



بررسی و محاسبات مولفه های مقاومت شناور Outrider

سید حمزه آرمن^۱، حسن قاسمی^۲

دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در میان انواع شناورها، شناورهای پلانینگ دارای فرم خاصی می باشند و لذا هیدرودینامیک آنها بسیار خاص و منحصر به فرد است. تاکنون روشهای زیادی برای محاسبه مقاومت بدنه انواع شناورهای تندرو ارائه گردیده اند که هر یک مربوط به نوع خاصی از این شناورها، با فرم بدنه خاص می باشند. متأسفانه به رغم پیشرفتهای پژوهش های به عمل آمده در سالهای اخیر هنوز روش جامع و کاملی به منظور محاسبه مقاومت بدنه انواع شناورهای تندرو با هر فرم بدنه خاص، در اختیار نمی باشد. در این مقاله ضمن معرفی انواع روشهای محاسبه مقاومت شناورها، به شیوه مدل ریاضی به محاسبه مقاومت بدنه یک شناور با فرم بدنه خاص (شناور Outrider)، بدون در اختیار داشتن روابط تجربی محاسبه مقاومت، پرداخته ایم.

مقدمه

تعیین قدرت لازم برای غلبه بر مقاومت و راندن شناور در سرعت طراحی از ملزومات طراحی شناور است. از آنجا که طول آبخور تاثیر زیادی روی مقاومت دارد لذا مهمترین مقاومت ها مقاومت اصطکاکی، مقاومت موج سازی هستند. برای بدست آوردن مقاومت کل فشارهای هیدرودینامیک می بایست تعیین گردند. دانستن مشخصات هیدرودینامیکی یک کشتی در مرحله طراحی و قبل از انجام آزمایشات بسیار حائز اهمیت است، تا هزینه و زمان صرف شده برای تکرار این آزمایشات کاهش یابد. مشخصات هیدرودینامیکی شناور اساساً به شکل بدنه آن بستگی دارد. بهبود فرم بدنه به طور هیدرودینامیکی مقاومت شناور را کاهش می دهد

^۱ فارغ التحصیل مقطع کارشناسی مهندسی دریا

^۲ استادیار



مقاومت های شناور پلانینگ

یک کشتی ساکن در آب آرام فقط در معرض فشارهای هیدرواستاتیکی در جهت عمود بر سطح غوطه ور در آب قرار دارد. به عنوان برآیندی از فشارهای هیدرواستاتیکی، منتهجه نیروی کل در جهت عمودی با وزن کشتی متعادل می شود. برآیند نیروها در جهات جلو، عقب و جهات عرضی به علت این فشارهای هیدرواستاتیک صفر می باشند. هنگامی که کشتی در حرکت است، به علت فشارهای استاتیکی متغیر بر روی بدنه فشارهای دینامیکی ایجاد می گردد. فشارهای دینامیکی یک برآیند نیروی غیر صفر بوجود می آورند که برخلاف حرکت رو به جلوی کشتی در آب است. به علت ویسکوزیته آب نیروهای مماسی نیز در خلاف جهت حرکت کشتی بر آن وارد می شوند، اما این نیروها فقط در موارد عملی و در مجاورت بدنه شناور اهمیت دارند. این نیروهای مماسی باعث می شوند که مقداری از آب در سرتاسر طول بدنه و در لایه مرزی نسبتا باریکی جریان یابد. نیروهای عمودی و مماسی به همراه هم نیروی درگ نامیده می شوند. بطور کلی روش هایی که می توان با استفاده از آنها مقاومت بدنه کشتی را محاسبه نمود عبارتند از: مدل ریاضی، مدل فیزیکی و مدل آماری. در اینجا هر یک از این روشها را توضیح می دهیم.

مدل ریاضی:

- روش تئوری و محاسباتی نرم افزاری

- روش مهندسی

در روش مدل ریاضی مستقیما با داشتن ابعاد شناور و پارامترهای مربوط به آن می توانیم محاسبه مقاومت شناور را انجام دهیم که خود به دو بخش تقسیم می گردند:

- روش مهندسی که به کمک روابط تجربی و معلومات لازم مربوط به کشتی واقعی برای شناورهای مختلف محاسبه مقاومت امکان پذیر است. که البته با درصدی خطا همراه خواهد بود. معمولا این روش در مراحل اولیه طراحی شناور مورد بررسی قرار می گیرد. روشهای تجربی زیادی در این زمینه ارائه کرده اند که در میان آنها روش سویتسکی مربوط به محاسبه مقاومت شناورهای تندرو از اهمیت ویژه ای برخوردار است که به تفصیل آن را شرح خواهیم داد.



