

## تأثیر ژيروسکوپ بر پایداری شناورهای کوچک و متوسط

محمد کامل خدابنده<sup>۱</sup>، شکیب صادقی<sup>۱</sup>، حسین قربانزاده<sup>۱</sup>، علی اکبر اکبری<sup>۲\*</sup>

۱- دانشکده مهندسی راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

۲- دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

\* ایران، مشهد، صندوق پستی ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، akbari@um.ac.ir

### چکیده

با گسترش روزافزون استفاده از شناورهای تندرو، حفظ تعادل و پایداری این دسته از شناورها در مواجهه با امواج دریا، اهمیت بسیاری دارد. زمانی که یک کشتی در دریا، تحت تأثیر تلاطم خارجی و داخلی ناشی از امواج دریا و نیروی باد قرار می گیرد، تجهیزات مستقر بر عرشه کشتی تحت تأثیر این نوسانات در سه جهت خطی و دورانی حرکت می کنند، که در این بین حرکت رول بیشترین تأثیر را بر خدمه و تجهیزات دارد. از مهم ترین راهکارهای مقابله با این تلاطمها، استفاده از ژيروسکوپ است. در این پژوهش تاریخچه ای از ژيروسکوپها و پایدارسازها به همراه منابع مرتبط با آنها ارائه شده است. سپس ژيروسکوپهای ضد غلتش معرفی و عملکرد آنها نیز بررسی شده است. همچنین استانداردهای معتبر برای پایداری شناورهای تندرو در شرایط کاری مختلف نیز بیان گردیده است. در این تحقیق با مقایسه و معرفی سامانه های پایدارساز و با توجه به ویژگی شناورهای تندرو، این نتیجه حاصل شد که بهترین نوع پایدارساز برای پایداری شناورهای تندرو و یا شناورهای کوچک و متوسط، ژيروسکوپهای ضد غلتش بوده و برای کاهش رول در کشتی های بزرگ تجاری می توان از مخازن و بالک های ضد غلتش استفاده کرد. همچنین با توجه به بررسی های انجام شده، در صورتی که برخی محدودیتها مانند تنش موضعی بیش از حد در بدنه، نبود توان کافی برای شروع به کار ژيروسکوپ، کمبود فضای کافی برای نصب، وجود نداشته باشد، استفاده از یک ژيروسکوپ به جای چند ژيروسکوپ تأثیر بیشتری بر پایداری شناور خواهد داشت. در انتها مقایسه هایی برای تصدیق میزان اثربخشی بالای این نوع پایدارسازها آورده شده است که کاهش ۶۰ تا ۹۵ درصدی کاهش رول شناور با توجه به شرایط کاری و به وسیله پایدارسازهای ژيروسکوپی را نشان می دهند.

### کلیدواژگان

ژيروسکوپ، رول شناور، جاپرو استابلایزر، سامانه های پایدارساز

## The effect of gyroscope on the stability of small and medium vessels

Mohammad Kamel khodabandeh<sup>1</sup>, Shakib Sadeghi<sup>1</sup>, Hossein Ghorbanzadeh<sup>1</sup>, Aliakbar Akbari<sup>2\*</sup>

1- School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2- School of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

\* P.O.B. 9177948974 Mashhad, Iran, akbari@um.ac.ir

### Abstract

With the increasing use of high-speed vessels, it is very important to maintain the balance and stability of these vessels from sea waves. When a ship at sea is affected by external and internal turbulence caused by waves and wind force, the equipment located on the ship's deck moves in three linear and rotational directions under the influence of these fluctuations, among which the roll movement has the greatest effect on the crew and has equipment. One of the most important ways to deal with these turbulences is to use a gyroscope. In this research, a review of gyroscopes and stabilizers along with their related sources is presented and gyroscopic stabilizers of vessels are studied. Then, the introduction of anti-rolling gyroscopes and the explanation of their function is presented. On other hand, some standards for the stability of high-speed vessels in different working conditions are stated. In this research, by comparing and introducing stabilizer systems and considering the characteristics of high-speed vessels, it was concluded that the best type of stabilizer for the stability of high-speed vessels or small and medium vessels is anti-rolling gyroscopes, and to reduce the roll in large commercial ships, it is possible to He used tanks and anti-roll bars. Also, according to the investigations, if there are no limitations such as excessive local stress in the body, lack of sufficient power to start the gyroscope, or lack of sufficient space for installation, using one gyroscope instead of several gyroscopes will have a greater effect on the stability of the float. At the end, comparisons are given to confirm the high effectiveness of this type of stabilizers, which show a 60-95% reduction in floating roll according to the working conditions and by means of gyroscopic stabilizers.

### Keywords

Gyroscope, Floating roll, Gyroscopic stabilizer, Stabilizer systems

## ۱- مقدمه

اغلب افراد دریانورد، در اثر حرکات شدید شناورها دچار امراض و ناراحتی‌هایی می‌شوند؛ علاوه بر ناراحتی‌های انسانی، جابجایی اجسام داخل شناور، مشکل شدن تردد، صدمه دیدن دستگاه‌ها و کاهش دقت تجهیزات نیز از تأثیرات نامناسب حرکات شدید شناورها می‌باشد؛ بنابراین یکی از مباحث مهم در شناورهای سطحی، حفظ تعادل این دسته از شناورها در مقابل امواج دریا، جریان‌های دریایی و باد، در حال سکون و حرکت می‌باشد. [۱] از بین نوسانات اجباری ایجادشده می‌توان گفت که مهم‌ترین اثر تلاطم امواج دریا بر روی شناور، در قالب ایجاد نوسانات اجباری در جهت رول شناور نمایان می‌شود. کنترل این نوسانات ناخواسته در شناورهای نظامی و غیرنظامی از اهمیت بالایی برخوردار است. بحث مربوط به کنترل رول در شناورهای نظامی به مراتب از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشد؛ به خصوص شناورهایی که مجهز به تسلیحات گوناگون برای دفاع و حمله در شرایط اضطراری باشند. همچنین در بسیاری از شرایط به‌واسطه‌ی نوسانات اجباری واردشده به شناور در حال حرکت، شرایطی به وجود می‌آید که قابلیت مانور شناور به شدت کاهش می‌یابد. لذا دستیابی به تجهیزات مناسبی که بتوانند، رول ناخواسته شناورها را در شرایط سکون و حرکت در حالت‌های گوناگون دریایی کنترل نماید، از اهمیت بالایی برخوردار است.

نوسانات ناخواسته هم بر روی خدمه در قالب کاهش قوای ذهنی و تمرکز حواس، سرگیجه و تهوع (دریازدگی)، عدم تسلط بر فعالیت‌های فیزیکی و هم بر روی تجهیزات و تسلیحات (مانند تجهیزات مخابراتی، آزمایشگاهی، موشکی، دوشکا و غیره) تأثیرات نامطلوبی خواهند داشت. تأثیرات نامطلوب بر روی تجهیزات و تسلیحات می‌تواند در دودسته موردتوجه قرار گیرند، یکی مربوط به دقت عملکرد و دیگری سبب صدمه دیدگی تجهیزات و تسلیحات خواهد شد. [۲] اگر شرایط نوسانات به گونه‌ای کنترل شود که در بازه‌ی تحمل‌پذیری انسان قرار بگیرد، مسلماً تجهیزات هم متأثر از این نوسانات دچار صدمه دیدگی نخواهند شد؛ ولی نکته‌ای که باید همواره موردتوجه قرار گیرد آن است که در شناورهای نظامی دقت تجهیزات و تسلیحات بسیار مهم است و شرایط باید به گونه‌ای به وجود بیاید تا این دقت حتماً حاصل شود. دلیل این امر هم محدودیت در دقت تجهیزات و تسلیحاتی می‌باشد که بر روی شناورهای نظامی موجود نصب می‌شوند. لذا کاهش دامنه‌ی نوسانات ناخواسته‌ی شناور به منظور احراز شرایط سازگار با دقت تجهیزات و تسلیحات باید با استفاده از سامانه‌های پایدارساز فراهم شود.

## ۲- تعاریف پایه

هر جسم صلب دارای ۶ درجه آزادی است که این ۶ درجه آزادی در کشتی به صورت شکل ۳ تعریف می‌شود. همچنین این حرکات کشتی، سبب ایجاد

غلطش‌های طولی و عرضی می‌شوند. این حرکات به‌طور کلی در دودسته حرکات دورانی و حرکات خطی دسته‌بندی می‌شوند.

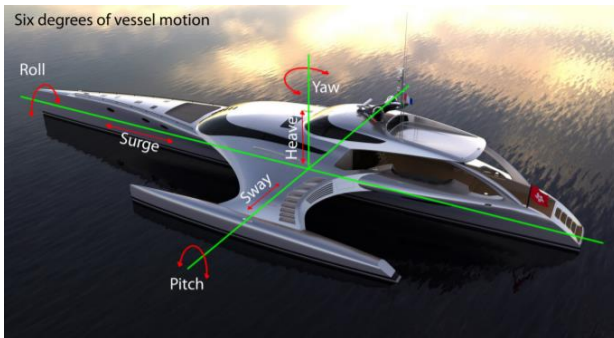
### ۲-۱- انواع حرکت دورانی

- حول محور طولی X، یا غلغش عرضی: رول<sup>۱</sup>
- حول محور عرضی Y، یا غلغش طولی: پیچ<sup>۲</sup>
- حول محور عمودی Z، یا غلغش در صفحه افقی: یاو<sup>۳</sup>

### ۲-۲- انواع حرکت خطی

- در راستا محور طولی X: سرچ<sup>۴</sup>
- در راستا محور عرضی Y: اسوی<sup>۵</sup>
- در راستا محور عمودی Z: هیو<sup>۶</sup>

در شکل ۱ نمونه‌ای از یک شناور مشاهده می‌شود که انواع حرکت روی آن به نمایش درآمده است.



شکل ۱ انواع حرکات شناور [۳]

### ۲-۳- پایدارساز ژيروسکوپ

واژه ژيروسکوپ، از دو کلمه جایرو به معنای دوران و اسکوپ به معنای نشان دادن تشکیل شده است؛ بنابراین به ژيروسکوپ می‌توان دوران نما نیز گفت. پایدارساز ژيروسکوپ، وسیله‌ای است که بر اساس اصول ژيروسکوپ ساخته شده است. ژيروسکوپ، عضو اصلی سامانه‌های هدایت اینرسی است که در ناوبری اینرسی مورد استفاده قرار می‌گیرد و که جهت مشخص کردن موقعیت یک متحرک مانند هواپیما یا کشتی با استفاده از متغیرهای اینرسی مثل سرعت و شتاب، به کار می‌رود. شکل ۲ یک ژيروسکوپ اولیه و اجزا آن را نشان می‌دهد. [۳]

۱roll  
۲pitch  
۳gyro  
۴scope

۱roll  
۲pitch  
۳yaw  
۴surge

۴-۲- اثر ژيروسکوپ

اگر یک دیسک دوار، حول یکی از محورهای عمود بر جهت چرخش خود بچرخد ممانی ایجاد می شود، که در جهت محور سوم جسم است. طبق قانون دست راست، اگر چهار انگشت دست راست در جهت بردار سرعت چرخشی قرار گیرد و گردش انگشتان در جهت حرکت بردار سرعت زاویه ای تقدیمی باشد، انگشت شست جهت بردار کوپل را نشان می دهد؛ لذا چهار حالت ممکن برای جهت های کوپل های ایجاد شده بدست می آید که در جدول ۱ نشان داده شده است. از این خاصیت برای پایدارسازی تجهیزات بزرگ و کوچک، از برج های بلند تا دوربین های کوچک استفاده می شود.

جدول ۱ حالات مختلف کوپل و سرعت های دورانی [۳]

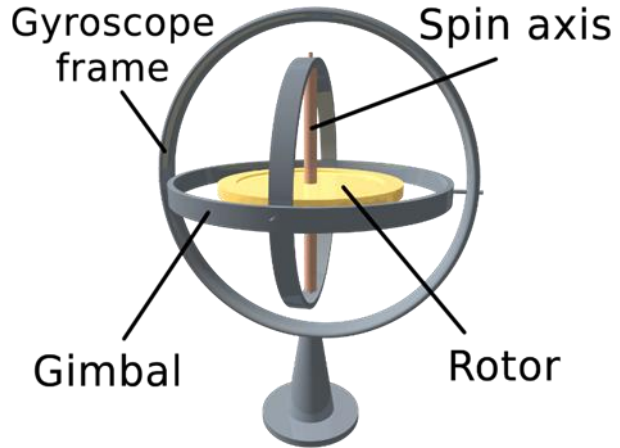
$\omega_{spin}$	$\omega_{Precession}$	کوپل ژيروسکوپی
CW	CW	CW
CW	CCW	CCW
CCW	CW	CCW
CCW	CCW	CW

۵-۲- انواع ژيروسکوپ

ژيروسکوپ از نظر ساختمان به دودسته ای یک درجه آزادی و دو درجه آزادی تقسیم می شود که در این تقسیم بندی ها، توانایی حرکت روتور نسبت به چارچوب یا بدنه ژيروسکوپ مورد نظر است. اگر روتور علاوه بر حرکت دورانی خود حول محور چرخش، بتواند حول یک محور دیگر دوران کند، به آن ژيروسکوپ یک درجه آزادی می گویند و چنانچه بتواند حول دو محور دیگر دوران کند، به آن ژيروسکوپ دودرجه ای آزادی می گویند. [۴] در ادامه تعدادی از ژيروسکوپ ها معرفی خواهند شد.

