دانشکده آموزشهای الکترونیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق (کنترل)

طراحی کنترل کننده غیرخطی برای یک سامانه خودگردان زیر آبی

به کوشش

فیروزه آزادبخت

استاد راهنما

دکتر علیرضا روستا

مهر ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

بـــه‌نـام خـــدا

اظهـــارنامـــه

اینجانب فیروزه آزادبخت (۸۷۸۲۱۷) دانشجوی رشته‌ی کنترل دانشکده‌ی آموزش‌های الکترونیکی اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که پایان‌نامه و موضوع آن تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه‌ی حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه‌ی مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

فیروزه آزادبخت

تقدیم به

مادر و پدر خوب، صبور و مهربانم ،

برادران عزیزم،

و دوست عزیز و همراهم خانم مهندس الهه طاهریان فرد.

سپاسگزاری

سپاس خداوند یکتا که همواره لطف و رحمت بیکرانش شامل حال من بوده است و صلوات بر محمد و آل محمد.

اکنون که پایان نامه‌ام را تکمیل نموده‌ام، برخود واجب می‌دانم که از تمام عزیزان و سرورانی که مرا در به انجام رساندن پایان نامه‌ام یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

در ابتدا از استاد راهنمای پایان نامه جناب آقای دکتر روستا، که با کمک و راهنمایی‌های دلسوزانه خود مرا در طول پایان نامه حمایت نموده‌اند سپاس‌گزارم، به سرانجام رسیدن پایان نامه را نتیجه زحمات ایشان می‌دانم.

از راهنمایی‌ها و مشاوره مفید جناب آقایان دکتر علیرضا خیاطیان و دکتر مسعود خراتی، اساتید مشاور پایان نامه کمال تشکر را دارم. از مساعدت و راهنمایی ارزنده و خالصانه سرکار خانم مهندس الهه طاهریان‌فرد و جناب آقای مهندس مهدی تقی زاده کمال تشکر و قدردانی را دارم، که نقش به‌سزایی در به انجام رسیدن پایان نامه و اتمام آن داشتند. برای همه این عزیزان و بزرگواران شادکامی و تندرستی و موفقیت را از پروردگار متعال خواستارم.

در آخر از مرکز تحقیقات جهاد مهندسی فارس و جناب آقای مهندس اسلام کشاورزر به خاطر در اختیار گذاشتن شبیه‌ساز جسم زیر آب و همکاریشان تشکر می‌نمایم.

چکیده

طراحی کنترل کننده غیرخطی برای یک سامانه خودگردان زیر آبی

به کوشش

فیروزه آزادبخت

کنترل سامانه‌های خودگردان زیر آبی به علت وجود مباحث مکانیکی شامل نیروها و گشتاورهای هیدرودینامیکی، هیدروستاتیکی و جرم افزوده در مقایسه با اجسام در هوا و زمین دارای پیچیدگی بسیار می‌باشد.

معادلات دینامیکی غیرخطی جسم مورد نظر در این پایان نامه به گونه‌ای در نظر گرفته شده که، زاویه بالک افقی به عنوان ورودی سیستم و عمق زیردریایی خروجی تعریف می‌گردد.

به خاطر متغیر بودن نقطه کار جسم مورد نظر، استفاده از روش‌های کنترل کلاسیک جهت طراحی کنترل کنندهٔ مطلوب، برای این چنین سیستم‌هایی عملا مناسب نبوده و کارآیی لازم را ندارد.

روش‌های کنترل کلاسیک به دلیل خواص غیرخطی این سیستم و تغییر نقطه کار آن‌ها پاسخ مناسبی را نتیجه نمی‌دهند. بنابراین از روش‌های کنترل غیرخطی جهت طراحی کنترل کننده بهره گرفته شده است. که یکی از این روش‌ها، کنترل مدلغزشی می‌باشد.

در این روش از تابع لیاپانوف استفاده می شود به طوری که کنترل پسخور چنان طرح می‌گردد که براساس آن تابع لیاپانوف یا به طور مشخص مشتق تابع لیاپانوف دارای ویژگی خاصی باشد تا کرانمندی مسیرهای حالت و نیز همگرایی آنها به سمت یک نقطه یا مجموعه تعادل را تضمین نماید.