-روش تئوری و محاسبات نرم افزاری که به کمک روابط حاکم در جریان سیال (معادلات ناویر استوکس) محاسبه مقاومت امکان پذیر است. البته در این روش نیز درصد خطای آزمایش با نمونه واقعی قابل توجه می باشد.

یک روش و ابزار بسیار قوی برای به دست آوردن ضریب مقاومت، روش CFD است. امروزه محققان زیادی در حال تحقیق و تلاش جهت کسب نتایج بهتر می باشند و در آینده نزدیک این روش ابزار بسیار مناسبی برای محاسبه مقاومت شناورها خواهد گردید.

مدل فیزیکی (Mold Test)

گرچه در سالهای اخیر برای محاسبه مولفه های مقاومت کشتی ها از طریق تئوریهای پیشرفته ریاضی نتایج حاصل شده است، ولی هنوز استفاده از روش مدل فیزیکی به قوت خود باقی است. و برای طراحی کشتی ها عمدتاً به کمک آزمایشات تجربی (تست مدل در حوضچه کشش) محاسبات صورت می پذیرد. در این شیوه، مدل کوچکی مشابه کشتی ساخته خواهد شد و نتایج حاصل از آزمایش این مدل در حوضچه کشش را به کمک روابط تجربی برای نمونه اصلی تعمیم خواهند داد.

مدل آماری (روش تقریبی)

در این روش با توجه به کشتی های ساخته شده از دوره های قبل می توان مقاومت کشتی را به دست آورد که عمدتاً اختلافاتی به همراه خواهد داشت. بر اساس آنچه تاکنون بیان گردید، بدیهی است که هر سه روش فوق در مورد همه شناورها، اعم از جابجائی، نیمه جابجائی و تندرو صادق می باشد.

محاسبات هیدرو دینامیکی مقاومت بدنه شناور Outrider

در این فصل به محاسبه مقاومت بدنه شناور Outrider می پردازیم. اطلاعات و Data هایی که از این شناور در اختیار می باشد، در جدول زیر آمده است:



جدول ۱- ابعاد اصلی شناور Outrider

مقادیر	پارامتر
508 cm	طول
182.88 cm	عرض
۴۵,۷۲ cm	آبخور
498.952 Kg.	وزن
Fiberglass	جنس بدنه
80 [mph] \approx 35.76 [m/s]	سرعت طراحی

همچنین یک مدل Auto Cad سه بعدی به صورت Solid از این شناور در اختیار می باشد که در مراحل بعدی محاسبات، مورد استفاده قرار خواهد گرفت اشکال (۱،۲). با توجه به اطلاعات و امکانات در دسترس، تنها روشی که می توان به کمک آن مقاومت بدنه این شناور را محاسبه کرد، روش مدل ریاضی است. چون روش مدل آماری به دلیل دقت پائین و عدم در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به مقاومت بدنه شناورهایی از این دست، قابل استفاده نخواهد بود. همچنین روش مدل فیزیکی نیازمند ساخت مدل در حوضچه کشش می باشد که متأسفانه دانشکده فاقد چنین اطلاعات آزمایشگاهی می باشد. پس به نظر می رسد تنها روش محاسباتی، روش مدل ریاضی و مطالعه بر روی مدل سه بعدی در اختیار داشته از این شناور می باشد. از قبل به خاطر داریم که روش مدل ریاضی، خود شامل دو روش می باشد:

۱- روش تئوری و محاسباتی نرم افزاری

۲- روش مهندسی

شناورهای تندرو دارای تنوع و فرم بدنه خاص می باشند و لذا هیدرودینامیک آنها بسیار خاص و منحصر به فرد می باشد به طوریکه روشهایی که تاکنون برای محاسبه مقاومت این شناورها ارائه شده اند، عموماً برای شناورهای خاص با فرم بدنه خاص و استاندارد می باشند و بر خلاف شناورهای جابجایی تا کنون روش



جامعی برای محاسبه مقاومت بدنه که بتواند در مورد همه شناورهای تندرو با هر نوع فرم بدنه و سیستم فویل و... کاربرد داشته باشد، ارائه نگردیده است. به عنوان مثال روش سویستکی که یکی از روشهای بسیار مهم و معتبر در زمینه محاسبه مقاومت شناورهای تندرو می باشد، فقط برای شناورهای تندرو تک بدنه کارایی دارد و نمی توان از این روش در محاسبه مقاومت شناور هیدروفویلی به کاربرد.

براین اساس با توجه به اینکه نرم افزارهایی که تاکنون در زمینه محاسبات مقاومت بدنه شناورها طراحی شده اند، به طور عمده بر مبنای روشهای تئوری و تجربی می باشند که تاکنون ارائه گردیده اند، امکان محاسبه مقاومت این شناور به کمک نرم افزارهای کامپیوتری که بدین منظور طراحی شده اند، نخواهد بود. به عنوان مثال نرم افزار Auto Power، در بخش شناورهای تندرو پلنینگ، به کمک روش سویستکی محاسبه مقاومت را انجام می دهد و همانگونه که ذکر گردید، این روش فقط برای شناورهای تندرو تک بدنه کاربرد دارد.

