

مطالعه آزمایشگاهی اسکوات کشتی‌ها در کanal

حمید زراعتگر^{۱*}، روزبه پناهی^۲، کریم اکبری^۳، محسن اصغری^۴، آزاده عزیز جلالی^۵

- ۱- استادیار، عضو هیات علمی صنعتی امیرکبیر
- ۲- استادیار، پژوهشکده حمل و نقل، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۳- دانشجوی دکترا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- ۴- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- ۵- کارشناسی ارشد فیزیک دریا

چکیده

آبراهه‌ها و کanal‌های دسترسی، محدود کننده سرعت کشتی بوده و همواره مورد توجه محققین بوده است. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار در این زمینه، تغییر دینامیکی آبخور کشتی به هنگام ورود به عمق‌های محدود است که اصطلاحاً اسکوات نامیده می‌شود. در این مطالعه، اسکوات کشتی‌ها به کمک تست سیستماتیک مدل در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور دو مدل از سری ۶۰ در شرایط مختلفی از عمق و عرض کanal و عدد فرود تست گردیده و مقدار تغییر آبخور در سینه و پاشنه کشتی ثبت گردید. پس از دسته‌بندی نتایج آزمایش و اعتبار سنجی آن، یک رابطه رگرسیونی برای اسکوات در سینه کشتی‌های تجاری ارائه می‌شود. محاسبات انجام شده بر پایه رابطه رگرسیونی مذکور برای چند نمونه کشتی، تطبیق مناسب با دیگر روابط موجود را نشان می‌دهد. از مزیت‌های این رابطه، پوشش دامنه وسیع‌تری از پارامترها می‌باشد.

کلمات کلیدی: اسکوات، کanal، رابطه رگرسیونی، تست مدل

A Study on Ship Squat in Canal by Model Testing

H. Zeraatgar¹, R. Panahi², K. Akbari³, M. Asghari⁴, A. Azizjalali⁵

1-Assistant Professor, Amirkabir University of Technology

2- Assistant Professor, Iran University of Science and Technology

3-Phd Candidate, Amirkabir University of Technology

4-MSc in Naval Architecture, Amirkabir University of Technology

5- MSc in Marine Physics

Abstract

In canal and seaway the ship speed must be reduced and it has been a subject for many research studies. One of the most important phenomena connected to this issue is the increasing of ship draught when passing in the restricted water which is called squat. This study deals with the squat thorough systematic model testing. Two models from Series60 body form have been tested in a set of canal depth, width as well as different model speed. The change on their draught has been recorded at fore and aft of the model. The test results have been manipulated, validated and regression formula has been developed for prediction of squat at ship fore perpendicular. The formula has been compared with the other existing formula where a good agreement achieved. The advantage of the new formula is the coverage on wider range of parameters affecting the ship squat.

Keywords: squat, canal, regression, model testing

* نویسنده مسئول مقاله: hamidz@aut.ac.ir

۱- مقدمه

در سال ۱۹۶۵ روابط و نمودارهایی را جهت محاسبه اسکووات در کشتی‌ها ارائه نمود که به عنوان مبنای محاسباتی در توصیه‌های مهندسی برای زیرساخت‌های نظامی آمریکا [۲] مورد استفاده قرار می‌گیرد. داند و فرگوسن [۳] در سال ۱۹۷۳ اسکووات یک کشتی واقعی را در آب کم عمق اندازه گیری نمودند. هوسکا [۴] در سال ۱۹۷۶ میزان فاصله مجاز در زیر کشتی‌های عبوری از آبراهه‌های فنلاند را بروش تست مدل بدست آورد. این برای اولین بار بود که یک رابطه تجربی برای تعیین اسکووات کشتی‌ها در هنگام عبور از آبراهه‌ها استخراج می‌گردید. پس از آن، باراس [۵] در سال ۱۹۷۸ تحقیق همه جانبه‌ای بر روی اسکووات انجام داده و کتابچه‌ای تحت عنوان اسکووات کشتی منتشر می‌نماید. باراس [۶] در سال ۱۹۷۹ روشی برای محاسبه اسکووات کشتی‌ها ارائه نمود. میلوارد [۷] در سال ۱۹۹۰ روشی را برای محاسبه اسکووات در آب‌های کم عمق در مرحله طراحی مقدماتی بکار برد. میلوارد [۸] در سال ۱۹۹۲ مقایسه‌ای را بین روش‌های تجربی و تئوری جهت تعیین اسکووات در آب‌های کم عمق انجام داد. وب و وولی [۹] در سال ۱۹۹۸ با استفاده از DGPS تغییرات موقعیت عمودی و افقی سینه و پاشنه کشتی را با دقت یک سانتی‌متر اندازه گیری نمودند. گورلی و تاک [۱۰] در سال ۲۰۰۱ رابطه‌ای را جهت تعیین حداقل اسکووات کشتی‌ها ارائه نمودند. دانکر و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۰۲ روش‌های اندازه گیری اسکووات را مقایسه و آنالیز نمودند. استیتو توسعه سرمزمین ساحلی ژاپن در سال ۲۰۰۲ تعدادی رابطه تجربی برای محاسبه اسکووات ارائه نمود. باراس [۱۲] در سال ۲۰۰۴ تحقیقات ۳۲ ساله ارائه شده پیرامون اسکووات کشتی‌ها را ارائه نمودند. گاسما [۱۳] در سال ۲۰۰۵ مدلی تصادفی را برای ارزیابی فاصله مجاز بین کف کشتی و بستر دریا ارائه داد. تیم گورلی [۱۴] در سال ۲۰۰۷ روداداری بین بستر دریا و کف کشتی را در موج مورد بررسی قرار می‌دهد. زراعتگر و همکاران [۱۵] با محاسبه اسکووات با رابطه‌های رگرسیونی مختلف برای کشتی‌های تجاری نمونه نشان دادند که اصولاً رابطه‌های تجربی ارائه شده

کanal‌ها، آب‌های کم عمق و آبراهه‌ها نقشی مهم و انکارناپذیری در دریانوردی داشته و بر مبنای دستیابی به بالاترین ظرفیت تردد این من کالا و مسافر و با توجه به ملاحظات اقتصادی طراحی می‌شوند. دستیابی به عمق این در طراحی این سازه، تحت تأثیر عوامل متعددی بوده و از جمله آن‌هامی توان به اسکووات کشتی‌ها اشاره نمود. به هنگام حرکت کشتی با سرعت معین در آب‌های کم عمق، جریانی از سیال در زیر کشتی در جهت مخالف حرکت کشتی به وجود می‌آید تا سطح آب در پایین دست و بالا دست کشتی یکسان بماند. در اینحال، به علت افزایش سرعت سیال در زیر کشتی، فشار افت نموده و در نتیجه نیروی بویانسی کاهش می‌یابد. در ادامه آبخور کشتی تا هنگامی که نیروی بویانسی با نیروی وزن برابر شود، افزایش می‌یابد. به این پدیده افزایش دینامیکی آبخور "اسکووات" می‌گویند که در حالت حاد ممکن است منجر به گل نشستن کشتی شود. اسکووات میتواند در قالب افزایش آبخور شناور در سینه شناور، در وسط طولی شناور و یا تغییر تریم شناور تعریف گردد. متداول‌ترین تعریف اسکووات افزایش آبخور در سینه شناور است که در این تحقیق نیز از این تعبیر استفاده می‌گردد.

