

مدل سازی عددی مانورهای غوص و صعود یک زیردریایی بر اثر دمش هوای فشرده در مخازن اصلی

محمدعلی بدری استادیار، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا، دانشگاه صنعتی اصفهان

داوود میرزایی کارشناس ارشد، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

یکی از قسمت‌های مهم در زیردریایی‌ها که وظیفه تغییر عمق آنرا به عهده دارد مخازن اصلی هستند. زیردریایی‌ها را معمولاً دو جداره ساخته و این مخازن در بین دو جدار قرار می‌گیرند تا با دمیدن هوای پر فشار در آنها، حرکت عمقی زیردریایی تنظیم شود. برای شبیه‌سازی دقیق از محیط و زیردریایی، مدل دینامیکی دقیق و کاملی از زیردریایی مورد نیاز می‌باشد. برای این منظور، لازمست تغییرات وزن و شناوری با توجه به فرآیند دمش هوا در آنها به دست آید. شرایط نامعین محیط اقیانوس نیاز به محیطی برای شبیه سازی و انجام تست‌های مختلف را گریز ناپذیر نموده است. بنابراین در این پژوهش مدل‌سازی عددی تغییرات نیروهای وزن و شناوری و مراکز تأثیر آنها بر اثر دمش هوای فشرده در مخازن اصلی در عمق‌های مختلف و نیز بررسی نحوه تغییرات عوامل دینامیکی برای یک زیردریایی نمونه مورد توجه قرار گرفته و نتایج عددی با داده های تجربی مقایسه و اعتبار سنجی شده است. نتایج نشان داده است که عواملی نظیر موقعیت مخازن، زاویه حول محور عرضی و عمقی زیردریایی بر فرآیند دمش هوا در مخازن تأثیر مستقیم داشته و همچنین در مانور صعود، زیردریایی دچار ناپایداری رول خواهد شد که با افزایش سرعت زیردریایی این ناپایداری کمتر خواهد شد.

کلمات کلیدی: مدل سازی عددی، زیردریایی، مخازن اصلی، نیروهای شناوری و وزن، دمیدن هوا

Numerical Modeling of Rising Maneuvers Using Compressed Air Applying in a Typical Submarine

M. A. Badri Assistant Professor, Research Institute for Subsea Science & Technology, Isfahan University of Technology

D. Mirzaii M.Sc., Research Institute for Subsea Science & Technology, Isfahan University of Technology

Abstract

One of the important compartments in a submarine due to change of the depth is main ballast tanks (MBT). Submarines are usually designed in order to blow compressed air into main ballast tanks. In order to provide an exact model, it is required to determine the relation between weight and buoyancy with blowing air process. In the oceans with non-deterministic conditions, it is required to simulate and test these conditions in a virtual space by the aid of an exact and complete dynamic model. In this paper, a numerical modeling for air blowing into MBTs for a typical submarine is considered and verified with experimental results. The results were shown direct effects of tanks situation, submarine angle about pitch and yaw on air blowing into MBTs. Meanwhile, in case of rising, the submarine made rolling instability being smaller by increasing velocity.

Keywords: Numerical modeling, Submarine, Main ballast tanks, Buoyancy and weight, Air blowing

۱- مقدمه

است. بنابراین این نتایج مدل مؤثری برای طراحی و استفاده در سیستم‌های زیرآبی فراهم نموده است [۵]. در تحقیقات دیگری مانور صعود زیردریایی به واسطه نحوه دمش هوا در مخازن شناوری مدل‌سازی شده است. نتایج این پژوهش با شبیه‌سازی همراه بوده است [۶]. برخی تحقیقات نیز شبیه‌سازی خود را بر حالت گذرا استوار نموده اند [۷] و [۸].

در این مقاله غوص و صعود زیردریایی از طریق بررسی تغییرات شناوری با توجه به میزان هوای دمیده شده در مخازن شناوری، تغییرات جرم زیردریایی در حین دمش هوا در مخازن و در نهایت مدلسازی فرآیند دمش هوا مورد توجه قرار گرفته است. سپس فرآیند دمش هوای فشرده برای یک زیردریایی نمونه مدلسازی و نتایج عوامل مختلف دینامیکی از طریق مقایسه با داده های تجربی اعتبار سنجی گردیده شد. تفاوت این پژوهش با سایر پژوهش های قبلی حل معادلات دیفرانسیل متغیر با زمان حرکت شش درجه آزادی زیردریایی با استفاده از روش عددی رانگ کوتای مرتبه چهار، به صورتی که جرم، مرکز جرم زیردریایی تابعی از زمان در حال تغییر است و این تغییرات جرم با مدل سازی نحوه دمش هوا به داخل مخازن با استفاده از تئوری ترمودینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تفاوت دیگر با پژوهش های قبلی استفاده از مدل دمش هوای آیزنروپیک می‌باشد.

۲- مدلسازی غوص و صعود زیردریایی

غوص و صعود زیردریایی به وسیله مخازن اصلی انجام می‌شود. زیردریایی برای غوص، مخازن خود را پر از آب نموده و به زیر آب می‌رود. با ورود آب به داخل مخازن، هوای داخل آن‌ها به سرعت خارج می‌شود. برای صعود به سطح نیز عکس این عمل انجام می‌شود و زیردریایی با تخلیه آب از داخل مخازن اصلی، به سطح آب صعود می‌کند. تخلیه آب داخل مخازن به وسیله هوای فشرده انجام می‌شود. در شکل ۱ تغییر عمق استاتیکی زیردریایی نشان داده شده است.

