



نقش محدودیتهای عملکرد انسان در طراحی شناورها

روزبه پناهی^۱، محمد سعید سیف^۲

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

roozbeh_panahi@yahoo.com

چکیده

در نظر گرفتن محدودیتهای مربوط به عملکرد انسان، یکی از مهمترین عوامل در ارزیابی و بهینه سازی در وسایل نقلیه می باشد. در طراحی کشتی نیز با توجه به هدف کاری، فاکتورهای انسانی که به مقدار حرکات و شتابها مرتبط میشوند مطرح هستند. به عبارت دیگر، حرکات شناور باید در محدوده قابل قبول برای کارکنان و مسافرین بوده و در عملکرد آنها مشکلی ایجاد ننماید.

با توجه به اهمیت مساله، هم اکنون تحقیقات بسیاری در رابطه با بررسی حرکات شناور در امواج در حال انجام است. در این مقاله، مراحل ارزیابی عملکرد شناور بر اساس مفهوم شاخص کارایی (Operability Index) بیان گردیده و بر این اساس محاسباتی بر روی یک شناور، با توجه به معیارهای مربوط به غلتش عرضی و شتاب قائم انجام پذیرفته است. در این بررسی، دریازدگی نیز به عنوان یک معیار ارزیابی حرکت انتخاب شده و احتمال وقوع آن محاسبه گردیده است. رویکرد حاضر روشی کامل بوده و با اعمال معیارهای مشابه نیز می توان کارایی شناور را برای ماموریت های مختلف مد نظر، بر اساس آنها ارزیابی نمود.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد

^۲ دانشیار



کلمات کلیدی : حرکات شناور، شاخص کارایی، دریازدگی

مقدمه

حرکت یک شناور در دریا با توجه به مسائلی مثل بررسی سرعت حداکثر شناور در امواج، بررسی کاهش سرعت ارادی بواسطه افزایش نیروهای وارد بر شناور و کاهش سرعت غیراداری به خاطر مقاومت افزوده (Added Resistance)، بهینه سازی مسیر (Ship Routing) به منظور کاهش زمان حمل و نقل، مصرف سوخت و هزینه کلی و ایمنی شناور بر اساس معیارهای موجود (محاسبه شتابها، وقوع اسلیمینگ (Slamming)، وضعیت افراد، بارهای روی عرشه و ...)، از اهمیت بالایی برخوردار است. نخستین کارها در این زمینه، براساس روش نواری (Strip Theory) برای بدست آوردن ضرایب معادلات حرکت شناور انجام پذیرفت ((Tasai 1959)، (Gerritsma 1967)، (Salvesen 1970) و (Schmithec 1979)) [۱] که امروزه بر این اساس برنامه های تجاری زیادی نوشته شده است. همراه با گسترش توان سخت افزاری و نرم افزاری کامپیوترها، استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به منظور محاسبه مستقیم نیرو و ممان های وارد بر شناور و حل معادلات حرکت نیوتن، موضوع اصلی کارهای تحقیقاتی در این زمینه بوده است. این کار با بیان امکان استفاده از روشهای مختلف، و مدل سازی های جریان پایدار و بدون سطح آزاد، تا مدلسازی حرکات شناور با شش درجه آزادی پیش رفته است [۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹]. بدین ترتیب و در طول زمان از روشهای متفاوتی برای بررسی رفتار شناور استفاده گردیده است، که می توان آنها را به صورت اندازه گیری حرکات شناور ساخته شده در ابعاد واقعی، انجام آزمایش بر روی مدل شناور در آزمایشگاه و روشهای عددی مدلسازی حرکات شناور تقسیم بندی نمود. هر کدام از روشهای یاد شده با محدودیت ها و مشکلات خاص خود مواجهند. روشهای عددی اگر چه تا حدودی به نتایج آزمایشگاهی وابستگی دارند، اما دقت قابل قبول و هزینه بسیار پائین تر کار با آنها، بر مقبولیت این روشها افزوده و مسیر تحقیقات در این راستا بر اساس دو مدل کلی تئوری پتانسیل (به کمک روشهای المان مرزی (Boundary Element) [۱۰] و تئوری نواری [۱۱]) و شکل کامل معادلات ناویر - استوکس (به کمک معادلات Reynolds RANS) (Averaged Navier-Stokes Equations) [۱۰] شکل گرفته است.



