

مطالعه پارامتریک عملکرد بدن برای یک زیردریایی توریستی

مهدی بهزاد^۱ منوچهر راد^۲ رضا تقی‌بور^۳ سید‌همیش موسوی‌راد^۳ سید‌حمید‌سادات‌حسینی^۳

۱- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانشجویی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

این مقاله به بحث در مورد تحلیل عملکرد در امواج برای یک نمونه از شناورهای زیر سطحی - زیردریایی توریستی - می پردازد. این بررسی از دیدگاه دریازدگی مسافرین این شناور صورت می پذیرد و تأثیر پارامترهای متفاوت مؤثر در عملکرد این شناور در امواج با استفاده از تئوری نواری بررسی می شود. این پارامترها شامل فرم بدن، وضعیت دریا، جهت امواج، عمق، سرعت و مدت زمان انجام عملیات می باشند. نتایج بررسی نشان می دهد که امواج از روی رو بیشتر از امواج از عقب بروی حرکات شناور تاثیر می گذارند. همچنین تاثیر مدت زمان سفر، عمق عملیاتی و سرعت شناور بر ضریب عملکرد مورد بررسی قرار گرفته اند.

کلمات کلیدی: عملکرد بدن، امواج، تحلیل طیفی، تئوری نواری، زیر دریایی

PARAMETRIC STUDY OF HULL OPERABILITY IN WAVES FOR A TOURIST SUBMARINE

Abstract

This paper holds a parametric study on seakeeping performance for one kind of submersible vehicles, a tourist submarine. This analysis has been performed from the aspect of motion sickness incidence by using a strip theory hydrodynamics solver. The parameters include sea state, sea direction, depth, speed and duration of operation. Results prove head seas to be more violative than following seas. Moreover, Effect of trip duration, operating depth and vessel forward speed on operability index has been investigated.

Keywords: Hull Operability, Waves, Spectral Analysis, Strip Theory, Submarine

فهرست علائم:

امروزه، عملیات زیردریایی‌های توریستی افزایش بسیاری داشته به گونه‌ای که در هر سال حدود ۲۰ میلیون مسافر به منظور یافتن شناس مشاهده موجودات دریایی به این شناورها روی می‌آورند و ۱۵۰ میلیون دلار درآمد سالانه این صنعت می‌باشد.



شکل ۱- زیردریایی توریستی V48، طول: ۴۲.۸ft، ظرفیت: ۴۸ نفر

زیردریایی توریستی، هنگامی که در زیر یک مسیر دریایی حرکت می‌کند، نیروها و ممانهای تحریکی را تجربه می‌کند که در عمل کنترل این حرکات فرکانس پایین، دشوار می‌باشد و ممکن است منجر به پاسخ‌های خاصی گردد. از این گونه حرکات به نیروها و ممانهای مکش سطح آزاد تعبیر می‌شود. به علت اثر این نیروها و ممان‌ها، زیردریایی یا خدمه و مسافرین آن ممکن است دچار مشکلاتی چون دریازدگی، بیرون آمدن پروانه از آب و ... شوند. روش‌های استاندارد بررسی و محاسبه اثرات سطح آزاد بر پایه ترکیب جریان پتانسیل و ضرائب نیمه تجربی مدل‌های آزمایشگاهی استوار می‌باشد. در این نمونه چشمۀ های رانکین در طول بدنه شناور توزیع می‌گردد که شرایط مرزی سطح آزاد را ارضاء می‌کند. قوت چشمۀ را می‌توان با ارضاء شرط مرزی سطح آزاد و اینکه هیچ سیال نمی‌تواند از سطح بدنه شناور عبور کند، محاسبه نمود. گستته سازی بدنه به پانل‌های مربعی محدود مدل Hess-Smith قابلیت فرمولاسیون و حل دستگاه معادلات جبری را برای بدست آوردن نقاط منفرد مجهول می‌دهد [۲]. ترکیب نیروها و ممانهای تولید شده از این طریق به همراه تحلیل

$d\theta$	دیفرانسیل زاویه جهت موج
$S(\omega)$	طیف فرکانسی موج در همه جهات
$S(\omega, \theta)$	طیف یک جهتی موج دریا
$H_{\frac{1}{3}}$	ارتفاع موج عمدۀ
m_0	سطح زیر منحنی طیف موج
m_2	ممان دوم سطح زیر منحنی طیف موج
ω_z	فرکانس متوسط طیف
T_z	پریود متوسط طیف
g	شتاب نقل
ω	فرکانس موج
$\eta_j(t)$	پاسخ شناور در امواج دریا
$dA(\omega, \theta)$	دامنه موج برخورده با شناور
$Z_j(\omega, \theta)$	تابع تبدیل یا عملکرد دامنه پاسخ
$Z_R(\omega)$	تابع تبدیل یا عملکرد دامنه پاسخ
$S_R(\omega)$	طیف پاسخ شناور در امواج
N_Z^R	فرکانس رخداد Z در پاسخ R
m_2^R	ممان دوم سطح زیر منحنی طیف پاسخ
m_0^R	سطح زیر منحنی طیف پاسخ
σ	انحراف معیار پاسخ شناور

مقدمه

در حالیکه ساخت زیردریایی‌های سرنشین دار برای اهداف علمی، تحقیقاتی و جنبه‌های تجاری در سالهای اخیر به واسطهٔ جایگزینی آنان با شناورهای زیرسطحی کنترل شونده از راه دور به شدت کاهش یافته است، اما یک نمونه جدید از شناورهای زیرسطحی سرنشین دار در تعداد بسیار قابل توجه در حال ساخت و تولید می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده‌است. تقریباً ۴۸ نمونه زیردریایی توریستی در طول ده سال اخیر ساخته شده و نیز ۳ نمونه از زیردریایی‌های تجاری بزرگ نیز به مدل‌های مسافربری تبدیل شده است.

