



آنالیز مقاومت در آبهای کم عمق و عمیق برای کشتیهای با بدنه سری ۶۰ بر اساس متغیرهای سرعت و C_B به کمک آزمایش مدل

کریم اکبری وکیل آبادی^۱ Karimmseng@yahoo.com

حمید زراعتگر^۲ Hamidz@cic.aut.ac.ir ، محمد سعید سیف^۳

چکیده:

در آبهای کم عمق، به علت وجود اثرات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی، رفتار کشتی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. یکی از پارامترهای در آبهای کم عمق مقاومت شناور می باشد که بواسطه افزایش آن بایستی توان مورد نیاز شناور را برای غلبه بر مقاومت افزوده شده محاسبه نمود. به هنگام حرکت کشتی در آبهای کم عمق، سرعت جریان در زیر بدنه کشتی افزایش یافته و بنابر معادله برنولی افت فشار جریان بر روی بدنه اتفاق می‌افتد که بواسطه آن نیروی اعمالی از طرف سیال (در جهت نیروی گرانش) بر بدنه شناور کاهش می‌یابد. در نتیجه آبخور شناور تا موقعی که نیروی شناوری با نیروی وزن برابر شود، افزایش می‌یابد که این افزایش آبخور سبب افزایش سطح خیس بدنه می گردد در نتیجه مقاومت شناور زیاد می شود. هدف از مطالعه حاضر، اندازه‌گیری مؤلفه های مقاومت برای شناورهایی با بدنه سری ۶۰ در آبخور ثابت و عمقهای مختلف به روش آزمایشگاهی می‌باشد که با پیدا نمودن سرعت بحرانی بتوان سرعت بهینه کشتی را از نظر اقتصادی، جهت ترانزیت کالا در آبهای کم عمق، بدست آورد. در ادامه سعی شده است به کمک ضرائب بی بعد محدوده کاربری نتایج بدست آمده را گسترش داد.

^۱ . عضو هیئت علمی دانشگاه دریایی امام خمینی (ره) نوشهر، دانشکده مکانیک

^۲ . عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

^۳ . دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف



کلمات کلیدی: مقاومت^۳ - آب کم عمق^۴ - روش آزمایشگاهی^۵ - تست مدل فیزیکی^۶

۱. مقدمه

برای تعیین قدرت مورد نیاز شناورهای دریایی ابتدا بایستی مقاومت کل شناور را بدست آورد. روشهای تعیین مقاومت عبارتند از عددی، تحلیلی، روابط تجربی و آزمایشگاهی که مهمترین آنها روش آزمایشگاهی می باشد. چنانچه بتوان شرایط واقعی را در آزمایشگاه ایجاد کرد، می توان بهترین نتایج را بدست آورد. به همین منظور برای تست مدل فیزیکی ابتدا شناورها را، بنابر امکانات و اندازه حوضچه آزمایش، با استفاده از یک ضریب مقیاس^۷ کوچک نموده و ساخته می شود.

مسیرهای دریانوردی^۸ با توجه به عمق آب به دو بخش آب کم عمق^۹ و آب عمیق^{۱۰} تقسیم می شوند که قدرت مورد نیاز جهت رانش کشتی در آنها متفاوت می باشد.

هدف از مطالعه حاضر مطالعه مقاومت کشتیها در آب کم عمق بروش تست مدل می باشد. بدین منظور مقاومت کل برای دو مدل با ضرائب ظرافت بدنه $C_B=0.7$ و $C_B=0.75$ و شکل بدنه سری ۶۰ با استفاده از روش تست مدل اندازه گیری می گردد. آزمایشات با ثابت نگه داشتن آبخور مدلها در عمقهای مختلف (شامل کم عمق و عمیق) انجام گرفته و نتایج آزمایشات مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده مقدار افزایش مقاومت ناشی از عبور از آبهای کم عمق برای پیش بینی قدرت مازاد مورد نیاز کشتی قابل محاسبه است.

شاید بتوان گفت فرایندی که در آبهای کم عمق عملکرد کشتی ها را تحت تأثیر قرار داده و منجر به پدیده اسکوات می گردد، همان فرآیند منجر به افزایش مقاومت می گردد. بنابراین دو فرایند اسکوات و افزایش مقاومت در آبهای کم عمق بهم وابسته اند.

³. Resistance

⁴. Shallow Water

⁵. Experimental Method

⁶. Physical Model Test

⁷. Scale Factor

⁸. Route

⁹. Shallow Water

¹⁰. Deep Water



۲. اساس انجام تست، مدلها و آزمایشگاه

برای اینکه بتوان رفتار کشتی را بر اساس مدل ارزیابی نمود برقراری تشابه هندسی، سینماتیکی و دینامیکی بین مدل^{۱۱} و کشتی واقعی^{۱۲} ضروری است. چنانچه همه ابعاد کشتی با یک اشل معین کوچک شود تشابه هندسی برقرار می‌گردد.

$$\lambda = \frac{l_s}{l_m} \quad (1)$$

l_s : طول کشتی ، l_m : طول مدل

برای برقراری تشابه دینامیکی و سینماتیکی لازم است که اعداد فرود، استروهال، وبر و رینولدز برای مدل و کشتی برابر باشند. که این اعداد بصورت زیر تعریف می‌گردند:

$$Re = \frac{Vl}{\nu}$$

$$We = \frac{\sigma_n}{V^2 \rho l}$$

$$Sh = \frac{wl}{\nu}$$

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (2)$$

F_n : عدد فرود

Sh : عدد استروهال

We : عدد وبر

Re : عدد رینولدز

برابری اعداد بدون بعد ذکر شده برای کشتی و مدل بصورت همزمان امری غیر ممکن می‌باشد. بنابراین در عمل فقط اعداد فرود و استروهال که متناقض نمی‌باشد، ارضا می‌گردند و اعداد رینولدز و وبر بصورت غیر مستقیم در نظر گرفته می‌شوند.

