هشتمین همایش صنایع دریایی
۹ لغایت ۱۱ آبانماه ۱۳۸۵
استان بوشهر

کنترل مسیر زیر دریایی اکتشافی بدون سرنشین

جواد مرزبان راد [۱]، احمد کشاورزی [۲]، ناتا امیر یار احمدی [۳]

چکیده

در این مقاله، کنترل حرکت یک زیردریایی بدون سرنشین برای رسیدن به یک نقطه مورد نظر انجام شده است. کنترلر طراحی شده از نوع P و PD بوده و معادلات غیر خطی می باشند. پارامترهای زیادی بر روی مسیر حرکت زیر دریایی و رسیدن آن به هدف دلخواه تاثیر می گذارند. در این تحقیق سعی می شود با کنترل پارامترها بتوان مسیر رسیدن زیر دریایی به نقطه هدف را کنترل نمود. مقایسه بین این دو کنترلر نشان می دهد نوع P زیر دریایی را سریعتر به نقطه انتهایی می رساند و مسیر را نیز به خوبی دنبال می کند.

کلمات کلیدی: زیر دریایی - کنترل غیر خطی - FLUENT – MATLAB SIMULINK

[۱] استادیار دانشکده مهندسی خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران
[۲] کارشناسی ارشد خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران
[۳] کارشناس مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

مقدمه

با وجود اینکه بشر تا کنون توانسته است بسیاری از اسرار نهفته در اعماق کهکشان و ستاره های دور دست را آشکار نماید اما هنوز عرصه اقیانوسها که سطح وسیعی از کره زمین را به خود اختصاص داده اند برای او ناشناخته مانده و قادر به کشف بسیاری از رموز پنهان آن ها نگشته است. یکی از راههای کشف عجائب کف اقیانوسها و بدست آوردن اطلاعات مهم در مورد میزان دما و فشار، ویسکوزیته، عبور نور، سرعت جریانهای زیر آب و تنوع زیستی، فرستاندن زیر دریایی اکتشافی بدون سرنشین به اعماق آبها است. ابعاد این نوع زیردریایی ها باید به گونه ای باشد که بتوان تجهیزات جمع آوری و ارسال اطلاعات را در آن ها جا داد [۴]. جریان های زیر سطحی و موانع طبیعی کف اقیانوس دو عامل اصلی انحراف مسیر این نوع زیر دریایی ها در راه رسیدن به نقطه هدف به شمار می آیند. پس کنترل مسیر زیر دریایی از اهمیت زیادی بر خوردار است. کنترل مسیر زیر دریایی به پارامترهای زیادی مثل زاویه رول[۴]، پیچ[۵] و یاو[۶] و همچنین سرعت و موقعیت مسیر [۴] بستگی دارد. اصلاح مسیر توسط بازوهای کنترلی موجود، امکان پذیر است. بالابرنده و پروانه[۷] دو بازوی کنترلی در این نوع زیر دریایی ها هستند. در این تحقیق سعی شده است با طراحی یک کنترلر بر روی این دو بازو امکان تعیین زاویه پیچ و موقعیت صفحه ای(yوx) را فراهم آورده و زیر دریایی را بر روی یک مسیر صفحه ای هدایت نمود. با اعمال کنترل بر روی زاویه بالابرنده و قدرت پروانه می توان مسیر حرکت را اصلاح نمود. چون معادلات حرکت زیر دریایی به شدت غیر خطی هستند طراحی بر اساس یک کنترل غیر خطی [۱] انجام گرفته است. برای شبیه سازی معادلات دانستن ضرایب درگ و لیفت زیر دریایی لازم است که این ضرایب توسط حل عددی در نرم افزار Fluent به دست می آیند.

