

## بررسی آزمایشگاهی شتاب عمودی در مرکز ثقل مدلی از شناور با فرم سینه مورب

مجید عسکری سیار<sup>۱</sup>، کریم اکبری وکیل آبادی<sup>۲</sup>، حسن قاسمی<sup>۳</sup>

akbari.karim@gmail.com

۱- کارشناسی ارشد هیدرومکانیک، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

۲- استادیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

۳- استاد دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

### چکیده

رسیدن به رفتار دریامانی مطلوب در شناورها زمینه تحقیقات وسیع و گسترده‌ای را فراهم آورده است زیرا شتاب عمودی و جانبی بالا و متناوب در شناور سبب خستگی پرسنل، کاهش کارایی در انجام وظایف و افت کارکرد تجهیزات و ماشین آلات می‌گردد. رفتار دریامانی مطلوب همچنین باعث آرامش بیشتر پرسنل شناور شده و در نتیجه بالا رفتن توان عملیاتی کارکنان را نتیجه می‌دهد. در تحقیق حاضر، بررسی اثر فرم سینه معکوس و میزان شتاب عمودی دو مدل متفاوت با فرم سینه مورب در آزمایشات حوضچه برای دو سرعت و دوازده نمونه موج تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق، دستیابی به زاویه مورب بودن مطلوب یا دامنه زاویه مورب بودن مناسب در مواجهه با شتاب عمودی شناور حاصل گردید. آزمایشات مربوط به شتاب عمودی مرکز ثقل نشان داد که در فرکانس‌های زاویه‌ای پایین‌تر میزان شتاب عمودی برای تست‌های با سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه بیشتر بوده است.

واژگان کلیدی: شناور با فرم سینه مورب، شتاب عمودی مرکز ثقل، تست مدل، دریامانی

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۱۱/۰۱

۱- مقدمه

شتاب‌های قائم مرتبط با زاویه غلتش عرضی، زاویه غلتش طولی و حرکت قائم (نه زاویه غلتش عرضی تنها) هنگامی است که در محدوده یک باند فرکانسی کم با پهنای بسیار کم باشد ایجاد دریا زدگی می‌کند.

نخستین طرح این نوع شناور به اواسط قرن ۱۹ برمی‌گردد که فرم سینه به حالت عمود نزدیک بود و بیشتر شناورها به این شکل ساخته می‌شدند (در این نوع شناورها طول خط آب‌خور معمولاً افزایش می‌یابد و اغلب عملکرد هیدرودینامیکی بهتر دارد) در اوایل قرن بیست نیز بیشتر ناوهای جنگی به این حالت ساخته می‌شدند. یکی از نمونه‌های منحصر به فرد در این نوع از فرم سینه‌ها رزمناوهای کلاس زوم والت نیروی دریایی آمریکا (۲۰۰۱) هستند که دارای مزایای خاص در عملکرد دریامانی می‌باشند [۳].

کیونینگ و همکاران (۲۰۱۱)، تحقیقاتی را در زمینه بهینه‌سازی شتاب عمودی سینه انجام دادند که در تحقیقات آن‌ها سه شناور تندرو مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفتند. [۴] جی کلزیک و همکاران (۲۰۱۴)، حرکات دینامیکی و مقاومت یک قایق چندمنظوره را در آب کم عمق مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیقات هم جوانب هیدرودینامیکی و هیدرواستاتیکی برای شناور مدل انجام شد که می‌توان به میزان بارهای وارده، نیروی لیفت و .... اشاره کرد [۵].

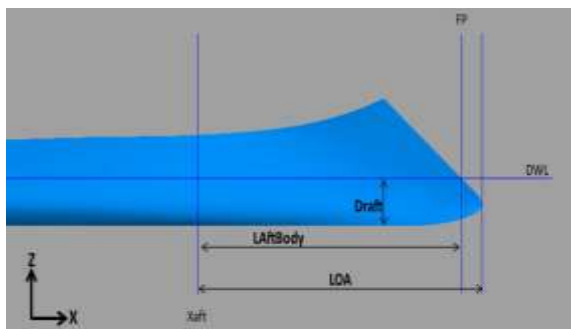
همکاران (۲۰۱۵)، به تحقیقات عددی و آزمایشگاهی در زمینه اثر فرم سینه مورب در عملکرد هیدرودینامیکی و دریامانی یک شناور خاص پرداختند. آزمایشات آن‌ها بر روی دو مدل و به صورت همزمان در یک حوضچه تحت موج تولیدی مشابه انجام گردید. دو حالت امواج منظم و نامنظم در آزمایشات انجام شد. حرکت پیچ کم‌تر و شتاب عمودی پایین‌تر در مدل با فرم سینه مورب در امواج روبرو ناشی از موج‌ساز، نتایج تحقیقاتشان بود. البته آزمایشات حوضچه کشش کاهش اندک در میزان مقاومت را هم نشان داد [۶].

حرکات شناورها به عنوان یکی از پیچیده‌ترین مباحث هیدرودینامیکی مطرح بوده که این حرکات توأم با پدیده‌های غیرخطی همراه می‌باشد و از این رو مدل سازی آن‌ها با پیچیدگی‌های فراوانی همراه است. هنگامی که شناور توسط موج در معرض حرکات طولی قرار می‌گیرد، شتاب حرکات هیو و پیچ تشدید می‌شود که این امر باعث ایجاد دریا زدگی برای مسافران و خدمه کشتی می‌گردد [۱].