شبیه‌سازی و اثبات قضایای مربوطه نشان می‌دهد که کنترل کننده طراحی شده فوق بر خلاف کنترل کننده‌های کلاسیک مانند روش مدل‌سازی چندگانه، عمل ردیابی را بهتر انجام می‌دهند و در برابر عدم قطعیت‌های مدل، مقاوم می‌باشند. این موارد مزیت این کنترل کننده‌ها را نسبت به کنترل کننده‌های کلاسیک نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- بیان مسأله..... ۲

۱-۲- پیشینه تحقیق..... ۴

۱-۳- هدف تحقیق..... ۵

۱-۴- اهمیت تحقیق..... ۶

۱-۵- گفتارهای پایان نامه..... ۶

۲- فصل دوم: آشنایی با رفتار دینامیکی سامانه خودگردان زیرآبی و معادلات حرکت..... ۸

۲-۱- مقدمه..... ۹

۲-۲- سیستم های مختصات..... ۹

۲-۲-۱- سیستم مختصات جهانی..... ۹

۲-۲-۲- سیستم مختصات بدنه..... ۱۰

۲-۳- معادلات سینماتیک حرکت..... ۱۱

۲-۴- معادلات دینامیکی سیستم های جرم متغیر..... ۱۳

۲-۵- نیروها و گشتاورهای جرم اضافه..... ۱۶

۲-۵-۱- نیروها و گشتاورهای هیدرواستاتیکی..... ۱۷

۲-۵-۲- نیروها و گشتاورهای هیدرودینامیکی..... ۱۷

۲-۶- سطوح کنترلی..... ۱۹

۲-۷- نقش متغییرهای کنترلی از طریق بلوک..... ۲۱

۳- فصل سوم:کنترل غیرخطی..... ۲۳

۳-۱- مقدمه ۲۴

۳-۲- کنترل غیرخطی و مزایای آن ۲۴
۳-۲-۱- اصلاح سیستم های کنترل موجود ۲۴
۳-۲-۲- تحلیل غیرخطی های سخت ۲۵
۳-۲-۳- رفتار با عدم قطعیت های مدل ۲۵
۳-۲-۴- سادگی طراحی ۲۶

۳-۳- رفتار سیستم غیرخطی و عوامل غیر خطی ۲۷

۳-۴- روش لیاپانوف ۲۸
۳-۴-۱- تعریف پایداری لیاپانوف ۲۹

۳-۵- کنترل مد لغزشی ۳۴
۳-۵-۱- ساده سازی نمادی ۳۶
۳-۵-۲- ساخت فیلیپوف دینامیک های معادل ۴۱

۴- فصل چهارم: طراحی کنترل کننده غیرخطی ۴۳

۴-۱- مقدمه ۴۴

۴-۲- معادلات حاکم بر زیردریایی در راستای عمق ۴۴

۴-۳- طراحی کنترل کننده مبتنی بر روش غیر خطی کنترل مد لغزشی ۴۷

۴-۴- نتایج شبیه سازی کنترل عمق زیردریایی به روش مدلغزشی ۵۱
۴-۴-۱- بررسی پاسخ خروجی بدون اغتشاش d_q ۵۲
۴-۴-۲- بررسی پاسخ خروجی با مقادیر مختلف اغتشاش d_q ۵۳
۴-۴-۳- بررسی پاسخ به ازای مقادیر مختلف k ۵۷
۴-۴-۴- بررسی پاسخ به ازای مقادیر مختلف λ ۶۰