مناسب‌ترین نوع داده بدست آمده از امواج تصادفی که از لحاظ عملی هم کاربرد بیشتری دارد، توزیع طیفی آنهاست. اطلاعات ثبت شده تصادفی از ارتفاع امواج $S(\omega)$ به روشی که منجر به تولید منحنی طیف $S(\omega) h(t)$ بر حسب فرکانس موج (ω) شود، پردازش می‌گردد [۴]. عبارت دیگر برای یک وضعیت دریایی مشخص یک طیف دریایی متناظر با آن تعریف می‌شود. تابع $S(\omega, \theta)$ چگالی طیف انرژی یا برای سادگی طیف انرژی نامیده می‌شود که این طیف انرژی جهت دار است و می‌توان از آن در تمامی جهات برای محاسبه طیف فرکانس انتگرال گرفت.

$$S(\omega) = \int_0^{2\pi} S(\omega, \theta) d\theta \quad (1)$$

معمولًاً در زمینه‌های مهندسی اقیانوس و طراحی کشتی فرض می‌شود که موجها با قله‌های طویل (Long Crested) هستند به این معنا که حرکات سیال دو بعدی بوده و قلل امواج مواری هستند. با این ساده سازی استفاده از اطلاعات موجود برای طیف فرکانسی امکان پذیر می‌گردد.

طیف دریا (چگالی طیف) اطلاعاتی بر مبنای متوسط ارتفاع امواج در طول باندهای فرکانسی محدود ارائه می‌نماید. چون بخش اعظم انرژی امواج در یک بازه کوچک از طول موج آنها قرار دارد که میتواند منجر به تشدید سازه شناور شود، می‌توان مسیر دریایی را مانند یک فرآیند تصادفی باند باریک (Narrow band) فرض نمود.

به دلایل مختلف در ابتدای کار مطالعه امواج بزرگتر بیشتر مدنظر قرار می‌گیرد. رایج‌ترین پارامتری که در این مسأله وارد می‌شود، $H_{\frac{1}{3}}$ یا ارتفاع موج عمده

(Significant Wave Height) می‌باشد که بصورت متوسط ارتفاع یک سوم امواج با ارتفاع بیشتر تعیین می‌شود.

به طور کلی برای محاسبه $H_{\frac{1}{3}}$ از فرمول ذیل استفاده می‌شود [۴]:

$$H_{\frac{1}{3}} = 4.0 (m_o)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

نیروهای آب عمیق می‌تواند برای شبیه سازی حرکت شناور در زیر امواج بکار بردشود.

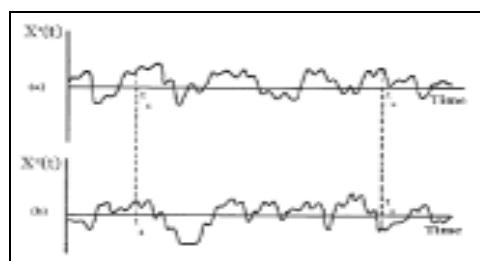
در این مقاله، یک رویه تحلیل برای عملکرد بدن این شناورها در امواج و بعضی از پارامترهای موثر در این پدیده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. این پارامترها شامل وضعیت دریایی، عمق، سرعت و مدت زمان عملیات می‌باشند. به منظور دستیابی به این هدف یک الگوریتم محاسباتی مورد استفاده واقع می‌شود که در آن از یک برنامه محاسبات هیدرودینامیکی بوسیله تئوری نواری کمک گرفته شده است.

فرمولاسیون مسائله

به منظور شناخت بهتر مفهوم تحلیل عملکرد بدن در امواج مؤلفه‌های اساسی این تحلیل شامل طبیعت و ماهیت امواج دریا، حرکات ناشی از این امواج در زیر یک مسیر دریایی و معیارهای ارزیابی عملکرد به شرح زیر تشریح می‌شوند.