اندیسها

ضریب درگ در جهت x: $C_{D\theta}$
ضریب درگ در جهت y: $C_{D(90-\theta)}$
ضریب درگ فشاری: C_p
ضریب لیفت در جهت y: $C_{L(90-\theta)}$

[4] Roll angle
[5] pitch angle
[6] yaw angle
[7] Elevator and propeller

ضریب لیفت در جهت x: $C_{L\theta}$
مساحت پروانه: A_f
مساحت روبروی زیر دریایی: A_{front}
مساحت سطح رویه زیر دریایی: A_{body}
گشتاور پیشران: T
سرعت در جهت x مختصات اصلی: V_x
سرعت در جهت y مختصات اصلی: V_Y
سرعت در جهت x مختصات محلی: V'_x
سرعت در جهت y مختصات محلی: V'_y
زاویه جهت زیر دریایی نسبت به سطح افقی: α
زاویه بالابرنده نسبت به محور طولی: θ

شرح مدل

اطلاعات زیادی در منابع داخلی و خارجی موجود در مورد ابعاد و اندازه های این نوع زیردریایی ها موجود نیست. بنابر این در این تحقیق سعی شده است از ابعاد دلخواه و معقولی برای شبیه سازی حرکت استفاده شود. طول زیر دریایی ۲ متر و قطر آن ۰,۴۵ فرض شده تا فضای لازم برای جا دادن دستگاههای جمع آوری و ارسال اطلاعات وجود داشته باشد. نیروی پروانه از 200N تا 500N متغیر در نظر گرفته شده است. زاویه چرخش بالابرنده $\pm 20°$ و مشخصات ضریب درگ و لیفت بدنه و ملخ و بالابرنده با شبیه سازی در نرم افزار FLUENET انتخاب شده است. همه داده های انتخاب شده در این مدل در جدول ۱ خلاصه گردیده است. با نیروی پیشران200N، زیردریایی تقریبا با سرعت 0.5m/s مسیر خود را طی می کند که برای یک زیردریایی اکتشافی سرعت خوبی است. تمام پارامترهای موجود مانند جرم، مساحت پروانه و نیروی پیشران بر اساس مقدارهایی که برای این نوع زیردریایی ها در مرجع [۴] آورده شده است انتخاب گردیده است.

ضریبهای C_L و C_D ارائه شده در جدول ۱ نتایجی است که از تحلیل نرم افزار FLUENT به دست آمده است. برای انجام تحلیل فرض شده یک جریان آرام از روی زیردریای می گذرد و جریان به حوزه مغشوش وارد نمی شود. یک جریان آرام به سرعت 12m/s فرض شده بر روی زیر دریایی جریان دارد. از ضریب C_L جلوی زیر دریای به دلیل کوچک بودن آن صرف نظر شده و در انجام تحلیلها در نظر گرفته نشده است. زاویه چرخش بالابر بین 20 و 20- در نظر گرفته شده است که این مقدار با توجه به زیردریایی های موجود انتخاب شده است.

جدول ۱ مشخصات زیردریایی بدون سرنشین مدل

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
طول	2m	جلو زیر دریایی C_L	صرف نظر شده است.
قطر	.45m	جلو زیر دریایی C_D	0.06
جرم زیردریایی	318kg	بدنه C_D	0.054
مساحت پروانه	$0.09m^2$	بدنه C_L	صرف نظر شده است
دانسیته	$1000Kg/m^3$	نیروی پیشران	$-200 < Thrust < 500$
بالابرنده C_D	$0.0152*\theta^2/16+0.0085$	زاویه بالابرنده	$\pm 20°$
بالابرنده C_L	$\theta/4$		

معادلات حرکت

معادلات دینامیکی حرکت زیر دریایی در زیر آورده شده است. همانطور که ملاحظه می شود معادلات غیر خطی است. معادلات (۱) و (۲) مقدار نیرو را در جهت x' و y' و معادله (۵) میزان گشتاور در جهت عمود بر صفحه قرار گیری زیر دریایی محاسبه می کنند. همچنین معادلات (۳) و (۴) معادلات تغییر مختصات محلی به مختصات مرجع است[4].