¹¹ . Model

¹² Prototype



برای اجتناب از خطاهای بزرگ که ممکن است بخاطر در نظر نگرفتن تساوی اعداد رینولدز و وبر مدل و کشتی، مدل ها باید به حد کافی بزرگ در نظر گرفته شوند تا اثرات آنها بر نتایج آزمایشات کنترل شده باشد.

در آبهای کم عمق برای تمام آزمایشات مدل، قانون تشابه فرود ارضاء می گردد و این بدین معناست که عدد فرود مدل و کشتی بایستی برابر می باشند. این شرط برای تعیین سرعت مدل بکار گرفته میشود.

$$F_{nm} = F_{ns} \Rightarrow \frac{V_m}{\sqrt{gh_m}} = \frac{V_s}{\sqrt{gh_s}} \quad (3)$$

واقعیت آنست که بعلت عدم ارضاء تمامی قوانین تشابه حاکم بصورت همزمان، خطاهایی در تخمین کمیتها برای کشتی واقعی بوجود می آید که به آن اثرات مقیاس^{۱۳} گفته می شود.

هدف از آزمایش مقاومت کشتی، پیش بینی مقاومت کل اعمالی بر کشتی در آب آرام^{۱۴} می باشد. اندازه گیری مقاومت کل مدل بعنوان تابعی از سرعت مدل با نهایت دقت استخراج گردیده است. آزمایش مقاومت مدل علاوه بر اینکه برای تخمین قدرت مورد نیاز جهت کشتی استفاده می شود، برای بهینه سازی فرایند طراحی بدنه کشتی نیز مورد استفاده قرار می گیرد. در سرعتهای کم برای اطمینان از اینکه عدد رینولدز بزرگتر از مقدار بحرانی باشد، مدلها به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شده اند.

۳. آماده سازی مدل

بمنظور انجام آزمایشات امکانات ویژه ای از جمله مدل آب کم عمق^{۱۵}، مدل شناور و ابزارهای اندازه گیری طراحی و آماده سازی گردید. با توجه به محدودیتهای موجود از دو مدل کشتی با فرم بدنه بر گرفته از سری ۶۰ با ضرائب ظرافت بدنه $C_B=0.75$ ، $C_B=0.7$ ، که جداول آفست آنها موجود می باشد، با مقیاس^{۱۶} ۱:۴۰ و ۱:۷۰ ساخته و استفاده شود. سطح مدلها کاملاً صاف بوده و هیچگونه تجهیزاتی از قبیل شافت، پروانه و ... بر روی آن نصب نمی باشد. مشخصات ابعادی مدلهای مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

¹³. Scale effect

¹⁴. Calm water

¹⁵. Shallow water

¹⁶. Scale

جدول (۱): مشخصات مدل‌های تحت آزمایش

ردیف	طول (متر)	عرض (متر)	C_B	نوع مدل	ضریب اشل
۱	۲,۵	۰,۳۱	۰,۷	تجاری	۴۰
۲	۲,۳۸	۰,۳۲۳	۰,۷۵	فله بر	۷۰

جنس مدل‌های ساخته شده از فایبر گلاس می‌باشد. این مدل‌ها در شکل‌های (۱ و ۲) نشان داده شده است.

شکل (۱): مدل ۱ با ضریب ظرافت بدنه $C_B=0.7$ شکل (۲): مدل ۲ با ضریب ظرافت بدنه $C_B=0.75$

خطوط آب‌خور^{۱۷}، عمود سینه و پاشنه^{۱۸} و ایستگاهها بوسیله ابزارهای موجود در آزمایشگاه بر روی مدل‌ها

ترسیم گردید. خط آب‌خور طراحی بر روی مدل (۱) با رنگ متمایز از سایر خطوط ترسیم شد.

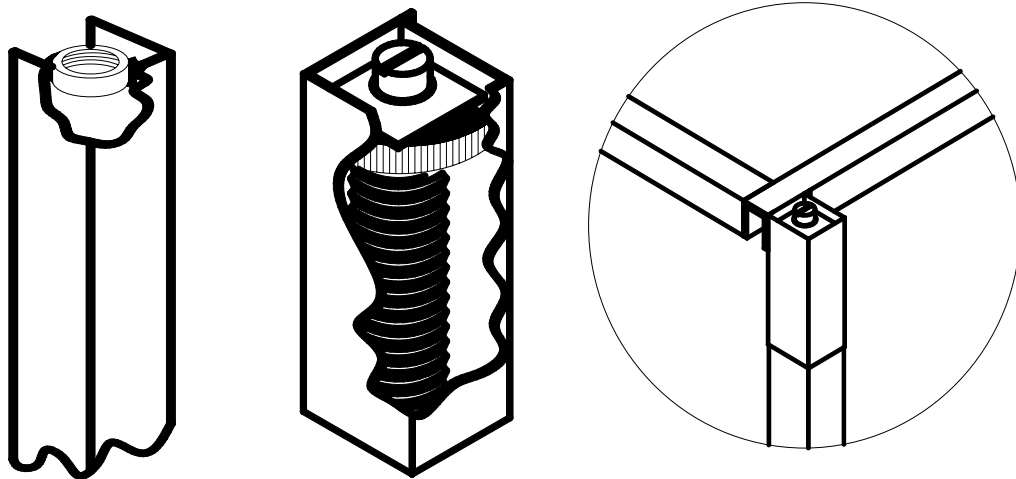
برای انجام آزمایشات در آب کم عمق از حوضچه کشش آزمایشگاه دریا دانشگاه صنعتی شریف استفاده