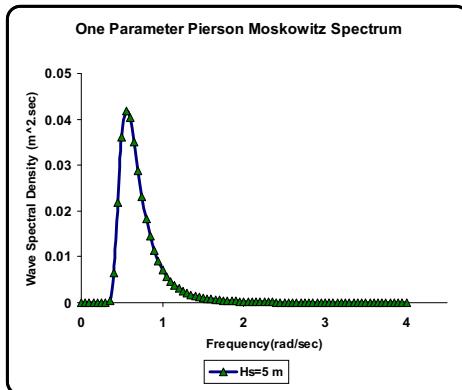
ماهیت امواج دریا

الگوهای موج در یک دریای آزاد همواره با زمان و مکان تغییر می‌کنند، بطوريکه تحلیل آنها چه با استفاده از تئوری خطی و چه با استفاده از تئوریهای غیر خطی از قبیل استوکس مرتبه دوم بسیار پیچیده است [۳]. موجهای محیطی در سطح دریا پراکنده (Random) و تصادفی (Dispersive) می‌باشند، بطوريکه در مجموع تغییر ارتفاع امواج با زمان در هیچ حالتی منظم نبوده و تصادفی است (شکل ۲). مکانیزم تولید امواج را می‌توان بیشتر به خاطر اثر بادهای وزنده بر سطح آب دانست. البته عوامل دیگری همچون جزو مد و زلزله نیز تأثیرگذار خواهد بود ولی امواج موثر در حرکت شناورها فقط امواج ناشی از باد هستند.



شکل ۲ - نمونه‌ای از تغییر ارتفاع امواج دریا بر حسب زمان

در شکل ۳ نمونه طیف موج PM برای ارتفاع موج عمدۀ ۵ متر نشان داده شده است.



شکل ۳- طیف موج Pierson Moskowitz برای حالت
 $H_{\frac{1}{3}} = 5m$

حرکات در امواج دریا

یکی از مسائل مهم در این تحقیق تأثیرات امواج دریا بر یک کشتی است که شامل حرکات و بارهای سازه ای می شود. در ساده ترین حالت، امواج دریا به صورت امواج پیشرو با دامنه کوتاه و تغییرات سینوسی بر حسب زمان فرض می شوند. همچنین فرض می شود که حرکات شناور آنقدر کوچک هستند که می توان از تنوری خطی استفاده کرد. فرض کنید که جسم تنها مجاز به حرکت pitch و heave باشد. این دو حرکت در شناورهای معمولی از حرکات در صفحه افقی (sway, yaw) مجزا هستند و با آنها کوپل نمی شوند. بنابراین معادلات کوپل شده حرکات و زمان در امواج منظم عبارت است از [۱۰]:

$$\begin{aligned} & (m + A_{33})\ddot{\eta}_3 + B_{33}\dot{\eta}_3 + C_{33}\eta_3 \\ & + A_{35}\ddot{\eta}_5 + B_{35}\dot{\eta}_5 + C_{35}\eta_5 = F_3 e^{i\omega t} \\ & (I_{55} + A_{55})\ddot{\eta}_5 + B_{55}\dot{\eta}_5 + C_{55}\eta_5 \\ & + A_{53}\ddot{\eta}_3 + B_{53}\dot{\eta}_3 + C_{53}\eta_3 = F_5 e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (7)$$

که در آن η ماتریس حرکات جسم، m جرم کشتی و I_{55} ممان اینرسی جرمی نسبت به محور y می باشد. عبارات A_{jk} به جرم افزوده مربوط می شوند و از نظر فیزیکی A_{jk} مولفه نیرو در راستای حرکت z ام

در معادله فوق m_0 سطح زیر طیف ($S(\omega)$ می باشد که در کل بازه فرکانسی ω انتگرال گیری شده است. Zero فرکانس متوسط را می توان بصورت تعداد upcrossing ها در واحد زمان تعریف کرد که این به معنی تعداد دفعاتی است که دامنه موج از صفر با شبیه مثبت می گذرد.

نتیجه نهایی برای این فرکانس بصورت زیر است [۴]:

$$\omega_z = \left(\frac{m_2}{m_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

پریود متوسط بین Zero upcrossing ها نیز عبارتست از:

$$T_z = \frac{2\pi}{\omega_z} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (4)$$

پارامترهای فرکانسی دیگر را می توان از مجموعه ممانهای مربوط به شکل طیف بدست آورد [۴]:

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

در واقع m_0 واریانس است که متناسب با انرژی کل طیف است. همچنین، m_2 واریانس سرعت و m_4 واریانس شتاب می باشد.

یک مدل مناسب برای دریای کاملاً توسعه یافته طیف Fully Developed Sea) (PM)Pierson Moskowitz می باشد. این طیف تنها به یک پارامتر ارتفاع موج عمدۀ وابسته است. فرض استفاده از این طیف در این است که دریا کاملاً توسعه یافته می باشد. یعنی طول بادگیر (Fetch) و مدت زمان (Duration) به اندازه کافی زیاد فرض می شوند تا دریا به یک حالت پایدار در مفهوم آماری برسد.