نکته مهم در اینجا است که زیردریایی در زیر سطح آب به وسیله تغییر آب داخل مخازن، تغییر عمق نمی‌دهد. بلکه آب داخل مخازن در حالت تغییر عمق ثابت بوده و تغییر عمق زیردریایی معمولاً توسط سطوح کنترل انجام می‌شود و در واقع در زیر آب، همواره وزن و شناوری با هم برابر هستند [۱].

زیردریایی یکی از پیشرفته ترین تجهیزات متحرک دریایی است که از سطح آب تا اعماق دریا حرکت می‌کند و قادر به انجام عملیات‌های نظامی به صورت کاملاً مخفی و ناشناس است. زیردریایی‌ها از نظر سرعت، نسبت به شناورهای سطحی دارای مزیت نیستند بلکه مزیت آنها دو عامل اصلی است یکی حرکت در زیر آب به صورت مخفی و بدون سر و صدا و دیگری غوص زیردریایی‌ها در اعماق دریا می‌باشد. بدین ترتیب زیردریایی می‌تواند سرعت کم خود را که یک عیب از نظر عملیاتی محسوب می‌شود، با این دو عامل جبران کند و به صورت یک سلاح نظامی کاملاً استراتژیک مطرح باشد. بنابراین می‌توان گفت یک زیردریایی پر سر و صدا یک هدف متحرک است که به دلیل نداشتن سرعت زیاد برای فرار، شانس کمی برای نجات دارد و در صورت کم سر و صدا و مخفی بودن، می‌تواند هر مانعی را منهدم نموده و از سر راه بردارد [۱]. مخازن اصلی به صورت طولی در زیر دریایی قرار گرفته و با آب‌گیری باعث می‌شود وزن زیر دریایی بر شناوری غلبه کرده و به زیر آب رود و بر اساس ضرورت، هوا به داخل مخازن دمیده شده و شناوری افزایش یافته و زیردریایی به سطح آب صعود کند. اگر چه فرآیند دمش هوا و تخلیه آن در مواقع ضروری صورت می‌گیرد ولی در مانورپذیری زیردریایی تأثیر زیادی دارد. از تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته می‌توان به مدل‌سازی ریاضی برای تحلیل تحلیل و کنترل عملیات دمش هوا در مخازن اصلی توسط فانت اشاره نمود [۲] و [۳]. مدل‌های ریاضی برای دمش و تخلیه گاز با ۶ درجه آزادی برای به دست آوردن یک راه حل برای تعیین رفتار زیردریایی با در نظر گرفتن اثر تغییر جرم مورد نظر قرار گرفته است. در پژوهش دیگری مدل ریاضی دمش و تخلیه گاز از مخازن بالاست در زیردریایی بدست آمده است. در این پژوهش از عملیات دمش هوا به عنوان یک مکانیزم کنترل استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه سازی رایانه‌ای ارائه شده که در آن زیردریایی در انجام مانور تغییر عمق توسط دمش و تخلیه مخازن بالاست بدون هر گونه استفاده از سطوح کنترل هدایت مدل گردیده است [۴]. در کار پژوهشی دیگری استفاده از تحلیل ترمودینامیکی فرآیند جت گاز در مخازن بالاست مبنای مدلسازی قرار گرفته است. مجموعه‌ای از معادلات انرژی، معادلات کیفیت و حالت برای مدل‌سازی فرآیند استفاده شده‌اند. نتایج شبیه سازی مدل با نتایج تجربی مقایسه شده و مدل پیشنهادی فرآیند توسط روش‌های ترمودینامیکی، تقریباً با نتایج تجربی تطابق نشان داده

در رابطه بالا V_a حجم کل هوا در مخزن شناوری و V_{ai} حجم مخزن اصلی i است. در لحظه ای که فرآیند دمشی در مخزن آغاز می‌شود V_{ai} صفر است و زمانی که آب مخزن خالی می‌شود $V_{ai} = V_{Ti}$ است. بنابراین موقعیت طولی کسر جرم دمیده شده عبارت است از:

$$x_\mu = \frac{\sum_{i=0}^N x_{\mu i} \mu_i}{\mu} = \frac{\sum_{i=0}^N x_{Ti} V_{ai}}{V_a} \quad (2)$$

مختصات عمودی z_μ وابسته به چیدمان محوری مخازن بوده و این مختصه حتی اگر مخازن آرایش نامنظمی داشته باشند به صورت تقریباً خطی می‌باشد و مقدار اولیه z_μ نزدیک قسمت بالای بدنه در حالت $\mu_i = 0$ ، تقریباً برابر صفر است.

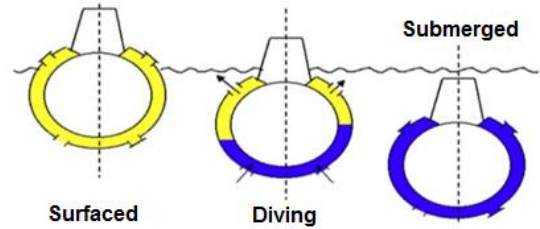
$$z_\mu = \frac{\sum_{i=0}^N z_{\mu i} \mu_i}{\mu} = \frac{-0.45d \sum_{i=0}^N \left(1 - \frac{V_{ai}}{V_{Ti}}\right) V_{ai}}{V_a} \quad (3)$$

