

## شبیه سازی فرآیند تخلیه مخازن بالاست در مانور صعود زیردریایی

رضا دهقانی<sup>۱\*</sup>، اسماعیل عابدی<sup>۲</sup>، محمدعلی بدری<sup>۳</sup>، داوود میرزایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، گروه مهندسی مکانیک r.dehghani@kgut.ac.ir

<sup>۲</sup> مربی، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی

<sup>۳</sup> استادیار، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

در این مقاله رفتار دینامیکی زیردریایی در حین مانور صعود با تخلیه مخازن ثابت شناوری (مخازن بالاست) بررسی شده است. اگر چه فرآیند دمیدن هوا و تخلیه در مواقع اضطراری صورت می گیرد ولی در مانورپذیری زیردریایی تاثیر زیادی دارد. لذا در نظر گرفتن فرآیند دمیدن هوا، در معادلات حرکت و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف مدل سازی بر مانور صعود اضطراری از اهمیت ویژه ای برخوردار است که در این مقاله به آن پرداخته شده است. زیردریایی مورد نظر بصورت شش درجه آزادی در نظر گرفته شده و از دینامیک سیالات محاسباتی برای محاسبه ضرایب نیروهای هیدرودینامیکی استفاده شده است. برای مدل سازی فرآیند دمیدن هوا به مخازن بالاست، تئوری جریان تراکم پذیر و آیزنتروپیک بکار گرفته شده است. شبیه سازی ها برای یک زیردریایی نمونه انجام شده و رفتار زیردریایی در حین مانور صعود مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر پارامترهای مختلف از جمله مشخصه های هوای ورودی به مخازن بالاست بر زاویه حمله، لغزش جانبی (دریفت) و زمان رسیدن به سطح در مانور صعود بررسی شده است.

### واژه های کلیدی

زیردریایی، صعود اضطراری، مخازن بالاست اصلی، فرآیند دمیدن هوا

### ۱- مقدمه

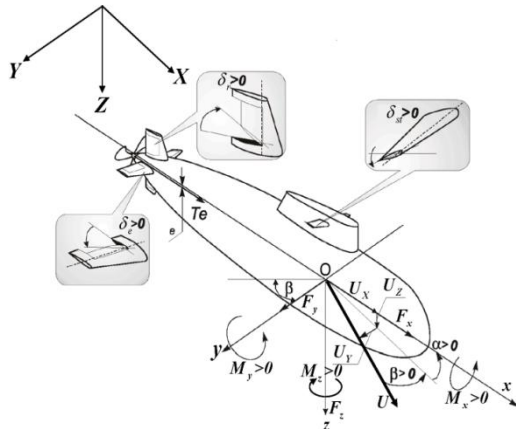
هزینه، استفاده از روش های عددی و مدل های رایانه ای است. دینامیک سیالات محاسباتی یکی از روش های عددی است که می تواند برای محاسبه اثرات هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار گیرد [۱ و ۲]. این روش نسبت به روش های عملی برای محاسبه اثرات هیدرودینامیکی بسیار با صرفه است. در تعیین اثرات هیدرودینامیکی، اثرات سرعت، چرخش جریان، تنش های برشی، توربولانس و غیره در نظر گرفته می شود از این رو معمولاً نیروها و ممان های هیدرودینامیکی بصورت تابعی از پارامترهای حالت زیردریایی در نظر گرفته می شوند [۳]. پس از استخراج نیروهای هیدرودینامیکی، می توان رفتار زیردریایی در ماموریت های مختلف را بررسی کرد [۴].

در اکثر تحقیقات ارائه شده در زمینه تحلیل های دینامیک زیردریایی، مانورهایی مورد بحث قرار گرفته است که حرکت زیردریایی فقط تحت تاثیر سطوح کنترلی آن واقع شده و تنها تعداد معدودی از محققین، مانور صعود زیردریایی توسط مخازن ثابت شناوری (مخازن بالاست اصلی) را مورد مطالعه قرار داده اند. در صورتی که باید توجه داشت در مانور صعود،

زیردریایی برای ماموریت های تحقیقاتی و نظامی مورد استفاده قرار می گیرد و باید بتواند در آب های عمیق از عهده ماموریت های محوله به خوبی برآید. با توجه به شرایط محیطی، ایمنی در همه زیردریایی ها یک مسئله مهم است. به طور کلی گیرکردن سطوح کنترلی و آب گرفتگی زیردریایی نمونه ای از اتفاقاتی هستند که ایمنی زیردریایی ها را به مخاطره می اندازد. به همین منظور زیردریایی ها باید در برابر این خطرات مقاوم باشند و اقدامات مناسبی در مواقع مواجه شدن با این خطرات صورت گیرد. از جمله این اقدامات، مانور صعود زیردریایی و آمدن به سطح می باشد. لذا شناخت حرکت زیردریایی در حین انجام این مانور از اهمیت زیادی برخوردار است که در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد.

