

## مدل سازی تجربی حرکات هیو و پیچ یک شناور تریماران در امواج منظم

شهریار مقدم پور<sup>۱</sup>، ابوالفتح عسکریان خوب<sup>۲</sup>، حامد یوسفی<sup>۳</sup>

askariankhoob@gmail.com

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معماری کشتی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

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

۳- دانشجوی کارشناسی ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی ساری

### چکیده

تریماران یک شناور چند بدنه است که از یک بدنه مرکزی لاغر و بلند و دو بدنه کناری کوچک تشکیل شده است. بدنه‌های کناری توسط عرشه عرضی به بدنه مرکزی متصل می‌گردند. موقعیت و فرم هندسی بدنه‌های جانبی تأثیر قابل توجهی بر روی تعادل، حرکات دینامیکی و بارهای موج وارد بر این شناور مدرن دارد. در این مقاله تأثیر فرم هندسی بدنه‌های جانبی بر روی حرکات هیو و پیچ یک شناور تریماران با در نظر گرفتن فرم هندسی نامتقارن داخلی و نامتقارن خارجی بررسی شده است. مدلی از شناور در حوضچه کشش در سرعت‌های مختلف و فرکانس‌های متفاوت در حالت موج از روبرو مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان داد که به علت اندرکنش مناسب بین بدنه اصلی و بدنه‌های کناری در شرایط استفاده از بدنه کناری با فرم نامتقارن خارجی پاسخ‌ها از مقادیر کمتری در مقایسه با بدنه نامتقارن داخلی برخوردار است. همچنین وجود نقاط ماکزیمم و مینیمم محلی بر روی پاسخ‌های شناور در شرایط بدون سرعت ناشی از کوپل حرکت هیو و پیچ در فرکانس‌های مربوطه است.

واژگان کلیدی: شناور تریماران، دریامانی، حوضچه کشش، مدل سازی تجربی.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۰۹/۱۳

## ۱ - مقدمه

اولین تاریخ ثبت شده قایق‌های تندرو و قایق‌هایی با بدنه‌های کوچک کناری مربوط به مردم اهل جزایر پلینز در اوایل ۱۸۰۰ می‌باشد، این بدنه‌های درختی توخالی و بومی دارای نسبت طول به عرض بالایی بوده و بدنه‌های کوچک کناری، پایداری قایق را تامین می‌کنند. با این وجود، پیشرفت‌هایی در سال‌های گذشته منجر به این شده که امروزه تیماران را داشته باشند. بعد از آن چالش برای استفاده تجاری و نظامی از این نوع فرم بدنه بوجود آمد. در سال ۱۹۹۸ از فرم بدنه تیماران به عنوان شناورهای جابجایی استفاده شد و دو سال بعد، اولین نمونه تحقیقاتی به نام ترایتون برای اثبات استفاده از مفهوم پلتفرم سه بدنه برای شناورهای نظامی ساخته شد.

تیماران یک شناور چندبدنه است که از یک بدنه اصلی و دو بدنه کناری تشکیل شده است. بدنه اصلی باریک بلند و بدنه‌های کناری کوچک‌تر بوده و توسط عرشه عرضی به بدنه اصلی متصل می‌گردند. به دلیل عملکرد خوب این شناور نسبت به شناورهای تک‌بدنه در دریا، در سال‌های اخیر مورد توجه معماران و طراحان کشتی با کاربری‌های نظامی و تجاری قرار گرفته است. از مزایای این شناور نسبت به سایر شناورها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- قابلیت ماندگاری عالی به خاطر طول خط آب بلندتر خصوصا در شرایط موج سینه و موج مورب.
- پایداری عرضی در زاویه‌های کوچک کجی مشابه شناورهای تک‌بدنه‌ای و در زاویه‌های بزرگ کجی مشابه شناورهای کاتاماران به دلیل وجود بدنه‌های جانبی.
- سطح دک بسیار وسیع برای تجهیزات، حمل کالا و امکانات رفاهی در کاربری‌های نظامی، تجاری و مسافربری.
- راندمان مصرف سوخت عالی به خاطر مقاومت کم در سرعت‌های بالا.
- عملکرد شتاب سریع به خاطر داشتن بدنه اصلی و بدنه‌های کناری باریک.

- قابلیت بقا بسیار قوی و تعادل آسیب‌دیده ذاتی بسیار بالا.
- هزینه ساخت پایین به خاطر امکان استفاده از فولاد و همچنین کاهش در هزینه ماشین‌آلات سیستم تحرک به خاطر مقاومت پایین در آب.

- بهبود مانورپذیری با نصب سیستم پیشران در بدنه‌های جانبی.

فرم هندسی، اندازه، موقعیت طولی و عرضی بدنه‌های کناری تاثیر قابل توجهی بر روی رفتار دینامیکی، تعادل، قابلیت ماندگاری و نیروهای موج وارد بر سازه این شناور دارند. در سال‌های اخیر در ارتباط با تاثیر موقعیت طولی و عرضی بر روی رفتار دینامیکی شناور تیماران مطالعات عددی و آزمایشگاهی زیادی انجام شده است اما در خصوص تاثیر فرم هندسی بدنه‌های جانبی بر روی حرکات هیو و پیچ این شناور مطالعات بسیار کمی صورت گرفته است [۱].

