

# تأثیر حرکات شناورها در انتخاب مسیر حمل و نقل دریایی

روزبه پناهی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

محمد سعید سیف، دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

E-mail: roozbeh\_panahi@yahoo.com

## چکیده

یافتن مناسب ترین مسیر در حمل و نقل های دریایی همواره از اهمیت بسیاری برخوردار بوده است. در حمل و نقل دریایی، مناسب ترین مسیر، لزوماً کوتاه ترین مسیر نبوده و متغیرهای مختلفی مثل ایمنی، مقدار سوخت مصرفی و ... با درجات اهمیت متفاوت در این تصمیم گیری نقش ایفا می کنند. به بیان دیگر، تنها با برقراری حالت بهینه ای از تمامی متغیرهای تأثیر گذار، مسیر بهینه مشخص می شود و در طول زمان احتمال تغییر آن وجود دارد. آشکار است که تخمین رفتار شناور در امواج و تحلیل آنها بر اساس معیارهای حرکت شناور، نقش بی بدیلی در راستای انتخاب مسیر مناسب ایفا می کند.

این مقاله به بیان جایگاه بررسی رفتار شناور در انتخاب مسیر حرکت پرداخته و با بیان روش کلی اعمال محدودیت های حرکت، از دو معیار شتاب قائم در پل فرماندهی و غلتش عرضی به منظور تحلیل حرکات استفاده نموده است. بر این اساس می توان به صورت مستمر، مسیر حرکت مناسب شناور در طی ساعات پیش رو را تشخیص و نهایتاً موجبات صرفه جویی در مصرف سوخت و سرعت در حمل و نقل را در عین حفظ ایمنی و برآورده شدن معیارهای حرکت فراهم آورد.

واژه های کلیدی: امواج دریا، انتخاب مسیر، حرکات کشتی، معیارهای حرکت

## ۱. مقدمه

مسیر به طور کلی عبارتند از: ایمنی، آسایش، سوخت مصرفی و زمان حمل و نقل که بسته به استراتژی کاری با وزنهای مختلف در تابع هدف ظاهر می شوند. بدیهی است که داشتن اطلاعات کامل از رفتار شناور در دریا از ملزومات اساسی بهینه سازی مسیر است که در دو بخش کاهش غیر ارادی سرعت ناشی از افزایش مقاومت و کاهش ارادی سرعت به واسطه خروج از محدوده های مجاز حرکت ظاهر می شود.

بررسی حرکت شناور در دریا نیازمند حل معادلات اساسی حرکت است. نخستین کارها در این زمینه، براساس روش نواری<sup>۱</sup> برای به

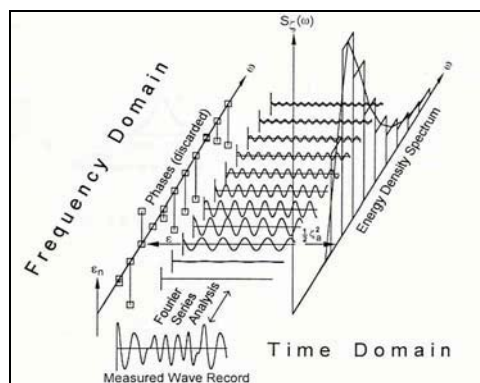
مسیر حرکت شناور، همواره به گونه ای طراحی می شود که مسافت مورد نظر را با حداکثر سرعت در عین حفظ ایمنی طی کند. این کار براساس نقشه ها و پیش بینی های آب و هوایی در مسافت های بیش از ۲۸۰۰ کیلومتر [۱]، که محدودیت انتخاب مسیرهای متفاوت وجود نداشته باشد (آبهای نامحدود) اثر خود را بر روی زمان و هزینه ها نشان می دهد. به این ترتیب با بررسی پیوسته مسیر حرکت و بر اساس اطلاعات جدید آب و هوایی، امکان تغییر مسیر در راستای بهینه نگه داشتن تابع هدف از پیش تعیین شده وجود خواهد داشت. عوامل تأثیر گذار در تابع طراحی

و نشان می دهد که برای حفظ ایمنی و آسایش در شرایط مختلف دریایی، تغییر سرعت و جهت حرکت چه نقشی ایفا می کند. بررسی حرکت شناور در دریا را می توان به طور مشخص به سه مرحله تقسیم نمود:

- ۱- تخمین محیط دریا (طیف موج)،
- ۲- محاسبه پاسخ شناور (طیف حرکت)،
- ۳- اعمال معیارهای حرکت شناور در دریا و تحلیل حرکات دقت در مدل سازی محیطی که شناور با آن مواجه می شود و اعمال فرضیات مناسب برای رسیدن به پاسخ شناور (موارد یک و دو)، در تحلیل رفتار شناور (مورد سه) اثر قابل توجهی دارند.

## ۲. امواج دریا

امواج دریا نامنظم بوده و طبیعتی تصادفی دارند. در بررسی رفتار شناور در دریا با فرض برقراری اصل بر هم نهی، امواج نامنظم به صورت ترکیبی از امواج منظم (طیف موج) فرض می شوند و به این ترتیب با شبیه سازی سطح دریا، حرکت شناور در مواجهه با امواج منظم بررسی شده و در نهایت از جمع آثار در رسیدن به پاسخ شناور در دریا استفاده می شود. به بیان دیگر، نتایج حوزه زمان به کمک تحلیل فوریه به حوزه فرکانس تبدیل می شود (شکل ۱).