۵- فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۳

۵-۱- نتیجه گیری ۶۴

۵-۲- پیشنهاد کارهای آینده ۶۴

فهرست شکل ها

عنوان.....صفحه
شکل ۲-۱ مختصات اینرسی.....۱۰
شکل ۲-۲. سیستم های مختصات جهانی و بدنه [۱۳].....۱۱
شکل ۲-۳ نمایش موقعیت، زوایه و سرعت در دو مختصات [۱۳].....۱۲
شکل ۲-۴نماي صفحات كنترلي (الف) باللهاي افقي (ب) باللهاي عمودي [۲۰].....۲۰
شکل ۲-۵زوایای بالک‌ها [۱۳].....۲۰
شکل ۲-۶نحوه محاسبه ضرايب هيدروديناميكي.....۲۱
شکل ۳-۱محاسبه محدودیت های $\tilde{x}^{(i)}$ [۲۳].....۳۷
شکل ۳-۲ شرط لغزش[۲۳].....۳۹
شکل ۳-۳ پدیده چترینگ[۲۳].....۴۲
شکل ۴-۱ مقادیر اولیه پارامترهای مدل $R7$.....۴۵
شکل ۴-۲ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی در حالت بدون اغتشاش.....۵۲
شکل ۴-۳ پاسخ زیردریائی با استفاده از کنترل کننده خطی در حالت بدون اغتشاش.....۵۳
شکل ۴-۴ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی با اغتشاش ثابت.....۵۴
شکل ۴-۵ پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده خطی با اغتشاش ثابت.....۵۴
شکل ۴-۶ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای اغتشاش پله.....۵۵
شکل ۴-۷ پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده خطی با اغتشاش پله.....۵۵
شکل ۴-۸ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای اغتشاش سینوسی با فرکانس ۱ هرتز.....۵۶
شکل ۴-۹ پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده خطی به ازای اغتشاش سینوسی با فرکانس ۱ هرتز.....۵۷
شکل ۴-۱۰ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $k=1$...۵۸
شکل ۴-۱۱ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $k=1.1$.....۵۸
شکل ۴-۱۲ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $k=1.2$ ۵۹
شکل ۴-۱۳ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $k=1.5$ ۵۹

شکل ۴-۱۴ ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $\lambda = 0.5$ ۶۱
شکل ۴-۱۵ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $\lambda = 1$ ۶۱
شکل ۴-۱۶ورودی و پاسخ خروجی زیردریائی با استفاده ازکنترل کننده غیرخطی به ازای $\lambda = 1.1$ ۶۲

فصل اول: مقدمه

مقدمه

سامانه‌های خودگردان زیر آبی[1] ادواتی هستند که می‌توانند بدون حضور مستقیم نیروی انسانی در حین عملیات، وظیفه هدایت و کنترل خود را بر عـهده گیرند. امروزه این گونه سامانه‌ها کاربردهای فراوانی یافته‌اند و در بسیاری از موارد به جزء جدانشدنی کاربردهای نظامی و صنعتی بدل گشته‌اند، تحقیقات وسیعی بر روی این وسایل انجام شده است به طوری‌که تنها در دهه ۱۹۹۰، در بدو کار حدود ۳۰ نوع جسم خودگردان زیر آبی ساخته شد [۱].

اولین قدم در طراحی سیستم کنترل یک جسم متحرک، شناسایی مدل دینامیکی آن است. ولیکن به دلیل تغییر ضرائب هیدرودینامیکی با شرایط محیط همچنین وجود دشواری‌هایی که در اندازه‌گیری پاسخ این ضرائب وجود دارد، تهیه مدل دینامیکی برای یک جسم در زیر آب به مراتب پیچیده‌تر از وسایل زمینی و هوایی می‌باشد و دارای ویژگی‌های خاص خود می‌باشد. در این پایان نامه ابتدا معادلات دینامیکی سیستم جهت کنترل زیردریایی در راستای عمق ساده شده است، سپس کنترل عمق زیر دریایی با روش غیرخطی مدلغزشی[2] انجام شده است. در نهایت بهبود پاسخ خروجی زیردریایی با استفاده از کنترل کننده غیرخطی نسبت به کنترلر خطی نشان داده می‌شود.

