Archive of SID

تحلیل و عملکرد پروانه اسکیودار و تعیین قدرت رانش زیردریایی با روش المان مرزی

حسن قاسمی [i*]؛ مصباح سایبانی [ii]

چکیده

یکی از المانهای مهم برای راندن شناورها استفاده از سیستم پیش برنده پروانه ای است. در این مقاله تحلیل و عملکرد پروانه اسکیودار و تعیین قدرت رانش برای زیردریایی با استفاده از روش عددی المان مرزی ارائه شده است. این روش برای محاسبه و تحلیل هیدرودینامیکی هیدروفویل و پروانه شناورها از کارآیی مناسبی برخوردار است. در این کار تحقیقاتی، پروانه اسکیو دار پنج پره ای برای زیردریایی با جابجائی ۱۲۰ تن و سرعت ۸ گره دریائی براساس فاکتورهای لازم انتخاب و تحلیل شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که پروانه انتخاب شده دارای راندمان ۰/۶۵ و ۰/۶۸ بترتیب در دو شرایط سطحی و عمقی است که راندمان بالائی محسوب می‌گردد.

کلمات کلیدی: روش المان مرزی، پروانه زیردریایی، عملکرد هیدرودینامیکی، قدرت رانش

Analysis of Highly Skewed Propeller and Power Peridiction for the Submarine by Boundary Element Method

Hassan Ghassemi؛ Mesbah Sayebani

ABSTRACT

Propeller is one of the important marine propulsors for generating thrust to overcome the ship resistance. This paper presents the anlaysis of the skew propeller and propulsion for a submarine by using the Boundary Element Method (BEM). This method is useful for analysis and design of lifting bodies like hydrofoils and propellers. A five-bladed Highly Skewed Propeller (HSP) has been chosend for a submarine of 120 [Tones] with forward constant speed 8 [knots] and the calculated results of the hydrodynamic performance have presented. The efficiency values have been obtained 0.65 and 0.68 at two surfaces and submerged conditions, respectively.

Key words: Boundary Element Method, Submarine propeller, Hydrodynamic performance, Propulsion

۱- مقدمه

متـــداولترین سیـستم جلـو برنـده دریـایی، سیـستم شـفت و پـروانـــه است که با تولید نیروی تراست[۲] برای غلبه بر مقاومت (درگ) سبب راندن شناور می‌گردد. این نـوع سیـستم در پاشـنه شناور و در پشت هیدروپلن در زیردریاییها کار می‌کند یعنی در محلی که جریان در آن بصورت ویک[۱] غیریکنواخت می‌باشد. این نوع هیدروپلن ها (دو هیـدروپلن افقـی و دو هیـدروپلن عمـودی) بصورت علامت باضافه ⊕ در پاشنه بدنـه و در جلـوی پروانـه نصب می‌شوند. جریان ویک ورودی به پروانه تحت تاثیر این

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۸۷/۱۱/۲۱
تاریخ اصلاحات مقاله:۱۳۸۸/۱۰/۸

[i*] نویسنده مسئول و دانشیار ، دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email: gasemi@aut.ac.ir
[ii] استادیار ، دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email: mesbah2000@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

هیدروپلن ها می‌باشد. لذا تعامل پروانه با هیدروپلن یک موضوع مهم و در طراحی پروانه بسیار موثر و حائز اهمیت است. یکی از این تاثیرات، تعیین تعداد پره های پروانه است که باید به آن توجه شود. نکته قابل توجه دیگری، میدان جریان ویک پاشنه شناور است که بستگی زیادی بـــه شکـل بدنه دارد. بنـــابراین هـــر شناور دارای جـــریان ویک خاص خود می‌باشد. برای طراحان و متخصصـــان هیدرودینامیک، پیش بینی و محاسبات عملکرد پروانه های دریایی که در یک میدان جریان غیر یکنواخت کار می‌کنند بسیار مهم است. معیار های لازم در انتخاب پروانه بیشترین تولید تراست مورد نیاز، کمترین گشتاور، بهترین راندمان، واقع نشدن و یا کمترین احتمال وقوع کاویتاسیون[۳] می‌باشند[۱] [۲].

روش المان مرزی یک ابزار مناسب و قوی برای تحلیل هیدرودینامیکی پروانه شناورها است و تاکنون محققان زیادی با استفاده از این روش نتایج قابل قبولی بدست آورده اند [٤][۳]. در این روش بر خلاف دیگر روشهای محاسباتی (اجزا محدود و یا حجم محدود)، تولید المان فقط در مرز جسم انجام می‌شود که منجر به کاهش زمان و هزینه محاسباتی می‌گردد. کاربردهای این روش علاوه بر هیدرودینامیک و مکانیک سیالات در دیگر زمینه های مهندسی از جمله مکانیک سازه ها ، دینامیک و ارتعاشات می‌باشد[٥] [٦]. در سالهای اخیر، این روش بعنوان یکی از ابزارهای محاسباتی در هیدرودینامیک شناورها کاربرد زیادی داشته است و می‌تواند تا جریان در اطراف هر شکل دلخواه را تحلیل نماید. این روش برای تحلیل عملکرد هیدرودینامیکی و همچنین طراحی اجسام بالابر[٤] مانند هیدروفویلها[٥]، سکان کشتی، هیدروپلن در زیردریاییها، باله هواپیماها، و مهمتر از همه پروانه های دریایی و هوایی یا ملخها بسیار ابزار مناسب و قابل قبولی بشمار می‌رود. در اینگونه اجسام شرط مرزی کاتا[٦] بسیار مهم است این شرط مرزی بیان می کند که فشار سطوح بالا و پایین در لبه انتهایی پره با هم برابرند.

با استفاده از تئوری گرین، پتانسیل سرعت در هر نقطه می‌تواند به صورت معادله انتگرالی در کل مرز بیان شود و سپس برای هر نقطه میدان پتانسیل را تعیین نمود. با استفاده از این روش می‌توان سطح پروانه و سطح ویک ورتکس دنباله ای[۷] (این ویک برای پروانه به شکل مارپیچی است) را به المانهای چهاروجهی تبدیل نمود و با در نظر گرفتن چشمه و دوقطبی در هر المان و حل سیستم معادلات مقدار پتانسیل و سپس نیروهای تراست و گشتاور محاسبه می‌شوند [۷] [۸].

