

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## چکیده

امواج شدید و نوسانات دریایی در دریا اثرات زیادی بر روی ابزار، تجهیزات و خدمه کشتی دارد. سکوی ربات استوارت به عنوان سکویی که توانایی اعمال سه درجه آزادی حرکت انتقالی و سه درجه آزادی حرکت دورانی دارد، و برای جداسازی رفتار بخش متحرک و محموله روی آن از حرکات وارده به سکوی پایین مورد استفاده قرار می گیرد. برای این مکانیزم با استفاده از جدول جستجو، ساخت کنترل کننده ی عصبی فازی نوع ۲ انجام می شود و حرکت سیلندر برای حرکت مختلف کشتی توسط کنترل کننده تعیین می گردد. این کنترل کننده، یک کنترل کننده فازی نوع ۲ می باشد که قواعد، توابع عضویت و مقادیر آن توسط روش عصبی تعیین شده است. این مکانیزم می تواند یک راه حل برای ایجاد یک سطح پایدار برای ابزار دقیق یا تجهیزات در کشتی ارائه دهد.

مجموعه فازی نوع ۱ روشی کارآمد را برای نشان دادن عدم قطعیت و ابهام ایجاد کرد و بعد از آن کاربرد مجموعه های فازی در سیستم های رایانه ای و کنترلی فراگیر شد. ولی سیستم های فازی به علت دارابودن توابع عضویت با درجات تعلق دقیق، توانایی محدودی در کاهش اثر عدم قطعیت در قوانین فازی دارند.

یکی از مهمترین نظریه ها در محیط هایی با عدم قطعیت، مجموعه های فازی نوع ۲ و توسعه یافتگی آن است. در این روش به جای اعمال یک سطح از تعلق دقیق، یک بازه از سطح تعلق مورد نظر در نظر گرفته می شود و این کار منجر به کاهش اثر عدم قطعیت می گردد.

در این پایان نامه توسط روشهای عصبی و فازی به یک کنترل کننده فازی نوع ۲ دست می یابیم که با استفاده از آن و ربات استوارت یک سکوی متعادل پایدار ایجاد می نماییم.

**واژه های کلیدی:** ربات استوارت، کنترل کننده فازی نوع ۱، کنترل کننده فازی نوع ۲، کنترل کننده

عصبی، کنترل کننده عصبی فازی نوع ۱، کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲

## فهرست مطالب

۱	فصل ۱ مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ هدف از انجام پایان نامه
۳	۳-۱ ساختار پایان نامه
۴	فصل ۲: مروری بر منابع
۵	۱-۲ مقدمه
۵	۲-۲ معرفی ربات های موازی
۷	۱۲-۲ ربات دلتا
۹	۲-۲-۲ ربات استوارت
۱۳	۳-۲ مدل ریاضی ربات استوارت
۱۴	۱-۳-۲ تحلیل موقعیت
۱۶	۲-۳-۲ تجزیه و تحلیل سرعت
۱۷	۳-۳-۲ تجزیه و تحلیل شتاب
۱۸	۴-۳-۲ پیوند ماتریس های ژاکوبین
۲۰	۴-۲ نمونه هایی از کارهای صورت گرفته برای سطح متعادل
۲۱	۵-۲ جمع بندی
۲۲	فصل ۳: روش پیشنهادی
۲۳	۱-۳ مقدمه
۲۳	۲-۳ علت انتخاب روش
۲۳	۳-۳ صورت مسئله
۲۴	۴-۳ هدف
۲۷	۵-۳ جزئیات اعمال ورودی
۲۷	۱-۵-۳ فازی نوع ۱
۲۷	۲-۵-۳ فازی نوع ۲
۲۸	۳-۵-۳ نقش شبکه عصبی در کنترل کننده
۳۲	۶-۳ جزئیات کنترل کننده
۳۳	۱-۶-۳ بارگیری داده ها
۳۳	۲-۶-۳ تولید ساختار FIS اولیه
۳۴	۳-۶-۳ آموزش FIS
۳۵	۴-۶-۳ ایجاد کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲
۳۷	۷-۳ جمع بندی

## فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها

۳۸

- ۳۹ ..... ۱-۴ مقدمه
- ۳۹ ..... ۲-۴ مقایسه خروجی در زمانهای مختلف
- ۴۰ ..... ۳-۴ موقعیت پایه ها در مسیر ناهموار
- ۴۶ ..... ۴-۴ مقایسه با سایر روشها
- ۴۸ ..... ۵-۴ جمع بندی

## فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادها

۴۹

- ۵۰ ..... ۱-۵ مقدمه
- ۵۰ ..... ۲-۵ محتوا
- ۵۰ ..... ۱-۲-۵ جمع بندی
- ۵۱ ..... ۲-۲-۵ نوآوری
- ۵۱ ..... ۳-۵ پیشنهادها

۵۲

مراجع

۵۸

پیوستها

## فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲) : نمونه ای از یک ربات سریال ..... ۶
- شکل (۲-۲) : یک نمونه ربات موازی و ربات سریال ..... ۶
- شکل (۳-۲) : یک نمونه ربات استوارت ..... ۷
- شکل (۴-۲) : یک نمونه ربات دلتا ..... ۷
- شکل (۵-۲) : یک نمونه چاپگر سه بعدی دلتا ..... ۹
- شکل (۶-۲) : نمونه ای از یک ربات استوارت ..... ۱۰
- شکل (۷-۲) : تلسکوپ رادیویی بر روی یک هگزاپود ..... ۱۱
- شکل (۸-۲) : چند نمونه شبیه ساز پرواز ..... ۱۲
- شکل (۹-۲) : نمودار مختصات سکوی استوارت ..... ۱۴
- شکل (۱۰-۲) : زاویه اویلر یک بازو ..... ۱۵
- شکل (۱۱-۲) : نمودار آزاد بدنه بازوی معمولی ..... ۱۵
- شکل (۱-۳) : نمودار مختصات سه بعدی ..... ۲۵
- شکل (۲-۳) : حالات مختلف ربات استوارت، با افزایش طول یک پایه ..... ۲۵
- شکل (۳-۳) : حالات مختلف ربات استوارت، با افزایش طول دو پایه ..... ۲۶
- شکل (۴-۳) : بلوک دیاگرام نحوه ایجاد کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲ ..... ۲۹
- شکل (۵-۳) : بلوک دیاگرام کنترلی ربات استوارت با کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲ ..... ۲۹
- شکل (۶-۳) : بلوک دیاگرام کنترل کننده ربات استوارت ..... ۲۹
- شکل (۷-۳) : بلوک دیاگرام کلی کنترل کننده ربات استوارت ..... ۳۱
- شکل (۸-۳) : فضای کاری کنترل کننده فازی عصبی نوع ۱ ..... ۳۲
- شکل (۹-۳) : ساختار کنترل کننده فازی عصبی نوع ۱ ..... ۳۴
- شکل (۱-۴) : پیاده سازی حالات مختلف در ربات با استفاده از کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲ ..... ۴۰
- شکل (۲-۴) : نمودار ورودی در حالت مسیر نا پایدار ..... ۴۱
- شکل (۳-۴) : نمودار موقعیت پایه های ربات استوارت نیز در حالات مختلف ..... ۴۱
- شکل (۴-۴) : نمودار موقعیت یکی از پایه های ربات استوارت در حالات مختلف ..... ۴۲
- شکل (۵-۴) : نمودار خطای پایه ها ..... ۴۲
- شکل (۶-۴) : نمودار ورودی همراه با اغتشاش ربات استوارت ..... ۴۳
- شکل (۷-۴) : نمودار موقعیت پایه های ربات استوارت در حالت مواجهه با اغتشاش ..... ۴۴
- شکل (۸-۴) : نمودار موقعیت یکی از پایه های ربات استوارت در حالت مواجهه با اغتشاش ..... ۴۴
- شکل (۹-۴) : نمودار خطای موقعیت پایه های ربات استوارت در حالت مواجهه با اغتشاش ..... ۴۵
- شکل (۱۰-۴) : نمودار خطای موقعیت یکی از پایه ها در حالت مواجهه با اغتشاش ..... ۴۵
- شکل (۱۱-۴) : نمودار ورودی حرکتی ربات استوارت ..... ۴۶

