اساس اسکوات در کانال باریک و محدود برای بدنه سری ۶۰ و مقایسه آن با روابط تجربی

کریم اکبری وکیل آبادی[1] karim954@cic.aut.ac.ir

حمید زراعتگر [2] hamidz@cic.aut.ac.ir

چکیده:

هنگام پیشروی کشتی در آب، شناور در موقعیتهای مختلفی نسبت به آب ساکن قرار می گیرد که اصطلاحاً به آن اسکوات[3] می گویند و آنرا می توان اثر ساده برنولی دانست که در اثر افزایش سرعت جریان، اطراف بدنه شناور و افت فشار سیال بر روی بدنه اتفاق می افتد. این بدان معناست وقتی شناور در آب کم عمق حرکت می کند احتمال به گل زدن شناور وجود دارد و آن با افزایش سرعت شناور، بیشتر می شود. بطور کلی علت اصلی سانحه در آب کم عمق ساحلی را میتوان به واسطه اسکوات دانست. یکی از روشهایی که برای تعیین اسکوات شناورها به کار می رود روشهای کشتی-ثابت[4] و کشتی-آزاد به اسکوات[5]، بوده که در این مقاله برای یک کشتی سری۶۰ در کانال محدود و کم عمق با مقطع مستطیلی و عمق ثابت، مقدار اسکوات را محاسبه کرده و با استفاده از روابط تجربی و کارهای انجام شده معتبر سازی گردیده است. البته نمی توان انتظار داشت که روابط تجربی برای هرگونه شناور و هرمقطع کانالی جوابگو باشد.

---

[1] . دانشجوی کارشناسی ارشد هیدرومکانیک کشتی دانشگاه صنعتی امیرکبیر وعضو هیئت علمی دانشگاه دریایی امام خمینی (ره)

[2] . استادیار دانشکده مهندسی دریا دانشگاه صنعتی امیر کبیر

[3] . squat

[4] . Fixed-Ship Method

[5] . Ship-Free to squat

کلمات کلیدی: اسکوات- تئوری هیدرولیک یک بعدی- سینکیج[۶]- کشتی لاغر[۷]

۱. مقدمه

بحث اسکوات برای کشتیها از سالهای پیش مسأله ای بوده که با استفاده از روابط تحلیلی سعی در محاسبه آن شده است. Havelock(1939) مقدار سینکیج را در آبهای با عمق نامحدود برای یک شکل بیضیگون محاسبه نمود که به علت عدم کاربرد آن در آبهای کم عمق،[۱] Constantine(1961) از تئوری هیدرولیک یک بعدی برای آبهای کم عمق ومحدود استفاده و روابطی را ارائه نموده است. Tuck(1966) از تئوری کشتی لاغر در آبهای کم عمق و محدود استفاده و فرض نمود که نسبت عمق آب به طول کشتی کوچک می باشد. در این روش اسکوات بدنه با توان سوم سرعت کشتی نسبت مستقیم داشت. این تئوری برای تریم[۸] و سینکیج کشتی عمدتاً نتایج خوبی می دهد.

پدیده اسکوات 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.

۲. اساس اسکوات :

۲،۱. تئوری هیدرولیک یک بعدی:

وقتی شناور در آب، ساکن در نظر گرفته شود، سرعت سیال تقریباً در هر مقطع ثابت بوده و می توان از تئوری هیدرولیک برای تشریح جریان در کانال استفاده نمود. در تئوری هیدرولیک فرض می شود که فقط مؤلفه سرعت سیال درجهت حرکت کشتی مهم می باشد که آن تقریباً در عرض کانال ثابت می باشد. اگر سرعت سیال در مختصات مرجع، بصورت $\nabla\Phi = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$ تعریف گردد می توان گفت که $v, w \prec\prec u$ و $u \approx u(x,t)$. (مراجعه شود به شکل ۱)

معادله پیوستگی را می توان به شکل زیر نوشت: [۲]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \qquad (1)$$

