

## کاهش غلتش عرضی شناورها با استفاده از حل معادلات روش‌های مخازن کنترل‌شده فعال و ژیرسکوپ ضدغلتش

سعید شادکام، اعتمادالدین رباعی غلامی\*، نسیم آل علی

دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۰

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2016.40943](https://doi.org/10.22113/jmst.2016.40943)

### چکیده

هر شناور متناسب با جابجایی و مقدار پایداری در محدوده خاصی از تلاطم دریا می‌تواند به طور ایمن حرکت کند. لذا اگر شناور در محدوده کاری خود مجبور به عبور از مناطق دریایی بسیار متلاطم در فصل‌های خاصی باشد که میزان پایداری شناور برای غلبه بر آنها مناسب نیست باید روش‌هایی ارائه شود که از غلتش شناور جلوگیری به عمل آورد. هدف در این مقاله رسیدن به یک پایداری هیدرواستاتیکی مناسب با استفاده از بررسی روش‌های موجود کاهش غلتش شناورها است. از این روش‌ها دو روش استفاده از مخازن ضد غلتش فعال و ژیرسکوپ به عنوان روش‌های متداول شناخته می‌شوند. در این مقاله سعی شده است معادلات حاکم بر روش‌های مخازن کنترل فعال و ژیرسکوپ ضد غلتش ارائه و حل گردد و سپس با مقایسه نتایج روش بهینه تر ارائه گردد. نتایج بررسی به عمل آمده نشان می‌دهد استفاده از مخازن ضد غلتش در شناورهای بزرگ و برای کاهش آنی حرکت غلتش عرضی بهتر بوده و در شناورهای کوچک و کشتی‌های مسافربری دلیل کنترل بهتر ژیرسکوپ نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** حرکت رول کشتی، نرم افزار متلب، کاهش غلتش رول

## ۱. مقدمه

کشتی دارای ۶ درجه آزادی است که سه درجه آن انتقالی و سه درجه آن دورانی است. سه حرکت هیو، پیچ و رول نوسانی هستند؛ چرا که تحت تأثیر نیروهای بازگرداننده هیدرواستاتیکی قرار دارند. حرکات سرچ، اسوی و یاو پس از خارج شدن از حالت تعادل به حالت اولیه باز نمی‌گردند؛ مگر اینکه نیرو یا ممان خارجی دیگری آن‌ها را به حالت اولیه بازگرداند. بنابراین، این سه حرکت، نوسانی کامل نیستند. کشتی در حین حرکت در اغلب مواقع، هر شش حرکت را همزمان تجربه می‌کند (Moonesun, 2012).

در این میان، حرکت 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 می‌شود، می‌تواند سبب دریازدگی مسافری و خدمه شود. همچنین شتاب رول ممکن است به کالاهایی که به وسیله کشتی حمل می‌شود، آسیب برساند و زاویه‌های بزرگ رول محدودیت در نصب تجهیزات ایجاد می‌نماید مانند سلاح‌ها، سیستم‌های تعادل، سونار<sup>۱</sup> و غیره که در این مورد، دامنه نوسانات از اهمیت خاصی برخوردار است. پس باید به نحوی این حرکت را تحت کنترل درآورد. ویلیام فرود در سال ۱۸۱۰ تا ۱۸۷۹ اولین مطالعه را راجع به مکانیزم‌های حرکت غلتشی کشتی‌های قبل از ۱۸۶۰ انجام داد؛ این آغازی بود برای ارائه روش‌های کاهش غلتش عرضی شناور. امروزه بحث‌های زیادی بر سر چگونگی کاهش رول توسط این روش‌ها وجود دارد، که در این مقاله به بررسی نرم افزاری دو نمونه مهم از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

