

## طراحی کنترل کننده برای مانور شناورهای سطحی تندرو در حضور اغتشاش های دریایی

مهرداد جعفربلند<sup>(۱)</sup> - احسان واحدی<sup>(۲)</sup> - غزنفر شاهقلیان<sup>(۳)</sup>

(۱) دانشیار - دانشکده برق، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(۲) کارشناس - کنترل و ابزار دقیق، شرکت زغال سنگ پرودهی طبس، ایران

(۳) استادیار - دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد

تاریخ دریافت: زمستان ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۹۲

**خلاصه:** شناورهای سطحی تندرو نوعی از قایق های کوچک هستند که توسط قایقران هدایت می شوند. از این شناور بیشتر جهت مأموریت های استراتژیک مانند نظامی و حراستی که سرعت زیاد و مانور بالا در آن از اهمیت بالایی برخوردار است استفاده می شود. مسیر ناهموار دریا، اغتشاشات دریایی و مدل دینامیکی غیر خطی چند ورودی چند خروجی این شناور، باعث می شود تا هدایت آن بسیار مشکل باشد. در این مقاله جهت کنترل تعقیب مسیر مطلوب و مانور در سرعت زیاد دو کنترل کننده طراحی شده است. کنترل کننده ی فازی پیشنهادی با نتایج کنترل کننده PID مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی مشخص می کند کنترل کننده ها پاسخ مطلوبی دارند و می توانند شناور فوق را به بهترین نحو کنترل و هدایت نمایند.

**کلمات کلیدی:** شناورهای سطحی تندرو (HSB)، کنترل کننده ی فازی و PID، مانور، اغتشاشات دریایی.

## Designing a Two-Phase BLDC Motor and Finite-Element Analysis of Designing a Controller in Order to Manoeuvre High-Speed Boats in Marine Turbulences

Mehrdad Jafarboland<sup>(1)</sup> - Ehsan Vahedi<sup>(2)</sup> - Ghazanfar Shahgholian<sup>(3)</sup>

(1) Associate Professor - Department of Electrical Engineering, Maleke-Ashtar University  
j\_mehrdad405@ hotmail.com

(2) Control and Instrumentation Engineer, Tabas Parvadeh Coal Company, Iran  
vahedi.stu@gmail.com

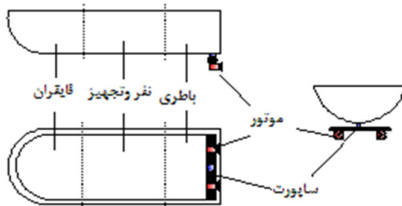
(3) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Islamic Azad University, Najafabad Branch  
shahgholian@iaun.ac.ir

High speed boats are small kind of boats which are piloted with boatman. These boats are usually used in strategic commissions like military which fast speeds and good manoeuvrability are of essential importance. Rough sea path, marine turbulences and multi input multi output nonlinear dynamical model of these boats, make it very difficult to pilot and manoeuvre them. In this paper, two controllers are designed and proposed for pursuing desired path and manoeuvring fast speeds. Fuzzy controller is compared with the result of PID controller. Simulation results indicate that these proposed controllers have suitable responses and can pilot the boat in the best manner.

**Index Terms:** Speed boats (HSB), PID and fuzzy controller, manoeuvre, marine turbulences.

۱ - مقدمه

باتری‌ها و تجهیزات کنترلی مربوط به آن می‌باشد که در شکل (۱) به وضوح نشان داده شده است. طول و عرض این شناور بسته به نوع مأموریت و قدرت موتورها می‌تواند متفاوت باشد. در قسمت عقب شناور یک تکیه‌گاه محکم قرار دارد که دو موتور با قرینه در انتهای چپ و راست آن نصب شده است. چرخش این تکیه‌گاه، چرخش موتورها را به چپ یا راست ممکن می‌سازد و باعث تغییر زاویه و در نتیجه تغییر مسیر سر قایق می‌گردد. این ساپورت به حفظ تعادل شناور در مانورهای بزرگ کمک زیادی می‌کند.