با گرفتن ممان حول محورهای اصلی رابطه‌ای بین x_B و x_{G_0}, z_{G_0} و x_μ, z_μ بدست می‌آید. با توجه به اینکه x_B با خالی شدن مخازن تغییری نمی‌کند روابط $(z_{G_0} = z_B + BG_0, x_{G_0} = x_B)$ برقرار خواهد بود. با در نظر گرفتن رابطه $BG_0 = z_G - z_B$ خواهیم داشت:

$$\overline{BG} = \frac{\overline{BG_0} + \frac{\mu B}{W_0} (z_B - z_\mu)}{1 - \frac{\mu B}{W_0}} = \overline{BG_0} + \frac{\frac{\mu B}{W_0}}{1 - \frac{\mu B}{W_0}} (z_{G_0} - z_\mu) \quad (4)$$

اگر مرکز جاذبه روی خط مرکزی بدنه باشد و با توجه به اینکه مرکزیت عمودی مخازن شناوری روی خط مرکزی بدنه است مقدار BG_0 قبل و بعد از تخلیه مقدار یکسانی دارد. در حین تخلیه مخازن z_μ منفی شده بنابراین BG_0 به صورت ملایم افزایش پیدا می‌کند.

پایداری استاتیکی در حرکت رول زیردریایی با رابطه $Z_G W - Z_B B = B(\overline{BG_0} - \mu z_\mu) = \overline{B B G}$ در حالتی که $W \neq B$ است مقدار $Z_G W - Z_B B$ با مقدار $\overline{B B G}$ و $\overline{B B G}^* = \overline{BG_0} - \mu z_\mu$ مقدار برابرین از مقدار $\overline{BG_0}^*$ اصلاح شده به جای $\overline{B B G}$ استفاده شده است. $\overline{BG_0}^*$ اصلاح شده نیز قبل و بعد از خالی شدن مخازن دارای مقدار یکسانی است. از آنجا که افزایش $\overline{B B G}^*$ به صورت آرام در طول عمل تخلیه تمایل به تأخیر در ناپایداری رول تا تخلیه کامل مخازن اصلی دارد بنابراین مدلسازی تغییرات عمودی z_μ با زمان، اهمیت دارد. با تخلیه جرم از مخازن اصلی، ممان‌های اینرسی نیز تغییر می‌کند ولی این تغییرات در شبیه سازی فرآیند دمشی کوچک و ناچیز هستند و فقط تأثیر آنها در ممان اینرسی‌های روی قطر



شکل ۱- نمایشی از تغییر عمق استاتیکی زیردریایی

۲-۱- شناوری، وزن و دمشی هوا

شناوری زیردریایی در زیر آب به علت هندسه ثابت زیردریایی تغییر نمی‌کند. با پر شدن مخازن اصلی، نیروی شناوری و وزن برابر می‌شود. مخازن کوچک دیگری به نام مخازن تنظیم کننده وجود دارد که به صورت دستی توسط اپراتورها برای ایجاد تعادل استفاده می‌شود. در زیردریایی شرط اولیه شبیه سازی فرآیند دمشی هوا، برقراری تعادل می‌باشد. حال با توجه به اینکه دمشی هوا وزن زیردریایی را تغییر می‌دهد وزن به صورت $W = W_0 - \mu B$ و $W_0 = B + W_t$ تعریف می‌شود. در این روابط W_0 وزن تعادل زیردریایی، برابر مجموع وزن زیردریایی و وزن مخازن اصلی پر از آب بوده و W وزن واقعی زیردریایی با مخازن اصلی خالی و W_t وزن مخازن اصلی تنظیم کننده می‌باشد. μ کسر جرم دمیده شده نامیده می‌شود. در زمان شناور بودن زیردریایی با مخازن شناوری خالی $\mu = 0.1$ و در حالت غوطه وری $\mu = 0$ است و μ در همین محدوده تغییر می‌کند. با توجه به صفر بودن میزان چرخش در طول تعادل مقادیر ممان اینرسی بحرانی نبوده و W_t تأثیری بر روی ممان‌ها ندارد. محل اثر W_t و W_0 در مرکز جرم $(x_{G_0}, y_{G_0}, z_{G_0})$ فرض گردیده و تعادل اولیه با شرط $x_{G_0} = x_B$ و $y_{G_0} = y_B$ در نظر گرفته شده است.

۲-۲- تغییرات جرم در زمان دمیدن هوا

در این مدلسازی، کلیه مخازن در خط مرکزی بدنه قرار گرفته‌اند و مرکز جرم هر کدام از مخازن به صورت (x_μ, y_μ, z_μ) بوده و جلوتر از مرکز شناوری قرار دارد. با در نظر گرفتن N مخزن اصلی، حجم کلی مخازن $V_T = \sum_{i=0}^N V_{Ti}$ است و مرکزیت محوری هر مخزن در x_{Ti} قرار دارد بنابراین کسر جرم دمیده شده عبارت است از:

$$\mu = \frac{W_0 - W}{B} = \frac{\rho g V_a}{B} = \frac{\rho g \sum_{i=0}^N V_{ai}}{B} \quad (1)$$

رابطه $z_{\bar{a}i} = z_0 - x_{Ti} \sin \theta - 0.45d \cos \theta (1 - \frac{2V_{ai}}{V_{Ti}})$ تعیین شده شده است. با جایگزینی رابطه (۷) در (۶)، رابطه (۸) حاصل شده و مبنای محاسبه قرار گرفته است [۱۰].

$$\frac{V_{ai}}{V_{Ti}} = A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2} \quad (۸)$$

که $A_1 = \frac{-pat - \rho g(z_0 - x_{Ti} \sin \theta - 0.45d \cos \theta)}{1.8\rho g d \cos \theta}$ و $A_2 = \frac{m_{r0} RT(1 - e^{-C_2(t-t_0)})}{0.9\rho g V_T \cos \theta}$ می باشد.