بینگهام و همشپیر<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۱ با استفاده از تئوری سه‌بعدی به تحلیل دینامیک شناورهای سه‌بدنه پرداختند [۲]. بررسی پاسخ دینامیکی یک شناور تیماران جهت یافتن موقعیت طولی بهینه بدنه‌های جانبی در سال ۲۰۰۳ توسط آلپر کارولتی<sup>۲</sup> انجام شد. وی از روش رانکین<sup>۳</sup> در این تحلیل استفاده کرد و نتیجه گرفت که در اعداد فرود پایین با قرار گرفتن بدنه‌های جانبی در محدوده وسط شناور، عملکرد دریامانی شناور بهینه است و رانوی هیو و پیچ به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین در اعداد فرود بالا با نصب بدنه‌های جانبی در جلو و یا پاشنه شناور پاسخ دریامانی مناسبی بدست می‌آید [۳].

هبل وایت<sup>۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۶ به‌صورت عددی و تجربی تاثیر موقعیت طولی بدنه‌های کناری را بر روی حرکات هیو و پیچ شناور تیماران بررسی کردند. آنها آزمایش مدل را در چهار موقعیت طولی بدنه‌های کناری نسبت به پاشنه انجام دادند و نتیجه گرفتند که محل قرارگیری بدنه‌های کناری اثر مهمی بر روی مشخصات حرکتی دارد، بطوریکه مقادیر پاسخ برای هر دو حرکت هیو و پیچ با عقب بردن موقعیت بدنه‌های کناری کاهش می‌یابد و در یک جابجایی یکسان، اضافه کردن بدنه‌های کناری به شناور در مقایسه با شناور تک‌بدنه اثر مطلوبی بر روی رفتار دریامانی آن دارد [۴].

آرمسترانگ<sup>۵</sup> در سال ۲۰۰۶ عملکرد یک شناور سه بدنه بزرگ را به‌صورت تجربی و با استفاده از نمونه واقعی مورد ارزیابی قرار داد. وی همچنین نتایج را با یک شناور کاتاماران مقایسه نمود و نتیجه گرفت که وضعیت رول و پیچ شناور

<sup>4</sup> Hebblewhite

<sup>1</sup> Armstrong

<sup>2</sup> Benchijigua Express

<sup>1</sup> Bingham and Hampshire

<sup>2</sup> Kurultay

<sup>3</sup> Rankine

اکبری و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی حرکات هیو و پیچ یک شناور تریماران با سینه شکافنده پرداختند. آنها نشان دادند که حساسیت رانوی پیچ بر روی تغییرات مقادیر اعداد فرود و دامنه موج در حالتی که طول موج بدون بعد کمتر از  $0/8$  باشد زیاد نیست. برای فرکانس بدون بعد نیز بین  $2/5$  و  $2/8$  رانوی پیچ تغییرات قابل توجهی در نتیجه تغییر در اعداد فرود یا دامنه موج تجربه نمی‌کند [۱۲].

در سال ۲۰۱۶، جیانگ و هانبینگ سان<sup>۱۰</sup> از دانشگاه هاربین چین تحقیقاتی بر روی مشخصات هیدرودینامیکی برای یک شناور تریماران پروازی<sup>۱۱</sup> به دو روش تجربی و عددی (روش حجم محدود) انجام دادند. در این پژوهش مدل در اعداد فرود بین  $0/90$  تا  $5/87$  آزمایش شد و مقاومت، میزان فرورفتگی<sup>۱۲</sup> و زاویه تریمر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که در اعداد فرود بیشتر از  $3/16$  پاسخ حرکات هیو و پیچ رضایت‌بخش بود [۱۳].

آقای عسکریان خوب و کتابداری در سال ۱۳۹۶ به بررسی نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر عرشه عرضی شناور تریماران پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که در وضعیت برخورد موج با زاویه  $90$  درجه مقادیر نیروها و گشتاورهای وارد بر عرشه عرضی مستقل از سرعت بوده و فقط به فرکانس موج بستگی دارند. همچنین مقادیر حداکثر نیروها و گشتاورها در سرعت  $25$  گره و در زاویه برخورد  $135$  درجه اتفاق می‌افتد [۱۴].

آقای پوندر<sup>۱۳</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از روش عددی به تحلیل بر روی مقاومت و دریامانی تریماران برای بهینه‌سازی آن پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شناور سبک‌تر، دریامانی بدتری دارد. همچنین موقعیت قرارگیری بدنه‌های جانبی و جریان عبوری در طول بدنه شناور تاثیر بسایری بر روی مقادیر مقاومت دارد [۱۵].

آقای لاهولیم<sup>۱۴</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از روش CFD به بررسی ارتباط بین مقاومت، دریامانی یک شناور تریماران با پیکربندی مختلف عرضی بدنه‌های جانبی پرداختند. نتایج نشان داد که فاصله بدنه‌های کناری از بدنه

بهبود پیدا کرده و در مقایسه با کاتاماران سطح راحتی مسافران افزایش و دریازدگی تا  $50$  درصد کاهش پیدا کرده است [۵].

ساتو<sup>۱۵</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۷ با استفاده از روش عددی تاثیر موقعیت‌های طولی و عرضی بدنه‌های جانبی بر روی حرکات شناور مورد بررسی قرار دادند و درستی نتایج خود را با نتایج تجربی معتبر سازی کردند [۶].

چانگ<sup>۱۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی ویژگی‌های مانورپذیری یک شناور تریماران با پیکربندی مختلفی از بدنه‌های جانبی پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که اگر بدنه‌های جانبی در قسمت جلوی شناور و به فاصله عرضی مناسبی از آن قرار داشته باشند شناور مانورپذیری بهتری خواهد داشت [۷].