همچنین در این نرم افزار، محاسبه مقاومت شناور کاتاماران به صورتی کاملا مجزا انجام می گردد و لذا مقاومت شناور Out Rider را که جزء شناورهای ترکیبی (ترکیبی از شناور کاتاماران و شناور هیدروفویلی به واسطه المان اسکی در سینه شناور) می باشد، نمی توان به کمک این نرم افزار محاسبه کرد. با این تفاسیر تنها روش باقیمانده در محاسبه مقاومت این شناور، روش مهندسی می باشد.

محاسبه اجزای مقاومت

در این روش مؤلفه های مقاومت کل شناور را به صورت زیر تجزیه کرده و در برخی موارد با سعی و خطا به محاسبه اجزاء مختلف این شناور پرداخته و در نهایت نتایج و نمودارها را با نتایج بدست آمده از مؤلفه های مقاومت سایر شناورهای پلنینگ مقایسه خواهیم نمود:

$$\text{Total Resistance} = \text{Viscous Resis} + \text{Induced Resis} + \text{Wave Resis} + \text{Spray Resis}$$

در شناورهای پلنینگ در سرعت طراحی مقاومت موج سازی (R_w) بسیار ناچیز است و محاسبه مقاومت فرم (R_{fp}) و مقاومت اسپری (R_{sp}) پیچیده می باشد؛ لذا آنچه اهمیت دارد، محاسبه مقاومت اصطکاک ویسکوز (R_f) و مقاومت درگ القائی (R_p) (ناشی از توزیع فشار بر روی بدنه) است.

$$\text{Viscous Resis.} = \text{Friction Resistance} + \text{Form Resis}$$



مقاومت اصطکاکی

این مؤلفه از مقاومت در اثر تنش برشی به واسطه ایجاد لایه مرزی بر روی سطح جسم غوطه ور در سیال ایجاد می گردد و لذا با سطح خیس شده شناور در ارتباط می باشد. بدین منظور لازم است در سرعتهای مختلف و زوایای تریم متعدد سطح زیر آب شناور و همچنین طول خیس شده هر یک از المانها (فویلها، ورقهای میانی و اسکی) را محاسبه کنیم. در شکل (۳) نمایی از برشهای مختلف و سطح زیر آب این شناور در زوایا و سرعتهای مختلف نمایش داده شده است اشکال (۴، ۵). اگر شناور را به چهار قسمت اسکی، ورق میانی و دو فویل کناری تقسیم بندی نمائیم، با در اختیار داشتن سطح و طول خیس شده هر یک از المانها به کمک رابطه ITTC57 می توان مؤلفه مقاومت اصطکاکی هر المان را محاسبه نموده و در نهایت مقاومت اصطکاکی کل این شناور را بدست آورد.

$$C_F = \frac{0.075}{[\text{Log}R_n - 2]^2} + \delta C_F \quad (1)$$

نمودارهای ۲ الی ۷ منحنی های بدست آمده از نتایج محاسبه مقاومت اصطکاکی و ضرایب مقاومت، برای هر یک از المانهای اصلی این شناور می باشد.

مقاومت القائی

این مؤلفه مقاومت در اثر فشارهای هیدرودینامیکی وارد بر کف شناور در نتیجه عبور سیال از کف می باشد که برابند این فشارها در راستای عمود نیروی لیفت و در راستای افق نیروی مقاومت القائی را تولید می کند

با در اختیار داشتن سطح مقطع زیر آب این شناور و مدل کردن آن در نرم افزار Ansys، با عبور جریان سیال در محیط یک فازی (فقط آب) می توان توزیع فشار وارد بر کف شناور را به صورت سه بعدی بدست آورد. سپس منحنی توزیع فشار وارد بر کف شناور را به کمک نرم افزار Auto Cad با همان ابعاد به صورت نمایشی ترسیم می نمائیم که در آن خطوط پررنگ، مبین ضریب منحنی توزیع فشار (C_p) و خطوط کم رنگ، بدنه زیر آب شناور بوده و شکل (۴) در سرعت طراحی شناور (۸۰ mph) و زاویه تریم ۴/۴ درجه