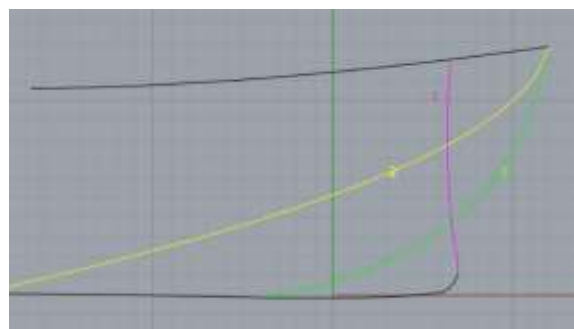
شتاب اسلمینگ (عمودی و لرزشی) باعث خستگی پرسنل، کاهش کارایی در انجام وظایف، افت سیستم‌های ماموریتی و تاثیر منفی بر سیستم‌های بدنه و همچنین ممانعت از عملکرد سونار می‌گردد.

بنابراین تا جایی که ممکن است برای افزایش راحتی و ایمنی مسافران باید حرکات شناور را کاهش داد. از سوی دیگر تغییر در فرم هندسی بدنه شناور به ویژه فرم سینه می‌تواند در عملکرد هیدرودینامیکی و دریامانی موثر باشد که در این تحقیق فرم سینه معکوس با مورب مورد بررسی قرار گرفته است. شکل سینه کشتی از قسمت‌های مهم و تاثیرگذار است زیرا اولین قسمتی است که در مواجهه با آب قرار می‌گیرد و با توجه به گوناگونی طرح‌های موجود، باید با توجه به نوع کارایی و هدف، فرم سینه متناسب را به طور بهینه انتخاب کرد. فرم سینه مورب یا معکوس نیز از الگوهای مهم در قسمت سینه است که سعی شده اثر آن را در رفتار حرکت هیو مورد بررسی قرار داده شود [۲].

شکل فرم مورب یا معکوس با اینکه بیش از ۱۸۰ سال پیش مطرح گردید (البته به صورت عمود یا مورب ۹۰ درجه ای) ولی بعد از مدتی به دلایل فنی محبوبیت خود را از دست داد و چندین دهه عملاً مورد استفاده در صنعت ساخت کشتی قرار نگرفت. در شکل (۱) روند تغییر فرم سینه کشتی از ابتدا نشان داده شده است.



شکل (۲) طرحی از شناور با فرم سینه.



شکل (۱) روند تغییر در فرم سینه کشتی.

## ۲- تحقیق آزمایشگاهی

در این تحقیق با تغییرات در ساختار مدلی از شناور خاص و طراحی فرم سینه معکوس سعی شده تا اثرات شتاب عمودی فرم سینه مورب برای مدل ساخته شده در مواجهه با امواج منظم در حوضچه کشش مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد. البته این اثرات با توجه به مقایسه دو فرم سینه با زاویه متفاوت (۴۵ و ۶۰ درجه‌ای) صورت می‌پذیرد.

آزمایش‌های مربوط به شتاب عمودی در حالت موج منظم انجام شده و تفاوت‌های بین شتاب‌های عمودی بین دو حالت فرم سینه معکوس مورد مقایسه قرار گرفته است. به عبارت دیگر، طراحی سینه مورب به دو زاویه و تغییرات در فرم و ساختار سینه در نرم افزار، ساخت مدل به صورت مطلوب، انجام تست‌های مربوط شتاب عمودی در چندین سرعت و امواج متنوع از نوآوری‌های عمده این تحقیق می‌باشد. مراحل انجام کار به صورت زیر می‌باشند: در مرحله اول مدل‌سازی نرم‌افزاری انجام می‌پذیرد، سپس با انجام تغییرات خروجی مناسب از نرم افزار گرفته می‌شود، که آیا مدل هندسی به کار رفته از دقت قابل قبولی برخوردار است یا خیر؟ در صورت لزوم مدل مورد نظر بایستی از نظر هندسه اصلاح و دوباره مورد تحلیل قرار گیرد. در مرحله دوم، ساخت مدل با دو فرم سینه مورب (دو زاویه ۴۵ و ۶۰ درجه) در دستور کار قرار می‌گیرد. آزمایش‌های مربوط در حوضچه کشش انجام می‌پذیرد و تفاوت‌های شتاب مرکز ثقل بین دو حالت فرم سینه معکوس در سرعت‌های مختلف و موج‌های متنوع مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

## ۳- تجهیزات آزمایشگاهی و ابزارها

حوضچه تست کشش مدل آزمایشگاه دارای طولی حدود ۳۷ متر و عرض ۳ متر و عمق ۰/۸ متر می‌باشد، این حوضچه به صورت بتنی و با در نظر گرفتن پنجره‌های شیشه‌ای جهت مشاهده شکل جریان و امواج آب ساخته شده و مجهز به سیستم کشش ارباه است. به صورت معمول ارباه بوسیله نیروی الکتریکی بر روی ریل‌های بالای حوضچه رانده می‌شود و اتصال آن به مدل توسط دینامومتری است که نیروی افقی وارده به مدل را در طول رانش در سرعت ثابت اندازه‌گیری می‌کند.