استفاده از روش های عملی برای رفتارشناسی و تعیین نیروهای هیدرودینامیکی مستلزم صرف هزینه زیادی است. از این رو توجه بیشتر به سمت روش های کم هزینه متمرکز شده است. از جمله روش های کم

دستگاه مختصات محلی XYZ (بدنی) که به زیردریایی متصل است. مولفه های دستگاه مختصات محلی و اینرسی در شکل ۱ نشان داده شده است. برای استخراج معادلات حرکت معمولاً از این دو دستگاه مختصات استفاده می شود [۸].



شکل ۱ مدل یک زیردریایی

برای استخراج معادلات سینماتیکی و دینامیکی بردار حالت بصورت  $x = [u, v, w, p, q, r, x_o, y_o, z_o, \phi, \theta, \psi]^T$  در نظر گرفته می شود. که  $(u, v, w)$  و  $(p, q, r)$  به ترتیب مولفه های سرعت های خطی و زاویه های زیردریایی در جهات X، Y، Z می باشند. همچنین موقعیت زیردریایی در دستگاه اینرسی اندازه گیری می شود  $(x_o, y_o, z_o)$ . سه متغیر آخر در بردار حالت  $(\psi, \theta, \phi)$  زاویه های اوپلر هستند که چرخش زیردریایی نسبت به سیستم مختصات اینرسی را بیان می کنند و به ترتیب زاویه رول<sup>۳</sup>، پیچ<sup>۴</sup> و یاو<sup>۵</sup> نامیده می شوند. جهت توصیف حرکت سه بعدی زیردریایی، شش مختصات مستقل  $\mathbf{H} = [u, v, w, p, q, r]^T$  برای استخراج معادلات حرکت استفاده می شوند. معادلات دینامیکی زیردریایی با استفاده از روش نیوتن اوپلر در دستگاه بدنی بدست می آیند. با توجه به اینکه مرکز دستگاه بدنی در نقطه O می باشد معادلات دینامیکی از روابط (۱) و (۲) حاصل شده اند.

$$m \cdot (\dot{\mathbf{v}}_o + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_o + \dot{\boldsymbol{\omega}} \times \mathbf{r}_G + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_G)) = \mathbf{F}_o \quad (1)$$

$$\mathbf{I}_o \dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{I}_o \boldsymbol{\omega}) + m \cdot \mathbf{r}_G \times (\dot{\mathbf{v}}_o + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_o) = \mathbf{M}_o \quad (2)$$

که  $\mathbf{v}_o = [u, v, w]^T$  و  $\boldsymbol{\omega} = [p, q, r]^T$  به ترتیب سرعت خطی مرکز دستگاه و سرعت زاویه ای جسم می باشند. همچنین  $\mathbf{r}_G$  بردار موقعیت مرکز جرم نسبت به مرکز دستگاه و  $\mathbf{I}_o$  ماتریس ممان اینرسی جسم حول مرکز دستگاه می باشند. برای جزئیات بیشتر این معادلات به مرجع [۹] مراجعه شود. در طرف دوم معادلات (۱) و (۲)، نیروهای خارجی اعمال شده بر زیردریایی ( $\mathbf{F}_o$  و  $\mathbf{M}_o$ ) قرار دارند. این نیروها شامل نیروهای

مخازن بالاست اصلی نقش بسیار موثری بر رفتار زیردریایی دارند. با آب گیری مخازن، وزن زیردریایی بر نیروی شناوری غلبه کرده و باعث می شود زیردریایی به زیر آب رود. در صعودهای سریع و اضطراری، هوای فشرده شده به داخل مخازن بالاست دمیده شده و این موجب غلبه ی نیروی شناوری بر نیروی وزن می گردد و زیردریایی به سطح آب صعود می کند.

بتل<sup>۱</sup> و همکارانش مقدار چرخش زیردریایی حول محور طولی را در حین حرکت صعود برای زیردریایی های کوچک بررسی کرده اند [۵]. آنها بطور همزمان از دینامیک سیالات محاسباتی برای محاسبه اثرات متقابل سیال و جامد استفاده کردند و میزان چرخش زیردریایی حول محور طولی در حالت های مختلف صعود را بررسی نمودند. فونت<sup>۲</sup> و همکارانش فرآیند تخلیه و پر شدن مخازن بالاست را مدل سازی کردند [۶]. آنها همچنین چرخش زیردریایی حول محورهای طولی و جانبی در هنگام صعود به سطح را کنترل کردند [۷]. مطالعات در تحقیقات انجام شده، بیانگر آن است که تاثیر پارامترهای مختلف مخازن بالاست بر رفتار صعود زیردریایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است که در تحقیق حاضر به آن پرداخته شده است. نتایج این تحقیقات به طراحان زیردریایی کمک می کند تا با نگاهی دقیق تر مخازن بالاست را بگونه ای طراحی نمایند که زیردریایی مانورپذیری مناسبی در صعود اضطراری داشته باشد.