می باشد. به کمک منحنی توزیع فشار و انتگرال گیری از آن بر روی سطح زیر آب شناور می توان مؤلفه برآیند نیروی فشار هیدرودینامیکی وارد بر کف شناور را بدست آورد. البته مجدداً این نکته را ذکر می کنیم که این منحنی توزیع فشار (شکل ۴) در سرعت طراحی ۸۰ mph و به عبارتی در زاویه تریم ۴.۴° درجه می باشد و فرض بر این است که مؤلفه برآیند این نیروی فشاری وارد بر کف در زوایای مختلف تریم، ثابت بوده که با تغییر زاویه تریم در سرعتهای مختلف و تصویر آن در راستای افق و عمود، مقدار مؤلفه های نیروی مقاومت القایی و لیفت محاسبه می گردند.

$$\text{Lift} = P \cos(\tau) ds \quad (۲)$$

$$\text{Drag} = P \sin(\tau) ds \quad (۳)$$

منحنی شکل (۵-۵) توزیع فشار نسبی بر حسب kpa روی سطح زیرآب را نشان می دهد. از این نمودار انتگرال حجمی گرفته تا نیروی هیدرودینامیکی وارد بر سطح بدست آید که مرکز افزایش فشار در سرعت طراحی، $x=312.377\text{cm}$ نسبت به پاشنه شناور می باشد. مقدار فشار کل از رابطه زیر بدست می آید.

$$F = \int P ds = ۲۹۰۴/۹۷ \text{ N} \quad (۴)$$

که نتایج حاصل در جدول (۱) ارائه گردیده است:

جدول (۱) محاسبات مقاومت القایی شناور Outrider

Vs [mph]	Vs [m/s]	Trim [degree]	Induced resistance[N]
0	0	0	0
10	4.47	0.8	70.14
20	8.94	1.4	92.24
30	13.41	2	114.69
40	17.88	2.6	135.54
45	20.115	2.8	162.42
50	22.35	3.2	186.45
60	26.82	3.8	213.24
70	31.29	5	238.92
80	35.76	4.4	222.86



مقاومت اسپری و فرم

به طور کلی در اکثر روشهای محاسبه مقاومت، این دو مؤلفه مقاومت تقریباً ناچیز می باشد. چون مقدارشان در مقایسه با سایر مؤلفه های مقاومت بسیار کم و در حدود ۱۰٪ مقاومت کل شناور را تشکیل می دهند و سهم اندکی را از مقاومت کل به خود اختصاص می دهند. همانگونه که از قبل بیان گردید (شکل این شناور از بغل به شکل سه فویل به هم چسپیده می باشد (فویل بدنه، فویل های کناری و المان اسکی شناور) (شکل ۵). بر این اساس به کمک دو رابطه تجربی، ضریب این مؤلفه های مقاومت محاسبه گردیده است. واضح است که به علت برخورد آب به سینه شناور و پدیده کوبش، بیشترین اسپری مربوط به المان اسکی (که به شکل یک فویل نیمه مغروق است) و همچنین بیشترین مقاومت فرم^۱ مربوط به فویل بدنه شناور می باشد نمودار (۸).

$$C_{From} = 0.5 * (2(t/C) + 60(t/C)^4) C_F \quad (5)$$

جدول (۲) مشخصات هندسی فویل بدنه میانی و المان اسکی شناور Outrider

t2(بدنه میانی)=	0.7091224	[m]
C2(بدنه میانی)=	4.7310796	[m]
t3(اسکی)=	0.024	[m]
C3(اسکی)=	1.8534268	[m]

همانگونه که از قبل ذکر گردید مقاومت اسپری نیز ناچیز بوده و محاسبه دقیق آن بسیار دشوار و پیچیده میباشد که در اینجا به کمک یک رابطه تجربی برای المان اسکی شناور محاسبه می گردد نمودار (۹):

$$C_{Spray} = 0.01 * (7.68 - 6.40(t/C)) C_F \quad (6)$$

مقاومت موج سازی

اصولاً محاسبات مربوط به مقاومت موج سازی به صورت تئوری امکانپذیر نیست و روابطی که تاکنون برای محاسبه مقاومت موج سازی شناورها به صورت تئوری ارائه گردیده اند نیز کاملاً تقریبی می باشند. در اینجا

^۱ - t در این رابطه ماکزیمم ضخامت و C طول کورد هریک از فویلها می باشد.



سعی شده است تا با شیوه مهندسی معکوس و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از سایر شناورهای تندرو، این مؤلفه مقاومت محاسبه گردد.