شکل (۴) نمایی از حوضچه کشش به همراه سیستم ارباه‌ای را در آزمایشگاه نشان می‌دهد. دمای آب حوضچه با توجه به

زمان آزمایش (فصل تابستان-شهریورماه) بین ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

برای ایجاد موج منظم، دو مشخصه فرکانس و طول کورس روی موج ساز تنظیم می‌شود که در هر مرحله از آزمایش این دو مشخصه با توجه به نوع آزمایش تغییر می‌کند. البته میزان نصف طول موج تولیدی می‌بایست از طول مدل کمتر باشد تا شرط عمیق بودن در آزمایشات ارضا گردد.

در ابتدا به عنوان ارزیابی موج ساز در یک فرکانس و طول کورس مشخص، موج تولید می‌گردد و مدل با یک سرعت مشخص تست می‌شود تا کیفیت و میزان صحت در امواج تولیدی مشخص گردد. شتاب سنج مورد استفاده، ساخت شرکت زمیک است که مدل آن D۳-۵۵ می‌باشد. بهترین ورودی جهت سیستم آزمایش، سرعت مدل است که متناسب با نوع آزمایش سرعت ارباه تغییر می‌کند.

## ۳-۱- شرح مدل‌سازی

در این تحقیق مدلی از شناور ANA-۱۴ که یک شناور صیادی است به عنوان شناور مرجع جهت انجام تغییرات مورد اسکن سه بعدی قرار داده شد و در ادامه با استفاده از آن در نرم افزار راینو طرح مورد نظر جهت فرم سینه مورب ایجاد شد. در جدول ۲ مشخصات شناور اصلی ارائه کردیم. پس از طراحی شناور مورد نظر در محیط راینو و انتقال آن به محیط سالیید ورکز اقدام به ساخت مدل شد.

جدول (۱) مشخصات حوضچه کشش دانشگاه علوم دریایی امام خمینی.

مشخصه مربوط به حوضچه	مقدار (برحسب متر)
طول	۳۷
عرض	۳
عمق	۰/۸
حداکثر طول موج	۴/۸۵
حداکثر ارتفاع موج	۰/۳۶

جدول (۲) مشخصات شناور اصلی و مدل.

کمیت	مشخصات شناور اصلی	مشخصات مدل شناور با سینه مورب
طول	۴۵/۷ متر	۷۹ سانتیمتر
آبخور	۴/۰۶ متر	۴-۶ سانتیمتر
عرض	۸/۰۳ متر	۱۳/۷۵ سانتیمتر
جابجایی حجمی	۸۳۹/۵ مترمکعب	۰/۰۴۵۳۳ مترمکعب

لازم به ذکر است که بعد از هر آزمایش مدت زمانی توقف انجام شد تا آب حوضچه به حالت سکون درآید و خطای احتمالی در میزان موج تولیدی کم شود و داده‌های متاثر از شرایط آب متلاطم که میتواند اشتباه باشد تا حد زیادی کاهش یافت.

برای انجام آزمایشات دقیق و تا حدودی بی نقص می‌بایست مدل با حوضچه همخوانی داشته باشد تا مواردی نظیر اثر دیواره و پدیده انسداد به وجود نیاید.

استفاده از روش فرود جهت مقیاس قرار دادن کشتی واقعی و مدل ساخته شده به صورت زیر است:

$$Fn_{ship} = Fn_{model} \quad (1)$$

طول شناور واقعی ۴۵ متر بوده و طول مدل ساخته شده ۷۸ سانتی متر است بنابراین مقیاس برابر است با:

$$\lambda = \frac{L_{ship}}{L_{model}} = \frac{45}{0.78} = 57.6 \quad (2)$$

با فرض سرعت اقتصادی ۱۵ نود برای شناور واقعی، سرعت مدل طبق روش فرود به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\frac{V_s}{\sqrt{L_s g}} = \frac{V_m}{\sqrt{L_m g}} \Rightarrow \frac{V_s}{V_m} = \sqrt{\frac{L_s}{L_m}} = \sqrt{\lambda} \quad (3)$$

$$V_{model} = \frac{V_{ship}}{\sqrt{\lambda}} = \frac{15}{\sqrt{57.6}} = 1.976 \text{ knot} \quad (4)$$

بنابراین سرعت برای مدل جهت تست در حوضچه به صورت زیر است:

$$V_{model} = (1.9760) \times (0.5144) = 1.016 \frac{m}{s} \quad (5)$$

و با توجه به شاخص قراردادن سرعت بدست آمده، سرعت‌های ۰٫۶، ۰٫۹، ۱٫۲ متر بر ثانیه، برای مدل جهت تست در حوضچه پیشنهاد شدند.

برای بدست آوردن فرکانس‌های اعمالی جهت تولید موج با توجه به جدول (۵) و قراردادی میزان  $\lambda$  مقادیر بدست آمده است (ثابت گرانش ۹٫۸ و عدد پی ۳٫۱۴ در نظر گرفته شد).

قابل ذکر است با توجه به دستوالعمل‌های ITTC و اینکه عمق حوضچه بزرگتر از نصف طول موج تولیدی می‌باشد، آب عمیق فرض شد. میزان فرکانس به تنهایی برای تولید موج کافی نیست و به کمیت دیگر در موج ساز به نام طول کورس موجساز نیازمندیم. با توجه به بررسی داده‌های امواج خلیج فارس و دریای عمان و کمی موج با ارتفاع امواج در دریای آرام در ۷۵ درصد اوقات کمتر از یک متر است [۲]، بنابراین جهت تعیین عملکرد، ارتفاع موج یک متر در نظر گرفته شد. در ادامه برای به دست آوردن میزان طول کورس موجساز به صور زیر عمل شد.