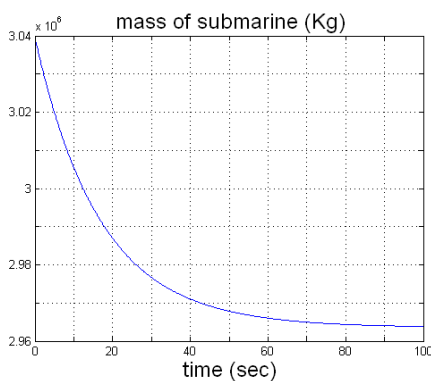
۳- شبیه سازی فرآیند دمش و نحوه صعود برای زیردریایی نمونه

زیردریایی نمونه انتخاب شده دارای مشخصات هندسی مطابق با جدول است:

جدول ۱- مشخصات هندسی زیردریایی انتخاب شده

مقدار عددی	مشخصه
3×10^6 (kg)	جرم
۷۰ (m)	طول
$2965/2$ (m ²)	حجم جابجایی
۳۴۱ (m)	بیشینه قطر
$100.60.60.30$ (m ³)	حجم مخازن بالاست

در اینجا مانور زیردریایی در حین صعود از سطح به عمق با استفاده از مخازن اصلی ارائه شده است. در ابتدا مخازن اصلی پر از آب بوده و وزن زیردریایی در حالت بیشینه خود قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲- تغییر جرم زیر دریایی در مانور صعود

تغییرات زاویه بالابری برای انجام مانور صعود مطابق با شکل ۳ و تغییرات سرعت های زاویه ای بر اثر آن در سه جهت مختصات مطابق با شکل ۴ ارائه شده است. سرعت زاویه ای رول در اثر وجود عرشه در زیر آب در ابتدای صعود دارای نوساناتی

اصلی ماتریس اینرسی یعنی $I_x = I_{x0} - \mu m_0 z_{\mu}^2$ ، $I_y = I_{y0} - \mu m_0 (z_{\mu}^2 + x_{\mu}^2)$ ، $I_z = I_{z0} - \mu m_0 x_{\mu}^2$ و لحاظ شده است.

۲-۳ مدل سازی فرآیند دمش

مدل سازی وزن و شناوری که برای مخازن اصلی بیان شد نیازمند دانش کاملی از حجم هوا در مخازن شناوری V_{ai} می باشد. این حجم وابسته به زمان، موقعیت مخازن، عمق و زاویه پیچ از هر مخزن است. با استفاده از تئوری جریان تراکم پذیر، آیزنتروپیک و یک بعدی، بیشینه سرعت نازل به صورت معادله (۵) پیش بینی شده است [۹].

$$\frac{d\rho_r(t)}{dt} = C_1 \rho_r^{\frac{k+1}{2}} \quad (۵)$$

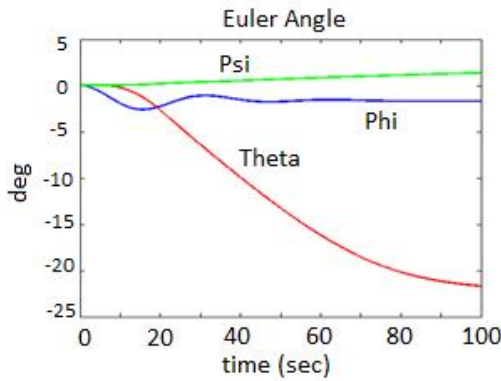
برای هوا $k = 1$ و C_1 یک ثابت منفی بوده که به قطر نازل D و فشار هوا وابسته می باشد. با انتگرال گیری مدل هوای دمیده آیزنتروپیک بدست آمده است.

$$\rho_r(t) = \frac{\rho_{r0}}{\left(1 - \frac{k-1}{2} C_2(t-t_0)\right)^{\frac{2}{k-1}}} \quad (۶)$$

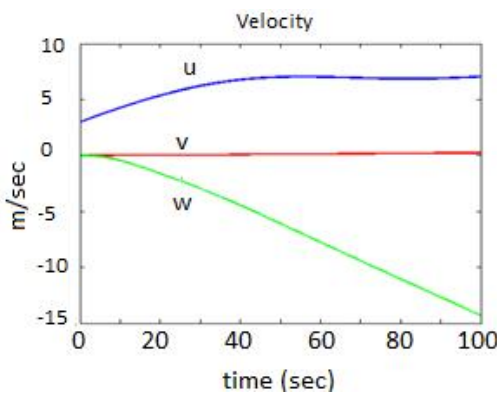
ثابت C_2 وابسته به قطر نازل و اندازه حجم مخزن ذخیره می باشد از رابطه $C_2 = C_1 \rho_{r0}^{\frac{k-1}{2}} = \frac{d\rho_r}{dt} \Big|_D = \frac{dm_r}{dt} \Big|_D$ محاسبه شده است. در تحلیل حاضر، شدت جریان جرم از مخازن ذخیره هوا متناسب با جرم خالی شده در مخازن هوا که معادل با $k = 1$ در معادله $\rho_r(t) = \rho_{r0} e^{C_2(t-t_0)}$ می باشد در نظر گرفته شده است. جرم کلی هوا در مخازن اصلی، m_r معادل با جرم هوای آزاد شده از مخزن ذخیره هوا و مجموع جرم هوا در مخازن می باشد.

