



محاسبات نیروهای درگ و لیفت شناور تندرو با استفاده از روش المان مرزی

حسن قاسمی^۱، آناهیتا رحمانیان^۲

دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Emails: gasemi@aut.ac.ir, rahmanian@isoico.com

چکیده

این مقاله با استفاده از روش المان مرزی برای تعیین محاسبات نیروهای درگ و لیفت مدل شناور تندرو و مقایسه آن با نتایج تجربی ارائه شده است. نتایج محاسبات و تجربی برای بررسی و تحلیل نیروها در عدد فرود و رینولدز بترتیب و در دامنه $F_n = (1-4)$ و $Rn = (0.5-3) \times 10^6$ انجام شده است.

کلمات کلیدی: روش المان مرزی، لیفت، درگ، بدنه پلانینگ

مقدمه

امروزه فرم بدنه پلانینگ نیز به عنوان یکی از بهترین فرم بدنه شناورهای تندرو در صنایع حمل و نقل تجاری، نظامی و تفریحی کاربرد بسیاری پیدا کرده است. در هنگام توسعه فرم بدنه پلانینگ پیش بینی نیروهای وارد بر سطح پلانینگ مورد نیاز است. محاسبات اولیه درگ و لیفت می بایستی که در مراحل اولیه ارزیابی طراحی انجام شود تا برآوردی از اندازه محرکه‌ها و موتورهای اصلی بدست آید. البته چون همیشه امکان تست مدل در حوضچه وجود ندارد، لذا با توجه به اهمیت مسئله تخمین نیروها می بایست ابزارهای محاسباتی جهت محاسبه نیروهای وارد بر اینگونه شناورها توسعه داده شوند. کاری که (Korvin – Kroukovsky (۱۹۴۹ و Savitsky (۱۹۶۴ انجام دادند برای مدت ۳۵ سال پایه‌های طرح اولیه تخمین مقاومت شناورهای پلانینگ را

^۱ استاد یار و عضو هیئت علمی گروه هیدرودینامیک

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش هیدرودینامیک



تشکیل می‌داد. Savitsky و Korvin-Kroukovsky فرمولهای رگرسیونی^۳ براساس تست‌های مدل فرم بدنه منشوری ارائه دادند، که برای برآورد نیروهای هیدرودینامیکی و هیدرواستاتیکی وارد بر سطوح پلانینگ غیر منشوری نیز تعمیم داده می‌شود.

امروزه، در مورد شناورهای کوچک به ابزار محاسباتی مناسبی برای تحلیل سطوح پلانینگ غیرمنشوری نیاز می‌باشد. این ابزار می‌بایست که تغییرات هندسه فرم بدنه را بیش از آن چیزی که توسط روش‌های نیمه تجربی انجام شده بود شامل شود. هدف از این کار گسترش ابزارهایی جهت تحلیل هیدرودینامیکی سطوح پلانینگ سه بعدی است.

تئوری و روش محاسبات

روش المان مرزی روشی جدید در حل مسائل هیدرودینامیک می‌باشد. در روش المان مرزی براساس پتانسیل، برای جریان‌های پتانسیل انتگرال حول کل ناحیه سیال می‌تواند به انتگرال حول مرزهای ناحیه سیال تبدیل شود. این تبدیل مسئله از حالت سه بعدی به دوبعدی باعث مش بندی آسان و تسریع محاسبات می‌شود.

براساس تئوری هیدرودینامیک کلاسیک، جریان حول جسم می‌تواند با استفاده از چشمه‌ها، ورتیسته‌ها و دوقطبی‌های توزیع شده در درون و حول جسم ایجاد شود. "در حال حاضر دینامیک سیال محاسباتی برای مدل کردن فیزیک جریان به کار می‌رود. از میان روش‌های پانل بندی مختلف، روش پانل بندی سطح پتانسیل، قوی‌ترین و مناسب‌ترین روش برای آنالیز اجسامی که دارای مقاطع نازک و هندسه پیچیده است می‌باشد. با استفاده از تئوری گرین، پتانسیل سرعت مغشوش می‌تواند به صورت معادله انتگرال خطی در کل مرز بیان شود و سپس برای هر نقطه میدان، روش پانل بندی پتانسیل قادر است تا جریان حول هر شکل دلخواه را تحلیل کند. کارهای اصلی این روش، ایجاد شبکه، محاسبه ضرایب تأثیر سینگولاریتی پانل، حل معادلات همزمان برای مقاومت‌های سینگولاریتی مجهول و تعیین سرعت‌های محلی، فشارها، نیروها و ممان‌های کل می‌باشد.

