

مدل‌سازی عددی پایداری زیردریایی و تعیین محدوده های پایداری دینامیکی آن

استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، گروه مهندسی مکانیک
کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا
مریی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر مجلسی، گروه مهندسی مکانیک
استادیار، دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا

رضا دهقانی*
داوود میرزایی
اسماعیل عابدی
محمدعلی بدری

چکیده

در این مقاله، تحلیل پایداری دینامیکی زیردریایی شش درجه آزادی ارائه شده است. در طراحی زیردریایی، بهینه سازی چیدمان سطوح کنترل و هندسه آنها در حصول پایداری دینامیکی زیردریایی اهمیت به سزایی دارد. در این مقاله، دینامیک زیردریایی به روش نیوتن-اولر در حالت سه بعدی مدل سازی شده است. نیروهای هیدرودینامیکی به صورت کلی و تابعی از سرعت، زاویه حمله و زاویه دریفت و نیروهای سطوح کنترل نیز تابعی از سرعت، زاویه حمله و زاویه سطوح کنترل مدل شده اند. برای بررسی پایداری دینامیکی زیردریایی، ابتدا معادلات غیر خطی را خطی کرده و سپس پایداری معادلات خطی شده مورد مطالعه قرار گرفته است و محدوده های پایداری و ناپایداری پارامترهای موثر ارائه شده است. علاوه بر آن برای اعتبار سنجی نتایج، نتایج برخی مانورهای استاندارد با استفاده از نتایج تجربی مقایسه و ارائه شده است.

واژه های کلیدی: زیردریایی، مدل سازی دینامیکی، تحلیل پایداری دینامیکی، مدل خطی.

Stability Analysis of a Submarine and Identifying Stability Limitation Using Numerical Modeling

R. Dehghani Assistant Professor, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Department of Mechanical Engineering
D. Mirzaei M.Sc., Isfahan University of Technology, Subsea R&D center
E. Abedi M.Sc., Islamic Azad University, Majlesi Branch, Department of Mechanical Engineering
M. A. Badri Assistant professor, Isfahan University of Technology, Subsea R&D center

Abstract

In this paper, stability analysis of a 6-DOF submarine is presented. In submarine design, geometry and architectural aspects for control surfaces are important for the stability of vehicle. In this paper, the dynamic of a typical submarine is derived by Newton-Euler method. The hydrodynamic forces are modeled as the functions of velocity, angle of attack and drift angle. Forces on the control surfaces are modeled as the functions of velocity, angle of attack and their angles as well. For the stability analysis, linearized equations form is derived. Then stability limitation of the hydrodynamic parameters is presented. Moreover, the simulation results are verified by some experimental results.

Keywords: Submarine, Dynamic modeling, Stability Analysis, Linearized Model.

۱- مقدمه

امروزه نیاز نظامی، تحقیقاتی و اقتصادی بشر در اقیانوس‌ها موجب شده است که تحقیقات گسترده‌ای جهت ساخت زیردریایی‌های نظامی و تحقیقاتی انجام گیرد. با توجه به مانورهای حرکتی مختلف، این وسیله باید قابلیت مانورهای تعریف شده کاربر را داشته باشد و علاوه بر آن در حین انجام این مانورها پایداری خود را نیز حفظ کند. مهمترین تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌سازی دینامیکی به صورت پارامتری برای زیردریایی به منظور بررسی پایداری دینامیکی آن می‌باشد [۱]. در پژوهشی دیگر [۲] مدل‌سازی دینامیک وسایل زیرآبی مورد بررسی قرار گرفته و یک نرم افزار شبیه‌سازی به صورت پارامتری تهیه شده است. همچنین برای بررسی حساسیت ضرایب هیدرودینامیکی در مانورهای مختلف زیردریایی مدل‌سازی دینامیکی و حساسیت‌سنجی مانورهای مختلف وسیله انجام شده است [۳]. در سال ۱۹۸۰ هانگ به بررسی حساسیت رفتار یک کشتی به پارامترهای هیدرودینامیکی پرداخت [۴]. او حساسیت یک ضریب هیدرو دینامیکی را به صورت بیشینه اختلاف در متغیرهای حالت بیان کرد. در سال ۱۹۹۹ هی و کیم بیان کردند که روش هوانگ، روش مناسبی برای مقایسه حساسیت به ضرایب هیدرودینامیکی در آزمایشات مختلف نیست [۵]. از این رو آنها روشی ارائه کردند که بطور مستقیم حساسیت ضرایب هیدرودینامیکی را مقایسه می‌نمود. در سال ۲۰۰۰ سن تحلیل حساسیت را برای زیر دریایی‌ها مطرح کرد [۶]. او حساسیت را به صورت اندازه‌ی تغییرات در مشخصات چندین مانور دریایی از قبیل قطر ثابت وزیگرایی تعریف کرد که در اثر تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی خاصی بوجود آمده بودند. در سال ۲۰۰۳ حساسیت رفتار یک AUV به پارامترهای هیدرودینامیکی توسط پرالت بررسی شد [۷]. در پژوهش دیگری ناپایداری رول وسیله در صعود به سطح آب با استفاده از روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی و معادلات شش درجه آزادی حرکت مورد بررسی قرار گرفته است. در آن مقاله همچنین تحلیل پایداری دینامیکی از طریق خطی‌سازی معادلات غیرخطی حول موقعیت تعادل انجام شده تا نتایج تحلیل از یک سو به تعیین محدوده‌های پایداری منجر گردیده و از سوی دیگر حدهای پایداری برای درک بهتر رفتار زیردریایی تعیین شوند [۸].