شکل ۱. تبدیل حوزه زمان به حوزه فرکانس [۲]

طیفهای استاندارد در این زمینه تهیه گردیده است که می توان با توجه به شرایط آب و هوایی و منطقه مورد نظر، به طور مستقیم از آنها بهره گرفت. برخی از معروفترین این طیفها عبارتند از [۲]:

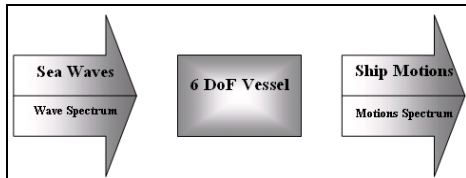
- طیف ITTC یا برتشنايدر (Bretshneider)
- طیف JONSWAP
- طیف Neumann

دست آوردن ضرایب معادلات حرکت شناور توسط تاسای (Tasai, 1959) انجام پذیرفت و در ادامه گریتسما (Gerritsma (1967, سالوسن (Salvesen, 1970) و اشمیتک (Schmithec (1979 رویکردهای مختلفی در این زمینه ارائه کردند [۲]. در سالهای اخیر تئوری روش نواری تغییر چندانی نکرده و برنامه های تجاری زیادی بر این اساس نوشته شده است که موضوع مشترک آنها، کار بر روی سرعت و دقت پاسخ 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، در بررسی جریان لزج اطراف شناور آغاز شد [۳] و با کاربرد این روشها در برخی جنبه های ساده تر، مثل بررسی دینامیکی تریم (Trim) شناور پیش رفت [۴]. در آغاز، تحقیقات معمولاً بر روی حالت پایدار حرکت شناور انجام می شدند [۵]، اما با تجربه های کسب شده و پیشرفت امکانات، موضوع تحقیقات به سمت حالت ناپایدار با درجات آزادی کمتر گسترش داده شد [۶ و ۷] و در نهایت حرکات شناور با شش درجه آزادی نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۸ و ۹ و ۱۰]. به این ترتیب و در طول زمان از روشهای متفاوتی برای بررسی رفتار شناور استفاده گردیده است که می توان آنها را به صورت کلی به سه دسته تقسیم نمود:

- اندازه گیری حرکات شناور ساخته شده در ابعاد واقعی
  - انجام آزمایش بر روی مدل شناور در آزمایشگاه
  - روشهای عددی و مدلسازی حرکات شناور
- هر یک از روشهای یاد شده با محدودیتها و مشکلات خاص خود مواجهند. روشهای عددی اگر چه تا حدودی به نتایج آزمایشگاهی وابستگی دارند، اما دقت قابل قبول و هزینه بسیار کمتر کار با آنها، بر مقبولیت این روشها افزوده و مسیر تحقیقات در این راستا، بر اساس دو مدل کلی زیر در حال توسعه است:
- مدل تابع پتانسیل (به کمک روشهای المان مرزی) [۱۱]
  - و تئوری نواری [۲].
  - مدل Reynolds Averaged Navier- RANSE (به کمک روشهای حجم محدود Stokes Equations) (به کمک روشهای حجم محدود Finite Volume) [۱۱].

این مقاله با بیان روشهای کلی بررسی حرکات شناور به اعمال برخی از محدودیتهای حرکت بر روی شناور Hollandia پرداخته

آزادی با هم کوپل بوده و بر روی هم مؤثرند. اما در عمل و در حالتی که شناور متقارن باشد، بسیاری از این اثرات قابل صرف نظرند. به این ترتیب حرکات صفحه قائم<sup>۴</sup>، حرکات صفحه عرضی<sup>۵</sup> و حرکت طولی<sup>۶</sup> معمولاً به صورت مستقل در نظر گرفته می شوند.



شکل ۲. شناور به عنوان یک عملگر

برای مثال معادلات کوپل حرکت قائم و غلتش طولی (حرکات صفحه قائم) به ترتیب با روابط (۱) و (۲) بیان می شوند:

$$(m + a_{33})\ddot{x}_3 + b_{33}\dot{x}_3 + c_{33}x_3 + a_{35}\ddot{x}_5 + b_{35}\dot{x}_5 + c_{35}x_5 = F_{30}\sin(\omega_e t + \alpha_3) \quad (1)$$

$$a_{53}\ddot{x}_3 + b_{53}\dot{x}_3 + c_{53}x_3 + (I_{55} + a_{55})\ddot{x}_5 + b_{55}\dot{x}_5 + c_{55}x_5 = F_{50}\sin(\omega_e t + \alpha_5) \quad (2)$$

در این روابط، زیر نویس ۳ معرف راستای حرکت قائم و ۵ معرف راستای غلتش طولی هستند. به علاوه  $a_{ij}$  جرم افزوده،  $b_{ij}$  میرایی،  $c_{ij}$  ضریب سختی،  $I_{ij}$  ممان افزوده،  $F_i$  دامنه نیروی موج وارد بر شناور،  $\omega_e$  فرکانس برخورد موج و  $\alpha$  تاخیر فاز است.