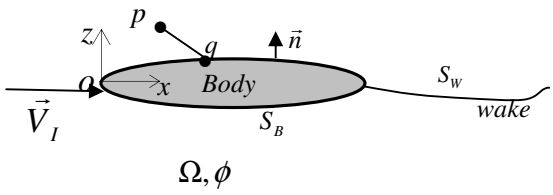
در این مقاله با استفاده از روش المان مرزی، تحلیل هیدرودینامیکی پروانه یک زیردریایی با ظرفیت جابجائی ۱۲۰ تنانجام گردید. این محاسبات شامل بررسی توزیع فشار و عملکرد هیدرودینامیکی پروانه می‌باشد. از آنجا که فاکتورهای زیادی در انتخاب پروانه وجود دارد، اثرات این فاکتورها در تعیین ابعاد پروانه در نظر گرفته شده و با بهره گیری از مقالات، یک نوع پروانه انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفته است [۱۰] [۱۲].

۲- تئوری مسئله و معادلات ریاضی

دامنه Ω با مرز S و بردار یکه $\vec{n}$ که عمود بر مرز سطح است، مطابق شکل (۱) در نظر گرفته می‌شود. مرز S شامل سطح جسم S_B ، و سطح ویک دنباله ای S_W می‌باشد. فرضیات مسئله برای سیال در دامنه Ω جریان غیر قابل تراکم، غیر ویسکوز و غیر چرخشی است و جسم در برابر سرعت جریان ورودی یکنواخت $\vec{V}_I$قرار دارد. با این فرضیات، میدان جریان حول جسم با سرعت پتانسیل کل Φ و القایی ϕ مشخص می‌شود که معادله لاپلاس را برآورده می‌کند:

$$\nabla^2\Phi = 0 \qquad (۱)$$

که در آن $\Phi = \phi + \vec{V}_I.\vec{X}$است. $\vec{X}$ بردار موقعیت هـر نقطـه در دامنه روی سطح پروانه است.



شکل (۱) : کاربرد تئوری گرین برای جسم بالابر (مثل فویل یا پروانه)

۲-۱- شرایط مرزی

مسأله مقدار مرزی با مشخص کردن سه دسته از شرایط مرزی روی مرز S ساخته می‌شود که عبارتند از [۹] :

(i) شرط سینماتیکی روی سطح جسم :

این شرط بیان می‌نماید که سرعت جریان عمود بر سطح جسم S_B باید صفر باشد.

$$\frac{\partial\Phi}{\partial n} = 0 \Rightarrow \frac{\partial\phi}{\partial n} = -\vec{V}_I.\vec{n} \qquad (۲)$$

که $\vec{n}$ بردار واحد عمود بـه سـمت خـارج مـرز اسـت. سـرعت جریان ورودی به پروانه بصورت رابطه ۳ بیان می‌شود:

$$\vec{V}_I(X,Y,Z) = \vec{V}_W(X,Y,Z) + \vec{\omega}\times\vec{r}(X,Y,Z) \qquad (۳)$$

که در آن :

$$\vec{V}_W(X,Y,X) = V_S\left(1 - \vec{w}(X,Y,X)\right) \qquad (٤)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن V_S و $\vec{w}(X,Y,X)$ بترتیب سرعت شناور و فاکتور ویک شناور است [۹].

(ii) شرایط سینماتیکی و دینامیکی روی سطح ویک دنباله‌ای:

این شرط بیان می‌کند که هیچ اختلاف سرعت جریان القایی روی سطح ورتکس دنباله ای وجود ندارد اما اختلاف سرعت پتانسیل در این سطح وجود دارد و برابر سیرکیولاسیونΓ در اطراف پره است. روابط ریاضی این دو (سرعت جریان و سرعت پتانسیل) بصورت روابط ۵ و ٦ بیان می‌شود:

$$(\Delta\phi)_{onS_W} = \phi^B - \phi^F = \Gamma \qquad (۵)$$

$$(\Delta\frac{\partial\phi}{\partial n}) = (\frac{\partial\phi}{\partial n})^B - (\frac{\partial\phi}{\partial n})^F = 0 \qquad (٦)$$

که B و F بترتیب سطوح عقب و جلو[۹] پروانه را نشان می‌دهند .

(iii) شرط کاتا در لبه انتهایی پره[۱۰]

شرط کاتا، یکی از مهمترین شرط ها برای اجسام جلو بر و یا بالا بر است. در معمول ترین شکل، این شرط بیان می‌کند که سرعت سیال در لبه انتهایی محدود می‌ماند یعنی:

$$\left|\nabla\phi\right|_{T.E.} < \infty \qquad (۷)$$

۲-۲- روش المان مرزی

با استفاده از تئوری گرین، جواب عمومی معادله لاپلاس بر اساس تابع گرین برای هر نقطه مانند p در دامنه Ω می‌تواند به صورت معادله انتگرالی رابطه ۸ بیان گردد [۱۰]:

$$2\pi\phi(P) = \iint_{S_B}\phi(q)\frac{\partial}{\partial n_q}\left(\frac{1}{R(p,q)}\right)ds - \iint_{S_B}\frac{\partial\phi}{\partial n}\left(\frac{1}{R(p,q)}\right)ds + \iint_{S_W}\Delta\phi(q)\frac{\partial}{\partial n_a}\left(\frac{1}{R(p,q)}\right)ds \qquad (۸)$$

مقدار $\frac{\partial\phi}{\partial n}$ در معادله یاد شده با استفاده از شرط مرزی معادله (۲) تعیین می‌شود. مقدار $R(p;q)$ فاصله بین نقاط p و q است. لذا معادله (۸) یک معادله بر حسب تنها مجهول سرعت پتانسیل ϕ است که می‌تواند محاسبه گردد.