در این پژوهش هدف شبیه‌سازی غیرخطی زیردریایی در مانورهای مختلف استاندارد می‌باشد. ابتدا با استفاده از معادلات نیوتن- اویلر معادلات حرکت زیردریایی استخراج شده، سپس نیروهای خارجی وارد بر آن از جمله نیروهای هیدرودینامیکی، جاذبه و شناوری مورد توجه واقع شده است. در ادامه معادلات

استخراج شده با مراجع استاندارد صحت سنجی شده و رفتار زیردریایی در چند مانور مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل‌سازی دینامیکی

۲-۱- سینماتیک

برای تعیین رفتار فیزیکی زیردریایی، دو دستگاه مختصات به طور مستقل مورد توجه قرار گرفته و رابطه بین آن‌ها بیان شده است. این دو سیستم مختصات عبارتند از سیستم مختصات جهانی و سیستم مختصات بدنی.

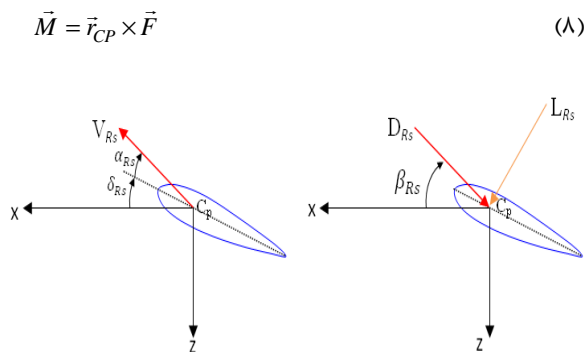
شش مختصات مستقل برای تعیین موقعیت و جهت زیردریایی در نظر گرفته شده است. سه مختصات اول و مشتقات آن‌ها به ترتیب بیان‌کننده موقعیت و سرعت انتقالی و سه مختصات بعدی و مشتقات آن‌ها به ترتیب راستا و حرکت چرخشی را مشخص نموده‌اند. سرعت‌های انتقالی زیردریایی در دستگاه متصل به بدنه u, v, w به صورت بردار U_1 و سرعت‌های زاویه‌ای زیردریایی در دستگاه بدنه p, q, r با بردار U_2 تعریف شده‌اند. موقعیت در دستگاه مختصات جهانی با x, y, z و با بردار η_1 و زوایای چرخش در این دستگاه با ϕ, θ, ψ و بردار η_2 مشخص شده‌اند.

ارتباط بین دستگاه متصل به بدنه و دستگاه مرجع زمین توسط دو ماتریس انتقال یعنی حرکت انتقالی $R_1(\eta_2)$ و دورانی $R_2(\eta_2)$ معرفی شده‌اند.

۲-۲- سینتیک

دینامیک جسم صلب با استفاده از روش نیوتن- اولر مدل‌سازی شده است. برای هر جسم صلب روابط دینامیکی به صورت روابط شماره (۲) و (۳) تعریف می‌گردد. رابطه (۲) معادله حرکت انتقالی و رابطه (۳) معادله حرکت دورانی جسم صلب می‌باشد [۴]. نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر زیردریایی شامل نیروهای هیدرودینامیک وارد بر بدنه و تجهیزات آن، جرم افزوده و نیروهای هیدرودینامیکی حاصل از سطوح کنترل بوده و جرم افزوده با استفاده از روش کیرشوف^۱ در معادلات حرکت مدل گردیده‌اند [۵]. نیروهای هیدرودینامیکی بدنه کامل، تابعی از زاویه حمله (α)، زاویه دریفت (β) و سرعت زیردریایی (v) می‌باشد. در پژوهش حاضر بردار سرعت در مرکز فشار وسیله به صورت سه بعدی و با زاویه حمله (α) با محور افقی و زاویه دریفت (β) نسبت به صفحه عمودی قرار داده شده است. در روابط (۴) الی (۶) C_{DH} و C_{LH} ضرایب نیروی پسا و برا بدنه زیردریایی بوده که تابعی از سرعت و زوایای حمله و برا و S_H سطح مقطع خیس آن است.