۱-۵-۲- ژيروسکوپ های DTG

این ژيروسکوپ که بر اساس اندازه حرکت زاویه ای عمل می کند، تقریباً در سال ۱۹۶۰ ابداع شد. در این ژيروسکوپ، عامل اصلی دوران، یک موتور الکتریکی است که محور دوار آن توسط زوج میله دیگری که خاصیت فنر پیچشی دارند به طوقه متصل شده است. خود طوقه نیز توسط زوج میله دیگری با خاصیت فنر پیچشی، به روتور که برخلاف انواع پیشین در قسمت بیرونی طوقه دارد، متصل است. خاصیت این دو زوج میله های فنری این است که در یک سرعت خاص از دوران (که به آن حالت تشدید می گویند) عملکرد آنها به گونه ای است که دستگاه مانند یک ژيروسکوپ روتور آزاد عمل می کند. این ژيروسکوپ ها از نظر ابعاد بسیار کوچک و سبک هستند. [۴]



شکل ۲ اجزا ژيروسکوپ [۲]

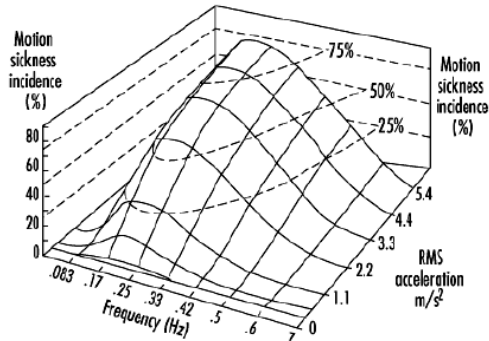
عضو اصلی ژيروسکوپ های مکانیکی، یک دیسک دوار یا روتور می باشد که معمولاً با سرعت زیاد، حول محور تقارن خود، دوران می کند و می تواند آزادانه در هر جهتی بایستد. این جهت گیری بسیار کم بر اثر گشتاور خارجی تغییر می کند که این به دلیل اینرسی جرم دوار و سرعت چرخش زیاد آن است. این سرعت از ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ دور در دقیقه می باشد. با این روش می توان جهت ثابتی را منطبق بر محور وسیله نقلیه تعریف کرد تا هرگونه حرکت زاویه ای را نسبت به آن، اندازه گیری نمود. [۲]

کاربردهای ژيروسکوپ شامل سامانه های ناوبری اینرسی مانند تلسکوپ هابل و به دلیل دقت آنها در ژيروسکوپ های تلسکوپ های برای یافتن جهت در تونل و معدن نیز استفاده می شوند. در تلفن های همراه نیز ژيروسکوپ کاربرد دارد و تحت عنوان چرخش خودکار صفحه می توان آن را فعال کرد. ممکن است حسگر ژيروسکوپ در تلفن های همراه را با حسگر شتاب سنج یکسان بدانند اما در حقیقت کار این دو باهم متفاوت است. حسگر شتاب سنج ماهیت الکتریکی دارد اما حسگر ژيروسکوپ بر پایه مکانیک می باشد. این حسگر به وسیله ای چرخش دو حلقه و چگونگی قرارگیری و حرکت آنها، قابلیت تشخیص چرخش را ایجاد می کند. ژيروسکوپ ها می توانند در ساخت قطب نماهای ژيروسکوپی که کامل کننده و یا جایگزینی برای قطب نماهای مغناطیسی در کشتی ها، هواپیماها و فضاپیماها هستند، به کار گرفته شوند. همچنین ژيروسکوپ ها برای کمک به پایداری در کشتی ها، تلسکوپ های فضایی و یا به عنوان بخشی از یک سامانه هدایت اینرسی نیز مورد استفاده قرار می گیرند. [۳] از ژيروسکوپ ها برای ساخت دوربین ضد لرزش، پایدارسازی برج های بلند و مونوریل برنان استفاده شده است.

<sup>۱</sup>The Brennan Gyro-Monorail 1962

<sup>۱</sup>gyro theodolites  
<sup>۲</sup>screen rotation

هیو نیز حائز اهمیت است. [۲] شکل ۳ فرکانس حرکات رول و اثر آن بر دریازدگی به صورت نموداری نشان داده شده است.



شکل ۳ نمودار تغییرات فرکانس حرکت غلتشی بر دریازدگی [۶]

در شکل ۳ فرکانس حرکات رول و اثر آن بر دریازدگی به صورت نموداری نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می گردد، نسب فرکانس حرکت با دریازدگی به صورت غیر خطی تغییر می کند و دارای یک نقطه ماکزیمم می باشد. در این نقطه ی ماکزیمم، بیشترین احتمال دریازدگی اتفاق می افتد که در حدود فرکانس ۰.۲ هرتز بوده، معادل دوره تناوب ۵ ثانیه است. در این دوره تناوب، بیشترین احتمال دریازدگی خدمه (حتی دریانوردان خبره) وجود دارد؛ برای اینکه در اثر تلاطم پیوسته شناور، سامانه دفاعی و گوارشی بدن مختل می شود و انسان کارایی خود را از دست می دهد. [۶]

طراحی شناور باید به گونه ای باشد که دوره نوسانات یا از ۵ ثانیه خیلی کمتر و یا خیلی بیشتر باشد تا بتوان از نقطه اکسترمم دریازدگی دور شد. البته امکان کاهش دوره تناوب از ۵ ثانیه معمولاً وجود ندارد؛ زیرا، هم دوره طبیعی و هم دوره اجباری ناشی از امواج در این زمینه مؤثر هستند و خیلی بعید است که بتوان دوره تناوب شرایط کاری شناور را به کمتر از ۵ ثانیه رساند، از طرفی در این محدوده، کارکرد دستگاهها نیز دچار اشکال می گردد. در نتیجه بهترین راه، افزایش دوره نوسانات به بیش از ۵ ثانیه است که هر چه از این مقدار بیشتر باشد، هم احتمال دریازدگی و هم خرابی دستگاهها به حداقل می رسد.

حدود دوره تناوب قابل تحمل برای انسان بدون دریازدگی و اثرات جانبی [۷] به شرح ذیل است:

- (۱) اگر دوره کمتر از ۵ ثانیه باشد، برای انسانها غیر قابل تحمل است.
- (۲) اگر دوره بین ۵ تا ۱۰ ثانیه باشد، فقط برای دریانوردان قابل تحمل است. در این حالت می گویند که شناور سرکش است؛ یعنی کشتی عکس العمل شدیدی نسبت به نیروهای خارجی دارد و حرکات کشتی بسیار شدید و قوی است.

#### ۲-۵-۲- ژيروسکوپ های لیزری

این ژيروسکوپ، برخلاف ژيروسکوپ های قبلی دارای هیچ جسم متحرکی که حرکت خطی یا زاویه ای تولید کند، نیست. ولی از آنجاکه کاربرد آن شبیه ژيروسکوپ های معمولی برای اندازه گیری دوران است، آن را در زمره ژيروسکوپ ها رده بندی می کنند. در این ژيروسکوپ از دو پرتو نور لیزر در یک مسیر بسته و در دو جهت مخالف استفاده می شود. نخستین نمونه تجاری آن در هواپیماهای بوئینگ ۷۵۶-۷۵۷ و ایرباس ۳۱۰ بکار رفته است. مزیت آن، در قابلیت اطمینان بیشتر، دامنه دینامیکی وسیع تر و مقاومت خوب در مقابل شتاب های زیاد است. [۵]

#### ۲-۵-۳- ژيروسکوپ های فیبر نوری

این ژيروسکوپ، تحقق آخرین اندیشه های بشر در ساخت ژيروسکوپ است. چراکه در نوع خود کوچک بوده و به طور آبی روشن می شود، عمر طولانی دارد، احتیاجی به خدمات نگهداری نداشته و ارزان است. همچنین احتیاج به سامانه تعلیق طوقه ای ندارند. مبنای عملکرد این ژيروسکوپ، شبیه ژيروسکوپ لیزری است، با این تفاوت که در آن به جای لیزر از یک نور پولاریزه استفاده می شود. این فناوری در اواسط دهه ی ۱۹۷۰ در دانشگاه پوتای آمریکا ابداع شد. [۴]

#### ۲-۵-۴- ژيروسکوپ های دیپازونی

نوع دیگری از ژيروسکوپ ها که بر اساس اندازه حرکت خطی عمل می کند از سامانه حفظ تعادل برخی حشرات الهام گرفته شده است. این حشرات با استفاده از دو عضو غضروفی مرتعش کوچک که در طرفین بدنشان قرار دارد، تعادل خود را حفظ می کنند. ژيروسکوپیی که بر این مینا ساخته شده است، به آن ژيروسکوپ دیپازونی یا ژيروسکوپ ارتعاشی میگویند. روی پایه اصلی این ژيروسکوپ، دو شاخک فلزی (شبیه دیپازون) قرار دارد که توسط آهنربای الکتریکی به نوسان درمی آید. این نوسانات در جهت عکس یکدیگر است یعنی یا از هم دور می شود یا به هم نزدیک می شوند. در اثر این دو حرکت، هر ذره مادی از شاخکها، دارای مؤلفه شتاب کوریولیس خواهد شد که راستای این شتاب در امتداد محور x است. [۴]

#### ۲-۶- دوره نوسانات غلتش عرضی و دریازدگی

پژوهش ها نشان می دهند که حرکات رول و پیچ بیشترین تأثیر را بر دریازدگی خدمه دارند؛ ولی هنوز مشخص نیست که مشخصات این حرکات (فرکانس، دامنه حرکت، سرعت و شتاب)، چه سهمی در دریازدگی خواهند داشت. البته به طور قطع می توان گفت که «فرکانس» بیشترین تأثیر را بر دریازدگی خدمه دارد. شتاب خطی و شتاب زاویه ای شناور نیز اثرات متفاوتی دارند. در این بین، حرکت رول و پیچ بیشترین اثرات را دارند و البته شتاب خطی



در سال ۱۹۰۹، اولین اتو پابلوت هواپیما با استفاده از ژيروسکوپ توسط المر اسپری ساخته شد. این سامانه به خلبانان کمک می کرد تا بدون توجه ویژه، هواپیمای تحت فرمان خود را در جهت تعیین شده قطب نمایی و به صورت مستقیم و بدون تغییر ارتفاع به پرواز دریاورند [۸]. در سال ۱۹۱۶ اولین اتوپابلوت کشتی توسط شرکت آنشاتز<sup>۱</sup> تکمیل شد [۹].

در سال ۱۹۱۷ شرکت چندلر کمپانی ایندیاناپولیس<sup>۲</sup> در ایندیانا "ژيروسکوپ چندلر" را به عنوان یک اسباب بازی با یک محور و یک بند تولید کرد. این وسیله تا امروز تولیدش ادامه پیدا کرده است و به عنوان یک اسباب بازی کلاسیک آمریکایی شناخته می شود. [۳]

پیشرفت صنعت و پدیدار شدن وسایل نقلیه فضایی، لزوم ابداع و هدایت کنترل دقیق را بیش از پیش آشکار ساخت. به ویژه وقوع جنگ جهانی اول و دوم و تولید نسل های جدید انواع هواپیما و موشک ها، دانشمندان و محققین را به نحو بارزی بر آن داشت تا در زمینه ابداع وسایل دقیق تر و با کیفیت بالاتر تلاش بیشتری انجام دهند. قدم اساسی در این زمینه طی جنگ جهانی دوم در دانشگاه ام آی تی آمریکا برداشته شد که تحت سرپرستی شخصی به نام چارلز دراپر<sup>۳</sup> ژيروسکوپ هایی دقیق و کوچک برای نصب روی هواپیما ساخته شد که به خاطر این تلاش هایش او را آقای جایرو لقب نهادند. پس از جنگ جهانی دوم، روش هدایت و ناوبری اینرسی به عنوان روشی دقیق و قابل اعتماد برای هدایت وسایل فضایی ساخته شد. نخستین سامانه هدایت که به طور کامل بر مبنای اصول اینرسی توسط ژيروسکوپ ها و شتاب سنج ها عمل می کرد و در آن از یاتاقان های گازی برای تخلیق طوقه ها استفاده شده بود، در سال ۱۹۵۰ مورد آزمایش پروازی قرار گرفت. امروزه نیز سامانه هدایت اینرسی، به عنوان یکی از مهم ترین روش ها برای هدایت و کنترل در امر هوانوردی و فضانوردی و همچنین هدایت موشک ها، کشتی ها و زیر دریایی ها به طور گسترده مورد استفاده قرار دارد و به تبع این امر، انواع مختلفی از ژيروسکوپ ها و شتاب سنج ها اختراع شده اند. [۲] جدول ۲ خلاصه ای از تاریخچه ژيروسکوپ را ارائه می کند.

جدول ۲ خلاصه تاریخچه ژيروسکوپ

توضیحات	محقق	تاریخ
ساخت اسباب بازی شبیه فرقه با یک دیسک چرخان نوک دار	رومان، چینیان و یونانیان	زمان باستان [۹]
ساخت اولین ژيروسکوپ شناخته شده بر اساس یک کره ی بزرگ چرخنده	Johann G. F. Bohnenberger	۱۸۱۷ [۳]

۳) اگر دوره بیشتر از ۱۰ ثانیه باشد، به راحتی قابل تحمل است. در این حالت می گویند که شناور رام است؛ یعنی کشتی عکس العمل ملایمی نسبت به نیروهای خارجی دارد و حرکات کشتی آرام و نرم است.

### ۳- تاریخچه

در این بخش ابتدا تاریخچه ای از ژيروسکوپ و سپس درباره تاریخچه پایدارسازها مطالبی بیان شود. این پایدارسازها شامل پایدارساز ژيروسکوپی و غیر ژيروسکوپی و میزهای پایدارساز هستند که در صنایع مختلف مورد استفاده می گیرند. البته با توجه به ماهیت این پژوهش، مطالب بیشتر در مورد صنایع دریایی است. لازم به ذکر است هر کدام از مواردی که در تاریخچه ذکر می شود خود دارای تاریخچه ای مجزا می باشد که در این مقاله صرفاً به پایدارساز ژيروسکوپی برای پایداری شناورها، به طور کامل تر پرداخته شده است.