$$FY' = \frac{1}{2}\rho V_x{}^2 C_{L\theta} A_f - \frac{1}{2}\rho V_y{}^2 C_{D(90-\theta)} A_f - \frac{1}{2}\rho V_y{}^2 C_{D\theta} A_{body} \quad (۱)$$

$$FX' = -\frac{1}{2}\rho V_x{}^2 C_{D\theta} A_f + \frac{1}{2}\rho V_y{}^2 C_{D(90-\theta)} A_f - \frac{1}{2}\rho V_x{}^2 C_{D\theta} A_{front} + T \quad (۲)$$

$$FX = FX'\cos(\alpha) - FY'\sin(\alpha) \quad (۳)$$

$$FY = FX'\sin(\alpha) - FY'\cos(\alpha) \quad (۴)$$

$$I\alpha'' = \frac{L}{2}\left(-\frac{1}{2}\rho V_x'^2 C_{L\theta} A_f - \frac{1}{2}\rho V_y'^2 C_{D(90-\theta)} A_f - \alpha'^2 * B_R\right) \quad (۵)$$

مدل اجزاء محدود

برای بدست آوردن ضرایب درگ و لیفت از نرم افزار Fluent4 استفاده شده است. همچنین مدل زیردریایی توسط Solidworks به اندازه $1/2$ (شکل ۲) ساخته شده است. مش بندی با انتقال مدل به صورت فایل IGS به نرم افزار Gambit، صورت گرفته و برای بالا بردن دقت نتایج و افزایش سرعت حل از دو گونه مش بندی استفاده شده

است. همانگونه که در شکل۳ دیده می شود، در حوالی نزدیک بدنه از مش بندی ریز و در خارج از این محدوده از مش بندی درشت تر استفاده شده است. برای انجام تحلیل در نرم افزار FLUENT جریان آرام با سرعت 12m/h بر روی بدنه اعمال شده است. شکل ۴ نمودار ضریب درگ فشاری در طول بدنه زیردریایی را به عنوان نمونه نشان می دهد.

شبیه سازی

برای انجام شبیه سازی از نرم افزار Matlab simulink استفاده شده است. ورودی سیستم، مختصات x وy نقطه هدف می باشد. مبدا مختصات بر روی سطح در نظر گرفته شده است و جهت مثبت y (شکل ۱(ب)) در جهت عمق آب در نظر گرفته شده است. اغتشاشات وارد به زیر دریایی به صورت موج پله ای یا یک ورودی سینوسی شبیه سازی شده است. خروجی سیستم نمودار حرکت زیردریایی تا رسیدن به نقطه هدف است.

طراحی کنترل

با توجه به اینکه سیستم غیر خطی است به آسانی نمی توان کنترل کننده ای برای آن طراحی نمود و یا بر روی کنترل طراحی شده بهینه سازی انجام داد. به همین دلیل در این بررسی از روش سعی و خطا برای پیدا کردن کنترل مناسب استفاده شده است. پارامترهای موثر در انتخاب ضرایب طراحی بر اساس کمترین زمان و بیشترین دقت رسیدن به هدف در نظر گرفته شده است. باید توجه داشت که کنترلر حتما بایستی به نحوی طراحی گردد که رسیدن آن بهY هدف سریعتر از X صورت گیرد زیرا با رسیدن به X هدف کنترل زیر دریایی برای رساندن آن به Y هدف مشکل گشته و زمان رساندن زیر دریایی به این نقطه نیز بیشتر می شود. زیرا زیردریایی نمی تواند به صورت مستقیم پایین رود. کنترل طراحی شده در اینجا یک P و یک PD کنترل است. مقایسه بین کنترلهای P و PD نشان می دهد که در صورت طراحی و استفاده از یک کنترل P زیر دریایی خیلی سریعتر می تواند به نقطه انتها برسد و مسیر را نیز به خوبی دنبال می کند، به همین دلیل استفاده از یک کنترل P به صرفه تر از یک کنترل انتگرالگیر است. مدل ساخته شده در شکل ۷ نشان داده شده است. با انجام روش سعی و خطا بهترین ضریب P برای طراحی، مساحت پروانه در نظر گرفته شد.