صورت تحلیلی طیف PM برای یک طیف دریایی ایده آل را می توان به فرم زیر نوشت [۵]:

$$S(\omega) = \frac{0.0081g^2}{\omega^5} \times \exp \left[-0.032 \left(\frac{g}{H_{\frac{1}{3}} \omega^2} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$Z_j(\omega, U, \theta) = \frac{\eta_j}{A} = \sum_{j=1}^6 [D_{ij}]^{-1} F_i \quad (11)$$

از نظر فیزیکی، معادله فوق دامنه حرکات جسم در مد زام نسبت به موج با دامنه واحد، فرکانس ω و جهت θ می باشد. البته خود جسم نیز با سرعت پیشروی U حرکت می کند. نسبت ارائه شده در معادله (11) را عموماً Response Amplitude Operator(RAO) می گویند. در صورت معلوم بودن جرم اضافی، Dمپینگ، تحریک و نیروهای هیدرولاستاتیکی ، RAO می تواند از معادله (۹) محاسبه شود. هر گونه نتیجه گیری درباره عملکرد شناور در امواج که بر اساس امواج منظم باشد کاربرد عملی ندارد لذا بررسی حرکات شناور در امواج و تعیین پارامترهای طراحی از جمله ممان خمسی و مقاومت افروده باید در شرایط واقعی دریا انجام شود. با تعیین طیف امواج دریا، می توان نتایج را تعمیم داد. اگر طیف امواج را با توزیع نرمال تخمین زده و پاسخ جسم به هر جزء از موج به صورت $Z(\omega, \theta)$ مشخص شود خواهیم داشت:

$$\eta_j(t) = \operatorname{Re} \iint Z_j(\omega, \theta) e^{i\omega t} dA(\omega, \theta) \quad (12)$$

مهم ترین فرض در این رابطه برقراری اصل برهم نهی خطی است. مانند خود امواج، پاسخ نیز در معادله (۱۲) یک متغیر تصادفی است. خواص آماری پاسخ مشابه خواص آماری امواج است به استثناء طیف انرژی پاسخ که باید در توان دوم RAO ضرب شود. بنابراین اگر زیرنویس R نشان دهنده هر یک از اجزاء پاسخ باشد خواهیم داشت:

$$S_R(\omega) = |Z_R(\omega)|^2 S(\omega) \quad (13)$$

که $Z_R(\omega)$ RAO برای پاسخ R و $S(\omega)$ طیف امواج می باشد. بنابراین معادله (۱۳) می تواند برای بدست آوردن طیف پاسخ استفاده شود که با داشتن طیف پاسخ خواهیم داشت:

$$m_i^R = \int_0^\infty \omega^i S_R(\omega) d\omega, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

$$\sigma = RMS = \sqrt{m_0^R}$$

در نتیجه بحث می تواند بر اساس پاسخ ماکزیمم و یا مؤثر صورت پذیرد.

بواسطه شتاب واحد در راستای حرکت k ام می باشد. عبارات B_{jk} به نیروهای Dمپینگ هیدرودینامیکی مربوط می شوند و همچنین عبارات C_{jk} نیروها و ممان های برگرداننده هستند که بیان کننده اثرات نیروی هیدرولاستاتیکی بر حرکات کشتی می باشد. سمت راست معادله نیز نیروهای تحریک در راستای (F_3) heave و (F_5) pitch می باشد.

معادلات حرکت بیان شده برای شناور با سرعت صفر معتبر هستند. اگر کشتی با سرعت رو به جلوی U در حال حرکت باشد، با فرض خطی بودن روابط و سرعت ثابت، تنها ω تغییر خواهد کرد. در شرایطی که امواج دقیقاً از سمت جلو به کشتی برخورد کنند، هم نیروی تحریک موج و هم حرکات نوسانی کشتی بصورت خطی و هارمونیک فرض می شوند که فرکانس آنها برابر با فرکانس برخورد موج می باشد:

$$\omega_e = \omega + \frac{2\pi}{\lambda/U} = \omega + kU = \omega + \frac{\omega^2}{g} U \quad (8)$$

همچنین معادلات حرکت می توانند برای حالت شش درجه آزادی تعمیم داده شده و به صورت زیر درآیند:

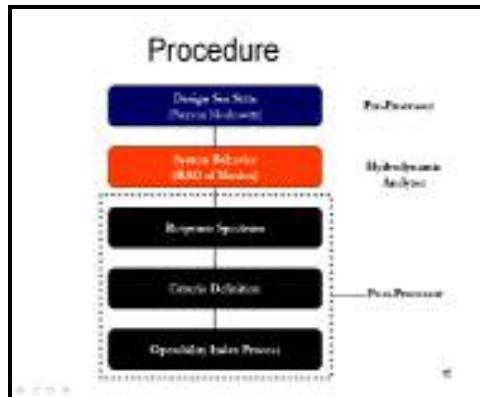
$$\sum_{j=1}^6 \eta_j [-\omega_e^2 (M_{ij} + A_{ij})] + i\omega_e B_{ij} + C_{ij}] = AF_i \quad (9)$$

$$+ i\omega_e B_{ij} + C_{ij}] = AF_i$$

که N نیروی تحریک بر واحد دامنه موج (A) و M_{ij} المان متناسب از ماتریس جرم می باشد. این دستگاه معادلات خطی به روش ماتریس معکوس حل شده و حرکات جسم (η_j) را نتیجه می دهد. در نتیجه در حالت کلی حرکات بدن (η_j) به فرم زیر به دست می آید :

$$\eta_j = A \sum_{i=1}^6 [D_{ij}]^{-1} F_i \quad (10)$$

که در آن D_{ij} نشان دهنده کل ماتریس درون کروشه سمت چپ معادله (۹) می باشد. نسبت $\frac{\eta_j}{A}$ به صورت زیر تعریف می شود:



