



## مدلسازی و ارزیابی عملکرد شناورها در امواج دریا

روزبه پناهی<sup>۱</sup>، محمد سعید سیف<sup>۲</sup>

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

[Roozbeh\\_Panahi@yahoo.com](mailto:Roozbeh_Panahi@yahoo.com)

### چکیده

با توجه به اینکه بررسی رفتار شناور در امواج در چرخه طراحی یک کشتی اهمیت قابل توجهی دارد، تحقیقات گسترده ای در رابطه با روشهای پرداختن به این موضوع، بالا بردن دقت و کاستن از محدودیت های موجود، همراه با توسعه منابع سخت افزاری، در حال انجام است. در تحلیل حرکات شناور با اعمال شرایط امواج دریا بر روی شناور، به رسم نمودارهای مختلف پرداخته و بکمک معیارهای حرکت کشتی، رفتار آن مورد تحلیل قرار می گیرد. بدین ترتیب، نتایج در مرحله طراحی اعمال و تغییرات لازم در طرح اعمال می گردد. همچنین برای کشتی ها و سازه های دریایی موجود نیز تحلیل حرکات می تواند به تخمین شرایط عملکردی کمک نماید. در این مقاله، با بیان مختصر روشها و امکانات تحلیل، نتایج بدست آمده برای یک شناور کانتینربر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و برخی نتایج کاربردی ارائه شده اند. اسلمینگ بعنوان یک معیار اصلی مورد استفاده قرار گرفته و با استفاده از شیوه های مختلف احتمال وقوع آن بررسی شده است. روش معرفی شده در مقاله کلی بوده و میتوان آن را برای معیارهای دیگر و یا ترکیب آنها بکار برد.

### علائم اختصاری

$\omega$ : فرکانس موج	$Tz$ : پیروود مشخصه موج
$\omega_e$ : فرکانس برخورد موج با شناور	$a_{ij}$ : جرم افزوده
$\alpha$ : تاخیر فاز پاسخ شناور	$I_{ij}$ : ممان افزوده
$H_{1/3}$ : دامنه مشخصه موج	$b_{ij}$ : میرایی
$S_x(\omega)$ : طیف موج	$V$ : سرعت پیشروی شناور
$S_x(\omega)$ : طیف پاسخ شناور	$C_{ij}$ : ضریب سختی
$S$ : جابجایی نسبی شناور	$F_i$ : دامنه نیروی امواج بر شناور
$\zeta_a$ : دامنه موج	$\dot{S}$ : سرعت نسبی شناور
$\theta$ : غلتش طولی شناور	$p_{cr}$ : فشار بحرانی (معیار اسلمینگ)
$x_b$ : مختصه X مرکز بویانسی	$D_s$ : آبخور شناور

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شریف

۲. دانشیار دانشگاه صنعتی شریف



## کلمات کلیدی

امواج دریا، حرکات کشتی، معیارهای حرکت

### مقدمه

حرکت یک شناور در دریا با توجه به مسائل زیر از اهمیت بالایی برخوردار است:

- 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
- ایمنی شناور بر اساس معیارهای موجود (محاسبه شتابها، وقوع اسلیمینگ (Slamming)، وضعیت افراد، بارهای روی عرشه و ...)

بررسی حرکت شناور در دریا نیازمند حل معادلات اساسی حرکت می باشد. نخستین کارها در این زمینه، براساس روش نواری (Strip Theory) برای بدست آوردن ضرایب معادلات حرکت شناور توسط تاسای (Tasai ۱۹۵۹) انجام پذیرفت و در ادامه گریتسما (Gerritsma ۱۹۶۷)، سالوسن (Salvesen ۱۹۷۰) و اشمیتک (Schmithec ۱۹۷۹) رویکردهای مختلفی در این زمینه ارائه دادند [۱]. در سالهای اخیر تئوری روش نواری تغییر چندانی نکرده و برنامه های تجاری زیادی براین اساس نوشته شده است که موضوع مشترک آنها، کار بر روی سرعت و دقت پاسخ می باشد. 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 گردید [۲] و با کاربرد این روشها در برخی جنبه های ساده تر، مثل بررسی دینامیکی تریم (Trim) شناور پیش رفت [۳]. در آغاز، تحقیقات معمولاً بر روی حالت پایدار حرکت شناور انجام می پذیرفت [۴]، اما با تجربه های کسب شده و پیشرفت امکانات، موضوع تحقیقات به سمت حالت ناپایدار با درجات آزادی کمتر گسترش داده شد [۵ و ۶] و در نهایت حرکات شناور با شش درجه آزادی نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۷ و ۸]. بدین ترتیب و در طول زمان از روشهای متفاوتی برای بررسی رفتار شناور استفاده گردیده است، که می توان آنها را به صورت کلی زیر دسته بندی 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 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، بمرقبولیت این روشها افزوده و مسیر تحقیقات در این راستا، بر اساس دو مدل کلی زیر در حال توسعه می باشد:



• مدل تابع پتانسیل (به کمک روشهای المان مرزی (Boundary Element) [۱۰] و تئوری نواری (Strip Theory) [۱]).

• مدل (Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations) RANSE (به کمک روشهای حجم محدود (Finite Volume) [۱۰]).