برای اعمال محدودیتهای حرکت نیاز به دانستن حرکات شناور در نقاط مختلف (مثل پل فرماندهی) است، در حالی که معادلات حرکت برای یک نقطه از شناور حل می شوند. برای انتقال جابه-جایی  $x_p$ ، سرعت  $\dot{x}_p$  و شتاب  $\ddot{x}_p$  به یک نقطه خاص مانند  $p(x_p, y_p, z_p)$  به صورت زیر عمل می شود [۱]:

$$x_p = x - y_p \psi + z_p \theta \quad (3)$$

$$\dot{x}_p = \dot{x} - y_p \dot{\psi} + z_p \dot{\theta} \quad (4)$$

$$\ddot{x}_p = \ddot{x} - y_p \ddot{\psi} + z_p \ddot{\theta} \quad (5)$$

عبارات کلیدی که در ارتباط با این طیفها مطرح می شود، عبارتند از:

- $H_{1/3}$  یا ارتفاع مشخصه موج: میانگین یک سوم بیشترین ارتفاع موجها است.

- $T_z$  (Zero-Crossing Period) یا پریود مشخصه موج: فاصله بین دو نقطه متوالی سری زمانی موج که محور صفر را قطع کرده و به طرف بالا یا پائین می روند می باشد.

شرایط مختلفی در دریا اتفاق می افتد که می توان آنها را براساس مقادیر ارتفاع مشخصه و پریود مشخصه از هم جدا نمود. ثبت این شرایط (مشابه جدول ۱) در انتخاب مناسب شرایط کاری (انتخاب  $H_{1/3}$  و  $T_z$ )، با توجه به احتمال وقوع آنها کارساز خواهد بود. به این ترتیب و با در دست داشتن این دو عدد، می توان طیف موج مناسبی را مشخص و تأثیر آن بر شناور را بررسی کرد.

به عبارت دیگر، هر کدام از این نوع جداول بیانگر احتمال وقوع یکی از شرایط دریایی (با ارتفاع و پریود مشخصه آن)، در مکان و زمان مشخص است.

جدول ۱. نمونه جداول آماری برای شرایط دریا [۱]

Total	0	1	10	73	210	286	236	120	50	14	0	1000
>14												0
13-14									1	1		2
12-13								1	1	1		3
11-12								1	2	1	1	5
10-11								1	2	2	2	8
9-10								2	4	4	2	13
8-9						1	3	6	7	4	1	22
7-8						2	6	11	10	5	2	36
6-7						4	12	19	14	8	2	59
5-6					1	8	24	31	22	8	2	96
4-5					2	17	43	44	25	8	2	141
3-4					6	37	66	53	14	6	1	183
2-3					1	16	63	76	46	14	3	220
1-2					4	33	66	49	17	4	1	174
0-1					1	5	15	12	4	1		38
												Total
												1000
												Total
												1000

مسلماً انتخاب جدول مناسب با توجه به مکان کار سازه مورد نظر یا مسیر حرکت کشتی مورد طراحی صورت می پذیرد. در صورت نبودن آمار و اطلاعات منطقه مورد نظر، لازم است از اندازه گیری امواج برای یک بازه زمانی قابل قبول استفاده شود.

### ۳. پاسخ شناور

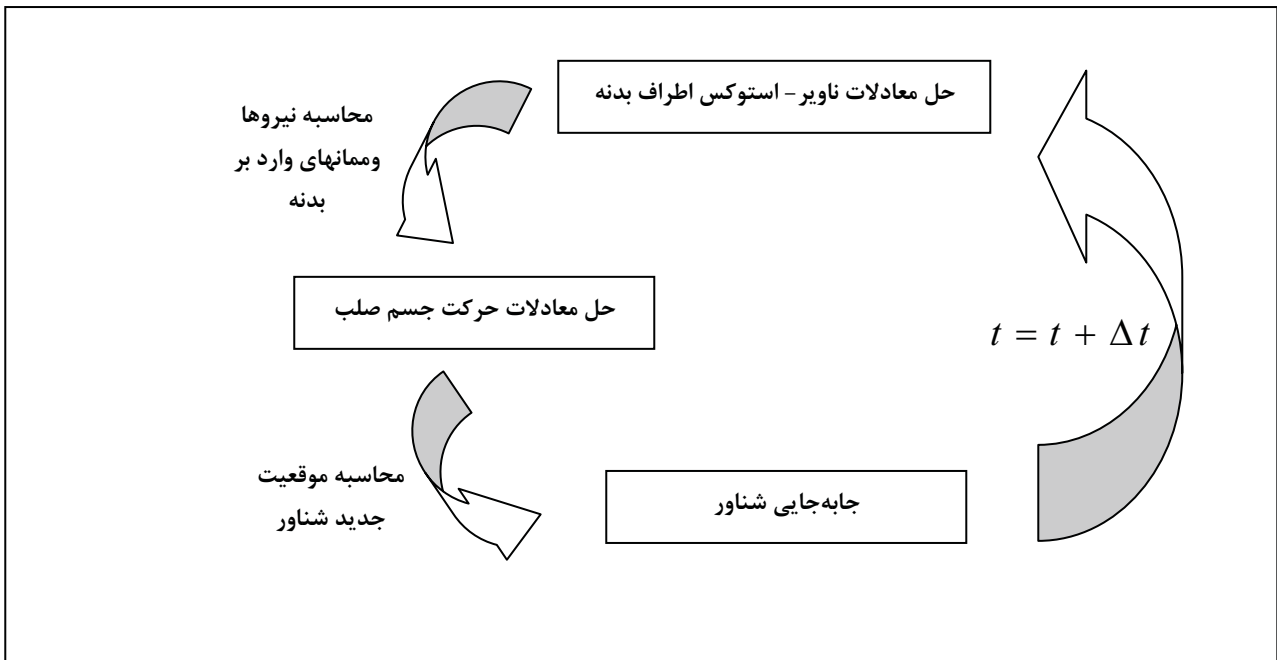
همان طور که در شکل ۲ دیده می شود، می توان شناور را می توان به صورت یک عملگر در نظر گرفت. تابع انتقال این عملگر  $RAO^3$  نام دارد، که برای هر درجه آزادی متفاوت بوده و باید به نحو مناسبی به دست آید. در حالت کلی تمامی درجات