$$m_a = m_{r0} (1 - e^{C_2(t-t_0)}) = \sum_{i=1}^N m_{ai} \quad (۷)$$

فشار هوا در مخازن اصلی از طریق $p_{ai} = p_{at} + \rho g z_{\bar{a}i} = \rho_{ai} RT$ محاسبه شده است. در این رابطه p_{at} فشار اتمسفر، $z_{\bar{a}i}$ عمق سطح آب در مخازن در زیر آب، ρ_{ai} چگالی هوا در مخازن، R ثابت گاز برای هوا و T دمای هوا در مخازن می باشد. حجم هوا در هر مخزن V_{ai} از طریق محاسبه بدست آمده است و در حالتی که زیردریایی حول محور عرضی تغییر زاویه دهد (θ)، مقدار $z_{\bar{a}i}$ برای مخازن مختلف که به حجم هوا در هر مخزن وابسته بوده از

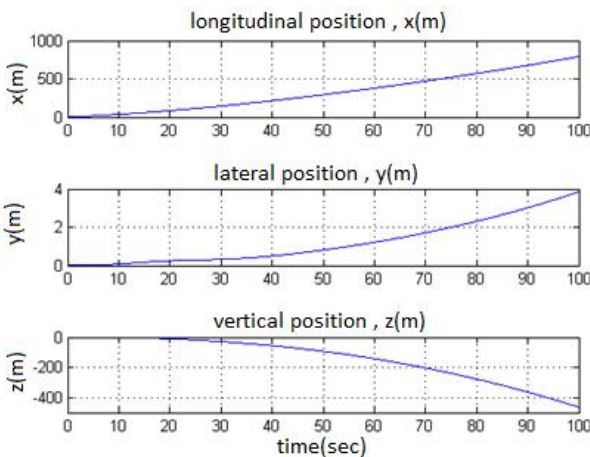


شکل ۵- زوایای اویلر حین صعود



شکل ۶- سرعت های خطی حین مانور صعود

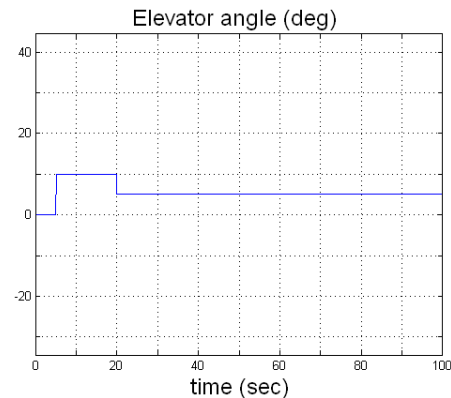
ابتدا تغییرات وزن زیردریایی در بازه زمانی ۶۰ ثانیه مدل شده و در شکل ۸ نمایش داده شده است. جرم زیردریایی در حین فرآیند صعود با خالی شدن مخازن اصلی کاهش می‌یابد.



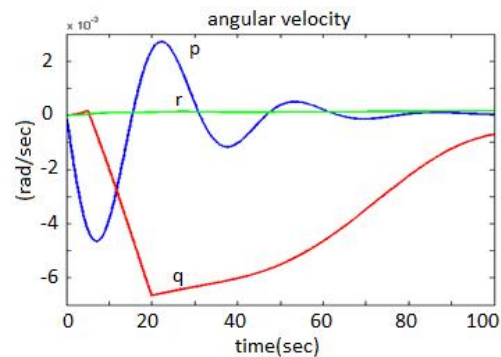
شکل ۷- موقعیت زیر دریایی در جهت محورهای مختصات

شکل ۹ تغییرات فاصله مرکز ثقل و جرم حین صعود زیردریایی به سطح آب را نشان می‌دهد. با تخلیه مخازن اصلی فاصله بین موقعیت عمودی مرکز جرم و مرکز شناوری افزایش یافته و در سطح آب به مقدار ثابتی رسیده است.

بوده و در ادامه با رسیدن به سطح آب این نوسانات به علت خارج شدن عرشه از آب خنثی گشته است.



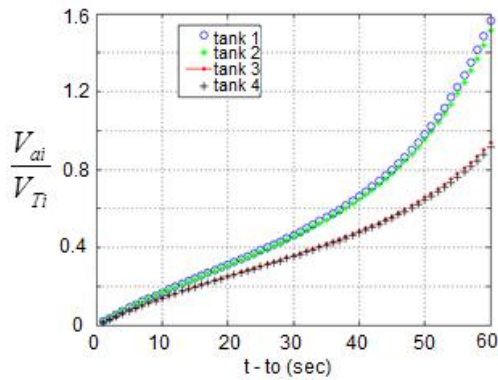
شکل ۳- زاویه الویتور در مانور صعود زیردریایی



شکل ۴- تغییرات سرعت های زاویه‌ای

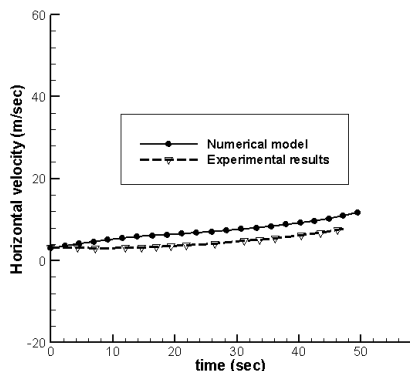
زوایای اویلر در حین صعود طبق شکل ۵ تغییر کرده و همانطور که نمایان است زاویه اولر پیچ زیردریایی در حین صعود با توجه به زاویه بالابری و نحوه خالی شدن مخازن مقدار افزایشی منفی دارد. سرعت های خطی مرکز جرم زیردریایی در حین صعود با تغییراتی مطابق با شکل ۶ روبرو شده است. سرعت سرچ زیردریایی در این مانور با شیب مثبت افزایش یافته و سرعت سوی یا جانبی زیردریایی صفر بوده و سرعت عمودی یا هیو با شیب منفی افزایش پیدا نموده است.