6. sinkage
7. Slender ship
8. Trim

که مرتبه ترمهای $\frac{\delta w}{\delta u}$ و $\frac{\delta v}{\delta u}$ را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\frac{\delta v}{\delta u}=O\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) \quad , \quad \frac{\delta w}{\delta u}=O\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)$$

کـه $\delta z, \delta y, \delta x$ تغییـرات جزئـی در راسـتاهای z, y, x مـی باشـد. بـا توجه به اینکه v, w در مقایسه با u کوچک هستند نیاز به آن است که مقیاس طولی z, y در مقایسه با مقیاس x کوچک باشد و این بدان معناست که عرض و عمق کانال بایستی در مقایسه با طول کشتی کوچک باشد. پس داریم:

$$\frac{v}{u}=O\left(\frac{W}{L}\right) \quad , \quad \frac{w}{u}=O\left(\frac{h}{L}\right)$$

مهمترین حالت وقتی است که کشتی در آبهای کم عمق به سرعت موج می رسد که این امواج مشابه امواج منفرد [۹] ($\mathrm{H}\upsilon\alpha n\gamma$ 1982) بوده که اخیراً توسط محققان بسیاری بصورت عددی و تحلیلی برای بدنه های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار اسکوات را در دو مبحث کانالهای عمق ثابت و عمق متغییر می توان مورد تحلیل و بررسی قرار داد. هنگامی که کشتیها درآبراهه ها، رودخانه ها و ورودی بنادر حرکت می کنند بحث اسکوات بسیار مهم بوده و بایستی طراحان کانالها، طراحان کشتیها و کاپیتان کشتیها به آن توجه نمایند.

۲،۲. روش کشتی-ثابت:

در روش کشتی-ثابت از یک مختصات مرجع استفاده نموده که وسط کشتی را در نقطه (۰و۰و۰) (شکل۱) بر روی سطح آزاد قرار داده و جریان در نقاط دور دست بدنه را برابر U فرض می کنیم. در اثر حرکت سیال در اطراف بدنه، سرعت در نزدیکی بدنه را با مقدار qU تعریف کرده که q بردار سرعت در جهت محور X می باشد. در هنگام حرکت سیال سطح آزاد در $Z=\varsigma$ قرار می گیرد. که این مقدار در عمل منفی می باشد ولی در اینجا برای راحتی درک مسأله در جهت مثبت z در نظر گرفته ایم. (به شکل۱ مراجعه شود)

بنابر مدل کشتی مورد نظر می توان دریافت که عرض (B) و مساحت سطح مقطع عرضی (S) تابعی از X می باشد. با توجه به اینکه عرض مدل را روی خط آبخور طراحی در ۲۰ ایستگاه موجود می باشد می توان رابطه زیر را بصورت تقریبی برای آن در نظر گرفت: (به شکل۲ مراجعه شود)

[9]. Soliton

$$S(x) = -0.1206X^9 + 0.9164X^8 - 2.954X^7 + 5.75X^6 - 8.237X^5 + 8.715X^4 - 5.589X^3 + 1.258X^2 + 0.507X + 0.02135 \qquad [m^2]$$

همچنین می توان گفت که ارتفاع سطح ازاد فقط تابعی از X می باشد (تئوری هیدرولیک).[۱و۲]

در تئوری هیدرولیک نیاز به دو معادله پیوستگی[10] و برنولی[11] برای حل مسائل می باشد. که معادله پیوستگی برای جریان یک بعدی با برابر قرار دادن دبی جریان در هر مقطع با دبی در بالادست جریان می توان بدست آورد:

$$qUA(X) = US_0 \qquad (2)$$

که مقدار $A(X)$ بنابر رابطه زیر بدست می آید:

$$A(X) = S_0 - S + (w - B)\varsigma \qquad (3)$$

که S_0 مساحت آب در حالت غیر مغشوش، s سطح مغروق شناور ، ς بالا رفتن سطح آب می باشد.