۲-۳- گسسته سازی معادله و حل سیستم معادلات

روشن است که برای حل عددی معادله (۸) باید فرم معادله را بصورت گسسته تبدیل شود. بعبارتی سطح مرزی جسم را به المانهای چهاروجهی تبدیل نموده و برای هر المان i - ام می-توان رابطه شماره ۹ را برای مجهول ϕ نوشت:

$$2\pi\phi_i = \sum_{j=1}^{N_{tot}} D_{ij}(\phi_i) + \sum_{j=1}^{N_{tot}}\sum_{l=1}^{N_W} W_{ijl}(\Delta\phi)_i + \sum_{j=1}^{N_{tot}} S_{ij}\left(\frac{\partial\phi}{\partial n}\right)_j, \quad i = 1,2,...,N_{tot} \qquad (۹)$$

در اینجا S_{ij} و W_{ij}, D_{ij} ضرایب موثر پتانسیل برای المان j-ام هستند که روی نقطه کنترل المان i-ام عمل می‌کنند. این ضرایب بصورت رابطه ۱۰ بیان می‌شود.

$$D_{ij} = \sum_{K=1}^{k}\left[\iint_{S_B}\frac{\partial}{\partial n_j}(\frac{1}{R_{ijk}})dS_j\right]$$

$$W_{ijl} = \sum_{K=1}^{k}\left[\iint_{S_W}\frac{\partial}{\partial n_j}(\frac{1}{R_{ijk}})dS_j\right] \qquad (۱۰)$$

$$S_{ij} = \sum_{K=1}^{k}\left[\iint_{S_B}\frac{1}{R_{ijk}}dS_j\right]$$

برای بدست آوردن ضرایب یاد شده که در واقع محاسبه انتگرالها است می‌توان از روش های حل عددی انتگرالها استفاده کرد. پیچیدگی حل این انتگرالها هنگامی ظاهر می‌شود که فاصله بین المان i و المان j کوچک و یا بر هم منطبق گردد. در اینصورت این انتگرالها به انتگرالهای نامعین تبدیل می‌شوند که برای حل آنها باید از روشهای خاص استفاده نمود [۱۳] . با محاسبه این ضرایب و تشکیل فرم ماتریس سیستم معادلات مقدار ϕ بدست می‌آید .در اینجا، روش گوس- سایدل برای حل دستگاه معادلات استفاده می‌شود تا مقادیر پتانسیل مجهول ϕ به دست آید[۱۱] .

۲-٤- تراست، گشتاور و ضرایب هیدرودینامیکی

نیروهای تراست و گشتاور با استفاده از نیروهای فشاری و برشی وارده بر سطح محاسبه می‌شوند. مولفه فشاری از روش المان مرزی یعنی با مشتق گیری از رابطه پتانسیل (معادله ۸) بدست می‌آید. اما مولفه نیروی اصطکاکی از روش تجربی ITTC[11] محاسبه می‌شود [۳]. بعد از مشتق گیری پتانسیل و استفاده از معادله برنولی، فشار وارده بر سطح پره بصورت رابطه ۱۱ بیان می‌شود:

$$p = 0.5\rho\left(2\nabla\phi_{in}.\nabla\phi - \nabla\phi.\nabla\phi\right) \qquad (۱۱)$$

ضریب بی بعد فشار نیز بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_P = \frac{p - p_0}{0.5\rho V_I^2} \qquad (۱۲)$$

که در آن ρ دانسیته آب دریا و p_0 فشار هیدرواستاتیکی است.

نیروی تراست و گشتاور کل از روابط شماره ۱۳ بدست می‌آیند:

$$T = \int_S pn_x\,ds + T_F, \qquad (۱۳)$$

$$Q = \int_S p(n_y z - n_z y)ds + Q_F,$$

که در آن T_F و Q_F بترتیب تراست و گشتاور ناشی از ویسکوزیته سیال آب می‌باشند. ضرایب هیدرودینامیکی پروانه

www.SID.ir

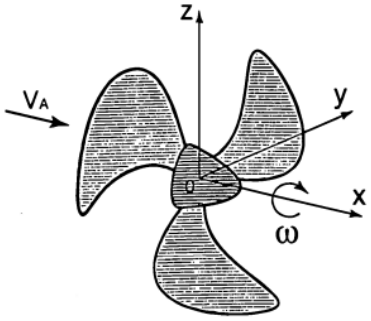
Archive of SID

(K_t, K_q, η) بصورت رابطه ١٤ تعریف می‌شوند:

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4},\ K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5},\ \eta_o = \frac{J}{2\pi}\frac{K_T}{K_Q},\ J = \frac{V_A}{nD} \qquad (١٤)$$

٣- روابط هندسی پروانه

پروانه در جهت خلاف عقربه ساعت با سرعت زاویه ای ثابت $\omega(=2\pi n)$ در جریان غیر ویسکوز، غیرقابل تراکم و غیرچرخشی با سرعت محوری یکنواخت V_A بالادست در نظر گرفته می‌شود. سیستم مختصات کارتزین $O\text{-}xyz$ با مبدأ O در مرکز پره ثابت می‌باشد، محور x منطبق بر محور پروانه در نظر گرفته می‌شود. محور z در جهت بالا مثبت و محور y سیستم مختصات دست راست O-xyz را کامل می‌کند که در شکل (٢) نشان داده شده است .



شکل (٢) : سیستم مختصات پروانه

سپس مختصات نقطه روی سطح پره k–ام در طرف عقب و جلو به صورت رابطه ١٥ بیان می‌شود:

$$x_{B,F} = r\tan\gamma + \big(S(r)+L(r)\big)\sin\beta_r - Y_{B,F}\cos\beta_r \qquad (١٥)$$
$$y_{B,F} = r\cos(\eta_{B,F} + \theta_k)$$
$$z_{B,F} = r\sin(\eta_{B,F} + \theta_k)$$

که در آن:

$$\eta_{B,F} = \big|\big(S(r)+L(r)\big)\cos\beta_r + Y_{B,F}\sin\beta_r\big|/r \qquad (١٦)$$
$$\theta_k = 2\pi(k-1)/Z \qquad k = 1,2,\ldots,Z$$
$$\beta_r = \tan^{-1}\left(\frac{P_G}{2\pi r}\right)$$

٣-١- شبکه بندی پروانه

در ابتدا شبکه بندی پره پروانه در نظر گرفته می شود. تقسیم بندی شبکه ها در راستای شعاعی و در راستای طول کورد برای پره انتخاب می‌شود.