در این مقاله و با هدف معرفی روش بررسی رفتار شناور در دریا، به بیان مراحل این روش پرداخته شده و در نهایت با ارائه نمونه محاسبات در این زمینه، که به کمک نرم افزار SEAWAY انجام شده است، سعی در روشن نمودن ابعاد، نتایج بحث و نحوه بکارگیری آن در ارزیابی عملکرد شناورها وجود دارد. بررسی حرکت شناور در دریا را می توان به طور مشخص به سه بخش زیر تقسیم نمود:

۱- تخمین محیط دریا (طیف موج)

۲- محاسبه پاسخ شناور (طیف حرکت)

۳- بررسی معیارهای حرکت شناور در دریا و کارایی شناور

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) اثر قابل توجهی دارند.

## امواج دریا

امواج دریا نامنظم بوده و طبیعتی تصادفی دارند. در بررسی رفتار شناور در دریا با فرض برقراری اصل بر هم نهدی، امواج نامنظم به صورت ترکیبی از امواج منظم (طیف موج) فرض میشوند 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 (شکل ۱). 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 [۱]:

• طیف ITTC یا برتشنايدر (Bretshneider)

• طیف JONSWAP

• طیف Neumann

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، میباشد .

شرایط مختلفی در دریا اتفاق می افتد (Sea States)، 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  $H_{1/3}$ ،  $T_z$ )، با



توجه به احتمال وقوع آنها کارساز خواهد بود. بدین ترتیب و با در دست داشتن این دو عدد، می توان طیف موج مناسبی را مشخص و تأثیر آن بر شناور را بررسی نمود.

به عبارت دیگر، هر کدام از این نوع جداول بیانگر احتمال وقوع یک شرایط دریایی (با ارتفاع و پریود مشخصه آن)، در مکان و زمان مشخص می باشد. مسلماً انتخاب جدول مناسب با توجه به مکان کار سازه مورد نظر یا مسیر حرکت کشتی مورد طراحی صورت می پذیرد. در صورت عدم وجود آمار و اطلاعات منطقه مورد نظر، لازم است تا از اندازه گیری امواج برای یک بازه زمانی قابل قبول استفاده شود.

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	1		8
9-10						2	4	4	2	1		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	1		220
1-2			4	33	66	49	17	4	1			174
0-1	1		5	15	12	4	1					38
	<4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	>13	Total

## پاسخ شناور

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می شود، می توان شناور را به صورت یک عملگر در نظر گرفت. تابع انتقال این عملگر RAO (Response Amplitude Operator) نام دارد، که برای هر درجه آزادی متفاوت بوده و باید به نحو مناسبی بدست آید.

در حالت کلی تمامی درجات 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 نظر می باشند. بدین ترتیب حرکات صفحه قائم (Heave, Pitch)، حرکات صفحه عرضی (Sway, Roll, Yaw) و حرکت طولی (Surge) معمولاً به صورت مستقل در نظر گرفته می شوند. برای مثال معادلات کوپل حرکت قائم و غلتش طولی به شکل زیر خواهد بود:

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

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

شکل ۴ بیانگر شش درجه آزادی شناور 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 می‌گردد (شکل ۴). روشهای حوزه فرکانس ساده تر بوده و به محاسبات کمتری نیاز دارند. بیشتر این روشها از تئوری نواری (Strip Theory) 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 ۵).

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

### معیارهای بررسی حرکات

معیارهای بررسی حرکات، در واقع محدوده قابل قبول حرکت را که محدودیتی برای انجام مأموریت شناور ایجاد

نکند، تعیین می‌نمایند.

برخی از این معیارها عبارتند از:

$\left. \begin{array}{l} \text{زاویه غلتش عرضی} \\ \text{زاویه غلتش طولی} \\ \text{جابجایی قائم نقاط روی عرشه} \end{array} \right\}$	دامنه مطلق حرکت
$\left. \begin{array}{l} \text{دریا زدگی پرسنل} \\ \text{اسلمینگ (Slamming)} \end{array} \right\}$	سرعت و شتاب مطلق
$\left. \begin{array}{l} \text{خروج پروانه کشتی از آب} \\ \text{آب گرفتگی عرشه کشتی} \end{array} \right\}$	حرکات نسبی

ماهیت آماری تحلیل حرکات شناور، تخمین عملیاتی بودن شناور (Operability) را نتیجه می‌دهد و مقایسه بین طرحهای مختلف را ممکن می‌سازد. برای هر کدام از معیارهای ذکر شده، حد استاندارد در نظر گرفته می‌شود و براین اساس معیار کارایی شناور یا SPI (Seakeeping Performance Criteria) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$SPI = \frac{\text{زمان ممکن برای انجام مأموریت}}{\text{کل زمان}} \quad (3)$$

برای محاسبه این نسبت، با توجه به احتمال نقض هر یک از معیارها، SPI با رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

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

که در این رابطه  $P_i$ ، احتمال وقوع معیار  $i$  ام از  $n$  معیار مورد نظر است.  $OI_i$  یا Operability Index نیز با توجه به نتایجی مانند شکل ۷ که درصد عملیاتی بودن شناور را نشان میدهد بدست می‌آید. مقدار  $OI_i$  نیز با رابطه (۵) تعریف می‌شود:

مساحت هاشور خورده به خاطر نقض معیارها

مساحت کل



$$OI_i = \text{-----} \quad (5)$$

مساحت هاشور خورده در شکل ۶، 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 (نرم افزار حوزه فرکانسی) محاسباتی بر روی یک شناور کانتینر بر انجام شده و نتایج آن ارائه می شود [۱۳ و ۱۲].  
نرم افزار SEAWAY یک برنامه کامپیوتری محاسبه حرکات شناور در شش درجه آزادی می باشد که بر اساسی تئوری نواری تهیه شده است. این برنامه مبتنی بر فرض تابع پتانسیل بوده و برای عمقهای مختلف آب نیز قابل استفاده می باشد. 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 می رود.  
مشخصات اصلی شناور کانتینربر Hollandia که محاسبات بر روی آن انجام شده است، در جدول ۲ ارائه شده است. فرم بدنه شناور نیز در شکل ۷ نمایش داده شده است.