گردید، ولی با توجه به اینکه آزمایشگاه مذکور برای آزمایشات آب کم عمق ساخته نشده است،

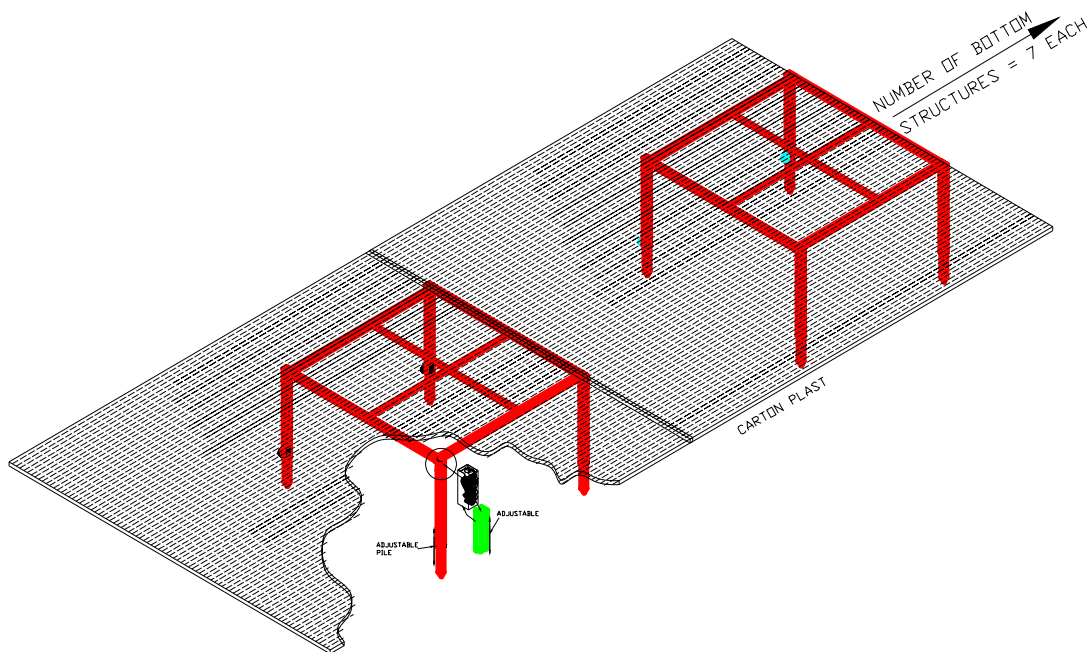
¹⁷. Water Line

¹⁸. AFT and FOR Perpendicular

برای رسیدن به خواص آب کم عمق یک بستر متحرک که قابلیت تنظیم^{۱۹} در ارتفاع را داشت ساخته و استفاده گردید. بستر متحرک ساخته شده قابلیت تنظیم ارتفاع به میزان ۰/۵ میلیمتر را فراهم می نمود. شکل‌های (۳) و (۴) نحوه قرار گیری بستر متحرک و پیچهای تنظیم ارتفاع را نشان می دهد. این سازه متحرک در محدوده‌ای از حوضچه، بطول ۱۴ متر، که سرعت مدل به حالت پایدار^{۲۰} می رسید نصب گردید



شکل (۳): محل قابل تنظیم سازه متحرک



شکل (۴): نمای کلی بستر متحرک

¹⁹ . Adjustable Structure

²⁰ . Steady State



۴. روند اجرای آزمایشات

در هر روز قبل از شروع اندازه گیری برای اطمینان از بر طرف شدن اغتشاشات غیر قابل مشاهده در عمق آب، بدون آنکه نتیجه ای ثبت شود، چند بار مدل در طول حوضچه حرکت داده شد. پس از اینکه آب کاملاً آرام شد نسبت به انجام آزمایشات و ثبت نتایج اقدام گردیده است. دامنه سرعت مراحل آماده سازی ۵٪ پائین تر از کمترین سرعت آزمایش تا ۵٪ بالاتر از سرعت خواسته شده در نظر گرفته شده است. به علت زیاد بودن شیب منحنی مقاومت در سرعتهای بالا، برای رسیدن به فواصل برابر بین مقادیر اندازه گرفته شده مقاومت، گامهای سرعت در سرعتهای بالا کوچک و در سرعتهای پائین بزرگتر در نظر گرفته شد. روند انجام آزمایشها بدین ترتیب است که از سرعت پایین شروع شده و بصورت صعودی سرعت آزمایش افزایش یافته و در مرحله بعد از یک سرعت بیشینه آزمایش را شروع نموده و سرعتهای آزمایش به صورت نزولی کاهش می یابد. بنابر استاندارد ITTC تعداد دفعات تکرار برای هر آزمایش حداقل سه بار انجام گرفته است.