مین و ژانگ<sup>۱۷</sup> در سال ۲۰۱۱ به مطالعه عددی بدنه‌های جانبی شناور سه‌بدنه پرداخته و بهینه‌کردن فرم آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند [۸]. رودریگو<sup>۱۸</sup> در سال ۲۰۱۲ با استفاده از روش تئوری نواری و محاسبات عددی جریان سیال دریامانی یک شناور سه‌بدنه و تک‌بدنه را محاسبه و مقایسه کرد و نتیجه گرفت که رفتار دینامیکی شناور سه‌بدنه نسبت به شناور تک‌بدنه مشابه بهتر می‌باشد. همچنین نتیجه گرفتند که روش به کار رفته به دلیل شبیه‌سازی بهتر اندرکنش بین بدنه‌های تریماران روش مناسبی برای تحلیل حرکات این شناور می‌باشد [۹].

لاهلیم<sup>۱۹</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ به مقایسه و ارزیابی پایداری و عملکرد دریامانی شناور تک‌بدنه، کاتاماران و تریماران پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که شناورهای چندبدنه (کاتاماران و تریماران) پایدارتر و مقادیر BM و GM بیشتری از شناور تک‌بدنه دارند و همچنین خصوصیات هیل و لیست<sup>۲۰</sup> بهتری دارند [۱۰].

یانگ<sup>۲۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی روش جدید بهینه‌سازی هیدرودینامیکی پرداختند که در آن، علاوه بر تاثیر موقعیت‌های بدنه‌های جانبی، اثرات فرم این بدنه‌ها و فاصله آن‌ها تا بدنه اصلی نیز مورد مطالعه قرار گرفت [۱۱].

<sup>10</sup> Yang

<sup>11</sup> Jiang and Hanbing

<sup>12</sup> Harbin, China

<sup>13</sup> Planning trimaran

<sup>14</sup> Sinkage

<sup>15</sup> Poundra

<sup>1</sup> Luhulima

<sup>3</sup> Sato

<sup>4</sup> Chung

<sup>5</sup> Min and Zhang

<sup>6</sup> Rodrigo

<sup>7</sup> Luhulima

<sup>8</sup> Heel

<sup>9</sup> List

$$(A_{55} + I)\ddot{\eta}_5 + B_{55}\dot{\eta}_5 + C_{55}\eta_5 + A_{53}\ddot{\eta}_3 + B_{53}\dot{\eta}_3 + C_{53}\eta_3 = F_{Ex5} \quad (2)$$

که در آن:

M ماتریس جرم و ممان کشتی

A ماتریس ضرایب جرم افزوده

B ماتریس ضرایب دمپینگ

C ماتریس ضرایب فنریت

F ماتریس مجموع نیروها و ممان‌های وارده ناشی از موج می‌باشند.

### ۳- مدل سازی شناور تریماران

بدون شک انجام آزمایش دقیق‌ترین راه برای کشف جزئیات پدیده‌های فیزیکی قلمداد می‌گردد. در زمینه طراحی شناورها نیز آزمایش مدل یک ابزار کارآمد است که با ساخت مدلی از شناور در مقیاس کوچکتر در حوضچه‌های کشتی و حوضچه‌های سه‌بعدی انجام می‌شود.

در این روش یک مدل فیزیکی از شناور با استفاده از قوانین تشابه هیدرو دینامیکی و سازه‌ای ساخته شده و آزمایش‌های مختلف از قبیل مقاومت، دریامانی، قابلیت مانور و نیز آزمایش‌های سازه‌ای بر روی آن انجام می‌شود. برای طراحی بدنه مدل شناور تریماران هدف از فرم بدنه یک شناور تک‌بدنه استفاده شده است. برای باریک و بلند کردن بدنه اصلی، طول بدنه افزایش داده شد تا نسبت طول به عرض ۱۲ بدست آید.

از فرم هندسی نیم ویگلی نامتقارن داخلی و خارجی برای بدنه‌های جانبی استفاده شد. شناور ویگلی یک فرم بدنه با یک رابطه ریاضی برای شناورهای جابجایی محسوب می‌شود که هندسه بدنه آن از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

در رابطه بالا y نقاط نیم‌عرض، B بیشینه عرض شناور، L طول کلی شناور، T آب‌خور، z نقاط در ارتفاع و x مختصات در طول شناور می‌باشد.

قسمت بیرونی بدنه جانبی نامتقارن داخلی و قسمت داخلی بدنه جانبی نامتقارن خارجی، به صورت تخت و سمت دیگر آن‌ها فرم بدنه‌های جانبی نامتقارن به صورت نیم ویگلی می‌باشد. در شکل (۱) نمایی از فرم بدنه‌های جانبی مدل نمایش داده شده است.

اصلی تاثیر بسیاری بر روی مقاومت دارد و با کم کردن فاصله مقاومت به دلیل تداخل امواج افزایش می‌یابد. سپس با افزایش تداخل مقاومت و دریامانی، حرکات هیو و پیچ کاهش می‌یابد. همچنین این تداخل بر روی حرکت رول تاثیر ندارد [۱۶].

آقای ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ به روش عددی و تجربی، بهینه‌سازی مدل تریماران را بررسی کردند. با استفاده از پیکربندی‌های مختلف بدنه‌های جانبی در طول موج‌های مختلف و دو سرعت، بهترین چیدمان بدنه‌های کناری را ارائه دادند [۱۷]. آقای ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۹ با استفاده از روش عددی و تجربی به بررسی یک شناور تریماران پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با قرارگیری بدنه‌های جانبی در قسمت انتهایی از بدنه اصلی باعث افزایش راندمان و با نصب بدنه‌های کناری در جلوی تریماران باعث کاهش مقاومت می‌شود [۱۸].