شکل ۴- فلوچارت بررسی عملکرد شناور در امواج

معیارهای ارزیابی عملکرد

برآورد تاکتیکی بر اساس تعریف یک سری معیار خاص امکان پذیر است که هر کدام از این معیارها به گونه ای متناسب با یک مسئله محدود کننده عملیاتی می باشد. به عنوان مثال، معیاری مثل دریازدگی مربوط به محدودیت حرکات عمودی یک شناور به واسطه قابلیت سکونت شناور توسط مسافرین و خدمه آن می باشد و یا Deck Wetness یک عامل محدود ساز مرتبط با حرکات عمودی شناور به واسطه ورود آب به سطح عرشه آن شناور می باشد. بعضی از این معیارها با ماکریم کمیت وقوع در یک مدت زمان معین سر و کار دارند در حالی که بعضی دیگر با فرکانس وقوع آنها، در یک زمان معین مربوط می باشد. مثلاً دریازدگی عاملی است که با جذر متوسط مربعات شتاب عمودی شناور سرو کار دارد. در حالیکه شکافت سطح بواسطه برج زیردریایی وابسته به فرکانس این رخداد می باشد. با تعریف معیارهای منطقی و مناسب برای تحلیل پاسخ ها چه از نوع وابسته به ماکریم و چه از نوع وابسته به فرکانس می توان پاسخ و در نتیجه عملکرد آن شناور را به گونه ای منطقی و متناسب با واقعیت مطالعه کرد.

رویه تحلیل

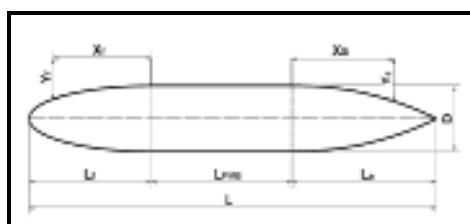
رویه تحلیل برای پیشبرد این تحقیق شامل سه بخش می باشد.

۱- پیش پردازنده (مدلساز)

۲- تحلیلگر هیدرودینامیکی (تئوری نواری)

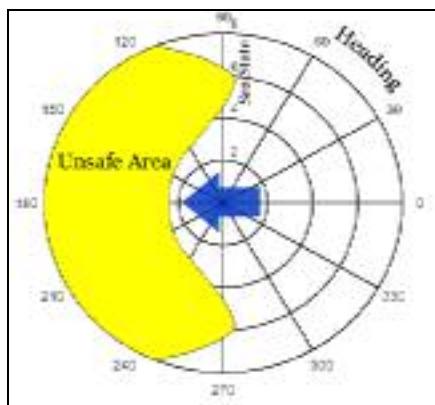
۳- پس پردازنده تحلیلگر طیفی

شکل ۴ فلوچارت رویه ای را که توسط آن تحلیل عملکرد شناور در امواج صورت گرفته است را نشان می دهد.



شکل ۵- هندسه و اجزاء زیردریایی

شناور در آن قادر به انجام موقیت آمیز مأموریت خود به واسطه محدودیت (نقش معیار) نیست. بنابراین یک ضریب عملکرد می تواند از تقسیم مساحت سطح عملیاتی امن (سطح سفید در شکل) به کل مساحت موجود تعریف شود.



شکل ۶- نمونه از نمودار SOE

نتایج عددی

زیردریایی توریستی که در این تحلیل در نظر گرفته شده است، دارای طول ۳۰۰ فوت و ماکریم قطر ۳۰ فوت می باشد که قابلیت انتقال ۱۰۰ مسافر را دارا می باشد. شکل ۷ فرم بدنه زیردریایی و موقعیت آن را در عمق ۳۰ فوتی زیر سطح آزاد نشان می دهد.



شکل ۷- فرم بدنه زیردریایی در نرم افزار MOSES

عمق عملیاتی که بدنه برای انجام مأموریت در آن نظر گرفته شده است به ترتیب ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ فوت از خط مرکزی زیردریایی تا بالا در نظر گرفته شده است. همچنین دریایی خزر به عنوان محیط انجام عملیات زیردریایی انتخاب گردید. بر پایه تحقیقات گراهام و همکارانش [۷]، تغییرات ارتفاع موج عمده در دریای خزر دارای ماکریم مقدار ۵ متر می باشد. بنابراین