#### ۳-۱- تاریخچه ژيروسکوپ

نخستین پدیده ژيروسکوپی، ۱۲۵ سال قبل از میلاد حضرت مسیح توسط ایرخوس کشف شد. تا زمان نیوتن یعنی اواخر قرن ۱۷ میلادی، تنوع چندانی در این خصوص صورت نگرفت. اما در قرن ۱۸، برخی محققین مانند اولر، تحقیقات فراوانی را در مورد دینامیک اجسام دوار انجام دادند. [۴]

اولین ژيروسکوپ شناخته شده توسط یک آلمانی به نام یوهان بوهننبرگر<sup>۴</sup> بود که اولین بار در سال ۱۸۱۷ نمونه ای از آن ساخته شده بود. ژيروسکوپ بوهننبرگر بر اساس یک کره ی بزرگ چرخنده ساخته شد. در سال ۱۸۳۲ والتر جانسون<sup>۵</sup> آمریکایی ژيروسکوپی ساخت که بر اساس دیسک چرخنده کار می کرد. [۳]

در اواسط قرن ۱۹، فوکو<sup>۶</sup> دانشمند فرانسوی برای نشان دادن دوران زمین از یک ژيروسکوپ استفاده کرد که به علت نداشتن یک موتور الکتریکی مناسب، به شکل دقیقی انجام نگرفت. همین دانشمند بود که برای نخستین بار در سال ۱۸۵۲ میلادی نام ژيروسکوپ را برای آن برگزید و در سال ۱۹۰۰ شخصی آلمانی به نام آنشوش کامف<sup>۷</sup> تصمیم به ساختن زیر دریایی برای کاوش در قطب شمال گرفت. اما وسایل هدایت و راه یابی دقیق برای این کار وجود نداشت. به ویژه قطب نماهای مغناطیسی در محدوده قطب شمال به دلیل وجود میدان های مغناطیسی قوی، از دقت و عملکرد صحیحی نداشتند. از این رو تلاش کرد تا قطب نمای دیگری که مستقل از خواص مغناطیسی عمل کند را بسازد. تلاش وی منجر به ساخت قطب نمایی شد که بر اساس خواص ژيروسکوپی کار می کرد و آن را قطب نمای ژيروسکوپی نام نهادند. این قطب نما، در واقع نخستین وسیله دقیق هدایت و راه یابی است که بر اساس اصول اینرسی کار می کرد. [۳]

<sup>۱</sup>Elmer Sperry  
<sup>۲</sup>Anschutz  
<sup>۳</sup>Chandler company of Indianapolis  
<sup>۴</sup>Charles Stark Draper Prize

<sup>۵</sup>tender ship  
<sup>۶</sup>Johann G. F. Bohnenberger  
<sup>۷</sup>Walter R. Johnson  
<sup>۸</sup>Foucault  
<sup>۹</sup>Hermann Anschutz-Kaempfe

حرکت رول نتیجه فشار وارده به بدنه است و ناشی از برخورد امواج به بدنه نمی باشد. اولین کوشش برای کاهش حرکت رول، نصب بالک های کنار بدنه در سال ۱۸۷۰ توسط فرود بود. [۱۳] بر اساس مقاله ی بازرسی و استاژ همکاران، در سال ۱۸۷۴، فرود یک مخزن آب در قسمت بالای کشتی نصب کرد، اما اثر سطح آزاد عملکرد آن را کاهش داد. [۱۴] در سال ۱۸۷۸ کمیته ای در انگلستان، مطالعه ای روی پایداری صدمه دیده انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که جریان آزاد آب داخل محفظه ی آسیب دیده، در بعضی شرایط باعث به خطر افتادن پایداری می شود؛ البته در بیشتر مواقع این مخزن باعث افزایش پایداری می شود. وات در سال ۱۸۸۳ نتایج این آزمایش ها را انتشار داد. نتایج حاصل از این آزمایش ها به علاوه نتایج کار فرود، به عنوان اولین کوشش برای ساخت مخزن ضد غلتش است. [۱۵] از دیگر وسایل پایداری اولیه، وزنه های متحرکی بودند که از یک سمت به سمت دیگر کشتی حرکت می کردند. این طرح توسط تورنی ارائه شده بود. این سامانه شامل یک شفت با دو وزنه در دو سر آن بود که توسط یک سامانه هیدرولیک چرخانده می شد. نیروی هیدرولیکی متناسب با شیب موج و زاویه ی رول، توسط رله های الکتریکی اعمال می شدند. این وسیله اولین نوع سامانه پایداری فعال محسوب می گردد. این سامانه در آزمایش ها سال ۱۸۹۱، رول شناور را در حدود ۵۰ درصد کاهش داد؛ اما با وجود نتایج خوب، این سامانه به دلیل بی نظمی در عملکرد (به خاطر پایین بودن دقت سامانه فیدبک مکانیکی) و نیز بالا بودن وزن، رها شد و برای تبدیل به یک محصول تجاری دیگر مورد استفاده قرار نگرفت. [۲] استفاده از اثر ژيروسکوپ به عنوان یک روش برای کاهش حرکت رول توسط اشلیک در سال ۱۹۰۴ پیشنهاد شد. او پیشنهاد داد که از اثر ژيروسکوپ اجسام دوار بزرگ، به عنوان یک سامانه کاهش غلتش شناور استفاده شود. در سال ۱۹۰۷، وایت<sup>۱</sup> از طرف اشلیک، نصب و راه اندازی یک سامانه ژيروسکوپ را برای ناوشکن سی-بار انجام داد. [۱۶]

ژيروسکوپ اشلیک مشکلاتی در تنظیم گشتاورها با بزرگی امواج داشت و در اکثر کشتی ها کارایی خوبی نداشت. شرکت آمریکایی اسپری مشکلات ژيروسکوپ اشلیک را با استفاده از موتورهای الکتریکی اصلاح کرد. اگرچه این سامانه عملکرد خوبی داشت و باعث کاهش ۹۰ درصد حرکت رول می شد، اما به دلیل هزینه بالا، افزایش در وزن و تولید تنش بالا در بدنه، مزایای این سامانه نادیده گرفته شد و از توسعه بیشتر آن جلوگیری گردید. [۲]

کریموگلر سال ۱۹۰۹ از فرانسه نیز پیشنهاد داد که برای کاهش غلتش شناور از وزنه استفاده شود. چالمرز<sup>۳</sup> این طرح را عملی کرد. این طرح، آویزان کردن پاندول از عرشه فوقانی<sup>۴</sup> و غوطه ور کردن آن در یک سیال لزج بود.

[۳]۱۸۳۲	Walter R. Johnson	ساخت ژيروسکوپ بر اساس دیسک چرخنده
[۲]۱۸۵۲	Jean Bernard Leon Foucault	استفاده از ژيروسکوپ برای نشان دادن دوران زمین
[۲]۱۹۰۰	H. Anschütz-Kaempfe	ساخت نوعی قطب نما که همواره شمال حقیقی را نشان می دهد
[۸]۱۹۰۹	Elmer A. Sperry	ساخت اولین اتو پایلوت هواپیما با استفاده از ژيروسکوپ
[۹]۱۹۱۶	The Anschutz Company	تکمیل اولین اتو پایلوت کشتی
[۵]۱۹۱۷	Chandler company	تولید ژيروسکوپ Chandler به عنوان اسباب بازی با یک محور و یک بند
[۱۰]۱۹۲۷	Louis Brennan	ساخت منوریل با ظرفیت بار ده تن با استفاده از اثر ژيروسکوپ

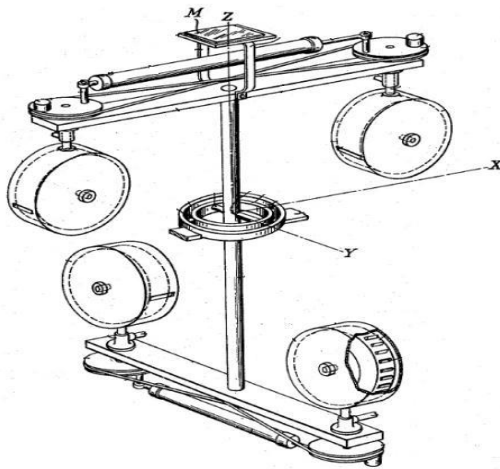
### ۲-۳- تاریخچه پایداری ساز

قبل از ساخته شدن کشتی های آهنی در اواخر قرن ۱۸، کشتی های چوبی از کیل برای کاهش غلتش استفاده می کردند. این کشتی ها در زیر بدنه دارای یک کیل به صورت تیر بلندی بودند که این کیل علاوه بر ایفای نقش در استحکام سازه، به دلیل وزن بالا، سبب کاهش غلتش عرضی شناور نیز می شد. [۱۱] با توجه به آنکه در اواسط قرن ۱۹ میلادی تغییرات قابل توجهی در طراحی و توسعه ی کشتی ها ایجاد شده بود، اثرات نامطلوب حرکت رول نیز مورد توجه طراحان قرار گرفت. بادبان ها، جای خود را به موتورهای بخار دادند و در ساخت کشتی، آهن جای چوب را گرفت. ترکیبی از این تغییرات، به ویژه حذف بادبان ها، منجر به اصلاح پایداری عرضی شد. [۱۲] دانشمندان بریتانیایی، پیشگامان تحقیق درباره ی پایداری رول بودند. ویلیام فرود (۱۸۱۰-۱۸۷۹) مطالعه راجع به مکانیزم های حرکت غلتشی کشتی ها را قبل از سال ۱۸۶۰ شروع کرد. مطالعات وی بر اساس درخواست بروئل<sup>۵</sup> (یک مهندس عمران مشهور در آن زمان) بود. بروئل وظیفه ی طراحی و ساخت کشتی گریت ایسترن<sup>۶</sup> را بر عهده داشت. کارهای فرود پایه گذار درک حرکت رول کشتی شد؛

<sup>۱</sup>Wave slope  
<sup>۲</sup>Schlick  
<sup>۳</sup>White  
<sup>۴</sup>See bar  
<sup>۵</sup>Crémieu  
<sup>۶</sup>Chalmers  
<sup>۷</sup>Upper deck

<sup>۱</sup>Keel  
<sup>۲</sup>William Froud  
<sup>۳</sup>Brunel  
<sup>۴</sup>Great Eastern  
<sup>۵</sup>Vasta  
<sup>۶</sup>Damage Stability  
<sup>۷</sup>J. Thornycroft

آن به صورت کوپل شده با هم عمل می کرد. به این صورت که با ایجاد گشتاور مقاوم ژيروسکوپیک در دو راستا به پایدارسازی کشتی در آن راستا می پرداخت. این پایدارساز بر روی عرشه کشتی نصب می شد تا اثر اغتشاش دریا را کاهش دهد. (شکل ۴) [۲۵]



شکل ۴ پایدارساز ژيروسکوپیک توسط لوبوشز [۲۵]

از تلاش های دیگری که در این زمینه صورت گرفته می توان به ساخت پایدارساز تک محوری دو ژيروسکوپیک به وسیله پیتمن<sup>۹</sup> اشاره کرد. [۲۶] از موارد دیگر، ساخت یک پایدارساز با ژيروسکوپ دوقلو توسط جیمز افگریو<sup>۱۰</sup> (شکل ۵) [۲۷] و طراحی یک سکوی دریایی پایدارساز توسط رابرت جی پیر<sup>۱۱</sup> (شکل ۶) [۲۸]، ساخت پایدارسازی توسط سی مورگان<sup>۱۲</sup> به منظور پایدار کردن وضعیت رادارهای هوایی و عمودی نگه داشتن موقعیت محور مرکزی آن بر روی عرشه کشتی به کار می رفت. [۲۹]

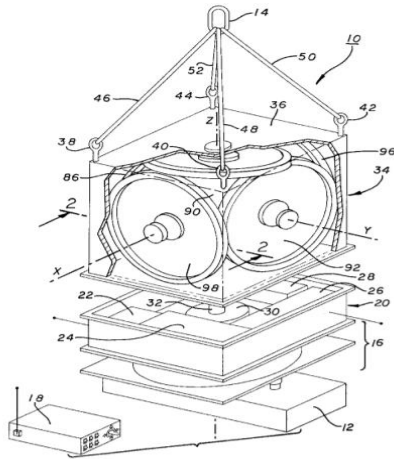
برای آزمایش این ایده، وزنه هایی را از دکل کشتی در داخل مخزن آب آهک آویزان کردند. نتایج به دست آمده در آب آرام رضایت بخش بود، اما در امواج این سامانه ناکارآمد و حتی خطرناک نیز بود. [۱۷] مخازن U شکل در سال ۱۹۱۱ به وسیله فرهام گسترش داده شد. این مخازن U شکل از مخازن سطح آزاد که قبلاً توسط فرود و وات استفاده شده بود، کارایی بیشتری داشت. اولین کشتی که مخزن فرهام بر روی آن نصب شد، کشتی بخار باربری و مسافربری ایپیرانگا<sup>۱۳</sup> بود که بین هامبورگ، مکزیک و بوئنوس آیرس مشغول به فعالیت بود [۱۸]. این نوع مخازن ضد غلتش امروزه هنوز هم مورد استفاده قرار می گیرند، برای مثال نمونه هایی از این نوع مخازن مربوط به شرکت اینترینگ آلمان را می توان در سایت اینترینگ مشاهده کرد. [۱۹] طرح های اولیه در مورد استفاده از فین های پایدارساز فعال، قبل از جنگ جهانی دوم مطرح شد و در انگلیس در یک کار مشترک توسط دنی و شرکت برادران برون توسعه داده شد. [۲۰] در سال ۱۹۱۴، اولین ژيروکار (اتومبیلی با استفاده از اثر ژيروسکوپ) توسط شکلوفسکی<sup>۱۴</sup> ساخته شد. این اتومبیل دوچرخ، توسط ژيروسکوپیک که در زیر کاپوت نصب می شود، تعادل خود را حفظ می کند. [۲۱] در سال ۱۹۱۵ المر اسپری آمریکایی طراحی خود را ادامه داد و در زمانی که قدرت دریایی مهم ترین ابزار سنجش قدرت نظامی بود، صنایع ژيروسکوپ خود را تأسیس کرد. شرکت ژيروسکوپیک اسپری به سرعت فعالیت خود را به ساخت پایدارکننده های هواپیماها و کشتی ها هم توسعه داد و توانست اولین پایدارساز ژيروسکوپ کشتی جهت کنترل حرکات رول کشتی نصب کند. [۲۲] اولین فین پایدارساز توسط اس موتر<sup>۱۵</sup> از کارخانه کشتی سازی میتسوبیشی در ژاپن در سال ۱۹۲۳ ساخته شد. این وسیله در سال ۱۹۲۵ در آمریکا به وسیله موتر<sup>۱۶</sup> به ثبت رسید. در سال ۱۹۳۰ این سامانه به صورت موفقیت آمیزی در سه کشتی به کار گرفته شد؛ یک کشتی مسافربری، یک کشتی بخار و یک مین روبر. همچنین حداکثر زاویه انحراف این فین ها که برای اولین بار نصب شده بود، ۱۸ درجه در نظر گرفته شد. [۲]