۱-۱- بیان مسأله

یکی از مسائل مهم در رابطه با سامانه‌های خودگردان زیر آبی، بحث طراحی کنترل‌کننده مناسب جهت کنترل وضعیت حرکت جسمی که دارای دینامیک به شدت غیرخطی است، می‌باشد. سیال نزدیک به جسم تمایل به شتاب گرفتن با جسم را دارد، لذا جرم اضافی[3] به سیستم تحمیل می‌نماید در صورتی‌که در اجسام پرنده به‌دلیل کم بودن چگالی هوا چنین اثری ناچیز است. همچنین امکان تغییر زوایای حمله در آب کمتر و اثرات ترکیبی نیروها و گشتاورها در محورهای طولی، عرضی و عمودی بر یکدیگر بیشتر است. از سوی دیگر، تعامل بین سامانه و محیط غیرقابل پیش‌بینی است، لذا مدل استخراجی از معادلات فیزیکی، همواره

---

[1] AUV Autonomous Underwater Vehicles
[2] Sliding Mode
[3] Added Mass

با عدم قطعیت همراه می‌باشد. این عدم قطعیت‌ها ممکن است طراحی کنترل کننده مقاوم برای سامانه را با دشواری همراه کند که در این صورت لازم است پارامترهایی که دارای عدم قطعیت هستند با دقت بیشتری شناسایی شوند.

گاهی مسأله بهبود عملکرد سیستم کنترل مطرح می‌شود اما ممکن است معادلات حاکم بر این سامانه به هر دلیل معلوم نباشد (مثلاً به‌علت مجهول بودن بعضی از پارامترهای معادلات تراست پروانه یا ماتریس ممان‌های جسم و امکان پذیر نبودن یا مشکل بودن اندازه‌گیری این پارامترها)، بنابراین نمی‌توان کنترل کننده جدید را از روش‌های مبتنی بر استفاده از معادلات حاکم بر سامانه طراحی نمود و باید به نحو دیگر مدلی از سامانه استخراج شود. یک راه حل مناسب جهت فائق آمدن بر عدم قطعیت، استفاده از روش‌های طراحی کنترل کننده‌های غیرخطی است. از آن‌جا که سامانـــــه‌های خودگـردان دارای دینامیـک به شدت غیرخطی می باشند، به‌علت نوسان ضرائب با شرایط محیط تخمین مدل دقیق برای این سامانه‌ها با داشتن دینامیک و ضرائب هیدرودینامیکی وسیله سخت می‌باشد. بنابراین کنترل کننده‌های کلاسیک مانند کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتق‌گیر[1] و کنترل کننده‌های چندگانه نمی‌توانند با سرعت به مقابله با این مشکلات بپردازند و کارآیی مناسب ارائه نمایند. لذا به این دلیل استفاده از کنترل کننده‌های غیر خطی مطلوب‌تر می‌باشد.

در این پایان‌نامه مدل دینامیکی سامانه خود گردان دارای ساختاری متقارن است، که باعث می شود مختصات بدنه و مختصات شناوری بر هم منطبق باشند. زاویه بالک به عنوان ورودی کنترل و عمق زیر دریایی، به عنوان خروجی کنترل می‌باشد. گرچه سیستم کنترل سامانه‌های خودگردان، حلقه بسته و دارای عملکردی پایدار است اما هدف نهایی، طراحی مجدد سیستم کنترل و تنظیم نهایی آن جهت بهبود عملکرد سامانه می‌باشد. لذا از شیوه کنترلی، مدلغزشی جهت طراحی کنترل‌کننده غیرخطی استفاده می‌شود و نتایج آن با روش خطی مقایسه خواهد شد.