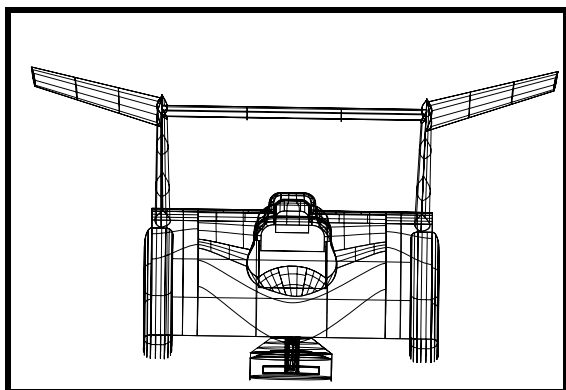
در ابتدا با در اختیار داشتن قدرت موتور ($P_B = 13055[W]$) و راندمان هیدرودینامیکی کل سیستم رانش که برای شناور مذکور در سرعت‌های مختلف در نمودار ۱۲ ترسیم گشته است، قدرت مؤثر شناور تعیین گردد. نمودار (۱۲) منحنی راندمان هیدرودینامیکی سایر شناورهای پلنینگ به صورتی تقریبی ترسیم گردیده است. با محاسبه قذرت مؤثر شناور، مقاومت کل در سرعت‌های مختلف قابل محاسبه می باشد. سپس با تخمین سهم مؤلفه مقاومت موج سازی از مقاومت کل شناور در سرعت‌های مختلف، مقاومت موج سازی و ضریب آن محاسبه می گردد که منحنی آن برحسب عدد فرود حجمی در نمودارهای ۱۱ و ۱۰ نمایش داده شده است.

جدول (۳) محاسبات مقاومت موج سازی شناور Outrider

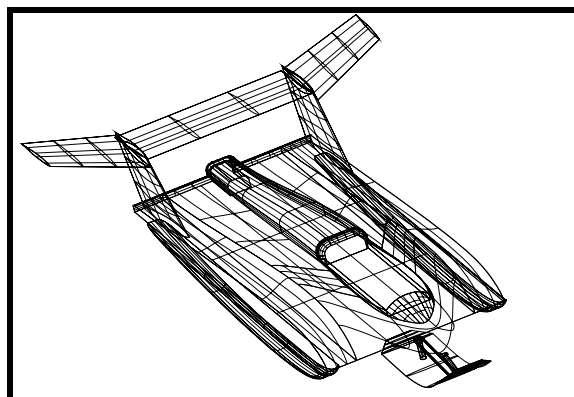
Vs[mph]	Cw	Rw	efficiency	PE [w]	RT [N]	Fr(▼)	▼[m ³]
0	0	0	0	0	0	0	1.386312
10	0.012463608	1051.4094	0.18	23499	5257.047	1.388952	1.176834
20	0.005665336	1606.3199	0.44	57442	6425.28	2.867232	0.973287
30	0.00326887	1766.9519	0.55	71802.5	5354.4	4.433262	0.811382
40	0.001781602	1489.4966	0.51	66580.5	3723.742	6.062394	0.697161
45	0.001119365	1113.0661	0.49	63969.5	3180.189	6.895832	0.652519
50	0.001057478	1214.962	0.52	67886	3037.405	7.753071	0.607877
60	0.000690722	1005.1669	0.59	77024.5	2871.905	9.50922	0.533183
70	0.000207825	826.10738	0.66	86163	2753.691	11.34001	0.467461
80	0.00018975	756.97826	0.715	93343.25	2610.27	13.28095	0.403648

مقاومت کل:

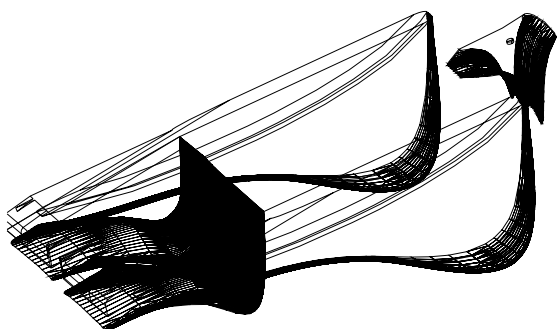
اکنون با در اختیار داشتن اجزاء مؤلفه های مقاومت این شناور، مقاومت کل در سرعت‌ها و مدهای مختلف عملیاتی این شناور تعیین می گردد نمودار (۱۳).