تست مقاومت مدل از قوانین فرود پیروی کرده و محاسبات بر اساس قانون تشابه فرود انجام شده است. با توجه به اینکه از قانون تشابه رینولدز صرف نظر شده برای اینکه خطای فاحشی در اندازه گیریها به وجود نیاید عدد رینولدز بزرگتر از مقدار بحرانی در نظر گرفته شده است.

بر اساس نظریه فرود مقاومت کل از دو مؤلفه مقاومت باقیمانده²¹ (R_R) و مقاومت اصطکاکی (R_{f0}) مطابق رابطه زیر تشکیل شده است.

$$R_T(F_n, R_n) = R_{f0}(Re_n) + R_R(F_n) \quad (4)$$

$$C_T(F_n, R_n) = C_{f0}(Re_n) + C_R(F_n) \quad (5)$$

ضرائب مقاومت باقیمانده برای کشتی و مدل در اعداد فرود مشابه، برابر می باشد.

$$F_{nm} = \frac{V}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V}{\sqrt{gL_s}} = F_{ns} \quad , \quad V_s = V_m \sqrt{\lambda} \quad (6)$$

$$CR_m = \frac{R_{Rm}}{\frac{1}{2}\rho_m V_m^2 S_m} = \frac{R_{Rs}}{\frac{1}{2}\rho_s V_s^2 S_s} = CR_s$$

²¹. Residual Resistance



ضریب مقاومت کل را می توان بصورت زیر نوشت:

$$C_{Tm} = \frac{R_{Tm}}{\frac{1}{2} \rho_m V_m^2 S_m} \quad (7)$$

ρ_m : چگالی آب در حوضچه

S_m (m^2): سطح خیس شده نهایی مدل

ρ_s ($\frac{kg}{m^3}$): چگالی آب دریا

S_s [m^2]: سطح خیس بدنه کشتی

ضریب مقاومت کل بوسیله آزمایش مدل و ضریب مقاومت اصطکاکی (C_{F0}) از رابطه ارائه شده توسط ITTC57 محاسبه شده است.

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(LnR_n - 2)^2} \quad (8)$$

این ضریب تابعی از عدد رینولدز بوده و برای کشتی و مدل متفاوت می باشد.

نکته بسیار مهم آنستکه در هنگام محاسبات، سطح خیس کل مدل را برابر با سطح خیس مدل در حالت سکون بعلاوه سطح خیس ناشی از اسکوات در نظر گرفته شده است. مقدار سطح خیس اضافی ناشی از اسکوات از طریق فیلمبرداری دیجیتالی و آنالیز عکسها محاسبه شده است.

۵. نتایج تست مقاومت

برای اینکه بتوان محدوده کاربری نتایج بدست آمده را گسترش داد از اعداد بی بعد برای ارائه بهتر نتایج استفاده شده است:

$$\delta = \frac{h - T}{h} \quad (9)$$

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$



h: عمق آب

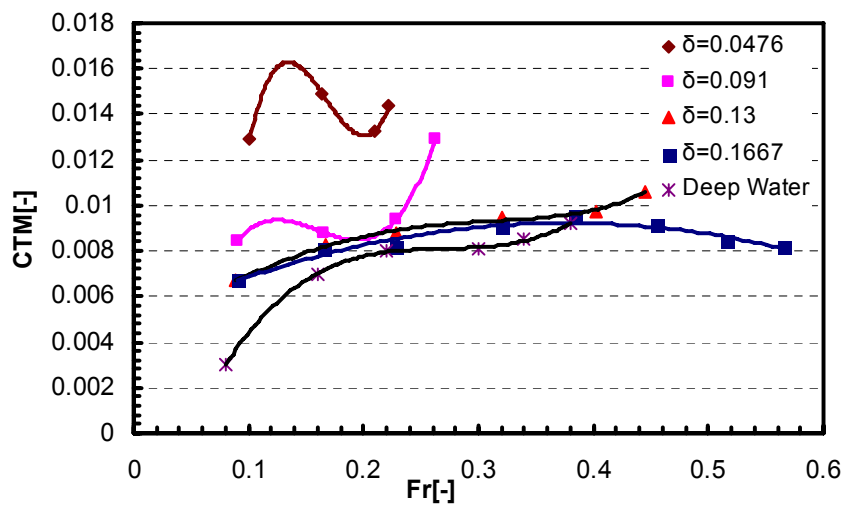
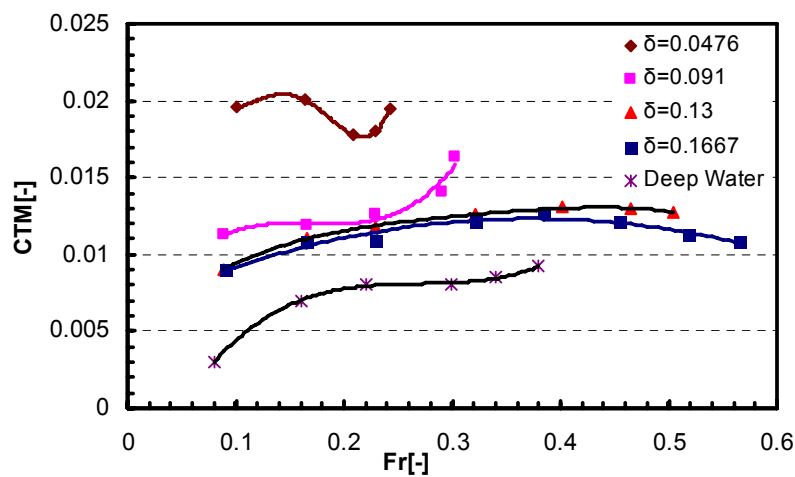
V: سرعت مدل