محققان برای تعیین دقیق اسکووات، روش‌های مختلفی را بکار می‌گیرند. استفاده از مدل ریاضی و حل آن، استفاده از تست مدل و اخیراً اندازه گیری میدانی این پدیده، از مهم‌ترین روش‌های متداول می‌باشد. روش‌های محاسباتی و مطالعات آزمایشگاهی انجام شده همراه با روش‌های رگرسیونی منجر به توسعه روابط تجربی گردیده است که جایگاه موثری در طراحی کanal دارند. علی‌رغم مطالعات زیاد صورت گرفته بر روی اسکووات، اختلافات قابل توجه در برآورد اسکووات وجود دارد. مطالعات انجام شده در رابطه با اسکووات بسیار گستردۀ بوده و در ادامه، برخی از مهم‌ترین این تحقیقات مرور می‌شود.

بررسی پدیده فرورفتگی کشتی‌ها ابتدا در سال ۱۹۳۹ توسط هاولاک [۱] آغاز گردید که ایشان پدیده فرورفتگی را در سرعت‌های پایینبررسی نمودند. ویکر

نیروی اسکووات کشتی و مدل یکسان است که نتیجتاً اندازه اسکووات مدل و کشتی برابر است.

تشابه هندسی مدل:

$$\frac{L_s}{L_m} = \frac{B_s}{B_m} = \frac{T_s}{T_m} = \lambda, \quad \frac{A_s}{A_m} = \lambda^2, \quad \frac{\nabla_s}{\nabla_m} = \lambda^3 \quad (1)$$

که:

T, B, L بترتیب طول، عرض و آبخور کشتی
اندیسهای m, s بترتیب مربوط به کشتی و مدل
 A, ∇ بترتیب جابجایی جرمی و سطح کشتی
و λ اشل میباشد.

تشابه هندسی کanal:

$$\begin{aligned} B_{cs} &= \lambda \cdot B_{cm} \\ h_{cs} &= \lambda \cdot h_{cm} \end{aligned} \quad (2)$$

که B, h بترتیب ارتفاع کanal و عرض کanal میباشند.

تشابه سینماتیکی مدل:

$$V_s = \sqrt{\lambda} \cdot V_m \quad (3)$$

که V سرعت پیشروی کشتی میباشد.

تشابه سینماتیکی کanal:

$$F_{nhs} = F_{nhm} \quad (4)$$

که F_{nh} عدد فرود هیدرولیکی میباشد.

تشابه دینامیکی:

$$S_{bows}^* = S_{bowm}^* = \frac{\delta T}{h} \quad (5)$$

۲-۱- تجهیز آزمایشگاه و انجام تست

با توجه به تجربیات پیشین نویسندها جهت
مطالعه رفتار کشتی در آب کم عمق [۱۹]، گام‌های زیر
در انجام تحقیق حاضر بکار گرفته شده است:

برای محاسبه اسکووات، مقادیر بسیار متفاوتی را ارائه می‌کنند.

روش آزمایشگاهی با کمک تست مدل یکی از روش‌های اساسی برای تحقیق اسکووات کشتی در کanal می‌باشد که این تحقیق آنالیز اسکووات بروش مدل تست پرداخته می‌شود.

بدین منظور پس از بررسی تعریف و تاریخچه اسکووات در مقدمه در بخش دوم نحوه تجهیز آزمایشگاه و انجام تست مدل ارائه می‌گردد. مشخصات دو مدل از بدنه کشتی و دهها مشخصات کanal مورد استفاده در تست ارائه می‌گردد. تجهیزات تست اسکووات و سایل اندازه‌گیری ارائه و نحوه کالibrاسیون آبجعث می‌گردد. در بخش سوم نتایج اسکووات ثبت شده و اعتبارسنجی تست‌ها ارائه می‌گردد. در بخش چهارم نتایج تست‌ها به صورت رابطه رگرسیونی استخراج گردیده و با دیگر رابطه‌ها مقایسه می‌گردد. در بخش پنجم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از این تحقیق ارائه می‌گردد.

۲- اصول تست مدل، تجهیز آزمایشگاه و انجام تست

۲-۱- اصول تشابه در تست مدل اسکووات
اساس تست مدل اسکووات بر پایه تشابه فرود است.
در این روش فرض می‌گردد که سهم نیروهای ویسکوز در مقایسه با سهم نیروهای ثقلی برای ایجاد اسکووات در کanal ناچیز است. بدین منظور لازم است عدد رینولدز مدل بزرگتر از عدد رینولدز بحرانی باشد. بنابراین، مدلی مشابه با کشتی از نظر هندسی با اشل مشخص ساخته می‌شود (تشابه هندسی مدل) و مدلی از کanal مشابه با کanal اصلی با همان اشل ساخته می‌گردد (تشابه دینامیکی کanal). مدل با سرعت معینی بطوریکه عدد فرود مدل برابر عدد فرود کشتی باشد (تشابه سینماتیکی مدل) در کanal به حرکت در می‌آید که نتیجتاً عدد فرود هیدرولیکی مدل کanal و کanal اصلی مساوی می‌گردد. تشابه سینماتیکی کanal. آنگاه تشابه دینامیکی بین رفتار مدل در مدل کanal و کشتی در کanal اصلی برقرار است. عبارت دیگر مقدار بدون بعد

- بازنگری کیفیت و صحت هر آزمایش با استفاده از فیلمبرداری
- آغاز تست‌های اصلی مطالعات در حوضچه کشش آزمایشگاه مهندسی کشتی دانشگاه نوشهر انجام شد. در این حوضچه از یک سیستم کشش، که کنترل آن و ثبت داده به کامپیوتر انجام می‌شود، استفاده گردیده و به کمک نرم افزار موجود می‌توان مقاومت بدنه مدل‌های مورد آزمایش را استخراج نمود. شکل ۱ و ۲ نمایی از حوضچه و دیواره‌های کاذب و همچنین نصب مدل را نشان می‌دهد. ابعاد حوضچه کشش به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات حوضچه تست