تقسیم بندی شبکه ها در راستای شعاعی :

$$r_m = \frac{1}{2}(R + r_h) - \frac{1}{2}(R - r_h)\cos\pi\alpha_m \qquad (١٧)$$

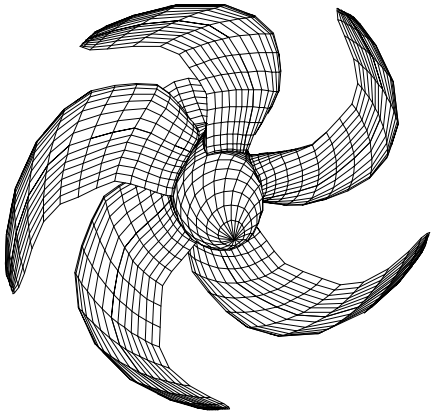
که در آن:

$$\alpha_m = \begin{cases} 0 & for \quad m=1 \\ \dfrac{(2m-1)}{2(N_R+1)} & for \quad m=2,3,\ldots,N_R+1 \end{cases} \qquad (١٨)$$

تقسیم بندی شبکه ها در راستای کورد:

$$r_n = S(r) + \frac{C(r)}{2}\left(1-\cos\left(\frac{\pi n}{N_C}\right)\right), \quad n = 0,1,2,\ldots N_C \qquad (١٩)$$

شبکه بندی توپی پروانه دارای سه قسمت است. قسمت بالادست، قسمت نشیمنگاه پره و قسمت پایین دست. شکل (٣) شبکه بندی سه بعدی پروانه را نشان می‌دهد. تعداد المانهای کل پروانه ٥ پره‌ای حاضر ٢٥٢٠ (تعداد ١٩٦٠ المان روی پره ها و ٥٦٠ المان روی توپی) المان از نوع چهار وجهی است.



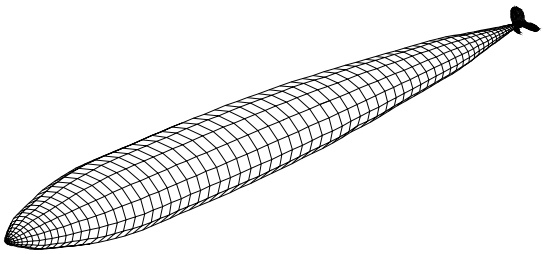
شکل (٣) : شبکه بندی پروانه ٥ پره ای اسکیودار HSP-5

٣-٢- ابعاد بدنه زیردریایی و محاسبه مقاومت

بدنه زیردریایی بطول ٢٣/٨ متر و قطر ماکزیمم ٣/٤٩٦ متر در نظر گرفته شده است. دماغه جلویی زیردریایی نزدیک به فرم بیضیگون و دماغه عقبی دوکی شکل انتخاب شده است. شکل (٤) شبکه بندی بدنه زیردریایی و پروانه را نشان می‌دهد. ابعاد اصلی آن در جدول (١) داده شده است. مقاومت زیردریایی در دو شرایط سطحی و عمقی متفاوت است. در شرایط عمقی تنها مولفه مقاومت ویسکوز (اصطکاکی و فرم) و در شرایط سطحی علاوه بر مقاومت ویسکوز، مولفه دیگری بنام مقاومت موج سازی[١٢] وجود دارد. محاسبه مقاومت شناورها کار بسیار پیچیده ای است و از حوصله این مقاله خارج است. از آنجا که در طراحی و تحلیل پروانه باید مقاومت زیردریایی مشخص باشد، در این مقاله مقاومت زیردریایی به روش تقریبی محاسبه شده است [٢]. شکل (٤) مقاومت (Rv) و قدرت موثر(Pe) زیردریایی بر حسب سرعت در شرایط غوطه وری کامل (H>>D) را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

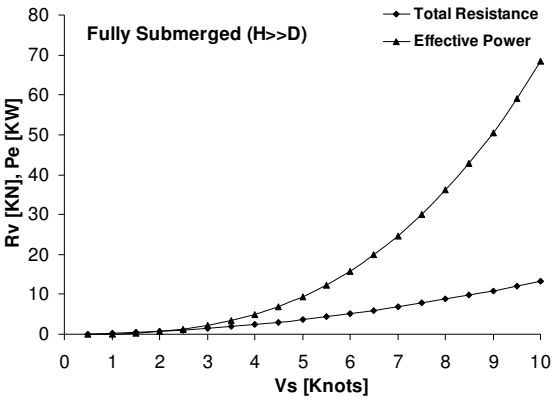
Archive of SID



شکل (۴) :شبکه بندی مجموعه پروانه و بدنه زیردریایی

جدول (۱): مشخصات اصلی بدنه و هیدروپلن ها

پارامتر	مقادیر
طول کل [m]	۲۳/۸۰۰
طول کل موثر [m]	۲۱/۵۰
قطرحداکثر [m]	۳/۴۹۶
طول کورد متوسط هیدروپلن استرن [m]	۰/۹۰
طول اسپن هیدروپلن پاشنه [m]	۰/۸۰
نوع مقطع هیدروپلن پاشنه	NACA0010
جابجائی در حالت غوطه وری کامل [Ton]	۱۲۰



شکل (۴): مقاومت (Rv) **و قدرت موثر** (Pe) **زیردریایی بر حسب سرعت در شرایط غوطه وری کامل یا عمقی** (H>>D)

جدول (۲): مشخصات اصلی پروانه HSP-5

نوع پروانه	HSP-5
قطر (مقیاس کامل) [m]	۱/۴۵۵
نسبت سطح گسترش یافته	۰/۶۵
نسبت قطر به گام	متغیر
نسبت شعاع توپی به شعاع پروانه	۰/۱۵
نسبت طول کورد حداکثر به قطر	۰/۳۲
تعداد پره ها	۵
زاویه ریک [درجه]	۴/۰
زاویه اسکیو [درجه]	متغیر
مقطع پره	HSP-SRI-B

٤- فاکتورهای انتخاب پروانه زیردریایی

از نقطه نظر هیدرودینامیکی، برای طراحی پروانه چهار معیار مهم را باید در نظر گرفت: ۱-تراست لازم برای غلبه بر مقاومت ۲- کمترین گشتاور یا کمترین قدرت دریافتی از موتور ۳- راندمان بهینه ٤- وقوع نشدن و یا کمترین احتمال وقوع کاویتاسیون. برای رسیدن به این معیارها باید ابعاد پروانه بهینه گردد. لذا، انتخاب و تعیین ابعاد اصلی پروانه بسیار مهم است. پارامترهای اصلی پروانه عبارتند از: تعداد پره ها، قطر اصلی، نسبت گام، سطح گسترش یافته (طول کورد پره)، زاویه اسکیو[۱۳] ، زاویه ریک[۱٤]، مقطع و پروفیل پره [۷]. برای طراحی بهینه پروانه، همه این پارامترها باید در فرآیند تکراری مورد محاسبه و بررسی قرار گیرد تا چهار معیار یاد شده بر آورده گردد. این مقاله خلاصه ای از طرح تحقیقاتی است که همه این فرآیندها در طراحی بهینه طی شده است و در پایان به یک پروانه اسکیودار رسیده است.