جدول ۲ - مشخصات شناور کانتینربر Hollandia

L*B*T : ۱۹۳.۱*۳۰.۸*۱۰ m	ابعاد
۳۵۷۱۹	حجم
۰.۶۰۰۶	ضریب ظرافت
۰.۹۸۰۰	ضریب مقطع میانی
۰.۶۱۲۹	ضریب منشوری طولی
۰.۷۸۱۱	ضریب منشوری قائم
$k_{xx} = 12.3 m, k_{yy} = 48.275 m, k_{zz} = 48.275 m$	شعاع ژیراسیون

برای انجام محاسبات، امواج دریا بصورت طیف موج Neumann با رابطه (۶) در نظر گرفته شده اند :

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

همانطور که دیده میشود، رابطه فوق یک طیف موج دو متغیره میباشد، بدین معنا که با داشتن دو عدد دامنه مشخصه و پریود مشخصه موج، به ازای فرکانسهای مختلف، یک طیف موج را ایجاد می نماید. این طیف برای ۱۲ شرایط دریایی جدول ۳، در شکل ۸، رسم شده است.

از میان شش درجه آزادی حرکت شناور، سه درجه آزادی (جابجایی قائم، غلتش طولی و غلتش عرضی)، به خاطر داشتن نیرو و یا ممان برگرداننده هیدرواستاتیکی، ماهیتی نوسانی داشته و در نتیجه فرکانس طبیعی برای آنها قابل تعریف است. در بسیاری از موارد، دوره تناوب این درجات آزادی در محدوده دوره تناوب امواج دریا قرار گرفته و بدین



ترتیب بر اهمیت موضوع افزوده می‌گردد. جدول ۴ بیانگر فرکانس و دوره تناوب طبیعی شش درجه آزادی بدست آمده، برای شناور کانتینربر Hollandia می باشد.

جدول ۳ - ۱۲ شرایط دریایی

No.	$H_{\frac{1}{3}} (m)$	$T_z (s)$
۱	۱.۱۰	۵.۸۰
۲	۱.۲۰	۵.۹۰
۳	۱.۴۰	۶.۰۰
۴	۱.۷۰	۶.۱۰
۵	۲.۱۵	۶.۵۰
۶	۲.۹۰	۷.۲۰
۷	۳.۷۵	۷.۸۰
۸	۴.۹۰	۸.۴۰
۹	۶.۱۰	۹.۰۰
۱۰	۷.۴۵	۹.۶۰
۱۱	۸.۷۰	۱۰.۱۰
۱۲	۱۰.۲۵	۱۰.۵۰

جدول ۴- فرکانسهای طبیعی برای شش درجه آزادی شناور Hmllandia

حرکت	فرکانس طبیعی (rad /s)	پریود طبیعی (s)
Surge	—	—
Sway	—	—
Heave	۰.۸۰۱	۷.۸۵
Roll	۰.۴۲۳	۱۴.۸۴
Pitch	۰.۸۴۷	۷.۴۱
Yaw	—	—

برای بررسی رفتار شناور در دریا معمولا طیف حرکت شناور محاسبه میشود. در این قسمت با فرض اینکه شناور کانتینربر با سرعت ۱۰ kn حرکت می نماید و با زاویه ۱۳۵ درجه با امواجی در شرایط دریایی شماره ۱۲



رابطه (۷) تعریف می‌گردد، رسم شده است. ( شکل ۹ )، طیف شش درجه آزادی حرکت شناور که با  $(H_{1/3} = 10.25 m, T_z = 10.50 s)$  برخورد می‌کند ( شکل ۹ )، طیف شش درجه آزادی حرکت شناور که با

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

اشکال ۱۰ و ۱۱ نتایج بدست آمده برای حرکات را با توجه به رابطه (۷) نمایش می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود، حرکات قائم و غلتش عرضی شناور بیشترین مقادیر را در بین طیفهای حرکت دارند. از طرفی فرکانس ماکزیمم طیف حرکات خطی تقریباً در یک محدوده  $(0.35 - 0.45 \text{ T/S})$  واقع شده است. حرکت غلتش قائم شناور نیز همانگونه که از قبل نیز قابل پیش بینی بود، با توجه به جهت برخورد امواج کمترین اثر را در بین درجات آزادی شناور داراست.