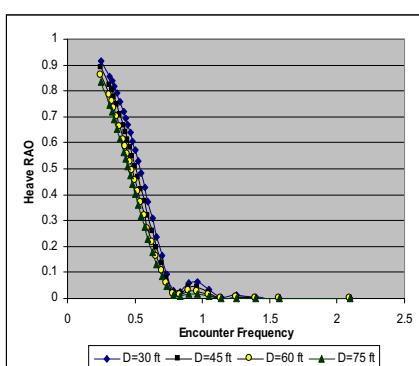
تحلیل گر هیدرودینامیکی

به منظور انجام محاسبات هیدرودینامیکی زیردریایی توریستی، بدنه آن در نسخه ۶ از نرم افزار MOSES [۱۳] مدل شده است. MOSES با کمک تئوری نواری قادر به محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی و نیروهای موج وارد بر بدن شناور دارای سرعت پیش روی است که هر یک از این موارد را بر حسب فرکанс برخورد محاسبه می کند. نتیجه این بخش بدست آوردن تابع تبدیل بدنه زیردریایی بر حسب یک بازه مشخص فرکانسی از امواج برخورده در دریاست. در مورد صحت نرم افزار MOSES، یک مجموعه کامل از اجراهای آزمایشی و مقایسه نتایج آن با نرم افزارهای دیگر و شرایط آزمایش عملی، در جایگاه اینترنتی شرکت تهیه کننده (مرجع [۱۳]) وجود دارد. این نرم افزار از دو فایل ورودی استفاده می کند که یکی از آنها با مدل فیزیکی (هندسی) شناور سروکار دارد و دیگری با یک سری از دستورات که توسط آنها محاسبات تابع تبدیل بدنه (عملکرد دامنه پاسخ RAO) انجام می شود. این دو فایل، هر دو توسط پیش پردازنده تولید می گردند.

پس پردازنده

طیف پاسخ و در نتیجه فرآیند دستیابی به نمودار ارزیابی (SEAKEEPING OPERATING ENVELOPE, SOE) عملکرد به واسطه نوشته شدن یک کد در نسخه ۶/۵ نرم افزار MATLAB بدست آمده است. این کد با گرفتن فایل خروجی RAO از نرم افزار MOSES به عنوان ورودی و تولید طیف پاسخ با داشتن RAO و طیف دریایی که در معادله ۱۳ توصیف شده است کار می کند.

با استفاده از این طیف پاسخ، نرم افزار قادر به یافتن انحراف معیار شتاب حرکات heave و مقایسه آنها با معیار برای دستیابی به محدوده های بحرانی است. در نتیجه این عمل نمودارهای ارزیابی عملکرد (SOE) تولید می گردد که به طرز کاملاً مؤثری در مطالعه ارزیابی بدنه شناور کارایی دارند. شکل ۶ یک نمونه از نمودار ارزیابی عملکرد SOE را نشان می دهد. سطح پرنگ شده در شکل مربوط به محدوده ای است که



شکل ۹- تأثیر عمق بر RAO در حرکت heave

به عنوان معیار، مسئله دریازدگی در سفر دریایی یا MSI (Motion Sickness Incidence) مسافرین در نظر گرفته شده که بر طبق مرجع [۸]، MSI به طور عمده زمانی اتفاق می‌افتد که جذر متوسط مربعات ریشه شتاب پاسخ بدن در جهت heave از یک مقدار مشخص که در جدول (۱) برای مدت زمانهای مختلف عملیات نشان داده شده است، بیشتر گردد.

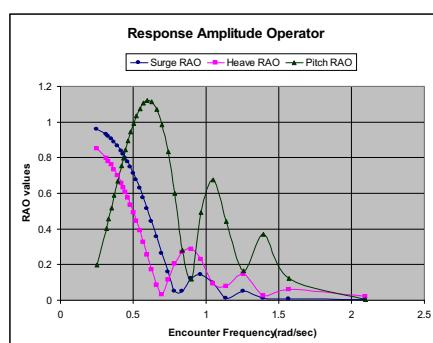
جدول ۱- معیار دریازدگی بر حسب مدت زمان سفر

Trip Duration (hour)	Acceleration Criteria (rms)
0.5	0.1g
1	0.08g
2	0.05g
8	0.03g

شکلهای ۱۰ الی ۱۳، SOE‌های مربوط به بدن زیردریایی را در عمق عملیاتی ۳۰ فوت و سرعت پیشروی ۱۱ گره برای مدت‌های مختلف عملیات نشان می‌دهند. از نتایج، این گونه برداشت می‌گردد که امواج از روی بدن به نسبت امواج از عقب بیشتر منجر به نقض معیار می‌شوند. همچنین، برای اکثر جهات امواج و سرعت‌های پیشروی، محدوده کوچکی در اطراف ۹۰° (امواج Beam Seas) هرگز دچار نقص معیار نمی‌شود. این مسئله مستقل از عمقی است که شناور در آن مشغول به انجام عملیات می‌باشد. همچنین، برای هرجهت موجی، می‌توان به یک وضعیت دریایی بحرانی دست پیدا کرد. همینطور، مشاهده می‌شود که ضریب عملکرد (OI) به طرز محسوسی از مقدار اولیه

محدوده تغییرات ارتفاع امواج دریا برای مدل‌سازی محیط، از حدود صفر تا ۵ متر در نظر گرفته شد. علاوه بر این مسیر دریایی به کمک طیف ایده آل یک پارامتری پرسون موسکویچ که قبلاً به آن اشاره شد، مدل گردید.