کار بر روی مخازن ضد غلتش فعال در سال ۱۹۳۰ آغاز شد. برای مثال، مینورسکی<sup>۱۷</sup> در سال ۱۹۳۴ از یک پمپ برای تغییر جریان طبیعی در مخازن استفاده کرد. همچنین سرعت سیال با توجه به شتاب رول تغییر می کرد. [۲۳] اولین کشتی نیروی دریایی بریتانیا که مجهز به فین های پایدارساز شده بود، کشتی اچ.ام.اس بیترن بود. در سال ۱۹۶۹، کانولی<sup>۱۸</sup> روش مفیدی در کنترل زاویه انحراف فین ها ارائه داد. [۲۴] در زمینه طراحی مکانیزم های پایدارساز طی سالیان گذشته تلاش هایی صورت گرفته است. طراحی پایدارساز ژيروسکوپیک توسط لوبوشز<sup>۱۹</sup> در سال ۱۹۴۷ نمونه ای از این تلاش هاست. پایدارسازی که او طراحی کرد شامل دو جفت ژيروسکوپ می شد که هر جفت

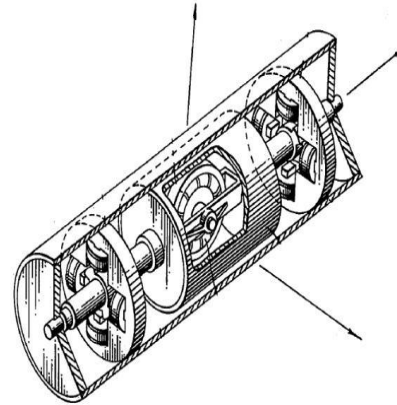
<sup>۹</sup>Conolly  
<sup>۱۰</sup>B.E.Luboshez  
<sup>۱۱</sup>R.Pitman  
<sup>۱۲</sup>James T.Ephgrave  
<sup>۱۳</sup>Robert J.Baier  
<sup>۱۴</sup>C.Morgan

<sup>۱۵</sup>Farham  
<sup>۱۶</sup>Ypiranga  
<sup>۱۷</sup>Brown  
<sup>۱۸</sup>Pyotr Shklovsky  
<sup>۱۹</sup>S.Motra  
<sup>۲۰</sup>Minorsky

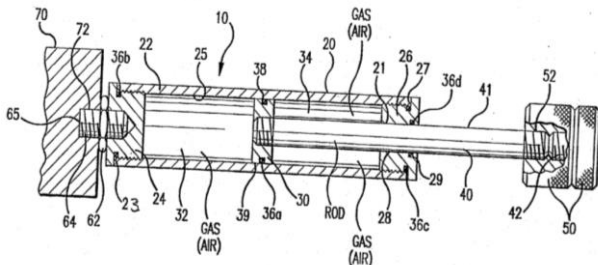




شکل ۷ پایدارساز پنوماتیکی ویلا [۳۰]

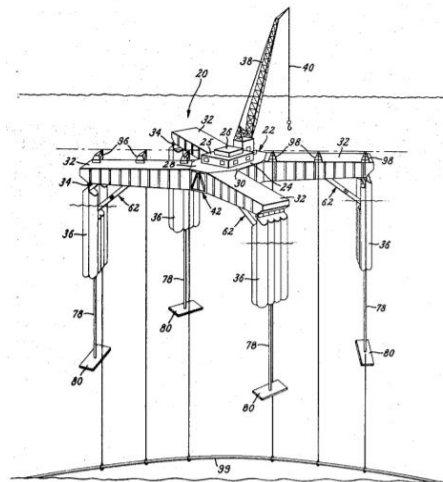


شکل ۵ پایدارساز با ژيروسکوپ دوقلو جیمز افگریو [۲۷]



شکل ۸ پایدارساز ساخته شده توسط ویلیامز [۳۰]

از دیگر روش‌های پایدارسازی می‌توان به استفاده از روبات‌های موازی اشاره کرد. روبات موازی یک سامانه مکانیکی است که با استفاده از زنجیره‌های پشت سرهم کنترل شده با کامپیوتر، یک صفحه یا یک پنجه روباتی را هدایت می‌کند و از یک سکوی محرک و پایه‌ی ثابت تشکیل شده است که به وسیله یک اهرم‌بندی به هم متصل می‌شود. شاید بهترین نمونه از این نوع مکانیزم‌ها، استوارت-پلتفرم باشد. نام این مکانیزم برگرفته از نام مهندسی است که نخستین بار آن را طراحی و استفاده کرده است. شکل ۹ نشان دهنده این مکانیزم است که از شش عملگر خطی تشکیل شده است که یک پایه قابل جابجایی را پشتیبانی می‌کند. [۳۲]



شکل ۶ پایدارساز رادارهای هوایی توسط سی مورگان [۲۹]

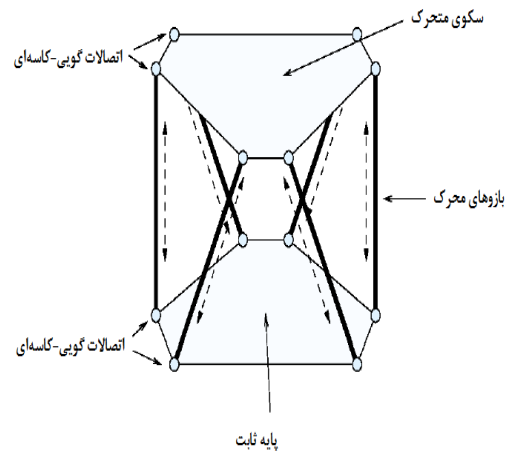
در ادامه تیجو ویلا در سال ۱۹۹۲ پایدارساز پنوماتیکی را به منظور استفاده در توپ‌ها، تفنگ‌ها و دیگر وسایلی که انرژی ارتعاشی مخرب تولید می‌کنند، طراحی کرد که در شکل ۷ نشان داده شده است [۳۰]. سپس ساخت پایدارسازی برای بارهای معلق مطابق شکل ۸ در سال ۱۹۹۹ توسط جان اچ ویلیامز انجام شد. [۳۱]



یک رادار بود که از یک بالن آویزان می شد. این سامانه شامل یک میز پایدارساز بود که میان بالن و رادار نصب می شد تا رادار را همیشه در وضعیت افقی نگه دارد. [۳۴] رادیوتلسکوپها از جمله وسایلی است که در آن از استوارت پلتفرم برای پایدارسازی این وسایل استفاده شده است. نمونه ای از این کار توسط الکساندروف و همکاران در سال ۲۰۰۷ انجام شده است. هدف آن ها پایدار ساختن استوارت پلتفرم در برابر باد برای استفاده از آن در رادیوتلسکوپها بود. [۳۵]

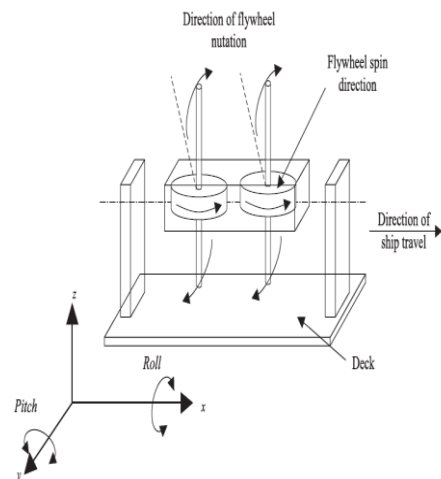
جدول ۳ خلاصه تاریخچه پایدارسازها

تاریخ	محقق	توضیحات
[۳۱]۱۸۷۰	William Froud	نصب بالکهای کنار بدنه برای کاهش رول کشتی
[۳۲]۱۸۷۴	Vasta	استفاده مخزن آب در قسمت بالای کشتی برای کاهش رول
[۳۳]۱۸۸۳	Watt P	مطالعه و آزمایش پایداری آسیب دیده که مقدمه ای برای ساخت مخزن ضد غلتش شد
[۲]۱۸۹۱	J. Thornycroft	وزنه های متحرکی که از یک سمت به سمت دیگر کشتی حرکت می کردند.
[۱۶]۱۹۰۶	Herr Otto Schlick_White	ساخت پایدارساز جهت حذف نیروهای ناشی از امواج دریا
[۱۸]۱۹۱۱	Farham	گسترش مخازن U شکل
[۲۱]۱۹۱۴	Pyotr Shilovsky	ساخت اولین ژیروکار(اتومبیلی با استفاده از اثر ژیروسکوپ)
[۲۲]۱۹۱۵	Elmer A. Sperry	نصب اولین پایدارساز ژیروسکوپ کشتی جهت کنترل حرکات رول کشتی
[۲۸]۱۹۲۳	S.Motra	ساخت اولین فین پایدارساز شناور
[۱۷]۱۹۲۲	Chalmers	کاهش غلتش شناور به وسیله آویزان کردن پاندول از عرشه فوقانی و غوطه ور کردن آن در یک سیال لزج بود
[۲۳]۱۹۳۴	Minorsky	کار بر روی مخازن ضد غلتش فعال و ساخت یک پمپ برای تغییر جریان طبیعی در مخازن
[۲]۱۹۶۲	Conolly	ارائه روش مفیدی در کنترل زاویه انحراف فین ها
[۲۵]۱۹۴۷	B.E.Luboshez	پایدارسازی ژیروسکوپی برای نصب روی عرشه کشتی جهت کاهش اثر اغتشاش دریا
[۲۷]۱۹۵۸	R.Pitman	ساخت پایدارساز تک محوری دو ژیروسکوپی
[۲۸]۱۹۶۲	T.Ephgrave	ساخت یک پایدارساز با ژیروسکوپ دوقلو
[۲۸]۱۹۶۳	Robert J.Baier	طراحی یک سکوی دریایی پایدارساز



شکل ۹ پایدارساز ساخته شده توسط ویلیامز [۳۰]

در سال ۲۰۰۶، تونسن<sup>۱</sup> و همکاران [۳۳] مقایسه ای بین سامانه های کاهش غلتش غیرفعال و فعال انجام دادند و اصول کارکردی سامانه های پایدارساز، با قابلیت نصب درون شناور را تشریح نمودند. آن ها اثر یک ژیروسکوپ با دو چرخ طیار را بر روی یک مدل شناور دوبنده بررسی کردند؛ این آزمایش نشان می دهد که سامانه جابجروی ارائه شده، قادر به فراهم کردن سطح مطلوبی از پایداری در مقایسه با دیگر سامانه های موجود است و همچنین با تخمین تئوری نشان دادند که این سامانه برای شناورهای کوچک و متوسط کارایی دارد. سامانه پیشنهادی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰ پایدارساز ساخته شده توسط ویلیامز [۳۰]

یکی از فعالیت هایی که در این زمینه انجام شده است طراحی یک سامانه پایدارساز توسط دی.کی.نیکولین<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۷ به منظور پایدارسازی موقعیت

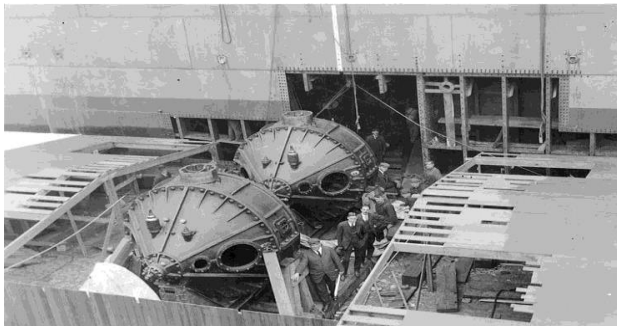
<sup>۲</sup>D.K.Nikulin

<sup>۱</sup>Townsend

برای پایداری از ژيروسکوپ استفاده کرده است را نشان می دهد و این پایداری توسط دو ژيروسکوپ ۲۵ تنی در سال ۱۹۱۷ به وقوع پیوسته است.