شکل (۳) قطعات مختلف مدل.



شکل (۴) مدل ساخته شده جهت آزمایش.

جهت بدست آوردن نتایج دریامانی نیاز است که مدل با ابعاد بزرگتر و با رعایت تشابه هندسی، با نسبت ۵۷:۱ نسبت به شناور اصلی، ساخته شود. بعد از طراحی فرم‌های مشخص در نرم افزار راینو، فرایند ساخت در دستگاه پرینتر سه بعدی آغاز می‌گردد.

در این آزمایشات قسمت سینه با زاویه مورب ۴۵ درجه و ۶۰ درجه به قسمت میانی وصل شده (به صورت فلنج و با پیچ و مهره) که با آماده سازی مدل و بستن به ارباب حوضچه مطابق شکل (۴) در سه سرعت متفاوت مدل در حوضچه مورد تست قرار گرفت. در هر سرعت، ۱۲ نوع موج توسط موج ساز تولید شد که مطابق جدول (۳) تمامی آزمایش‌ها انجام شد.

جدول (۳) برنامه آزمایش برای مدل با یک زاویه معکوس در یک فرکانس.

شماره تست	فرکانس موج (رادیان/ثانیه)	طول کورس موجساز (سانتیمتر)	سرعت (متر/ثانیه)
۱	۱/۸	۳	۰/۶
۲	۱/۸	۳	۰/۹
۳	۱/۸	۳	۱/۲
۴	۱/۸	۴	۰/۶
۵	۱/۸	۴	۰/۹
۶	۱/۸	۴	۱/۲



شکل (۵) کالیبراسیون مدل در حوضچه.

#### ۴-۱- بررسی آزمایشگاهی شتاب عمودی

برای بدست آوردن میزان شتاب، دوازده آزمایش مطابق جدول ۶ انجام شد که طول کورس همه موج‌های تولیدی ۳ و فرکانس نیز در همان شش فرکانس قبلی انجام شد. سرعت در دو مقدار ۰/۶ و ۰/۹ برای مدل در نظر گرفته شد. برای بدست آوردن شتاب مطابق شکل (۶) شتاب‌سنج در مرکز ثقل مدل نصب شد. بعد از قرار دادن شتاب‌سنج، به طور دقیق میزان تراز بودن بررسی شد و در نهایت مدل جهت حمل با دو سرعت داده شده به دستگاه متصل شد. مطابق شکل (۶) باید کریر فقط حمل کننده مدل باشد و نباید هیچ نیرویی اضافه و عمودی به مدل اعمال گردد چون هر نیرویی حتی اندک می‌تواند در داده‌های شتاب‌سنج تاثیر بگذارد. شکل (۷) نشان دهنده تاریخچه زمانی شتاب مرکز ثقل مدل در سرعت تست ۰/۶ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه‌ای موج ۱/۱۲ رادیان بر ثانیه است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود میزان تغییرات شتاب تقریباً یکسان بوده و مقدار شتاب حداکثری حدودی ۰/۵ متر بر مجذور ثانیه را تجربه می‌کنند.

#### جدول (۶) آزمایشات مربوط به اندازه‌گیری شتاب.

f	طول کورس ۳ سانتی متر - فرم سینه ۴۵ درجه			
	u <sub>1</sub> <sup>۵</sup>		u <sub>2</sub> <sup>۴</sup>	
۱/۱۱۸	۱	داده مربوطه	۷	داده مربوطه
۱/۱۹۵	۲	داده مربوطه	۸	داده مربوطه
۱/۲۶۱	۳	داده مربوطه	۹	داده مربوطه
۱/۴۱	۴	داده مربوطه	۱۰	داده مربوطه
۱/۵۸	۵	داده مربوطه	۱۱	داده مربوطه
۱/۸	۶	داده مربوطه	۱۲	داده مربوطه

$$^4 u_2 = 0/9 \frac{m}{s}$$

$$^5 u_1 = 0/6 \frac{m}{s}$$

$$A = \frac{H}{\lambda} = \frac{1}{57} = 0.017m \approx 17.54mm \quad (۶)$$

$$S = (0.2)A = (0.2) \times (17.54) = 3.5mm \approx 3 \quad (۷)$$

بنابراین مقادیر ورودی (فرکانس و طول کورس موج‌ساز) برای موج‌ساز جهت تولید موج منظم بدست آمد. برای بدست آوردن فرکانس برخورد ابتدا  $\lambda$  محاسبه شد، سپس با استفاده از میزان فرکانس زاویه‌ای موج، فرکانس برخورد بدست آمد (جدول (۵)).

در جدول بالا  $u$  سرعت مربوط به مدل در حوضچه است که قبلاً محاسبه شد. مقدار کورس ۳ و ۴ سانتی متر منظور گردید (جدول (۶)). برای اتصال بازو به مدل شناور ابتدا مرکز ثقل تعیین شد. در مرحله بعد با قرار دادن مدل در حوضچه، میزان آب‌خور بررسی شد تا با آب‌خور طراحی همخوانی داشته باشد. انجام کالیبراسیون اولیه با دقت زیاد و به کمک وزنه در هر مرحله از تست انجام گردید. (شکل (۵)).