شکل (۱): قسمت‌های مختلف HSB  
Fig. (1): Different parts of HSB

۳ - معادلات دینامیکی HSB

از آنجایی که حرکت و مانور HSB توسط دو موتور DC که در عقب شناور قرار دارند تأمین می‌شود لذا معادلات دینامیکی مربوط به آن را می‌توان از مرجع [۱۱] و به صورت زیر نوشت:

$$\ddot{r} + (T_1 + T_2)r + r = k_x x_{px} + k_y y_{py} + k_x T_x \dot{x}_{px} + k_y T_y \dot{y}_{py}$$

در معادله (۱)،  $r$  مسیر سر شناور می‌باشد.  $x_{px}$  و  $y_{py}$  از فرمول‌های تجربی زیر به دست می‌آیند که بر اساس نتیجه گیری از معادله‌ی معروف nomoto حاصل می‌شوند:

$$x_{px} = \frac{2(T_s - T_p) - \varphi^2 (T_s + T_p)}{2} \quad (2)$$

$$y_{py} = \varphi(T_s + T_p) \quad (3)$$

در این معادلات  $\varphi$  زاویه‌ی تکیه‌گاه است که موتورها به چپ و راست آن متصل شده‌اند و  $T_p$  و  $T_s$  به ترتیب نیروی تراستر<sup>۱</sup> تولید شده توسط موتورهای چپ و راست HSB می‌باشد که مقدار آن به عواملی مهمی همچون سرعت موتور و قطر پروانه‌های موتور و غیره بستگی دارد و از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\begin{cases} T_p = \rho n_p^2 D^4 K_{T(P)} \\ T_s = \rho n_s^2 D^4 K_{T(S)} \end{cases} \quad (4)$$

در این رابطه  $\rho$  چگالی آب می‌باشد و  $D$  قطر پروانه‌های متصل به موتور است و  $n_p$  و  $n_s$  به ترتیب سرعت موتورهای چپ و راست HSB می‌باشد که جهت چرخش آنها را به صورت ساعتگرد در نظر می‌گیریم. در اینجا ما سرعت پروانه‌ها را در هر لحظه از حرکت، یکسان در نظر می‌گیریم ولی همان طور که می‌دانید در عمل سرعت موتورها به دلیل جریانات دریایی و عوامل دیگر اندکی با یکدیگر متفاوت است. ضرایب

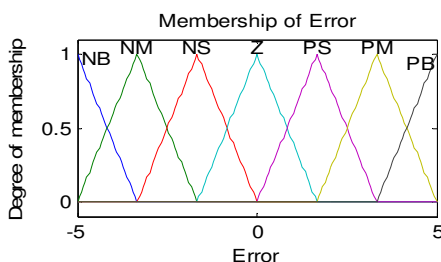
از شناورهای تندرو<sup>۱</sup> معمولاً برای مأموریت‌های نظامی استفاده می‌شود که احتیاج به سرعت و قدرت و مانور بسیار بالایی است. این قایق‌ها می‌توانند نفرات و تجهیزات را با خود حمل کنند و در کمترین زمان ممکن به مقصد برسانند. همچنین این شناور به دلیل سرعت و مانور بالا قادر است از مسیرهای باریک و پرپیچ و خم عبور کند که قایق‌های دیگر و کشتی‌های بزرگ از سیر در این مسیرها عاجزاند. از طرفی به دلیل استفاده از موتور DC جهت نیروی محرکه، که با باتری تغذیه می‌شود این شناور نسبت به شناورهایی که دارای موتورهای بنزینی هستند سر صدا و آلودگی بسیار کمتری دارند و همچنین این شناور قابلیت کنترل از راه دور را نیز می‌تواند داشته باشد. در رابطه با وسایل نقلیه آبی و زیر آبی که توسط موتور هدایت می‌شوند کمتر موردی پیدا می‌شود که طراحی به این صورت داشته باشد و بیشتر مطالب موجود در رابطه با قایق و کشتی‌هایی می‌باشد که توسط سکان کنترل می‌شوند و دارای سرعت و قابلیت مانور پایین‌تری می‌باشند. از این شناورها اکثراً برای حمل بار استفاده می‌شود [۷-۱۱]. در برخی از زیر دریایی‌ها فقط از یک موتور که در عقب آن نصب می‌باشد برای تأمین نیروی محرکه استفاده شده است. این موتور که می‌تواند در سرعت‌های متفاوتی بچرخد فقط نیروی محرکه‌ی زیردریایی را تأمین می‌کند و برای چرخش و مانور آن از تنظیم جهت باله‌های نصب شده بر روی بدنه استفاده می‌گردد [۸]. در جای دیگر از دو موتور که در بالا و پایین یک زیر دریایی نصب شده جهت تنظیم عمق، مانور و سرعت استفاده شده است [۹]. در مرجع [۱۰] دو پروانه‌ی ثابت که در کناره‌های راست و چپ یک زیر دریایی نصب شده برای حرکت و مانور آن مورد استفاده قرار گرفته است. این پروانه‌ها قابلیت چرخش به چپ یا راست را ندارند و فقط با کم و زیاد شدن سرعت پروانه‌ها زیردریایی را در مسیر مطلوب هدایت می‌کنند. در رابطه با شناوری که بتواند با سرعت و مانور بالا حرکت کند و ساختاری اینچنین داشته باشد مرجعی در دست نمی‌باشد. نیروی محرکه‌ی این شناور طوری طراحی شده است که قابلیت مانور آن را در سرعت‌های بالا فراهم می‌کند. همچنین برای کنترل و مانور آن از کنترل کننده‌ی فازی و PID استفاده شده است که با وجود اینکه پلنت مورد نظر به شدت غیر خطی و از نوع چند ورودی چند خروجی می‌باشد به خوبی توسط کنترل کننده‌های فوق و با کمک ساختار مکانیکی منحصر به فردی طراحی شده است.