در این مطالعه تاثیر فرم هندسی بدنه‌های جانبی بر روی حرکات هیو و پیچ یک شناور تریماران به روش تجربی با فرم‌های بدنه نامتقارن داخلی و خارجی در حوضچه کشتی انجام شده است.

### ۲- حرکات هیو و پیچ کشتی

حرکات کشتی در موج ترکیبی از حرکات انتقالی و دورانی می‌باشد. می‌توان با استفاده از معادلات حرکت، اصول تئوری حرکات کشتی در دریا را شکل داد و در تحلیل کیفی و کمی این حرکات از آن استفاده نمود. کشتی به عنوان یک

$$y = \frac{B}{2} \left( 1 - \left( \frac{2x}{L} \right)^2 \right) \left( 1 - \left( \frac{z}{T} \right)^2 \right) \quad (3)$$

جسم صلب فرض می‌شود و حرکات کشتی در مرکز ثقل آن تعریف می‌گردند. برای یافتن معادلات حرکتی از قوانین اصلی مکانیک استفاده می‌شود. با فرض اینکه موج به صورت موج ساده سینوسی باشد و از اثرات سایر حرکات کشتی روی کوپل هیو و پیچ صرف‌نظر شود، دستگاه معادلات حرکت هیو و پیچ را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

معادله حرکت هیو:

$$(M + A_{33})\ddot{\eta}_3 + B_{33}\dot{\eta}_3 + C_{33}\eta_3 + A_{35}\ddot{\eta}_5 + B_{35}\dot{\eta}_5 + C_{35}\eta_5 = F_{Ex3} \quad (1)$$

معادله حرکت پیچ:

<sup>2</sup> Wang

<sup>3</sup> Zhang

جدول (۱) مشخصات شناور.

پارامتر(واحد)	شناور واقعی	شناور مدل
طول کل بدنه اصلی(متر)	۱۲۴	۱/۵۵
طول خط آب بدنه اصلی(متر)	۱۲۳/۲	۱/۵۴
عرض خط آب(متر)	۹/۶	$۱۲ \times 10^{-2}$
ارتفاع(متر)	۱۱/۷۷۶	$۱۴/۷۲ \times 10^{-2}$
آبخور(متر)	۴/۳۸۴	$۵/۴۸ \times 10^{-2}$
طول بدنه کناری(متر)	۳۶	$۴۵ \times 10^{-2}$
عرض بدنه کناری(متر)	۲/۳۶	$۲/۹۵ \times 10^{-2}$
ارتفاع بدنه کناری(متر)	۸/۱۳۶	$۱۰/۱۷ \times 10^{-2}$
آبخور بدنه کناری(متر)	۷/۴۴	$۰/۹۳ \times 10^{-2}$

جدول (۲) مشخصات حوضچه کشش.

طول	۴۰۲ متر
عرض	۶ متر
ارتفاع	۴/۵ متر
عمق آب	۴ متر
سرعت ارابه	۱۹ متر بر ثانیه
نوع ارابه	سرنشین دار
ارتفاع موج منظم	۰/۵ متر
ارتفاع موج نامنظم	۰/۴ متر
پارامترهای مورد اندازه گیری	مقاومت، دریامانی، مانور، بازده و ضرایب پروانه

جدول (۳) سرعت کشش مدل در حوضچه.

$V_m(m/s)$	۰	۰/۵۸	۱/۱۵۵	۱/۷۳
$Fn$	۰	۰/۱۴۸۷	۰/۲۹۶۲	۰/۴۴۳۶

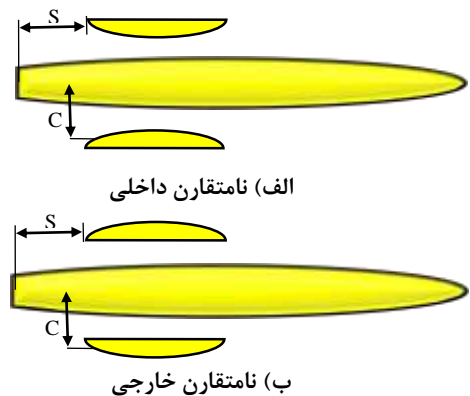
جدول (۴) مشخصات موج های مدنظر برای آزمایش.

$\omega(rad/s)$	T(sec)	K	$\lambda(m)$
۵/۰۶۳۸	۱/۲۴۰۸	۲/۶۱۶۲	۲/۴۰۱۶
۵/۴۱۳۹	۱/۱۶۰۵	۲/۹۹۰۴	۲/۱۰۱۱
۵/۸۴۶۸	۱/۰۷۴۶	۳/۴۸۷۸	۱/۸۰۱۴
۶/۴۰۴۸	۰/۹۸۱۰	۴/۱۸۵۲	۱/۵۰۱۲
۷/۱۶۰۸	۰/۸۷۷۴	۵/۲۳۱۵	۱/۲۰۱۰
۸/۲۶۸۸	۰/۷۵۹۸	۹/۹۷۵۷	۰/۹۰۰۷
۱۰/۱۲۷۷	۰/۶۲۰۴	۱۰/۴۶۴۸	۰/۶۰۰۴