عنوان واحد	مقدار واحد
طول متر	۱۶
عرض متر	۲
ارتفاع متر	۱.۵
سرعت متربرثانیه	۲

- تعیین حوضچه مناسب تست
- طراحی و ساخت چندین مدل بدنه به کمک ماشین CNC
- طراحی و ساخت کف کاذب و دیواره کاذب قابل تنظیم
- طراحی و ساخت سیستم آلتراسونیک اندازه-گیری آبخور مدل به همراه نرم‌افزار مربوطه کالیبراسیون سرعت ارابه حوضچه
- نصب و کالیبراسیون کانال قابل تنظیم (قابلیت تغییر در ابعاد کانال) در داخل حوضچه
- کالیبراسیون سیستم آلتراسونیک اندازه-گیری آبخور کشتی
- آماده‌سازی مدل‌ها، آبخور و مرکز ثقل آن‌ها
- نصب مدل، نصب سیستم اندازه-گیری آبخور و راهاندازی کلیه سیستم‌ها به صورت همزمان
- آبگیری حوضچه در عمق مدنظر و شروع تست‌های اولیه



شکل ۱: نمایی از حوضچه و دیواره کاذب



شکل ۲- تصویری از نصب مدل در حوضچه

کشتی با فرم سری ۶۰ استفاده گردید. مشخصات مدل‌های مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. تصویری از یک مدل در شکل ۳ نشان داده شده است.

برای اینکه بتوان نتایج بدست آمده از انجام آزمایشات را فراگیر نمود، بایستی از مدل‌های مختلف در انجام آزمایشات استفاده نمود. برای این منظور از دونوع

جدول ۲- خصوصیات هندسی مدل‌های مورد آزمایش

نام مدل	LOA (م)	LBP (م)	عرض خیس (م)	آبخور (م)	ارتفاع بدنه (م)	ضریب ظرافت بدنه (کیلوگرم)	جابجایی	غوطه‌وری (نسبت به مقطع میانی)	موقعیت طولی مرکز
سری ۱-۶۰	۱۵۵۴	۱۵۰۰	۱۹۹	۸۰	۱۲۷	۰/۸	۱۹/۱	+۲۲/۵	
سری ۲-۶۰	۹۲۰	۸۸۰	۱۴۵	۴۳	۷۷	۰/۶	۳/۲۹	-۱۳/۲	



شکل ۳- تصویر مدل سری ۶۰ با ضریب ظرافت بدنه ۰/۶

$$S_{b_H} = \frac{C_B S_2^{2/3} V_K^{2.08}}{30} \quad (6)$$

هوسکا [۴] بر پایه رابطه گولیو [۱۶] برای کanalی با محدودیت عرضی با اضافه نمودن ضریب تصحیح عرض کanal K_s رابطه زیر برای اعداد فرود عمقی بزرگتر از ۰/۷ ارائه نمود.

$$S_{b_H} = 2.4 \frac{\nabla}{L_{pp}^2} \frac{F_{nh}^2}{\sqrt{1 - F_{nh}^2}} K_s \quad (7)$$

$$K_s = \begin{cases} 7.45S_1 + 0.76, & S_1 > 0.03 \\ 1.0, & S_1 \leq 0.03 \end{cases}$$

که S_1 ضریب تصحیح انسداد می‌باشد. انسستیتو توسعه سواحل خارجی ژاپن [۱۷] نیز رابطه زیر را برای اسکووات سینه کشته در آبراهه‌های ژاپن ارائه نمود:

$$S_{b_j} = \left[\left(0.7 + 1.5 \frac{1}{h/T} \right) \left(\frac{C_B}{L_{pp}/B} \right) + 15 \frac{1}{h/T} \left(\frac{C_B}{L_{pp}/B} \right)^3 \right] \frac{V_s^2}{g} \quad (8)$$

رومیش [۱۸] رابطه اسکووات سینه رابه کمک انجام آزمایشات به صورت زیر ارائه می‌نماید:

$$S_b = C_V C_F K_{AT} T \quad (9)$$

که C_V ضریب تصحیح سرعت کشته، C_F ضریب تصحیح هندسه کشته و K_{AT} ضریب تصحیح اسکووات در سرعت بحرانی کشته است.

۳-۲-۳- نتایج تست و مقایسه با فرمولهای رگرسیونی موجود

جدالوں ۳ و ۴ خلاصه ماتریس پارامترهای تست‌ها را برای سرعت‌های مختلف، نسبت عرض کanal به عرض مدل W/B ، نسبت عمق آب به آبخور کشته h/T و عدد فرود هیدرولیکی F_{nh} متفاوت نشان می‌دهد. تغییر آبخور در سینه و پاشنه کشته بر اساس خروجی سنسورها اندازه‌گیری شده است. شکل ۴ نمونه‌ای از این نتایج را نشان می‌دهد.

کanal کاذب با دیواره و کف قابل تنظیم در داخل حوضچه کشش تعییه گردید. سه پارامتر سرعت مدل، عرض کanal و عمق کanal به عنوان متغیرهای تست برای دو مدل انتخاب گردیدند و ترکیب متنوعی را ایجاد نمودند که در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. باید توجه داشت که در سرعت‌های زیاد، مدل به بستر کanal برخورد می‌نماید؛ بنابراین تعداد تست سرعت در حالت‌های مختلف متفاوت است.

در فرآیند انجام تست، ابتدا عرض کanal و عمق کanal توسط صفحات کاذب به مقدار تعیین شده تنظیم گردید. سپس مدل در آبخور مورد نظر در حالت بدون تریم تنظیم گردید. بدین منظور از وزنهای اضافی استفاده شده است. سپس بر اساس سرعت از پیش تعیین شده، مدل توسط اربه رانده شد. پس از رسیدن مدل به سرعت ثابت (حالت دائم)، تغییر آبخور کشته در دو نقطه (با طول متفاوت) از کشته (اسکووات) در بازه زمان اندازه‌گیری شده است. از این تغییر آبخور، دو پارامتر فورفتگی زاویه تریم محاسبه می‌گردد. برای اندازه‌گیری تغییر آبخور از یک سیستم اندازه‌گیری آلتراسونیک استفاده شده است. بدین منظور سیستم ایجاد امواج آلتراسونیک بر روی اربه نصب و بر روی دو نقطه در دو سر مدل صفحاتی جهت انعکاس امواج، متصل شده بود (شکل ۳ را ببینید). بر اساس زمان لازم برای انعکاس امواج، فاصله حسگر تا نقطه مورد نظر اندازه‌گیری گردید. این سیستم کالیبره شده و دقیق آن ۵ میلی‌متر می‌باشد.

۳- نتایج تست و اعتبارسنجی

تستهای زیادی انجام و هر تست سه بار تکرار شده است. نتایج تست پس از بازیابی با فرمولهای موجود رگرسیونی مقایسه گردید.