که در این روابط  $\theta$  غلتش طولی شناور و  $\psi$  دوران قائم است. دو روش اصلی تعیین رفتار و حرکات شناور (حل معادلات حرکت) عبارتند از:

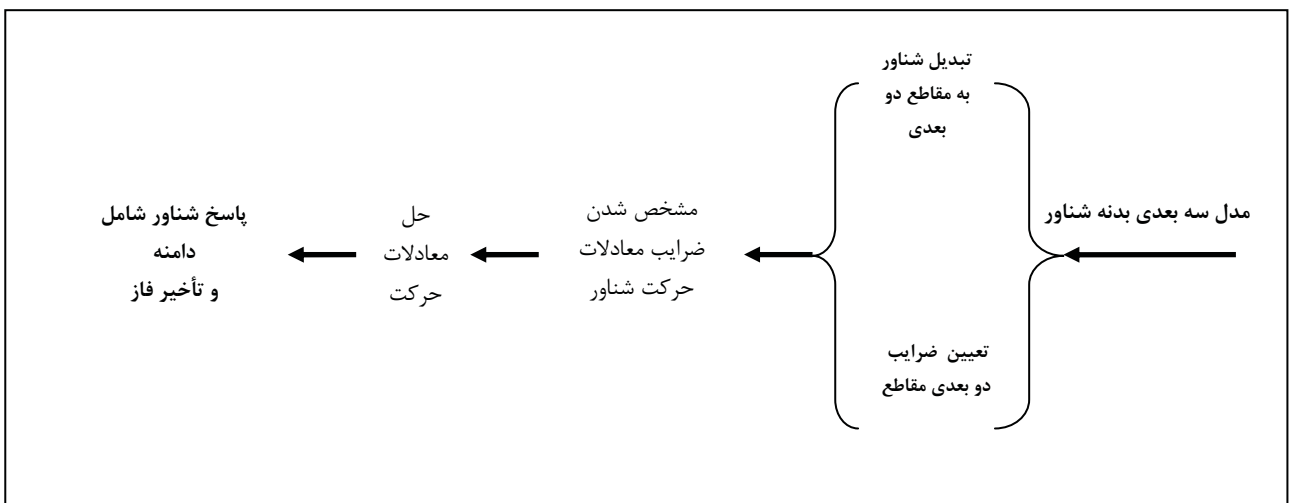
- بررسی در حوزه زمان
- بررسی در حوزه فرکانس

در روشهای حوزه زمان، با گذشت زمان  $\Delta t$  به محاسبه نیروها و ممانهای وارد بر شناور پرداخته و به کمک معادلات تغییر اندازه

حرکت خطی و زاویه‌ای موقعیت جدید شناور محاسبه می‌شود (شکل ۳). روشهای حوزه فرکانس ساده تر بوده و به محاسبات کمتری نیاز دارند. بیشتر این روشها از تئوری نواری بهره می‌برند که با تبدیل شناور به مقاطع دو بعدی و با داشتن ضرایب این مقاطع، به انتگرال روی بدنه پرداخته و ضرایب معادلات حرکت را محاسبه می‌نمایند (شکل ۴).



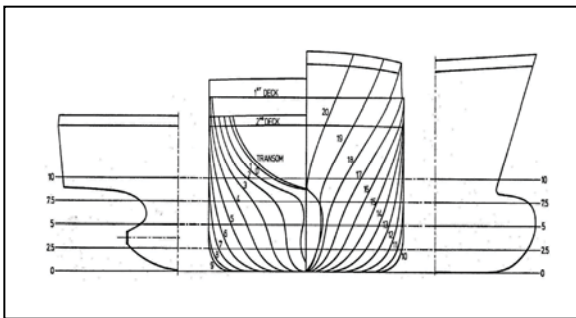
شکل ۳. بررسی رفتار شناور در طول زمان



شکل ۴. بررسی رفتار شناور در حوزه فرکانس (اساس روش نواری)

جدول ۲. مشخصات شناور کانتینربر Hollandia

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



شکل ۵. خطوط بدنه و مقاطع شناور Hollandia

برای انجام محاسبات، امواج دریا به صورت طیف موج Neumann با رابطه (۶) در نظر گرفته شده‌اند:

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{3832 H_{1/3}^2}{T_z} \cdot \omega^{-6} \cdot \exp\left\{\frac{-69.8}{T_z^2} \cdot \omega^{-2}\right\} \quad (6)$$

که در این رابطه  $\omega$  فرکانس موج و  $S_{\zeta}(\omega)$  طیف موج است. همان طور که دیده می‌شود، رابطه (۶) یک طیف موج دو متغیره است، بدین معنا که با داشتن دو عدد ارتفاع و پریود مشخصه موج، به ازای فرکانس‌های مختلف، یک طیف موج را ایجاد می‌کند.