۲ - پیکربندی HSB

از آنجایی که این شناور جهت مأموریت‌های خاص طراحی شده است باید قابلیت حمل نفرات و تجهیزات را داشته باشد. این شناور از سه قسمت اصلی تشکیل شده است. قسمت سر قایق که محل استقرار قایقران می‌باشد و تجهیزات مربوطه جهت وارد نمودن سرعت و مسیر در این قسمت قرار دارد. در قسمت وسط فضای خالی جهت حمل نفر و تجهیز تعبیه شده است و در قسمت انتهایی قایق نیز موتور و

خطی است. در اینجا نیز به دلیل اغتشاشات زیاد و جریانات دریایی لزوم استفاده از این کنترل کننده به چشم می خورد. پس از وارد شدن مسیر و سرعت توسط قایقران باید مسیر فوق با سرعت داده شده توسط HSB طی شود و در هر لحظه از مسیر فیدبکی گرفته می شود که این فیدبک با مقدار مرجع مقایسه شده و خطای آن وارد کنترل کنندهی مسیر و کنترل کنندهی سرعت حرکت می گردد. برای کنترل کنندهی فازی دو ورودی داریم که یکی خطا و دیگری مشتق خطا می باشد. خروجی نیز سیگنال کنترلی اعمال شده به سیستم جهت کنترل سرعت در طول مسیر می باشد. برای هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی هفت مجموعهی فازی دارای توابع تعلق مثلثی به شرح ذیل تعریف می کنیم:

مثبت و بزرگ (PB)، مثبت و متوسط (PM)، مثبت و کوچک (PS)، صفر (Z)، منفی و کوچک (NS)، منفی و متوسط (NM)، منفی و بزرگ (NB). محدودهی تعریف شده برای مجموعهی فازی خطا و درجهی عضویت آن در شکل (۳) نشان داده شده است.



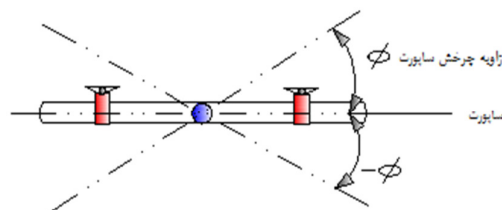
شکل (۳): مجموعهی فازی خطا و درجهی عضویت آن  
Fig. (3): Error fuzzy set and the degree of membership

حال تعدادی قاعدهی فازی به وجود می آوریم و با استفاده از این قواعد، مقدار سیگنال کنترل را با توجه به مقدار خطا و مشتق آن محاسبه می کنیم. هر قاعدهی فازی شامل ۲ قسمت است، قسمت اول مقدمه و قسمت دوم نتیجه می باشد. در اینجا برای هر متغیر ورودی ۹ قاعدهی فازی تعریف کردیم پس جمعاً ۴۹ قاعدهی فازی داریم. برخی از قواعد فازی که نقش اساسی در کنترل سرعت HSB دارند به شرح ذیل می باشند:

- 1\_ If err is NB & d\_err is NB then u is PB
- 2\_ If err is Z & d\_err is Z then u is Z
- 3\_ If err is PB & d\_err is PB then u is NB
- 4\_ If err is PB & d\_err is NB then u is NM
- 5\_ If err is NB & d\_err is PB then u is PM

در این قواعد err همان خطای سیستم، d\_err مشتق خطای سیستم و u خروجی کنترل کنندهی فازی می باشد. کنترل کنندهای که جهت کنترل زاویهی تکیه گاه HSB طراحی شده است کنترل کنندهی PID می باشد که یک نوع کنترل کنندهی خطی است که باید خطای سیستم که تفاضل مقدار مطلوب و مقدار واقعی می باشد را کم و یا به صفر برساند. این کنترل کننده از سه قسمت

$K_{T(S)}$  و  $K_{T(P)}$  ضرایب تجربی هستند که از فرمولهای تجربی به دست می آیند.  $T_x$  و  $T_y$  نیز نیروهایی هستند که از خارج در راستای محور X و Y بر بدنهی شناور وارد می شوند. همان طور که می دانیم هر دو موتور بر روی یک ساپورت قرار دارند پس زاویهی چرخش هر دو موتور با هم برابر می باشد که در شکل (۲) به وضوح نشان داده شده است.



شکل (۲): تکیه گاه و زاویهی چرخش آن  
Fig. (2): Support and its rotation angle

هنگامی که زاویهی تکیه گاه صفر درجه باشد، شناور بر روی یک مسیر مستقیم حرکت می کند ولی وقتی تکیه گاه دارای زاویهی  $\pm\phi$  باشد سر قایق به سمت راست یا چپ منحرف می شود. مقدار  $\phi$  را تقریباً در بازه  $\pm 40$  درجه در نظر می گیرند. در معادلات داده شده پسوند S در فرمولها مربوط به سمت راست و پسوند P مربوط به سمت چپ شناور می باشد.

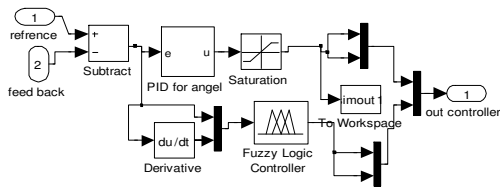
#### ۴ - طراحی کنترل کنندهی فازی و PID جهت مانور HSB

نحوهی هدایت به این صورت است که در ابتدا مسیری که باید توسط این شناور طی شود به همراه سرعت دلخواه توسط قایقران به HSB داده می شود. سپس این شناور مسیر مورد نظر را با سرعت داده شده طی می نماید. لازم به ذکر است که در هر لحظه از مسیر، قایقران می تواند جهت مسیر و سرعت شناور را تغییر دهد.

برای کنترل HSB از دو کنترل کننده استفاده می کنیم. از کنترل کنندهی فازی برای کنترل سرعت شناور در طول مسیرهای پر پیچ و خم و تیز، و از کنترل کنندهی PID جهت کنترل زاویهی تکیه گاه و هدایت شناور بر روی مسیر مطلوب استفاده می شود. دلیل انتخاب این کنترل کنندهها این است که در جاهایی که محدودهی خروجی کنترل کننده نسبت به خطای موجود بزرگ است بهتر است از کنترل کنندهی فازی استفاده گردد و در جایی که محدودهی تغییرات خروجی نسبت به خطا کوچک است از کنترل کنندهی PID استفاده شود. در اینجا چون محدودهی تغییرات سرعت زیاد و محدودهی تغییرات زاویهی موتورها کوچک است برای حالت اول از کنترل کنندهی فازی و برای حالت دوم از کنترل کنندهی PID استفاده شده است.