بررسی حرکت شناور در دریا را می توان به طور مشخص به سه بخش تخمین محیط دریا (طیف موج)، محاسبه پاسخ شناور (طیف حرکت) و در نهایت اعمال معیارهای حرکت شناور در دریا و محاسبه کارایی شناور تقسیم نمود. دقت در مدلسازی محیطی که شناور با آن مواجه می شود و اعمال فرضیات مناسب برای رسیدن به پاسخ شناور (موارد یک و دو)، در بررسی کارایی شناور (مورد سه) بر اساس معیارهای حرکت، اثر قابل توجهی دارند. این مقاله، با هدف معرفی روش تحلیل عملکرد شناور در دریا، گامهای محاسبه شاخص کارایی را بیان نموده و در نهایت با ارائه نمونه محاسبات در این زمینه، سعی در تشریح این موضوع دارد.

حرکات شناور در امواج

در بررسی رفتار شناور در دریا با فرض برقراری اصل بر هم نهی، امواج نامنظم دریا به صورت ترکیبی از امواج منظم (طیف موج) فرض می شوند و بدین ترتیب با شبیه سازی سطح دریا، به بررسی حرکت شناور در مواجهه با امواج منظم پرداخته و در نهایت از جمع آثار در رسیدن به پاسخ شناور در دریا استفاده می گردد. به بیان دیگر، نتایج حوزه زمان به کمک تحلیل فوریه به حوزه فرکانس تبدیل می شود [۱]. طیفهای استاندارد نیز در این زمینه مانند طیف Bretshneider، طیف JONSWAP و طیف Neumann وجود دارند که می توان با توجه به شرایط آب و هوایی و منطقه مورد نظر، به طور مستقیم از آنها بهره گرفت. در این حالت شناور را می توان به صورت یک عملگر در نظر گرفت که تابع انتقال آن (Response Amplitude Operator) RAO نام دارد. به بیان دیگر شناور ورودی محیط را گرفته و خروجی حرکات را بر اساس عملگر RAO می دهد. لازم به ذکر است که RAO برای هر درجه آزادی متفاوت بوده و به صورت جداگانه برای مرکز جرم شناور بدست می آید. از طرفی، برای اعمال محدودیتهای حرکت نیاز به دانستن حرکات شناور در نقاط مختلف (مثل پل فرماندهی) است، در حالیکه معادلات حرکت (و در نتیجه عملگر RAO) برای یک نقطه از شناور محاسبه می شوند. برای انتقال اطلاعات مربوط به جابجایی، سرعت و شتاب به یک نقطه خاص مثل $P(x_b, y_b, z_b)$ به ترتیب بر اساس روابط (۱)، (۲) و (۳) عمل می شود که در این روابط θ غلتش عرضی و ψ دوران قائم هستند [۱]:



$$x_p = x - y_b \psi + z_b \theta \quad (1)$$

$$\dot{x}_p = \dot{x} - y_b \dot{\psi} + z_b \dot{\theta} \quad (2)$$

$$\ddot{x}_p = \ddot{x} - y_b \ddot{\psi} + z_b \ddot{\theta} \quad (3)$$

معیارهای ارزیابی حرکات

معیارهای ارزیابی حرکات، در واقع محدوده قابل قبول حرکت را که محدودیتی برای انجام مأموریت شناور ایجاد نکند، تعیین می نمایند. برخی از این معیارها عبارتند از: دامنه مطلق حرکت (زاویه غلتش عرضی، زاویه غلتش طولی، جابجایی قائم نقاط روی عرشه)، سرعت و شتاب مطلق (دریا زدگی پرسنل، اسلیمینگ) و حرکات نسبی (خروج پروانه کشتی از آب، گرفتگی عرشه کشتی).