با استفاده از معادله های ۲و۳، معادله پیوستگی را در شکل بی بعد بصورت زیر می نویسیم:

$$q\left[1 - \frac{S}{S_0} + \left(1 - \frac{B}{w}\right)\bar{\varsigma}\right] = 1 \qquad (4)$$

که ترمهای زیر را بصورت زیر تعریف می کنیم:

$\frac{B}{w} =$ عرض کشتی به عرض کانال و $\frac{S}{S_0} = Blockage$ Coefficient

ضریب بی بعد ارتفاع سطح آزاد را به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$\bar{\varsigma} = \frac{\varsigma}{h}$$

معادله برنولی:

$$\frac{P}{\rho} + gz + \tfrac{1}{2}q^2 = const \qquad (5).$$

بر روی سطح آزاد می توان نوشت:

$$g\varsigma + \frac{1}{2}(qU)^2 = \frac{1}{2}U^2 \qquad (6)$$

با توجه به اینکه عدد فرود هیدرولیکی بر مبنای عمق بصورت $F_{nh} = \frac{U}{\sqrt{gh}}$ می باشد پس داریم:

$$q^2 + \frac{2\bar{\varsigma}}{F_{nh}^2} = 1 \qquad (7)$$

حال می توان با حل همزمان این دو معادله مقادیر ς و q را محاسبه نمود. (به شکل۳ مراجعه شود)

بر روی بدنه می توان رابطه برنولی را به بصورت زیر نوشت:

[10]. Continium Equation
[11]. Bernoulli's Equation

$$\frac{P}{\rho}+gz+\frac{1}{2}(qU)^2=\frac{1}{2}U^2 \qquad (8)$$

که با تفاضل روابط ۸ و۹ می توان معادله زیر را برای فشار بدست آورد:

$$P=\rho g(\varsigma - z) \qquad (9)$$

که این مقدار معادل فشار هیدرواستاتیک در حالت سکون می باشد. پس می توان گفت که حجم جابجای کشتی در حالت حرکت و ساکن با هم برابر می باشند. در نتیجه با توجه به نیروهای اعمالی بر روی بدنه شناور می توان نوشت که نیرویی بایستی وجود داشته باشد تا از اسکوات کشتی جلوگیری نماید که این نیرو شامل نیروی گرانش بعلاوه نیروی ناشی از فشار اعمالی بر روی کل سطح بدنه مغروق می باشد. که نیروی گرانش بنابر اصل ارشمیدس برابر $\rho g\Delta$ بوده که Δ جابجایی شناور می باشد. پس داریم:

$$Z=-\rho g\Delta+\iint -PdS.\hat{z} \qquad (10)$$

S: المان سطح بدنه با جهت عمود بر بدنه

$\hat{z}$: بردار یکه در جهت مثبت z

فشار گیج بر روی سطح آزاد برابر صفر بوده و رابطه فوق را برای المان حجم می توان به صورت زیر نوشت.

پس برای انتگرال روی سطح بسته با به کارگیری قضیه دیورژانس می توان نوشت:

$$Z=-\rho g\Delta+\iiint -PdS.\hat{z}dXdYdZ \qquad (11)$$

انتگرال حجمی را برای آن قسمت از بدنه که بر روی سطح آزاد قرار گرفته انجام می دهیم.

با جایگزاری در معادله (9) در انتگرال حجمی داریم:

$$Z=-\rho g\Delta+\iiint \rho g dV \qquad (12)$$

$= \rho g$ (حجم جابجایی در حال حرکت- Δ)

این نیرو به سمت پایین بوده و حجم جابجایی در حال حرکت کمتر از جابجایی شناور در حالت ساکن است. با توجه به این که فرض کردیم تغییرات سطح آبخور در نزدیکی خط آبخور ناچیز می باشد می توان نوشت که بالا و یا پایین رفتن سطح آزاد برابر با $B(x)\varsigma(x)$ می باشد. حجمی که این المان در بر می گیرد سبب اختلاف در جابجایی شناور می گردد در نتیجه معادله (12) را می توان بصورت زیر نوشت:

$$Z=\rho g\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)\varsigma(x)dx \qquad (13)$$