g: شتاب گرانش

T: آبخور

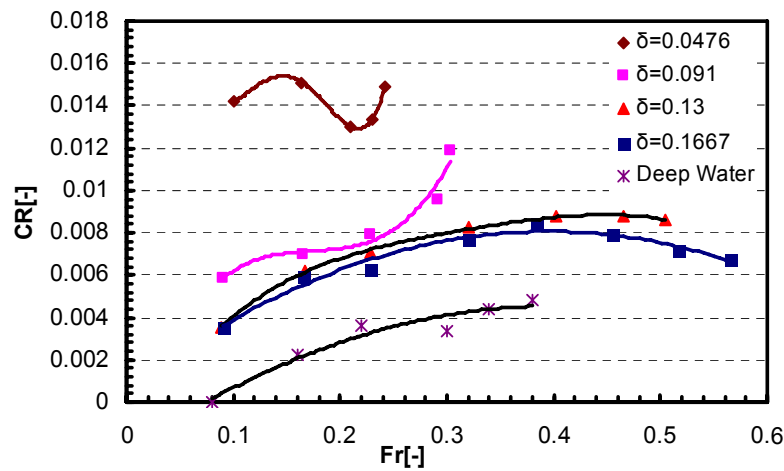
 δ : پارامتر بی بعد مبتنی بر عمق^{۲۲}

نتایجی که از آزمایشات در عمقها و اعداد فرود مختلف انجام گرفته و همچنین ضریب مقاومت کل بدست آمده در شکلهای زیر ارائه شده است که به تفکیک به بررسی آنها پرداخته می شود.

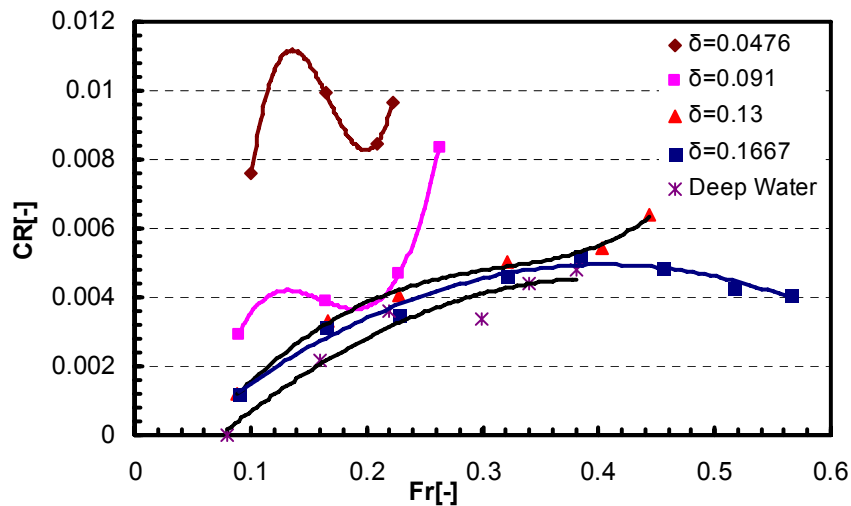
شکل (۵): ضریب مقاومت کل مدل با $C_B = 0.75$ شکل (۶): ضریب مقاومت کل مدل با $C_B = 0.7$



با مقایسه منحنیهای شکل‌های ۵ و ۶ ملاحظه می‌گردد که هرچه فاصله بی بعد کف کشتی از بستر حوضچه کاهش مییابد مقاومت کل افزایش مییابد. این مسئله در شکل ۷ که برای مدلی با $C_B = 0.7$ مییابد نیز صحیح است. نکته جالب آنستکه تنها برای $\delta = 0.1667$ پس از $Fn=0.35$ مقدار ضریب مقاومت کل با افزایش سرعت کاهش مییابد و این مسئله برای هر دو مدل تحت تست صادق است. ضریب مقاومت باقیمانده نیز در عمقهای مختلف محاسبه شده است. شکل (۷) و (۸) بیانگر آنست که مقاومت باقیمانده در آب کم عمق بیشتر از آب عمیق می‌باشد.