¹ kireshof



شکل ۱- نیروی پسا و برا وارد بر سطح کنترلی افقی به عنوان نمونه

در رابطه (۸) بردار \vec{F}_{CP} فاصله مرکز جرم زیردریایی تا مرکز فشار سطح کنترلی است. با توجه به نحوه مدل سازی، نیروهای بدنه و سطوح کنترلی به صورت کلی زیر مدل شده اند.

$$F_{o_i} = F_{iH}(\alpha, \beta, V) - (W - B)f_i(\eta_2) + F_{iC}(\alpha, \beta, V) + F_{iP}(V) \quad (9)$$

$$M_{o_i} = M_{iH}(\alpha, \beta, V) + Wf_i(\eta_2, X_G) + Bf_i(\eta_2, X_B) + M_{iC}(\alpha, \beta, V) + M_{iP}(V) \quad (10)$$

در روابط (۹) و (۱۰) منظور از زیرنویس H کلیه نیروها و ممان‌های هیدرودینامیکی شامل پسا، برا و جرم افزوده کلیه بدنه با تجهیزات آن بوده، زیر نویس C برای نیروها و ممان‌های حاصل از سطوح کنترلی و زیر نویس P برای نیرو و ممان حاصل از پیشران‌ش زیردریایی است. همچنین W وزن زیردریایی، X_G بردار موقعیت مرکز جرم، B نیروی شناوری و X_B بردار موقعیت مرکز شناوری را نشان می‌دهند [۲].

۲-۳- نتایج شبیه‌سازی غیرخطی

نتایج شبیه‌سازی حرکت زیردریایی با مانورهای تغییر عمق و گردش شبیه‌سازی شده و نتایج آنها ارائه گردیده اند. برای دو سرعت متفاوت شبیه سازی مانور تغییر عمق انجام گردیده که نتایج آنها در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. برای این تغییر زاویه سطوح کنترلی و سرعت ۳ و ۵ گره دریایی، میزان تغییر عمق زیردریایی و سرعت تغییر عمق ترسیم شده است. علاوه بر آن میزان تغییر زاویه زیردریایی نیز نشان داده شده است. نتایج تجربی و شبیه سازی عددی در دو سرعت مختلف تقریباً با یکدیگر همخوانی داشته است. در سرعت ۳ گره دریایی، بیشینه عمق زیردریایی در اثر بیشینه چرخش زاویه بالابرنده در ۱۶۰ ثانیه ۸۰ متر بوده در صورتی که در سرعت ۵ گره دریایی در ۱۰۰ ثانیه ۱۲۰ متر می‌باشد. زاویه پیچینگ ایجاد شده در این حرکت، در سرعت ۵ گره دریایی بیشتر از سرعت ۳ گره دریایی بوده ولی زمان رسیدن به زاویه پیچ ثابت در سرعت ۳ گره دریایی کمتر از سرعت ۵ گره دریایی می‌باشد.

$$D_H = \frac{1}{2} \rho S_H C_{DH}(\alpha, \beta, v) V_H^2 \quad (1)$$

$$L_H = \frac{1}{2} \rho S_H C_{LH}(\alpha, \beta, v) V_H^2 \quad (2)$$

$$\vec{M}_H = \vec{r}_{CP} \times \vec{F}_H \quad (3)$$

در روابط (۴) و (۵) سرعت در مرکز فشار بدنه V_H به صورت $\vec{V}_H = \vec{V} + \vec{r}_{cp} \times \vec{\omega}$ شامل سرعت‌های خطی و زاویه‌ای در نظر گرفته شده است. با توجه به جهت نیروی برا و پسا برای وارد کردن در معادلات حرکت، در جهات مختصات متصل به بدنه تصویر و بردار برآیند آن به عنوان F_H تعریف شده است. مبدا مختصات بدنه در مرکز جرم و نیروهای برا و پسا در مرکز فشار قرار داده شده و بردار فاصله بین مرکز جرم تا مرکز فشار با r_{cp} تعریف شده است. ممان حاصل از این نیروها (M_H) نیز بر طبق رابطه (۶) مدل‌سازی شده است.

علاوه بر ممان حاصل از نیروهای هیدرودینامیکی برا و پسا، ممان‌های دیگری موسوم به چرخش خالص و جریان‌های گردابی وجود دارند. چرخش خالص حول هر سه محور مختصات به ترتیب با ضرایب C_p ، C_q و C_r معرفی شده و برای نمونه ممان در اثر چرخش خالص حول محور افقی به صورت $M = -\frac{1}{2} \rho C_p p |p|$ تعریف شده است.