شکل ۱۰ نمونه ای از ژيروسکوپ های نصب شده شرکت seakeeper [۳۷]



شکل ۱۱ نصب دو ژيروسکوپ ۲۵ تنی بر روی کشتی USS Henderson [۳۸]

#### ۴-۱- مشخصات امواج

کشور ایران از شمال به دریای مازندران و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان در ارتباط بوده، با توجه به بررسی های به عمل آمده و نیز اظهارات نیروی کاربر، خلیج فارس به عنوان منطقه عملیاتی شناور تندرو انتخاب می شود. [۲] خلیج فارس یک دریای حاشیه ای و نیمه بسته با عمق میانگین حدودی ۳۵ متر، جز آب های کم عمق محسوب می شود. عرض آن ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر و سطح آن در حدود ۲۴۰ هزار کیلومتر مربع می باشد. خلیج فارس در محدوده ی عرض جغرافیایی مناطق گرمسیری کره زمین و بین عرض های ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی قرار گرفته است به همین جهت آب و هوای غالب آن گرم و مرطوب است؛ به طوری که، دمای آن حداکثر به ۴۵ درجه (و حتی تا ۵۷ درجه) سلسیوس نیز می رسد [۳۹] با توجه به بررسی های به عمل آمده، بیشترین میانگین ارتفاع امواج در این دریا، مربوط به فصل های زمستان و پاییز است. در مجموع در ۷۰ درصد اوقات، وضعیت دریا در خلیج فارس آرام و یا دارای تلاطم کمی است؛ به نحوی که میانگین ارتفاع امواج در طول سال در حدود نیم متر است. تقریباً در ۲ الی ۳ درصد از اوقات، دریا ممکن است در سراسر منطقه دارای تلاطم با امواجی به ارتفاع ۱،۵ متر یا بیشتر باشد. دوره تناوب امواج در قسمت شمالی خلیج فارس به دلیل فاصله ی محدود بین دو ساحل، کوتاه و بین ۲ تا ۶ ثانیه

[۲۹]۱۹۷۷	C.Morgan	ساخت پایداری با محور کج شده به منظور پایداری کردن وضعیت رادارهای هوایی بر روی عرشه کشتی
[۳۰]۱۹۹۲	Teijo Villa	طراحی پایداری ساز پنوماتیکی به منظور استفاده در توپ ها و تفنگ ها
[۳۱]۱۹۹۹	Johan H.Williams	ساخت پایداری ساز برای بارهای معلق
[۳۳]۲۰۰۶	Townsend	مقایسه ای بین سامانه های کاهش غلتش غیرفعال و فعال و بررسی اثر یک ژيروسکوپ با دو چرخ طیار بر روی شناور دویپنه
[۳۴]۲۰۰۷	D.K.Nikulin	طراحی سامانه پایداری ساز به منظور پایداری سازی موقعیت رادار آویزان از بالن
[۳۵]۲۰۰۷	V. Alexandrov	پایداری سازی یک سکوی تحت تحریک باد

#### ۴- جابجایی های ضد غلتش

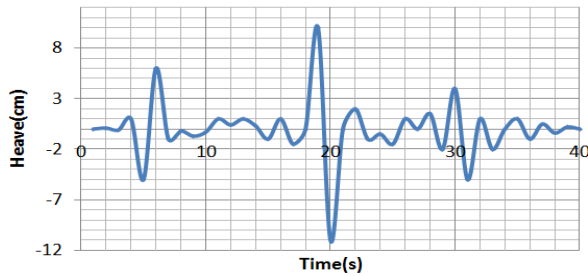
همان طور که در قسمت قبل اشاره گردید، ژيروسکوپ های ضد غلتش جز سامانه های پایداری ساز می باشند. این نوع پایداری سازها برخلاف پایداری سازی های همچون فین های ضد غلتش و بالک های کنار بدنه که در آب قرار می گیرند، در داخل شناور نصب می شوند. هر یک از سامانه های مذکور (داخلی یا خارجی) دارای معایب و مزیت هایی هستند که به طور خلاصه به آن اشاره می کنیم:

- سامانه های خارجی در حالت سکون کارایی نداشته ولی سبک بوده و جرم کمی دارند
- سامانه های داخلی در حالت سکون نیز کارآمد بوده و دارای جرم

بیشتر و قیمت بالاتری هستند [۳۶]

لازم به ذکر است با توجه به مقدار غلتش و ابعاد شناور از چند ژيروسکوپ نیز استفاده کنیم. در این بخش ابتدا مشخصاتی از امواج خلیج فارس ارائه خواهد شد و در ادامه به عملکرد ژيروسکوپ و اجزا آن و سپس به بررسی معادلات حاکم بر ژيروسکوپ و کوپل بازگرداننده آن پرداخته می شود. از آنجایی که این نوع سامانه پایداری ساز برای شناورهای کوچک و متوسط مناسب است و شناورهای تندرو نظامی از این نوع هستند، پس با توجه به محدوده عملیاتی نیروی دریایی جمهوری اسلامی ایران، برای محاسبه کوپل بازگرداننده از مشخصات امواج خلیج فارس استفاده می شود. البته لازم به ذکر است این نوع پایداری ساز صرفاً استفاده نظامی ندارد و با توجه به پیشرفت چشمگیر ایران در حوزه ساخت شناور تفریحی، می توان از ژيروسکوپ های ضد غلتش در شناورهای تفریحی نیز استفاده کرد. در شکل ۱۱ نمونه ای از ژيروسکوپ های شرکت سیکیپر را می توان مشاهده کرد و شکل ۱۲ اولین کشتی بزرگی که

۱. Seakeeper

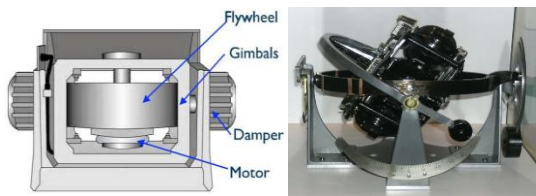


شکل ۱۵ شکل موج در راستای هیو [۳۲]

در پژوهشی دیگر، رستگاری و پناهیان با استفاده از پارامترهای مهم برای بیان رفتار موج و طیف موج جانسواپ، امواج خلیج فارس را با تحلیل می‌کند. [۳۶] امواج را به دودسته کلی امواج منظم و امواج نامنظم تقسیم کرده است. در امواج منظم یک سری ساده سازی‌ها انجام می‌شود که از مدل واقعی دورتر است ولی امواج نامنظم به مدل واقعی نزدیکتر است زیرا در طبیعت امواج معمولاً به صورت نامنظم یافت می‌شود مگر اینکه شرایطی اعمال شود تا بتوان امواج را تحت آن شرایط منظم در نظر گرفت. در این مقاله هر دو نوع موج با در نظر گرفتن پارامترهای مختلفی مدل سازی می‌شوند. [۳۲]

#### ۲-۴- عملکرد ژيروسکوپ‌های ضد غلتش

دو دسته جابرویی ضد غلتش شامل جابروی غیرفعال و جابروی فعال وجود دارد. ساختار مکانیکی جابرو غیرفعال در شکل ۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۱۶ طرح کلی اجزای تشکیل دهنده ژيروسکوپ ضد غلتش [۴۰]

با توجه به شکل ۱۷، اصول کاری یک جابرو غیرفعال برای کنترل غلتش شناور به صورت زیر خلاصه می‌شود:

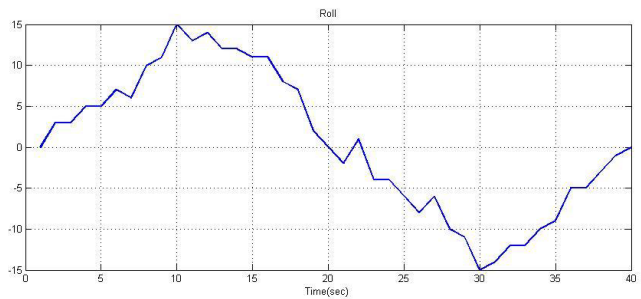
تکانه زاویه‌ای چرخ طیار  $H$  و سرعت زاویه‌ای غلتش  $\dot{\theta}$ ، یک گشتاور ژيروسکوپی  $T_g$  مطابق با اصل ژيروسکوپی ایجاد می‌کند.

$$T_g = H \cdot \dot{\theta} \quad (1)$$

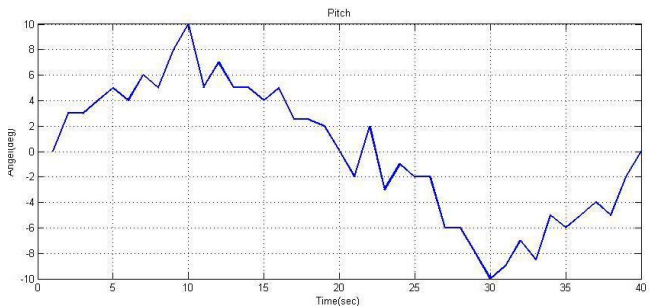
اگر دمپر  $C$  وجود داشته باشد،  $T_g$  گیمبال‌ها را با سرعت زاویه‌ای  $\theta$  به حرکت درمی‌آورد:

$$\theta = \frac{T_g}{C} = \frac{H \cdot \dot{\theta}}{C} \quad (2)$$

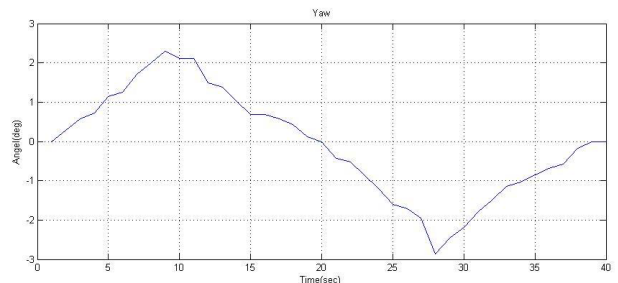
است. با این حال در موارد نادری در این قسمت از خلیج فارس، امواج با دوره تناوب ۱۰ ثانیه هم دیده شده است. می‌توان با مراجعه به منبع ذکر شده نمودار فراوان فصلی ارتفاع موج مشخصه و دوره تناوب موج مشخصه بر حسب متر در خلیج فارس را مشاهده کرد. [۲] شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نمایش امواج در سه جهت رول، پیچ و یاو است که با توجه به اطلاعات بدست آمده از سایت سازمان بنادر و دریانوری ایران، استخراج شده است. [۹] شکل ۱۵ شکل موج در راستای هیو را نشان می‌دهد. [۳۲]



شکل ۱۲ شکل موج در راستای رول [۹]



شکل ۱۳ شکل موج در راستای پیچ [۹]

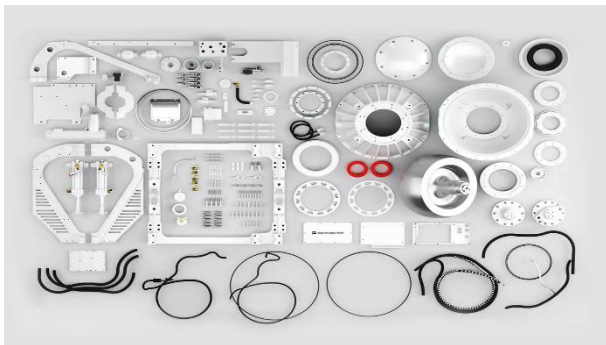


شکل ۱۴ شکل موج در راستای یاو [۹]





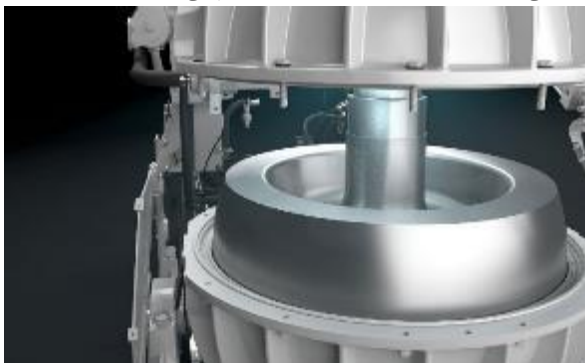
شکل ۱۹ تصویر دمونتاز شده جاپرو ضد غلتش شرکت سی کیپر [۴۲]  
همچنین شکل ۲۰ قطعه های جاپرو شرکت سیکیپر را نشان می دهد.



شکل ۲۰ تصویری از قطعات جاپرو ضد غلتش شرکت سی کیپر [۴۲]

### ۳-۴-۱- چرخ طیار

در یک محفظه خلأ کروی شکل، چرخ طیاری با سرعت بالا می چرخد و نیروی کافی برای جلوگیری از غلتش قایق را فراهم می کند. (شکل ۲۱)



شکل ۲۱ چرخ طیار [۴۲]

### ۳-۴-۲- محفظه خلأ

در یک محفظه خلأ کروی شکل، چرخ طیاری با سرعت بالا می چرخد. محفظه خلأ باعث می شود که چرخ طیار سه برابر سریع تر بچرخد، وزن آن را تا دوسوم و نیروی مورد نیاز را به نصف کاهش دهد. خلأ همچنین باعث محافظت

از طرف دیگر  $H$  و  $\theta$  گشتاور مقابله کننده  $T_s$  را بر اساس اصول ژيروسکوپی به صورت زیر ایجاد می کنند:

$$T_s = H \cdot \dot{\theta} \quad (3)$$

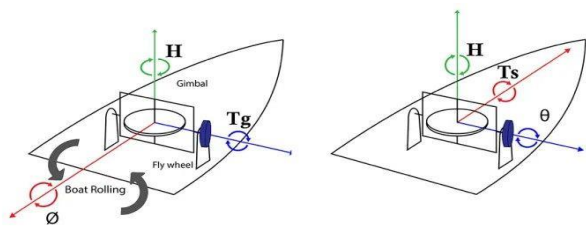
سپس،  $T_s$  به عنوان یک گشتاور مقابله کننده متناسب با سرعت زاویه ای غلتش قایق  $\dot{\theta}$  عمل می کند:

$$T_s = \left( \frac{H^2}{C} \right) \cdot \dot{\theta} \quad (4)$$

لذا مقدار حرکت زاویه ای چرخ طیار برابر است با:

$$H = I \cdot \omega \quad (5)$$

که در آن  $\omega$  سرعت زاویه ای الکتروموتور متصل به چرخ طیار و  $I$  ممان اینرسی چرخ طیار می باشد. [۴۱]



شکل ۱۷ طرح کلی اجزای تشکیل دهنده ژيروسکوپ ضد غلتش [۴۰]

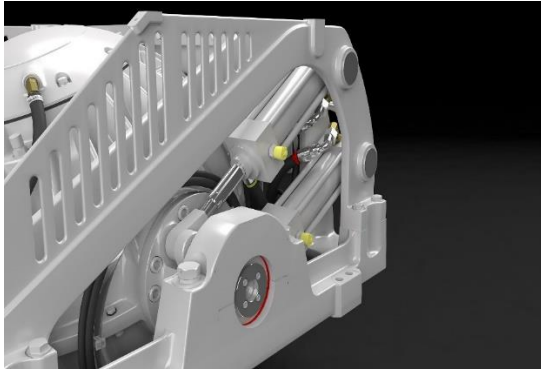
### ۳-۴-۳- اجزا ژيروسکوپ های ضد غلتش شرکت سیکیپر

در شکل های ۱۸ و ۱۹ نمای کلی از جاپرو ضد غلتش شرکت سیکیپر را می توان مشاهده کرد. این شرکت ادعا می کند که جاپرو های ضد غلتش آن تا ۹۵٪ از غلتش قایق جلوگیری می کند.