برای هر کدام از معیارهای ذکر شده، حد استاندارد در نظر گرفته شده است و براین اساس معیار کارایی شناور یا *SPI* (Seakeeping Performance Criteria) با روابط (۴) و (۵) محاسبه می شود:

$$SPI = \sum_{i=1}^n P_i \cdot OI_i \quad (4)$$

$$OI_i = \frac{\text{مساحت هاشور خورده به خاطر نقض معیارها}}{\text{مساحت کل}} \quad (5)$$

که در این روابط، P_i احتمال وقوع شرایط دریایی i ام از n وضعیت دریا و OI_i یا Operability Index نیز با توجه به نتایج مانند شکل ۱ که درصد عملیاتی بودن شناور را نشان می دهد بدست می آید. مساحت هاشور خورده در شکل ۱، بیانگر محدوده ای است که امکان انجام عملیات برای شناور، در آن شرایط وجود ندارد و به عبارت دیگر، در هر شرایط دریایی فقط منطقه هاشور نخورده بیانگر وضعیتی است که معیارهای حرکت نقض نشده اند.

نتایج عددی

در این قسمت با هدف روشن تر شدن بحث، با استفاده از نرم افزار SEAWAY [۱۲ و ۱۳] حرکات شناور در سرعتها و زوایای مختلف برخورد با امواج بدست آمده و با برنامه نویسی انجام شده نتایج عددی در دو بخش ارائه شده اند. نخست، با اعمال محدودیتهای حرکت بر اساس ایمنی کارکنان در پل فرماندهی،



شاخص کارایی محاسبه گردیده است. در ادامه نیز با تعریف نرخ دریازدگی (Sick Passenger Ratio) محاسباتی در این رابطه انجام شده است. مشخصات اصلی شناور Hollandia که محاسبات بر روی آن انجام شده است، در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات شناور کانتینربر Hollandia

L*B*T : 193.1* 30.8 * 10 m	ابعاد
35719 [m ³]	حجم غوطه وری
0.6006 [-]	ضریب ظرافت
0.9800 [-]	ضریب مقطع میانی
0.6129 [-]	ضریب منشوری طولی
0.7811 [-]	ضریب منشوری قائم
$k_{xx} = 12.3 m, k_{yy} = 48.275 m, k_{zz} = 48.275 m$	شعاع ژیراسیون

برای انجام محاسبات، از طیف موج دو متغیره Neumann [۱] با رابطه (۶) استفاده شده است :

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{3832 \cdot H_{1/3}^2}{T_z} \cdot \omega^{-6} \cdot \exp \left\{ \frac{-69/8}{T_z^2} \cdot \omega^{-2} \right\} \quad (6)$$

که در این رابطه $H_{1/3}$ و T_z ارتفاع و پریود مشخصه موج می باشند

موقعیت پل فرماندهی شناور Hollandia، به صورت $X = ۲۵$ متر، $Y = ۰$ متر و $Z = ۱۵$ متر نسبت به دستگاه مختصاتی که مرکز آن روی خط میانه شناور، در قسمت کف و در پاشنه باشد در نظر گرفته شده و به کمک نرم افزار SEAWAY حرکات در مرکز جرم شناور در سه شرایط دریایی نمونه (جدول ۲) و در همه جهات و محدوده سرعت مشخص محاسبه شده است. سپس با انتقال این نتایج به پل فرماندهی بر اساس برنامه نوشته شده، دو معیار غلتش عرضی ۶ درجه و شتاب قائم $g/۱۵$ اعمال گردیده است [۱۴]. شکل ۲ بیانگر نتایج اعمال دو معیار بیان شده در شرایط دریایی شماره سه (جدول ۲) می باشد. مساحت هاشور خورده در نمودار قطبی سرعت شکل ۲، بیانگر محدوده ای است که امکان عملیات شناور در آن ناحیه وجود ندارد. بدین ترتیب محدوده ای برای عملیات ایمن شناور تعیین می شود. تکرار رویه انجام شده برای دو شرایط دریایی دیگر ذکر شده در جدول ۲ نمودارهای قطبی مشابه شکل ۲ را نتیجه می دهد که به تصمیم گیری در رابطه با مسیرهای حمل و نقل و اصلاح مسیر، کمک فراوانی می نماید. همچنین بر اساس این نمودارها می توان در مرحله طراحی، با توجه به هدف کاری با تغییر شکل بدنه اثر محدودیت ها مورد نظر را