سنسورها

به دلیل اینکه تکنولوژی GPS در عمق آبها هنوز با مشکلات زیادی روبرو است، استفاده از این تکنولوژی به منظور تعیین موقعیت امکان پذیر نمی باشد و برای تعیین موقعیت مسیر زیردریایی از شتاب سنج و ژیروسکوپ استفاده می شود. حداقل دقت مورد نیاز در این نوع سنسورها به نوع کنترل به کار رفته در طراحی بستگی دارد و هرچه خواهان دستیابی به دقت و سرعت رسیدن به هدف بیشتری هستیم باید دقت سنسورهای مورد استفاده را زیادتر کنیم.

نتیجه گیری

در این پروژه با مدلسازی حرکت زیردریای بدون سرنشین تحقیقاتی به صورت غیر خطی و طراحی یک P کنترل مسیر حرکت تا رسیدن به نقطه هدف دنبال شد. البته باید توجه داشت که پارامترهای زیادی بر روی مسیر حرکت زیر دریای موثر هستند که در این تحقیق از تعداد زیادی از آنها صرف نظر شده است. همچنین ضریب درگ و لیفت به اندازه سرعت حرکت در آب بستگی دارد که در این مقاله این وابستگی دیده نشده است. به نظر می رسد به دلیل اهمیت ماموریتهای این نوع زیردریایی ها، محاسبه تمام پارامترهای صرف نظر شده و چگونگی تغییر تابع درگ و لیفت با سرعت و همچنین طراحی یک کنترل دقیق تر برای این نوع زیر دریای ها می تواند نتایج دقیق تری را ارائه دهد. همانطور که در شکلهای ۵ و ۶ مشخص است زیر دریایی با درصد خطای کمی نقطه هدف را دنبال می کند و بعد از رسیدن به نقطه هدف چون کنترلی بر روی مسیر نداریم زیر دریایی شروع به یک حرکت نامشخص در اطراف نقطه هدف می نماید. طراحی یک کنترل دقیقتر می تواند باعث بهبود پاسخ سیستم گردد.

مراجع

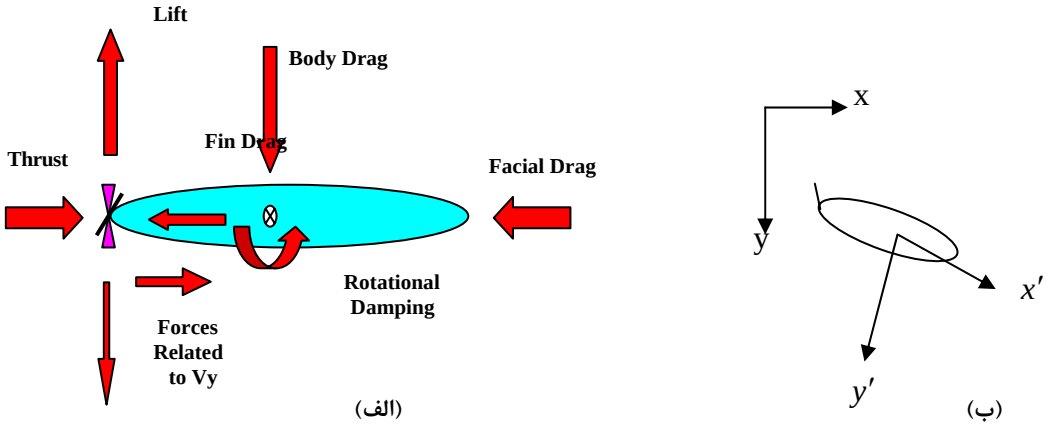
[1] D. Mook, Nonlinear Oscillations, ILEY Inter science Publication, New York, 1979.

[2] D. Young, A Brief Introduction to Fluid Mechanics, 1996.