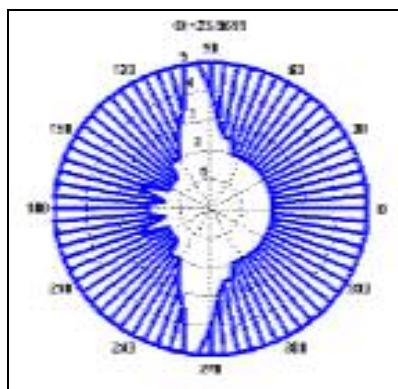
در شکل ۸ نتایج نمونه تابع تبدیل سیستم (RAO) برای بدن شناور در سرعت ۳ گره و عمق عملیاتی ۳۰ فوت و برخورد امواج از روی بدن نشان داده است.



شکل ۸- نمودارهای RAO در سرعت ۳ گره و عمق ۳۰ فوت و برخورد امواج از روی بدن

همانگونه که در شکل ۸ دیده می‌شود، زیردریایی توریستی مورد بحث دارای فرکانس‌های طبیعی heave در حدود ۰/۲۵، ۰/۰۹ و ۱/۲۵ رادیان بر ثانیه می‌باشد. بعد از این فرکانسها دیگر هیچ‌گونه تحريك محسوسی در شناور مشاهده نمی‌شود. این مسئله می‌تواند به این دلیل باشد که توزیع نیروی امواج بر روی زیردریایی با تغییر فرکانس موج تغییر کرده بگونه‌ای که در بعضی از فرکانسها نیروی موج حداقل و در بعضی از فرکانسها حداقل می‌گردد و دیگر اینکه این فرکانسها خارج از فرکانس طبیعی بدن هستند که این به معنی عدم رزنанс در سیستم تلقی می‌گردد.

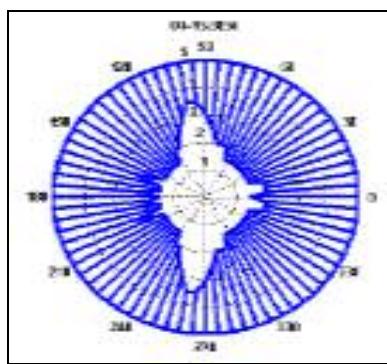
همچنین از شکل ۹ مشاهده می‌شود که مقادیر RAO با افزایش مقدار عمق کاهش می‌یابند. بنابراین می‌توان انتظار داشت که بدن زیردریایی در عمق‌های بیشتر عملکرد بهتری داشته باشد.



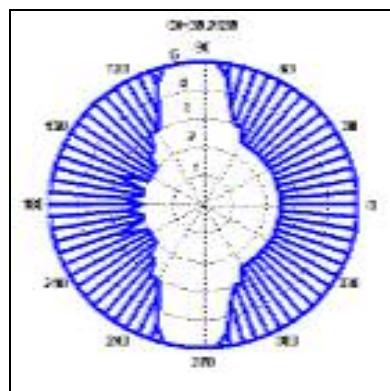
شکل ۱۲- نمودار OI برای مدت زمان ۲ ساعت، عمق ۳۰ فوت و سرعت ۱۱ گره

خود، ۱۳٪ در شکل ۱۰ به ۱۵٪ در شکل ۱۳ کاهش یافته است. این مسئله می‌تواند به این صورت توجیه گردد که MSI (دریازدگی)، عملکرد بدن را بیشتر به شتاب پاسخ بدن محدود می‌کند. در نتیجه انتظار می‌رود که معیار در مدت زمانهای مسافت طولانی بیشتر نقض شود.

همچنین اگر نمودار ضرائب OI بر حسب سرعت برای مدت و اعمق مختلف عملیات رسم گردد، بررسی تأثیر پارامترهای سرعت و مدت زمان انجام سفر در عملکرد بدن امکان‌پذیر خواهد بود.

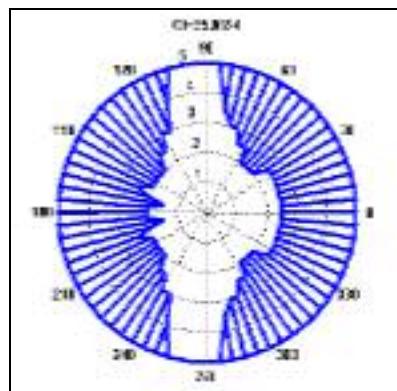


شکل ۱۳- نمودار OI برای مدت زمان ۸ ساعت ، عمق ۳۰ فوت و سرعت ۱۱ گره



شکل ۱۰- نمودار OI برای مدت زمان ۰.۵ ساعت، عمق ۳۰ فوت و سرعت ۱۱ گره

شکل‌های ۱۴ و ۱۵ این اطلاعات را فراهم می‌آورند. همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود OI برای یک مدت زمان معین به آرامی با افزایش سرعت کاهش می‌یابد. به همین ترتیب، در یک سرعت ثابت، OI به طرز چشمگیری در نتیجه افزایش مدت زمان معین کاهش می‌یابد. این دو مسئله نشان می‌دهند که ابعاد و اندازه زیردریایی که در این مورد بررسی گردیده است به گونه‌ای است که ضریب عملکرد آن به شدت با طولانی شدن زمان سفر کاهش می‌یابند در حالیکه پارامتر سرعت تأثیر اندکی بر آن دارد.