در این قسمت اسلمینگ، بعنوان یکی از معیارهای بررسی عملکرد شناور در دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسلمینگ، یکی از مهم ترین معیارهای حرکت شناورها می باشد که با خروج کامل سینه شناور و برخورد مجدد با امواج اتفاق می افتد (شکل ۱۲). پیامد این پدیده، تغییر فشار محلی بر روی ورقه بدنه و ارتعاش داخلی می باشد که در خستگی سازه تأثیرگذار است. فشار ضربه ای اسلمینگ تحت تأثیر عوامل زیادی، مثل شکل بدنه در محل برخورد، سرعت نسبی بین شناور و آب، زاویه نسبی بین کیل (keel) و آب، انعطاف پذیری محلی ورق کف بدنه و انعطاف پذیری سازه شناور، قرار دارد [۱۲]. اوچی (Ochi ۱۹۶۴) و کنولی (Conolly ۱۹۷۴) پدیده اسلمینگ را به ترتیب بر اساس معیار سرعت و فشار تعریف کردند (جدول ۵).

بر این اساس، وقوع اسلمینگ در ۱۲ 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 شده اند (شکل ۱۳).

#### جدول ۵- احتمال وقوع اسلمینگ

$\{ \text{جابجایی نسبی قائم (شکل ۱۲)} \} = S = \zeta_{xb} - z + x_b \cdot \theta$ ; $\{ \text{پروفیل موج} \} = \zeta_{xb} = \zeta_a \cos(\omega_e t - x_b k \cos \mu)$	
<p><b>Ochi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• عدم تأثیر سرعت پیشروی، در سرعت نسبی قائم</li> </ul> $\dot{S} = \dot{\zeta}_{xb} - \dot{z} + x_b \cdot \dot{\theta}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• معیار سرعت بحرانی، بر اساس آستانه سرعت:</li> </ul> $\dot{S}_{cr} = 0.0928 \sqrt{gL}$	<p><b>Conolly</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• تأثیر سرعت پیشروی، در سرعت نسبی قائم</li> </ul> $\dot{S} = \dot{\zeta}_{xb} - \dot{z} + x_b \cdot \dot{\theta} + V \cdot \theta$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• معیار سرعت بحرانی براساس ضریب فشار و فشار بحرانی</li> </ul> $\dot{S}_{cr} = \sqrt{\frac{2P_{cr}}{\rho c_p}}$
<p>احتمال گذر از حد بحرانی شرط سرعت نسبی قائم <math>\times</math> احتمال خارج شدن سینه = {احتمال وقوع اسلمینگ}</p> $\Rightarrow P\{slam\} = P\{S_a > D_s\} \cdot P\{\dot{S}_a > \dot{S}_{cr}\}$ <p>{تعداد اسلمینگ در ساعت} = <math>N_{hr} = \frac{3600}{T} \cdot P\{Slam\}</math></p> <p>{<math>S_a</math>: (<math>S @ 0/9L</math>) ; <math>D_s</math>: (آبخور)}</p>	

برخی از نکات قابل ذکر در رابطه با این نمودارها عبارتند از:

- اسلمینگ تنها از شرایط دریایی ۱۰ به بعد  $(H_{1/3} \geq 7 m)$ ، وجود خواهد داشت.





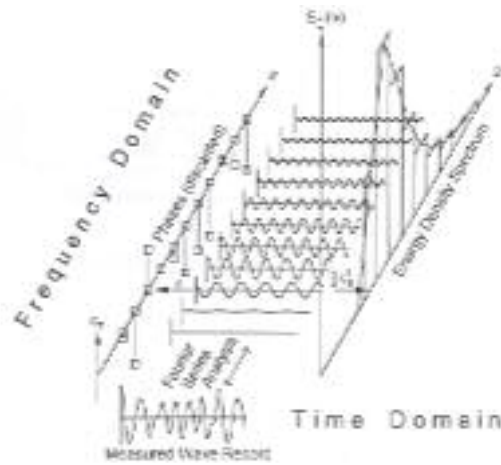
- وقوع اسلمینگ در زاویه برخورد ۱۸۰ درجه، در شرایط دریایی مشابه، بیش از زاویه ۱۳۵ درجه است.
  - تغییر جهت شناور در برخورد با امواج از وقوع اسلمینگ میکاهد.
  - احتمال وقوع اسلمینگ با معیار کنولی در شرایط دریایی مشابه، بیش از مقدار پیش بینی شده با معیار اوچی میباشد (ناشی از در نظر گرفتن اثر سرعت پیشروی در سرعت نسبی قائم).
- لازم به ذکر است که خروج سینه شناور از آب به تنهایی عامل وقوع اسلمینگ نیست و به عبارت دیگر وقوع همزمان آن با رسیدن به معیار بحرانی سرعت (که بر اساس سرعت و یا فشار تعریف میگردد (جدول ۵))، باعث اسلمینگ میشود. این موضوع در شکل ۱۴، 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.

### نتیجه گیری

بررسی حرکات شناور در دریا با توجه به ماهیت غیر خطی و نامنظم امواج، موضوعی پیچیده بوده و تلاشهای بسیاری برای تدوین روشهای قابل اطمینان در این خصوص صورت گرفته است. در این مقاله با تکیه بر روش نواری (Strip Theory) و معرفی شاخص عملکرد در امواج (SPI)، محدوده مناسب عملکردی تعریف گردیده و با این روش میتوان عملکرد یک شناور را قبل از ساخت پیش بینی نمود. طبیعتاً روش فوق برای یک شناور ساخته شده نیز کاربرد داشته و کارایی آن را در شرایط دریایی مختلف ارزیابی مینماید.