#### جدول (۵) مقادیر فرکانس ورودی به موج‌ساز با توجه به ضریب طول موج.

$\lambda = kL$ طول موج (متر)	$k$	$f$ فرکانس (هرتز)
۰/۸۶۴	۰/۶	۱/۸۲۶
۰/۴۰۶	۰/۸	۱/۵۸
۰/۲۸	۱	۱/۴۱
۰/۱۹۳۶	۱/۲	۱/۲۹۱
۱/۰۹۲	۱/۴	۱/۱۹۵
۱/۲۴۸	۱/۶	۱/۱۱۸

#### جدول (۶) میزان دامنه و ارتفاع طول موج با توجه به فرکانس ورودی به موج‌ساز.

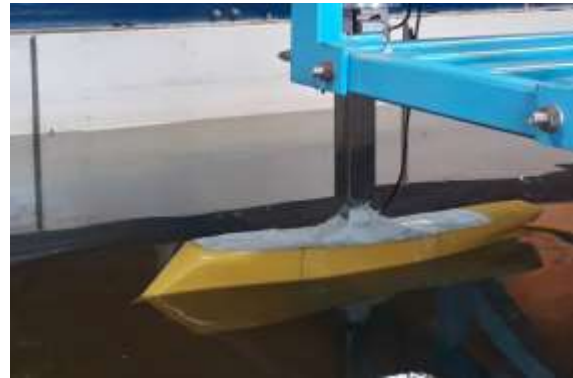
f <sup>۱</sup>	طول کورس موج‌ساز (سانتیمتر)			
	۳		۴	
	$h_w^3$	$\xi_a^2$	$h_w$	$\xi_a$
۱/۵۰	۳	۱/۵۰	۴/۸	۲/۴
۱/۴۰	۲/۸	۱/۴۰	۴/۶	۲/۳
۱/۳۵	۲/۷	۱/۳۵	۴/۵	۲/۲۵
۱/۳۰	۲/۶	۱/۳۰	۴/۲	۲/۱۰
۱/۲۵	۲/۵	۱/۲۵	۳/۹	۱/۹۵
۱/۱۰	۲/۲	۱/۱۰	۳/۶	۱/۸۰

<sup>۱</sup> فرکانس (هرتز)

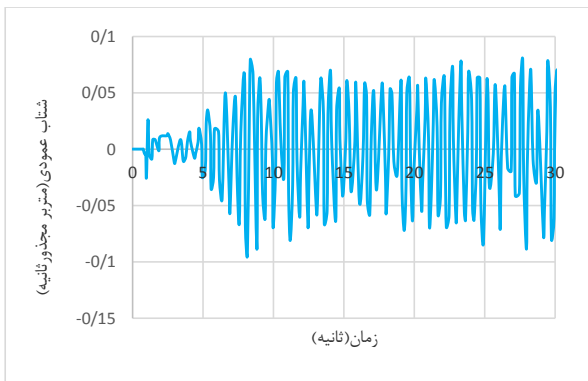
$$^2 \xi_a = \frac{h_w}{2}$$

$$^3 h_w = 2\xi_a$$

برثانیه مقایسه شدند. با توجه مقایسه قبلی، در این فرکانس نوسانات شتاب برای سرعت ۰/۹ منظم تر می باشد. البته در بازه زمانی ۲۸ تا ۳۱ ثانیه در سرعت ۰/۹ روند نامنظم در تغییرات شتاب ایجاد شده است. در شکل (۱۳) مقدار شتاب عمودی در دو سرعت و فرکانس زاویه ای ۱/۴۱ رادیان برثانیه مقایسه شده است.



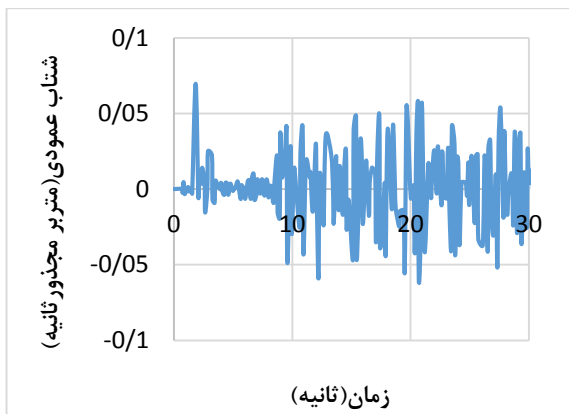
شکل (۶) بستن، محل قرار گیری و تراز کردن شتاب سنج روی مدل.



شکل (۸) تاریخچه زمانی شتاب عمودی برای سرعت ۰/۶ و فرکانس (۱/۱۲).

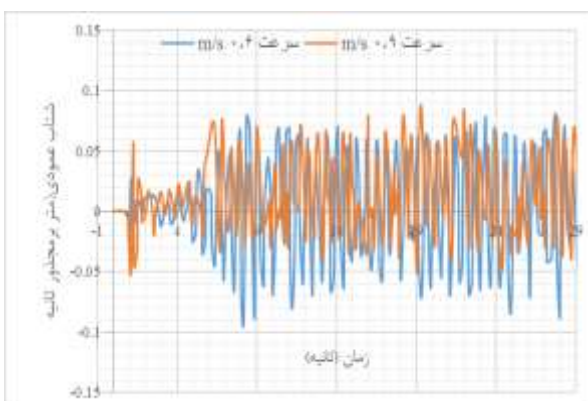


شکل (۷) آزمایش مربوط به شتاب مرکز ثقل برای سرعت ۰/۶.