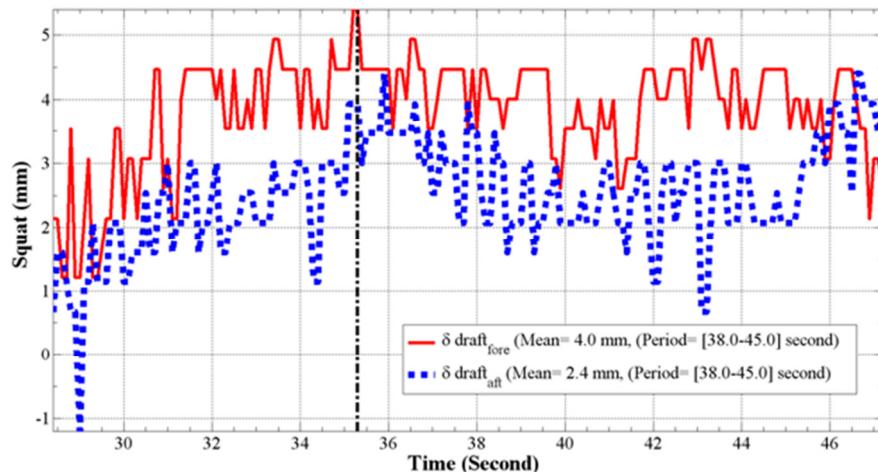
۱-۳- برخی فرمولهای رگرسیونی موجود نمونه رابطه‌های محاسبه اسکووات که در این تحقیق نیز از آن‌ها برای مقایسه استفاده می‌شوند عبارتند از: بارا [۶] رابطه زیر را برای اسکووات سینه کشته بر اساس سرعت پیشروعی V_k ، ضریب انسداد S_2 و ضریب طرافت بدنی ارائه نمود.

جدول ۳- ماتریس پارامترهای تست برای مدل با آبخور $T=80$ میلیمتر و ضریب ظرافت بدن $C_B=0.8$ (عمق حوضچه به میلیمتر میباشد)

W/B = ۳		W/B = ۲/۹۱					W/B = ۲/۱			(m/s)
h=۲۴۰	h=۱۷۱/۲	h=۱۲۰	h=۲۴۰	h=۱۸۰	h=۱۲۰	h=۲۴۰	h=۱۸۰	h=۱۲۰		
h/T = ۳	h/T = ۲/۱۴	h/T = ۱/۵	h/T = ۳	h/T = ۲/۲۵	h/T = ۱/۵	h/T = ۳	h/T = ۲/۲۵	h/T = ۱/۵	Fnh	۰/۱۵
۰/۱۰۱	۰/۱۱۹	۰/۱۴۲	۰/۱۰۱	۰/۱۱۶	۰/۱۴۲	۰/۱۰۱	۰/۱۱۶	۰/۱۴۲		۰/۱۵
۰/۱۴۷	---	۰/۲۰۸	۰/۱۴۷	۰/۱۷	۰/۲۰۸	۰/۱۴۷	۰/۱۷	۰/۲۰۸	Fnh	۰/۲۳
۰/۱۹۳	۰/۲۲۹	۰/۲۷۳	۰/۱۹۳	۰/۲۲۳	۰/۲۷۳	۰/۱۹۳	۰/۲۲۳	۰/۲۷۳	Fnh	۰/۳
۰/۲۴	۰/۲۸۴	۰/۳۳۹	۰/۲۴	۰/۲۷۷	۰/۳۳۹	۰/۲۴	۰/۲۷۷	۰/۳۳۹	Fnh	۰/۳۷
۰/۲۸۶	۰/۳۳۹	۰/۴۰۵	۰/۲۸۶	۰/۳۳	۰/۴۰۵	۰/۲۸۶	۰/۳۳	۰/۴۰۵	Fnh	۰/۴۴
۰/۳۳۳	۰/۳۹۴	۰/۴۷	۰/۲۳۳	۰/۳۸۴	۰/۴۷	۰/۳۳۳	۰/۳۸۴	۰/۴۷	Fnh	۰/۵۱
۰/۳۷۹	۰/۴۴۹	۰/۳۷۹	۰/۴۳۸		۰/۳۷۹	۰/۴۳۸			Fnh	۰/۵۸
۰/۴۷۲		۰/۴۷۲							Fnh	۰/۶۵

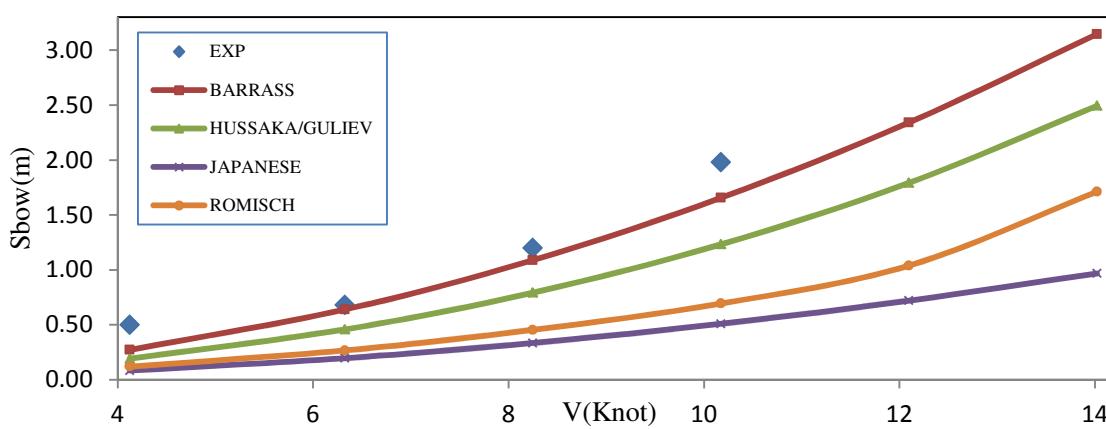
جدول ۴- ماتریس پارامترهای تست برای مدل با آبخور $T=43$ میلیمتر و ضریب ظرافت بدن $C_B=0.6$ (عمق حوضچه به میلیمتر میباشد)

W/B = ۵/۱۲		W/B = ۳/۹۹					W/B = ۲/۹			(m/s)	
h=۱۷۱/۱۴	h=۱۲۹	h=۱۰۷/۵	h=۸۶	h=۶۴/۵	h=۱۲۹	h=۹۶/۷۵	h=۶۴/۵	h=۱۲۹	h=۹۶/۷۵	h=۶۴/۵	
h/T = ۳/۹۸	h/T = ۳	h/T = ۲/۵	h/T = ۲	h/T = ۱/۵	h/T = ۳	h/T = ۲/۲۵	h/T = ۱/۵	h/T = ۳	h/T = ۲/۲۵	h/T = ۱/۵	
۰/۱۱۹	---	---	۰/۱۶۸	۰/۱۹۴	۰/۱۳۷	۰/۱۵۸	۰/۱۹۴	۰/۱۳۷	۰/۱۵۸	۰/۱۹۴	Fnh
۰/۲۲۹	۰/۲۶۴	۰/۲۸۸	۰/۳۲۳	۰/۳۷۳	۰/۲۶۴	۰/۳۰۴	۰/۳۷۳	۰/۲۶۴	۰/۳۰۴	۰/۳۷۳	Fnh
---	۰/۳۲۷	---	---	---	---	---	۰/۳۲۷	۰/۳۷۷	۰/۴۶۲	Fnh	۰/۳۷
۰/۳۳۹	۰/۳۹	۰/۴۲۷	۰/۴۷۸		۰/۳۹	۰/۴۵		۰/۳۹	۰/۴۵	---	Fnh
---	۰/۴۵۴	---	---	---	۰/۴۵۴		۰/۴۵۴			Fnh	۰/۵۱
۰/۴۴۹										Fnh	۰/۵۸