نیروهای حاصل از سطوح کنترلی به صورت جدا گانه مدل‌سازی شده و در نهایت با یکدیگر جمع گردیده اند. در شکل ۱ جهت نیروهای پسا و برا سطوح کنترلی زیردریایی نمایش داده شده است.

$$\begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$I_0 \dot{\omega} + \omega \times (I_0 \omega) + m \cdot r_G \times (\dot{v}_0 + \omega \times v_0) = m_0 \quad (5)$$

$$m \cdot (\dot{v}_0 + \omega \times v_0 + \dot{\omega} \times r_G + \omega \times (\omega \times r_G)) = f_0 \quad (6)$$

محل اعمال نیروهای هیدرودینامیکی در مرکز فشار سطح کنترلی، حدود یک چهارم کورد^۱ فویل در نظر گرفته شده است [۵]. زاویه سطح کنترلی، α_{RS} زاویه حمله سطح کنترلی و β_{RS} جمع این دو زاویه می‌باشد.

نیروهای برا و پسا برای سطوح کنترلی نیز مشابه بدنه در نظر گرفته شده با این تفاوت که در این حالت سرعت برآیند در صفحه اعمال شده و ضریب پسا و برا تابعی از زاویه سطح کنترلی و سرعت قرار داده شده است.

در ادامه نیروی برآیند پسا و برا در جهت‌های اصلی مختصات به صورت زیر مدل‌سازی شده اند.

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \beta & \sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ L \end{bmatrix} \quad (7)$$

ممان حاصل از این نیروها حول محورهای مختصات بدنی عبارت است از:

¹ chord

مستقیم^۱، ۲) پایداری جهتی^۲، ۳) پایداری موقعیتی^۳ [۹]. در این تحقیق برای حرکت زیر دریایی، پایداری خط مستقیم مدنظر می‌باشد.

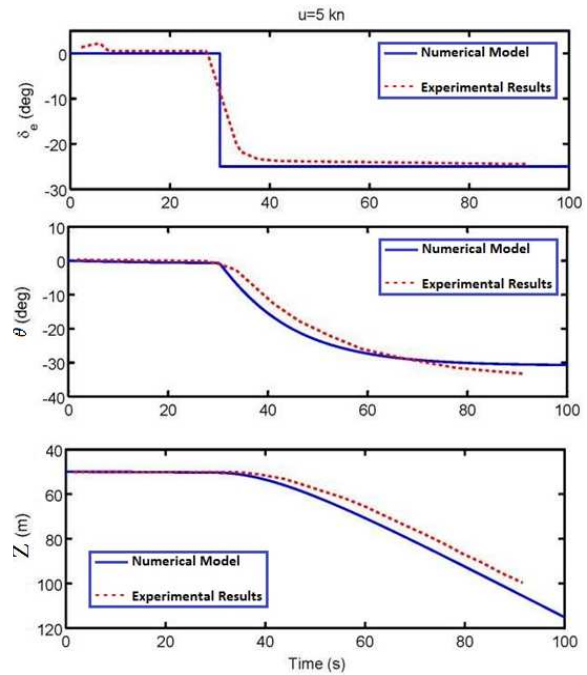
۳-۱- تحلیل پایداری دینامیکی

معادلات حرکت زیر دریایی کاملاً غیر خطی هستند. از این رو با استفاده از تکنیک خطی سازی، معادلات حرکت حول موقعیت تعادل خطی سازی شده تا معادلات به شکل خطی تبدیل شوند. تئوری‌های مربوط به سیستم‌های خطی برای تحلیل پایداری سیستم بکار گرفته شده و با شبیه سازی اثر پارامترهای مختلف بر پایداری دینامیکی زیر دریایی بررسی گردیده است. لازم به ذکر است برای تحلیل پایداری دینامیکی زیر دریایی تمامی ورودی‌ها ثابت در نظر گرفته شده‌اند.

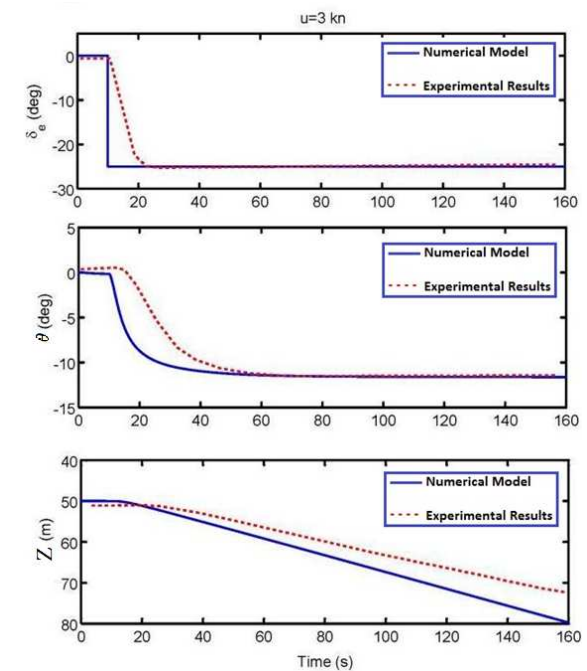
با تعریف بردار حالت $X = [u, v, w, p, q, r, x, y, z, \theta, \phi, \psi]^T$ ، معادلات حرکت در حالت غیر خطی به صورت $\dot{X} = f(x)$ بیان گردیده است. با تعریف موقعیت تعادل به صورت X^* و خطی سازی معادلات حالت حول وضعیت تعادل، معادلات خطی به فرم زیر بدست آمده است.