پروفیل سینه آن به صورت شکافنده موج در نظر گرفته شده تا بتواند عملکرد هیدرودینامیکی شناور را بهبود بخشد. مقیاس به کار رفته در ساخت مدل نسبت ۸۰ به ۱ است. طراحی مدل در نرم افزار کتیا انجام شد و پس جی کد گیری، توسط دستگاه CNC فرز سه محوره مدلی از جنس پلی اتیلن ساخته شد. برای اتصال بدنه های جانبی به بدنه اصلی مکانیزمی از پروفیل آلومینیومی ساخته شد. بدنه های جانبی ۲۲/۵ سانتی متر نسبت به پاشنه فاصله داشته و فاصله خط مرکزی بدنه های جانبی از خط مرکزی بدنه اصلی ۲۱/۵ سانتی متر است. مشخصات شناور واقعی و مدل در جدول (۱) نشان داده شده است.

#### ۴- شرح کلی آزمایش

کلیه آزمایش های دریامانی مدل در آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس انجام شد. مشخصات این آزمایشگاه در جدول (۲) بیان شده است. رفتار دریامانی برای بدنه های جانبی نامتقارن داخلی و خارجی در سه سرعت با دو دامنه موج و هفت فرکانس موج انجام شده است. آزمایش ها در یک موقعیت طولی و یک موقعیت عرضی برای بدنه های جانبی صورت پذیرفت. اطلاعات مربوط به آزمایش مدل در حوضچه کشش در جداول (۳) تا (۵) آمده است.

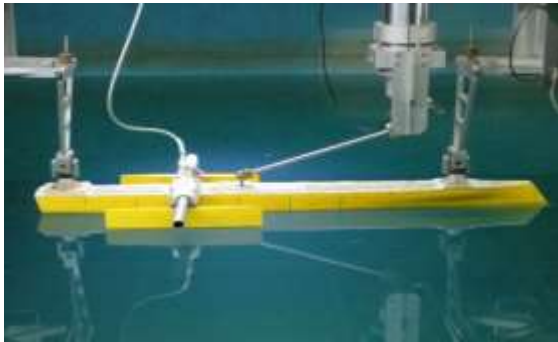


شکل (۱) فرم های بدنه مدل تریماران.



شکل (۲) مدل تریماران.

<sup>1</sup> Wave Piercing Bow

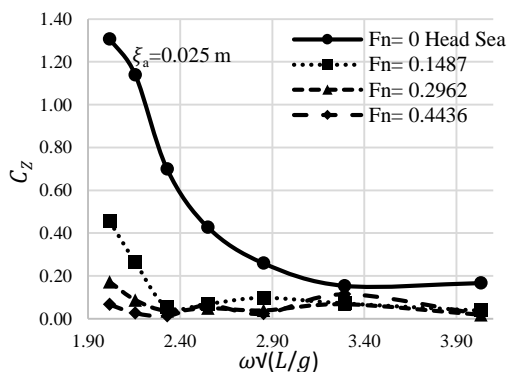


شکل (۴) مدل تریماران و چگونگی اتصال آن به دینامومتر.

#### ۵- نتایج حاصل از آزمایش و تحلیل آن‌ها

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی حرکات دریامانی شناور مدل تریماران بصورت منحنی‌های بی‌بعد نمایش داده شده است. محور عمودی منحنی‌ها، مربوط به رانوی حرکات هیو و پیچ و محور افقی منحنی‌ها، فرکانس بی‌بعد شده  $\omega \sqrt{\frac{L}{g}}$  را نشان می‌دهد.

اشکال (۵) و (۶) رانوی هیو و پیچ شناور را در دامنه موج ۰/۰۲۵ متر را برای فرم بدنه جانبی نامتقارن داخلی نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها، مقادیر پاسخ در شرایط بدون سرعت از مقادیر بالاتری در مقایسه با حرکت رو به جلو برخوردار است. قبل از فرکانس ۲/۴۰ تغییرات سرعت پاسخ حرکات شناور را تحت تاثیر قرار داده به طوری که با افزایش سرعت مقادیر پاسخ کاهش پیدا می‌کند. بعد از فرکانس ۲/۴۰ تغییرات سرعت تاثیر چندانی بر روی پاسخ‌ها ندارد. وجود نقاط ماکزیمم و مینیمم محلی بر روی نمودار پیچ در سرعت صفر ناشی از کوپل حرکت هیو و پیچ شناور است. نمودارهای (۷) و (۸) مربوط به رانوی هیو و پیچ شناور با فرم بدنه کناری نامتقارن داخلی در دامنه موج ۰/۰۳۵ متر است.



شکل (۵) رانوی هیو فرم بدنه نامتقارن داخلی در دامنه موج ۰/۰۲۵ متر.

