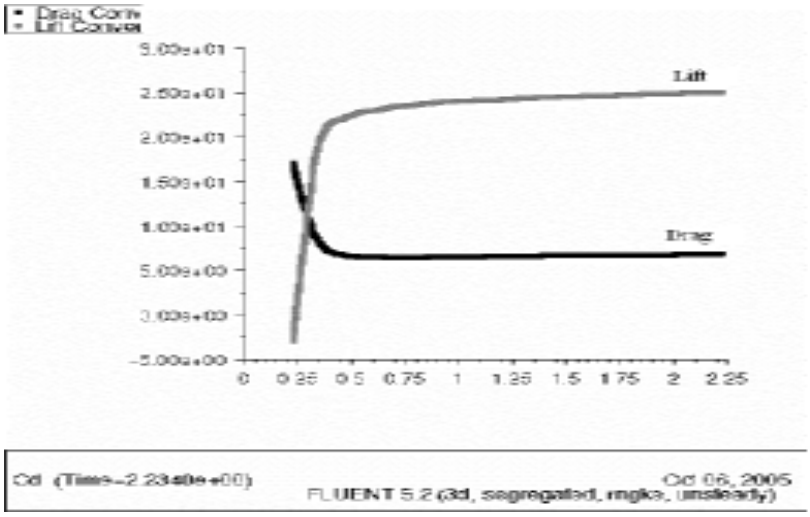
شکل ۵ : نمایش دامنه محاسباتی در برگیرنده شناور