برای بررسی رفتار شناور در دریا معمولاً طیف حرکت شناور محاسبه می‌شود. در این قسمت با فرض این که شناور کانتینر بر با سرعت ۱۰ نات حرکت و با زاویه ۱۳۵ درجه با امواجی در شرایط دریایی  $H_{1/3} = 10.25m, T_z = 10.50s$  برخورد کند، طیف شش درجه آزادی حرکت شناور که با رابطه (۷) تعریف می‌شود، رسم شده است.

بیشتر نرم افزارهای تجاری بر اساس حوزه فرکانس نوشته شده و روشهای مبتنی بر حوزه زمان بیشتر جنبه تحقیقاتی دارند.

#### ۴. معیارهای بررسی حرکات

معیارهای بررسی حرکات، در واقع محدوده قابل قبول حرکت را که محدودیتی برای انجام مأموریت شناور ایجاد نکند، تعیین می‌کنند. اساس این محدودیتها، تصمیم آسایش ایمنی و عدم خسارت به شناور است.

برخی از این معیارها عبارتند از:

دامنه مطلق حرکت

- زاویه غلتش عرضی
- زاویه غلتش طولی
- جابه‌جایی قائم نقاط روی عرشه
- سرعت و شتاب مطلق
- دریا غلتش عرضی
- اسلمینگ (slamming)

حرکات نسبی

- خروج پروانه کشتی از آب
- آب گرفتگی عرضه کشتی

#### ۵. نتایج عددی

در این قسمت با هدف روشن تر شدن بحث، با استفاده از نرم افزار SEAWAY (نرم افزار حوزه فرکانسی) و برنامه نوشته شده، محاسباتی بر روی یک شناور کانتینربر Hollandia انجام گرفته و نتایج آن ارائه شده است [۱۳، ۱۴]. نرم افزار SEAWAY یک برنامه کامپیوتری محاسبه حرکات شناور در شش درجه آزادی است که بر اساسی تئوری نواری تهیه شده است. این برنامه مبتنی بر فرض تابع پتانسیل بوده و برای عمق مختلف آب نیز قابل استفاده است. در استفاده از این برنامه با انتخاب طیف موج اعمالی به شناور، سرعت و جهت حرکت شناور و وارد کردن نقاط مورد نظر شناور که نیاز به انجام محاسبه در آنها وجود دارد، کار پیش می‌رود.

مشخصات اصلی شناور کانتینربر Hollandia که محاسبات بر روی آن انجام شده است، در جدول ۲ ارائه شده و خطوط بدنه شناور نیز در شکل ۵ نمایش داده شده است.

می‌شود. این اتفاق، با خروج کامل سینه شناور و برخورد مجدد با امواج اتفاق می‌افتد (شکل ۸ و جدول ۳) و پیامد آن، تغییر فشار محلی بر روی ورق بدنه و ارتعاش داخلی است که در خستگی سازه تأثیرگذار است. فشار ضربه ای اسلمینگ تحت تأثیر عوامل زیادی است. برخی از آنها عبارتند از: شکل بدنه در محل برخورد، سرعت نسبی بین شناور و آب، زاویه نسبی بین کیل شناور (keel) و آب، انعطاف پذیری محلی ورق کف بدنه و انعطاف پذیری سازه شناور [۱۳].

اوچی (Ochi 1964) و کنولی (Conolly, 1974) دو معیار مختلف برای بررسی اسلمینگ پیشنهاد داده‌اند. تفاوت این دو تعریف در وارد نمودن نقش سرعت پیشروی شناور و تعریف سرعت بحرانی شناور است. با فرض اینکه  $S = \zeta_{xb} - z + x_b \theta$  جابه‌جایی نسبی قائم شناور و  $\zeta_{xb} = \zeta_a \cos(\omega_e t - x_b k \cos \mu)$  پروفیل موج باشد (شکل ۸)، با توجه به نقش سرعت پیشروی  $V$ ، سرعت نسبی به صورت رابطه (۸) در تعریف اوچی و رابطه (۹) در تعریف کنولی می‌باشد [۱۳]:

$$\dot{S} = \dot{\zeta}_{xb} - \dot{z} + x_b \cdot \dot{\theta} + V \cdot \theta \quad (8)$$

با معیار سرعت بحرانی  $\dot{S}_{cr} = 0.0928 \sqrt{gL}$  و

$$\dot{S} = \dot{\zeta}_{xb} - \dot{z} + x_b \cdot \dot{\theta} \quad (9)$$

$$\dot{S}_{cr} = \sqrt{\frac{2P_{cr}}{\rho c_p}} \quad \text{با معیار سرعت بحرانی}$$

به این ترتیب احتمال وقوع اسلمینگ با رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$(10) P\{slam\} = P\{S_a > D_s\} \cdot P\{\dot{S}_a > \dot{S}_{cr}\}$$

که در این رابطه  $(S @ 0.9L)$  و  $S_a$  و  $D_s$  آبخور شناور است.