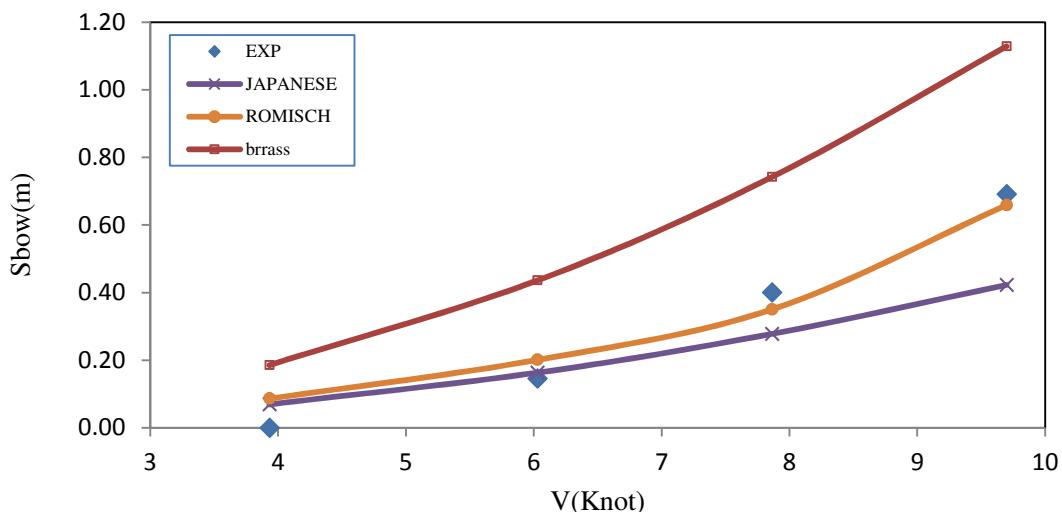
شکل ۴- نمونه اندازه‌گیری تغییر آبخور در سینه و پاشنه کشتی با ضریب ظرافت بدن $C_B=0.8$ در $W/B=2.91$ و $h/T=2.25$, $Fnh=0.223$ و $C_B=0.8$

Romisch و Barrass بیشتر بهم نزدیک هستند. البته نباید فراموش کرد که اگرچه روند کلیه رابطه‌ها در ارائه اسکووات مشابه است ولی تفاوت بین رابطه‌ها بسیار چشمگیر می‌باشد.

برای حصول اطمینان از صحت نتایج تست‌ها، مقایسه محدودی صورت گرفته است. شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه اسکووات در سینه کشتیهای مختلف اندازه‌گیری شده را با نتایج رابطه‌های تجربی نشان می‌دهد. با یک نگاه اجمالی می‌توان گفت که نتایج تست‌ها و نتایج رابطه



شکل ۵- مقایسه مقدار اسکووات در سینه شناور محاسبه شده از نتایج تست با رابطه های مختلف برای کشتی به طول ۳۰۰ متر، عرض ۴ متر، آبخور ۱۶ در C_B=0.8 BR=0.227



شکل ۶- مقایسه مقدار اسکووات در سینه شناور محاسبه شده از نتایج تست با رابطه های مختلف برای کشتی به طول ۱۶۰ متر، عرض ۷.۸۲ متر و آبخور ۰.۶ در C_B=0.6247 BR=0.2247

صورت تقریبی داده های استخراج شده از آزمایشات را نتیجه می دهد. ضریب انسداد را می توان با دو پارامتر $\frac{h}{T}$ و $\frac{W}{B}$ نیز تعریف نمود. با عنایت به این موضوع، رابطه (۵) مبنای استخراج رابطه تجربی در این تحقیق قرار داده شد.

$$S^* = f_1\left(\frac{W}{B}\right).f_2(F_n).f_3(C_B).f_4\left(\frac{h}{T}\right) \quad (10)$$

۴- استخراج رابطه تجربی با روش رگرسیون برای اینکه بتوان یک رابطه رگرسیونی فراگیر استخراج نمود بهتر آنست که پارامترهای بکار رفته در رابطه بی بعد باشند. برای این منظور پارامترهای بی بعد به شرح جدول ۵ در این تحقیق تعریف شده است تا در صورت لزوم از آنها استفاده شود. اسکووات کشتی به عمق و عرض کانال، سرعت مدل، ضریب ظرافت بدنه کشتی و ضریب انسداد وابسته بوده و می توان برای آن روابط زیر را پیشنهاد نمود که به

جدول ۵- معرفی پارامترهای بی بعد

توضیح	پارامتر بی بعد
نسبت عرض کanal به عرض کشتی	W/B
اسکووات مقطع میانیکشتبی نسبت به عمق کanal	$S^* = S/h$
نسبت تریم به عمق کanal	$t^* = t/h$
نسبت تغییر آبخور در سینه به عمق کanal	$S_{bow}^* = \delta T F^* = \Delta T F/h$
ضریب انسداد	BR
نسبت عمق کanal به آبخور	h/T
عدد فرود هیدرولیکی	F_{nh}

شود. معیاری که با آن تابع تقریب‌ها ارزیابی می‌شوند، مجموع مربع تفاضل آمار آزمایشگاهی با مقدار نظیر تابع تخمین است. هرچه این مقدار برای یک تابع تخمین مشخص کمتر باشد مقادیر آن تابع به داده‌های آزمایشگاهی نزدیک‌تری باشد. نکته برجسته در استخراج رابطه رگرسیونی مناسب، انتخاب فرم مناسب برای تابع تخمین و محدوده مناسب برای ضرایب است. برنامه‌ای کامپیوترا در قالب نرم افزار MATLAB تدوین گردید. بر اساس معیار مجموع مربع تفاضل آمار آزمایشگاهی با مقدار نظیر رابطه رگرسیونی، دو پارامتر واریانس^۳ RMSE و فاکتور رگرسیونی^۴ R-square تابع تقریب نهایی محاسبه شد. در حالت ایده‌آل $R^2=1$ و $RMSE=0$ تابع تقریب دقیقاً از آمار آزمایشگاهی عبور می‌کند.