قبل از ورود به بحث طراحی کنترل کنندهی فازی ذکر این نکته ضروری است که از کنترل کنندهی فازی بیشتر در مواردی استفاده می شود که مدل ریاضی سیستم در دسترس نیست یا به شدت غیر

مسیر ورودی با خروجی مقایسه شده و خطا وارد هر دو کنترل کننده می‌گردد. از کنترل کننده‌های مربوط به زاویه و سرعت موتورها با توجه به مسیر و پیچ و خم‌های موجود یک  $u$  به صورت مستقل استخراج شده و وارد قایقران اتوماتیک می‌گردد. در آنجا با توجه به داده‌های قبلی و ضرایب، پردازش بر روی اعداد انجام شده و در نهایت دو ورودی نهایی زاویه و سرعت موتورها در هر لحظه به HSB وارد می‌شود. مقدار زاویه موتورها مستقیماً به تکیه‌گاه اعمال می‌شود ولی سرعت ابتدا به ولتاژ تبدیل شده سپس به صورت مستقیم به موتورها اعمال می‌شود. چون در سر پیچ‌های تند و تیز و در هنگام مانور وقتی که تکیه‌گاه می‌چرخد و زاویه‌ی موتورها را تغییر می‌دهد جهت حفظ تعادل و خارج نشدن از مسیر، سرعت شناور نیز به تناسب مسیر باید کاهش یا افزایش یابد از کنترل کننده‌ی سرعت نیز استفاده شده است. تمامی این مطالب توسط سیمولینک Matlab به طور کامل شبیه سازی شده است که در شکل (۵) گوشه‌ی کوچکی از آن را مشاهده می‌نمایید.



شکل (۵): بلوک دیاگرام کلی سیستم کنترل شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار مطلب

Fig. (5): General block diagram of simulated control system by Matlab software

#### ۵ - مدل‌سازی موتور DC و اغتشاشات دریایی

جهت حرکت و مانور شناور از دو موتور DC استفاده شده است. تغییر سرعت در طول مسیر توسط کاهش یا افزایش ولتاژ موتورها صورت می‌گیرد. پس از محاسبه‌ی سرعت و گشتاور مورد نیاز در هر لحظه از مسیر توسط کنترل کننده و قایقران اتوماتیک میزان ولتاژ جهت تغییر سرعت و میزان جریان برای تنظیم گشتاور به موتور اعمال می‌شود. برخی معادلات مربوط به موتور DC به صورت زیر می‌باشد.

$$\begin{cases} L_a \frac{di_a}{dt} + r_a i_a + k\omega = v_a \\ J \frac{d\omega}{dt} + \beta\omega = \tau_e - \tau_p \\ \tau_e = K_t i_a \end{cases} \quad (7)$$

در این معادلات  $J$  ممان اینرسی،  $\beta$  ضریب اصطکاک،  $K_t = k$  ثابت نیروی محرکه،  $v_a$  ولتاژ آرمیچر،  $r_a$  مقاومت الکتریکی سیم پیچ و  $L_a$  مقاومت القایی الکتریکی می‌باشد. در این مقاله ضرایب و پارامترها به صورت جدول (۲) تعیین شده است که برگرفته از مدل واقعی یک سیستم می‌باشد.

تناسب (P)، انتگرال (I) و مشتق (D) تشکیل شده است. قانون اصلی کنترل کننده‌ی PID به همراه تابع انتقالش به ترتیب در روابط (۵) و (۶) نشان داده شده است:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{u(s)}{e(s)} = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \quad (6)$$

در اینجا  $u(s)$  خروجی کنترل کننده،  $e(s)$  خطا و ورودی کنترل کننده،  $K_p$  ضریب تناسب،  $K_i$  ضریب انتگرال گیر و  $K_d$  ضریب مشتق گیر می‌باشد. برای تعیین ضرایب کنترل کننده روش‌های متعددی وجود دارد [۱۲]. روشی که در اینجا از آن استفاده شده است روش اصلاح ضرایب می‌باشد. در این روش سه متغیر را به دلخواه انتخاب می‌نماییم. سپس دو متغیر را ثابت نگه داشته و تأثیر متغیر سوم را در خروجی سیستم مشاهده می‌کنیم و آنقدر این کار را تکرار می‌کنیم تا ضرایب بهینه به دست آیند. به عنوان مثال اگر از متغیرهای سیستم  $K_p$  و  $K_i$  را ثابت نگه داریم و  $K_d$  را افزایش دهیم زمان صعود کاهش پیدا می‌کند. جدول (۱) یک نمونه روش تأثیر افزایش ضرایب را در روش اصلاح ضرایب نشان داده است.