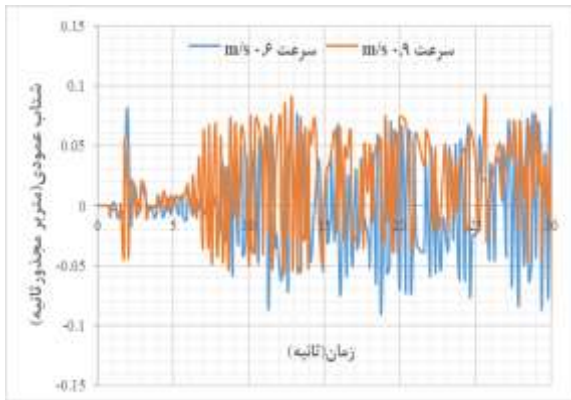
شکل (۹) تاریخچه زمانی شتاب عمودی برای سرعت ۰/۶ و فرکانس (۱/۸).

در شکل (۸) با افزایش میزان فرکانس زاویه ای به ۱/۸ رادیان بر ثانیه دامنه شتاب حداکثری کاهش چشمگیری داشته است. بطوری که حداکثر میزان شتاب عمودی حدوداً ۰/۱ متر برمجذور ثانیه است. در شکل (۹) مقدار شتاب عمودی در دو سرعت و فرکانس زاویه ای ۱/۱۲ رادیان برثانیه مقایسه شده است. مشاهده می شود که در این فرکانس نوسانات شتاب برای سرعت ۰/۶ بسیار منظم تر است. در مقابل در سرعت ۰/۹ روند نامنظم در تغییرات شتاب مشهود است و حداکثر میزان شتاب در مقدار نسبتاً زیادی و در ثانیه سی ام بر مدل وارد شده است.

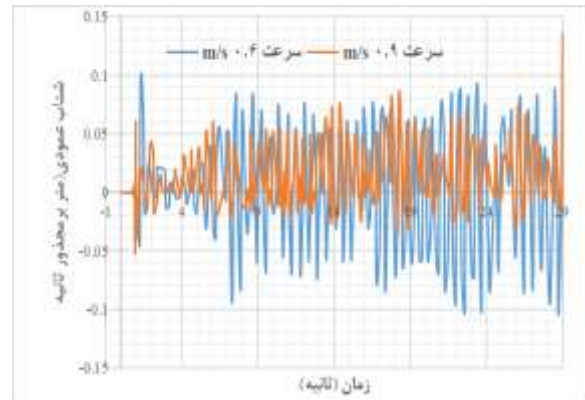


شکل (۱۰) مقایسه شتاب هیو بین دو سرعت ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه ای موج برابر (۱/۱۲).

در شکل (۱۰) مقدار شتاب عمودی در دو سرعت و فرکانس زاویه ای ۱/۲۰ رادیان برثانیه مقایسه شدند. همانطور که مشاهده می شود بر خلاف مقایسه قبلی، در این فرکانس نوسانات شتاب برای سرعت ۰/۹ منظم تر است. البته در بازه زمانی ۲۸ تا ۳۱ ثانیه در سرعت ۰/۹ روند نامنظم در تغییرات شتاب وجود دارد و حداکثر میزان شتاب در مقدار ۰/۸ در ثانیه هجدهم بر مدل وارد شده است. در شکل (۱۲) مقدار شتاب عمودی در دو سرعت و فرکانس زاویه ای ۱/۲۶ رادیان



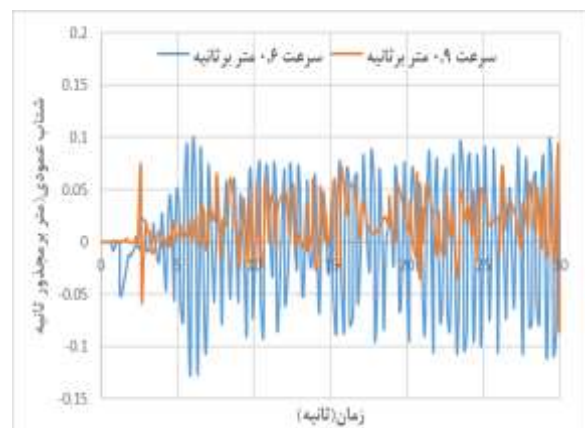
شکل (۱۴) مقایسه شتاب هیو بین دو سرعت ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه‌ای موج برابر (۱/۵۸).



شکل (۱۱) مقایسه شتاب هیو بین دو سرعت ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه‌ای موج برابر (۱/۲۰).