۱-۴- رابطه برای مدل $C_B=0.8$

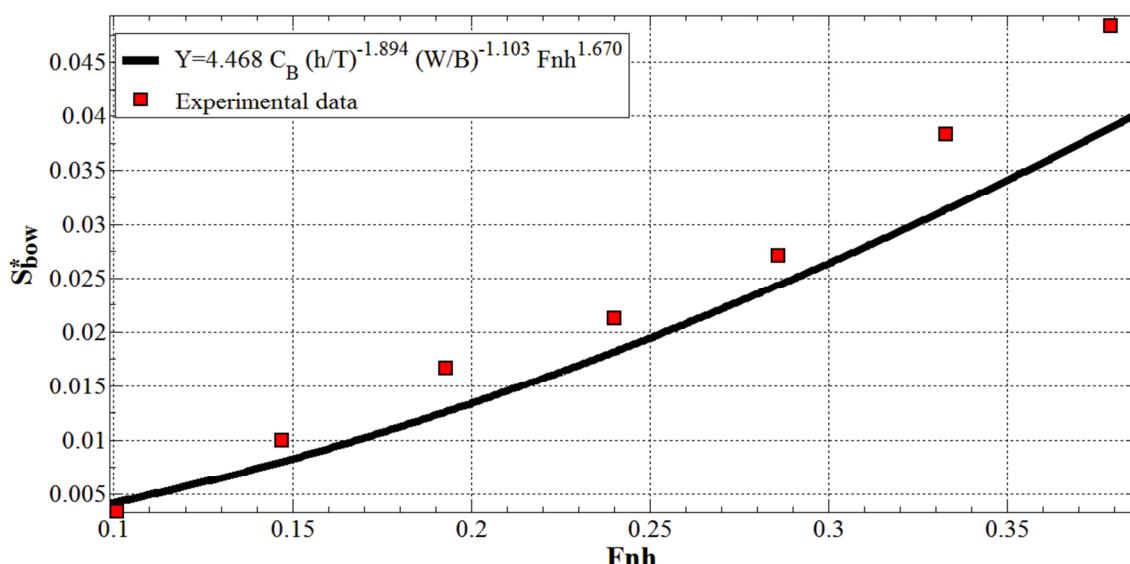
نتیجه خروجی برنامه رابطه رگرسیونی زیر با دقت $R^2=0.9554$ و $RMSE=0.0074$ می‌باشد:

$$S^* = 4.468 C_B \left(\frac{h}{T} \right)^{-1.894} \left(\frac{W}{B} \right)^{-1.103} F_{nh}^{1.67} \quad (11)$$

شکل ۷ رابطه (11) را با نتایج تست برای یک کشتی مشخص نشان می‌دهد که به نظر قابل قبول می‌رسد.

فرآیند تعیین رابطه رگرسیونی بر مبنای آمار تست‌ها است لذا استفاده از نتایج تست بیشتر و دقیق‌تر موجب ارائه تابع تقریب دقیق‌تر می‌شود و شباهت هر چه بیشتر تابع به آمار تجربی اساس تعیین آن است. در نتیجه در صورت وجود تعدادی آمار غیر واقعی در کل مجموعه آمار، از دقت رگرسیون کاسته می‌گردد. فیلتر سازی ابتدایی‌ترین گام، فیلم‌های هر آزمایش به دفعات مورد بازبینی قرار گرفته و در صورت وجود نقص یا تردید در مورد صحت آزمایش، آن داده از مجموعه کنار گذاشته شد. البته این امر شامل برخورد سینه یا پاشنه مدل با کف کanal نیز می‌باشد. در گام بعدی این آمار با سایر روابط تجربی مقایسه شد.

برای هر یک از مدل‌های مورد آزمایش یک رابطه مستقل رگرسیونی استخراج و ارائه گردید. یعنی ابتدا با فرض ضریب طرافت بدنه ثابت نسبت به استخراج رابطه برای هر مدل اقدام گردیده است. بر این اساس ابتدا یک فرم مناسب تابع رگرسیونی (که در اینجا رابطه (۵) ترجیح داده شد) انتخاب گردید. یک محدوده مناسب برای ضرایب f_1 تا f_4 حدس زده می‌شود و یک گام تغییرات کوچک به هر یک از آن‌ها نسبت داده می‌شود. هر ضریب فرض شده منجر به یک تابع تخمین می‌شود. در عمل در یک اجرا برنامه صدها هزار تابع تقریب فرض می‌شود و هر یک با نتایج تست‌ها به صورت مجزا مقایسه می‌شود. تابع تخمینی که شباهت و نزدیکی بیشتری به کل مجموعه آمار آزمایشگاهی داشته باشد به عنوان تابع تخمین نهایی انتخاب می-



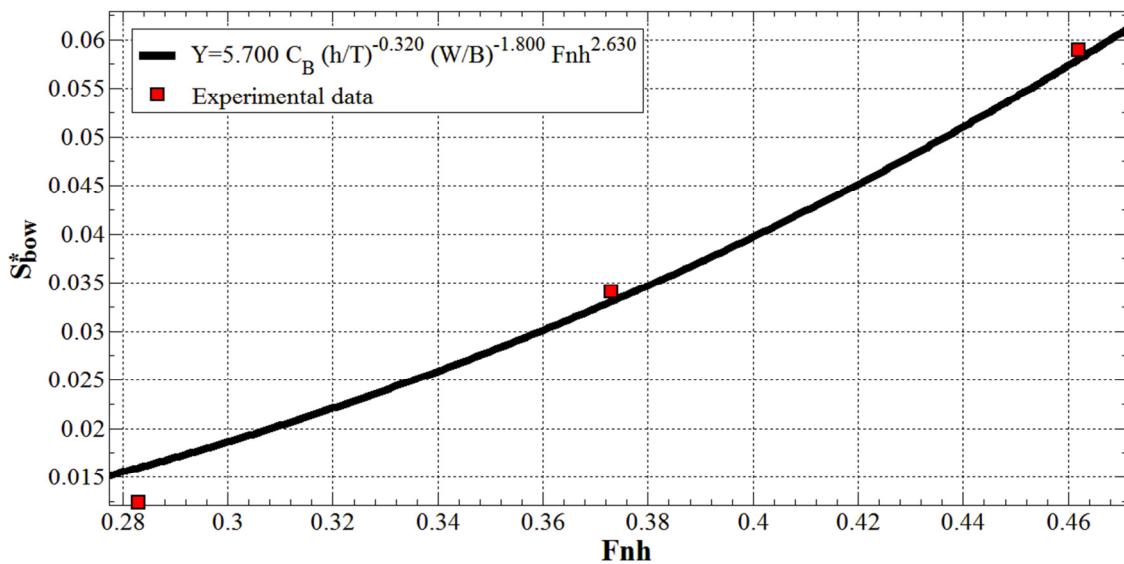
شکل ۷- مقایسه اسکووات بی بعد در سینه شناور از نتایج آزمایش با تابع تقریب محاسبه شده برای مدل $C_B=0.80$ با $W/B=2.10$ و $h/T=3.0$ ، $BR=0.157$

شکل ۸ رابطه (۱۲) را با نتایج تست را برای یک کشتی معین مورد مقایسه قرار می دهد که نسبتاً قابل قبول می باشد.