در این مقاله رفتار دینامیکی زیردریایی در حین مانور صعود و تخلیه مخازن بالاست در حالت شش درجه آزادی مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار زیردریایی در این مانور ارزیابی شده است. بدین منظور معادلات دینامیکی زیردریایی و نحوه مدل سازی نیروهای خارجی وارد بر زیردریایی توصیف شده است و مدلی برای تخلیه مخازن بالاست بر اساس دمیدن هوا در مخازن، ارائه شده است. برای ارزیابی مدل ارائه شده، مانور صعود بر روی یک زیردریایی نمونه انجام شده و رفتار زیردریایی در این مانور مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین اثر پارامترهای مختلف بر زاویه های حمله و لغزش جانبی (دریفت)، زاویه های اوپلر و زمان رسیدن به سطح در مانور صعود بررسی شده است. این مقاله به ترتیب حاوی مطالب زیر است: در بخش ۲ مدل زیردریایی و معادلات حاکم بر رفتار زیردریایی مورد نظر توضیح داده شده است. در بخش ۳ مدل نیروهای خارجی اعم از نیروهای هیدرو دینامیکی، نیروهای پیشران، جاذبه و شناوری توضیح داده شده است. نحوه تخلیه مخازن بالاست و تغییرات جرم زیردریایی در بخش ۴ ارائه گردیده و بخش ۵ نتایج شبیه سازی مانور صعود با تخلیه مخازن و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار زیردریایی ارائه گردیده است. بحث ها و نتیجه گیری های نهایی در بخش ۶ بیان شده است.

## ۲- معادلات حرکت زیردریایی

جهت استخراج مدل دینامیکی این زیردریایی، دو دستگاه مختصات معرفی شده است. یکی دستگاه مختصات اینرسی XYZ (ثابت به زمین) و دیگری

<sup>3</sup> Roll

<sup>4</sup> Pitch

<sup>5</sup> Yaw

<sup>1</sup> Bettle

<sup>2</sup> Font



مخازن و  $V_{ai}$  حجم هوای مخزن بالاست نام است. در لحظه ای که فرآیند دمیدن در مخزن آغاز می شود  $V_{ai}$  صفر است و زمانی که آب مخزن خالی می شود  $V_{ai} = V_{Ti}$  است. از این رو موقعیت طولی کسر جرم دمیده شده طبق رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$x_{\mu} = \frac{1}{\mu} \sum_{i=0}^N x_{\mu i} \mu_i = \frac{1}{V_a} \sum_{i=0}^N x_{Ti} V_{ai} \quad (4)$$

مرکزیت عمودی  $z_{\mu}$  وابسته به مرکزیت عمودی مخازن است. در حالت غوطه وری کامل که  $\mu = 0$  است،  $z_{\mu}$  دارای مقدار اولیه تقریباً نزدیک بالای بدنه است و زمانی که به سطح می آید ( $\mu > 0$ ) مخازن خالی شده و  $z_{\mu}$  روی خط مرکزی زیردریایی قرار می گیرد. در بیشتر زیردریایی ها اولیه ۹۰٪ ماکزیمم شعاع بدنه  $d/2$  است. از این رو  $z_{\mu}$  مطابق رابطه (۵) در نظر گرفته می شود.

$$z_{\mu} = \frac{1}{\mu} \sum_{i=0}^N z_{\mu i} \mu_i = \frac{-0.45d}{V_a} \sum_{i=0}^N \left(1 - \frac{V_{ai}}{V_{Ti}}\right) V_{ai} \quad (5)$$

علاوه بر آن چون مخازن بالاست نسبت به صفحه قائم متقارن هستند موقعیت جانبی مرکز مخازن روی خط مرکزی قرار می گیرد ( $y_{\mu} = 0$ ).