کاهش داد. بر اساس تعاریف انجام شده برای شاخص کارایی (رابطه ۴) و نمودارهای مشابه شکل ۲ برای دو شرایط دریایی دیگر ذکر شده در جدول ۲ می توان این معیار را محاسبه نمود. لازم به ذکر است که احتمال وقوع جهت ها و سرعتها در شرایط واقعی عملکرد متفاوت است، اما محاسبات انجام شده در این مقاله بر اساس احتمال وقوع یکسان جهات و سرعتهای متفاوت انجام پذیرفته است. وارد کردن اثر احتمالات بیان شده، اگرچه با پیچیدگی هایی همراه بوده و نیازمند اطلاعات مناسب دریایی است، اما منجر به واقعی تر شدن محاسبات انجام شده می گردد. شکل ۳ نمودار شاخص عملکرد را در سه شرایط دریایی ذکر شده و بر اساس دو معیار محدودیت غلتش عرضی و شتاب قائم نمایش می دهد. مشاهده می شود که در ارتفاع مشخصه حدود ۱۱ متر (شرایط دریایی ۳ در جدول ۲) کارایی شناور بسیار کم است. این بدان معناست که امکان عملکرد شناور در این شرایط دریایی با توجه به مشخصه کارایی پایین خواهد بود (حدود ۰.۵۰٪).

جدول ۲- شرایط نمونه دریایی در نظر گرفته شده برای بررسی عملکرد شناور Hollandia

No.	$H_{1/3}$ (m)	T_z (Sec)
1	5.24	10.15
2	5.69	10.72
3	11.06	13

دریازدگی به عنوان عمومی ترین بیماری دریایی شناخته شده است. پیش بینی احتمال وقوع این شرایط برای تصمیم گیری در انتخاب مسیرها در شناور ساخته شده و بهینه سازی بدنه در هنگام طراحی، با توجه به مسیرهای عبور و مرور از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا موسسه استاندارد انگلیس BS (British Standard) رویه ای به شرح ذیل را برای محاسبه نرخ بیماری مسافران (Sick Passenger Ratio) SPR پیشنهاد می کند [۱۵]:

۱- محاسبه شتاب قائم در یک شرایط دریایی بر اساس فرکانس برخورد $(a(\omega_e))$

۲- محاسبه تابع $G(\omega_e)$ که به فرکانسهای برخورد بر اساس اهمیت آنها وزن می دهد:

$$\begin{aligned}
 G(\omega_e) &= (\omega_e / 0.7)^{1.65} & \omega_e < 0.7 \text{ Rad / s} \\
 G(\omega_e) &= 1 & 0.7 < \omega_e < 1.7 \text{ Rad / s} \\
 G(\omega_e) &= (1.7 / \omega_e)^{2.85} & \omega_e > 1.7 \text{ Rad / s}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$



۳- محاسبه MSDV (Motion Sickness Dose Value) به شکل زیر:

$$MSDV = P.A.\sqrt{T} \quad (8)$$

که در این رابطه T مدت زمانی است که حرکت در آن اتفاق می افتد و A از رابطه (۹) بدست می آید:

$$A^2 = \int_0^{\infty} a^2(\omega_e).G^2(\omega_e).d\omega_e \quad (9)$$

در این رابطه P یک ثابت بوده و بسته به شرایط افراد به صورت (۱۱) تعریف می شود:

$P = 1$	فعالیت‌های روزانه	
$P = [1.5 - 2.5]$	غذا خوردن	(۱۰)
$P = [0.2 - 0.6]$	استراحت کردن	

۴- نهایتاً نرخ دریازدگی مسافران به صورت (۱۱) تخمین زده می شود:

$$SPR(\%) = 0.3.MSDV \quad (11)$$

اثر محدوده های فرکانسی مختلف بر روی انسان متفاوت است. این مساله در رابطه (۷) دیده می شود. همانگونه که در شکل ۴ نیز می توان ملاحظه نمود، از آنجا که بدن انسان به حرکات در محدوده فرکانسی بین ۰/۷-۱/۷ rad/s حساس تر است، اثر حرکات در این محدوده بیشتر می باشد.