به منظور بی‌بعد سازی حرکات هیو، پیچ و همچنین فرکانس از روابط زیر که به استناد قوانین ITTC می‌باشد استفاده شده است [۱۹]:

$$C_z = \frac{Z}{h_w} = \sqrt{RAO_z} \quad (۴)$$

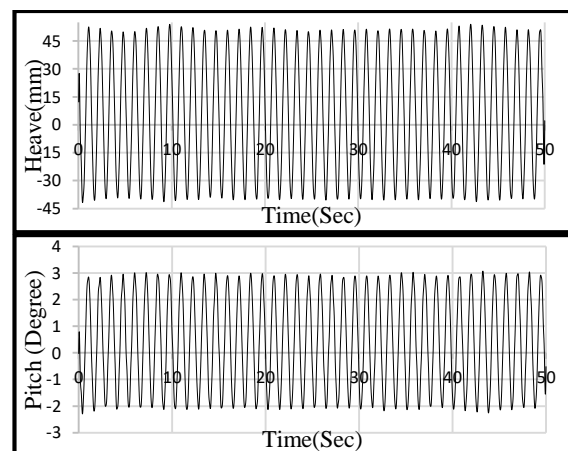
$$C_\theta = \frac{\theta}{Kh_w} = \frac{\theta}{\frac{2\pi}{L_w} h_w} = \frac{\sqrt{RAO_\theta}}{K} \quad (۵)$$

که در آن  $C_z$  جابجایی حرکت هیو و  $C_\theta$  زاویه پیچ است. مقادیر مربوط به تغییرات آبخور در سینه و پاشنه شناور اندازه‌گیری شد و با توجه به هندسه مدل و محل اندازه‌گیری آبخورها هیو و پیچ شناور در مرکز ثقل محاسبه گردید. جهت از بین بردن نویز پاسخ‌ها و همچنین دقت بیشتر محاسبات از نرم‌افزار متلب استفاده شد. در شکل (۳) نمونه‌ای از پاسخ زمانی هیو و پیچ فرم بدنه نامتقارن خارجی نشان داده شده است. در شکل (۴) چگونگی اتصال مدل به دینامومتر در حوضچه کشش را نشان می‌دهد.

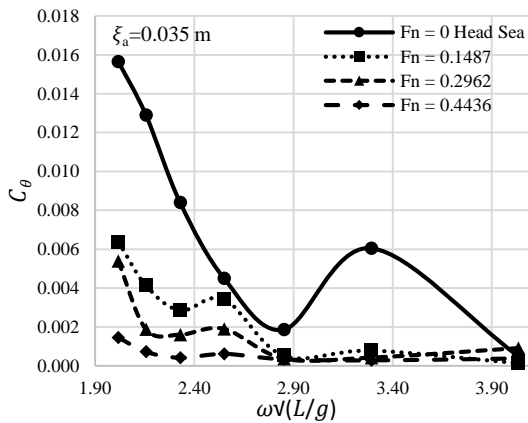
جدول (۵) نقشه آزمایش مدل.

$\omega$ (rad/s)	$V_m$ (m/s)	$\eta$ (m)	فرم بدنه‌های جانبی
۵/۰۶۳۸	۰	۰/۰۲۵	نامتقارن داخلی
۵/۴۱۳۹	۰/۵۸	۰/۰۳۵	نامتقارن خارجی
۵/۸۴۶۸	۱/۱۵۵		
۶/۴۰۴۸	۱/۷۳		
۷/۱۶۰۸			
۸/۲۶۸۸			
۱۰/۱۲۷۷			
۷	۴	۲	۲

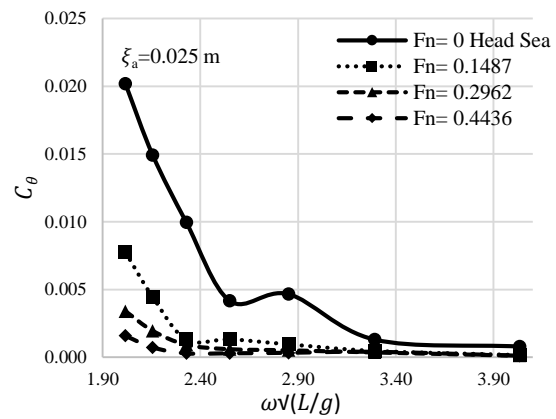
در مجموع ۱۱۲ آزمایش



شکل (۳) پاسخ زمانی هیو و پیچ فرم بدنه نامتقارن خارجی، شرایط بدون سرعت، موج از روبرو با دامنه موج ۰/۰۲۵ متر و فرکانس موج ۵/۰۶۳۸ رادیان بر ثانیه.



شکل (۸) رانوی پیچ فرم بدنه نامتقارن داخلی در دامنه موج ۰/۰۳۵ متر.

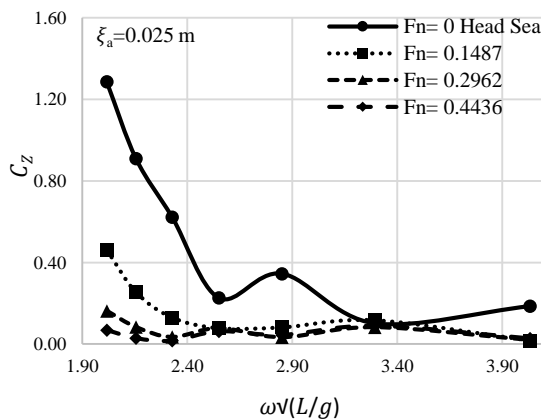


شکل (۶) رانوی پیچ فرم بدنه نامتقارن داخلی در دامنه موج ۰/۰۲۵ متر.