۲-۴- رابطه برای مدل $C_B=0.6$

نتیجه خروجی برنامه رابطه رگرسیونی زیر با دقت $R\text{-Square}=0.9196$ و $RMSE=0.0059$ می باشد:

$$S^* = 5.7C_B \left(\frac{h}{T}\right)^{-0.32} \left(\frac{W}{B}\right)^{-1.8} F_{nh}^{2.63} \quad (12)$$



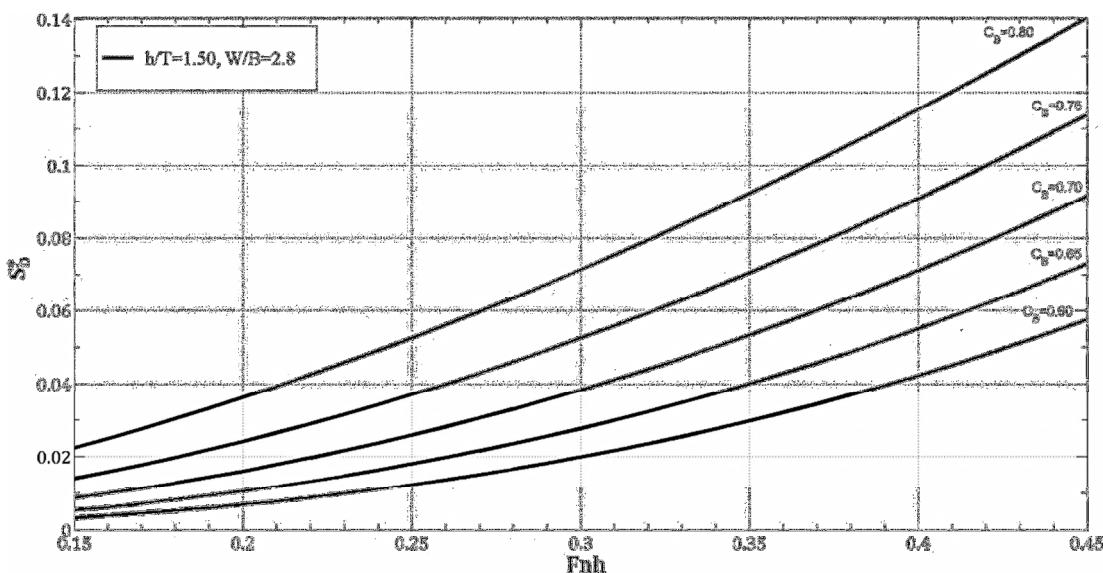
شکل ۸- مقایسه اسکووات بی بعد در سینه شناور از نتایج آزمایش با رابطه رگرسیونی محاسبه شده برای مدل $C_B=0.60$ با $W/B=2.90$ و $h/T=1.5$ ، $BR=0.225$

برای اینکه رابطه فوق نتایج درون‌یابی روابط مذکور را نشان دهد، محدوده اعتبار رابطه فوق در بازه عدد فرود هیدرولیکی $0.15 \leq F_{nh} \leq 0.45$ ، نسبت عرض کanal به عرض کشتی $2.8 \leq W/B \leq 3.8$ ، نسبت عمق کanal به آبخور $1.5 \leq h/T \leq 3$ در نظر گرفته شده است. در غیر این صورت این رابطه جنبه برون یابی پیدا کرده و احتمالاً نتایج رضایت‌بخشی را نخواهد داد.

رابطه (۱۳) در بازه ضریب ظرافت بدنے $0.6 \leq C_B \leq 0.8$ برای یک نمونه کanal در شکل ۷ ترسیم شده است. در این شکل افزایش اسکووات با افزایش ضریب ظرافت بدنے و همچنین افزایش شدید اسکووات با افزایش عدد فرود هیدرولیکی دیده می‌شود.

۳-۴- رابطه عام برای کلیه ضرایب ظرافت بدنے از آنجا که مدل‌های سری ۶۰ مورد آزمایش دارای فرم بدن تجاری می‌باشند، با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) تلاش شد برای تخمین اسکووات کشتی‌های تجاری با ضریب ظرافت بدنے در بازه $0.6 \leq C_B \leq 0.8$ یک رابطه رگرسیونی تعیین شود. البته لازم است تا تست‌ها برای ضرایب ظرافت بدنے بیشتری انجام شود تا بتوان رابطه رگرسیونی با قابلیت اعتماد بیشتری استخراج نمود. با توجه به محدودیت هندسی کanal و روابط (۱۱) و (۱۲) رابطه رگرسیونی زیر برای تخمین اسکووات سینه کشتی پیشنهاد می‌گردد.

$$S^* = (-6.16 C_B + 9.396) C_B \left(\frac{h}{T} \right)^{-7.87 C_B + 4.4} \left(\frac{W}{B} \right)^{3.485 C_B - 3.891} F_{nh}^{-4.8 C_B + 5.51} \quad (13)$$



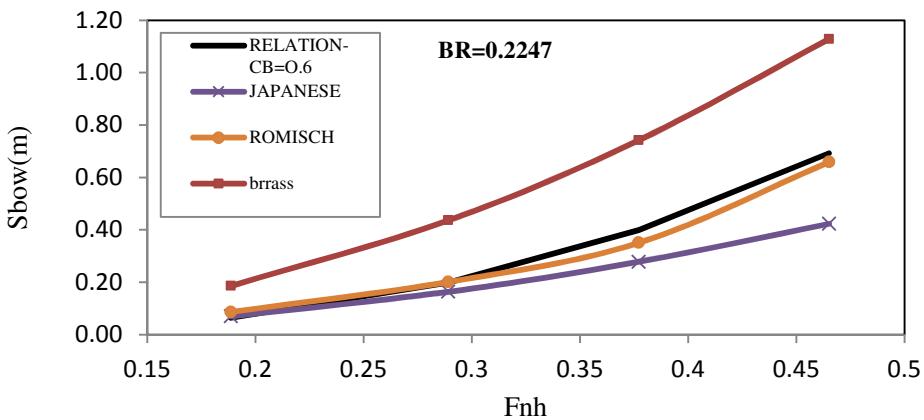
شکل ۹- نمونه نتایج رابطه رگرسیونی برای اسکووات سینه در کanal با $h/T = 1.5$ و $W/B = 2.8$ برای کشتی‌هایی با ضریب ظرافت بدنے مختلف

$h/T=2.9$ برای کشتی با ضریب ظرافت بدنے $0/6$ را با دیگر روابط نشان می‌دهد. بطور کلی گرایش کلیه رابطه‌ها شبیه به یکدیگر است به طوریکه با افزایش عدد فرود هیدرولیکی اندازه اسکووات افزایش می‌یابد. ولی، اختلاف بین رابطه‌های مختلف قابل توجه می‌باشد. در حال حاضر رابطه ارائه شده به رابطه رومیش نزدیک‌تر است.