$$\dot{X} = AX \quad \& \quad A = \left. \frac{\partial f}{\partial X} \right|_{X=X^*} \quad (11)$$

برای بررسی پایداری دینامیکی زیر دریایی، مقادیر ویژه ماتریس A مورد مطالعه قرار گرفته و تأثیر پارامترهای مختلف هیدرو دینامیکی بر بیشینه مقدار ویژه این ماتریس بررسی شده‌اند. در واقع مقدار بیشینه قسمت حقیقی مقادیر ویژه بر حسب تغییرات یک ضریب هیدرو دینامیکی رسم شده و هر کجا که این مقدار منفی شد حد پایداری سیستم معلوم گردیده است. آنجا که ضرایب هیدرو دینامیکی زیادی در معادلات حرکت زیر دریایی وارد می‌شوند، تحلیل پایداری زیر دریایی در اثر تغییر تمامی این پارامترهای هیدرو دینامیکی انجام شده است. برای زیر دریایی مورد مطالعه، ضرایب هیدرو دینامیکی مربوط به نیروهای متقابل که به صورت ۴ ضریب $(m_z^{\omega}, C_y^{\omega}, m_y^{\omega}, C_z^{\omega})$ معرفی شده‌اند، بر پایداری زیر دریایی تأثیر زیادی دارند. محدوده‌های پایداری این پارامترها بر حسب سرعت متفاوت است. از این رو سعی شده است تأثیر سرعت بر مقدار پارامتر پایدار کننده ارائه شود. بدین ترتیب در هر شکل محدوده پایداری و ناپایداری نمایش داده می‌شود و طبعاً اگر ضرایب هیدرو دینامیکی بگونه‌ای باشند که زیر دریایی در خارج از ناحیه‌های پایداری باشد باعث ناپایداری ذاتی آن می‌شود.



شکل ۲- تغییر عمق در سرعت ۵ گره دریایی



شکل ۳- تغییر عمق در سرعت ۳ گره دریایی

۳- پایداری دینامیکی زیر دریایی

پایداری زیر دریایی در حرکت زیر سطحی شامل پایداری استاتیکی و پایداری دینامیکی می‌باشد. در تحلیل پایداری استاتیکی، انحراف شناور از موقعیت اولیه تعادل بررسی می‌شود و در تحلیل پایداری دینامیکی، انحراف از مسیر مستقیم و یکنواخت بررسی می‌گردد. بر این اساس معمولاً سه نوع پایداری دینامیکی توسط محققین مطرح شده است: ۱) پایداری خط

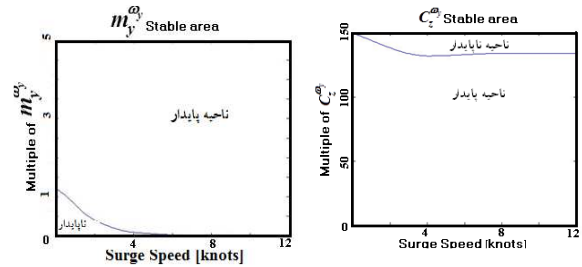
¹ Straight line stability

² Directional stability

³ Positional motion stability

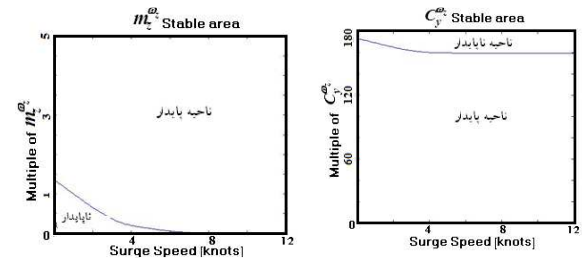
۲-۳- شاخص‌های پایداری دینامیکی

در شکل‌های ۴ تا ۵ محدوده‌های پایداری ضرایب مؤثر بر پایداری آمده است. یکی از ضرایب هیدرودینامیکی که بر پایداری حرکت زیردریایی تأثیر دارد پارامتر C_z^{ω} است. در شکل ۴ ناحیه پایداری این پارامتر در سرعت‌های مختلف زیردریایی آورده شده است. این پارامتر حد پایداری محدودی را نتیجه می‌دهد بطوری که افزایش تقریبی ۱۳۲ برابری، حد برای ورود به ناپایداری است و بعد از آن ناپایداری شروع می‌شود.



شکل ۴- محدوده پایداری

پارامتر C_z^{ω} بر حسب سرعت



شکل ۵- محدوده پایداری

پارامتر m_y^{ω} بر حسب سرعت

تأثیر آن بر ناپایداری از بین می‌رود. در شکل ۷ ناحیه پایداری این پارامتر در سرعت‌های مختلف زیردریایی آورده شده است.