با استفاده از روش اشکال زدایی مقدار متغیرهای کنترل کننده‌ی PID به صورت زیر به دست آمده است:

$$K_p = 0.5, K_i = 0.005, K_d = 0.00025$$

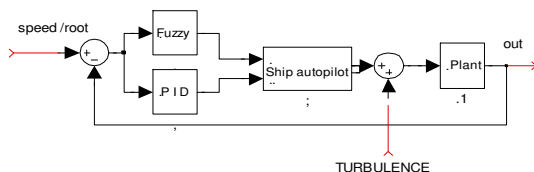
بلوک دیاگرام کلی کنترل کننده به همراه پلنت در شکل (۴) نشان داده شده است.

در این سیستم دو ورودی سرعت و مسیر دلخواه توسط قایقران به سیستم داده می‌شود.

Table (1): Effect of changes in PID controller parameters

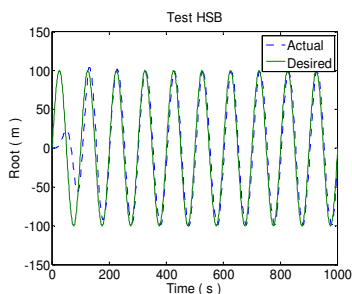
جدول (۱): تأثیر تغییرات در پارامترهای کنترل کننده‌ی PID

| پایداری      | خطای حالت دائم | زمان نشست  | جهش    | زمان صعود |
|--------------|----------------|------------|--------|-----------|
| کم می‌شود    | کاهش           | کمی افزایش | افزایش | کاهش      |
| کم می‌شود    | خیلی کاهش      | افزایش     | افزایش | کاهش اندک |
| بهبتر می‌شود | تغییر کم       | کاهش       | کاهش   | کاهش اندک |



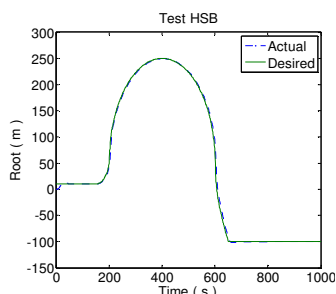
شکل (۴): دیاگرام کلی کنترل کننده  
Fig. (4): General block diagram of controller

می‌گیریم و سپس مسیر واقعی که توسط قایق طی شده را در لحظه‌ی اعمال و حذف اغتشاش با هم مقایسه می‌نماییم. این کار را برای مسیرهای پر پیچ و خم متفاوتی امتحان می‌کنیم تا از نحوه‌ی عملکرد شناور در برخورد با مسیرهای ناگهانی، اطمینان حاصل شود. شکل (۶) یک مسیر پر پیچ و خم سینوسی است که با سرعت موتور ۱۱۰۰ رادیان بر دقیقه توسط این شناور طی شده است.



شکل (۶): تعقیب مسیر سینوسی با سرعت ۱۱۰۰ رادیان بر دقیقه  
Fig. (6): Pursuit of sinusoidal path with the speed of 1100 radian per minute

حال برای اینکه استقامت HSB در طی کردن مسیرهای خمیده یا مسیری که به مدت طولانی دارای خم و زاویه است بررسی شود شکل (۷) را در ورودی این شناور اعمال می‌کنیم. همان طور که در شکل مشاهده می‌نمایید از زمان ۲۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه مسیر دارای یک خم یکنواخت می‌باشد که شناور مسیر فوق را با دقت بالایی طی نموده است.



شکل (۷): طی کردن یک مسیر خم دار توسط شناور با سرعت ۱۱۰۰ رادیان بر دقیقه

Fig. (7): Error due to pursuit of sinusoidal path with the speed of 1100 radian per minute in presence and absence of turbulence

شکل (۸) سرعت شناور در طی مسیر شکل (۷) می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌نمایید در مدت زمان ۴۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه که شناور وارد قسمت تیز پیچ شده است و احتمال خارج شدن و انحراف آن از مسیر زیاد است کنترل کننده‌ی فازی، سرعت شناور را متناسب با مسیر طوری کاهش داده است که بدون هیچ گونه مشکلی مسیر فوق را طی نماید و دوباره پس از طی کردن پیچ، سرعت به حداکثر رسیده است. لازم به ذکر است حداکثر سرعت موتور نصب شده بر روی شناور فوق ۱۲۰۰ رادیان بر دقیقه می‌باشد.