[1] PID Contoroller

۱-۲- پیشینه تحقیق

در سال ۱۹۸۵ میلادی اسلاتین و یورگر روش کنترلی حالت مدلغزشی را در کنترل مسیر حرکت یک جسم زیر آبی به کار بردند. آنها در مورد اثر عدم قطعیت ضرایب هیدرودینامیکی نیز تحقیقاتی انجام دادند [۲]. گوهن در سال ۱۹۹۰ کنترلرهای چند متغیره خود تنظیم را که در سیستم‌های خودگردان مورد استفاده قرار می‌گرفت، جهت تنظیم موقعیت و تثبیت یک جسم زیر آبی به کار برد، تا بر عدم قطعیت‌های مدل غلبه کند [۳]. ناکامورا و ساوانت در سال ۱۹۹۲یک روش کنترل غیرخطی را با استفاده از معادلات حرکت، جهت کنترل مسیر در راستای حرکات رو به جلو و عقب، چرخش، پیچش وگردش به کار بردند، دراین روش آن‌ها بدون در نظر گرفتن دینامیک سیستم، از طبیعت غیر هولونرم آن استفاده کردند[۴]. لینارد و هلی در سال ۱۹۹۳ از روش کنترل حالت مدلغزشی استفاده نمودند. آن‌ها سیستم را به یک سری زیر سیستم تقسیم‌بندی کرده و با دسته بندی معادلات در هر قسمت، عملیات مختلف از قبیل کنترل سرعت حرکت جسم زیر آبی و کنترل موقعیت را انجام دادند [۵]. یو در سال ۱۹۹۴ یک سیستم کنترلی از نوع شبکه عصبی با یک الگوریتم تطبیقی برگشتی را در کنترل یک جسم زیر آبی به کار برد. ویژگی خاص این کنترلر این بود که سیستم به طور مستقیم و بی‌درنگ و بدون نیاز به یک مدل صریح دینامیکی خود را تنظیم می کرد [۶]. در سال ۱۹۹۴ دبیتو یک کنترلر فازی با چهارده قانون را، در کنترل عمق برای یک سامانه خودگردان زیرآبی به کار برد[۷]. روش کنترل تطبیقی از نوع هیبرید بر روی یک سامانه خودگردان زیرآبی توسط یوجی به کار برده شد. سیستم در حوزه پیوسته شبیه سازی شد در حالی‌که قسمت‌های کنترلی و شناسایی گسسته بودند [۸].

چویی و یو در سال ۱۹۹۶ یک سری نتایج تجربی را در یک سیستم هوشمند ناوبری با استفاده از روشی که در سال ۱۹۹۴ توسط یو ارائه شده بود به دست آوردند [۹]. در سال ۱۹۹۸ ایشی یک سیستم کنترلی که بر پایه شبکه عصبی طراحی شده بود را با نام سیستم کنترل شبکه عصبی خودتنظیم بر روی یک سامانه خودگردان زیرآبی به نام تویین برگر امتحان کرد و کارایی آن را در کنترل زاویه سر مورد مطالعه قرار داد. وی در این کار از یک روش تطبیقی سریع که یادگیری تخیلی نامیده می‌شود بهره برد تا پروسه زمان بر تنظیم

سیستم هوشمند ناوبری را بهبود بخشد [۱۰]. تاسکاماتو در سال ۱۹۹۹ مدلی را برای کنترل سرعت و موقعیت یک سیستم با یک تراستر ارائه داد، وی از روش‌های شبکه عصبی، فازی و کنترل تطبیقی بهره برد. در پیاده سازی شبکه عصبی از یک ریزپردازنده ساخت شرکت اینتل، به نام شبکه عصبی مصنوعی قابل یادگیری الکتریکی اینتل، استفاده شد[۱۱]. هی آلی و لینارد در سال ۲۰۰۱ از روش کنترل مدلغزشی جهت کنترل حرکت شناوری برای سامانه خودگردان زیرآبی استفاده نمودند[۱۲]. جی هونگ، لی پان موک و لی در سال۲۰۰۵ پس از ساده سازی معادلات سامانه خودگردان زیر آبی با شش درجه آزادی، کنترل عمق زیردریایی را با استفاده از کنترلر غیرخطی تطبیقی انجام دادند[۱۳]. درکشور ما نیز تحقیقات جسته گریخته‌ای روی این سامانه‌ها انجام شده است. در پژوهشکده مرکز تحقیقات مهندسی فارس نیز تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است. پیشنه این کار در آن مرکز به سال ۱۳۷۰ باز می‌گردد که معادلات حرکت یک سامانه جرم ثابت استخراج شد[۱۴]. کنترل خطی با تکنولوژی آنالوگ و سپس دیجیتال در سه چرخه کنترل سمت، عمق و چرخش برای آن طراحی، ساخته و به صورت عملی تست شد. بعدها با توجه به تعریف جدیدی که ازسامانه به‌عمل آمد، سامانه‌های خودگردان زیرآبی جرم متغیر نیز مدنظر قرار گرفت. و طراحی کنترل خطی برای آن انجام شد. در سال ۱۳۸۳ خانم بینازاده روش مکان هندسی ریشه‌ها، روش فیدبک و روش مدل‌های چندگانه را جهت کنترل و هـدایت زیردریایـی به‌کار برد و ایـن دو روش را با هم مقایسه نمود [۱۵]. در سال ۱۳۸۵ مزدا معطری سیستم کنترل هوشمند جهت کنترل زیر دریایی $R7$را به کار برد [۱۶]. در سال ۱۳۸۷ کنترل خطی توسط الگوریتم ژنتیک توسط آقای شمس الدینی و همکارانش طراحی گردید [۱۷]. موارد ذکر شده ازجمله کارهائی است که روی سامانه خودگردان زیرآبی انجام پذیرفته است.