با توجه به اینکه  $x_B$  با خالی شدن مخازن تغییری نمی کند، موقعیت مرکز جرم ( $x_G, z_G$ ) و مرکز کسر جرم دمیده شده ( $x_{\mu}, z_{\mu}$ )، با گرفتن ممان حول محورهای دستگاه بدنی از رابطه (۶) و (۷) بدست می آید.

$$x_G = \left( x_B - \frac{\mu B}{W_0} x_{\mu} \right) \left( 1 - \frac{\mu B}{W_0} \right)^{-1} \quad (6)$$

$$z_G = \left( z_B + \overline{BG_0} - \frac{\mu B}{W_0} z_{\mu} \right) \left( 1 - \frac{\mu B}{W_0} \right)^{-1} \quad (7)$$

باید توجه داشت فاصله بین مرکز شناوری و مرکز جرم قبل از شروع تخلیه مخازن ( $\overline{BG_0}$ ) همواره ثابت است. در صورتی که در حین خالی شدن مخازن مقدار  $z_{\mu}$  منفی می شود و فاصله بین مرکز شناوری و مرکز جرم در حین تخلیه مخازن افزایش پیدا می کند. با خالی شدن آب مخازن بالاست، ممان های اینرسی نیز تغییر می کنند. این تغییرات در فرآیند دمیدن کوچک هستند ولی به منظور در نظر گرفتن این تغییرات در مدل دینامیکی، از رابطه (۸) برای محاسبه ماتریس ممان اینرسی در حین تخلیه مخازن استفاده شده است که در این رابطه ماتریس ممان اینرسی قبل از فرآیند تخلیه ( $I_0$ ) همواره ثابت است.

$$I = I_0 - \begin{bmatrix} \mu m_0 z_{\mu}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \mu m_0 (z_{\mu}^2 + x_{\mu}^2) & 0 \\ 0 & 0 & \mu m_0 x_{\mu}^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

هیدرودینامیکی بدنه و سطوح کنترلی، جاذبه، شناوری و پیشرانس هستند. در ادامه، مدل سازی این نیروها توضیح داده شده است.

### ۳- نیروهای خارجی

نیروهای و گشتاورهای خارجی وارد بر زیردریایی از رابطه (۳) محاسبه می شوند.

$$F_o = \frac{1}{2} (\sigma_H + \sigma_{C_r} + \sigma_{C_e} + \sigma_{C_{st}} + \sigma^{\omega}) U^2 \rho V^{(2/3)} + F_A + F_w + F_P \quad (3)$$

$$M_o = \frac{1}{2} (\tau_H + \tau_{C_r} + \tau_{C_e} + \tau_{C_{st}} + \tau^{\omega}) U^2 \rho V + M_A + M_w + M_P$$

که در این رابطه زیرنویس H برای نیروها و گشتاورهای هیدرودینامیکی بدنه، زیرنویس A برای نیروها و گشتاورهای ناشی از جرم افزوده، زیرنویس C برای نیروها و ممانهای حاصل از سطوح کنترلی، زیرنویس P برای نیرو و ممان حاصل از پیشرانس، زیرنویس W برای نیرو و گشتاور حاصل از جاذبه و زیرنویس B نیرو و گشتاور حاصل از شناوری استفاده شده است.

### ۴- مدل تخلیه مخازن بالاست

زیردریایی ها را معمولاً دو جداره ساخته و مخازن بالاست در بین دو جداره و در طول زیردریایی قرار می گیرند. با پر شدن این مخازن نیروی وزن بر نیروی شناوری غلبه کرده و زیردریایی غوص می کند و با دمیدن هوای پر فشار در این مخازن، آب داخل مخازن خالی شده و نیروی شناوری بر نیروی وزن غلبه می کند در این قسمت نحوه مدل سازی تغییرات وزن و مرکز جرم بر اساس هوای دمیده شده آورده شده است.

#### ۴-۱ تغییرات جرم در زمان دمیدن هوا

در اکثر زیردریایی ها چندین مخزن بالاست به صورت طولی توزیع شده اند که به صورت مستقل یا وابسته پر و خالی می شوند. مخازن بالاست جلو بزرگتر از مخازن عقب بوده و بنابراین پیشانی زیردریایی سریعتر از دم آن صعود می کند. برای صعودهای اضطراری ابتدا در مخازن جلو هوا دمیده می شود و بعد از اینکه پیشانی شروع به صعود کرد عملیات دمیدن در مخازن عقب آغاز می شود. کلیه مخازن در خط مرکزی بدنه قرار گرفته اند و مرکز جرم دمیده شده به صورت ( $x_{\mu}, y_{\mu}, z_{\mu}$ ) تعریف می شود که جلوتر از مرکز شناوری قرار دارد. با در نظر گرفتن N مخزن بالاست، حجم کلی

مخازن  $V_T = \sum_{i=1}^N V_{Ti}$  خواهد بود و مرکزیت محوری هر مخزن در  $x_{Ti}$  قرار