البته بایستی توجه داشته باشیم که در اثر تغییرات فشار در طول شناور، شناور حول محور y مقداری تریم دارد که هرچند ناچیز می باشد ولی آنرا می توان محاسبه نمود. در روش کشتی -ثابت فرض بر آن است که در اطراف بدنه آشفتگی جریان نداریم و تغییرات جریان را ناچیز فرض می کنیم. چنانچه مقدار سینکیج کشتی در وسط را با s وکشتی به سینه تریم داشته باشد (زاویه θ) می توان مقدار سینکیج را در هر مکان بصورت زیر محاسبه نمود: (به شکل۴ مراجعه شود)

$$\sigma(x) = s + X\tan\theta$$

افزایش حجم افزوده شده ناشی از سینکیج در طول کشتی:

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)\sigma(x)dx$$

پس در کل داریم:

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)\sigma(x)dx + \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)\varsigma(x)dx$$

نیروی اعمالی بر کشتی به سمت بالا بصورت زیر بدست می اید:

$$Z = \rho g \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)[\varsigma(x) + \sigma(x)]dx \qquad (14)$$

میزان گشتاور به واسطه تغییر در ارتفاع سطح آزاد و سینکیج بصورت زیر است:

$$M = -\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} X dz = -\rho g \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} XB(x)[\varsigma(x) + \sigma(x)]dx \qquad (15)$$

در حالت تعادل بایستی:

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)[\varsigma(x) + \sigma(x)]dx = 0$$

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} XB(x)[\varsigma(x) + \sigma(x)]dx = 0 \qquad (16)$$

با جایگزاری $\sigma(x) = s + X\tan\theta$ در روابط فوق می توان s,θ بصورت زیر بدست آورد: (به شکل۹ و۱۰ مراجعه شود)

$$s=\frac{I_w\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}B(x)\varsigma(x)dx-M_w\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}XB(x)\varsigma(x)dx}{M_w^2-A_wI_w}$$
$$\tan\theta=\frac{A_w\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}XB(x)\varsigma(x)dx-M_w\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}XB(x)\varsigma(x)dx}{M_w^2-A_wI_w}\qquad(17)$$

که پارامترهای A_w,M_w,I_w بصورت زیر تعریف می شود:

$$A_w=\int_{-L/2}^{L/2}B(x)dx\ ,M_w=\int_{-L/2}^{L/2}X.B(x)dx\ ,I_w=\int_{-L/2}^{L/2}X^2.B(x)dx$$

اگـر بـه جـای بردار سرعت q از یک ترم پراکندگی سرعت u در جهت محور X استفاده نماییم بنابراین می توان سرعت سیال را در کنار بدنه در چاچوب مرجع برابر $U+u$ تعریف نمود:

$$qU=U+u$$

که باجایگزاری در معادله (4) می توان با صرفنظر از مرتبه های دوم (بنابر قاعده خطی سازی و اینکه مقادیری کوچک می باشند) داریم:

$$\frac{u}{U}-\frac{S}{S_0}+\bar{\varsigma}=0\qquad(18)$$

این عمل خطی سازی فقط برای حالتی است که دیواره بدنه در نزدیکی خط آبخور عمودی می باشد.

معادله برنولی نیز بصورت زیر است:

$$\frac{u}{U}+\frac{\bar{\varsigma}}{F_{nh}^2}=0\qquad(19)$$

که با حل همزمان می توان مقادیر u و ς را بصورت زیر تعیین نمود:

$$u=\frac{US}{S_0\left(1-F_{nh}^2\right)}$$
$$\bar{\varsigma}=\frac{-F_{nh}^2S}{S_0\left(1-F_{nh}^2\right)}\qquad(20)$$