۱-۳- هدف تحقیق

در این پایان‌نامه هدف آن است که مطالعه خود را بر روی طراحی کنترلر مناسب برای یک راکت زیر آبی با جرم متغیر به نام $R7$ معطوف شود. به دلیل دقیق نبودن مدل و عدم قطعیت‌های موجود، از کنترل‌کننده غیرخطی بهره گرفته خواهد شد. لذا جهت طراحی سیستم کنترل غیر خطی در راستای عمق، از روش کنترل مدلغزشی استفاده می‌شود و در انتها

عملکرد این روش کنترل غیرخطی با کنترل‌کننده خطی مقایسه می‌گردد و بهبود رفتار سامانه نشان داده می‌شود.

۱-۴- اهمیت تحقیق

با پیشرفت سریع دانش رباتیک و کاربردهای مختلف آن در صنایع و تکنولوژی، تحقیقات وسیع در زمینه طراحی، ساخت و کنترل زیردریایی رو به فزونی گذاشته است. مطالعه در مورد ادوات زیر دریایی به دلیل اهمیت کاوش در اعماق اقیانوس و استفاده از منابع آن مورد توجه اکثر محققین قرار گرفته است. از کاربرد ربات‌های زیردریایی می‌توان به اکتشافات دریایی، علوم نظامی و ... اشاره نمود.

به دلیل کاربـردهای فراوان زیردریایی‌ها، همواره این ربات‌ها در تکامل هستند. لذا استخراج مدل و به‌دست آوردن پارامترهای آن با بهترین دقت از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. یکی از چالش‌های اصلی در این زمینه طراحی کنترلر مناسب برای این دسته از ربات‌ها می‌باشد. بنا به هدف طراحی، روش‌های مختلفی برای مسائل کنترلی وجود دارد. چنانچه در مدل عدم قطعیت موجود باشد، بحث حساسیت و مقاوم بودن مطرح می‌گردد. اهمیت طراحی کنترلری که توانایی مقابله با محدوده وسیعی از عدم قطعیت‌های مدل را داشته باشد موجب بروز کنترل مقاوم می‌گردد. کنترلر مد لغزشی از جمله این کنترلرها می‌باشد. در این پایان‌نامه از خصوصیات این روش برای دستیابی به پاسخ مطلوب بهره برده‌ایم.

۱-۵- گفتارهای پایان نامه

در این پایان نامه، مدل یک جسم زیر آبی متحرک با شش درجه آزادی ارائه شده است. نیروها و گشتاروها تعریف شده و نقش آن‌ها در دینامیک حرکتی جسم مورد بررسی قرار گرفته است. بنا بر ماهیت غیرخطی زیر دریائی، از روش‌های غیرخطی، جهت طراحی کنترلر بهره گرفته شده است. مطالب این پایان نامه به ترتیب زیر می‌باشد:

در فصل دوم معادلات حاکم برای یک راکت زیرآبی با جرم متغیر بیان شده است. تعاریف مربوط به نیروها و گشتاورهای حاکم بر جسم، سطوح کنترل حرکت و نقش هر یک به تفصیل بررسی شده است.

در فصل سوم ابتدا کنترل غیر خطی و مزایای آن، سپس روش لیاپانوف که یکی از ارکان طراحی کنترل غیرخطی می‌باشد، بیان شده است، در ادامه هم روش کنترل غیرخطی لغزشی شرح داده شده است.