دارد. همچنین کسر جرم دمیده شده بصورت

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

از  $W_0$  وزن اصلی زیردریایی به علاوه وزن مخازن بالاست پر از آب، W وزن واقعی زیردریایی،  $\rho$  چگالی آب، B نیروی شناوری،  $V_a$  حجم کل هوا در



$$V_{ai} = V_{Ti} \left( \Gamma_2 + [\Gamma_2^2 + \Gamma_3]^{1/2} \right) \quad (13)$$

$$\Gamma_2 = \frac{-p_{ai} - \rho g (z_0 - x_{Ti} \sin \theta - 0.45d \cos \theta)}{1.8 \rho g d \cos \theta} \quad (14)$$

$$\Gamma_3 = \frac{m_{r0} RT (1 - e^{C_1(t-t_0)})}{0.9 \rho g V_T \cos \theta} \quad (15)$$

بدین ترتیب میزان حجم آب داخل مخازن قابل محاسبه بوده و برای مدل سازی فرایند پُر و خالی شدن مخازن بالاست، جرم کل زیردریایی بصورت متغیر در مدل دینامیکی زیردریایی لحاظ شده است.

### ۵- نتایج شبیه سازی

شبیه سازی ها برای یک زیردریایی نمونه انجام شده است. ابتدا با استفاده از روش های دینامیک سیالات محاسباتی، ضرایب هیدرودینامیکی این زیردریایی برای زاویه های حمله و دریافت مختلف محاسبه شده و سپس در معادلات دینامیکی از آنها استفاده گردیده است. در ادامه نتایج شبیه سازی مانور صعود با استفاده از مخازن بالاست و سپس به طور خلاصه به بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر مانور صعود با استفاده از مخازن بالاست پرداخته شده است.

### ۵-۱- صعود با استفاده از مخازن بالاست

در این حالت فرض شده زیردریایی در عمق ۱۰۰ متری در حرکت است. بعد از گذشت ۳۰ ثانیه، فرآیند تخلیه مخازن شروع می شود و زیردریایی تنها در اثر شناوری مثبت ایجاد شده بالا می رود.

در شکل ۲ نمودار تغییرات سرعت های خطی برای این حالت نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار مشاهده می شود سرعت سرچ در حین تخلیه مخازن افزایش می یابد، همچنین سرعت هیو به سمت سطح در حال افزایش است. این تغییرات بدلیل زاویه پیچ مثبت و غلبه نیروی شناوری بر نیروی وزن است. در شکل ۳ نمودار سرعت های زاویه ای زیردریایی نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود در حین بالا آمدن زیردریایی، تنها سرعت زاویه ای حول محور جانبی (q) تغییرات چشمگیری دارد. در شکل ۴ موقعیت زیردریایی در دستگاه اینرسی آورده شده است. این نمودار بیان کننده آن است که زیردریایی در حین تخلیه مخازن به سمت بالا حرکت می کند و به سطح آب نزدیک می شود و تغییرات ناچیزی در حرکت جانبی دارد. نمودار زاویه های اوپلر در شکل ۵ نشان می دهد که زیردریایی در حین صعود از زاویه پیچ صفر با یک شیب تقریباً ثابت به سطح آب نزدیک می شود و به مقدار ۲۰ درجه می رسد.

### ۴-۲- مدل سازی فرآیند دمیدن هوا به داخل مخازن

مدل سازی برای مخازن بالاست نیازمند دانش کاملی از حجم هوا در مخازن شناوری  $V_{ai}$  است. این حجم تابعی از زمان، موقعیت مخازن، عمق و زاویه پیچ است. زیردریایی ها معمولاً دارای مخزن ذخیره کننده هوای فشار بالا می باشند که توسط نازل هایی مخازن بالاست را تغذیه می کنند. با استفاده از تئوری جریان تراکم پذیر، آیزنتروپیک، یک بعدی و ماکزیمم سرعت (یک ماخ) چگالی هوای فشرده به صورت معادله (۹) پیش بینی شده است.

$$\rho_r(t) = \rho_{r0} \left[ 1 - \frac{k-1}{2} C_1(t-t_0) \right]^{\frac{2}{1-k}} \quad (9)$$

که  $t_0$  زمان آغاز دمیدن،  $k$  ثابتی وابسته به سیال تراکم پذیر است. همچنین  $C_1$  ثابتی وابسته به خصوصیات قطر نازل  $D$  و هوای فشرده شده

$$\text{است که از رابطه } C_1 = \frac{1}{\rho_{r0}} \left. \frac{d\rho_r}{dt} \right|_D \text{ بدست آمده است.}$$