### مراجع

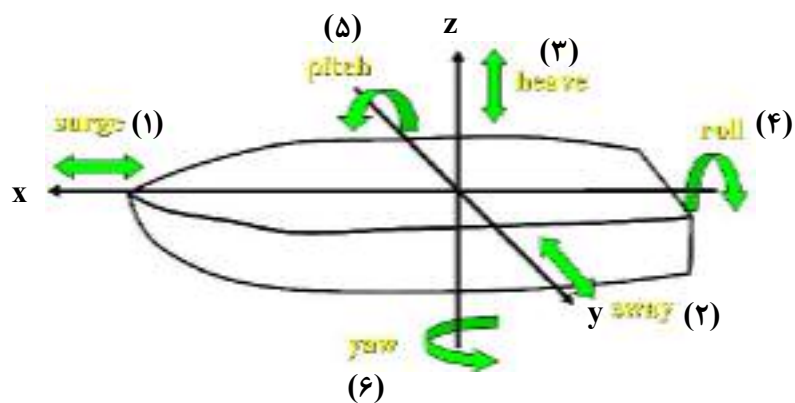
۱. J. Journee, W. Massie, Offshore Hydromechanics, 1<sup>st</sup> ed, ۲۰۰۱.
۲. H. Miyata, T. Sato and N. Babo, Difference solution of a viscous flow with free-surface wave about an advancing ship, J. Comput. Phys., ۷۲:۳۹۳-۴۲۱, ۱۹۸۷.
۳. H. kajitani and T. Kawashima, Ships flow and resistance under sinkage and trim effects, Proc. Inter. Sympo. on Ship Resistance and Powering Performance, Shanghai, ۱۹۸۹.
۴. H. Miyata, M. Zho, O. Watanabe, 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. ۳۶, No. ۴, ۱۹۹۲, pp. ۳۳۲-۳۴۵.
۵. A. Cura Hochbaum, A finite volume method for turbulent ship flows, Ship Technology Research Schiffstechnik, Hamburg, Germany, ۱۹۹۴.
۶. B. Alessandrini and G. Delhommeau, Simulation of three-dimensional unsteady viscous free surface flow around a ship model. Int. J. Num. Meth. Fluids, ۱۹:۳۲۱-۳۴۲, ۱۹۹۴.
۷. R. Miyake, T. Kinoshita, H. Kagemoto, Ship Motions and loads in large waves, ۲۳<sup>rd</sup> ONR Symp. on Naval Hydrodyn., Val de Reuil, France.
۸. R. Azcueta, Computation of turbulent free surface flow around ships and floating bodies, PhD Thesis, ۲۰۰۱.
۹. M. Vogt, A. Cura Hochbaum, Numerical simulation of ship motions in head waves with a RANSE method, HSVA Report ۱۶۴۹, Hamburg, Germany, ۲۰۰۲.
۱۰. L. Worbel, M. Aliabadi, The Boundary Element Method, John Wiley & Sons, ۲۰۰۲.
۱۱. J. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer Verlag, ۱۹۹۶.
۱۲. J. Journee, Theoretical manual of seaway, Release ۴, ۱۹, ۲۰۰۱.
۱۳. J. Journee, User manual of seaway, Release ۴, ۱۹, ۲۰۰۱.



شکل ۱- تبدیل حوزه زمان به حوزه فرکانس [۱]