در اینجا فرض می‌شود که سیال در کف و سطح آزاد تا بینهایت امتداد داشته باشد. با ارتفاع سطح آزاد تا موقعیت سکون شناور می‌باشد. قسمتی از جسم در آب غوطه‌ور می‌باشد و دارای حرکت با ۶ درجه آزادی است. سیستم‌های مختصات در نظر گرفته شده: دستگاه مختصات (XYZ) ثابت در فضا و دیگری (xyz) که همراه با جسم حرکت می‌کند. وضعیت جسم با موقعیت مرکز ثقل و جهت زاویه‌ای آن نسبت به دستگاه ثابت بیان می‌گردد. معادله انتگرالی براساس تابع گرین فرمولبندی شده و بصورت عددی توسط روش المان مرزی در دستگاه مختصات ثابت حل می‌شود. در هر زمان t، موقعیت‌های نسبی و جهت جسم با (OXYZ)، بردار موقعیت مرکز ثقل جسم نسبت به دستگاه مختصات ثابت با (OXYZ) نشان داده می‌شود.

یک سری روابط هندسی و جنبشی میان این دو سیستم برای حل این مسئله در هر گام زمانی موردنیاز است.

با فرض جریان پتانسیل، معادله لاپلاس را بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$\nabla^2 \phi = 0, \quad V = \nabla \phi \quad (in V) \quad (1)$$

شرایط مرزی عبارتند از:

^۳ Regression Formulas



روی سطح جسم

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = V_0 \cdot n \quad (\text{on } S_B) \quad (2)$$

روی سطح آزاد

$$F(x, t) = z - \zeta(x, y, t) = 0 \quad (3)$$

معادله جنبشی

$$\frac{DF(x, t)}{Dt} = 0 \quad (\text{on } z = \zeta(x, y, z, t)) \quad (4)$$

معادله دینامیکی

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \phi)^2 + gz - \frac{2\sigma}{\rho R_{curv}} = 0 \quad (\text{on } z = \zeta(x, y, z, t)) \quad (5)$$

در کف شناور

$$z = \zeta_{bottom}(x, y), \quad \frac{\partial \phi}{\partial n_{bottom}} = 0, \quad (6)$$

در بینهایت

$$\frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y}, \frac{\partial \phi}{\partial z} \xrightarrow{|x|, |y|, |z| \rightarrow \infty} 0, \quad (7)$$

با اعمال تئوری گرین برای پتانسیل ϕ ، معادله انتگرالی زیر را برای پتانسیل اغتشاش ϕ_B در هر نقطه B بر روی سطح جسم (قایق) بدست می آوریم.

$$4\pi E \phi = \oint_{S_B} \left[\phi \frac{\partial G}{\partial n} - G \frac{\partial \phi}{\partial n} \right] dS \quad (8)$$

که در آن n بردار عمود بر دامنه سیال است. $G = G(p; q)$ تابع گرین است. در مورد سیال با دامنه سه بعدی نامحدود $G(p; q) = 1/R(p; q)$ و در حالت دوبعدی $G(p; q) = \ln R(p; q)$ است که در آن $R(p; q)$ فاصله میان نقاط p و q است. E فاکتوری است که بستگی به نقطه p دارد و بصورت زیر تعریف می شود.

$$E = \begin{cases} 0 & \text{for the point } p \text{ inside } S, \\ 1/2 & \text{for the point } p \text{ on } S, \\ 1 & \text{for the point } p \text{ outside } S, \end{cases}$$

$$\frac{P - P_\infty}{\rho} = \frac{\partial \phi}{\partial t} - U_{in} \cdot \nabla \phi - \frac{1}{2} (\nabla \phi)^2 \quad (9)$$



$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (10)$$

نیروی لیفت و درگ با انتگرالگیری فشار بر روی بدنه بدست می آیند. لازم به ذکر است که در این مقاله کلیه محاسبات در حالت حرکت دائم (Steady Motion) محاسبه شده است.

بحث و بررسی و مقایسه نتایج محاسباتی با نتایج تجربی

با مش بندی سطح جسم و سطح آزاد پیرامون جسم و اعمال روش المان مرزی پتانسیل سرعت در هر المان و نیز ضریب فشار بدست می آید. با داشتن ضریب فشار، فشار بر روی بدنه و با انتگرالگیری از آن نیروهای لیفت و درگ بدست می آید. شکل ۱ و ۲ المان بندی بدنه شناور و سطح آزاد را نشان می دهد. شکل ۳ توزیع فشار در استیپ های مختلف از سینه تا پاشنه کشتی را نشان می دهد. در این شکل فشار در سینه ماکزیمم مقدار را دارد. شکل ۴ محاسبات نیروهای بویانسی (FB) و لیفت (Lift) و ضرایب آنها (CLD=Lift coefficient) (CLS=Buoyancy Coefficient) را نشان می دهد. شکل ۵ مقایسه محاسبات و تجربی را برای یک شناور M-۶۰ (از مقاله کاتایاما) مقاومت و لیفت را در عدد فرود های مختلف نشان می دهد.