برای یک کشتی سینه و پاشنه متقارن می توان معادله (17) را به شدت ساده نمود که داریم:

$$M_w=0,\theta=0$$

$$s=-\frac{\int_{-L/2}^{L/2}B(x)\varsigma(x)dx}{A_w}$$
$$\tan\theta=-\frac{\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}}XB(x)\varsigma(x)}{I_w}$$

با جایگزاری در (20) داریم:

$$s=\frac{1}{1-F_{nh}^2}\frac{U^2}{gS_0A_w}\int_{-L/2}^{L/2}B(x)\varsigma(x)dx$$

۲،۳. کشتی آزاد به اسکوات:

هنگامیکه کشتی به طرف پایین اسکوات می کند مساحت مقطع بدنه زیاد می گردد. چنانچه کشتی با عرض $B(X)$به میزان $\sigma(x)$ به طرف پایین حرکت نماید مقدار سطح بدنه به مقدار $\sigma(x)B(x)$ افزایش می یابد. بنابر این معادله (3) برای آب عبوری از اطراف کشتی بصورت زیر می گردد:

$$A(X)=S_0-(S+\sigma B)+(w-B)\varsigma \qquad (21)$$

با استفاده از معادله (2) معادله پیوستگی به صورت زیر می گردد:

$$q\left[1-\frac{S}{S_0}-\overline{\sigma}\frac{B}{w}+\left(1-\frac{B}{w}\right)\overline{\varsigma}\right]=1 \qquad (22)$$

اگر $\overline{\sigma}(x)$ معلوم باشد معادله پیوستگی (22) و معادله برنولی (7) تشکیل دو معادله بصورت همزمان داده که می توان برای $\overline{\varsigma},\overline{q}$ در هر x حل نمود.

حال اگر $\overline{q}$ را حذف نماییم معادله درجه سوم زیر بر حسب $\overline{\varsigma}$ را خواهیم داشت:

$$\frac{2}{F_{nh}^2}\left(1-\frac{B}{w}\right)^2\overline{\varsigma}^3+\left[\frac{4}{F_{nh}^2}\left(1-\frac{S}{S_0}-\overline{\sigma}\frac{B}{w}\right)\left(1-\frac{B}{w}\right)-\left(1-\frac{B}{w}\right)^2\right]\overline{\varsigma}^2+$$
$$\left[\frac{2}{F_{nh}^2}\left(1-\frac{S}{S_0}-\overline{\sigma}\frac{B}{w}\right)^2-2\left(1-\frac{S}{S_0}-\overline{\sigma}\frac{B}{w}\right)\left(1-\frac{B}{w}\right)\right]\overline{\varsigma}-\left(1-\frac{S}{S_0}-\overline{\sigma}\frac{B}{w}\right)^2+1=0 \qquad (23)$$

که میتوان مطابق روش قبل معادله را حل نمود و نمودارهای مشابه را بدست آورد.(مراجعه شود به شکل۳)

چنانچه $\overline{\sigma}(x)$ معلوم باشد، میتوان پروفیل صحیح $\overline{\varsigma}$ را با استفاده از روش تکرار نیوتن با حل معادله (23) برای هر مقدار x تعیین نمائیم. اما چنانچه $\overline{\sigma}(x)$ نا معلوم باشد دو معادله ای که دو پارامتر θ,s را تعیین می کنند معادلات گشتاور تریم و نیروی عمود (16) می باشد.

با تقسیم این معادلات بر h می توان آنها در ترمهای بی بعد $\overline{\sigma}(x)$و $\overline{\varsigma}$ بصورت زیر نوشت:

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)[\varsigma(x)+\sigma(x)]dx = 0$$

$$\int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} XB(x)[\varsigma(x)+\sigma(x)]dx = 0 \qquad (24)$$

با استفاده از $\sigma(x) = s + X\tan\theta$، معادلات (23) و (24) تشکیل سه معادله می دهند که می توان از آنها مقادیرنامعلوم θ, sو $\bar{\varsigma}(x)$ را با استفاده از روش تکرار بدست آورد. .(مراجعه شود به شکل۳)