شکل (۷): ضریب مقاومت باقیمانده مدل با $C_B = 0.7$

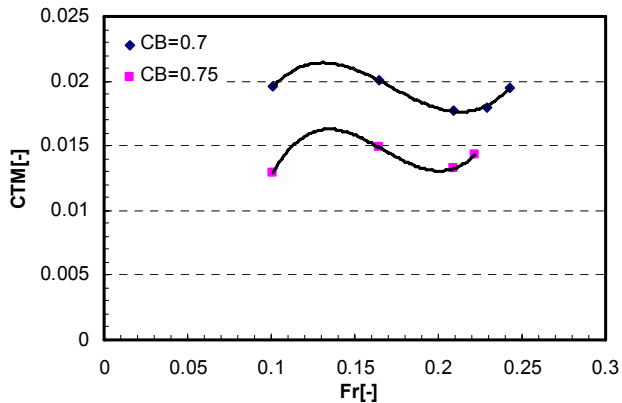


شکل (۸): ضریب مقاومت باقیمانده مدل با $C_B = 0.75$

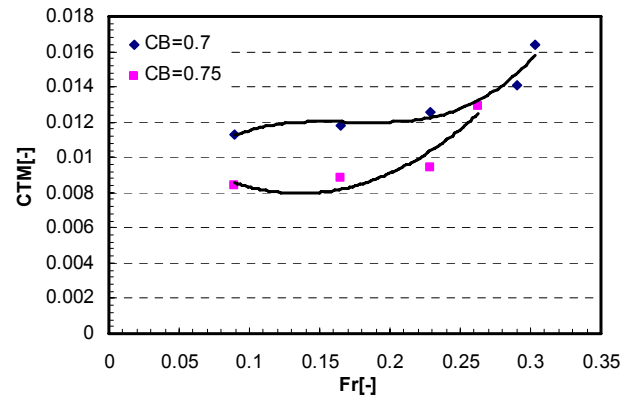


با بررسی منحنی های بدست آمده می توان دریافت که مقدار مقاومت در آب کم عمق، به علت وجود پدیده اسکوات، بیشتر از مقاومت در آب عمیق می باشد. چون مدل های مورد آزمایش اختلاف کمی در C_B دارند، با توجه به ضریب مقاومت کل محاسبه شده می توان گفت که مقاومت کل به طول وابستگی زیادی

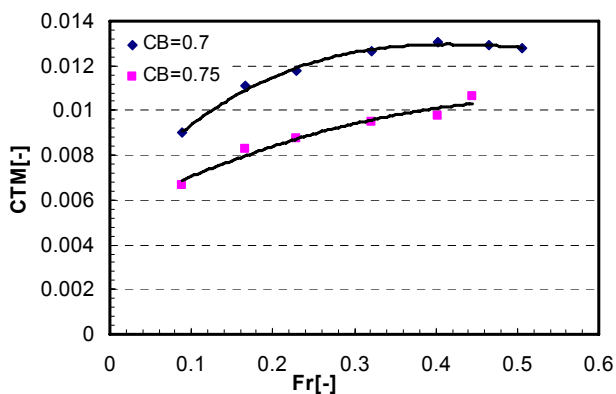
داشته و مقدار آن برای مدل با طول بزرگتر بیشتر است. شکل (۹)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲)



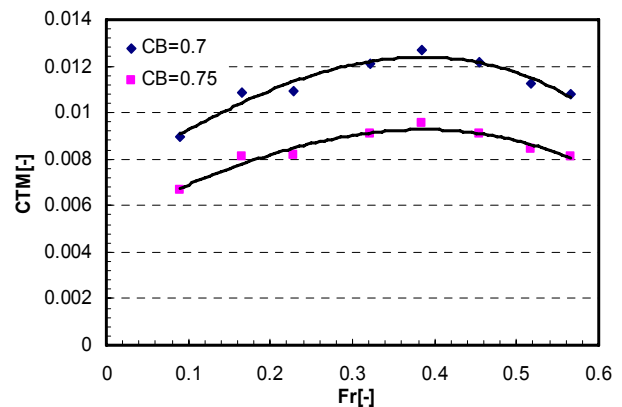
شکل (۹): مقایسه ضریب مقاومت کل در $\delta = 0.0476$



شکل (۱۰): مقایسه ضریب مقاومت کل در $\delta = 0.091$



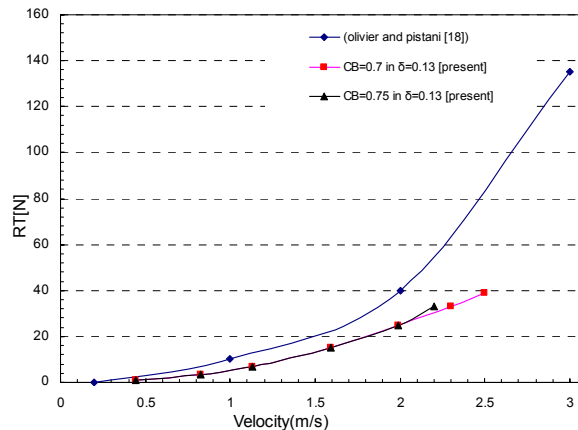
شکل (۱۱): ضریب مقاومت کل در $\delta = 0.13$



شکل (۱۲): ضریب مقاومت کل در $\delta = 0.1667$

نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از الیویری^{۲۳} [۱۳] مقایسه گردیده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده

ارتباط طول مدل و جنس بدنه در مقدار مقاومت مدل می باشد.



شکل (۱۳): نیروی مقاومت نسبت به سرعت مدل [۱۳]

۵. تجزیه و تحلیل نتایج و جمع‌بندی

برای عبور ایمن شناورهای تجاری از آبهای ساحلی و کانالهای کشتیرانی، بایستی بتوان سرعت بحرانی عبور از آبهای کم عمق را برای کشتیها استخراج نمود که این امر مستلزم شناخت رفتار کشتیها در آبهای کم عمق می‌باشد. مهمترین پدیده ای که حرکت کشتیها را در آبهای کم عمق تحت تأثیر قرار می دهد پدیده اسکوات می‌باشد که این پدیده برای دریانوردان و بخصوص کاپیتان ها مسأله ای شناخته شده بوده که بایستی هنگام مانورینگ در آبهای کم عمق و محدود (مثل کانالها) مد نظر قرار داده شود.