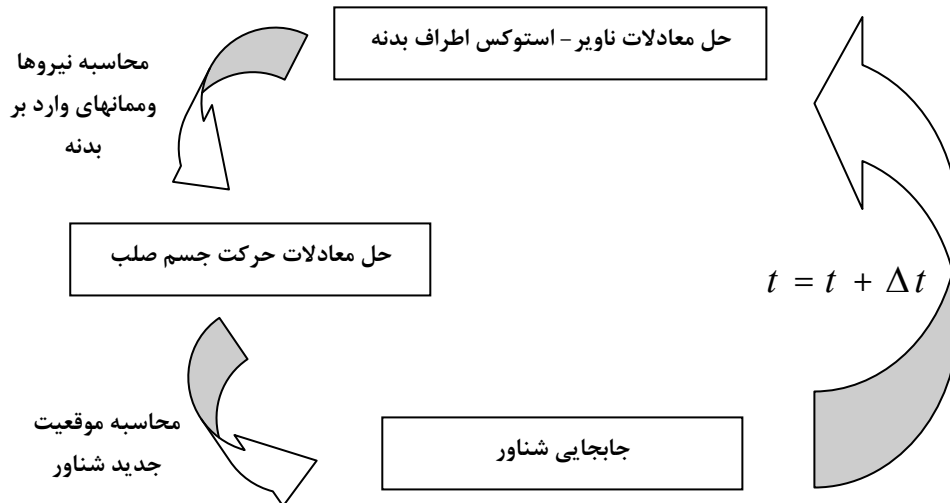


شکل ۲- شناور به عنوان یک عملگر

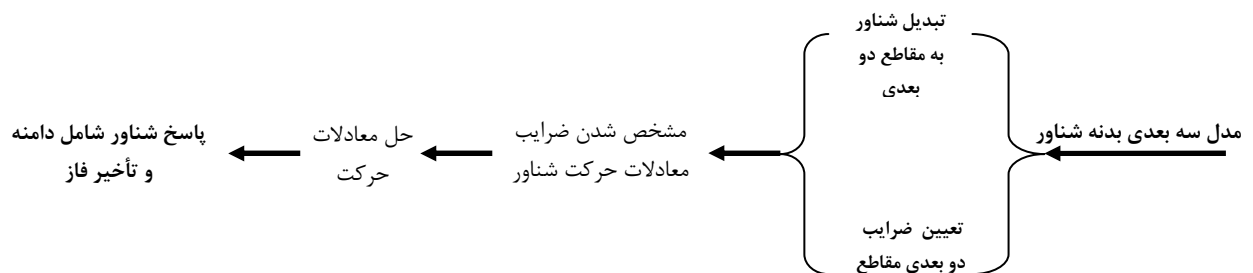




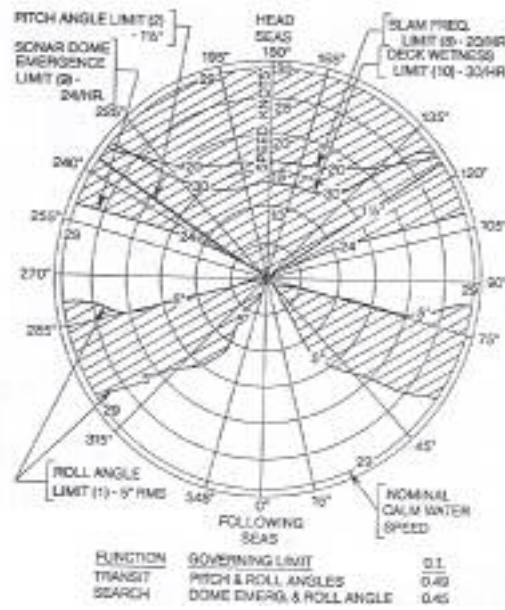
شکل ۳- شش درجه آزادی حرکت



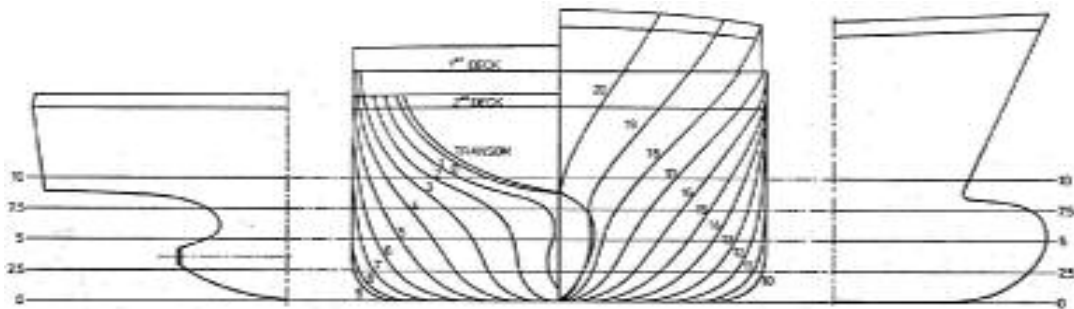
شکل ۴- بررسی رفتار شناور در حوزه زمان



شکل ۵- اساس روش نواری (Strip Theory)

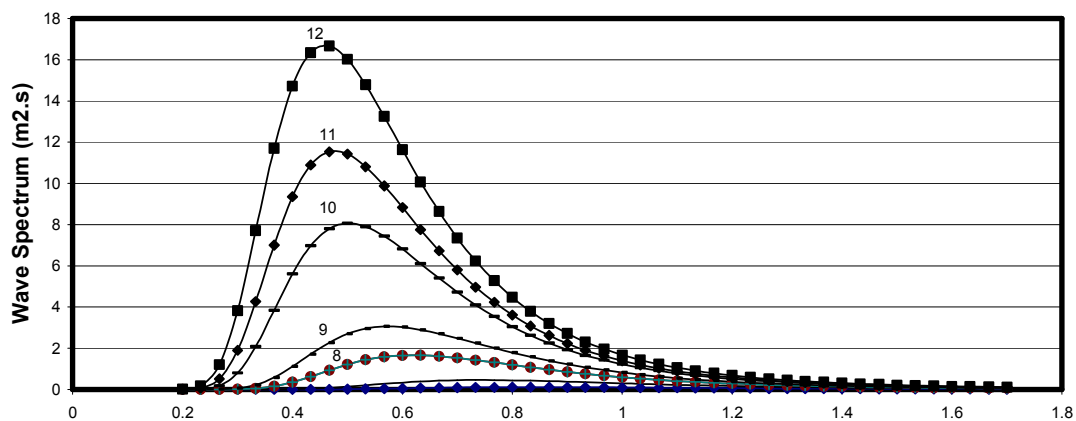


شکل ۶- نمونه ای از نمودار محدوده عملیاتی حرکت یک شناور برای یک شرایط دریایی



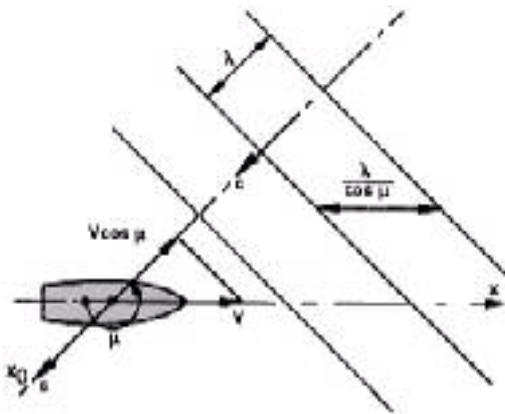
شکل ۷- خطوط بدنه و مقاطع شناور Hollandia