- شکل (۴-۱۲) : نمودار ورودی دورانی ربات استوارت.....۴۶
- شکل (۴-۱۳) : نمودار خطای موقعیت ارتفاع سکوی ربات استوارت در سه روش مقایسه شده ... ۴۷
- شکل (۴-۱۴) : نمودار خطای موقعیت ارتفاع سکوی ربات استوارت در روش پیشنهادی .....۴۷

## فهرست جدول ها

- جدول (۱-۳) : جدول قواعد فازی برای تغییر موقعیت های مسیر و سکوی ربات استوارت ..... ۳۱
- جدول (۲-۳) : جدول مقادیر ورودی و قواعد کنترل کننده پایه ها ..... ۳۵
- جدول (۱-۴) : چند نمونه داده از جدول عصبی فازی بدست آمده ..... ۳۹

## فهرست نمادها

$A_i$	نقطه اتصال مفصل به سکوی پایین
$B_i$	نقطه اتصال مفصل به سکوی بالا
$\phi_x$	چرخش حول محور ثابت x
$\phi_y$	چرخش حول محور ثابت y
$\phi_z$	چرخش حول محور ثابت z
$\theta_i$	چرخش پایه i ام حول محور دوم
${}^A R_b$	ماتریس چرخش
$\omega_p$	سرعت زاویه ای سکوی در حال حرکت
$\dot{\omega}$	شتاب زاویه ای سکوی در حال حرکت
$V_{bi}$	سرعت مرکز مفصل کروی
$\dot{V}_{bi}$	شتاب مرکز مفصل کروی
${}^i \dot{\omega}_i$	شتاب زاویه ای بازو
$e_1$	فاصله ای بین $A_i$ و مرکز جرم سیلندر i ام
$e_2$	فاصله بین $B_i$ و مرکز جرم پیستون i ام
$J_p$	ماتریس ژاکوبین تغییرات
${}^i J_{2i}$	ماتریس ژاکوبین پیوند <sup>1</sup>
$d_i$	طول بازوی i ام

---

<sup>1</sup> link Jacobian matrices



# فصل ۱

مقدمه

## ۱-۱ مقدمه

حمل و نقل دریایی مهم ترین شکل حمل و نقل بین المللی را تشکیل می دهد. اهمیت نقشی را که حمل و نقل دریایی در تجارت جهان دارد می توان با تکیه بر این واقعیت که بیش از ۹۰٪ حمل و نقل دنیای صنعتی از طریق دریا صورت می گیرد درک نمود. اما مشکلات و سختی های این نوع جا به جایی نیز انکار ناپذیر است. از عمده ترین مشکلات این نوع حمل و نقل را می توان نوسانات ناشی از امواج دریایی نام برد که تأثیر بسزایی بر بسیاری از موارد مانند تجهیزات و وسایل الکترونیکی و حساس، حمل کالاهای حساس به نوسان و حرکت، جرثقیل های کشتی جهت تخلیه بار در بنادر کوچک و یا جابجایی بار بین دو کشتی و ... دارد. علاوه بر آن حرکت بر روی خشکی نیز دارای ناپایداری هایی می باشد که خود به نوعی می تواند مخل در حمل و نقل اینگونه وسایل حساس شود. در این پایان نامه قصد داریم تا با ارائه روشی کنترلی به جبران اینگونه ناپایداری ها پردازیم و یک سطح پایدار را ایجاد نمایم.

## ۲-۱ هدف از انجام پایان نامه

هدف ما در این پایان نامه به دو بخش کلی تقسیم می شود. ابتدا آنکه با استفاده از قواعد عصبی و جدول داده و همچنین ترکیب آن با روش فازی نوع ۲ به کنترل کننده ای هوشمند به عنوان کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲ دست یابیم.

دوم اینکه که سعی داریم تا سکوی استوارت را به عنوان یک مکانیزم فعال در جبران حرکات شناورها مورد استفاده قرار دهیم. روش ما بدین صورت است که تا سطح متحرک ربات استوارت را به یک سطح متعادل و پایدار مبدل سازیم تا معضلات و مشکلات ناشی از حمل و نقل دریایی به مراتب کمتر گردد.