با توجه به تحلیل نتایج بدست آمده می توان گفت که اسکوات شناور سبب افزایش مقاومت شناور گردیده و مقدار آن به عمق و سرعت مدل وابسته می باشد.

افزایش مقاومت در آبهای کم عمق برای شناورها بخصوص در مقطع ورودی بنادر و آبراهه ها بسیار حائز اهمیت می باشد و چنانچه در طراحی نیروی محرکه شناور به آن توجه نگردد سبب اختلال در حرکت و مانورینگ شناورها می گردد. که این مسأله برای شناور های با طول زیاد بسیار حائز اهمیت می باشد.



۶. منابع و مراجع:

- [1] Novak. Cabelka 'Models in Hydraulic Engineering Physical and Design Application'. 1981
- [2] V. Ankudinov. K. Jakobsen. J. Christopher Hewlett.' Prototype Measurement of Ship Sinkage in Confined Water'. 1979
- [3] K.Eloot. M.Vantorre.' Development of a tabular maneuvering model for hull forces applied to full and slender ships in shallow water'
- [4] M.J. Briggs. L.E. Borgman. E.Bratteland. ' Probability assessment for deep-draft navigation channel design'. November 2002
- [5] J.T. Duffy, 'The Effect of Channel Geometry on Ship Operation in a Port'. 2002
- [10] J.T. Duffy. M. Renilson. 'An Investigation into the Effect of Propulsion on Ship Squat'. 2000
- [6] J.D. Rosati. 'Coastal Inlet Navigation Channel Shoaling with Deepening and Widening'. 2003
- [7] Z. Demirbilek. F. Sargent. 'Deep-Draft Coastal Navigation Entrance Channel Practice'. 1999
- [8] Chi Yang. R. Lohner. F. Noblesse. T.T. Huang. 'Calculation of Ship Sinkage and Trim Using Unstructured Grid'. 2000
- [9] Q. Miao. Jinzhu Xia. ' Numerical Study of Bank Effects on a Ship Traveling in a Channel'. 2003
- [10] N.E. Eryuzlu. P. Augolo. 'Under Keel Requirements for Large Craft in Shallow Waterways'. 1994
- [11] K.S. Varyani. 'Squat effects on high speed craft in restricted waterways'. 2005
- [12] D.T. Stocks. 'Maximization of Ship Draft in the ST.LAWRENCE Seaway'. 2002
- [13] A. Olivieri. F. Pistani. 'Towing Tank Experiments of Resistance. Sinkage and Trim. Wake. and Free Surface Flow around a Naval Combatant SEAN 2340 Model'. 2001
- [14] C.B. Barrass. 'Ship Squat'. Lorne and Maclean Publishers. 1978
- [15] Navigation Project. CH5. 31 July 2003

جدول (۲): نتایج تست مقاومت در آب کم عمق برای مدل با $CB=0.75$

$\delta=0.0476$	V(m/s)	Fr	T(m)	Squat	$S_{sq}[m^2]$	$S_T=S_{wet}+S_{sq}[m^2]$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.5	0.101015	0.09	0.000636	0.0031	1.23509	2	0.012955	1008474.58	0.00536459	0.00759
	0.8138	0.164412	0.09	0.0042	0.0204	1.25241	6.1767	0.014894	1641393.22	0.00494847	0.009945
	1.034	0.2089	0.09	0.006	0.0292	1.26116	8.92	0.013231	2085525.42	0.00476143	0.008469
	1.1	0.222234	0.09	0.00725	0.0352	1.26724	11	0.014348	2218644.07	0.00471482	0.009633
$\delta=0.091$	V(m/s)	Fr	T(m)	Squat	S_{sq}	$S_T=S_{wet}+S_{sq}$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.444	0.089702	0.09	0.00063	0.0015309	1.2335309	1.022	0.008406	895525.424	0.00547402	0.002932
	0.818	0.165261	0.09	0.0037	0.008991	1.240991	3.66	0.008815	1649864.41	0.00494433	0.003871
	1.13	0.228294	0.09	0.0082	0.019926	1.251926	7.5	0.009383	2279152.54	0.00469477	0.004689
	1.3	0.26264	0.09	0.0153	0.037179	1.269179	13.88	0.012942	2622033.9	0.00459236	0.00835
$\delta=0.13$	V(m/s)	Fr	T(m)	Squat	S_{sq}	$S_T=S_{wet}+S_{sq}$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.44	0.088893	0.09	0.00115	0.0027945	1.2347945	0.8	0.006693	887457.627	0.00548249	0.00121
	0.824	0.166473	0.09	0.00401	0.0097443	1.2417443	3.49	0.008279	1661966.1	0.00493847	0.00334
	1.13	0.228294	0.09	0.007	0.01701	1.24901	7	0.008778	2279152.54	0.00469477	0.004083
	1.59	0.321229	0.09	0.0116	0.028188	1.260188	15.08	0.009467	3206949.15	0.00445099	0.005016
	1.992	0.402445	0.09	0.019	0.04617	1.27817	24.7	0.00974	4017762.71	0.00430034	0.00544
	2.2	0.444467	0.09	0.023	0.05589	1.28789	33.1	0.01062	4437288.14	0.00423638	0.006384
$\delta=0.1667$	V(m/s)	Fr	T(m)	Squat	S_{sq}	$S_T=S_{wet}+S_{sq}$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.445	0.089904	0.09	0.00077	0.0018711	1.2338711	0.8156	0.006676	897542.373	0.00547191	0.001204
	0.818	0.165261	0.09	0.00285	0.0069255	1.2389255	3.35	0.008082	1649864.41	0.00494433	0.003138
	1.13	0.228294	0.09	0.0052	0.012636	1.244636	6.48	0.008155	2279152.54	0.00469477	0.00346
	1.59	0.321229	0.09	0.010764	0.02615652	1.25815652	14.41	0.009061	3206949.15	0.00445099	0.00461
	1.9	0.383858	0.09	0.013455	0.03269565	1.26469565	21.76	0.009532	3832203.39	0.0043313	0.005201
	2.253	0.455175	0.09	0.02038	0.0495234	1.2815234	29.61	0.009104	4544186.44	0.00422127	0.004882
	2.56	0.517198	0.09	0.0275	0.066825	1.298825	35.84	0.008421	5163389.83	0.0041415	0.00428
	2.8	0.565685	0.09	0.0345	0.083835	1.315835	42	0.008143	5647457.63	0.00408689	0.004056