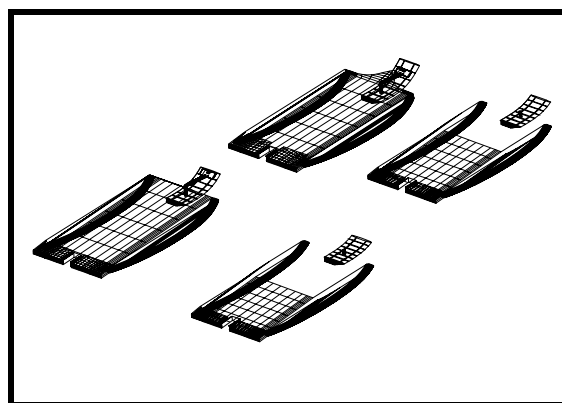
شکل (۲) نما از جلو این شناور



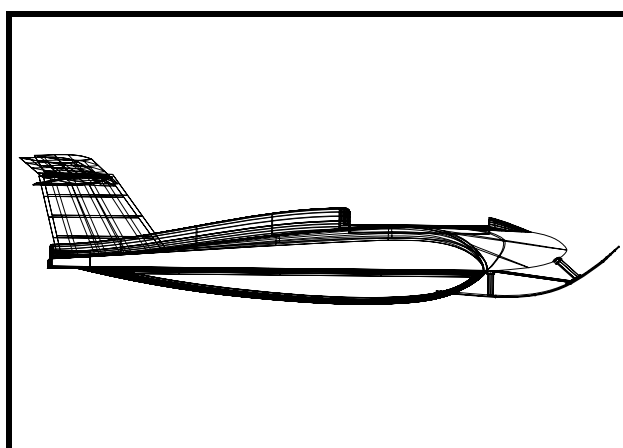
شکل (۱) نمایی از شناور outrider



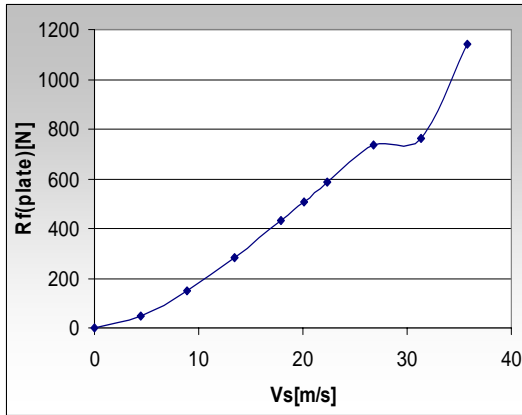
شکل (۴) منحنی توزیع فشار بر روی کف شناور



شکل (۳) نمایی از سطوح مقاطع زیر آب شناور

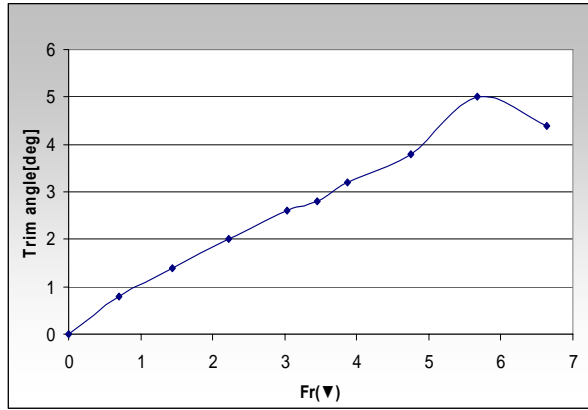


شکل (۵) نما از بغل شناور



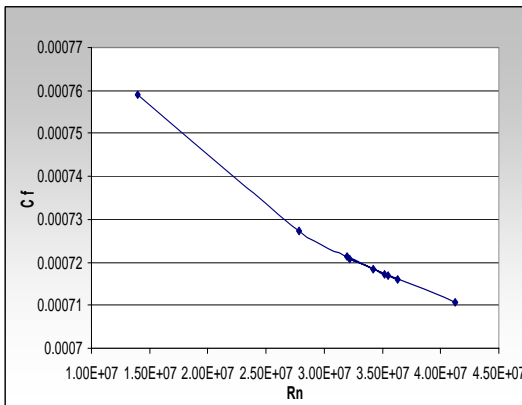
نمودار (۴) مقاومت اصطکاکی بر حسب سرعت برای

المان ورق میانی



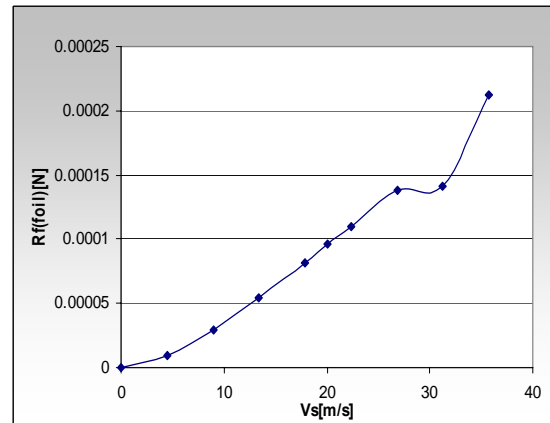
نمودار (۱) منحنی زاویه تریم بر حسب عدد فرود