به بیان دیگر رابطه (۱۰) احتمال وقوع اسلمینگ را با وقوع دو شرط گذر از سرعت بحرانی و خروج سینه شناور از آب پیش بینی می‌کند:

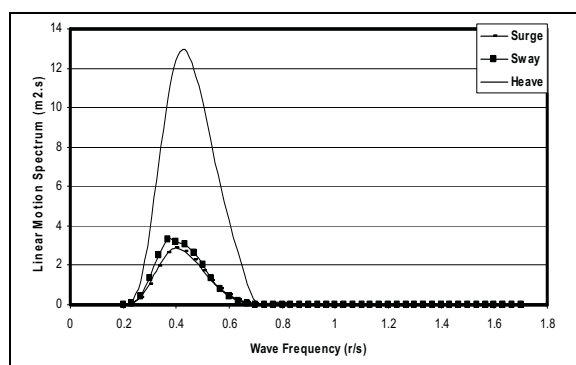
$$(11)$$

احتمال وقوع اسلمینگ = احتمال گذر از سرعت بحرانی

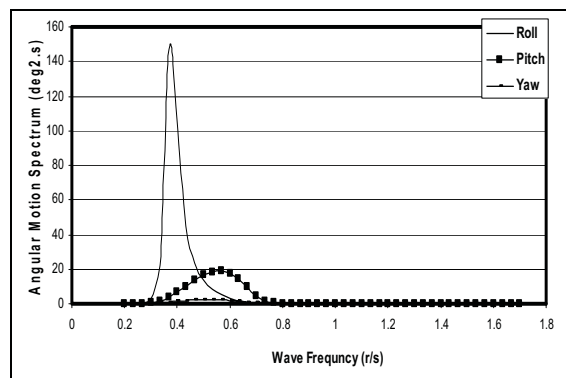
× احتمال خارج شدن سینه شناور

$$S_x(\omega) = \left(\frac{x_a}{\zeta_a}\right)^2 \cdot S_\zeta(\omega) \quad (7)$$

که در این رابطه  $x_a$  دامنه حرکت،  $\zeta_a$  دامنه موج و  $S_x(\omega)$  طیف حرکت است. اشکال ۶ و ۷ نتایج به دست آمده برای حرکات را با توجه به رابطه (۷) نمایش می‌دهند. همان طور که دیده می‌شود، حرکات قائم و غلتش عرضی شناور بیشترین مقادیر را در بین طیفهای حرکت دارند. از طرفی فرکانس بیشینه طیف حرکات خطی تقریباً در یک محدوده ( $0/35 - 0/45$  r/s) واقع شده‌اند. حرکت غلتش قائم شناور نیز همان گونه که از قبل نیز قابل پیش بینی بود، با توجه به جهت برخورد امواج کمترین اثر را در بین درجات آزادی شناور داراست.



شکل ۶. نمودارهای طیف حرکات خطی شناور در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه



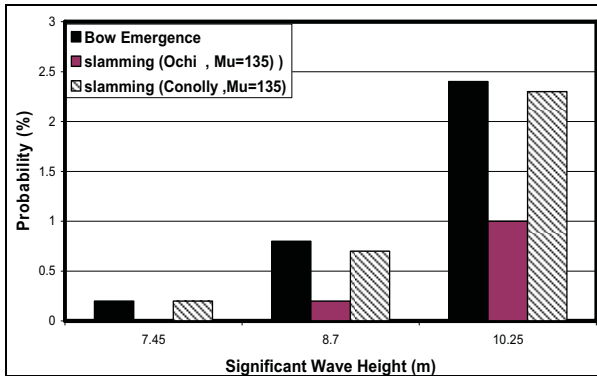
شکل ۷. نمودارهای طیف حرکات زاویه ای شناور در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه

با چنین اطلاعاتی در رابطه با حرکات شناور در امواج و با اعمال محدودیتهای حرکت، تصمیم گیری های اساسی در رابطه با مسیر حرکت اتخاذ می‌شود. برای مثال اسلمینگ، یکی از مهم ترین معیارهای بررسی عملکرد شناور در دریا است که بیشتر شدن آن از تعداد مجاز موجب تغییر سرعت و جهت حرکت شناور

## تأثیر حرکات شناور در انتخاب مسیر حمل و نقل دریایی

- تغییر جهت شناور در برخورد با امواج از وقوع اسلمینگ می‌کاهد.
- احتمال وقوع اسلمینگ پیش بینی شده توسط معیار کنولی در شرایط دریایی مشابه، بیش از مقدار پیش بینی شده با معیار اوچی است (ناشی از در نظر گرفتن اثر سرعت پیشروی در تعریف اسلمینگ)

لازم به ذکر است که خروج سینه شناور از آب به تنهایی عامل وقوع اسلمینگ نبوده و به عبارت دیگر وقوع همزمان آن با رسیدن به معیار بحرانی سرعت (که بر اساس سرعت و یا فشار تعریف می‌شود (جدول ۳)، اسلمینگ را ایجاد می‌کند. این موضوع در شکل ۱۱، با مقایسه احتمال خارج شدن سینه شناور از آب و وقوع اسلمینگ با دو معیار اوچی و کنولی در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه، برای شرایط دریایی، دیده می‌شود.



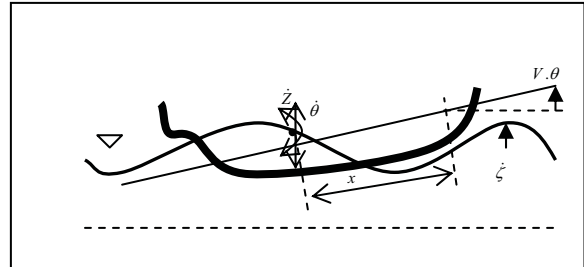
شکل ۱۱. خارج شدن سینه شناور از آب و وقوع