۳. نمونه محاسبات انجام شده:

کشتیها می توانند در کانالهایی با مقاطع مختلف عبور نمایند که در اینجا برای یک کشتی سری۶۰، مقدار اسکوات را در یک کانال خاص (مقطع مستطیلی) محاسبه می کنیم. بنابر تئوری کشتی لاغر فرض گردیده h, w در مقایسه با طول کشتی کوچک می باشند. مطابق شکل زیر h را به عنوان عمق متوسط کانال، w عرض کانال در خط آبخور در نظر می گیریم: $S_0 = wh$

مشخصات مدل سری ۶۰ و مدل کانال با مقیاس ۱/۴۰:

$$L = 1.5 \ \text{m} \quad , \ \text{B} = 20 \ \text{cm} \quad , \text{T} = 7\,\text{cm} \quad , \text{C}_\text{B} = 0.6 \ [\text{-}]$$
$$h = 10 \ \text{cm}\,, \quad \text{w} = 90 \ \text{cm}$$

h : ارتفاع کانال (تا خط آب غیرمغشوش) و w : عرض متوسط کانال. (به شکل۱ مراجعه شود)

چنانچه کشتی با سرعت ۱۸ گره در کانال حرکت نماید می توان با استفاده از شکلهای ۵،۶و۷ مقدار اسکوات را بدست آورد. که این عمل برای سرعتهای مختلف انجام و با روابط ارائه شده توسط Ankodinov [4] مقایسه گردیده است. (به شکل۸ و۹ مراجعه شود)

حال مقدار اسکوات را می توان با استفاده از شکلهای ۵ ،۶و۷ بدست آورده و با کارهای انجام شده مقایسه نمود:

مقادیر $A_{Midship} = 27.7 \ [\text{m}^2]$، $wh = 182.25 \ [\text{m}^2]$ و $s = \frac{A_{midship}}{wh} = 0.152$ را بدست آورده و با توجه به شکل ۵ مقدار عدد فرود و سرعت حدیSchijf را بدست می آوریم: [۱]

$$F_{nhs} = 0.52 \Rightarrow \text{V}_\text{L} = 23.2 \ [Knot]$$

حال با داشتن $\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{V_L}} = 0.776$, $\frac{h}{T} = 1.32$ و از نمودار ۶ مقدار $z_{\max} = 0.27\ [\mathrm{m}]$ را برای $\frac{w}{B} = 6$ بدست می آوریم که برای دیگر مقادیر $\frac{w}{B}$ از نمودار ۶ استفاده و نهایتاً مقدار اسکوات شناور را در هر سرعتی می توان بدست آورد.

$$Z = z_{\max} + \Delta z = 0.2526 \quad [\mathrm{m}]$$

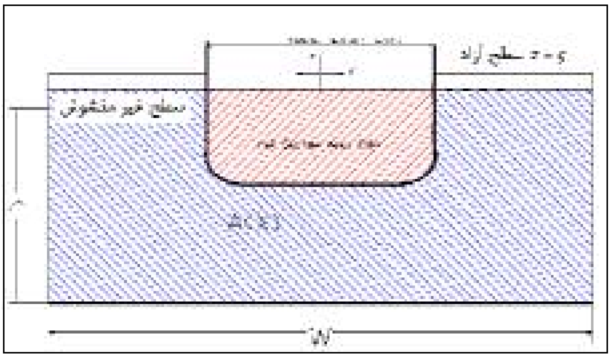
شکلهای ۳، ۸ و ۹ نشاندهنده مقادیر اسکوات به سه روش فوق می باشد.