Table (2): Determined parameters for the vessel

| نوع متغیر                             | مقدار |
|---------------------------------------|-------|
| $T_1$ (constnt)                       | 100   |
| $T_2$ (constant)                      | 1     |
| $k_x, k_y$ (constant)                 | 0.1   |
| $K_{T(S)}, K_{T(P)}$ (constant)       | 0.5   |
| D (m)                                 | 1     |
| $\rho$ (kg/ m <sup>2</sup> )          | 1     |
| J(kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) | 0.01  |
| (Nms) $\beta$                         | 0.1   |
| $K=K_t$ (Nm/Amp)                      | 0.1   |
| R ( $\Omega$ )                        | 1     |
| L(H)                                  | 0.5   |

در رابطه با اغتشاش وارد شده به شناور در فضای دو بعدی هم اگر بخواهیم به صورت اجمالی به بررسی آن بپردازیم باید بگوییم اغتشاش وارد شده در راستای محور X است یا در راستای محور Y یا در فضای بین این دو محور است. اگر شناور در جهت محور X در حال حرکت باشد و اغتشاش وارد شده تنها در جهت محور X باشد اغتشاش فوق با توجه به جهت برخورد آن از جلو یا عقب به شناور باعث کاهش یا افزایش سرعت شناور می‌گردد که توسط کنترل کننده‌ی سرعت به خوبی مهار می‌شود. اگر جهت اغتشاش در راستای محور Y باشد و شناور فوق همچنان در راستای محور X در حال حرکت باشد باعث انحراف شناور شده و آن را از مسیر حرکت منحرف می‌سازد که باید توسط کنترل کننده‌ی زاویه‌ی تکیه‌گاه مهار گردد. حال اگر جهت اغتشاش چیزی غیر از محور X و محور Y باشد اغتشاش فوق به دو بردار در راستای محور X و محور Y تجزیه می‌شود که با نام  $T_x$  و  $T_y$  خوانده می‌شود. در صورتی که باز هم فرض کنیم محور عبوری از وسط شناور محور X باشد اثر  $T_x$  تغییر در سرعت شناور و اثر  $T_y$  انحراف شناور از مسیر مطلوب می‌باشد. در اینجا شکل اغتشاش وارد بر روی شناور را به صورت یک موج سینوسی در نظر می‌گیریم.

در ضمن این نکته نباید فراموش گردد که اثر اغتشاش بر روی بدنه‌ی شناوری که با سرعت زیاد حرکت می‌کند به مراتب کمتر از شناوری است که با سرعت پایین حرکت می‌کند. چون وقتی شناور با سرعت زیاد حرکت می‌کند به صورت یک جسم صلب در می‌آید که اثر اغتشاشات بر روی آن به مراتب کمتر از شناوری است که با سرعت آرام حرکت می‌نماید.

### ۶ - نتیجه‌ی شبیه سازی

حال می‌بایست شناور فوق تست و رفتار آن در حضور اغتشاش‌ها و در هنگام مانورها معلوم گردد. برای تست شناور دو حالت دلخواه را در نظر می‌گیریم. در زمان صفر تا ۵۰۰ ثانیه دریا را به صورت نا آرام و دارای اغتشاش و جریانات دریایی و از زمان ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ ثانیه اغتشاش را به کلی از سیستم حذف می‌کنیم و دریا را به صورت کاملاً آرام در نظر

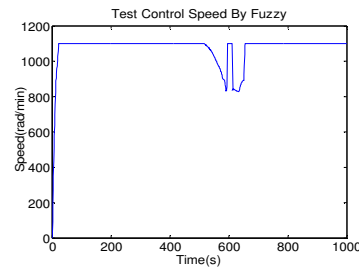
#### ۷ - نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که شناور فوق مسیرهای متفاوت پریچ و خم و دارای اغتشاش‌های دریایی را با کمترین خطا، طی می‌نماید. همان طور که از نتایج پیداست کنترل کننده‌های فوق توانسته‌اند شناور را که دارای پلنت درجه دوم و غیر خطی از نوع چند ورودی چند خروجی است را در حضور اغتشاشات و جریانات دریایی کنترل نماید. از طرفی از آنجا که تغذیه‌ی موتورهای شناور، باتری می‌باشد لذا این شناور دارای سر و صدای بسیار کم برای انجام مأموریت‌های مهم است و همچنین این شناور فاقد آلودگی زیست محیطی می‌باشد.