حجمی



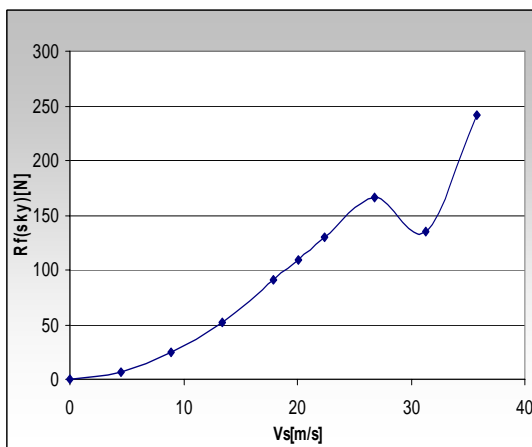
نمودار (۵) ضریب مقاومت اصطکاکی بر حسب

سرعت برای المان ورق میانی



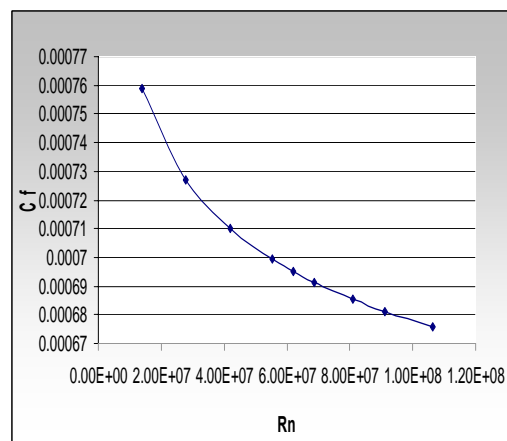
نمودار (۲) مقاومت اصطکاکی بر حسب سرعت برای

المان فویل های کناری



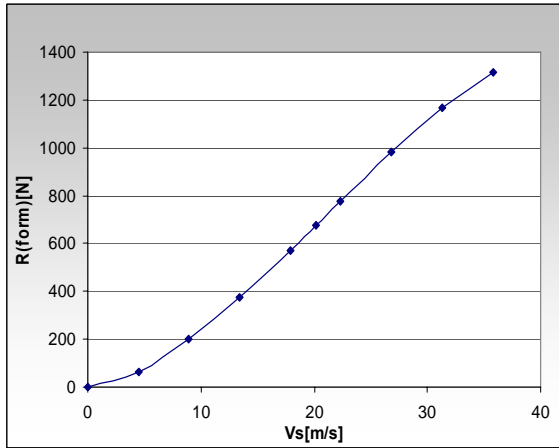
نمودار (۶) مقاومت اصطکاکی بر حسب سرعت برای