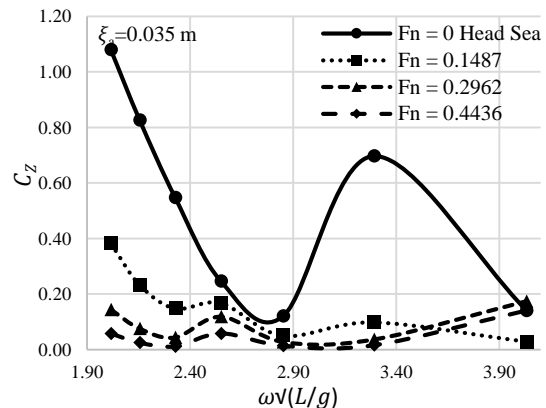
علاوه بر آن، در حرکت رو به جلو، کوپل حرکت هیو و پیچ در محدوده فرکانس ۲/۵۰ وجود دارد و پس از آن مقادیر پاسخ حرکات روند کاهشی داشته است بجز عدد فرود ۰/۴۴۳۶ که پس از این محدوده مقادیر افزایش پیدا کرده است. رانوی پیچ شناور با بدنه های نامتقارن خارجی و دامنه موج ۰/۰۳۵ متر در نمودار شکل (۱۲) نشان داده شده است. ملاحظه می گردد که در بیشترین مقادیر پاسخ مربوط به شرایط بدون سرعت و کمترین آن در عدد فرود ۰/۴۴۳۶ می باشد. در شکل نیز مشخص است که در عدد فرود ۰/۲۹۶۲ کوپل حرکت هیو و پیچ در محدوده فرکانس ۲/۵۰ وجود دارد. همچنین بیشترین مقادیر حرکت پیچ مربوط به شرایط بدون سرعت و کمترین آن در عدد فرود ۰/۴۴۳۶ بدست آمد. نمودار ۱۱ رانوی هیو شناور با بدنه های نامتقارن خارجی با دامنه موج ۰/۰۳۵ متر را نشان می دهد. بیشترین مقادیر پاسخ حرکت هیو مربوط به شرایط بدون سرعت است.

در شرایط بدون سرعت مدل در محدوده فرکانس ۲/۳۰ به دلیل کوپل حرکات هیو و پیچ مقادیر پاسخ حرکات شناور تغییرات شدیدی داشته و پاسخ هیو دارای مقدار قابل ملاحظه ای است. در عدد فرود ۰/۱۴۸۷، تا فرکانس ۲/۴۰ کاهش حرکات هیو و پیچ اتفاق افتاده و پس از کوپل حرکات هیو و پیچ در محدوده فرکانس ۲/۴۰ تا ۲/۹۰ روند کاهش حرکات ادامه داشته است ولی برای اعداد فرود بالاتر پس از این محدوده این روند افزایشی است.

شکل (۹) مربوط به رانوی هیو در آزمایش مدل با بدنه های جانبی نامتقارن خارجی و دامنه موج ۰/۰۲۵ متر است که تا فرکانس ۲/۵۰ پاسخ کاهش شدید داشته و پس از کوپل حرکات هیو و پیچ روند کاهش مقادیر حرکات ادامه پیدا کرده است. ملاحظه می شود، در همین آزمایش در نمودار رانوی پیچ که در شکل (۱۰) قابل مشاهده است، هیچگونه کوپلی وجود ندارد.



شکل (۹) رانوی هیو فرم بدنه نامتقارن خارجی در دامنه موج ۰/۰۲۵ متر.

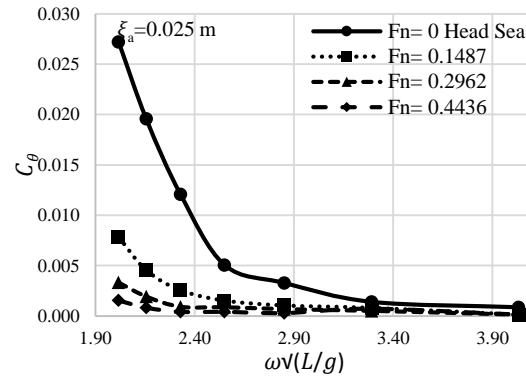


شکل (۷) رانوی هیو فرم بدنه نامتقارن داخلی در دامنه موج ۰/۰۳۵ متر.

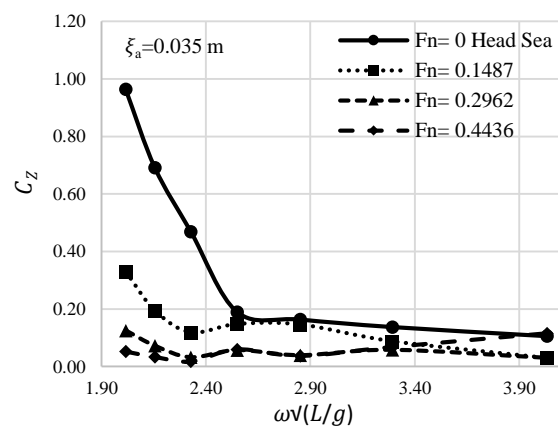
از موج با دامنه  $0.25$  متر به  $0.35$  متر بیشتر بوده است. از آنجا که بدنه‌های جانبی در شناور تریماران باعث کاهش مقاومت و در نتیجه افزایش سرعت می‌شوند، در بین بدنه‌های کناری و اصلی کاهش فشار و کاهش سطح آب بوجود خواهد آمد و همچنین فرم بدنه نامتقارن خارجی به دلیل اندرکنش مناسب بین بدنه اصلی و بدنه‌های کناری، حرکات کمتری نسبت به بدنه نامتقارن داخلی داشته است. وجود نقاط ماکزیمم و مینیمم محلی بر روی منحنی‌های پاسخ شناور نشان می‌دهد که در بعضی از فرکانس‌ها کوپل بین حرکت هیو و پیچ وجود دارد.