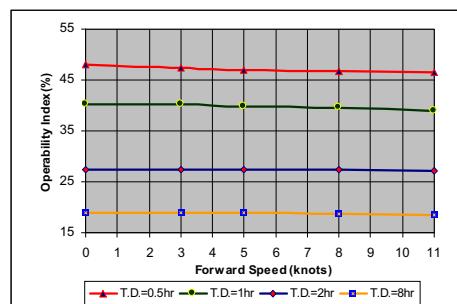


شکل ۱۱- نمودار OI برای مدت زمان ۱ ساعت، عمق ۳۰ فوت و سرعت ۱۱ گره

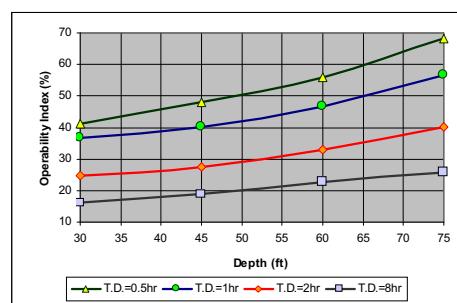
کاهش به گونه‌ای است که انتظار می‌رود که در عمق معادل طول موج λ هیچ نیروی موجی به بدن وارد نشود.

نتایج

- برای تمام عمق‌ها و سرعت‌های عملیاتی، امواج از روی بیشتر از امواج از عقب منجر به نقص معیار در نظرگرفته شده می‌گردند.
- تقریباً برای همه اعماق و سرعت‌های عملیاتی، محدوده کوچکی در اطراف 90° (Beam Seas) وجود دارد که کمتر معیار را نقص می‌کند.
- با بررسی نمودارهای SOE، برای هر جهت موج مشخص، یک نقطه منحصر به فرد بحرانی همواره قابل دستیابی است که در آن نقطه معیار شروع به نقص شدن می‌کند.
- ضریب عملکرد با افزایش سرعت کاهش می‌یابد، اما تابع بسیار ضعیفی از سرعت است و تقریباً میتوان تأثیر پارامتر سرعت را در این مورد (زیردریایی با طول ۳۰ فوت) نادیده گرفت.
- ضریب عملکرد با افزایش عمق عملیاتی شناور افزایش می‌یابد و در ضمن تابع قوی از این پارامتر در مقایسه با سرعت می‌باشد.
- ضریب عملکرد شدیداً به مدت زمان سفر وابسته است، به گونه‌ای که با طولانی تر شدن زمان سفر، ضریب عملکرد شناور به شدت کاهش می‌یابد.



شکل ۱۴- نمودار تغییرات OI بر حسب سرعت برای مدت زمانهای مختلف در عمق ۳۰ فوت



شکل ۱۵- نمودار تغییرات OI بر حسب عمق برای مدت زمانهای مختلف

شکل ۱۵ اطلاعاتی را در خصوص تأثیر پارامتر عمق در ضریب عملکرد زیردریایی می‌دهد. همانگونه که در نمودار دیده می‌شود، ضریب عملکرد در نتیجه افزایش عمق عملیات افزایش و بواسطه طولانی شدن مدت زمان سفر کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، عملکرد به شدت به پارامترهای عمق و مدت زمان وابسته است. این مسئله صحیح است، چرا که تأثیر امواج بر بدن زیردریایی با افزایش عمق کاهش یافته است. این

مراجع

1. Tourist submarines, V48 submersible, www.sub-find.com/v48.htm
2. Crook, T. P., (1994), An Initial Assessment of Free Surface Effects on Submerged Bodies, M. S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California.
3. Goda, Y, 2000, "Random Seas and Design of Maritime Structures", 2nd Edition, World Scientific Pub. Co.
4. Bhattacharyya, R, 1978 "Dynamics of Marine Vehicles", John Wiley & Sons.
5. J.M.J. Journée and Jakob Pinkster, Introduction in Ship Hydromechanics, April 2002, <http://www.ocp.tudelft.nl/mt/journee>, May 24, 2003.
6. Faltinsen, O. M., 1980, "Sea Loads on Ships and Offshore Structures", Cambridge University Press.
7. Graham, C., Cardone, V.J., Ceccacci, E. A., Parsons, M. J, Cooper, C and Stear, J., 2002, "Challenges to Wave Hindcasting in the Caspian Sea", 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting Preprints, Alberta Canada.
8. University-National Oceanographic Laboratory System, www.mlml.calstate.edu/unols/fic/smrcsmr-ver1.pdf
9. Birk, L. and Clauss, G. F, 2001 "Automated Hull Optimization of Offshore Structures Based on Rational Seakeeping Criteria", Proceedings of 11th ISOPE, Stavenger
10. Papulias, F. A, "Ship Dynamics", http://www.web.nps.navy.mil/~me/tsse/TS4001/docs_support.htm April 13, 2003.
11. Newman, 1977, J. N, Marine Hydrodynamics, MIT Press
12. MATLAB User Manual, www.mathworks.com
13. Moses User Manual, Ultramarine Inc. www.ultramarine.com