Neumann Wave Spectrum

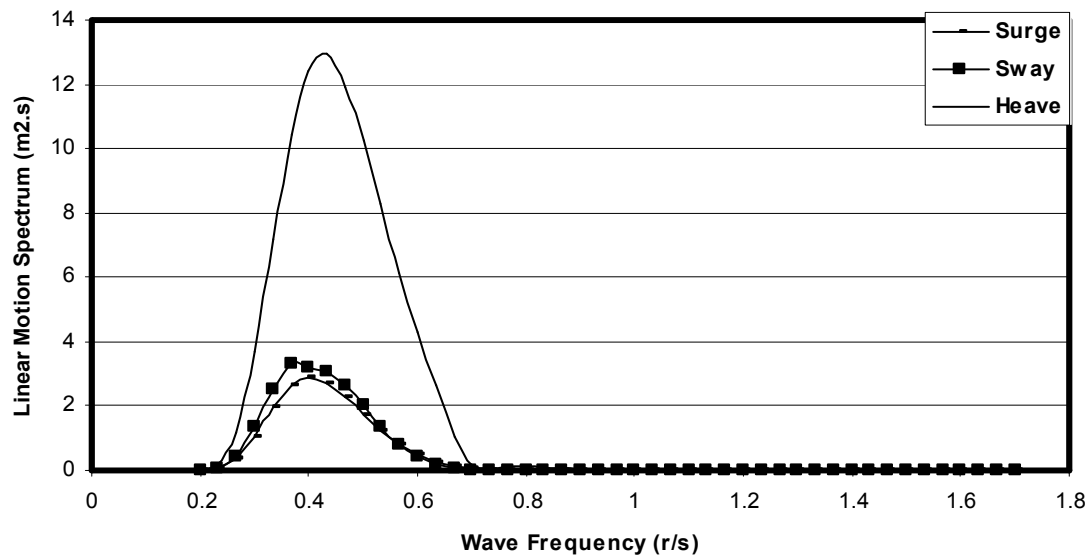




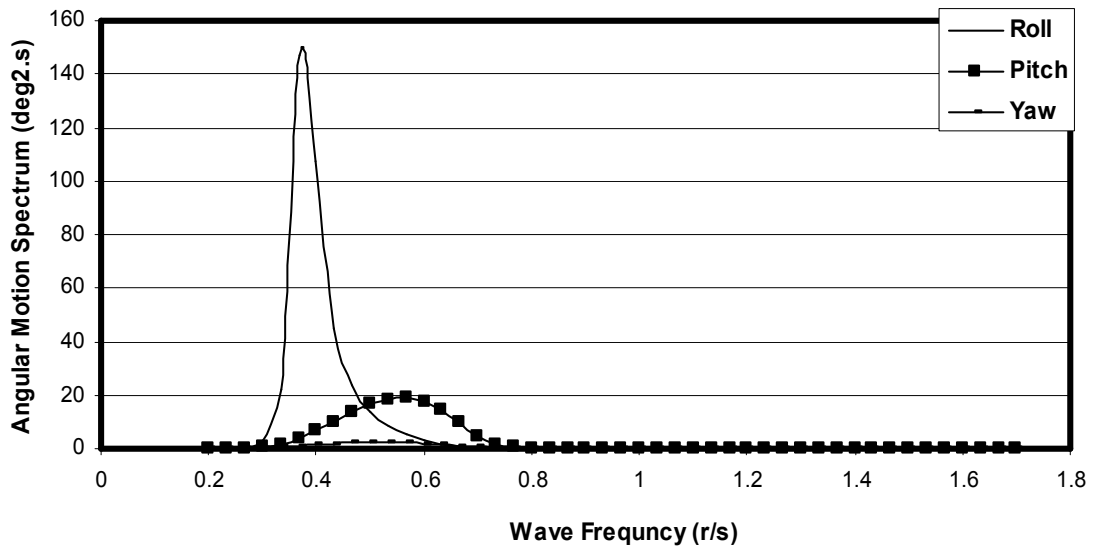
شکل ۸- طیف امواج Neumann برای ۱۲ شرایط دریایی مختلف



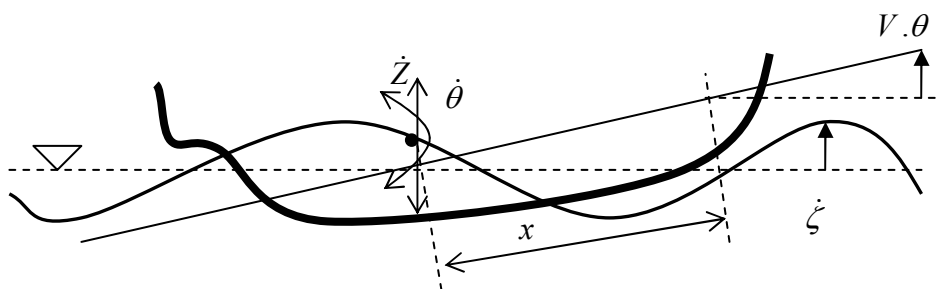
شکل ۹- زاویه برخورد امواج  $\mu$  و سرعت پیشروی شناور  $V$