چهار روش متداول برای کاهش غلتش عرضی شناورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها عبارتند از استفاده از مخازن کنترل‌شده فعال<sup>۲</sup>، مخازن کنترل‌شده غیرفعال، ژيروسکوپ ضدغلتش و بیلج‌کیل‌ها. از روش‌های گفته شده دو روش مخازن کنترل‌شده فعال و ژيروسکوپ استفاده بیشتری دارند؛ بنابراین در این تحقیق به این دو روش پرداخته می‌شود. مقطع مخازن کنترل‌شده به شکل W یا دو حرف U در کنارهم هستند؛ در روش فعال آن مخازن مطابق با (شکل ۱) دارای یک پروانه در قسمت میانی (بال‌میانی) می‌باشد. این پروانه به وسیله یک موتور الکتریکی یا هیدرولیکی تحریک و کنترل می‌شود. و وظیفه ایجاد تأخیر فاز بین حرکت سیال داخل مخازن و غلتش شناور را برعهده دارد. قسمت تحتانی مخازن به وسیله یک صفحه تخت به دو کانال تقسیم شده است که هر کانال نیز یک شیرارتباطی دارد (Gawad et al, 1999).

وقتی شناور به سمت چپ غلتش می‌کند، مطابق شکل ۲، شیرها به گونه‌ای باز می‌شوند که آب داخل مخازن از سمت چپ به راست انتقال یابند. در غلتش شناور به سمت راست نیز مطابق شکل ۳ عکس این عمل اتفاق می‌افتد به گونه‌ای که غلتش عرضی شناور مهار شود. حرکت ژيروسکوپی در صورتی رخ می‌دهد که محوری که جسم حول آن می‌چرخد خود نیز حول محور دیگری دوران کند. ژيروسکوپ به عنوان یک وسیله پایدار کننده مهم مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش‌روشن کنترل‌شده یک ژيروسکوپ بزرگ که در یک کشتی گشتاور - ژيروسکوپی نصب می‌شود، باعث می‌شود تا در جهت مخالف با حرکت غلتشی کشتی در دریا به کار رود. ژيروسکوپ‌ها معمولاً در شناورهای متوسط و کوچک نصب می‌شوند. مانند کشتی‌های راهنما و شناورهای تفریحی کرانه‌پیما. علت این امر این است که

<sup>۲</sup>Active controlled tanks<sup>۱</sup>Sonar

در روش ژيروسکوپ ضدغلتش<sup>۱</sup>، از یک ژيروسکوپ جهت کنترل غلتش عرضی شناور استفاده می شود.

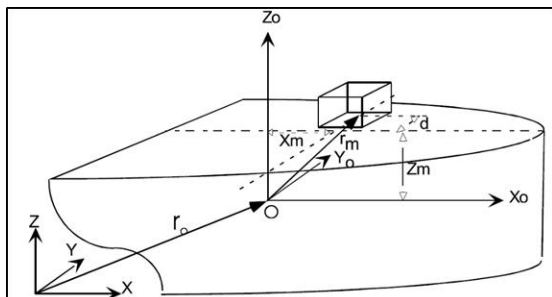
### ۳- نتایج

مخزن ضدغلتش را می توان با یک جرم مطابق شکل ۵ مدل کرد که معادله آن را می توان به شکل زیر نوشت (W.Treacle,1998).

$$\ddot{d} + \mu_m \dot{d} + \omega_m^2 d - Gp = 0 \quad (1)$$

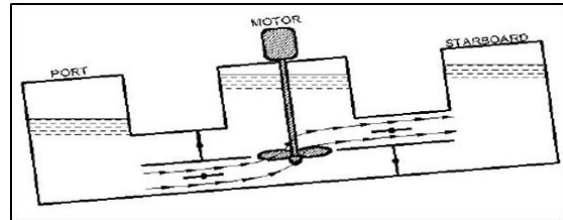
معادله حرکت یک بعدی رول کشتی با توجه به مدل مخزن ضد غلتش به شکل زیر است.