اسلمینگ در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه

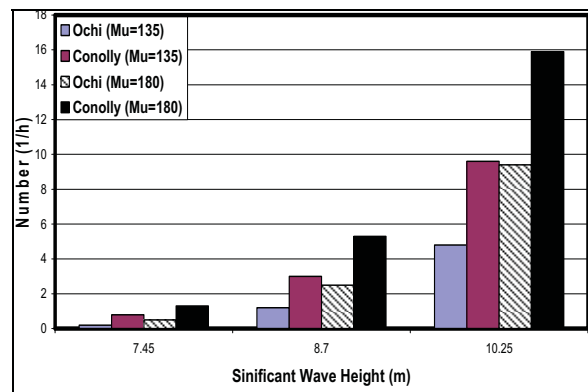
جدول ۳. برخی محدودیت‌های حرکت شناور [۲]

حرکت	شناور تجاری	شناور جنگی	شناور تندرو کوچک
شتاب قائم در عمود سینه $RMS$	۰/۲۷۵g ( $100 < \text{طول}$ ) ۰/۰۵۰g ( $330 > \text{طول}$ )	۰/۲۷۵g	۰/۶۵g
شتاب قائم در پل $RMS$ فرماندهی	۰/۱۵g	۰/۲g	۰/۲۷۵g
شتاب عرضی $RMS$	۰/۱۲g	۰/۱g	۰/۱g
غلشش عرضی $RMS$	۶ درجه	۴ درجه	۴ درجه
احتمال وقوع اسلمینگ	۰/۰۳ ( $100 < \text{طول}$ ) ۰/۰۱ ( $300 > \text{طول}$ )	۰/۰۳	۰/۰۳
احتمال خیس شدن عرشه	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

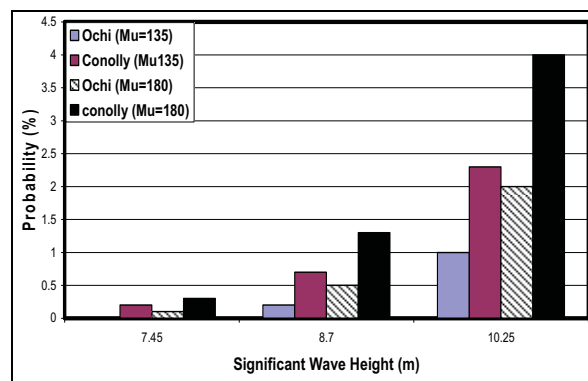
بر این اساس، وقوع اسلمینگ در دوازده شرایط دریایی مختلف، برای دو زاویه برخورد ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه برای شناور مورد نظر که با سرعت ۱۰ نات پیشروی می‌کند، محاسبه و با هم مقایسه شده‌اند (شکل ۹ و ۱۰).



شکل ۸. جابه‌جایی نسبی شناور



شکل ۹. تعداد اسلمینگ



شکل ۱۰. احتمال اسلمینگ

- برخی از نکات قابل ذکر در رابطه با این نمودارها عبارتند از:
- اسلمینگ از شرایط دریایی با ارتفاع مشخصه حدود هفت متر آغاز می‌شود.
  - وقوع اسلمینگ در زاویه برخورد ۱۸۰ درجه، در شرایط دریایی مشابه، بیش از زاویه ۱۳۵ درجه است.

## ۶. نتیجه گیری

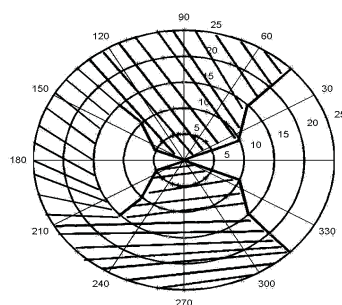
انتخاب مسیر مناسب حرکت شناور در دریا کاری پیچیده‌ای است و نیازمند بررسی پیوسته شرایط و کسب اطلاعات محیطی است. این نوع تحلیل بی‌شک توان کامپیوتری بسیار و اطلاعات مناسب محیطی را می‌طلبد. در این بین، بررسی حرکات شناور در دریا که نقش مهمی در یافتن مسیر مناسب دارد، با توجه به ماهیت غیرخطی و نامنظم امواج، موضوعی پیچیده بوده و تلاش‌های بسیاری برای تدوین روش‌های قابل اطمینان در این خصوص صورت گرفته است.

به بیان دیگر، مدل سازی حرکت شناور در امواج و اعمال محدودیت‌های حرکت بر روی این رفتارها، با توجه به وزن عوامل مختلف در تابع هدف، تغییر مسیر را در راستای بر آوردن حداقل معیارهای حرکتی، در پی داشته و تصمیم‌گیری در انتخاب مسیر را سازماندهی می‌کند.

مدل ارائه شده می‌تواند در صورت دسترسی به نتایج هواشناسی و دانستن رفتار شناور در هر یک از شرایط دریایی، به صورت مستمر برای ساعات حرکت پیش روی شناور، وضعیت را تجزیه و تحلیل نموده و سپس نتایج را ارائه کند. مسلماً این نتایج باید در یک حلقه بهینه سازی مورد بررسی قرار گیرد تا مسیر و سرعت حرکت برای بازه زمانی مورد نظر تعیین شوند.

## ۷. مراجع

1. Journée, J.M.J. and Meijers, J.H.C. (1980) "Ship routing for optimum performance", transactions IME, 21 February 1980 Conference on Operation of Ships in Rough Weather.
2. Journee, J., Massie, W. (2001) "Offshore hydromechanics", 1st Ed, Delft University of Technology, [www.ocp.tudelf.nl/mt/journee/Files](http://www.ocp.tudelf.nl/mt/journee/Files).
3. Miyata, H., Sato, T. and Babo, N. (1987) "Difference solution of a viscous flow with free-surface wave about an advancing ship, Journal of Computational Physics", 72: pp.393-421.
4. Kajitani, H. and Kawashima, T. (1989) "Ships flow and resistance under sinkage and trim effect", Proceedings. International.