در فصل چهارم ابتدا ساده سازی معادلات زیردریایی در راستای عمق جهت طراحی کنترل‌کننده غیرخطی آورده شده است، سپس طراحی کنترلر غیرخطی از روش کنترل غیرخطی لغزشی انجام گرفته و در هرقسمت نتایج شبیه‌سازی ارائه شده است.

در فصل پنجم پاسخ خروجی زیر دریایی بر اساس کنترل غیرخطی و کنترل خطی مقایسه خواهد شد و دلایل بهبود پاسخ بیان می‌شود. در نهایت پیشنهاداتی جهت کارهای آینده ارائه خواهد شد.

۲- فصل دوم: آشنایی با رفتار دینامیکی سامانه خودگردان زیرآبی و معادلات حرکت

۲-۱- مقدمه

در ابتدا دستگاه‌های مختصات اینرسی و بدنه جهت توضیح نیروها، گشتاورها و معادلات حاکم بر سامانه خودگران معرفی خواهد شد، سپس عملکرد سطوح کنترلی بیان می‌شود.

۲-۲- سیستم های مختصات

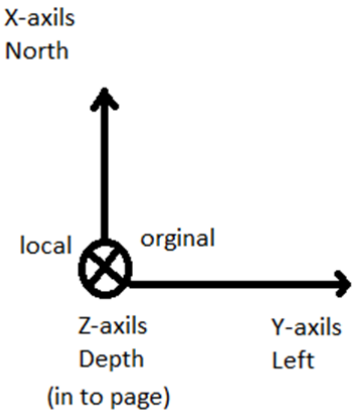
جهت بررسی مسائل فیزیکی سامانه خودگردان، تعریف سیستم‌های مختصات ضروری می‌باشد. دو سیستم مختصات با نام‌های مختصات جهانی[۱] و مختصات بدنه[۲] به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

۲-۲-۱- سیستم مختصات جهانی

سیستم مختصات جهانی نسبت به سطح زمین یا اینرسی[۳] تعریف می‌شود و به همین دلیل مختصات زمینی یا اینرسی نیز نامیده می‌شود. این دستگاه مختصات از سه محور عمود بر هم تشکیل شده است که مرکز آن بر سطح آب قرار داده می‌شود. محور x در جهت شمال، y در جهت شرق و z در جهت عمق قرار می‌گیرد. این سیستم مختصات راستگرد بوده و به صورت استاندارد در وسایل هوایی و دریایی استفاده می‌شود. شکل ۲-۱ شمائی از مختصات اینرسی را نشان می‌دهد.

---

[1] World Coordinates
[2] Body Coordinates
3.Earth or Inertial Coordinates



شکل ۲-۱ مختصات اینرسی

۲-۲-۲- سیستم مختصات بدنه

سیستم مختصات متصل به بدنه وسیله مورد بررسی تحت عنوان سیستم مختصات در نظر گرفته می شود که شامل سه محور، در جهات طولی به سمت جلو، عرضی به سمت راست و عمودی به سمت زیر وسیله در حالت تراز افقی، می‌باشد. مرکزاین سیستم برای اجسام زیر آبی در مرکز محور طولی قرار می‌گیرد که نزدیک به مرکز شناوری[۱] وسیله است. زیرا این نقطه در کل حرکت نسبت به بدنه ثابت است و از طرفی این نقطه به‌عنوان مرکز سیستم بدنه برای وسایل زیر آب مرسوم است، در صورتی‌که برای اجسام پرنده مرکز جرم[۲] به عنوان مرکز مرجع حرکت در نظر گرفته می‌شود [۱]. البته توجه شود که در این راکت مرکز جرم متغیر است. شکل ۲-۲ موقعیت مرکز شناوری، مرکز جرم و مختصات بدنه را نشان می دهد. در یک وسیله متحرک زیر آب ممکن است مرکز شناوری بر مرکز جرم وسیله منطبق نباشد، اما در طراحی وسیله متحرک زیر آب معمولاً سعی می‌گردد جهت کم شدن ممان‌های حاصل از تقابل بدنه، این دو مرکز به یکدیگر نزدیک باشند.

---

[1] Center of Bouancyy(CB)
[2] *Center of Gravity(CG)*