که در آن،  $t$  زمان،  $m$  جرم مخزن،  $I_{xx}$  ممان اینرسی حول  $x$ ،  $z_m$  ارتفاع مرکز ثقل مخزن  $g_y$  و  $g_z$  شتاب گرانش،  $\mu_s$  ضریب میرایی هیدرودینامیکی است،  $\varphi$  رول،  $p$  سرعت رول،  $F_w$  دامنه ممان تحریک ناشی از موج،  $\Omega$  فرکانس برخورد،  $\omega_s$  فرکانس طبیعی در حرکت رول،  $d(t)$  موقعیت واقعی مخزن نسبت به دستگاه مختصات روی کشتی،  $\mu_m$  و  $\omega_m$  ثابت های پیرایه یافتن رابطه قابل قبول بین مکانیزم سرو است.  $G$  پارامتری است که از روش کنترل کلاسیک بدست آمده است و می بایست برای هر شناور جداگانه محاسبه گردد چرا که تابع مشخصات دینامیکی شناور است. به عنوان مثال، شناوری با سرعت ۱۰ ناتدر نظر گرفته می شود که مشخصات آن در جدول ۱ لیست شده است (Pesman et al, 2007).

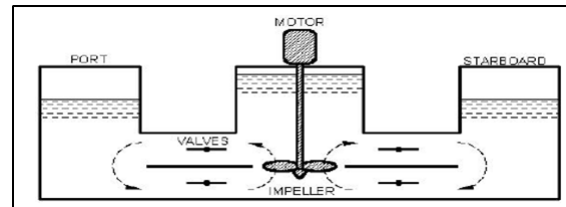


شکل ۵: مدل مخزن ضد غلتش فعال با جرم

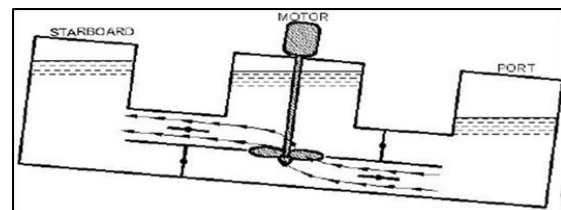
ژيروسکوپها معمولاً در اندازه های خیلی بزرگ ساخته نمی شوند که بتوانند بر روی شناورهای اقیانوس پیما نصب شده، بر کاهش غلتش نیز مؤثر باشند. ابعاد تقریبی ژيروسکوپ نسبت به بدنه شناور را می توان در شکل ۴ ملاحظه کرد (Perez,2006).



شکل ۱: مخزن کنترل شده فعال (حالت قائم شناور)

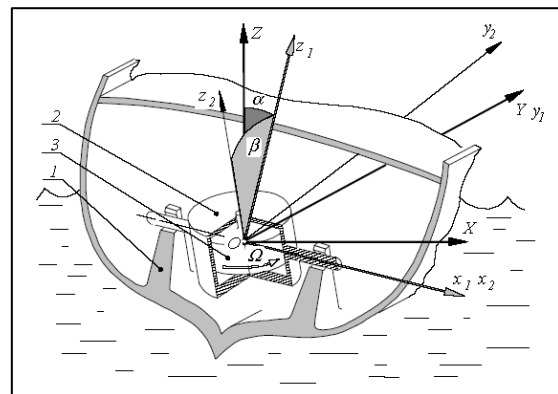


شکل ۲: غلتش شناور به سمت چپ و وضعیت شیرها



شکل ۳: غلتش شناور به سمت راست و وضعیت

شیرها



شکل ۴: نحوه قرار گیری ژيروسکوپ ضد غلتش در

داخل شناور

<sup>۱</sup>Gyrostabilizer

$$\dot{p} = \frac{1}{I_{xx} - md^2 - mz_m^2} [-\omega_s^2 I_{xx} \varphi - \mu_s p + m(z_m g_y - z_m \ddot{d} + p^2 z_m d - d g_z + 2p d \dot{d})] \quad (2)$$

معادلات (۱) و (۲) بطور سعی و خطا و با توجه به مشخصات شناور مورد نظر ۰/۰۰۲ پیدا شده است. شکل ۶، حرکت رول را بدون کنترل و با سیستم کنترل نشان می‌دهد. همان طور که این شکل نشان می‌دهد سیستم کنترل توانسته دامنه حرکت رول را کنترل کند و آن را محدود نگه دارد.