جدول (۳): نتایج تست مقاومت در آب کم عمق برای مدا با $CB=0.7$

$\delta=0.0476$	V(m/s)	Fr	T(m)	Squat[m]	$S_{sq}[m^2]$	$S_T=S_{wet}+S_{sq}[m^2]$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.5	0.101015	0.09	0.00051	0.002601	0.920601	2.25	0.019552	1059322.03	0.00532023	0.014232
	0.8138	0.164412	0.09	0.0027	0.01377	0.93177	6.1767	0.020019	1724152.54	0.00490916	0.01511
	1.034	0.2089	0.09	0.0042	0.02142	0.93942	8.92	0.017762	2190677.97	0.00472432	0.013038
	1.135	0.229305	0.09	0.0063	0.03213	0.95013	11	0.017974	2404661.02	0.0046552	0.013319
	1.2	0.242437	0.09	0.00743	0.037893	0.955893	13.42	0.019499	2542372.88	0.00461462	0.014884
$\delta=0.091$	V(m/s)	Fr	T(cm)	Squat	S_{sq}	$S_T=S_{wet}+S_{sq}$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.444	0.089702	0.09	0.0003	0.000765	0.918765	1.022	0.011285	940677.966	0.0054283	0.005857
	0.818	0.165261	0.09	0.0022	0.00561	0.92361	3.66	0.011844	1733050.85	0.00490507	0.006939
	1.13	0.228294	0.09	0.0055	0.014025	0.932025	7.5	0.012604	2394067.8	0.00465844	0.007946
	1.44	0.290924	0.09	0.0128	0.03264	0.95064	13.88	0.014082	3050847.46	0.00448541	0.009597
	1.5	0.303046	0.09	0.0153	0.039015	0.957015	17.6	0.016347	3177966.1	0.00445722	0.01189
$\delta=0.13$	V(m/s)	Fr	T(cm)	Squat	S_{sq}	$S_T=S_{wet}+S_{sq}$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.44	0.088893	0.09	0.00023	0.0005865	0.9185865	0.8	0.008997	932203.39	0.00543666	0.00356
	0.824	0.166473	0.09	0.00283	0.0072165	0.9252165	3.49	0.011111	1745762.71	0.00489928	0.006212
	1.13	0.228294	0.09	0.0056	0.01428	0.93228	7	0.01176	2394067.8	0.00465844	0.007102
	1.59	0.321229	0.09	0.01	0.0255	0.9435	15.08	0.012644	3368644.07	0.00441744	0.008227
	1.992	0.402445	0.09	0.0138	0.03519	0.95319	24.7	0.013061	4220338.98	0.00426849	0.008792
	2.3	0.46467	0.09	0.0197	0.050235	0.968235	33.1	0.012925	4872881.36	0.00417738	0.008747
	2.5	0.505076	0.09	0.023	0.05865	0.97665	39	0.012778	5296610.17	0.00412587	0.008653
$\delta=0.1667$	V(m/s)	Fr	T(cm)	Squat	S_{sq}	$S_T=S_{wet}+S_{sq}$	$R_T(N)$	C_{TM}	Re	C_{F0}	C_R
	0.445	0.089904	0.09	0.000223	0.00056865	0.91856865	0.8156	0.008968	942796.61	0.00542622	0.003541
	0.818	0.165261	0.09	0.0025	0.006375	0.924375	3.35	0.010832	1733050.85	0.00490507	0.005927
	1.13	0.228294	0.09	0.00453	0.0115515	0.9295515	6.48	0.010919	2394067.8	0.00465844	0.00626
	1.59	0.321229	0.09	0.00936	0.023868	0.941868	14.41	0.012103	3368644.07	0.00441744	0.007686
	1.9	0.383858	0.09	0.0117	0.029835	0.947835	21.76	0.012719	4025423.73	0.0042991	0.00842
	2.25	0.454569	0.09	0.0174	0.04437	0.96237	29.61	0.012155	4766949.15	0.00419112	0.007964
	2.56	0.517198	0.09	0.0216	0.05508	0.97308	35.84	0.01124	5423728.81	0.00411139	0.007129
	2.8	0.565685	0.09	0.03	0.0765	0.9945	42	0.010774	5932203.39	0.00405737	0.006716