در ادامه فرض می شود شدت جریان جرم از مخازن ذخیره هوا متناسب با جرم خالی شده در مخازن هوا باشد که این مقدار معادل با  $k=1$  در معادله (۸) است، از این رو چگالی هوای فشرده بصورت  $\rho_r(t) = \rho_{r0} e^{C_1(t-t_0)}$  در نظر گرفته می شود. در نتیجه جرم کل هوا ( $m_a$ ) در مخازن بالاست معادل با جرم هوای آزاد شده از مخزن ذخیره هوا و مجموع جرم هوا در مخازن از رابطه (۱۰) بدست می آید.

$$m_a = m_{r0} (1 - e^{C_1(t-t_0)}) = \sum_{i=1}^N m_{ai} \quad (10)$$

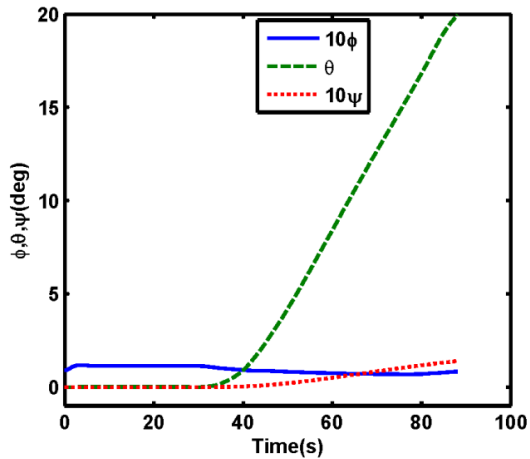
در نتیجه جرم هوا در هر مخزن بصورت  $m_{ai} = \frac{m_a V_{Ti}}{V_T}$  محاسبه می شود و  $p_{ai} = p_{at} + \rho g z_{wi} = \rho_{ai} RT$  فشار هوای مخزن  $i$  ام را توصیف می کند. که  $p_{at}$  فشار اتمسفر،  $z_{wi}$  عمق مخازن در زیر آب (تا سطح آب)،  $\rho_{ai}$  چگالی هوا در مخازن،  $R$  ثابت گاز برای هوا و  $T$  دمای هوا در مخازن است. حجم هوا در هر مخزن از رابطه (۱۱) بدست آمده است.

$$V_{ai} = \frac{m_{ai}}{\rho_{ai}} = \frac{m_{r0}}{(\rho_{at} + \rho g z_{wi})} (1 - e^{C_1(t-t_0)}) RT V_{Ti} \quad (11)$$

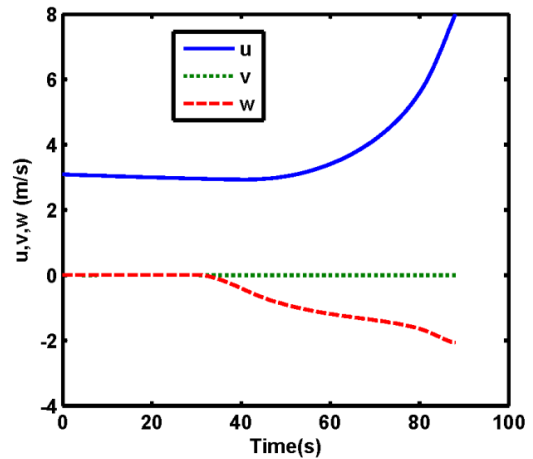
در حالتی که زیردریایی دچار پیچش  $\theta$  می شود، مقدار  $z_{wi}$  برای مخازن مختلف متفاوت بوده و به حجم هوا در هر مخزن  $V_{ai}$  وابسته است و از رابطه (۱۲) محاسبه می شود.

$$z_{wi} = z_0 - x_{Ti} \sin \theta - 0.45d \cos \theta (1 - \frac{2V_{ai}}{V_{Ti}}) \quad (12)$$

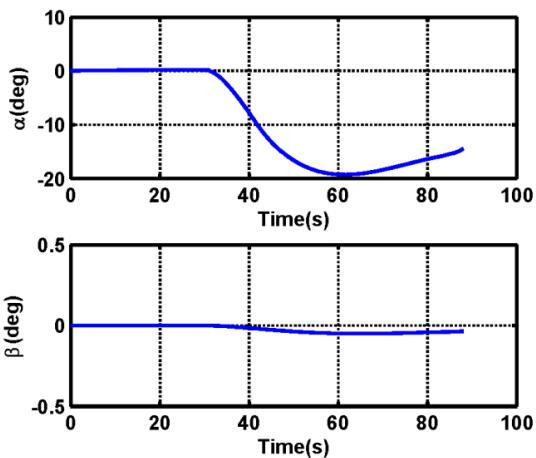
رابطه (۱۲) برای  $z_{wi} \gg 0$  برقرار بوده و با جایگزینی این رابطه در معادله (۱۱)، حجم هوای مخزن  $i$  ام از روابط زیر محاسبه می شود.