#### ۷- مراجع

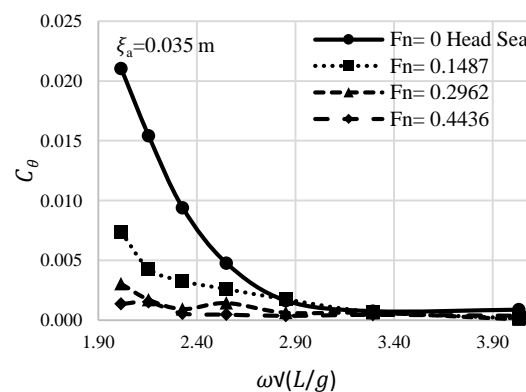
- [1] Yan, L; Bliault, A, High Performance Marine Vessels, Springer Science, Business Media, LLC 2012.
- [2] Bingham, A.E, Hampshir, J.K, "Motion and Loads of a Trimaran Traveling in Regular Wave", Proc.6th Int. Conf. on Fast Sea Transportation (FAST), The Royal Institution of Naval Architects, London Southampton, Vol.II, pp.167-176, , 2001.
- [3] Aziz Alper Kurultay, "Sensitivity Analysis of the Seakeeping Behavior of Trimaran Ship", Turkish Naval Academy, 2003.
- [4] Hebblewhite, K, Sahoo, P, Doctors, L, "A Case Study Theoretical and Experimental Analysis of Motion Characteristics of a Trimaran Hull Form". Fifth International Conference on High Performance Marine Vehicles, pp.1-7, 2006.
- [5] Armstrong, T, "On the Performance of a Large High-Speed Trimaran", Australian Journal of Mechanical Engineering, Vol.3, No.2, pp.112-118, 2006.
- [6] Sato, Y, Uzawa, K, and Miyata, H, "Validation of Motion Prediction Method for Trimaran Vessels" 9th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics Michigan, U.S.A., pp.1-5, 2007.
- [7] Chung Fang, Ming; Hwa Chang, Zen; and An Yang, Shih; "The Effect of the Side Hull Arrangement on the Maneuvering Characteristics of the Trimaran Ship", International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing, China, 2010.
- [8] Min, X, and Zhang, Sh, "A Numerical Study on Side Hull Optimization for Trimaran", Journal of Hydrodynamics, Ser.B, Vol.23, No.2, pp.265-272, 2011.
- [9] Rodrigo, P.F; "Seakeeping in the Navigation Example in Trimaran Ship", International Journal for Traffic and Transport Engineering, Vol.2, No.3, pp.221-235, 2012.



شکل (۱۰) رانوی پیچ فرم بدنه نامتقارن خارجی در دامنه موج  $0.25$  متر.



شکل (۱۱) رانوی هیو فرم بدنه نامتقارن خارجی در دامنه موج  $0.35$  متر.



شکل (۱۲) رانوی پیچ فرم بدنه نامتقارن خارجی در دامنه موج  $0.35$  متر.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تاثیر عدم تقارن فرم هندسی بدنه‌های جانبی بر روی حرکات هیو و پیچ بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش عدد فرود و افزایش فرکانس، رفتار حرکات هیو و پیچ هر دو فرم بدنه روند کاهشی داشته و این تغییرات



- [10] Luhulima, R, Setyawan, D, and Utama, I, "Selecting Monohull, Catamaran and Trimaran as Suitable Passenger Vessels based on Stability and Seakeeping Criteria", The 14<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop (ISSW), 2014.
- [11] Yang, C, Huang, F, and Kim, H, "Hydrodynamic Optimization of a Trimaran", Journal of Hydrodynamics, Ser.B, Vol.26, No.6, pp.856-864, 2015.
- [12] Akbari, K, Khedmati, M, and Seif, M, "Experimental Study on Heave and Pitch Motion Characteristics of a Wave-Piercing Trimaran" Transactions of famena XXXVIII-3, 2014.
- [13] Jiang, Y, and Hanbing Sun, N, "Analysis of Tunnel Hydrodynamic Characteristics for Planning Trimaran by Model Tests and Numerical Simulations" Ocean Engineering, Harbin Engineering University, Vol.112, 2015.
- [۱۴] عسکریان خوب، ابوالفتح؛ کتابداری، محمد جواد؛ تحلیل بارگذاری موج بر روی سازه عرضی شناور تریماران؛ فصلنامه علمی دریا فنون؛ دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۵۳-۶۳، بهار ۱۳۹۶.
- [15] Poundra, G.A.P, Utamab, I.K.A.P, Hardiantoa, D, and Suwasonoa, B, "Optimizing Trimaran Yacht Hull Configuration Based on Resistance and Seakeeping Criteria", Procedia Engineering, Vol.194, pp.112-119, 2017.
- [16] Luhulima, R, Utama, I, Sutiyo, and Suwasono, B, "CFD Analysis into the Correlation between Resistance and Seakeeping of Trimaran Configuration", Proceeding of Marine Safety and Maritime Installation (MSMI), 2018.
- [17] Wang, S.M, Ma, S, and Duan, W.Y; "Seakeeping Optimization of Trimaran Outrigger Layout based on NSGA-II", Ocean Research, Vol.78, pp.110-122, 2018.
- [18] Zhang, L, Zhang, J.N, and Shang, Y.C, "A Potential Flow Theory and Boundary Layer Theory Based Hybrid Method for Waterjet Propulsion" Journal of Marine Science and Engineering, 2019.
- [19] ITTC - Recommended Procedures and Guidelines - Global Loads Seakeeping Procedures 7.5-02-07-02.6, 2011.