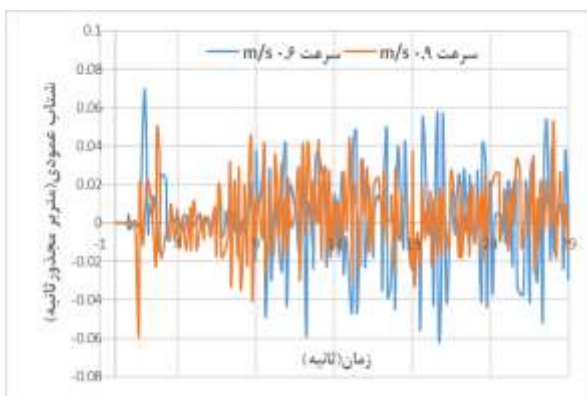
در این فرکانس شتاب برای سرعت ۰/۹ در پانزده ثانیه اول کمی بیشتر از شتاب در سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه می‌باشد. ولی در پانزده ثانیه دوم میزان شتاب عمودی در سرعت ۰/۹ به نسبت کمتر می‌باشد و نوسانات شتاب کمتر گردیده است و مقادیر شتاب حداکثری مربوط به سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه مدل با اختلاف زیادتر می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت در این فرکانس مدل با سرعت بیشتر، شتاب حداکثری کمتری را تحمل می‌کند. در شکل (۱۵) مقدار شتاب عمودی در دو سرعت و فرکانس زاویه‌ای ۱/۸ رادیان بر ثانیه مقایسه شدند. در این فرکانس شتاب عمودی برای سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه کمتر از شتاب در سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه می‌باشد.

در شکل (۱۶) همزمان میزان شتاب در سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه برای دو مقدار فرکانس زاویه‌ای مقایسه شدند. در آزمایش با سرعت ثابت، مقادیر شتاب عمودی برای فرکانس ۱/۸ رادیان بر ثانیه خیلی کمتر از مقادیر شتاب برای فرکانس زاویه‌ای ۱/۱۲ می‌باشد و در نتیجه در فرکانس بالاتر موج مدل شتاب کمتری را تجربه خواهد کرد.

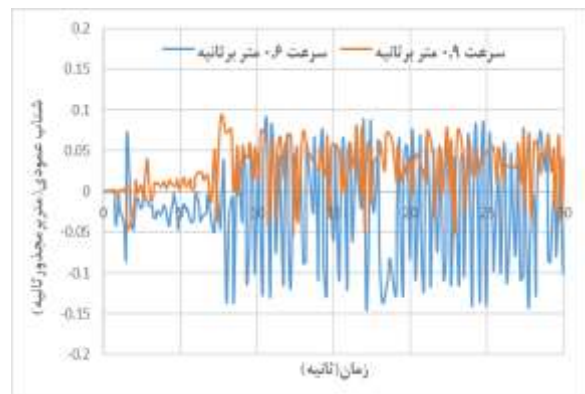


شکل (۱۲) مقایسه شتاب هیو بین دو سرعت ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه‌ای موج برابر (۱/۲۶).

در این فرکانس نوسانات شتاب برای سرعت ۰/۹ به مراتب کمتر از شتاب در سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه می‌باشد. البته در بازه زمانی ۷ تا ۸ ثانیه در سرعت ۰/۹ تغییر یکباره در شتاب بوجود آمده است. در شکل (۱۴) مقدار شتاب عمودی در دو سرعت و فرکانس زاویه‌ای ۱/۵۸ رادیان بر ثانیه مقایسه شدند.



شکل (۱۵) مقایسه شتاب هیو بین دو سرعت ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه‌ای موج برابر (۱/۸۰).



شکل (۱۳) مقایسه شتاب هیو بین دو سرعت ۰/۶ و ۰/۹ متر بر ثانیه و فرکانس زاویه‌ای موج برابر (۱/۴۱).

جدول (۷) میزان تغییرات شتاب.

f	میزان تغییرات میانگین شتاب هیو در طول کورس ۳ سانتی متر		
	u <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	درصد تغییرات
۱/۱۱۸	۰/۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۸۷۸	% ۰/۹
۱/۱۹۵	۰/۰۰۴۵۹	۰/۰۰۹۰۰	% ۰/۴۹
۱/۲۶	۰/۰۰۰۸۶	۰/۰۱۰۸۳	% ۰/۹۲
۱/۴۱	۰/۰۲۲۳۸	۰/۰۱۹۷۶	% ۰/۱۱-
۱/۵۸	۰/۰۰۰۷۷	۰/۰۱۰۹۷	% ۰/۹۳
۱/۸	۰/۰۰۲۲۶	۰/۰۰۲۸۷	% ۰/۲۱
متوسط تغییر درصدها			% ۳/۳۴

در تحقیق حاضر، بررسی میزان شتاب عمودی در آزمایشات حوضچه برای دو سرعت و چندین موج تولیدی ارزیابی شد. آزمایشات مربوط به شتاب عمودی مرکز ثقل نشان داد که در فرکانس‌های زاویه‌ای پایین‌تر میزان شتاب عمودی برای تست‌های با سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه بیشتر بوده است، البته روند تغییرات شتاب نیز منظم ارزیابی گردید.

به طور کلی در یک سرعت ثابت آزمایش با فرکانس زاویه‌ای بیشتر، دارای مقادیر شتاب عمودی کمتر در مرکز ثقل بوده است. بدین معنا که هر چه فرکانس زاویه‌ای موج بیشتر شد، مقادیر شتاب عمودی اندازه‌گیری شده در سرعت یکسان، کمتر بوده است و در مورد سرعت‌های مختلف، سرعت کمتر، شتاب عمودی بیشتری را در فرکانس‌های پایین بر مدل وارد کرده است.