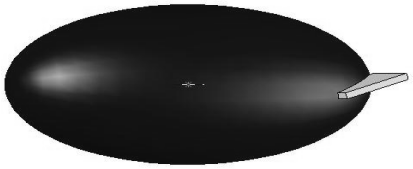
[3] G. F. Franklin, Feedback Control of Dynamic System, 2002.

[4] M. Hansen, Control of Submarine Trajectory, ME 461, 2003.

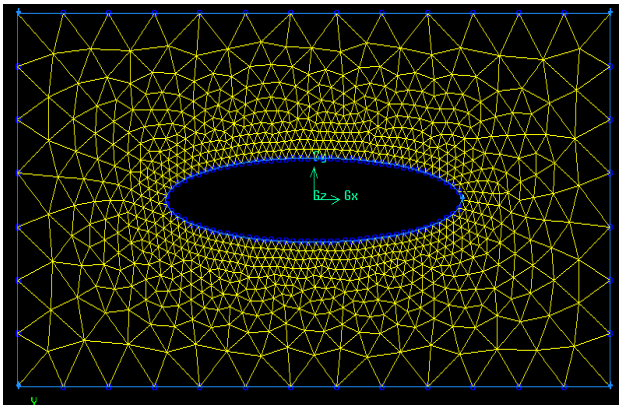
[۵] صیادی حسن، مدلسازی دینامیکی ربات های زیرسطحی به کمک شبکه مختلط عصبی- ژنتیکی، سیزدهمین کنفرانس مهندسی مکانیک، ۱۳۸۴



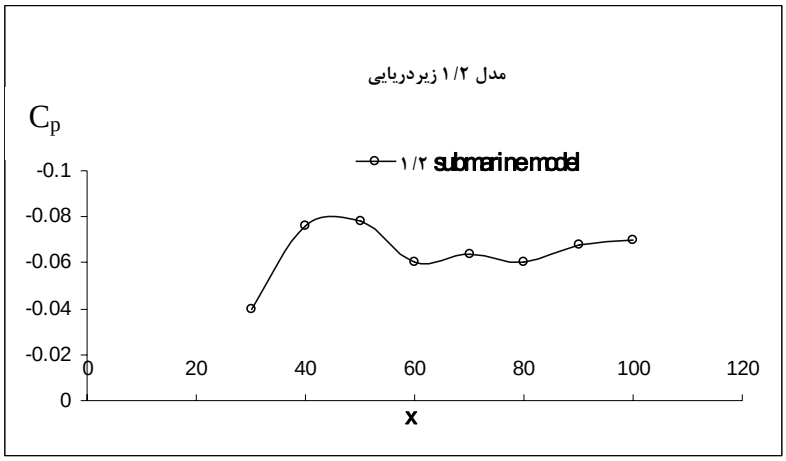
شکل ۱: (الف) نمودارآزاد زیردریایی (ب) مختصات اصلی و محلی