شکل ۱۸ تصویر دمونتاز شده جاپرو ضد غلتش [۴۲]



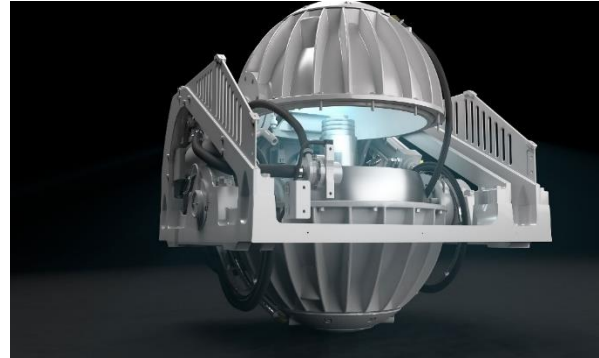


شکل ۲۳ سامانه کنترلی [۴۲]

#### ۲-۴- معادلات دینامیکی جابجایی ضد غلتش

سه حرکت پیچ، هیو و رول نوسانی هستند چراکه تحت تأثیر نیروهای بازگرداننده هیدرواستاتیکی قرار دارند. حرکات سرج، اسوی و یاو پس از خارج شدن از حالت تعادل به حالت اولیه باز نمی گردند مگر اینکه نیرو یا ممان خارجی دیگری آن ها را به حالت اولیه بازگردانند؛ بنابراین این سه حرکت نوسانی کامل نیستند. [۴۴] در این میان رول از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا چگونگی مهار آن تأثیر زیادی بر روی پایداری کشتی دارد، چون شتاب عمودی که به وسیله رول کردن کشتی القا می شود، می تواند سبب دریازدگی مسافری و خدمه شود. همچنین شتاب رول ممکن است به کالاهایی که به وسیله کشتی حمل می شود، آسیب برساند و زاویه های بزرگ رول محدودیت هایی در نصب تجهیزاتی مانند سلاح ها، سامانه های تعادل، سونار و ... ایجاد می نماید که در این مورد، دامنه نوسانات از اهمیت خاصی برخوردار است. [۴۵] حال برای به دست آوردن معادلات حاکم، مقالات از شش درجه و سه درجه و یک درجه آزادی استفاده کرده اند. در سه درجه آزادی از رول، پیچ و هیو استفاده می شود ولی در یک درجه آزادی فقط از رول استفاده می شود. با توجه به دلایلی که برای اهمیت رول در پایداری شناور و تأثیرات آن بر خدمه و تجهیزات ذکر شد، پس می توان از معادلات حاکم برای یک درجه آزادی با دقت خوبی استفاده کرد. هنگام طراحی سامانه های کنترل فیدبک برای شناور، مدل های مرتبه کاهش یافته مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا بیشتر شناورها حرکت در تمام درجات آزادی را ندارند و این امر به وسیله تجزیه حرکت کشتی به دسته های چهار درجه آزادی، سه درجه آزادی و یک درجه آزادی امکان پذیر است. مدل ها یک درجه آزادی می توانند برای طراحی کنترلرهای حرکت روبه جلوی کشتی (سرج)، اتوپیلوت های سمت (یابو) و سامانه های دمپینگ رول مورد استفاده قرار گیرند. [۳۶] پناهیان و رستگاری معادلات دینامیکی شناور و کوپل بازگرداننده ی ژيروسکوپی را با فرض ۶ درجه آزادی به دست آورده اند و از طرف دیگر اثر بارهای محیطی وارده به قایق که شامل اثر باد و موج، هیدرو استاتیکی وارد بر شناور، بارهای ناشی از نیرو مقاومت هیدرو دینامیکی، نیرو و

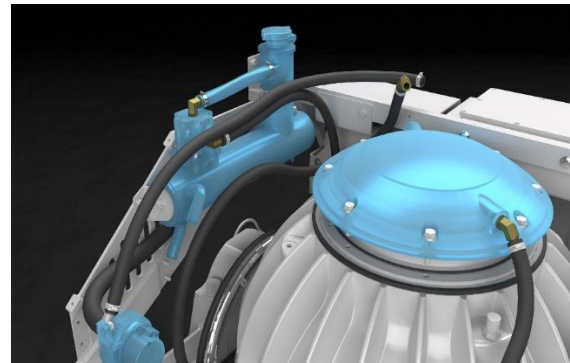
از مهم ترین اجزا (چرخ طیار، بلبرینگ و موتور) در برابر شرایط دریایی می شود و از خوردگی آن ها جلوگیری می کند. [۴۳] (شکل ۲۲)



شکل ۲۲ چرخ طیار [۴۲]

#### ۳-۴-۳- محفظه خلأ

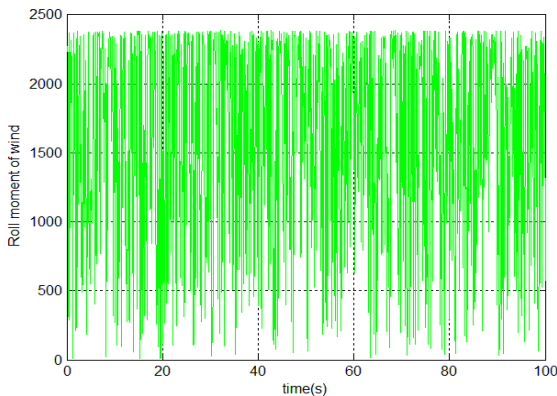
چرخ طیار با سرعت بالایی می چرخد و این چرخش در داخل محفظه خلأ مقداری گرما ایجاد می کند که باید حذف شود تا بیش از حد گرم نشود. این کار را از طریق یک سامانه خنک کننده حلقه بسته با استفاده از آب انجام می شود. البته این خنک کاری را به وسیله هوا نیز می توان انجام داد ولی در یک محفظه خلأ، خنک کردن به وسیله هوا بسیار سخت است. بنابراین، برای داشتن یک سامانه خنک کننده هوا، به ژيروسکوپ سنگین تر و بزرگ تر و یا با قدرت بیشتری نیاز است، که اغلب برای قایق های کوچک مناسب نیست. [۴۳] (شکل ۲۳)



شکل ۲۳ سامانه خنک کاری [۴۲]

#### ۳-۴-۴- محفظه خلأ

اکثر آهر ژيروسکوپ دارای سامانه ترمز هیدرولیک و کنترل فعال است، فناوری هوشمندی که به طور خودکار وضعیت دریا را اندازه گیری می کند و بی درنگ واکنش نشان می دهد پس نیازی نیست که بر اساس شرایط مختلف دریا، ژيروسکوپ را تنظیم کنیم و در تمام سرعت ها و شرایط مختلف دریا عملکرد بهینه ای دارد. [۴۳] (شکل ۲۴)



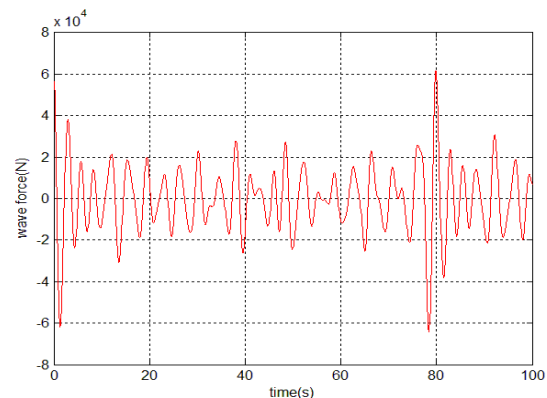
شکل ۲۵ گشتاور ایجادشده توسط باد در جهت رول [۳۶]

#### ۲-۴- ابعاد بهینه چرخ طیار جاپروهای ضد غلتش

نخستین گام در طراحی جاپروهای ضد غلتش، طراحی چرخ طیاری است که با توجه به گشتاور حاصل از امواج دریا و سرعت زاویه ای موج، گشتاور مناسبی را برای کاهش غلتش شناور اعمال نماید. با توجه به این که گشتاور بازگرداننده ژيروسکوپ رابطه مستقیمی با ممان اینرسی جرمی دارد، برای افزایش گشتاور بازگرداننده، باید یک چرخ طیار با ممان اینرسی بالا برگزید؛ در مقابل، افزایش ممان اینرسی باعث افزایش جرم چرخ طیار نیز می شود. چرخ طیار بهینه، چرخ طیاری است که در کنار دارا بودن ممان اینرسی بالاتر، جرم پایین تری داشته باشد.

طبق روابط حاکم بر ممان اینرسی، برای این که چرخ طیار ممان اینرسی جرمی بزرگ تری داشته باشد، باید توزیع جرم در فاصله دورتری از محور دوران قرار گیرد. در طراحی تجهیزات صنایع دریایی همواره سعی بر آن است که این تجهیزات تا حد امکان بیشترین راندمان را در کمترین فضا داشته باشند. با توجه به محدودیت های موجود برای جاپروها از قبیل کمبود فضا آزاد برای نصب، محدودیت وزن، محدودیت حجم و توان مورد نیاز برای به کار انداختن آنها، ضروری است که ابعاد و وزن جاپروها کنترل شود. دماوندی و همکاران با در نظر گرفتن شرایط امواج خلیج فارس، برای بهینه سازی جرم و ممان اینرسی، از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک چندهدفه با مرتب سازی نامغلوب استفاده کرده اند؛ به طوری که کمترین جرم و بیشترین ممان اینرسی حاصل شود. در نهایت ابعاد تمامی انتخاب های بهینه چرخ طیارها را در قالب نمودار جبهه پرتو در شکل ۲۶ ارائه و همچنین شکل ۲۷ هندسه ای برای چرخ طیار پیشنهاد کرده اند. [۴۸]

گشتاور وارده از طرف پروانه و سکان را نیز محاسبه کرده اند و معادلات توسط متلب و مکسرف حل شده و پاسخ های شناور رسم شده است. [۶۸] عزیزی با فرض سه درجه آزادی و با استفاده از امواج خلیج فارس، معادلات دینامیکی حاکم بر ژيروسکوپ و کوپل بازگرداننده ژيروسکوپ محاسبه کرده است. در ادامه شبیه سازی دینامیکی، در محیط نرم افزار آدامز و شبیه سازی کنترل کننده، با استفاده از نرم افزار متلب انجام شده است و نتایج پایداری شناور با در نظر گرفتن پایداری و بدون در نظر گرفتن آن قابل مشاهده است. [۹] شادکام و همکاران با استفاده از نتایج ژانگ<sup>۱</sup> و با فرض یک درجه آزادی، معادلات کوپل شده رول کشتی و حرکت ژيروسکوپ را بدست آورده و سپس کوپل بازگرداننده ژيروسکوپ را محاسبه و نتایج آن را رسم کرده است و این نتیجه حاصل شده است که هنگامی که در شناورها نیاز به کاهش آبی غلتش وجود دارد از مخازن ضد غلتش استفاده می شود و هنگامی که نیاز نیست به صورت آبی رول کاهش یابد از ژيروسکوپ استفاده شود. پس در کشتی های مسافربری که نیاز است رول به صورت ملایم کنترل شود ترجیحاً باید از ژيروسکوپ استفاده شود و همچنین چون ژيروسکوپ معمولاً در اندازه های بزرگ ساخته نمی شود، پس نمی توان آن را برای کشتی های بزرگ استفاده کرد. برای کاهش رول در کشتی های بزرگ تجاری به خاطر مقدار مطلوب کاهش رول بدست آمده، می توان از مخازن ضد غلتش استفاده کرد. [۴۷،۴۶] رستگاری، با فرض اینکه تحریک رول به وسیله دو نیروی موج و باد صورت می پذیرد و برای یک سامانه دو درجه آزادی نیروهای وارده از طرف موج و باد محاسبه کرده اند و برای پایداری از یک سامانه ژيروسکوپ دو قلو که دو چرخ طیار در خلاف جهت یکدیگر در حال چرخش هستند، استفاده می کنند و در ادامه گشتاور ایجادشده توسط ژيروسکوپ را بیان می کنند. (شکل های ۲۴ و ۲۵) [۳۶]



شکل ۲۴ نیروی تولیدشده توسط امواج در جهت رول [۳۶]

تأثیر نامطلوب بر روی پایداری استاتیکی، عدم افزایش مقاومت شناور، راه اندازی با توان کم تر، آسیب پذیری پایین تر و هزینه های اولیه و نگهداری کمتر [۲]. در جدول ۴، شرایط عملکردی هر یک از آن ها با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به ویژگی های ذکر شده در جدول ۴ برای اینکه بتوان به یک جمع بندی کمی دست یافت، برای هر یک از ویژگی های ذکر شده، امتیازهایی در بازه ۱۰- تا ۱۰+ در نظر گرفته شده است که در جدول ۵ قابل مشاهده است. در این امتیازدهی عوامل مطلوب با امتیاز مثبت و عوامل نامطلوب با امتیاز منفی در نظر گرفته شده اند. همچنین در شناورهای تندرو، درصد کاهش غلتش، عدم افزایش مقاومت شناور، کارایی مناسب در سرعت های پایین، هزینه نگهداری پایین و اشغال نکردن فضای بدنه نسبت به بقیه ویژگی ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. [۲]

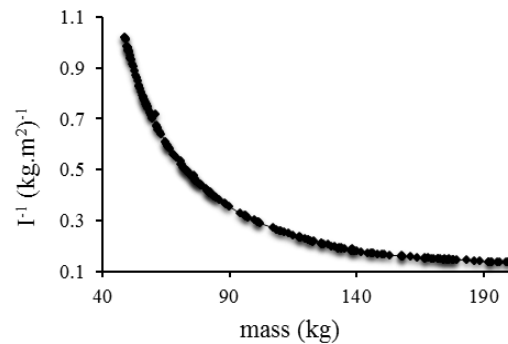
با توجه به جدول ۵، جمع امتیازات برخی از سامانه های پایدار ساز برای شناورهای تندرو منفی شده است و همان طور که مشاهده می شود جایروهای ضد غلتش بهترین گزینه برای کاهش غلتش شناورهای تندرو می باشد. برای مقایسه صحیح تر در جدول ۵ جمع امتیازات نسبت به صفر نیز سنجیده شده است.