شکل ۱۲. اعمال محدودیت حرکت غلتش عرضی و شتاب قائم در

$$\text{شرایط دریایی } H_{\frac{1}{3}}=11.06m, T_z=13s$$

در شرایط دریایی بد، حرکات شدید شناور عملکرد افراد را محدود و در مواردی مختل می‌کند.

بر این اساس محدودیت‌هایی برای حرکات شناور در نظر گرفته می‌شود. نمونه این معیارهای حرکت در جدول ۴ دیده می‌شود. در اینجا، با حل معادلات حرکت برای مرکز جرم شناور در شرایط دریایی  $H_{\frac{1}{3}}=11.06m, T_z=13s$  حرکات شناور به کمک نرم‌افزار SEAWAY محاسبه شده است. در ادامه و بر اساس رابطه (۵)، شتاب قائم پل فرماندهی با مختصات زیر محاسبه شده است:

$$X=25 \text{ متر از پاشنه شناور}$$

$$Y=\text{متر از خط تقارن شناور}$$

$$Z=15 \text{ متر از پاشنه شناور}$$

با در نظر گرفتن معیار محدودیت شتاب قائم  $0.15g$  برای پل فرماندهی شناور و محدودیت حرکت غلتش عرضی  $6^\circ$  درجه، نمودار قطبی سرعت (شکل ۱۲) برای محدوده سرعت  $20-0 \text{ kn}$  و تمامی جهات رسم شده است.

بخش‌های هاشور خورده شکل ۱۲، در واقع بیانگر جهت‌ها و سرعت‌هایی هستند که در صورت عملکرد در این حالت‌ها، محدوده‌های حرکتی انتخاب شده رعایت نمی‌شوند. دیده می‌شود که در برخی موارد تنها با تغییر جهت شناور نسبت به امواج و بدون نیاز به کاهش سرعت، امکان گذر از شرایط بحرانی وجود دارد.

این تغییر جهات و سرعتها با در نظر گرفتن تابع هدف انتخاب مسیر شناور توجه پیدا می‌کنند و در برخی موارد به کاهش سرعت و در شرایط دیگر به تغییر جهت می‌انجامند.



10. Vogt, M., Hochbaum, A.C. (2002) "Numerical simulation of ship motions in head waves with a RANSE method", HSVA Report 1649, Hamburg, Germany.
11. Worbel, L., Aliabadi, M. (2002) "The boundary element method", John Wiley & Sons.
12. Ferziger, J., Peric, M. (1996), "Computational methods for fluid dynamics", Springer Verlag.
13. Journee, J. (2001) "Theoretical manual of SEAWAY", Release 4.19, www.ocp.tudelf.nl/mt/journee.
14. Journee, J. (2001) "User manual of SEAWAY", Release 4.19, www.ocp.tudelf.nl/mt/journee.
5. Miyata, H., Zho, M., Watanabe, O. (1992) "Numerical study on a viscous flow with free surface about a ship in steady straight course by a finite volume method", Journal of Ship Research, Vol. 36, No. 4, pp. 332-345.
6. Hochbaum, A.C. (1994) "A finite volume method for turbulent ship flows", Ship Technology Research Schiffstechnik, Hamburg, Germany.
7. Alessandrini, B. and Delhommeau, G. (1994) "Simulation of three-dimensional unsteady viscous free surface flow around a ship model" International Journal of Numerical Methods for Fluids, Vol. 1, pp321-342.
8. Miyake, R., Kinoshita, T., Kagemoto, H. (2000) "Ship motions and loads in large waves", 23<sup>rd</sup> ONR Symposium. on Naval Hydrodynamics., Val de Reuil , France.
9. Azcueta, R. (2001) "Computation of turbulent free surface flow around ships and floating bodies", PhD Thesis, Teschnichen Universitat Hamburg-Harburg.

#### پانویس ها

- 1- Strip Theory
- 2- Boundary Element
- 3- Response Amplitude Operator
- 4- Heave, Pitch
- 5- Sway, Roll, Yaw
- 6- Surge

# Effect of Motions Evaluation in Ship Routing

*R. Panahi, Research Assistant, Department of Mechanics, Sharif University of Technology*  
*M. S. Seif, Associate Professor, Department of Mechanics, Sharif University of Technology*  
*E-mail: roozbeh-panahi@yahoo.com*

## **ABSTRACT**

In specified limits of weather and sea conditions, the term optimum transportation is used to address maximum safety and crew comfort, minimum fuel consumption, minimum time underway, or any desired combination of these factors. Before defining such a goal function to optimize the transportation, one has to know about the ship reaction in waves. In other words, ship motions evaluation in different sea conditions is the base of ship routing.

In this paper slamming rules as an important criterion in ship motions and its probability is investigated and predicted. By applying different motion's constraints, evaluation of ship motions is also applicable. Limitations in maximum vertical acceleration of bridge and maximum roll angle are considered as the main criteria and speed polar diagram is plotted according to such restrictions. This yields the regions with minimum risk of damage and maximum safety. It must be remembered that the general method presented here, is also applicable for other sea keeping criteria and all types of floating bodies.

**Keywords:** Ship routing, slamming, vertical acceleration, bridges, safety