لازم به ذکر است که در سرعت کم برای همه شناورها مقاومت موج سازی ناچیز است و در سرعت های بالا هم برای شناورهای پلنینگ خیلی کم است لذا رویهم رفته این مقاومت در شناورهای تندرو ناچیز است.

نتیجه گیری

روش المان مرزی براساس پتانسیل و نیز روش لایه مرزی برای محاسبه انواع مقاومت های شناور نیمه پلانینگ (به غیر از مقاومت فشاری ویسکوز و مقاومت اسپری) در شرایط حرکت یکنواخت شناور و جریان دائم در سطح آزاد آب اجرا گردیدند. از آنالیز نتایج عددی بدست آمده، می توان موارد زیر را استنتاج نمود.

۱- روش المان مرزی براساس پتانسیل می تواند جهت محاسبه پتانسیل سرعت و توزیع فشار بر روی بدنه شناور نیمه پلانینگ و نیز لیفت و درگ القایی با دقت نسبتاً بالا بکار رود.

۲- روش المان مرزی می تواند جایگزین روش متداول Savitsky در محاسبه مقاومت شناور پلانینگ گردد.

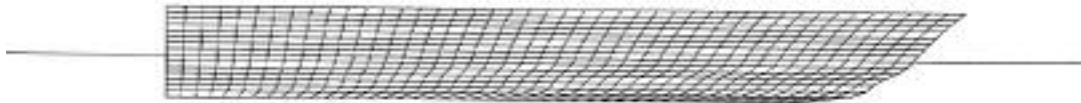
۳- این روش می تواند ارتفاع و پروفایل موج ناشی از حرکت شناور در سطح آزاد آب را ارزیابی کند. نکته حائز اهمیت در بدست آوردن الگوی موج این است که میان مش های سطح آزاد و مش های بدنه شناور باید فاصله مناسبی در نظر گرفته شود تا پروفایل موج بهینه ای بدست آید. همچنین می توان گفت که نوع مش بندی در مقاومت موج سازی و پروفایل موج تاثیر دارد. در این پروژه از مش های چهارضلعی با اندازه مساوی بر روی سطح آزاد و بدنه شناور استفاده شد، در صورتیکه اگر نوع مش بندی بصورت کسینوسی در نظر گرفته شود پروفایل موج بهتری بدست می آید، ولی در عین حال دارای مشکلات محاسبات عددی می باشد.

۴- یکی دیگر از مقاومت های شناور پلانینگ مقاومت اسپری می باشد که در این پروژه محاسبه نشده است. ولی می توان گفت که این مقاومت بر مقاومت کل شناور پلانینگ تاثیر دارد و لازم است که در محاسبات شناور پلانینگ در نظر گرفته شود.

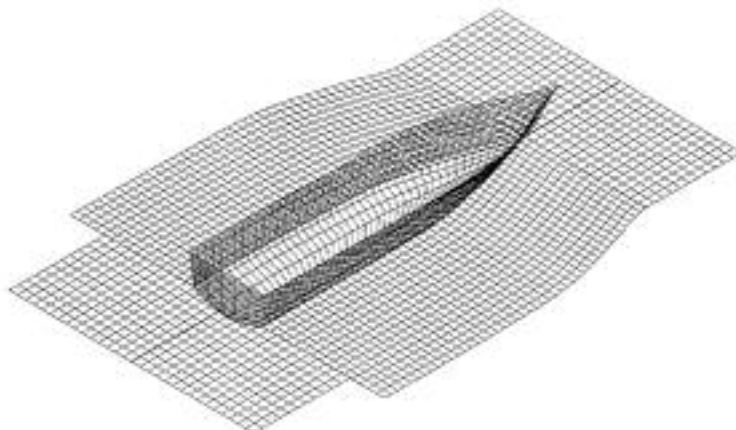


مراجع

- ۱- Askin, S.A, " Boundary Element Method for Solving nonlinear wave-making Resistance of Slender Ship", Marine Hydrodynamics, National Research Council Canada, ۱۹۹۹
- ۲- Janson, Carl-Erik, " A linear method for the prediction of free-surface waves, lift and induced-drag" , Chalmers university of technology, ۱۹۹۷
- ۳- Katayama Toru, Hayashita S., Suzuki, K, Ikeda Y. "Development of resistance test for high – speed planing craft using very small model scale effects on drag force, Proceeding of Inter. Conference Asian Pacific Hydrodynamics ۲۰۰۲, pp.۷-۱۴