در اینجا پس از محاسبه شتاب قائم در شرایط دریایی ۲ (جدول ۲) و انتگرال گیری از رابطه (۹)، نرخ دریازدگی مسافران برای سه موقعیت انجام فعالیت های روزانه، غذا خوردن و استراحت کردن (رابطه (۱۰)) پس از دو ساعت، محاسبه گردیده و در شکل ۵ نمایش داده شده است. همانگونه که در این نمودار مشاهده می شود، در حدود ۵۰٪ افرادی که مشغول خوردن هستند پس از دو ساعت دچار دریازدگی می شوند. به علاوه همانگونه که قابل پیش بینی نیز بود، احتمال وقوع دریازدگی در هنگام غذا خوردن بیش از دیگر حالتها می باشد. تکرار رویه بیان شده برای شرایط دریایی متفاوت، نقش تغییر شرایط محیطی را نیز بر دریازدگی روشن می سازد. این محاسبات به انتخاب مسیر و ارزیابی عملکرد شناور در شرایط دریایی متفاوت کمک نموده و همچنین در مراحل اولیه طراحی با توجه به مأموریت در بهینه سازی جانمایی و شکل بدنه برای به حداقل رساندن حرکات موثر می باشند.



نتیجه گیری

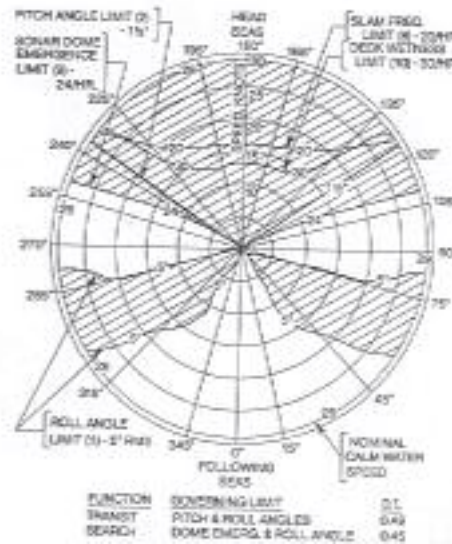
مدلسازی کامل حرکات شناور در امواج از ماهیت پیچیده ای برخوردار است. در این میان روشهایی وجود دارند که با انجام فرضیات مناسب و ساده سازی هایی به محاسبه جابجایی شناور پرداخته و امکان تحلیل حرکات را فراهم می آورند. معیارهای مختلف از قبیل دریازدگی، اسلمینگ و ... ، محدودیتهای حرکتی را بر شناور اعمال می کنند و بدین ترتیب کارایی شناور در شرایط دریایی مختلف تغییر می نماید. به بیان دیگر امکان عملیات همیشگی شناور در دریا به دلیل نقض برخی از معیارهای حرکت وجود ندارد. تحلیل طرح های مختلف در مراحل اولیه طراحی و بهینه سازی شکل بدنه تا رسیدن به حداقل های مورد نظر با محاسبه شاخص عملکرد، از مزیت های رویکرد بیان شده است . به علاوه امکان پیاده نمودن این ارزیابی در شناورهای ساخته شده، به منظور مدیریت مأموریت و انتخاب مناسب مسیره های حمل و نقل وجود دارد. بدین ترتیب شناور با بیشترین کارایی حرکت نموده و کمترین خسارت به شناور و خدمه آن وارد می شود.