موقعیت زیردریایی در جهت مختصات بر طبق شکل ۷ تغییر کرده و همانطور که دیده می‌شود تغییرات جانبی زیردریایی ناچیز بوده و بیشترین تغییرات در جهت Z به علت مانور صعود می‌باشد. این تغییرات و نیز موقعیت مرکز جرم زیردریایی در جهت X و Z مینای شبیه سازی قرار گرفته است. با توجه به مدلسازی فرآیند دمش هوا، شبیه‌سازی تغییرات جرم و مرکز جرم یک زیردریایی نمونه که دارای چهار مخزن اصلی در موقعیت‌ها و با حجم‌های متفاوت و معلوم است، در حین صعود انجام شده است.



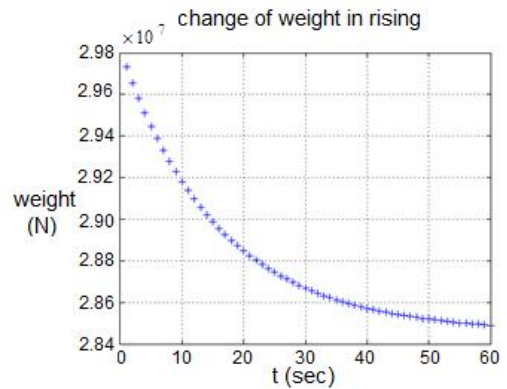
شکل ۱۱ - نسبت حجم هوای داخل مخازن به حجم کل

شکل ۱۱ نسبت حجم هوای وارد شده به مخازن به حجم کل مخازن را در حالتی که زیر دریایی در عمق اولیه ۱۰۰ متر قرار دارد و عمق با زمان تغییر می‌کند به تصویر کشیده است. نسبت نشان داده شده در شکل های ۱۰ و ۱۱ باید کمتر از یک باشد، در غیر این صورت هوای فشرده از زیر مخازن خارج می‌شود. در طول شبیه‌سازی مقدار Z_{sub} کنترل شده زیرا منفی شدن این پارامتر حاکی از خالی شدن مخازن اصلی می‌باشد. با انگیزه اطمینان از شبیه‌سازی عددی انجام شده، نتایج مربوط به برخی عوامل دینامیکی از قبیل سرعت‌های طولی و عمقی، سرعت‌های زاویه‌ای پیچ و رول و بالاخره زوایای پیچ و رول انتخاب و با نتایج تجربی یک شبیه‌سازی مشابه [۶] به ترتیب در شکل‌های ۱۲ الی ۱۷ و برای بازه ۴۵ ثانیه مقایسه گردیده است.

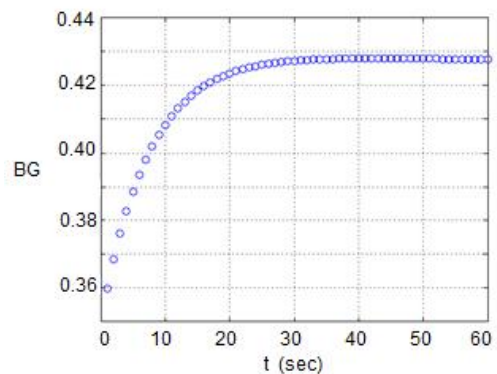


شکل ۱۲ - مقایسه نتایج عددی و تجربی سرعت طولی [۶]

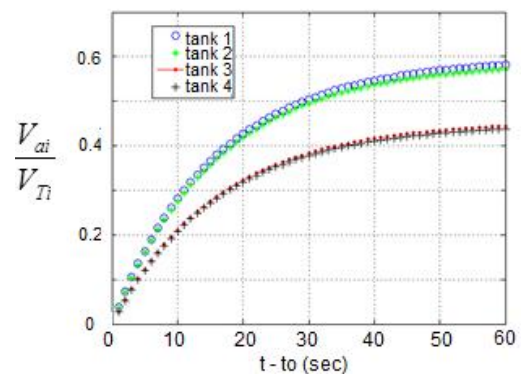
در شکل ۱۲ سرعت زیردریایی با مقدار اولیه ۳ متر بر ثانیه آغاز شده و در طی مانور صعود زیردریایی این سرعت در حال افزایش بوده است. اختلاف این دو نمودار به علت نداشتن کامل پروانه و همچنین عدم دقت کافی سنسور سرعت سنج زیردریایی در حالت تجربی می‌باشد. شکل ۱۳ سرعت هیو در راستای عمودی زیردریایی را در حال کاهش نشان می‌دهد تا اینکه زیردریایی به سطح آب برسد. اختلاف بین حالت تجربی و شبیه‌سازی شده ارتباط مستقیم با دینامیک مدل نشده زیردریایی بوده است.