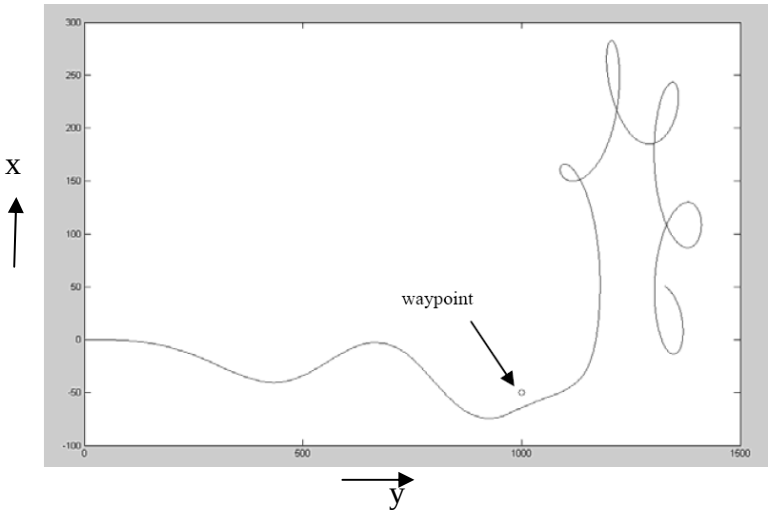
شکل ۲: مدل ساخته شده در **Solidworks**



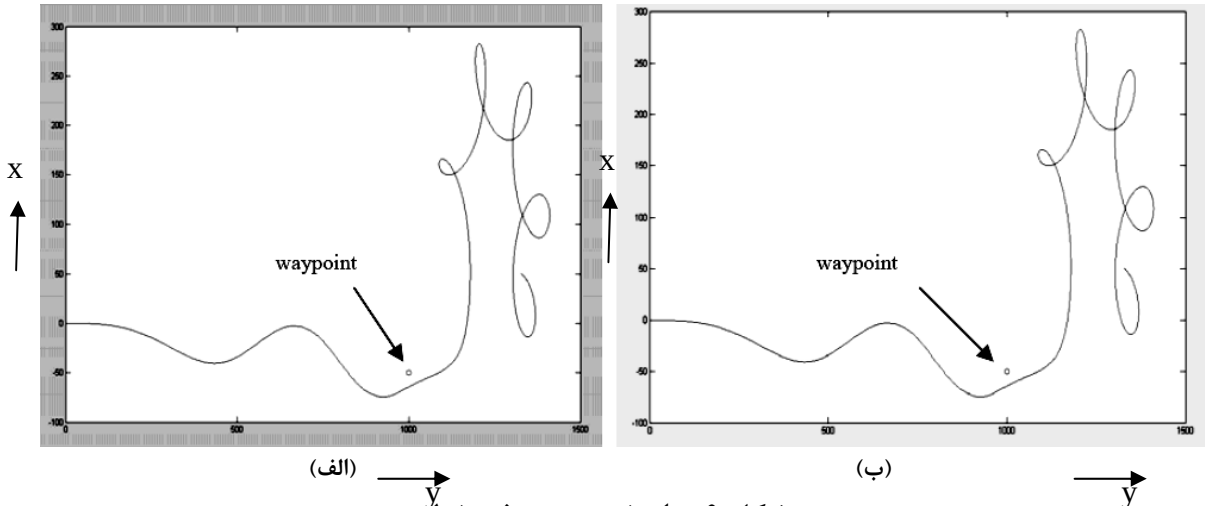
شکل ۳: شبکه بندی حول زیر دریایی با استفاده از **Gambit**