شایان ذکر است که چون جایروها به صورت کاملاً درونی در بدنه شناور نصب می شوند، تولید صدا را به حداقل می رسانند و آسیب پذیری کمتری را در شرایط جنگی متحمل می شوند؛ همچنین از دیگر ویژگی های آن ها می توان به کارایی مناسب در سرعت های پایین شناور، صرفه جویی در مصرف سوخت و عدم ایجاد برجستگی ها و تغییر فرم در بدنه شناور اشاره نمود. از معایب جایروها می توان به هزینه نگهداری آن ها اشاره کرد. [۲] در این زمینه یکی از سازنده های موفق جایروهای ضد غلتش شرکت سیکویر است.

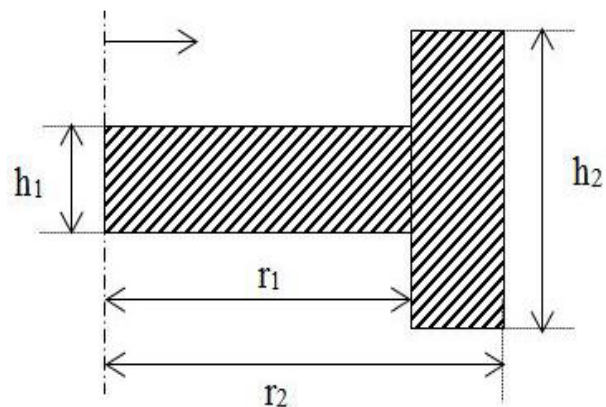
#### ۵-۱- ابعاد بهینه ی چرخ طیار جایروهای ضد غلتش

یکی از معضلات موجود در شناورهای تندرو، کمبود فضای فیزیکی جهت نصب تجهیزات است؛ لذا به منظور نصب ژئروسکوپ مناسب، توجه به فضای در اختیار، مهم است. گاهی به کارگیری چند ژئروسکوپ کوچک تر به جای یک ژئروسکوپ بزرگ می تواند راه حل مناسبی برای مدیریت فضای در اختیار باشد؛ بنابراین بررسی امکان استفاده از چند ژئروسکوپ کوچک تر به جای یک ژئروسکوپ بزرگ می تواند پاسخی برای این نیاز باشد.

دماوندی برای دستیابی به یک جمع بندی مناسب، چهار حالت (یک چرخ طیار ۲۰۰ کیلوگرمی، دو چرخ طیار ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرمی، دو چرخ طیار ۱۰۰ کیلوگرمی و سه چرخ طیار ۶۶٫۵ کیلوگرمی) را در نظر گرفته است که در این حالت ها جرم چرخ طیارها برابر و یا کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم است. با توجه به هندسه چرخ طیار، ممان اینرسی آن ها را محاسبه شده و نتایج را می توان در جدول ۶ مشاهده کرد. [۲]



شکل ۲۶ نمودار جبهه پرتو [۸۹]



شکل ۲۷ هندسه پیشنهادی چرخ طیار [۸۹]

#### ۵- بحث و نتیجه گیری

با توجه به دلایل شرایط کنونی کشور، پایداری شناورهای تندرو از اهمیت بسزایی برخوردار است لذا با مقایسه پایدار سازها و امتیازدهی به آن ها، یکی از بهینه ترین پایدار سازها برای شناورهای تندرو پیشنهاد می گردد و در ادامه به بررسی اینکه چه تعداد پایدار ساز ژئروسکوپی برای پایداری مناسب است، مپردازته خواهد شد. در آخر نمودارهایی از تأثیرگذاری پایدار ساز ژئروسکوپی بر کاهش غلتش شناور ارائه گردیده است.

#### ۵-۱- ابعاد بهینه ی چرخ طیار جایروهای ضد غلتش

در این بخش برای انجام مقایسه مفید، تلاش گردیده تمام ویژگی های اساسی مورد نظر در عملکرد بهینه ی یک پایدار ساز مورد توجه قرار گیرد و برای ارائه ی یک ارزیابی درست، تقابل این ویژگی ها با عملکرد شناورهای تندرو لحاظ شده است؛ لذا در این راستا مهم ترین ویژگی هایی که در این بررسی به منظور رتبه بندی سامانه های گوناگون پایدار ساز مورد توجه قرار گرفته اند، عبارتند از: در صد کاهش غلتش، کارایی مناسب در سرعت های پایین، عدم

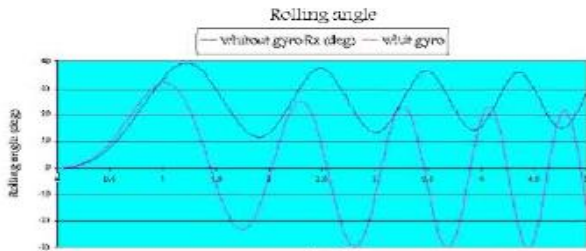
جدول ۴ مقایسه سامانه های کاهش غلتش [۲]

فین های ثابت	بالک های کناری بدنه	سامانه های وزنی غیرفعال	سامانه های وزنی فعال	ژيروسکوپ	مخازن ضد غلتش فعال	مخازن ضد غلتش غیرفعال	فین های ضد غلتش فعال	درصد کاهش غلتش
۵۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۵۰٪	۸۰٪	۶۰٪	۵۰٪	۹۰٪	تأثیر در سرعت های کم
خیر	بله	بله	بله	بله	بله	بله	خیر	درصد وزنی بر اساس وزن مرده کاهش
ناچیز	ناچیز	۱ تا ۴٪ وزن مرده	۱ تا ۴٪ وزن مرده	۲٪ وزن مرده	۱ تا ۴٪ وزن مرده	۱ تا ۴٪ وزن مرده	۱٪ وزن مرده	پایداری استاتیکی افزایش
ندارد	ندارد	دارد	دارد	ندارد	دارد	دارد	ندارد	مقاومت شناور نیاز به توان کمکی
ناچیز	دارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	دارد	اشغال فضای داخلی بدنه
در حد صفر	در حد صفر	در حد صفر	زیاد	زیاد	زیاد	در حد صفر	کم	فضا پیوسته در عرض بدنه
زیاد	نسبتاً زیاد	مناسب	مناسب	زیاد	مناسب	مناسب	مناسب	آسیب پذیری نسبت به صدمه شناور
خیر	بله	بله	بله	خیر	بله	معمولاً	خیر	هزینه ی اولیه
زیاد	بله	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر	تا زمان فرورفتگی خیر	نگهداری
مناسب	کم	تقریباً بالا	تقریباً بالا	خیلی بالا	تقریباً بالا	مناسب	بالا	
تقریباً بالا	اغلب بالا	از لحاظ مکانیکی متوسط	از لحاظ مکانیکی متوسط	تقریباً بالا	از لحاظ مکانیکی متوسط	کم	از لحاظ مکانیکی متوسط	

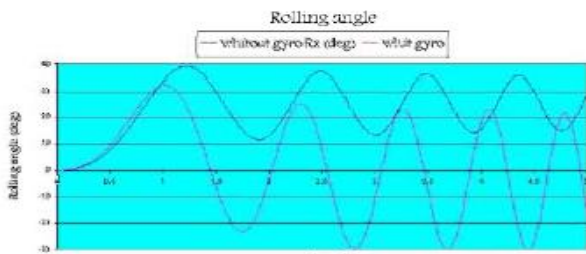


جدول ۵ امتیازدهی سامانه‌های کاهش غلتش [۲]

فین‌های ثابت	بالک‌های کناری بدنه	سامانه‌های وزنی غیرفعال	سامانه‌های وزنی فعال	ژیروسکوپ	مخازن ضد غلتش فعال	مخازن ضد غلتش غیرفعال	فین‌های ضد غلتش فعال	
۵	۳	۳	۵	۸	۶	۵	۹	درصد کاهش غلتش
۰	۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱	تأثیر در سرعت‌های کم
۰	۰	-۲	-۴	-۲	-۳	-۲	-۱	درصد وزنی بر اساس وزن مرده
۰	۰	-۵	-۲	۱	-۲	-۶	-۱	کاهش پایداری استاتیکی
-۱	-۲	۰	۰	۰	۰	۰	-۱	افزایش مقاومت شناور
۰	۰	۰	-۴	-۲	-۳	۰	-۱	نیاز به توان کمکی
-۲	۰,۵	-۳	-۳	-۴	-۳	-۳	-۳	اشغال فضای داخلی بدنه
۰	۰	-۴	-۴	۰	-۳	-۴	۰	فضا پیوسته در عرض بدنه
-۱۰	-۹	۰	۰	۰	۰	۰	-۲	آسیب‌پذیری نسبت به صدمه شناور
-۱	-۱	-۳	-۳	-۵	-۴	-۳	-۳	هزینه‌ی اولیه
-۲	-۱	-۲	-۲	-۳	-۲	-۲	-۲	هزینه نگهداری
-۱۱	-۱,۵	-۶	-۷	۳	-۴	-۴	-۴	جمع امتیازات
۲	۷,۵	۱	۰	۱۰	۳	۳	۳	سنجش امتیازات نسبت به صفر

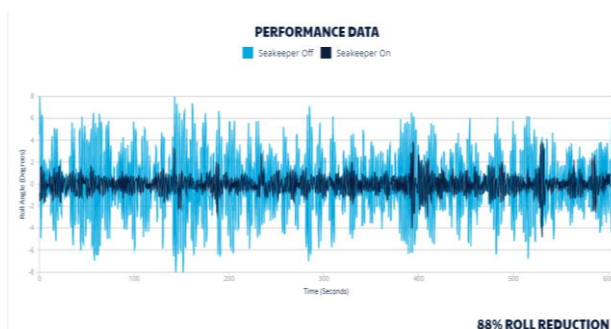


شکل ۲۹ حالت دوم اعمال پایدارساز ژيروسکوپ [۷۸]



شکل ۳۰ حالت سوم اعمال پایدارساز ژيروسکوپ [۴۹]

در شکل های ۳۱ و ۳۲ و ۳۳ سه نمونه نمودار ارائه شده ژيروسکوپ های شرکت سیکپیر، نصب شده بر روی شناورهای مختلف را می توان مشاهده کرد. در این بخش به شناورهایی اشاره شده است که شرایط کاری آن ها مشابه شرایط کاری در خلیج فارس و دریای عمان باشد. به عنوان مثال شکل ۳۲، شناوری را نشان می دهد که در سال ۲۰۲۱ در کشور امارات آزمایش شده و پایدارساز ژيروسکوپ توانست ۹۳٪ رول شناور را کاهش دهد. نکته ای حائز اهمیت این است که مقدار پایداری شناور بسیار به شرایط محل عملیاتی آن ها و نوع قایق بستگی دارد به طوری که یک نوع پایدارساز می تواند بین ۶۰ تا ۹۵ درصد باعث کاهش غلتش شود.



شکل ۳۰ تأثیر ژيروسکوپ مدل seakeeper 1 در کاهش رول شناور [۴۹]

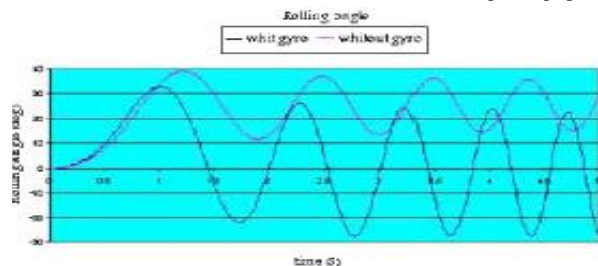
جدول ۶ حالت های مختلفی از تعداد ژيروسکوپ ها [۲]

تعداد ژيروسکوپ	جرم چرخ طیارها (kg)	ممان اینرسی چرخ طیارها (kg.m <sup>2</sup> )
یک عدد	200	7.5
دو عدد	50+150	7.21
دو عدد	100+100	6.8
سه عدد	3 * 66.5	5.16

با توجه به جدول ۶، با افزایش تعداد ژيروسکوپ ها، بهبودی در اندازه ی ممان اینرسی کل دیده نشده است، بلکه ممان اینرسی جرمی کل نیز کاهش می یابد که البته این امر می تواند منطقی باشد؛ چون در حالتی که از یک ژيروسکوپ استفاده می شود، توزیع جرم چرخ طیار در فاصله دورتری از محور دوران قرار می گیرد. این توزیع جرمی باعث افزایش ممان اینرسی می شود؛ بنابراین توصیه می شود که تا حد امکان از یک ژيروسکوپ به جای دو یا چند ژيروسکوپ برای کاهش غلتش شناور استفاده شود. البته در مواردی که مشکلاتی از قبیل، ایجاد تنش موضعی بیش از حد در بدنه، نبود توان کافی برای شروع به کار ژيروسکوپ، کمبود فضای کافی برای نصب و ... وجود داشته باشد، امکان استفاده از دو یا چند ژيروسکوپ نیز وجود دارد.