شکل ۸ - تغییرات جرم زیردریایی در حین صعود

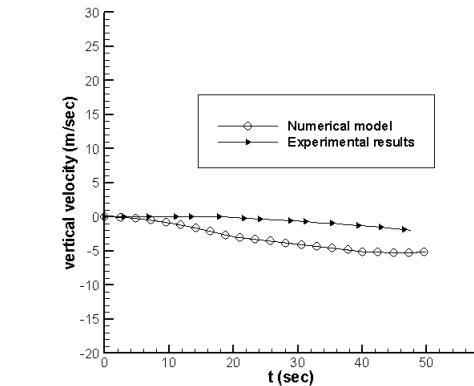
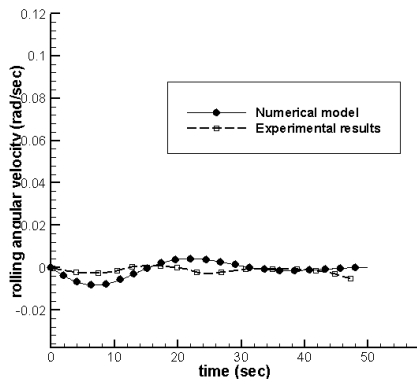


شکل ۹ - تغییر BG در صعود زیردریایی



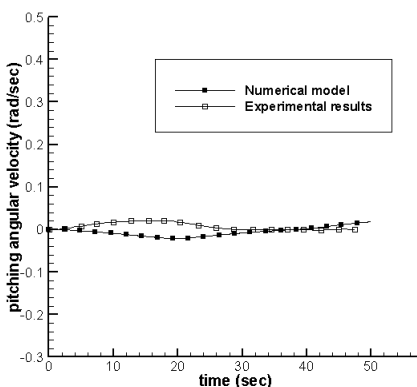
شکل ۱۰ - نسبت هوای وارد شده به مخازن به حجم کلی هر مخزن

شکل ۱۰ نسبت هوای وارد شده به مخازن به حجم کلی هر مخزن در عمق ثابت ۵۰ متری را نشان می‌دهد. با انجام فرآیند صعود و دمش هوا در چهار مخزن اصلی، نسبت هوای وارد شده به بیشینه حجم هر مخزن افزایش می‌یابد. این نمودار برای حالتی که زیردریایی در عمق ۵۰ متری به سر برده و حول محور عرضی دارای زاویه ۲۰ درجه قرار دارد و فرآیند دمش هوا آغاز می‌شود، تهیه شده است.

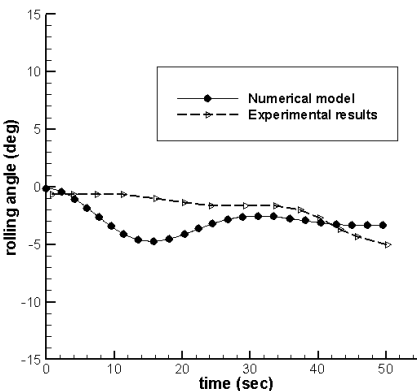


شکل ۱۳ - مقایسه نتایج عددی و تجربی سرعت عمقی [۶]

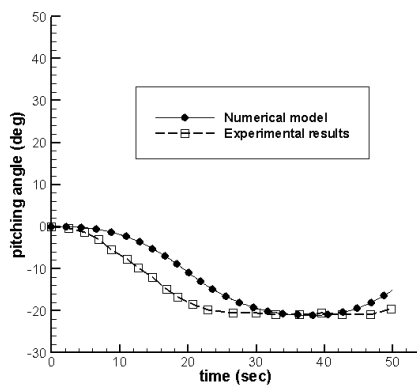
شکل ۱۴ - مقایسه نتایج برای سرعت زاویه‌ای طولی [۶]



شکل ۱۵ - مقایسه نتایج برای سرعت زاویه‌ای عرضی [۶]



شکل ۱۶ - مقایسه نتایج برای تغییرات زاویه رول [۶]



شکل ۱۷ - مقایسه نتایج برای تغییرات زاویه پیچ [۶]

همانطور که در شکل نمایان است این سرعت در حال کاهش بوده و نهایتاً در ۴۵ ثانیه که زبرداری به سطح می‌رسد به مقدار ثابتی می‌رسد. در شکل ۱۴ سرعت زاویه‌ای رول زبرداری همانگونه که قبلاً بیان شد به علت وجود عرشه در زیر آب در معرض نوسانات زیادی بوده ولی این نوسانات با رسیدن به سطح آب خنثی شده است. مقایسه مدلسازی عددی و شبیه‌سازی تجربی نیز این نوسانات را به وضوح نمایش می‌دهد. همچنین در شکل ۱۵ سرعت زاویه‌ای پیچ که در این مانور تأثیر زیادی داشته و جزء عوامل اصلی این مانور بوده شبیه‌سازی شده و با نتایج تجربی مورد مقایسه قرار گرفته است. اختلافات ناچیز این دو نمودار به علت نامعینی ضرایب هیدرودینامیکی و دینامیک‌های مدل نشده سیستم می‌باشد. این سرعت زاویه‌ای با شیب تقریباً ثابتی کاهش یافته و در ۲۰ ثانیه به بیشینه خود رسیده و در ادامه به روند افزایشی ادامه یافته تا در انتهای مانور یعنی لحظه رسیدن به سطح آب صفر شود. در شکل ۱۶، زاویه اوپلر با یک مقدار اولیه آغاز شده و در ادامه با نوساناتی همراه بوده است. با توجه به وجود عرشه زاویه هیل اولیه باعث نوسانات دیگری در این زاویه می‌شود. این شکل حالت تجربی و شبیه‌سازی شده را مقایسه نموده است. شکل ۱۷ زاویه اولر جانبی در مانور صعود حرکت زبرداری در حین تخلیه مخازن به نمایش گذاشته شده است. در این شکل که در ابتدا با مقدار اولیه صفر شروع شده و در ادامه با روند کاهشی ادامه یافته، به محض رسیدن به سطح به حالت افقی می‌رسد.