برای این منظور به شناخت کنترل کننده فازی نوع ۱، کنترل کننده فازی نوع ۲ و کنترل کننده عصبی و در نهایت طراحی کنترل کننده ای حاصل از تلفیق آنها و استفاده از آن به عنوان کنترل کننده ربات استوارت نیازمندیم که در این پایان نامه به آنها می پردازیم.

## ۱-۳ ساختار پایان نامه

در فصل دوم به معرفی انواع ربات های موازی و ربات استوارت می پردازیم و مدل ریاضی ربات استوارت را نیز بیان می کنیم و همچنین به بررسی و طبقه بندی یافته های تحقیقات دیگر محققان در سطح دنیا، اشاره می کنیم. سپس در فصل سوم به چگونگی حرکت ربات استوارت می پردازیم و از نقش کنترل کننده عصبی در ساخت کنترل کننده عصبی فازی نوع ۲ و نحوه عملکرد این کنترل کننده سخن می گوییم. در فصل چهارم نیز به نتایج و شبیه سازی ها در حالات مختلف پرداخته و نحوه عملکرد را توضیح می دهیم. در پایان نیز نتیجه گیری و پیشنهادات برای کارهای آینده را بیان می داریم.

## فصل ۲

مروری بر منابع

## ۲-۱ مقدمه

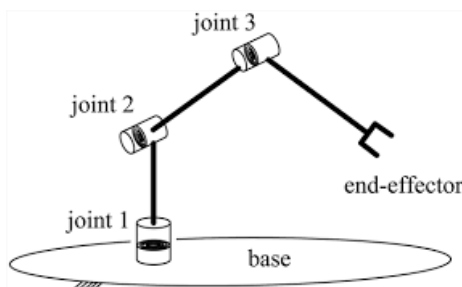
در این فصل به طور خلاصه به معرفی انواع ربات موازی و ربات استوارت، مدل ریاضی ربات استوارت، روشهای توانایی به کار گیری در کنترل ربات استوارت، بررسی و طبقه‌بندی یافته‌های تحقیقات دیگر محققان در سطح دنیا، مقالات و مصارف کاربردی به کار گرفته شده آن اشاره می‌کنیم.

## ۲-۲ معرفی ربات های موازی

یک کنترل کننده موازی یک سیستم مکانیکی است که از چندین زنجیره سریال کنترل شده با کامپیوتر استفاده می‌کند تا از یک سکو یا یک حالت پایدار پشتیبانی کند. شاید بهترین کنترل کننده موازی شناخته شده از شش سنسور خطی ایجاد شود که از یک محرک متحرک برای دستگاه‌هایی مانند شبیه ساز پرواز استفاده می‌کند. این دستگاه یک پلت فرم استوارت یا پلت فرم گاف استوارت است که آنها برای اولین بار از طراحی آنها استفاده کرده و پس از آن به رسمیت شناخته شده است [۱۸]. یک کنترل کننده موازی طوری طراحی شده است که هر زنجیره معمولاً کوتاه و ساده باشد و بنابراین می‌تواند در برابر جنبش ناخواسته، در مقایسه با یک کنترل کننده سری مقاوم تر باشد. خطاها در موقعیت یک زنجیره در مقایسه با دیگر زنجیره‌ها، به جای تجمیع، میانگین در نظر گرفته می‌شود. هر یک از محرک‌ها باید در محدوده آزادی خود مانند یک ربات سریال حرکت کند؛ با این حال در ربات موازی، انعطاف پذیری خارج از محور یک مفصل نیز با تأثیر زنجیره‌های دیگر محدود می‌شود. این سفتی<sup>۱</sup> حلقه بسته است که باعث می‌شود کنترل کننده موازی کلی بر خلاف زنجیره سری که سفتی آن به طور مداوم با اجزای بیشتر کاهش می‌یابد نسبت به اجزای آن سخت تر باشد. یکی دیگر از مزایای کنترل کننده موازی این است که می‌توان عملگرهای قوی در یک پلت فرم پایه مرکزی نصب کرد و حرکت بازو به تنهایی از طریق محورها و اتصالات انجام شود. این کاهش در جرم در امتداد بازو اجازه ساخت یک ساختار سبک تر را می‌دهد، به این ترتیب، محرک‌های سبک تر و حرکات سریع تر می‌شود. این تمرکز توده همچنین باعث کاهش عمق مبهم روبات می‌شود، که می‌تواند یک مزیت برای ربات متحرک یا پیاده رو باشد. تمام این ویژگی‌ها منجر به دستکاری با طیف گسترده‌ای از قابلیت