٤-۱- پروانه اسکیو دار

در سالهای گذشته، استفاده از پروانه های اسکیودار در شناورهای زیرسطحی، اژدرها[۱۵] و شناورهای نظامی بیشتر مورد استقبال قرار گرفته است و نتایج خوبی از خود نشان داده است. [۲]. اثر اسکیو همانند زاویه سوئیپ[۱٦] در هیدروفویل یا باله هواپیما است. اسکیو باعث می‌شود که جریان سیال ورودی بطور تدریجی به پره وارد شود و از ایجاد بار ناگهانی جلوگیری شود که این امر منجر به حذف کاویتاسیون و نویز، کاهش تنش خستگی و افزایش عمر پروانه و تولید تراست و گشتاور یکنواخت می‌گردد. گفتنی است برای اینکه کاویتاسیون اتفاق نیفتد باید فشار تولید شده بیشتر از فشار بخار آب اشباع گردد $(p < p_v)$. و یا بعبارتی عدد کاویتاسیون بیشتر از ضریب بی بعد فشار شود $(\sigma > |C_P|)$.

٤-۲- جریان ویک پاشنه

ویسکوز بودن سیال آب و ایجاد لایه مرزی و همچنین شکل و فرم بدنه (قطر بدنه اصلی، هیدروپلن ها[۱۷] و زاویه دم مخروطی) پارامترهایی هستند که در ایجاد ویک موثرهستند. وجود هیدروپلن باعث می‌شود که جریان ویک در پشت هیدروپلنها نوسانی باشد. بدنه زیردریایی حاضر دارای دو هیدروپلن عمودی و دو هیدروپلن افقی است که هیدروپلن افقی برای کنترل تریم و هیدروپلن عمودی برای مانوردهی و هدایت زیردریایی استفاده می‌شود. شکل (٦) کانتور جریان ویک را در جلوی پروانه در سرعت ۸ گره دریائی نشان می‌دهند. وجود هیدروپلن های افقی و عمودی باعث شده است که جریان ویک در عقب هیدروپلن بیشتر گردد و تاثیر آن روی پروانه دیده شود. یکی از این تاثیرات روی تعداد پره پروانه است که

www.SID.ir

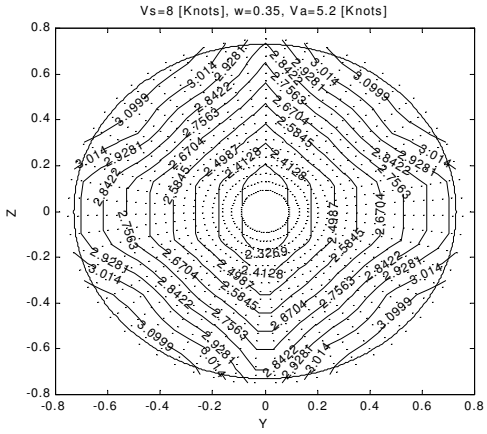
Archive of SID

نمی‌تواند ٤ پره‌ای باشد. زیرا همزمان این پره‌ها می تواند در مقابل جریان ویک نوسانات تراست و یا گشتاور را بهمراه داشته باشند.