برای بالا بردن قدرت مانور و کنترل بهتر و دقیق‌تر این شناور می‌توان سرعت پروانه‌های چپ و راست را به طور مستقل و با توجه به مانور و جهت چرخش شناور کم و زیاد کرد که این عمل باعث افزایش قدرت مانور در شناور فوق می‌شود.

#### پی‌نوشت:

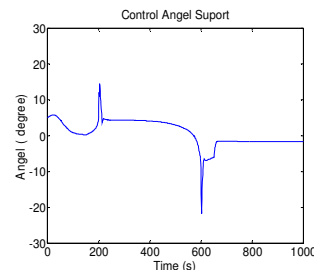
- 1- High Speed Boat
- 1- Thruster



شکل (۸): سرعت موتورهای شناور در طی مسیر شکل (۷)

Fig. (8): Passing a bending path by vessel with the speed of 1100 radians per minute

حال به بررسی زاویه‌ی ساپورت در لحظه‌ی طی کردن مسیر شکل (۷) می‌پردازیم و می‌بینیم که در طی این مسیر زاویه‌ی موتورها چگونه است. همان طور که در شکل (۹) مشاهده می‌نمایید زاویه‌ی موتورها به نسبت پیچ‌های مسیر در بازه‌ی مشخصی تغییر کرده است. به عنوان مثال در زمان‌های ۲۰۰ و ۶۰۰ ثانیه که شناور وارد پیچ شده است زاویه‌ی تکیه‌گاه نیز متناسب با شدت مانور تغییر کرده است.



شکل (۹): زاویه‌ی تکیه‌گاه در طی مسیر شکل (۷)

Fig. (9): The error due to pursuit of curved path with the speed of 1100 radian per minute in the presence and absence of turbulence

#### References

- [1] D. Towill, R. Sutton, "An introduction to the use of fuzzy sets in the implementation of control algorithms", *Jou. of the Ins. of Elec. and Radio Eng.*, Vol. 55. No. 10, pp. 357-367, Oct. 1985.
- [2] O. Ohichi, "Feedback-error-learning neural network for the automatic maneuvering system of a ship", *IEEE/ICNN*, pp. 225-230, 1995.
- [3] F. Velasco, E. Revestidol, E. Lopez, E. Moyan, "Obtaining ship trajectories of an autonomous inscale fast-ferry by identifying a heading model", *IEEE/ISISP*, pp. 1-6, Alcalde Henares, Oct. 2007
- [4] M. Junaid, M. Usman, A. Jafri, "A neural network based adaptive autopilot for marine applications", *IEEE/ICCIS*, pp. 1-6, Bangkok, June 2006.
- [5] P. Lee, S. Hong, Y. Lim, "Self-tuning control of autonomous underwater vehicles based on discrete variable structure system", *IEEE/OCEANS*, Vol. 2, pp. 902-909, Oct. 1997.
- [6] L. Nguyen, M. Duc, S. Hiep, "A new and effective fuzzy PID autopilot for ships", *IEEE/CIRA*, Vol. 3, pp. 1411-1415, July 2003.
- [7] R. Zhang, Y. Chen, Z. Sun, "Path control of a surface ship in restricted waters using sliding mode", *IEEE Trans on Con. Sys. Tec.*, Vol. 8, No. 4, pp. 722-732, 2000.
- [8] H. Zhang, J. Zhao, T. Gen, Z. Cong, "Fuzzy controller and rules optimization used for the surface maneuver control of submarine in calm sea area", *IEEE/CCDC*, Guilin, pp. 5453\_5458, 2009.
- [9] J. Walchko, D. Novick, C. Nechyba, "Development of a sliding mode control system with extended kalman filter estimation for subjugator", *Con. on Recent Advances in Robotics*, Florida, 2003.
- [10] L. Logan, "A comparison between H-infinity Mu-synthesis control and sliding-mode control for robust control of a small autonomous underwater vehicle", *IEEE/SAUVT*, pp. 399\_416, 1994.
- [11] C. Jianxin, G. Wei, C. Xiaoya, "Study on adaptive control of the propelling and turning manoeuvre of an autonomous water vehicle for ocean observation", *IEEE/OCEANS*, China, 2008.
- [12] J. Aiping, L. Xiu-ying, H. Zhi-gang, "PID to model-free controller", *Control Engineering of China*, 2005.