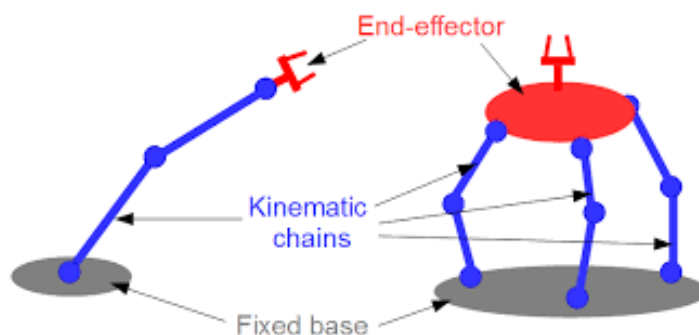
<sup>۱</sup> Stiffness

حرکتی می شود. همین طور سرعت عمل آنها در مقایسه با قدرت که اغلب توسط سختی محدود می شود، می توانند در مقایسه با کنترل کننده های سریال، سریع تر عمل کنند.



شکل (۱-۲): نمونه ای از یک ربات سریال

در یک کنترل کننده سریال دقیق، بین دقت، پیچیدگی، وزن و هزینه توازن برقرار است. از سوی دیگر، در استفاده از کنترل کننده موازی، با اینکه کنترل کننده جرم کوچکی را داراست، استحکام بالایی دارد (با توجه به وزن باری که کنترل می شود). این استحکام، دقت بالا و سرعت بالا در حرکات، انگیزه لازم را در استفاده از ربات موازی در شبیه ساز پرواز (سرعت بالا با توده های نسبتا بزرگ) و لنز های الکترواستاتیک یا مغناطیسی در شتاب دهنده ذرات (دقت بالا در موقعیت توده های بزرگ) را در اختیار ما قرار می دهد.



شکل (۲-۲): نمونه ربات موازی و ربات سریال

نقص کنترل کننده های موازی در مقایسه با کنترل کننده های سریال، فضای کار محدود آنهاست. همانطور که کنترل کننده های سری دارای محدودیت های فضای کاری و هندسی و طراحی مکانیکی را دارا است (برخورد بین حداکثر و حداقل طول پاها). در فضای کاری نیز محدودیت وجود دارد، بدین صورت که موقعیت هایی وجود دارند که در آن طول پایه ها برای جا به جایی در آن موقعیت بی نهایت کوچکتر است. نقص دیگری از کنترل کننده موازی رفتار غیرخطی آنهاست: فرمان مورد نیاز برای گرفتن یک حرکت خطی یا دایره ای به طور چشمگیری بستگی به موقعیت در فضای کاری دارد و در طول حرکت به طور خطی تغییر نمی کند.

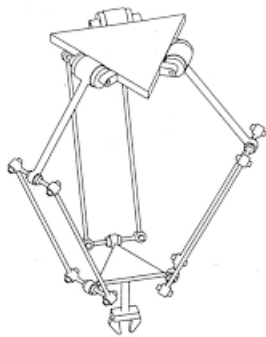
عمده کاربرد های صنعتی این دستگاه ها عبارتند از:

- ۱- شبیه ساز پرواز
- ۲- شبیه سازهای خودرو
- ۳- در فرآیندهای کاری
- ۴- فوتونیک / تراز فیبر نوری [۱۹]

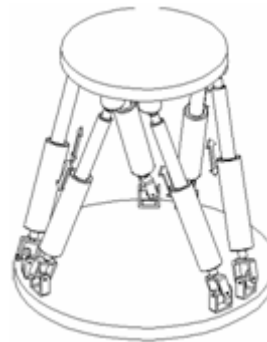
آنها در کاربرد های دیگر نیز محبوب تر شده اند، مثلاً:

- در مونتاژ PCBs به خاطر عواملی چون سرعت بالا، دقت بالای موقعیت با فضای کاری محدود.
  - در پایان سازه کنترل کننده سری بزرگتر اما کندتر، به عنوان میکرو کنترل کننده.
  - در ماشین آلات با سرعت و دقت بالا به عنوان دستگاه های برش.
- روبات های موازی معمولاً در فضای کاری محدود هستند. برای مثال، آنها معمولاً نمی توانند از موانع رد شوند. محاسبات مربوط به انجام جابجایی دلخواه (سینماتیک رو به جلو) نیز معمولاً دشوار است و می تواند به راه حل های متعدد منجر شود.