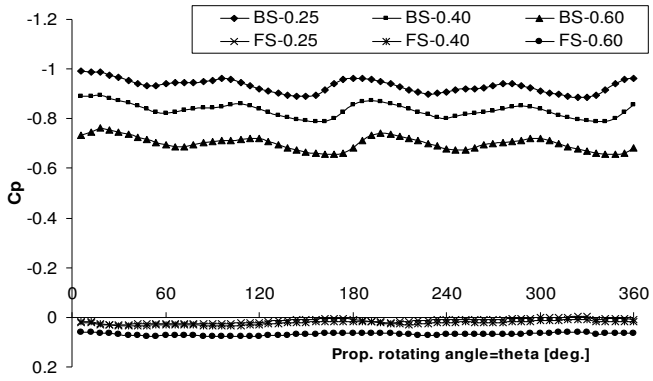
۵- بحث و بررسی نتایج

۵-۱- محاسبات عملکرد هیدرودینامیکی پروانه

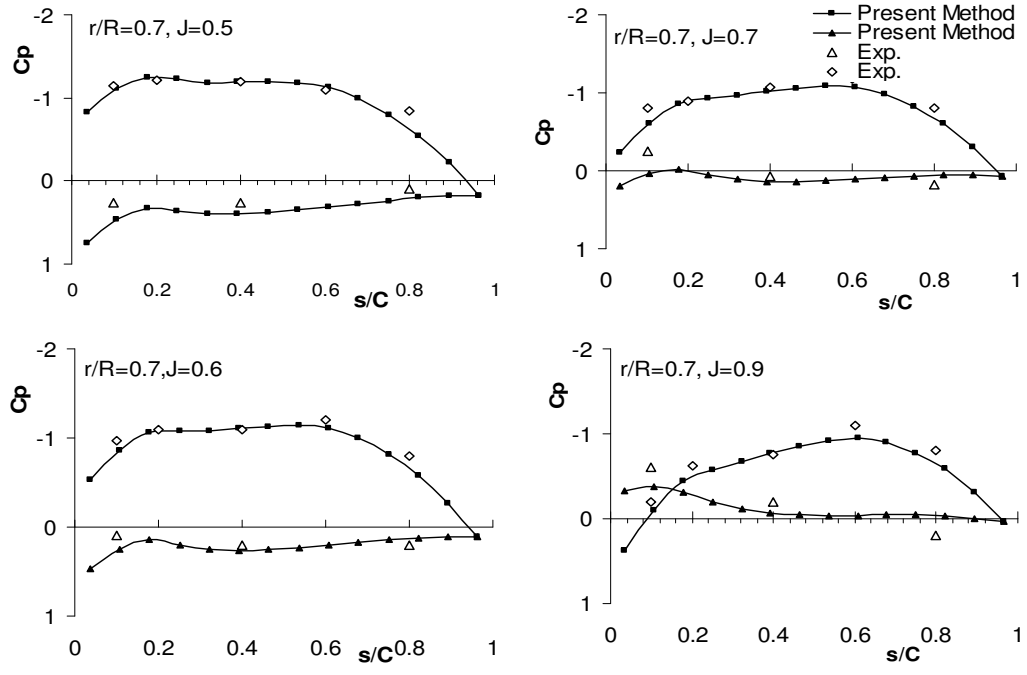
مهمترین قسمت برای درک عملکرد هیدرودینامیکی پروانه محاسبه فشار در سطوح پروانه است. با داشتن فشار، نیروی تراست و گشتاور محاسبه می‌شود. شکل (۷) توزیع فشار وارده بر سطوح پروانه HSP-5 در یک سیکل دوران در نسبت سرعت J=۰/٦ را نشان می‌دهد. نوسانات ایجاد شده در اثر جریان ویک ورودی به پروانه می‌باشد. علت این نوسانات اثر هیدروپلن‌ها بر روی جریان ویک ورودی است. وجود هیدروپلن های عمودی و افقی باعث می‌شود که فشار در یک سیکل دوران به تعداد هیدروپلن دامنه نوسانی داشته باشد. شکل (۸) مقایسه‌ای بین توزیع فشار محاسبه شده به روش حاضر را با نتایج تجربی (از آزمون مدل) در شعاعهای ۰/۷R و در نسبت سرعتهای مختلف (J) برابر ۰/۵ ، ۰/٦، ۰/۷ و ۰/۹ نشان می‌دهد. همانطوریکه در شکل (۸) دیده می‌شود نمودارهای توزیع فشار نشان می‌دهد که نتایج محاسباتی برابر خوبی با نتایج تجربی دارد [٤].



شکل (۶) : پیشگویی سرعت محوری جریان در پاشنه



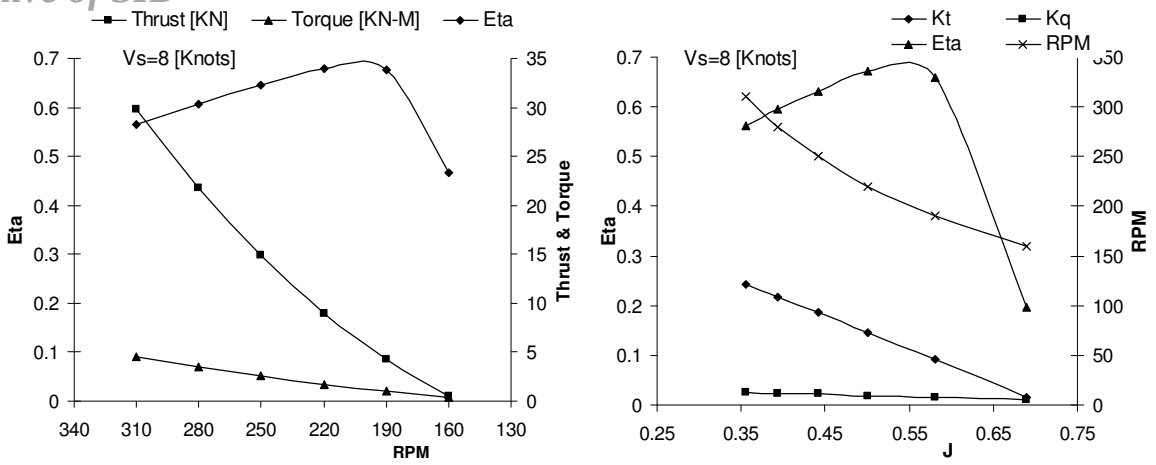
شکل (۷) : توزیع فشار وارده بر سطوح پروانه HSP-5 در یک سیکل دوران در J=0.6



شکل (۸) : مقایسه توزیع فشار بر روی پروانه HSP-5 در شرایط مختلف J=0.5, 0.6, 0.7, 0.90 و در شعاع r/R=0.70

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۹): عملکرد هیدرودینامیکی پروانه ۵ پره ای HSP در سرعت ۸ نات (شرایط عمقی)

۵-۲- روش تعیین قدرت رانش

روش محاسبه بدین صورت است که در سرعت مورد نظر شناور، سرعت پروانه را با استپ ۳۰ دور در دقیقه تغییر داده و عملکرد پروانه (تراست و گشتاور) بدست می‌آید. در یک سرعت دورانی زمان محاسبات با کامپیوتر ۲/۵ گیگاهرتز برای پروانه ۵ پره ای و با تعداد المانهای گفته شده نزدیک به ۲ ساعت طول می‌کشد . بنابراین، محاسبات عملکرد پروانه باید در همه سرعت های شناور (از ۱ الی ۱۰ گره دریایی با استپ یک گره) انجام شود. بنابراین در یک سرعت مشخص شناور (مانند سرعت ٦ گره) برای محاسبه عملکرد پروانه در ٦ سرعت دورانی، زمان محاسبات نزدیک به ۱۲ ساعت می‌باشد.