جدول ۱- حدهای پایداری بر پایداری و حد سرعت‌های پایدار

صفحه ناپایداری	حداکثر سرعت ناپایداری	حداقل سرعت ناپایداری	حداکثر حد	حداقل حد	ضریب مؤثر بر پایداری
صفحه افق	ندارد	ندارد	۱۳۲ برابر	ندارد	C_z^{ω}
صفحه افق	ندارد	گره دریایی ۰٫۵۷	ندارد	۱٫۲ برابر	m_y^{ω}
صفحه قائم	ندارد	ندارد	۱۵۹ برابر	ندارد	C_y^{ω}
صفحه قائم	ندارد	گره دریایی ۱	ندارد	۱٫۳۶ برابر	m_z^{ω}

نتایج تأثیر پارامترهای مؤثر بر پایداری زیردریایی و حدهای پایداری پارامترها و حدهای پایداری این زیردریایی نمونه در جدول ۱ آمده است. با مشاهده این جدول می‌توان دریافت زمانی که زیردریایی در سرعت‌های بالاتر از ۱ گره دریایی حرکت کند کاملاً پایدار است.

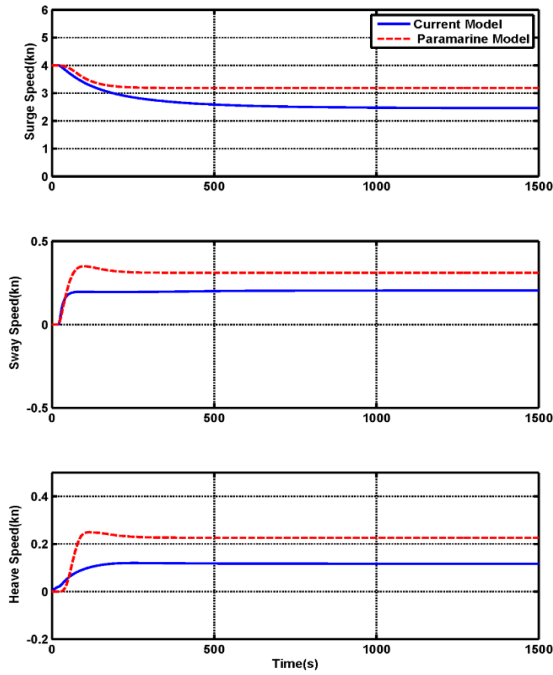
۴-۳- صحت سنجی نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی حرکت زیردریایی بر اساس مدل ارائه شده در این مقاله با نتایج نرم افزار پارامارین مقایسه می‌شوند.

به علت کمبود فضای مقاله، فقط نتایج مقایسه مانور دایره‌ای ارائه می‌شوند. برای این منظور فرض می‌شود زیردریایی در سرعت ۴ گره دریایی در حرکت است که در زمان (۵) ۲۰ سطوح کنترلی رادر شروع به گردش می‌کنند و در مقدار ۱۰ درجه قرار می‌گیرند (شکل ۸). در این حالت زمان شبیه‌سازی طوری انتخاب می‌شود که زیردریایی حداقل دو دور کامل بزند.

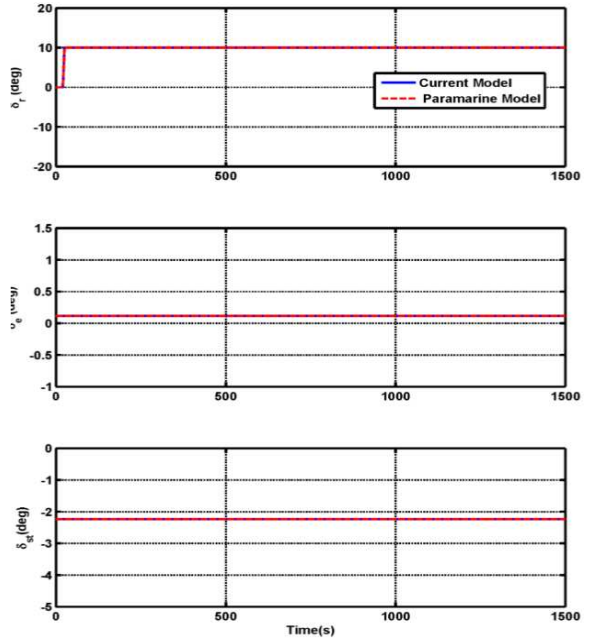
شکل موقعیت زاویه‌ای زیردریایی در طول حرکت دایره‌ای را نشان می‌دهد. زوایای رول و پیچ ترسیم شده نشان می‌دهند که رفتار زیردریایی در دو مدل به هم نزدیک می‌باشند و زاویه یاو نشان می‌دهد که زیر دریایی در نرم افزار فعلی دور کمتری دارد و این به دلیل کم بودن سرعت زیردریایی در این مدل نسبت به مدل پارامارین می‌باشد این موضوع را می‌توان در شکل ۱۰ مشاهده کرد. زوایای حمله و دریافت ترسیم شده در شکل نشان می‌دهند که زیردریایی رفتار مشابه در دو نرم افزار خواهد