مراجع

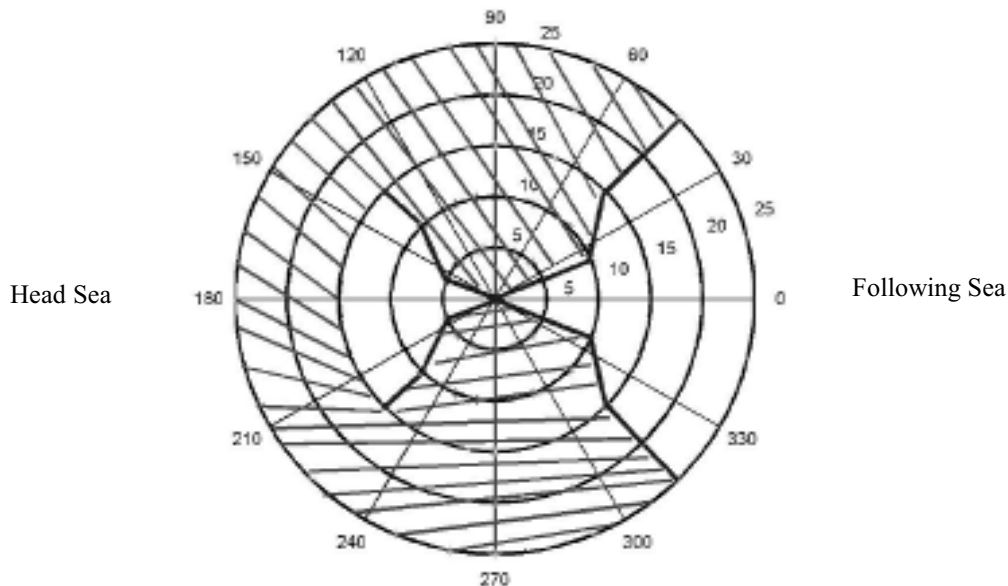
1. Journee, J., Massie, W., "Offshore hydromechanics", 1st Ed., Delf university of technology, 2001.
2. Miyata, H., Sato, T., Babo, N., "Difference solution of a viscous flow with free-surface wave about an advancing ship", J. computational physics, 72:393-421, 1987.
3. Kajitani, H., Kawashima, T., "Ships flow and resistance under sinkage and trim effects", Proc. Int. symposium on ship resistance and powering performance, Shanghai, 1989.
4. Miyata, H., Zho, M., Watanabe, O., "Numerical study on a viscous flow with free surface about a ship in steady straight course by a finite volume method", J. of ship research, Vol. 36, No. 4, pp. 332 -345, 1992.
5. Hochbaum, A.C., "A finite volume method for turbulent ship flows", Ship technology research Schiffstechnik, Hamburg, Germany, 1994.
6. Alessandrini, B., Delhommeau, G., "Simulation of three-dimensional unsteady viscous free surface flow around a ship model", Int. J. of numerical mathematics in fluids, 19:321-342, 1994.
7. Miyake, R., Kinoshita, T., Kagemoto, H., "Ship motions and loads in large waves", 23rd ONR symposium on naval hydrodynamics, Val de Reuil, France.
8. Azcueta, R., "Computation of turbulent free surface flow around ships and floating bodies", PhD Thesis, 2001.
9. Vogt, M., Hochbaum, A.C., "Numerical simulation of ship motions in head waves with a RANSE method", HSVA Report 1649, Hamburg, Germany, 2002.
10. Worbel, L., Aliabadi, M., "The boundary element method", John Wiley & Sons, 2002.
11. Ferziger, J., Peric, M., "Computational methods for fluid dynamics", Springer Verlag, 1996.
12. Journee, J., "Theoretical manual of SEAWAY", Release 4.19, 2001.



13. J. Journee, User manual of seaway, Release 4.19, 2001.
14. Faltinsen, O. M., Dyer, I., Taylor, R.E., "Sea loads on ships and offshore structures" Cambridge university press, 1st Ed.
15. British Standards Institution-BS 6841, "Measurement and evaluation of human exposure to whole - body mechanical vibration", London, 1987



شکل ۱- نمونه ای از نمودار محدوده عملیاتی حرکت شناور در یک شرایط دریایی [۱]



شکل ۲- محدودیت عملکرد شناور در سرعتها و جهت های مختلف بر اساس معیار غلتش عرضی و شتاب قائم برای

شرایط دریایی $H_{1/3} = 11.06m$ و $T_z = 13s$ (شعاع بیانگر سرعت شناور است)