## ۲-۵- میزان اثربخشی پایدارسازهای ژيروسکوپ

نمودارهایی که میزان اثربخشی پایدارسازهای ژيروسکوپ را نشان می دهد در ادامه مورد بررسی قرار گرفته اند. معمولاً این نمودارها از طریق شبیه سازی های عددی شناور در نرم افزارهایی مانند آدامز و نسترن بدست آمده اند. مرادپور و همکاران [۴۹] یک شناور ۵۰۰ تنی را در سه حالت شبیه سازی و نتایج را به صورت نمودار بیان کرده اند. حالت اول ژيروسکوپ ۱۰۰ کیلوگرمی با سرعت ۳ rps باعث ۱۴ درصد کاهش غلتش (شکل ۲۸)، حالت دوم ژيروسکوپ ۱۷۰ کیلوگرمی با سرعت ۳ rps باعث ۱۷ درصد کاهش غلتش (شکل ۲۹) و حالت سوم ژيروسکوپ ۱۷۰ کیلوگرمی با سرعت ۴ rps باعث ۲۷ درصد کاهش غلتش می شود (شکل ۳۰) و ملاحظه می شود که تغییر دور نسبت به جرم، اثر بیشتری بر کاهش غلتش دارد به طوری که برای شناور ۵۰۰ تنی با یک ژيروسکوپ ۲۰۰ کیلوگرمی با سرعت ۷ rps می توان به کاهش غلتش بیش از ۶۵ درصد دست یافت.

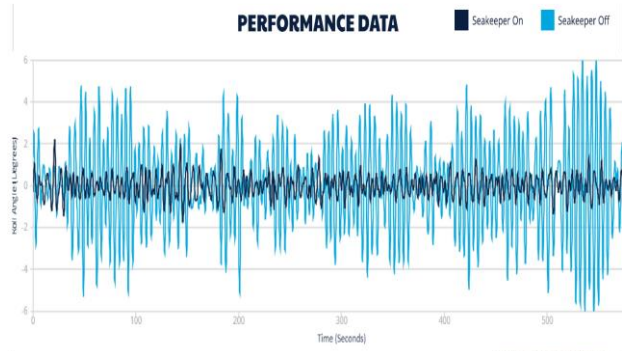


شکل ۲۸ حالت اول اعمال پایدارساز ژيروسکوپ [۴۹]

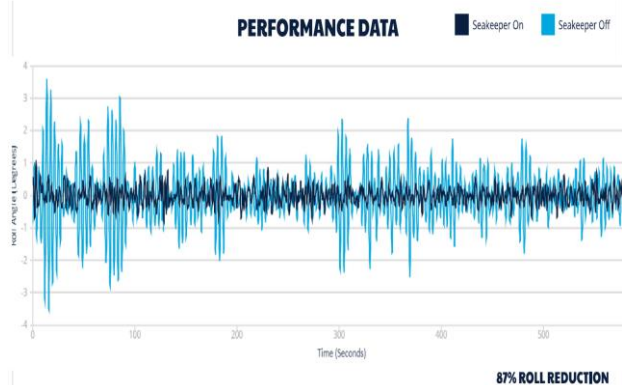
• استفاده از سامانه های کاهش غلتش شناور با ملاحظاتی به کار برده می شود، محققان دریافتند که به کار بردن این سامانه ها ممکن است سبب افزایش دمپینگ، افزایش اینرسی، کاهش گشتاور محرک گردد پس باید از این سامانه ها با دقت کافی استفاده شود که باعث ایجاد شرایط ذکر شده نشود. [۴۵]

• با افزایش تعداد ژيروسکوپ ها بهبودی در اندازه ی ممان اینرسی کل دیده نمی شود، بلکه ممان اینرسی جرمی کل نیز کاهش می یابد بنابراین توصیه می شود که تا حد امکان از یک ژيروسکوپ به جای دو یا چند ژيروسکوپ برای کاهش غلتش شناور استفاده شود. البته در مواردی که مشکلاتی از قبیل، ایجاد تنش موضعی بیش از حد در بدنه، نبود توان کافی برای شروع به کار ژيروسکوپ، کمبود فضای کافی برای نصب و ... وجود داشته باشد، امکان استفاده از دو یا چند ژيروسکوپ نیز وجود دارد.

• ژيروسکوپ ها معمولاً در شناورهای متوسط و کوچک مانند کشتی های راهنما و شناورهای تفریحی کرانه پیما و شناورهای نظامی نصب می شوند. نصب ژيروسکوپ بر روی شناورهای کوچک و متوسط به این علت است که ژيروسکوپ ها معمولاً در اندازه های خیلی بزرگ ساخته نمی شوند که بتوانند بر روی شناورهای اقیانوس پیما نصب شده و بر کاهش غلتش نیز مؤثر باشند و استفاده از چند ژيروسکوپ بخاطر هزینه بر بودن، مناسب نخواهد بود. هنگامی که در شناورها نیاز به کاهش آنی غلتش وجود دارد از مخازن ضد غلتش استفاده می شود و هنگامی که نیاز نیست به صورت آنی رول کاهش یابد از ژيروسکوپ استفاده شود. پس در کشتی های مسافری که نیاز است رول به صورت ملایم کنترل شود ترجیحاً باید از ژيروسکوپ استفاده شود و برای کاهش رول در کشتی های بزرگ تجاری می توان از مخازن و بالک های ضد غلتش استفاده کرد. [۴۵]



شکل ۳۰ تأثیر ژيروسکوپ مدل 9 seakeeper در کاهش رول شناور [۴۲]



شکل ۳۰ تأثیر دو عدد ژيروسکوپ مدل 35 seakeeper در کاهش رول شناور [۴۲]

#### ۳-۵- جمع بندی نتایج

- در بین انواع پایدارسازهایی به آن اشاره شد، ژيروسکوپ های ضد غلتش، بهترین پایدارساز برای شناورهای تندرو می باشند که بر اساس شرایط کاری می توان از ۶۰ تا ۹۵ درصد رول شناور را کاهش دهد.
- جابرو ضد غلتش با استفاده از حرکت ژيروسکوپ، گشتاوری مخالف با گشتاور موج ایجاد می کند و جلوی رول ناخواسته شناور را می گیرد. شایان ذکر است که چون جابروها به صورت کاملاً درونی در بدنه شناور نصب می شوند، سروصدا را به حداقل می رسانند و آسیب پذیری کمتری را در شرایط جنگی متحمل می شوند؛ همچنین از دیگر ویژگی های آنها می توان به کارایی مناسب در سرعت های پایین شناور، صرفه جویی در مصرف سوخت و عدم ایجاد برجستگی ها و تغییر فرم در بدنه شناور اشاره نمود. از معایب جابروها می توان به هزینه نگهداری آنها اشاره کرد [۲]
- از نتایج بدست آمده از شبیه سازی پایدارساز ژيروسکوپ در حالت های فعال و غیرفعال، واضح است که کنترل کننده فعال، کاهش دامنه بیشتری را داشته است. [۹]

#### ۶- مراجع

- [1] McGeorge, H. David, Marine auxiliary machinery. Elsevier, 1998.
- [2] R. Shafaghath, M. Dardel, M. Damavandi, Optimum selection of stabilizer for high-speed vessels and determination of its optimal dimensions, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Babol. 2014. (In Persian)
- [3] Scarborough, James Blaine. The Gyroscope. Interscience Publ., 1958.
- [4] [http://www.ghetee.com/making\\_a\\_mechanical\\_gyroscope/](http://www.ghetee.com/making_a_mechanical_gyroscope/)
- [5] Fauchoux, M., D. Fayoux, and J. J. Roland. "The ring laser gyro." *Journal of optics* 19.3 (1988): 101.
- [6] Stevens S.C. and M.G. Parsons, Effects of motion at sea on crew performance: A survey. *Marine Technology*, p. 29-47, 2002
- [7] M. Monesan, Comprehensive book of marine architectural engineering, Kanoon Pajoohesh Publications, 2009. (In Persian)
- [8] <https://ghasedak24.com/article/67/>
- [9] M. Soleimani, Designing an active gyro stabilizer to control the roll, yaw, and screw movements of the equipment located on the ship's deck, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Arak, 2013. (In Persian)
- [10] Amatani, Satoshi, et al. "Study of Gyro Monorail Production." *ACTUATOR; International Conference and Exhibition on New Actuator Systems and Applications 2021*. VDE, 2021.
- [11] M. R. Kedmati, Knowing The Ship, Amirkabir University Press, 2019. (In Persian).



- tanks and anti-rolling gyroscope, *Journal of Marine Science and Technology*, 15(1): p. 97-103, 2016. (In Persian)
- [46] R. Rastegari, M. M. Panahian, Reduction of floating roll at the same time by using gyrostabilizer and moving active mass in 6 degrees of freedom floating based on NATO standard, *Standard and Quality Management*, 6(4): p. 68, 2016. (In Persian)
- [47] T. Zhang, Analysis of Active Gyro Based Roll-Stabilization of Slender Boat Hulls. 2014.
- [48] M. Damavandi, R. Shafeghat, M. dardel, Choosing the optimal dimensions of the anti-rolling gyro flywheel for installation on a high-speed boat, *Journal of Marine Science and Technology*, 20(1): p. 109-124, 2021 (In Persian)
- [49] M. Monesan, J. Moradpour, M. Dadkhah, Investigating the equations of motion of the anti-rolling gyroscope and modeling the ship's roll reduction, *The 10th National Conference of Marine Industries of Iran*, 2008. (In Persian)
- [12] T. Perez, Ship motion control: course keeping and roll stabilisation using rudder and fins. *Springer Science & Business Media*, 2006.
- [13] Froude, William. "On the rolling of ships." *Trans INA* 2, pp:180-227, 1861.
- [14] J. Vasta, Roll stabilization by means of passive tanks. *Soc. Naval Arch. and Marine Eng.*, p. 411-460 1961.
- [15] P. Watts, The use of water-chambers for reducing the rolling of ships at sea, Read at the 26th Session of the Royal Institution of Naval Architects, *RINA Transactions*, 1885.
- [16] S.W. White, Experiments with Dr. Schlick's gyroscopic apparatus for steadying ships, *Transactions of The Institution of Naval Architects INA*, 1907.
- [17] S. E.C., The Automatic Stabilisation of Ships. *Nature*, 130(3284): p. 528-528, 1932.
- [18] I. Frahm Herr, Results of Trials of Anti-rolling Tanks At Sea. in Read at Spring Meeting of 52nd Session of Institution of Naval Architects. 1911
- [19] Available from: <https://intering.com/>
- [20] R. Bhattacharyya, Dynamics of marine vehicles. *John Wiley & Sons Incorporated*, 1978.
- [21] F. Rolt-Wheeler, The Boy with the US Inventors. Lothrop, Lee & Shepard Company, 1920.
- [22] J. I. Lahham, and J. R. Brazell. "Acoustic noise reduction in the MK 49 ship's inertial navigation system (SINS)." *IEEE PLANS 92 Position Location and Navigation Symposium Record. IEEE*, 1992.
- [23] N. Minorsky, problems of anti - rolling stabilization of ships by the activated tank method. *Journal of the American Society for Naval Engineers*, 1935. 47(1): p. 87-119.
- [24] J. Conolly, Rolling and its stabilisation by active fins. *Transactions of The Royal Institution of Naval Architects*, 111, 1969.
- [25] B. E. Luboshez, US Patent: Gyroscopic Stabilizer, NO:US2432430A, 1943.
- [26] R. Pittman, US Patent: Single Axis Two-Gyro Stabilized Platform, NO:US2898766A, 1959.
- [27] J. T. Ephgrave, US Patent: Twin Gyro Stabilization System, NO:US3192778A, 1965
- [28] R. J. Baier, US Patent: Marine Platforms, NO:US3739737A, 1973.
- [29] C. Morgan, and R. Peters, The Tilted Axes Stable Platform Mechanism: Kinematic And Kinetic Aspects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 191(1): p. 277-288, 1977.
- [30] T. Villa, CH. Reid, US Patent: Pneumatic Stabilizer, NO:US5390656A, 1992.
- [31] J. H. Williams, , US Patent: Stable Positioning System For Suspended Loads, NO:US5871249A, 1999.
- [32] A. A. Ghadimi, Design of active and semi-active stabilizers to control bounce, roll and twist movements in a medium boat, Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of Arak, 2012. (In Persian)
- [33] N. Townsend, A. Murphy, R.A. Sheno, A new active gyrostabiliser system for ride control of marine vehicles. *Ocean engineering*, 34(11-12): p. 1607-1617. 2007.
- [34] D. Nikulin, Active stabilization of an antenna system. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 36(2): p. 110-113, 2007.
- [35] V. V. Aleksandrov, B. Ya. Lokshin, L. Gomez Esparza, H. A. Salazar Ibarquen, Stabilization of a platform under wind loads, *Fundam. J. Math. Sci.*, 146:3 , 5863-5876, 2007.
- [36] R. Rastegari, M. M. Panahian, Providing a method to control the stability of the floating roll in accordance with the classification standards by using a PID controller switch to control the gyrostabilizer and the moving object, *Standard and Quality Management*, 6(2): p. 34, 2016. (In Persian)
- [37] J. S. Ferguson, P. Waquet, D. Hopkin, SeaKeeper—An Operational Remote Minehunting System, *The 14th International Offshore and Polar Engineering Conference. OnePetro*, 2004.
- [38] Available from: [https://www.wikiwand.com/en/Anti-rolling\\_gyro](https://www.wikiwand.com/en/Anti-rolling_gyro)
- [39] Available from: <http://www.mohitzist.blogfa.com/post/7>.
- [40] Available from: [http://myboatsgear.com/2017/01/03/vessel\\_stabilizers](http://myboatsgear.com/2017/01/03/vessel_stabilizers)
- [41] Available from: <https://antirollinggyro.com/products/technology>.
- [42] Available from: <https://www.seakeeper.com/technology/>.
- [43] Available from: [http://myboatsgear.com/2017/1/3/vessel\\_stabilizers/](http://myboatsgear.com/2017/1/3/vessel_stabilizers/).
- [44] M. Moonesun, , Handbook of Naval Architecture Engineering 2nd edition, Kanoon Pzhoohesh publication, pp414-417, .2013. (In Persian)
- [45] S. Shadkam, E. Rabei, N. Aleali, Reducing the lateral rolling of vessels by using the solution of the equations of the methods of active controlled