حال مقدار  $I_{xx}$  را از روابط تجربی زیر و با در نظر گرفتن مقادیر جدول ۱ مقادیر مورد نظر محاسبه می‌شود (Barrass, 2004) با توجه به روابط (۳) و جدول ۱ میتوان مقادیر ثابت معادلات (۱) و (۲) را محاسبه نمود و آنها را در جدول ۲ نشان داد.

جدول ۲: ثابتهای معادلات (۱) و (۲)

مقدار	آیتم	شماره
۱۵۵۶۰۰۰	$m(Kg)$	۱
۵۳۰۸/۹۴۴	$I_{xx}(Kg m^2)$	۲
.	$Z_m(m)$	۳
.	$g_y \left(\frac{m}{s^2}\right)$	۴
۹/۸۱	$g_z \left(\frac{m}{s^2}\right)$	۵
۰/۱۵	$\mu_s$	۶
۰/۰۴	$F_w(N)$	۷
۲	$\Omega(Hz)$	۸
۱۵/۱۱۹۹	$\omega_s(Hz)$	۹
$0.1\mu_s$	$\mu_m$	۱۰
$0.25\omega_s$	$\omega_m(Hz)$	۱۱

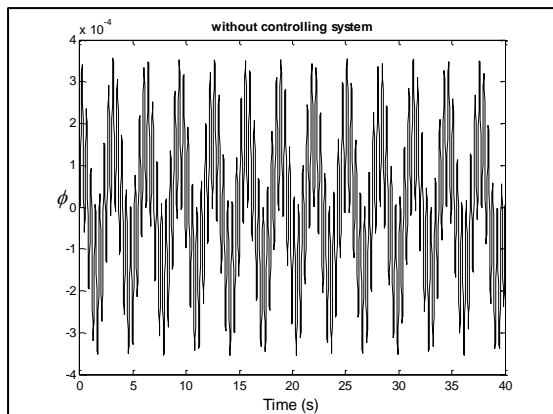
جدول ۱: مشخصات هیدرواستاتیکی و

هیدرودینامیکی شناور مورد مطالعه

شماره	آیتم	واحد	مقدار
۱	ضریب بلوکی $C_B$	---	۰/۴۴۹
۲	طول شناور $L$	m	۶۴
۳	عرض شناور $B$	m	۱۱/۶
۴	جابجایی $\Delta$	Tons	۱۵۵۶
۵	ضریب میرایی $b_L$	---	۰/۱۵
۶	$GM$	m	۰/۷۸
۷	جرم شناور $m$	Kg	۱۵۵۶۰۰۰

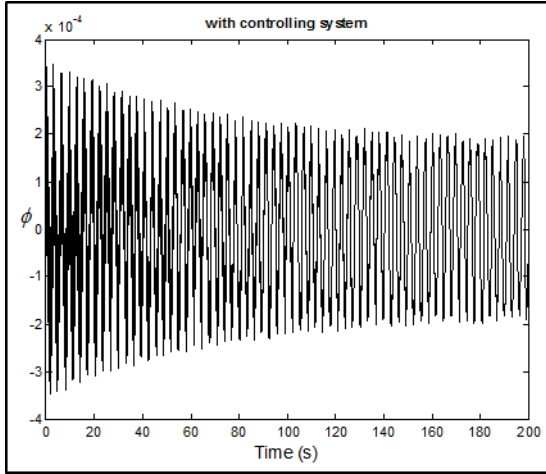
حال می‌بایست مقدار  $G$  را به گونه ای تعیین کنیم که موجب کنترل رول شود. این مقدار با حل عددی

$$BM_T = \frac{I_{xx}}{V}, \quad BM_T = \frac{\eta B^2}{HC_B}, \quad \eta = 0.084 C_W^2, \quad V = C_B L B H, \quad C_W = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} C_B \quad (3)$$



(الف)

چون شکل ۶ برای فقط ۴۰ ثانیه رول را نشان داده بنابراین برای اطمینان یافتن از صحت کارکرد سیستم کنترلی، حرکت رول شناور را برای ۲۰۰ ثانیه در شکل ۷ نشان داده شده است و همان طور که در این شکل نشان داده شده حرکت رول همچنان محدود نگه داشته شده است.