۴. جمعبندی و نتیجه گیری:

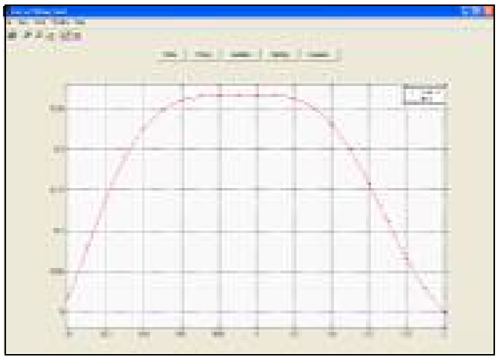
مسأله اسکوات برای شناورها در مقطع ورودی بنادر و آبراهه ها بسیار حائز اهمیت می باشد و چنانچه به آن توجه نشود موجب خسارت و به گل زدن شناور می گردد. در بررسی پدیده اسکوات به کمک تئوری هیدرولیک بایستی عرض و عمق کانال را نسبت به طول کشتی کوچک فرض کرده تا استفاده از آن معتبر باشد. در عمل، اغلب، عدد فرود عمقی، F_{nh}، کوچک بوده بطوریکه $\frac{1}{1-F_{nh}^2}$ نزدیک به یک می باشد و اسکوات کشتی با مربع سرعت متناسب می باشد، اما در سرعتهای بالاتر، هنگامیکه F_{nh} به ۱ نزدیک می شود نقطه تکینی وجود دشته (حالت تشدید)که در اعداد فرود بزرگتر از ۱ مقدار اسکوات منفی می گردد و این بدان معناست که کشتی بجای اینکه در آب فرو رود، بالا می آید. این در اثر حل خطی مسأله بوده که معتبر نمی باشد و در این محدوده بایستی ترمهای غیر خطی را در حل مسأله در نظر گرفت.

برای یک شناور اسکوات با سطح مقطع ماکزیمم متناسب بوده و کشیده شدن کشتی در طول هیچ تأثیری بر روی اسکوات ندارد. یعنی چنانچه با ثابت نگه داشتن U و S_0 ابعاد کشتی را دو برابر کنیم $S_{\max}$ چهار برابر شده، بنابراین اسکوات شناور چهار برابر می شود.

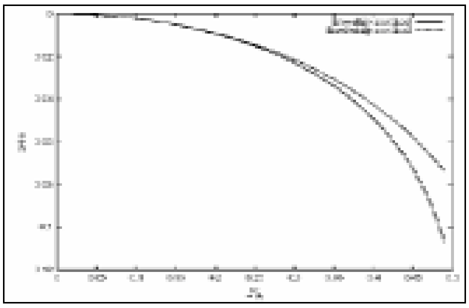
در جریان فوق بحرانی استفاده از تئوری هیدرولیک مشکل بوده و از آن در جریانهای زیر بحرانی استفاده میگردد.



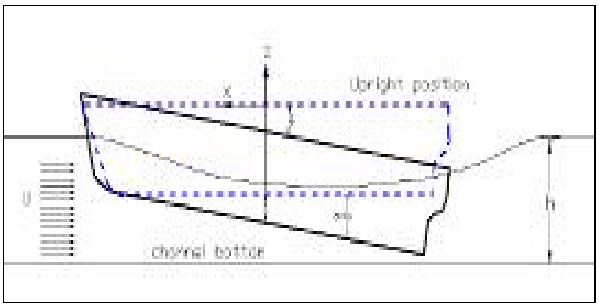
شکل ۱: مقطع عرضی سری ۶۰ در کانال مستطیلی



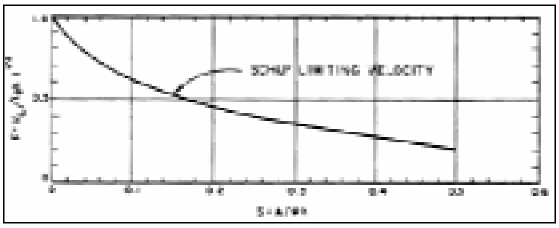
شکل۲: برازش عرضهای شناور در خط آبخور با منحنی متناسب