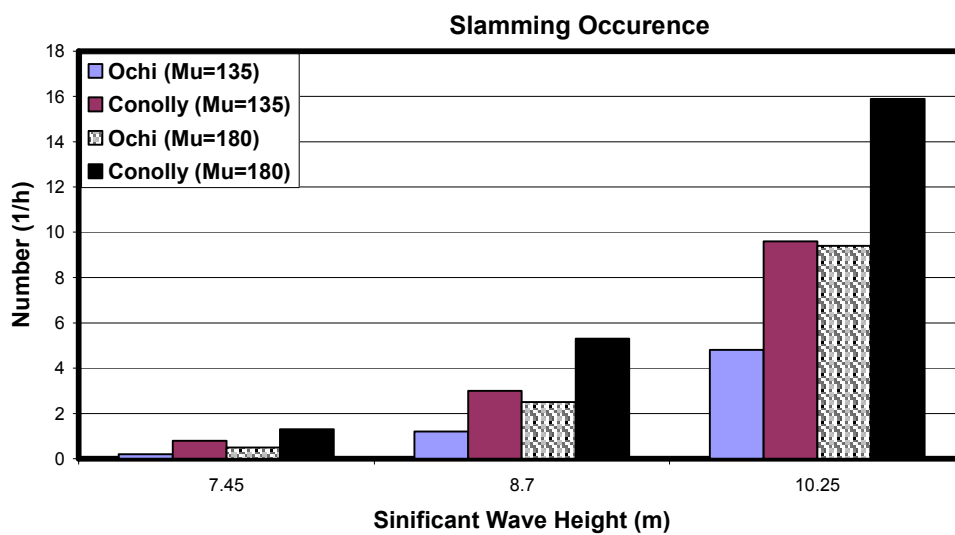
شکل ۱۰- نمودارهای طیف حرکات خطی شناور در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه

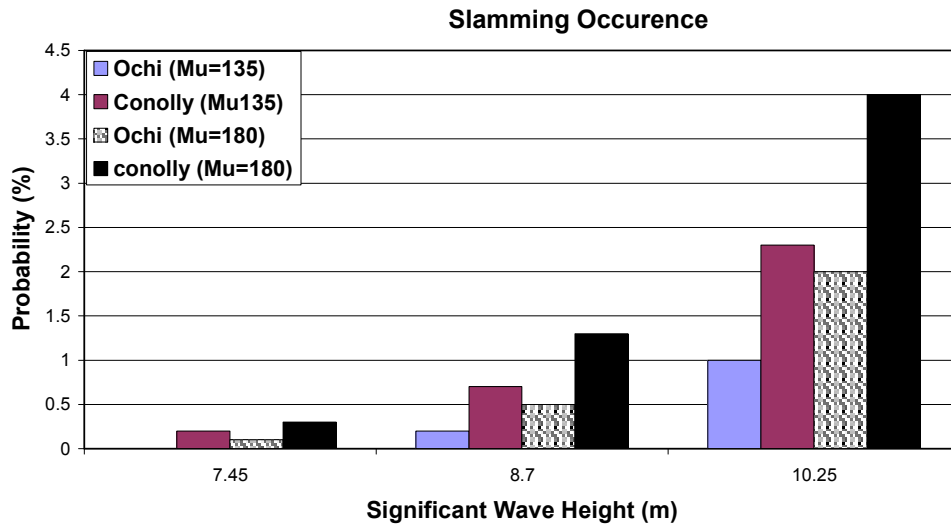


شکل ۱۱- نمودارهای طیف حرکات زاویه ای شناور در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه

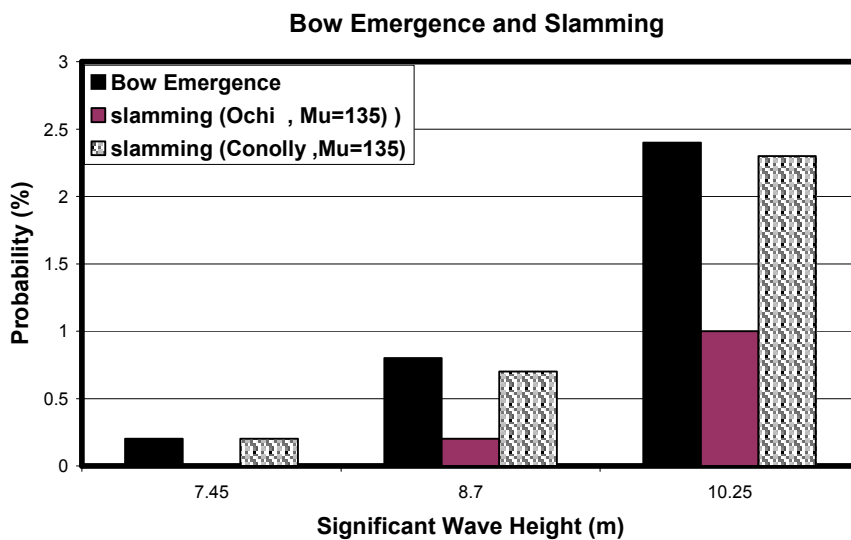


شکل ۱۲- جابجایی نسبی شناور





شکل ۱۳ - تعداد و احتمال اسلمینگ در شرایط دریایی مختلف





شکل ۱۴- خارج شدن سینه شناور از آب و وقوع اسلمینگ در زاویه برخورد ۱۳۵ درجه