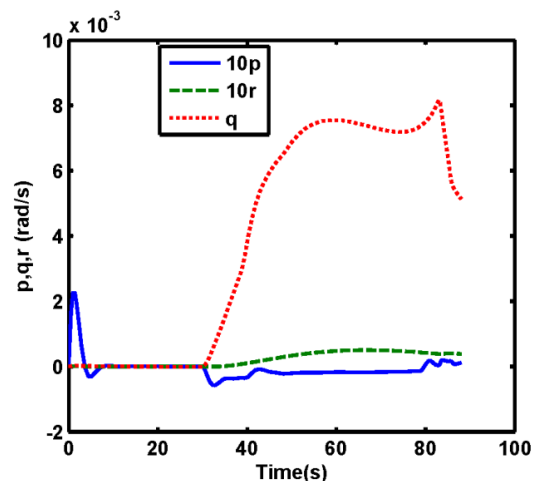
شکل ۵ زوایای اویلر در مانور صعود اضطراری



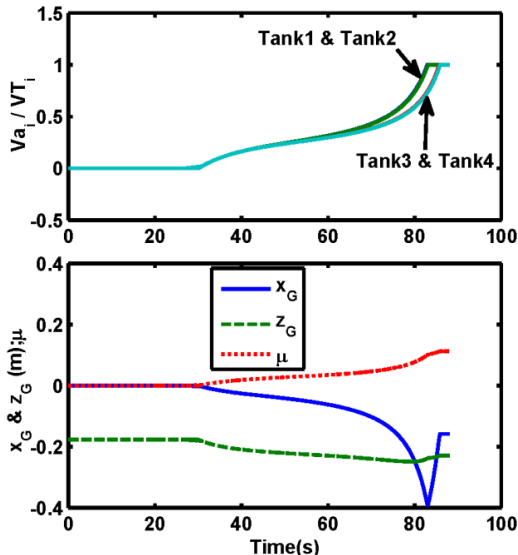
شکل ۲ نمودار مولفه های سرعت خطی در مانور صعود اضطراری



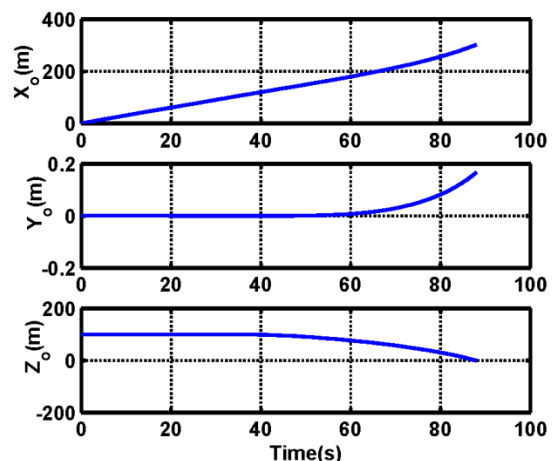
شکل ۶ زوایای حمله و لغزش جانبی در مانور صعود اضطراری



شکل ۳ نمودار مولفه های سرعت زوایای در مانور صعود اضطراری



شکل ۷ نسبت حجم هوا به حجم هر مخزن (بالا)، کسر جرم دمیده شده در مخازن بالاست و موقعیت مرکز جرم در دستگاه مختصات بدنی



شکل ۴ نمودار تغییرات مختصات موقعیت مبداء دستگاه مختصات محلی در مانور صعود اضطراری

در شکل ۷ نمودار نسبت حجم هوا به حجم هر مخزن، کسر جرم دمیده شده (mu) و موقعیت مرکز جرم زیردریایی در دستگاه مختصات بدنی ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود در حین مانور صعود

شکل ۶ تغییرات زاویه حمله و زاویه دریافت را نشان می دهد. همانطور که از این شکل برمی آید شناوری مثبت باعث شده زاویه حمله مقدار قابل توجهی در حین مانور صعود داشته باشد.