اختلاف ایجاد شده در نتایج به علت دینامیک مدل نشده و یا نامعینی ضرایب هیدرودینامیکی می‌باشد زیرا رفتار زبرداری در حالت معمولی خیلی پیچیده و وابسته به ضرایب و نیروهای هیدرودینامیکی است و اساساً نیروها و ممان‌های هیدرودینامیکی به صورت دقیق قابل محاسبه نمی‌باشد و هرگونه تغییر شرایط به صورت محاسباتی و تجربی نتایج را دچار تغییر می‌کند

۴- نتیجه گیری

با توجه به اهمیت تغییر عمق زیردریایی توسط مخازن اصلی در پایداری دینامیکی و استاتیکی آن، در این پژوهش مدل سازی کاملی از فرآیند دمیدن هوای فشرده در مخازن اصلی یک زیردریایی نمونه شبیه سازی و ارائه شده است. در واقع، دمیدن و کنترل وسیله در مدل دینامیکی زیردریایی با ۶ درجه آزادی تأثیر داده شده و شبیه سازی انجام شده است. در کارهای قبلی، تنها پر و خالی شدن آب مخازن بالاست مدل شده در صورتیکه در این پژوهش نحوه دمیدن هوا در مخازن با استفاده از مدل های ترمودینامیکی از هوای فشرده مورد بررسی قرار گرفته است. ترتیب پر و خالی کردن مخازن تأثیر مستقیمی در زاویه زیردریایی حول محور عرضی داشته ولی تأثیر زاویه زیردریایی حول محور طولی به علت وجود عرشه کم ارزیابی شده است. نتایج شبیه سازی حاکی از ناپایداری زیردریایی حول محور طولی قبل از رسیدن به سطح است که این ناپایداری با سرعت بخشیدن به این مانور تاحدودی برطرف می گردد. نتایج نشان می دهد که عواملی نظیر موقعیت مخازن، زاویه حول محور عرضی و عمقی زیردریایی بر فرآیند دمیدن هوا در مخازن تأثیر مستقیم دارند. در مجموع این شبیه سازی، روند تغییرات عوامل مختلف را به خصوص در هنگام نوسانات ناشی از وجود عرشه به خوبی و با اطمینان نشان داده است.

اصلی	R
ثابت گاز برای هوا	t_0
زمان آغاز دمیدن هوا	T
دما	V
حجم کامل بدنه	V_{ai}, V_a
زیردریایی	V_{Ti}, V_T
حجم هوا در مخازن اصلی	$W=mg$
حجم مخازن اصلی	x_B, y_B, z_B
وزن زیردریایی با مخازن اصلی خالی	x_G, y_G, z_G
مختصات مرکز شناوری CB	x_μ, z_μ
مختصات مرکز جرم CG	x_{Ti}, z_{Ti}
مختصات مرکز جرم کسر جرم دمیده شده	Z_{oi}
مختصات مرکز جرم مخازن اصلی	
فاصله عمودی سطح آب مخازن اصلی	
از سطح آب دریا	

نمادهای یونانی

چگالی آب دریا	ρ
چگالی هوا در مخازن اصلی	ρ_{ai}
چگالی هوا	$\rho_r(t)$
کسر جرم دمیده شده	μ

نمادها

نیروی شناوری	$B=\rho Vg$
فاصله عمودی مرکز شناوری تا مرکز جرم	$BG=Z_{CB}-Z_{CG}$
مرکز شناوری و مرکز جرم	CB,CG
ضریب ثابت وابسته به قطر نازل	C_1
بیشینه قطر بدنه	d
شتاب جاذبه زمین	g
جرم زیردریایی	m
جرم کل هوا در مخازن اصلی	m_a
جرم هوای داخل مخازن ذخیره هوا	m_r
تعداد مخازن اصلی	N
فشار اتمسفر	P_{at}
فشار هوا در مخازن	P_{ai}

مراجع

- [1] R. Burchur and L. Rydill, "Concepts in Submarine Design", Cambridge University Press, 1994.
- [2] R. Font, J. Garc_a and D. Ovalle, "Modeling and Simulating Ballast Tank Blowing and Ventin Operations in Manned Submarines", 8th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Rostock-Warnemunde, Germany, 2010.
- [3] R. Font, J. Garc, A. Murillo and F. Periago, "Controllability of a mathematical model for blowing and venting operations in submarines", XXII Congreso deEcuaciones Diferencialesy Aplicaciones, Palma de Mallorca, Spain, 2011.
- [4] R. Font, D. Ovalle, J. Garca, "Modeling and Simulating Ballast Tank Blowing and Venting Operations in Manned Submarines," 8th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Rostock, Germany, 2010.

- [5] Yang, Yu and cheng, "Theoretical analysis and experimental validation on gas jet blowing-off process of submarine emergency", Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [6] G.D. Watt, "Modeling and simulating unsteady six degrees-of-freedom submarine rising maneuvers", DRDC Atlantic TR 2007-008, 2007.
- [7] G.D. Watt, "A Quasi-Steady Evaluation of Submarine Rising Stability": The Stability Limit, RTO-AVT Symposium on Advanced Flow Management, Loen, Norway, 2001.
- [8] G.D. Watt and H.J. Bohlmann, "Submarine Rising Stability: Quasi-Steady Theory and Unsteady Effects", 25th Symposium on Naval Hydrodynamics, St. John's, 2004.
- [9]. M. Mackay, "DREA Submarine Simulation Program" Version 0.2 (DSSP02)–Release Notes, DREA TC 92/308, April, Distribution Limited, 1992.
- [10] G.D. Watt, "Estimating Underwater Vehicle Stability and Control Derivatives Using ESAM and a Preliminary Version of DSSP20", DREA TM 98/224, 1998.