شکل ۴: ضریب درگ فشاری در طول بدنه زیردریایی

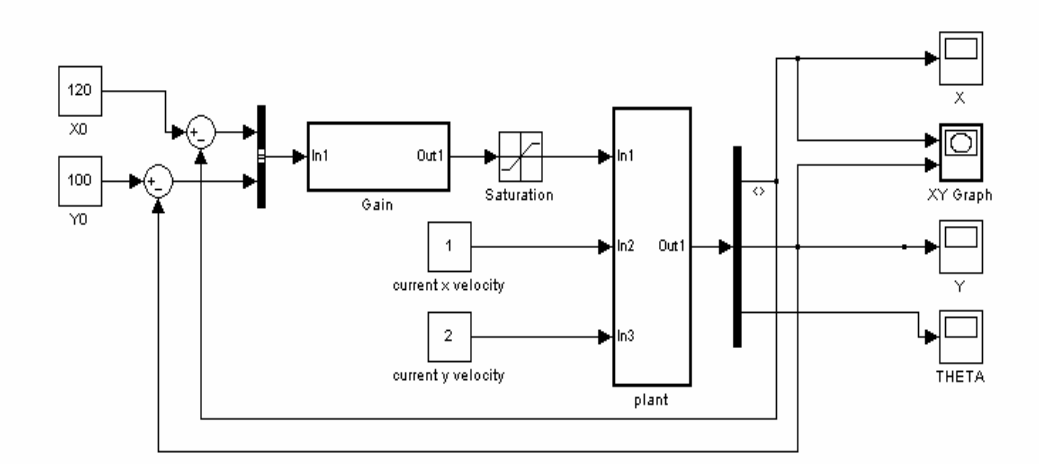


شکل ۵: کنترل مسیر به سوی هدف با تغییر زاویه بالابر

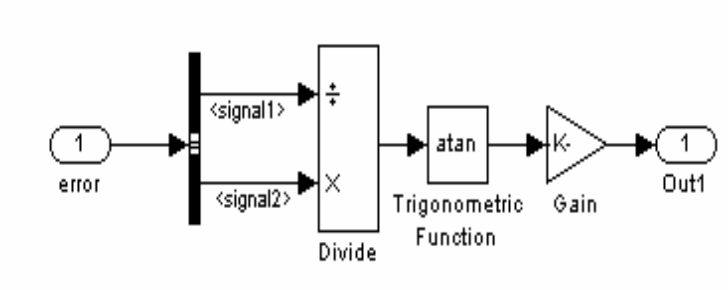


شکل ۶: پاسخ سیستم غیرخطی

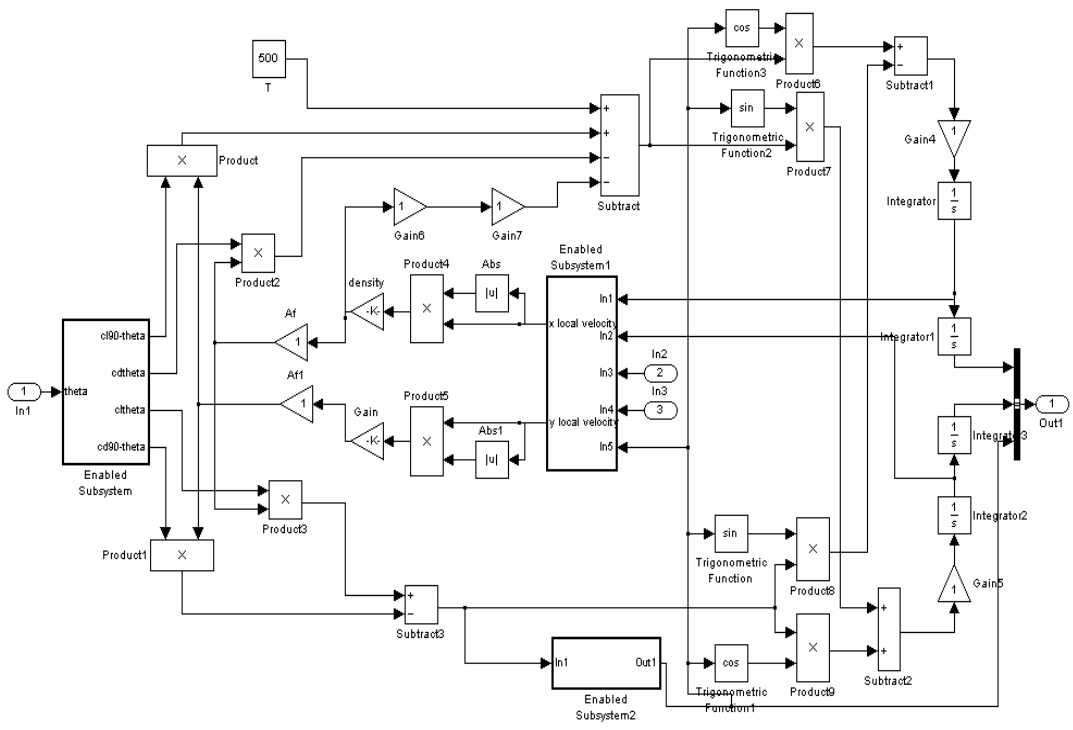
الف) به ورودی step ب) به ورودی سینوسی



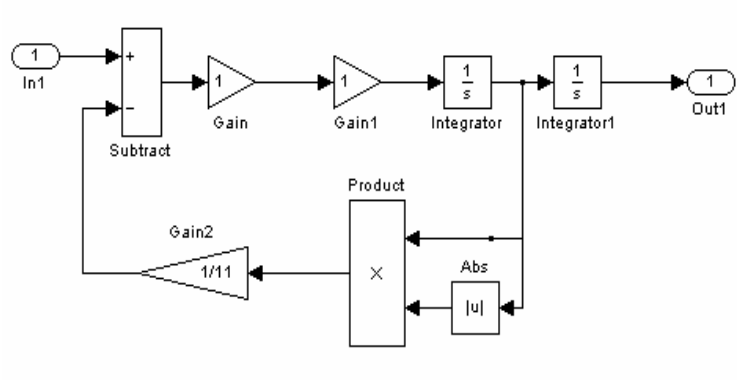