یک نمونه از محاسبات هیدرودینامیکی پروانه در سرعت ۸ گره دریایی را در شکل (۹) نشان داده شده است. حال باید دید که چگونه با داشتن عملکرد پروانه در شرایط حرکت عمقی و حرکت سطحی، سرعت و راندمان بهینه تعیین می‌شوند؟ برای پاسخ به این پرسش، ابتدا با استفاده از نیروی مقاومت و قدرت کل در شرایط سطحی (D=T) و عمقی (H>>D) و همچنین عملکرد هیدرودینامیکی پروانه می‌توان سرعت بهینه شناور را بدست آورد. در اینجا بعنوان نمونه سرعت ۸ گره دریایی را در نظر می‌گیریم که مقاومت کل آن در شرایط عمقی برابر [KN] ۸/۷۷ و در شرایط سطحی برابر [KN] ۱۰/۳۰۲۸ است. تراست مورد نیاز(T) برای راندن شناور در شرایط عمقی در سرعت ۸ گره دریایی بصورت رابطه شماره ۲۰ محاسبه می‌شود (فاکتور کاهش تراست برابر t=۰/۱۵ فرض می‌گردد.

$$T = \frac{R_T}{1-t} = \frac{8.77}{1-0.15} = 10.3178\ [KN] \qquad (۲۰)$$

حال با استفاده از محاسبات تراست و گشتاور و راندمان پروانه در سرعتهای مختلف مقادیر سرعت دورانی و راندمان پروانه طوری پیدا می‌شود تا بتواند تراست مورد نیاز شناور را جوابگو باشد. مقادیر زیر در دو شرایط عمقی و سطحی بدست آمده اند که عبارتند از:

شرایط عمقی :

$$\text{Required } Thrust = 10.3178[KN]$$
$$RPM = 227$$
$$\eta_B = 0.68$$
$$(\text{For Fully Immersed Condition } H >> D_{Hull})$$

شرایط سطحی:

$$\text{Required } Thrust = 12.120\ [KN]$$
$$RPM = 240$$
$$\eta_B = 0.65$$
$$(\text{For Surface Condition } H = D_{Hull})$$

سپس برای سرعت های دیگر محاسبات را ادامه داده و به همین ترتیب راندمان هیدرودینامیکی در پشت شناور η_B و سرعت دورانی (RPM) در هر سرعت شناور بدست می‌آید. در اینجا لازم به یادآوری است که در دو شرایط عمقی و سطحی فرض شده است که دو فاکتور ویک (w) و کاهش تراست (t) یکسان می‌باشند. این فرض منطقی است زیرا پروانه در هر دو شرایط غوطه ور بوده و جریان ویک و فاکتور کاهش تراست مستقل از ارتفاع غوطه وری می‌باشند. با داشتن مقادیر تراست مورد نیاز و راندمان هیدرودینامیکی پروانه در پشت شناور، قدرت تحویلی و قدرت موتور بدست می‌آید.

در جدول (۳) محاسبات قدرت زیردریایی در دو شرایط سطحی و عمقی و در سرعتهای ٤ و ۸ گره دریائی آمده است. گفتنی است که راندمان بدنه و راندمان کل هیدرودینامیکی پروانه از رابطه ۲۱ زیر بدست می‌آیند:

$$Hull\ \ Efficiency = \eta_H = \frac{1-t}{1-w} \qquad (۲۱)$$
$$Total\ \ Hydrodynamic\ \ Efficiency = \eta_D = \eta_B.\eta_H$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۳) : محاسبات قدرت زیردریایی در دو شرایط سطحی و عمقی و در سرعتهای ۴ و ۸ گره دریائی

تخمین قدرت رانش در سرعت ۴ گره دریایی	تخمین قدرت رانش در سرعت ۸ گره دریایی
$P_E = \begin{cases} 4.9754\,[KW] & \text{for Submerged} \\ 5.1464[KW] & \text{for Surfacing} \end{cases}$	$P_E = \begin{cases} 36.0908\,[KW] & \text{for Submerged} \\ 42.3972\,[KW] & \text{for Surfacing} \end{cases}$
Estimation of Delivered and Engine Power matched with New propeller (HSP − 5)	*Estimation of Delivered and Engine Power matched with New propeller (HSP − 5)*
$\eta_B = 0.64$ for submerged	$\eta_B = 0.68$ for submerged
$\eta_B = 0.63$ for Surfacing	$\eta_B = 0.65$ for Surfacing
Assumed :	Assumed :
$\eta_H = 1.307$ $\eta_{GB} = 0.95$	$\eta_H = 1.307$ $\eta_{GB} = 0.95$
$\eta_S = 0.97$ $\eta_{Others} = 0.96$	$\eta_S = 0.97$ $\eta_{Others} = 0.96$
$\eta_D = \eta_H \eta_B = \begin{cases} 0.855 & \text{for submerged} \\ 0.840 & \text{for Surfacing} \end{cases}$	$\eta_D = \eta_H \eta_B = \begin{cases} 0.886 & \text{for submerged} \\ 0.882 & \text{for Surfacing} \end{cases}$
$\eta_M = \eta_S \eta_{GB} \eta_{Others} = 0.89$	$\eta_M = \eta_S \eta_{GB} \eta_{Others} = 0.89$
$P_D = \frac{P_E}{\eta_D} = \begin{cases} 5.819\ [KW] & \text{for submerged} \\ 6.126\ [KW] & \text{for Surfacing} \end{cases}$	$P_D = \frac{P_E}{\eta_D} = \begin{cases} 40.73\ [KW] & \text{for submerged} \\ 48.07\ [KW] & \text{for Surfacing} \end{cases}$
$P_B = \frac{P_D}{\eta_M} = \begin{cases} 6.538\ [KW] & \text{for submerged} \\ 6.884\ [KW] & \text{for Surfacing} \end{cases}$	$P_B = \frac{P_D}{\eta_M} = \begin{cases} 45.78\ [KW] & \text{for submerged} \\ 54.02\ [KW] & \text{for Surfacing} \end{cases}$

۶- نتیجه گیری

در این مقاله روش کاربردی مهندسی برای محاسبه نیروی مقاومت و روش المان مرزی برای تحلیل و عملکرد هیدرودینامیکی پروانه زیردریایی استفاده شده است بر اساس محاسبات انجام شده نتایجی حاصل می‌گردد که عبارتند از:

۱- روش المان مرزی برای محاسبه مشخصات و عملکرد هیدرودینامیکی پروانه از قابلیت مناسبی بر خوردار است و این روش می‌تواند برای تحلیل و طراحی هیدرودینامیکی همه پروانه‌های دریایی صورت گیرد.

۲- نتایج توزیع فشار و تحلیل هیدرودینامیکی پروانه پنج پره ای اسکیو دار HSP-5 نشان می دهد که اسکیو و گام مناسب شعاعی پروانه سبب ایجاد فشار یکنواخت بر روی پره ها می‌شود. همچنین راندمان آن نزدیک به ٦٨٪ است که نسبت به پروانه‌های استاندارد موجود دریائی در محدوده بالاتری است.