## مراجع

- [1] Boger D., Davoudzadeh F., Dreyer J., McDonald H., Schott C., Aierke W., Arabshahi A., "A physics-based means of computing the flow around a maneuvering underwater vehicle", Technical Report No. 97-002, Applied Research Laboratory, Penn State University, January 1997.
- [2] Watt G.D., Gerber A.G., Holloway A.G.L., "Submarine hydrodynamics studies using computational fluid dynamics", Canadian Marine Hydrodynamics and Structures Conference (CMHSC 2007), St. John's, October 2007.
- [3] Minnick L.M., "A Parametric Model for Predicting Submarine Dynamic Stability in Early Stage Design", [M.S. Thesis], Virginia Tech, 2006.
- [4] Yeo D. J., Rhee, K. P., "Sensitivity analysis of submersibles maneuverability and its application to the design of actuator inputs", Ocean Engineering, Vol. 33, pp. 2270-2286, 2006.
- [5] Bettel M.C., Gerber A.G., Watt G.D., "Unsteady analysis of the six DOF motion of a buoyantly rising submarine", Computers and Fluids, Vol. 38, No. 9, pp. 1833-1849, 2009.
- [6] Font R., Ovalle D., Garcia J., "Modeling and Simulating Ballast Tank Blowing and Venting Operations in Manned Submarines", 8th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, Rostock, Germany, 2010.
- [7] Font R., Murillo J.A., Periago F., Garcia J., "Controllability of a mathematical model for blowing and venting operations in submarines", XXII Congreso de Ecuaciones Diferenciales y Aplicaciones, Palma, Spain, 2011.
- [8] Feldman J., "DTNSRDC revised standard submarine equations of motion", David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center, 1979.
- [9] Fossen T.I., "Guidance and Control of Ocean Vehicles", New York, John Wiley & Sons, 1994 .

دو مخزن جلویی زودتر از دو مخزن عقب تخلیه شده است. این تاخیر در تخلیه مخازن باعث می شود که منحنی موقعیت مرکز جرم بصورت یکنواخت نباشد بطوری که این عدم یکنواختی در موقعیت طولی به خوبی قابل مشاهده است.

## ۵-۲- بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر مانور صعود با مخازن بالاست

در این قسمت تاثیر برخی از پارامترهای مهم بر رفتار زیردریایی در مانور صعود بررسی می شود. این پارامترها عبارتند از: زاویه سطوح کنترلی افقی عقب، سرعت اولیه زیردریایی ( $U_0$ )، ثابت  $C_1$  و فشار هوای داخل مخازن در هنگام تخلیه کامل. شبیه سازیها مشابه حالت قبل انجام می شوند با این تفاوت که تنها یکی از پارامترهای فوق تغییر داده می شود. بعلاوه کمبود فضا فقط نتایج این شبیه سازی بطور خلاصه بیان شده است.

اگر فرآیند تخلیه مخازن در سرعت اولیه بالاتری شروع شود زاویه حمله در طول حرکت کمتر می شود و در نتیجه زمان رسیدن به سطح افزایش می یابد. همچنین زمان تخلیه کامل مخازن افزایش پیدا می کند.

اگر خصوصیات قطر نازل و هوای فشرده باعث شود  $C_1$  افزایش یابد زمان تخلیه مخازن کاهش می یابد و زاویه حمله در حین حرکت افزایش یافته و در نتیجه زمان رسیدن به سطح کمتر می شود. همچنین تغییر این پارامتر اثر قابل توجهی روی مقدار پیچ نهایی زیردریایی ندارد.

افزایش فشار هوای داخل مخازن کامل باعث کاهش زمان تخلیه مخازن بالاست می شود و در نتیجه زاویه حمله افزایش یافته و زمان رسیدن به سطح را کاهش می دهد و تاثیر چندانی بر مقدار زاویه پیچ نهایی ندارد.

لازم به ذکر است بر خلاف این حالت، در صورتیکه زاویه سطوح کنترلی افقی عقب در جهت منفی یا مثبت افزایش یابد زاویه حمله تغییر می کند و در نتیجه زمان رسیدن به سطح تغییر می یابد و زمان تخلیه مخازن نیز تغییر می کند. همچنین با توجه به افزایش ممان مثبت حول محور جانبی مقدار  $\theta$  در این حالت دستخوش تغییر می شود. به همین علت در زیردریایی ها برای کنترل زاویه حمله در هنگام صعود اضطراری توسط فرآیند تخلیه مخازن بالاست از سطوح کنترلی افقی نیز استفاده می شود.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله به شبیه سازی مانور صعود زیردریایی با استفاده از مخازن ثابت شناوری (مخازن بالاست) پرداخته شده است. با استفاده از تئوری جریان تراکم پذیر و اینترنوپیک، فرآیند تخلیه هر مخزن بالاست بصورت تابعی از موقعیت مخزن، مقدار زاویه پیچ و عمق زیردریایی مدل سازی شد. نتایج نشان داد افزایش فشار هوای ذخیره شده باعث کاهش زمان تخلیه مخازن بالاست شده و در نتیجه زاویه حمله افزایش یافته و زمان رسیدن به سطح کاهش می یابد. همچنین با تغییر زاویه سطوح کنترلی عقب در حین تخلیه مخازن بالاست، نیروی لیفت تغییر می کند و زمان رسیدن به سطح نیز تغییر می کند.