www.SID.ir

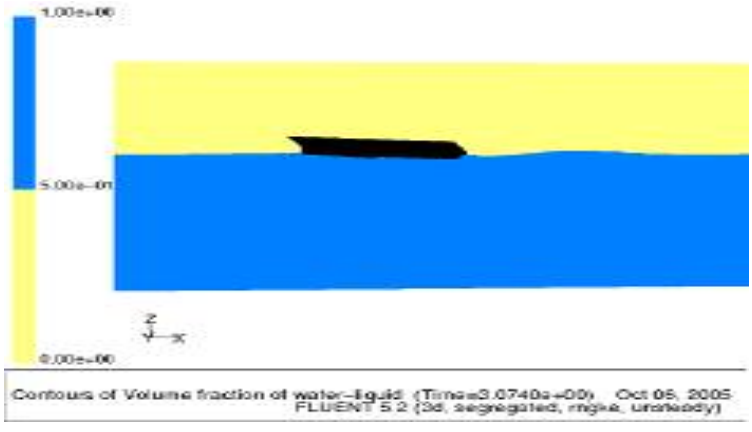
Archvie of SID



شکل ۶ : نمونه ای از تاریخچه همگرایی



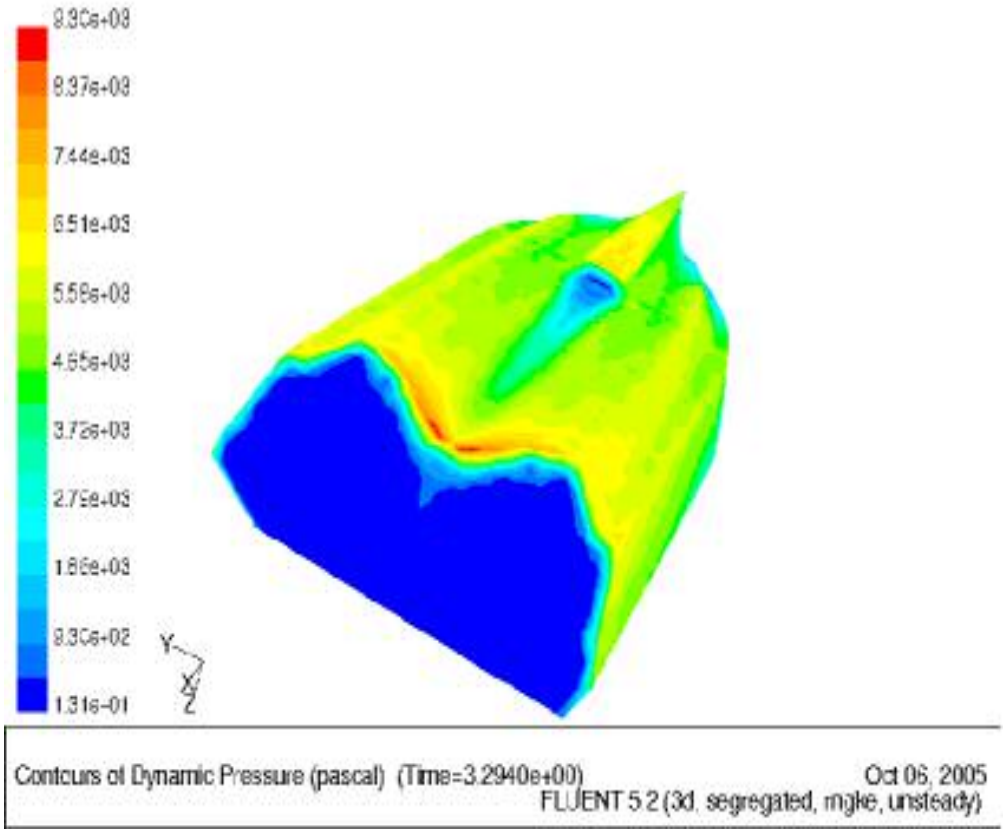
شکل ۷ : نمونه ای از تاریخچه نیرو های برا و پسا در حین محاسبات



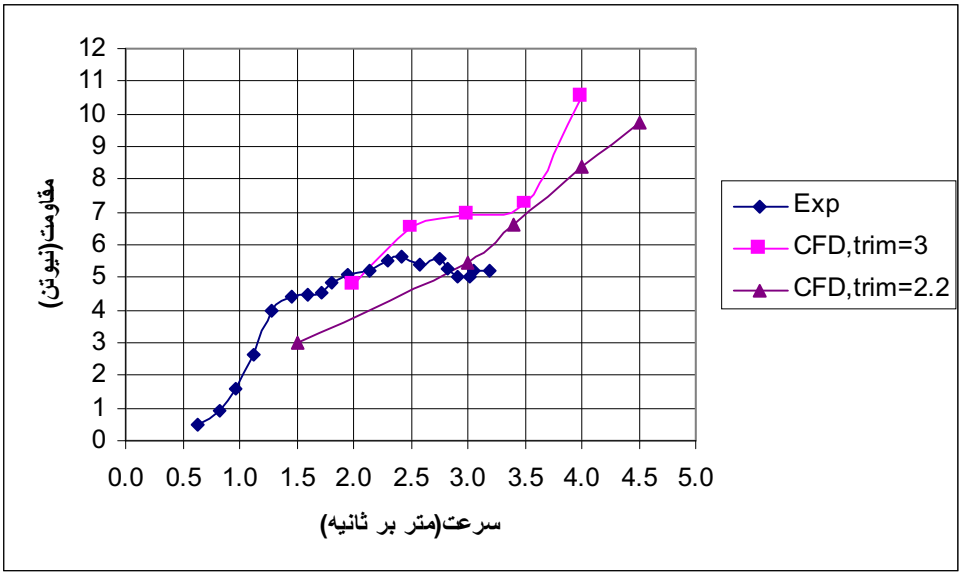
شکل ۸ : نمونه ای از سطح آزاد بدست آمده در پشت شناور در سرعت ۲ متر بر ثانیه در حالت پایا

www.SID.ir

Archvie of SID



شکل ۹ : کانتور فشار دینامیک روی بدنه



شکل ۱۰ : منحنی مقاومت بدست آمده از مدلسازی عددی در مقایسه با نتیجه آزمایش

www.SID.ir