۳- محاسبات در دو شرایط سطحی و عمقی نشان می‌دهد که راندمان کل سیسم رانش در شرایط عمقی بیشتر از شرایط سطحی است.

۷- مراجع

[۱] Tuck, E.O., Scullen, D.C. and Lazauskas, L. "Sea Wave Pattern Evaluation", Submarine Portfolio, Australia, 2000.

[۲] Roy Burcher, Louis Rydill "Concepts in Submarine Design", Department of Mechanical Engineering, University College London, 1994.

[۳] Carlton, J. "Marine Propeller and Propulsion", Butterworth-Heinemann Ltd, 1994.

[٤] Ghassemi, H. "Hydrodynamic Characteristics of Marine Propeller in Steady and Unsteady Wake Flow, Journal of Science and Technology of AmirKabir, Vol.14, No. 54-B, Spring 2003.

[٥] Banerjee P.K. and Morino L."Boundary Element Method in Nonlinear Fluid Dynamics", Textbook, Elsevier co. 1992.

[٦] Power H. "Boundary Element Applications in Fluid Mechanics", Textbook, JohnWiely, 1995.

[۷] Breslin J.P. and Andersen P., "Hydrodynamics of Ship Propellers", Cambridge Ocean Technology Series 3, 1994.

[۸] Ohkusu M., "Advances in Marine Hydrodynamics, Chapter 6, Theory and Numerical Methods for the Hydrodynamic Analysis of Marine propellers", Computational Mechanics Publications, 1996, 279-322.

[۹] Hsin C.Y., Kerwin J.E., Kinnas S.A., "A Panel Method for the Analysis of the Flow Around Highly Skewed Propellers", Proceedings of the Propllers/Shafting'91 Symposium, 1991, Virginia.

[۱۰] Ghassemi, H. "Boundary Element Method Applied to the Cavitating Hydrofoil and Marine Propeller", International Journal of Science and Technology, Iranica Scientia, Vol. 10 (2), 2003.

[۱۱] Ghassemi, H., Ghadimi, P.: Computational Hydrodynamic Analysis of the Propeller-Rudder and the AZIPOD Systems, Ocean Engineering , Vol. 35, No. 1, 2008.

[۱۲] Ghassemi, H., "Effect of the Wake Flow and Skew Angle onto the Hydrodynamic Performance of Ship Propeller", Journal of Science and Technology (Scientia Iranica), Vol. 16, No. 2, 2009.

[۱۳] Ghassemi, H., Kohansal, A.R., "Numerical evaluation of various levels of singular integrals, arising in BEM and its application in hydrofoil analysis", Applied Mathematics and Computation, Vol. 213, 2009, pp.277–289

www.SID.ir

Archive of SID

۸- علائم و اختصارات:

C_P: ضریب بی بعد فشار

D: قطر پروانه

D_{Hull}: قطر ماکزیمم بدنه زیردریایی

J: نسبت پیشروی سرعت

H : عمق غوطه وری زیردریایی

K_T: ضریب تراست پروانه

K_Q: ضریب گشتاور پروانه

L: طول زیردریایی

$L(r)$: فاصله خط مولد پره تا لبه انتهایی

N: تعداد المان های کل پروانه

N_C: تعداد المانها در راستای کورد

N_R: تعداد المانها در راستای شعاعی

R_T: درگ یا مقاومت کل زیردریایی

r_m: تقسیم بندی پره در راستای شعاعی

r_C: تقسیم بندی پره در راستای کورد

r: مقطع شعاعی پروانه

P_G: گام هندسی پروانه

p : فشار هیدرودینامیکی

p_0 : فشار هیدرواستاتیکی

T: تراست پروانه

Q: گشتاورپروانه

V_A: سرعت پیشروی جریان آب

$\vec{V}_W$: سرعت جریان ویک در پاشنه زیردریایی

$\vec{V}_I$: سرعت جریان ورودی به پروانه

V_S: سرعت زیردریایی

n: سرعت دورانی پروانه

P_D: قدرت تحویلی از شافت به پروانه

P_E: قدرت موثر زیردریایی

P_B: قدرت موتور

R: شعاع پروانه

r_h: شعاع توپی پروانه

$Y_{B,F}$: فاصله از سطح عقب و جلو مقطع پره تا خط کورد

$S(r)$: فاصله خط مولد پره تا لبه ابتدایی

t: فاکتور مکش تراست

S_B: سطح جسم (پروانه)

S_W: سطح ویک دنباله ای پروانه

(X,Y,Z): مختصات دکارتی کلی

(x,y,z): مختصات دکارتی محلی

$\vec{X}$:بردار موقعیت هر نقطه روی سطح پروانه

Z: تعداد پره ها

ϕ: سرعت پتانسیل القایی

Φ: سرعت پتانسیل کل

ρ: دانسیته سیال

$\vec{n}$: بردار یکه عمود بر سطح

Γ: سیرکیولاسیون

$\frac{\partial\phi}{\partial n}$: مشتق سرعت پتانسیل

ω: سرعت زاویه ای پروانه

η_o: راندمان پروانه در شرایط آب آزاد (جریان یکنواخت)

η_B: راندمان پروانه در شرایط جریان ویک پاشنه زیردریایی

η_D: راندمان هیدودینامیکی پروانه

η_{GB}: راندمان گیربکس

η_H: راندمان بدنه زیردریایی

η_S: راندمان شافت

η_M: راندمان مکانیکی

γ: زاویه ریک پروانه

β_r: زاویه گام هندسی پروانه

$\vec{w}$: فاکتور ویک

ΔS: سطح المان

$W_{ij}, D_{ij}\ S_{ij}$: ضرایب موثر پتانسیل

۹- زیرنویس ها

[1] Wake
[2] Thrust
[3] Cavitation
[4] Lifting bodies
[5] Hydrofoils
[6] Kutta condition
[7] Trailing vortex

www.SID.ir

Archive of SID

[8] Circulation
[9] Back and face
[10] Trailing edge
[11] Int. Towing Tank Conf.
[12] Wave-making resistance
[13] Skew angle
[14] Rake angle
[15] Torpedos
[16] Sweep angle
[17] Hydroplans

www.SID.ir