دو نمونه از روبات های معمول موازی عبارتند از پلت فرم استوارت و ربات دلتا:



شکل (۲-۴): یک نمونه ربات دلتا



شکل (۲-۳): یک نمونه ربات استوارت

## ۲-۲-۱ ربات دلتا

روبات دلتا یک نوع روبات موازی است [۲۰]. این ربات شامل سه بازوی متصل به مفصل در پایه است. ویژگی اصلی در طراحی این نوع ربات آن است که استفاده از برنامه های موازی در بازوها، جهت گیری اثر سازه را حفظ می کند. در مقابل، یک سکوی استوارت می تواند جهت گیری اثر سازه آن را تغییر دهد [۲۱]. ربات های دلتا در جمع آوری و بسته بندی در کارخانجات کاربرد زیادی دارند، زیرا می توانند بسیار سریع باشند، برخی از آنها تا ۳۰۰ مرتبه در هر دقیقه اجرا می شوند [۲۲].

ربات دلتا (یک روبات موازی) در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط یک تیم تحقیقاتی به رهبری پروفیسور ریموند کلوئل در سوئیس اختراع شد. هدف از این نوع جدید از روبات در آن زمان، یک نیاز صنعتی برای جابجایی اشیای سبک و کوچک با سرعت بسیار بالا بود. در سال ۱۹۸۷ شرکت Demarex سوئیس یک مجوز برای روبات دلتا خرید و تولید روباتهای دلتا را برای صنعت بسته بندی آغاز کرد. در سال ۱۹۹۱، ریموند کلوئل پایان نامه دکترای خود را ارائه داد [۲۳] و جایزه طلایی ربات را در سال ۱۹۹۹ برای کار و توسعه روبات دلتا دریافت کرد. در سال ۲۰۰۹، FANUC جدیدترین نسخه ربات دلتا، ربات FANUC M-1iA را منتشر کرد، و بعد از آن روباتهای دلتا را برای بارهای سنگین تر ارائه کرد. FANUC M-3iA را در سال ۲۰۱۰ برای بارهای سنگین تر و ربات FANUC M-2iA برای بارهای متوسط در سال ۲۰۱۲ منتشر کرد.

در این نوع ربات ها پایه ربات در بالای فضای کاری نصب شده و تمام محرک ها بر روی آن واقع شده اند. در پایه ها سه مفصل میانی متصل می شود. انتهای این پایه ها به یک پلت فرم کوچک مثلث متصل شده است. فعال کردن لینک های ورودی پلت فرم مثلثی را در جهت  $X$ ،  $Y$  یا  $Z$  حرکت می دهد. اعمال می تواند با عملگرهای خطی یا چرخشی با کاهش یا بدون کاهش انجام شود. از آنجایی که تمام محورها در پایه قرار دارند، بازوها را می توان از مواد کامپوزیت سبک ساخت. به عنوان یک نتیجه، قسمت های متحرک ربات دلتا، یک اینرسی کوچک دارند. این باعث سرعت و شتاب بالا می شود. داشتن بازوهای متصل به هم در انتهای عملگر، سفتی ربات را افزایش می دهد، اما حجم کاری آن را کاهش می دهد. اکثر روبات های دلتا از موتورهای دوار استفاده می کنند. از یک ربات دلتا برای طراحی و تولید چاپگر 3D جدید نیز استفاده شده است [۲۴] [۲۵]. مزایای سخت افزاری این نوع پرینترها نسبت به پرینترهای 3D مبتنی بر پایه معمولی که دسترسی سریعتری به ساخت حجم بزرگی را فراهم می آورد، سرمایه گذاری در آن را قابل مقایسه کرده است.