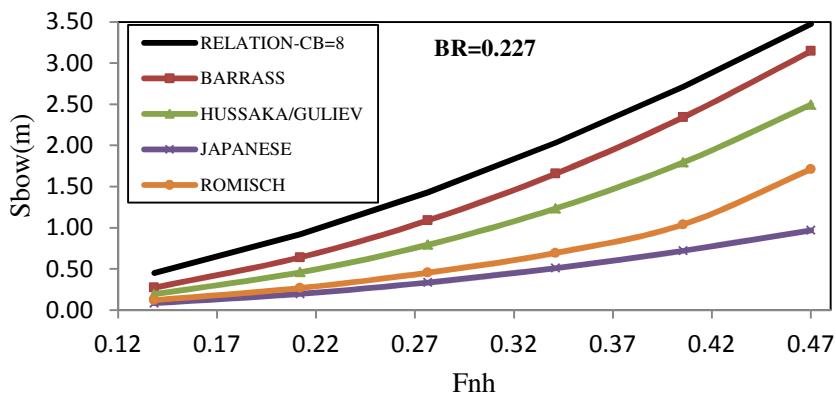
۴- اعتبار سنجی رابطه تجربی برای مقایسه روابط استخراج شده از این تحقیق با نتایج دیگر محققین لازم است مسئله یکسانی طرح گردد. سپس مقادیر پیشنهادی روش حاضر با نتایج محاسبه شده با دیگر روش‌ها مقایسه گردد. شکل ۱۰ مقایسه رابطه استخراج شده از این تحقیق برای کشتی در کanalی با $h=11.729$ متر، $BR=0.2247$ و $W/B=2.9$ را با

هیدرولیکی اندازه اسکووات سینه کشته افزایش می باید، ولی تفاوت مقداری قابل توجه ای بین منحنی ها مشاهده می شود. رابطه استخراجی در این تحقیق به رابطه باراس نزدیکتر است.

شکل ۱۱ رابطه استخراجی از این تحقیق را برای یک کشته با ضریب ظرافت بدنه $1/8$ و آبخور 16 متر در عمق کanal 24 متر و $BR=0.2247$ را با دیگر روابط مقایسه می کند. همانند مورد قبلی رفتار عمومی منحنی ها شبیه یکدیگر بوده و با افزایش عدد فرود



شکل ۱۰- مقایسه رابطه ۸ برای مدل با $CB=0.6$ در $h=11.727$ و $h/T=1.5$ و $W/B=2.9$



شکل ۱۱- مقایسه رابطه ۹ برای مدل با $CB=0.8$ در $h=24$ و $h/T=1.5$ و $W/B=2.9$

- اگرچه روند کلی اسکووات در کلیه رابطه ها شبیه به یکدیگر است ولی تفاوت زیادی بین رابطه ها مشاهده می شود.
- بی تردید در مراحل اولیه طراحی کanal استفاده از رابطه های تجربی اجتناب ناپذیر است ولی در مراحل نهایی طراحی کanal تست مدل اختصاصی برای کanal تحت طراحی ضروری است. رابطه ارائه شده نیز می تواند در مرحله طراحی اولیه کanal در محدوده تعیین شده مورد استفاده قرار گیرد.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

تحقیقی وسیع بر پایه روش مدل تست بر روی اسکووات کشته انجام گردید. بر پایه این تحقیق رابطه تجربی جدیدی استخراج گردید. در بررسی و مقایسه رابطه استخراجی با دیگر روابط موجود نکات زیر حائز اهمیت است.

- محدوده بکار گیری رابطه استخراجی وسیع تر است به طوریکه اعداد فرود هیدرولیکی، نسبت عرض کanal به عرض کشته و نسبت عمق کanal به آبخور بیشتری را پوشش می دهد.

11. Dunker,S., Gollenstede, A., Harting, A. and Reinking,J., 2002, Analysis and Comparison of Ships – Derived Squat, Proceedings HydroKiel, 2002,p.434–449.
12. Barras, C.B., 2004, Thirty-Two Years of Research into Ship Squat, Squat-WorkshopAspects of Underkeel Clearance in Analysis And Application.
13. Gucma L., 2005, Risk Modelling of Ship Collisions Factors with Fixed Port and OffshoreStructures, Maritime University of Szczecin, Szczecin
14. Gourlay, T., 2007, Ship Underkeel Clearance in Waves, Proc. Coasts and Ports, Melbourne.
۱۵. حمید زراعتگر، روزبه پناهی، شهروز معصومی، محسن اصغری، ۱۳۹۰، مروری بر تحقیقات صورت گرفته در مورد پدیده اسکووات و مقایسه روابط ارائه شده جهت پیش بینی اسکووات، سیزدهمین همایش صنایع دریایی، کیش، ایران
16. Guliev, U. M., 1971, On squat calculations for vessels going in shallow water and through channels, PIANC Bulletin 1(7), p. 17–20.
17. Japanese, Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 2002, Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan.
18. Romisch, K., 1989, Empfehlungenzur Bemessung von Hafeneinfahrten. Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, Heft 1, p. 39-63.
19. Zeraatgar H., Akbarivakilabadi K., Yousefnejad A., 2011, Parametric Analysis of Ship squat in Shallow water, Brodogradnja, 62-1.

۶- کلید واژگان

- 1- Sankage
- 2- Blockage
- 3- Root Mean Square error
- 4- Regression factor

۷- منابع و مراجع

1. Havelock, T.H., 1939, Note on the sinkage of a ship at low speeds, Z. Angew. Math. Mech. 19, 202{205}
2. Naval Facilities Engineering Command, 1981, Harbors Design Manual 26.1.
3. Dand, I.W. and Ferguson, A.M., 1973, The squat of full ships in shallow water, Trans. RINA 115, p. 237 – 255.
4. Huuska, O., 1976, On the evaluation of underkeel clearances in Finnish Waterways, Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics Laboratory, Otaniemi, Report No 9
5. Barrass, C.B., 1978, Ship Squat, Lorne and Maclean Publishers
6. Barrass, C. B., 1979, A unified approach to squat calculations for ships, PIANC Bulletin
7. Millward, A., 1990, A preliminary design method for the prediction of squat in shallow water, Marine Technology 27(1), p. 10-19.
8. Millward, A. 1992, A comparison of the theoretical and empirical prediction of squat in shallow water, International Shipbuilding Progress, 417, 39, 69.
9. Webb, D. W. and Wooley, R. T. 1998. Using DGPS Ship Transit Data for Navigation Channel Design, Proceedings, PORTS '98, ASCE, p. 1325-1332.
10. Gourlay, T. P. And Tuck, E. O., 2001, The maximum sinkage of a ship, Journal of Ship Research, 45, 1, 50.