المان اسکی شناور

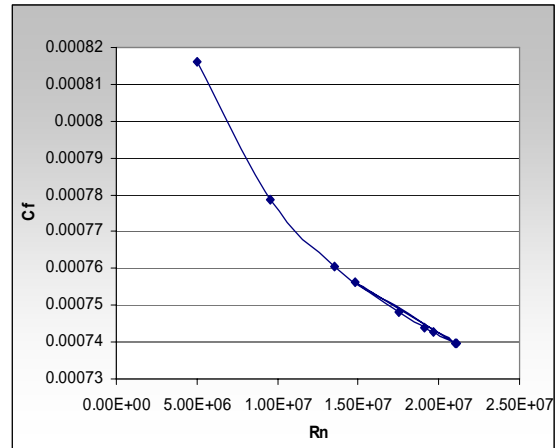


نمودار (۳) ضریب مقاومت اصطکاکی بر حسب

سرعت برای المان فویل های کناری

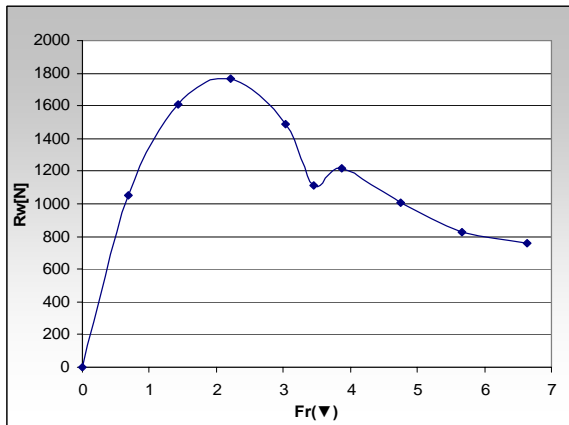


نمودار (۸) مقاومت فرم بر حسب سرعت

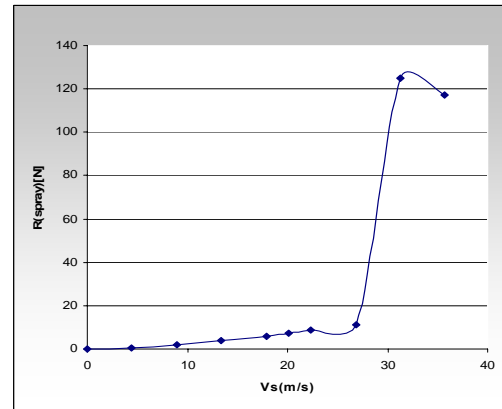


نمودار (۷) ضریب مقاومت اصطکاکی بر حسب

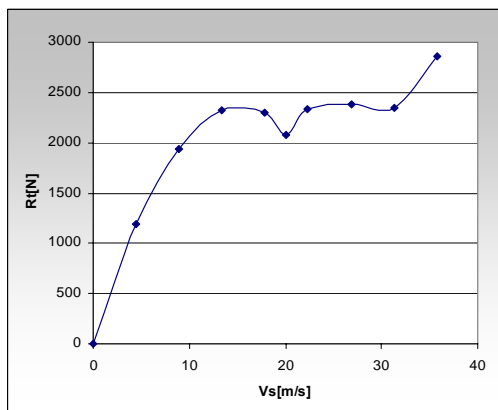
سرعت برای المان اسکی شناور



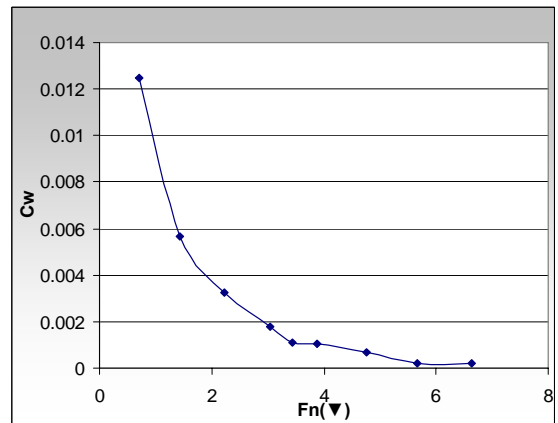
نمودار (۱۰) مقاومت موج سازی بر حسب عدد فرود حجمی



نمودار (۹) مقاومت اسپیری بر حسب سرعت



نمودار (۱۲) مقاومت کل بر حسب سرعت



نمودار (۱۱) ضریب مقاومت موج سازی بر حسب عدد

فرود حجمی



نتیجه گیری:

گرچه در این مقاله تا حد امکان سعی بر این بوده است که اجزاء مقاومت شناور به صورتی دقیق محاسبه گردد و نتایج حاصل با نتایج بدست آمده از سایر شناورهای تندرو مقایسه شود و در موارد لزوم اصلاحاتی صورت پذیرد، با این وجود ذکر این نکته الزامی است که روش مدل ریاضی و روشهای تئوری عموماً خطاهایی را بدنبال خواهد داشت که غیر قابل اجتناب می باشد. در حال حاضر گرچه روشها و روابط تجربی زیادی به منظور محاسبه مؤلفه مقاومت شناورها ارائه گردیده اند و یا به عبارتی پیشرفتهایی در زمینه روش مدل ریاضی به عمل آمده است، اما همواره روش مدل فیزیکی (مدل تست) به قوت باقی است و در بین سایر روشها کمترین خطا را داراست و نیازمند امکانات آزمایشگاهی است که متأسفانه در حال حاضر در زمینه امکانات و آزمایشگاههای دریایی در دانشگاهها و مراکز آکادمیک کشور محدودیتهایی وجود دارد.

مراجع

1. Sv.Aa.Harvald: Resistance And Propulsion Of Ships, 1986
2. Clayton & Bishop: Mechanics Of Marine Vehicles, Butterworths, 1987
3. K.G.W. Hoppe: Performance Evaluation Of High Speed Surface Craft With, Reference To The Hysucat Development Lecture Research Report, John Wiley, 1983
4. M. Insel: Characteristics And Relative of advanced Marine Vehicle Types Design Techniques For Advanced Marine Vehicles, February 2000
5. M. S. Seif And E. Amin Performance Comparison Between Planing Mono-hull And Catamaran At High Froude Numbers Iranian Journal Of Science & Technology, Transaction Vol.28, No.B4, 2004
6. Anders Rosén Aeronautical And Vehicle Engineering Loads And Responses For Planing Craft In Waves, Division Of Naval Systems Se-100 44 Stockholm, Sweden Trita-Ave 2004:47
7. William S. Vorus,: Tools For Semi-Planing / Semi-Displacement Ship Design With Applications-School Of Naval Architecture And Marine Engineering University Of New Orleans June 20, 2005
8. Daniel Savitsky Hydodynamic Design Of Planing Hull (Paper 1997)
9. Michelsen F.C, Moss J.L., Koebel J., Savatsky D., Apollani H. Small Craft Engineering: Resistance, Propulsion And Seakeeping Dept Of Naval Architecture And Ocean Engineering No:120 The University of Michigan Michigan 1975