شکل ۷: حل عددی مدل رول با کنترل کننده مخزنی برای ۲۰۰ ثانیه

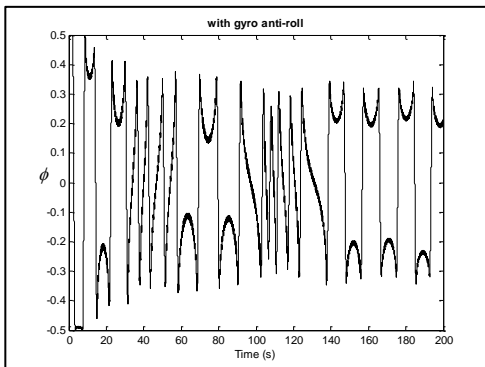
حال برای شرایط مندرج در جدول ۳ شبیه سازیهای مربوطه را برای مدت زمان ۵۰ ثانیه و در دو حالت ژيروسکوپ خاموش ( $\Omega = 0$ ) و روشن ( $\Omega =$ ) 1047 انجام داده ایم. این شبیه سازیها در شکل ۸ نشان داده شده اند. چنانچه از این شکل بر می آید ژيروسکوپ تأثیر قابل ملاحظه ای در کنترل حرکت رول دارد و از آنجایی که این کنترل غیرفعال می باشد مزیت خوبی نسبت به بقیه روشهای کنترلی دارد.

$$[I_B + md_B^2 + m_G d_G^2 + I_{G1} \cos^2 \theta + I_{G3} \sin^2 \theta] \ddot{\phi} + (I_{G3} - I_{G1}) \dot{\phi} \sin 2\theta + I_{G3} \Omega \dot{\theta} \cos \theta + (m + m_P + m_G) g GM_0 \sin \phi = 0 \quad (4)$$

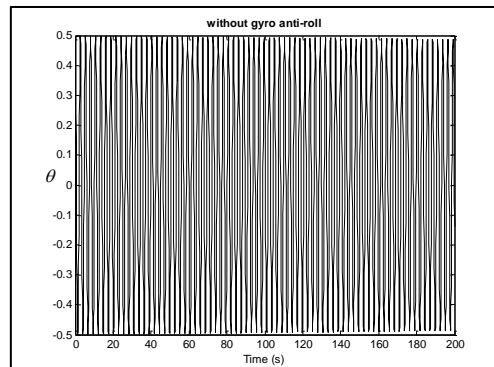
$$I_{G2} \ddot{\theta} - \frac{1}{2} (I_{G3} - I_{G1}) \sin 2\theta \dot{\phi}^2 - I_{G3} \Omega \dot{\phi} \cos \theta = 0 \quad (5)$$

جدول ۳: مشخصات مربوط به شناور کنترل شده توسط ژيروسکوپ

$I_{G3}(kgm^2)$	$I_{G2}(kgm^2)$	$I_{G1}(kgm^2)$	$I_B(kgm^2)$	$GM_0(m)$	$d_B(m)$	$d_G(m)$	$m_P(kg)$	$m_G(kg)$	$m(kg)$
۰/۴	۰/۲	۰/۲	۶۵	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۱۴۰	۲۰	۲۹۰



(ب)



(الف)

شکل ۸: شبیه سازی حرکت رول (الف) بدون ژيروسکوپ (ب) با ژيروسکوپ

**۴. بحث و نتیجه گیری**

استفاده از سیستم‌های کاهش غلتش شناور با ملاحظات زیادی به کار برده می‌شود، محققان دریافتند که به کار بردن این سیستم‌ها ممکن است سبب افزایش دمپینگ، افزایش اینرسی، کاهش گشتاور محرک گردد. پس باید از این سیستم‌ها با دقت کافی استفاده شود که باعث ایجاد شرایط ذکر شده نشوند. در این مقاله شبیه‌سازی عددی دو روش کاهش رول ارائه شد، که نهایتاً به این نتیجه منجر می‌شود که هنگامی که در شناورها نیاز به کاهش آنی غلتش وجود دارد از مخازن ضد غلتش استفاده شود و هنگامی که نیاز نیست که به صورت آنی رول کاهش یابد از