پارامتر دیگر که بر پایداری حرکت زیردریایی تأثیر دارد پارامتر m_y^{ω} است. این پارامتر بگونه‌ای است که در این مقدار و در سرعت‌های کم باعث ناپایداری می‌شود ولی با افزایش آن به بیش از حدوداً ۱٫۲ برابر، تأثیر آن بر ناپایداری از بین می‌رود. به عبارت دیگر حد پایینی برای پایداری حاصل می‌شود. در شکل ۵ ناحیه پایداری این پارامتر در سرعت‌های مختلف زیردریایی آورده شده است. پارامتر مؤثر دیگر بر پایداری حرکت زیردریایی، پارامتر C_y^{ω} است. این پارامتر به گونه‌ای است که در این مقدار در سرعت‌های مختلف باعث ناپایداری نمی‌شود ولی با افزایش حدوداً ۱۵۹ برابری تأثیر آن بر ناپایداری شروع می‌شود. در شکل ۶ ناحیه پایداری این پارامتر بر حسب سرعت‌های مختلف زیردریایی آورده شده است. پارامتر دیگری که بر پایداری حرکت زیردریایی تأثیر دارد پارامتر m_z^{ω} است. این پارامتر بگونه‌ای است که در این مقدار در سرعت‌های کم باعث ناپایداری می‌شود ولی با افزایش آن به بیش از حدوداً ۱٫۳۶ برابر،

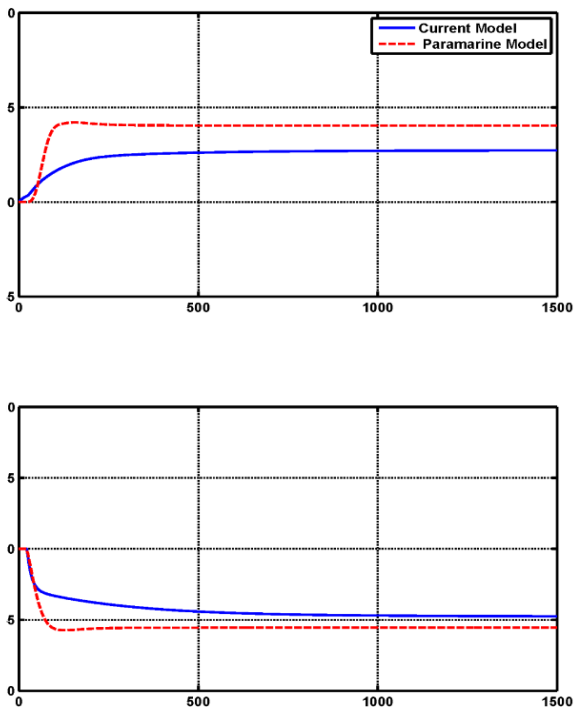


شکل ۱۰- مقایسه سرعت های خطی

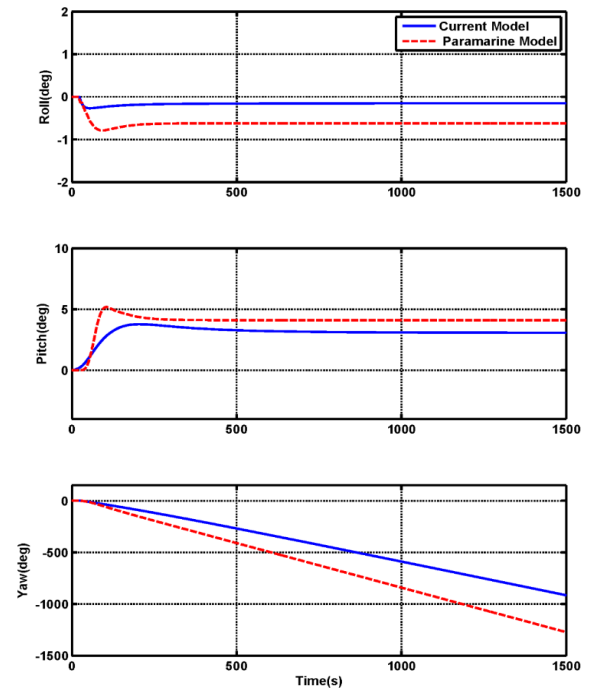
داشت و تنها اختلافات جزئی بین این زاویه ها در دو مدل مشاهده می شود که این به علت تفاوت در مدل سازی نیروهای هیدرودینامیکی و دقت تعیین ضرایب هیدرودینامیکی در دو مدل است. به هر حال مقایسه فوق نشان می دهد نتایج شبیه سازی تا حد خیلی خوبی قابل اطمینان هستند و رفتار زیردریایی را به خوبی مدل می کند.