#### ۷- مراجع

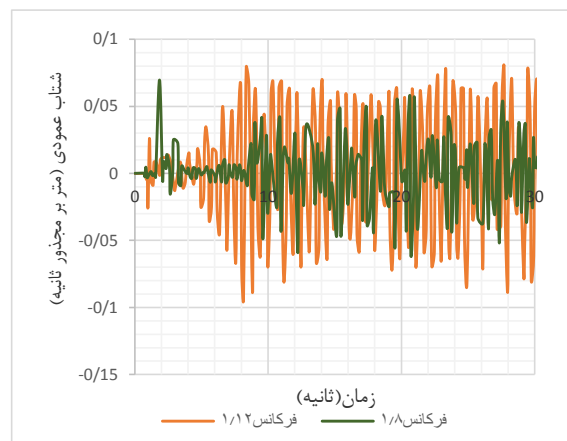
- [۱] محمد مونسان، کتاب جامع مهندسی معماری دریایی، انتشارات کانون پژوهش، اصفهان، صفحه ۱۴۴ تا ۱۹۷، ۱۳۹۱.
- [۲] محمد سعید سیف، ا. نجفی، دینامیک متحرک‌های دریایی، انتشارات دانشگاه شریف، چاپ اول، ۱۳۹۲.
- [3] USS Zumwalt Destroyer; Ship Handling and Stability in High Seas, First Published at Internet, www.physical psience.com, 2001.
- [4] Keuning, J.A., Visch, G.L., Gelling, J., de Vries Lentsch, "Development of a New SAR Boat for the Royal Netherlands Sea Rescue Institution". In Proceedings of the 11th International Conference on Fast Sea Transportation, pp.1-7, 2011.
- [5] Kulzic, J., Gornics, T., "The Analysis of Motion Dynamic and Resistance of Multipurpose Boats in Shallow Waters, 2014.
- [6] Kensett White, J., Brizzolara, S., Beaver, W., "Effect of Inverted Bow on the Hydrodynamic

در شکل (۱۷) نیز همزمان میزان شتاب در سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه برای دو مقدار فرکانس زاویه‌ای مقایسه شد. در آزمایش با سرعت ثابت، مقادیر شتاب عمودی برای فرکانس ۱/۸ رادیان بر ثانیه خیلی کمتر از مقادیر شتاب برای فرکانس زاویه‌ای ۱/۱۲ می‌باشد که نتیجه‌گیری قبلی در مورد رابطه افزایش فرکانس زاویه موج و میزان شتاب را مورد تایید قرار می‌دهد به عبارتی در نتیجه در فرکانس بالاتر موج، شتاب کمتری در مدل مشاهده می‌شود.

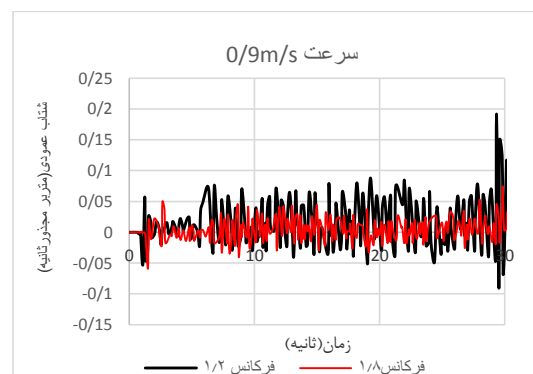
طبق جدول (۷)، میزان شتاب هیو در سرعت ۰/۹ متر بر ثانیه مدل به میزان متوسط ۳/۳۴ درصد بیشتر از میزان شتاب عمودی مدل در سرعت ۰/۶ متر بر ثانیه است.

#### ۵- نتیجه گیری

شتاب عمودی و جانبی در شناور سبب خستگی پرسنل، کاهش کارایی در انجام وظایف و افت سیستم‌های ماموریتی می‌گردد.



شکل (۱۶) مقایسه شتاب عمودی مدل بین دو فرکانس زاویه‌ای ۱/۸ و ۱/۱۲



شکل (۱۷) مقایسه شتاب هیو مدل بین دو فرکانس زاویه‌ای ۱/۸ و ۱/۱۲



- Performance of Navy Combatant Hull Forms”, pp.1-12, 2015.
- [7] Keuning, A., Toxopeus, S., Pinkster, J., “The Effect of Bow shape On the Seakeeping Performance of a Fast Monohull”, International Conference on Fast Sea Transportation, The Royal Institution of Naval Architects, 2012.
- [8] Kukner, A., Sariöz, K., “High Speed Hull form Optimization for Seakeeping”. Adv. Eng. Software, Vol.22, pp.179-189, 1995.
- [9] Boulogouris, E., Papanikolaou, A., “Hull form Optimization of a High Speed Wave Piercing Monohull” 9th Int. Marine Design Conference, 2011.
- [10] Chang, Z.H., Sang, H., “Investigation of Seakeeping of Characteristic High Speed Catamaran in Waves”, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 12, No. 1, pp. 7-15, 2004.
- [11] Maimeon, A., Yakoob, O., “Seakeeping Analyses of a Fishing Vessel Operating in Malaysian Water”, Journal Mekanikal, Vol.22, No.2, 2006.
- [12] Rouges, P., Abed, L., “Some Experimental Result of the Stability of Fishing Vessel, 8th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles , pp.643-653, 2012.
- [13] Perez, N., Sanguttia, C., “Scale Model Tests of a Fishing Vessel in Roll Motion Parametric Resonance”, Síntesis Tecnológica, Vol.3, No.1, pp.33-37, 2006.