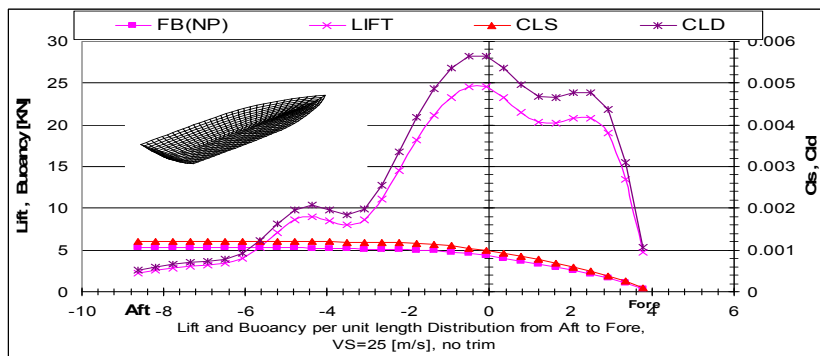


شکل ۱- مش بندی بدنه شناور

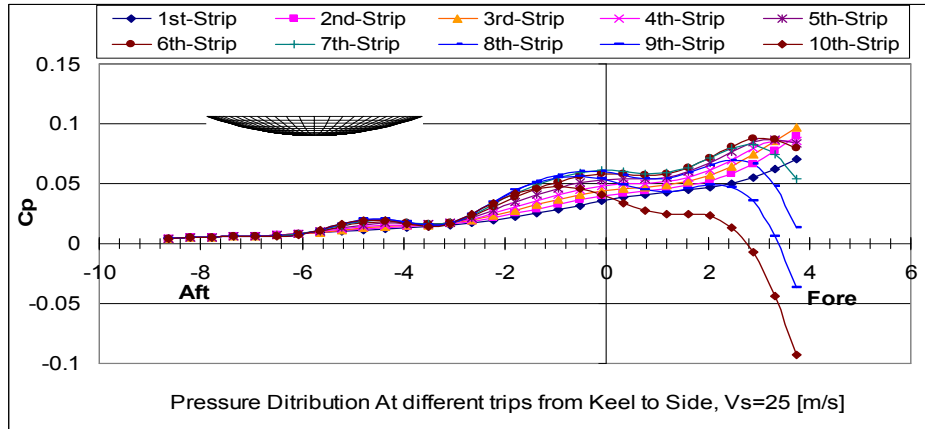




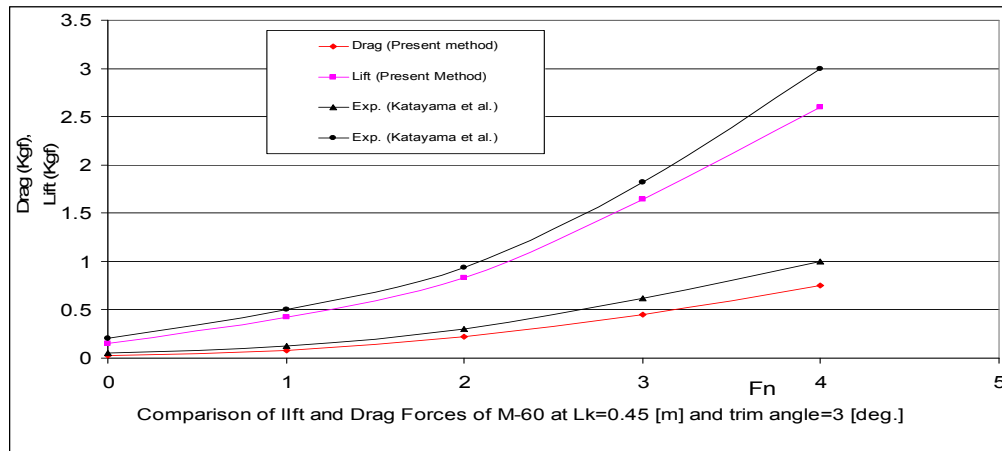
شکل ۲ - بدنه و سطح آزاد مش بندی شده



شکل ۳ - نمودار نیروی لیفت و بویانسی محاسبه شده



شکل ۴ - توزیع فشار در ناحیه تحتانی شناور از جلو تا عقب



شکل ۵ - مقایسه نیروهای لیفت و درگ