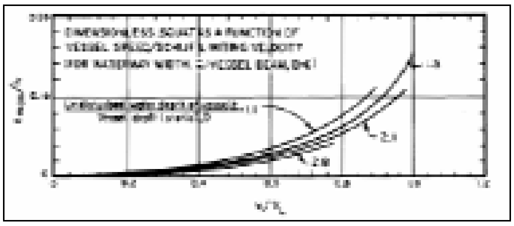
شکل۳: اسکوات کشتی نسبت به عدد فرود در روش کشتی –ثابت و آزاد به اسکوات[۵]



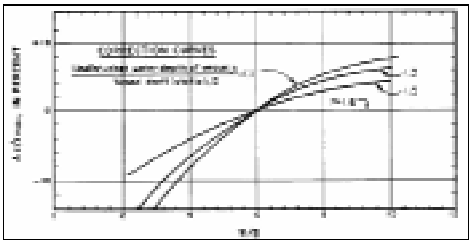
شکل۴: اسکوات کشتی به روش کشتی –ثابت



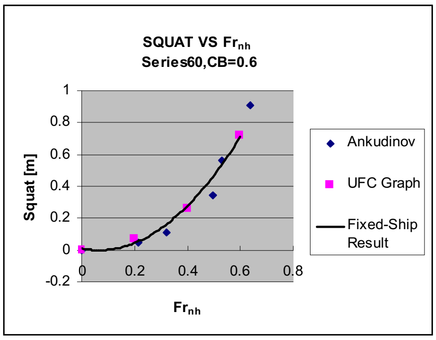
شکل۵: منحنی سرعت حدی Schijf (Wicker 1965)



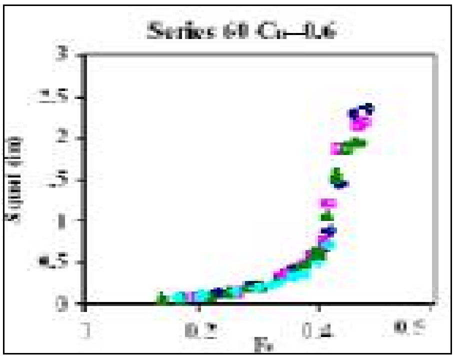
شکل۶ :منحنی محاسبه اسکوات برای $\frac{w}{B}=6$ (Wickey 1965)



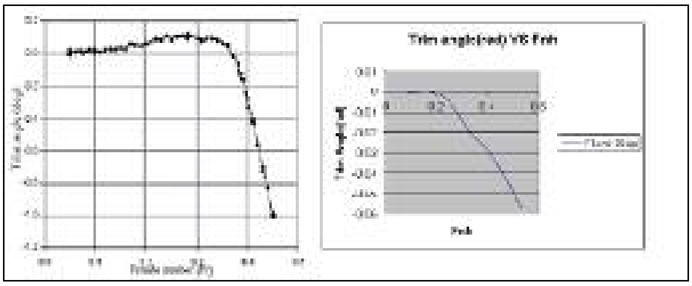
شکل۷: منحنی محاسبه اختلاف اسکوات دردیگر $\frac{w}{B}$ ها (**Wicker 1965**)



شکل۹: اسکوات سری ۶۰



شکل۸: اسکوات سری ۶۰ [6]



شکل۱۰. زاویه تریم نسبت به عدد فرود عمقی [1]

۵. منابع و مراجع:

[1] Report 'MILITARY HARBORS AND COASTAL FACILITIES ' website, www.vulcanhammer.org, 12 December 2001
[2] Novak, Cabelka'Models in Hydraulic Engineering Physical and Design Application', 1981
[3] JJ. Sharp,'Hydraulic Mdeling', 1981
[4] V. Ankudinov, K. Jakobsen, J. Christopher Hewlett,' PROTOTYPE MEASUREMENT OF SHIP SINKAGE IN CONFINED WATER',1979
[5] S.Dunker, A.Gollenstede, A.Härting,' Analysis and Comparison of SHIPS Derived Squat', 2002
[6] K.Eloot, M.Vantorre,' Development of a tabular maneuvering model for hull forces applied to full and slender ships in shallow water'