ژیروسکوپ استفاده شود. پس در کشتی‌های مسافری که نیاز است رول به صورت ملایم کنترل شود ترجیحاً باید از ژیروسکوپ استفاده شود. و همچنین چون ژیروسکوپ معمولاً در اندازه‌های بزرگ ساخته نمی‌شود، پس نمی‌توان از آن برای کشتی‌های بزرگ استفاده کرد. برای کاهش رول در کشتی‌های بزرگ تجاری به خاطر مقدار مطلوب کاهش رول بدست آمده، می‌توان از مخازن ضد غلتش استفاده کرد. برای ادامه این کار می‌توان تأثیر روش‌های ذکر شده بر افزایش دمپینگ، افزایش اینرسی و کاهش گشتاور محرک را بررسی کرد و مقادیر دقیق رول را بدست آورد.

**منابع**

- Mohammed Moonesun. 2012. Handbook of Naval Architecture Engineering. KanoonPajooresh
- Ahmad F. Abdolgawad, Ali H. Nayfeh. 1999. Roll stabilization by anti-roll passive tanks. Ocean Engineering. 28: 457-469
- Tristan Perez. 2006. Ship motion control course keeping and roll stabilization using rudder and fins. Springer.
- Thomas W. Treakle. 1998. A Time-Domain Numerical Study of Passive and Active Anti-Roll Tanks to Reduce Ship Motions. MSc

Thesis. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

Emre Pesman, Deniz Bayraktar and Metin Taylan. 2007. Influence of damping on the roll motion of ships" the 2nd International Conference on Marine Research and Transportation. June 28-30- 2007.

C. B. Barrass. 2004. Ship design and performance for masters and mates. Elsevier Butterworth-Heinemann.

Tao Zhang. 2014. Analysis of Active Gyro Based Roll-Stabilization of Slender Boat Hulls. School of Engineering Sciences KTH.

## Gyroscope and Activated Anti-Rolling Tank Equations in Ship Roll Damping

Saeed Shadkam, EatemadO'DinRabei Gholami\*, Nasim Al Ali

Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology.

### Abstract

Each Ship Can Transfer Safely in certain Zone According to Its Stability and Regime of Sea State. Therefore, if Ship Have to Pass in Specific Condition that Sea State is Jumpy, Should be Provide One or More Anti Rolling Methods to Survive. The Purpose of this Article is Reduction and Control of Rolling Motion to Reach Proper Hydrostatic Stability with Assessment Activity of Two Methods Using Commonly to Reduce Rolling Motion. This Methods are Activated Anti Rolling Tanks And Gyroscope. In this Article Trying to Solve Its Equations in Matlab Software and Compare it to Reach More Activity Method. The Results Shown that Anti Rolling Method Proposed for Large Displacement Ships and Otherwise Gyroscope is More Activity for Passenger Ships and Small Vessels.

**Keywords:** Ship Rolling Motion, Matlab Software, Reduction of Roll

Figure 1-Active Controlled Tank (in Zero Degree Roll Position)

Figure 2-Left hand Rolling and Situation of Valves

Figure 3-Right hand Rolling and Situation of Valves

Figure 4-GyroStabilizer Function in Marine Vessels

Figure 5-Mass Modeling of Active Controlled Tank

Table 1-Hydrostatic and Hydrodynamic Properties of Mention Model

Table 2-Constants of 1 and 2 Equations

Figure 6-Diagram of Roll Motion in a) active Controlled Tank and b)Anti Rolling Tank in mention Model

Figure 7-Roll Motion Damping in Active Controlled Tank for 200s Time

Table 3-Properties of Roll Motion in Model Controlled with Gyroscope

Figure 8-Roll Motion Simulating in a) without Gyrostabilizer and b) with Gyrostabilizer

---

\*Corresponding author, E-mail: rabei.emad@yahoo.com