شکل ۷: مدل غیر خطی شبیه سازی شده



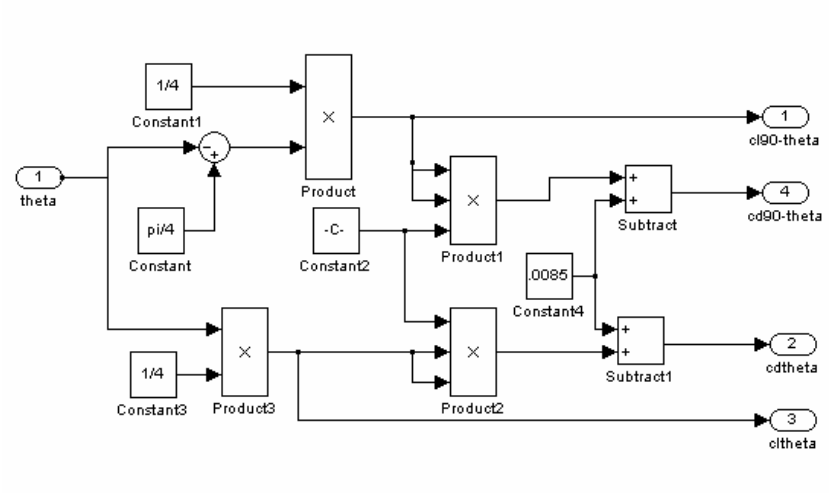
شکل ۸: زیر مجموعه کنترلی با تغییر زاویه بالابرنده



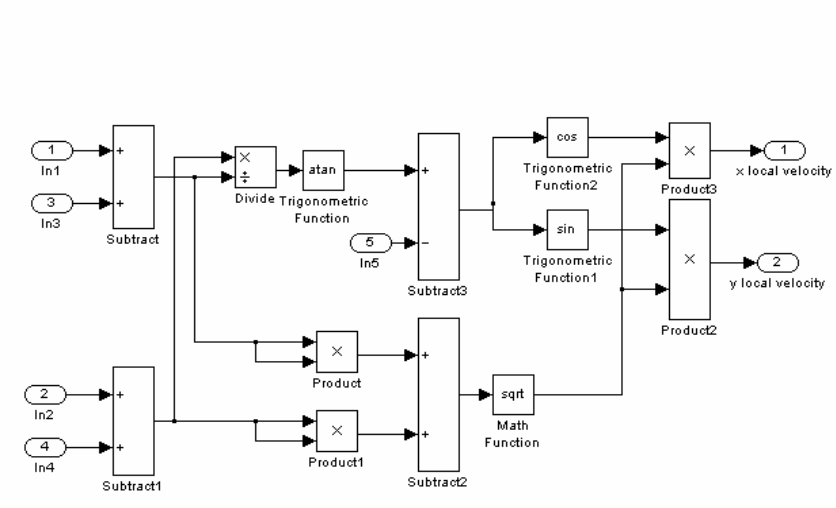
شکل ۹: مدلسازی سیستم (Plant Sub-Block)



شکل ۱۰: محاسبه گشتاور (Moments Sub-Block)



شکل ۱۱: محاسبه ضرایب درگ و لیفت (Drag Coefficient Sub-Block)



شکل ۱۲: تغییر مختصات (Global Sub-Block)