شکل ۸- سطوح کنترلی در مانور دایره ای



شکل ۱۱- مقایسه زوایای حمله و دریفت (بالا: زاویه حمله، پایین زاویه دریفت)



شکل ۹- مقایسه وضعیت زاویه ای زیردریایی

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش معادلات حرکت زیردریایی نوشته شده و نیروهای هیدرودینامیکی با استفاده از اطلاعات واقعی اعمال شده است. این معادلات کاملاً غیر خطی و وابسته اند. از روش های عددی برای شبیه سازی حرکت زیردریایی استفاده شده است. برای اطمینان از نحوه مدل سازی، نتایج شبیه سازی

ϕ	زاویه اولر حول محور X، درجه
θ	زاویه اولر حول محور Y، درجه
ψ	زاویه اولر حول محور Z، درجه
δ_{RS}	زاویه سطوح کنترل، درجه
α_{RS}	زاویه حمله سطوح کنترل، درجه
β_{RS}	برآیند زاویه حمله و زاویه سطوح کنترل، درجه

مراجع

- [1] Minnick, L., "A Parametric Model for Predicting Submarine Dynamic Stability in Early Stage Design", Master of Science in Ocean Engineering, Virginia, 2006.
- [2] Saout, O., "Computation of hydrodynamic coefficients and determination of dynamic stability", M.S. Thesis, Department of Ocean Engineering, Florida Atlantic University, 2003.
- [3] Yeo, D. J., and Rhee, K. P., "Sensitivity analysis of submersibles maneuverability and its application to the design of actuator inputs", Ocean Engineering, pp. 2270-2286, 2006.
- [4] Hwang, W. Y., "Application of system identification to ship maneuvering", Ph.D. Thesis, MIT, 1980.
- [5] Rhee, K. P., Kim, K., "A new sea trial method for estimating hydrodynamic derivatives", Ship & Ocean Technology 3 (3), 1999.
- [6] Sen, D., "A study on sensitivity of maneuverability performance on the hydrodynamic coefficients for submerged bodies", Journal of Ship, pp. 186-196, 2000.
- [7] Perrault, D., Bose, N., Siu O'Young and Christopher D. Williams, "Sensitivity of AUV response to variations in hydrodynamic parameters", Ocean Engineering, pp. 779-811, 2003.
- [8] Bettel, M. C., Gerber, A. G., Watt, G. D., Young S. and Williams, C. D., "Unsteady analysis of the six DOF motion of a buoyantly rising submarine", Computers & Fluids, vol. 38, pp. 1833-1849, 2009.
- [9] Arentzen, E.S. Capt., Mandel, P., "Naval Architectural Aspects of Submarine Design", SNAME Transactions, vol. 68, pg 622-692, 1960.

با نتایج نرم افزار پارامارین مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی به لحاظ کیفی با رفتار واقعی وسیله تطابق خوبی نشان داده لیکن انحرافات ناچیزی در بعضی از نتایج وجود دارد که می تواند ناشی از دقت ضرایب هیدرودینامیکی باشد. علاوه بر آن، در این پژوهش پایداری دینامیکی یک نمونه ی زیر دریایی مورد مطالعه قرار گرفت. به کمک خطی سازی معادلات غیر خطی و بررسی پایداری سیستم خطی شده اثر پارامترهای مختلف بر پایداری مشخص گردیده است. نتایج تحلیل پایداری نشان می دهد زیر دریایی بدون تغییر مشخصات هیدرودینامیکی وسیله در سرعت های کم ناپایدار است و با تغییر در مشخصات هندسی وسیله بر پایداری آن افزوده خواهد شد. البته در عمل زیر دریایی ها در سرعت های کم ناپایدارند و معمولاً برای حرکت در سرعت های کم از سطوح کنترلی استفاده می شود.

نمادها

C_{DH}	ضریب نیروی پسا هیدرودینامیکی بدنه، بدون بعد
C_{LH}	ضریب نیروی برا هیدرودینامیکی بدنه، بدون بعد
C_p	ضریب هیدرودینامیکی پیچش خالص حول محور طولی، بدون بعد
C_q	ضریب هیدرودینامیکی پیچش خالص حول محور جانبی، بدون بعد
C_r	ضریب هیدرودینامیکی پیچش خالص حول محور عمودی، بدون بعد
C_y^{ω}	ضریب نیروی بوجود آمده در جهت محور Y در اثر دوران زیر دریایی حول محور Z، بدون بعد
C_z^{ω}	ضریب نیروی بوجود آمده در جهت محور Z در اثر دوران زیر دریایی حول محور Y، بدون بعد
f_0	بردار نیرو های خارجی، نیوتن
m_0	بردار ممان های خارجی، نیوتن بر متر
m_z^{ω}	ضریب گشتاور بوجود آمده در جهت محور Z در اثر دوران زیر دریایی حول محور Z، بدون بعد
m_y^{ω}	گشتاور بوجود آمده حول محور Y در اثر دوران زیر دریایی حول محور Y، بدون بعد