

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی و پیاده‌سازی کنترل کننده فازی وفقی برای مکانیزم سه درجه آزادی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

مجید نصیری

استاد راهنما
دکتر مهدی کشمیری

اردیبهشت ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی آقای مجید نصیری
تحت عنوان

طراحی و پیاده‌سازی کنترل کننده فازی وفقی برای مکانیزم سه درجه آزادی

در تاریخ ۱۳۸۸/۱/۳۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه دکتر مهدی کشمیری

۲. استاد مشاور پایان نامه دکتر عباس فتاح

۳. استاد داور

۴. استاد داور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر مهدی کشمیری

تشر و قدردانی

شکر و سپاس خداوند بزرگ را که همواره ما را از استعانات خود بی نصیب ننموده و همیشه یار و یاور بندگان خود بوده است. در ابتدا لازم است از همسر بسیار عزیزم که در تمامی مراحل زندگی مرا یاری نموده‌اند تشکر نمایم و در ادامه از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر مهدی کشمیری که در راهنمایی، اینجانب نهایت تلاش خود را انجام دادند و همچنین از جناب آقای دکتر عباس فتاح، استاد مشاور پایان نامه که اینجانب را از نظرات ارزشمندشان بهره‌مند ساخته‌اند تشکر می‌نمایم. در پایان نیز از تمامی اساتید بزرگوار و دوستان عزیزی که در تمامی مراحل زندگی با آموزه‌های خود اینجانب را بنده خود کرده‌اند تشکر می‌کنم و از خدای متعال موفقیت همه را خواستارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از
تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله)
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم اثر:

تقدیم به همسر مهربانم

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
ده	فهرست اشکال
شانزده	فهرست جداول
۱	چکیده
	فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱ پیشگفتار
۹	۲-۱ کاربردهای مکانیزم استوارت
۱۱	۳-۱ تعریف مسئله
۱۲	۴-۱ تاریخچه کارهای علمی و عملی انجام شده
۱۳	۱-۴-۱ مطالعه سینماتیک و دینامیک سیستم‌های موازی و سیستم‌های مقید
۱۴	۲-۴-۱ مطالعه کنترل مکانیزم‌های موازی
۱۵	۵-۱ روند مباحث در پایان‌نامه
	فصل دوم: تحلیل سینماتیک و دینامیک مکانیزم
۱۷	۱-۲ مقدمه
۱۷	۲-۲ ساختار مکانیزم
۱۸	۳-۲ سینماتیک
۱۸	۱-۳-۲ مختصات تعمیم‌یافته و معادلات قیود
۱۹	۲-۳-۲ دستگاه‌های مختصات، ماتریس‌های دوران و معادلات قید
۲۳	۳-۳-۲ سینماتیک مستقیم و معکوس
۳۲	۴-۲ دینامیک
۳۲	۱-۴-۲ استخراج معادلات دینامیک به روش لاگرانژ
۳۵	۲-۴-۲ دینامیک مستقیم
۳۷	۳-۴-۲ دینامیک معکوس
۳۸	۵-۲ خطی‌سازی معادلات دینامیک
۳۸	۱-۵-۲ مقدمه
۳۸	۲-۵-۲ خطی‌سازی معادلات دینامیک غیرخطی سیستم‌های مقید
	فصل سوم: کنترل کننده فازی، تحلیل و آنالیز پایداری آن
۴۱	۳-۱ مقدمه
۴۲	۱-۱-۳ کنترل مفاصل مجزاء
۴۲	۲-۱-۳ کنترل غیرخطی
۴۴	۲-۳ تاریخچه کنترل فازی
۴۶	۳-۳ مدل فازی Takagi-Sugeno
۴۸	۴-۳ کنترل PDC

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۹	۳-۴-۱ آنالیز پایداری.....
۵۰	۳-۴-۲ طراحی کنترل کننده پایدار با استفاده از روش LMI.....
۵۴	۳-۴-۳ حل مسئله تعقیب مسیر با استفاده از روش PDC.....
۵۶	۳-۵ طراحی کنترل کننده فازی برای ربات دو درجه آزادی مقید.....
	فصل چهارم: طراحی کنترل کننده فازی وفقی، تحلیل و آنالیز پایداری آن
۶۰	۴-۱ تاریخچه کنترل کننده وفقی.....
۶۲	۴-۲ کنترل کننده وفقی مبتنی بر مدل.....
۶۲	۴-۲-۱ مقدمه.....
۶۲	۴-۲-۲ طراحی کنترل کننده وفقی مبتنی بر مدل.....
۶۴	۴-۲-۳ قانون کنترل وفقی.....
۶۹	۴-۳ طراحی کنترل کننده فازی وفقی برای ربات دو درجه آزادی مقید.....
	فصل پنجم: طراحی کنترل کننده برای مکانیزم سه درجه آزادی
۷۳	۵-۱ مقدمه.....
۷۳	۵-۲ کنترل به روش مفاصل مجزا.....
۷۷	۵-۳ کنترل فازی به روش Takagi-sugeno.....
۸۰	۵-۴ کنترل فازی وفقی مبتنی بر مدل.....
	فصل ششم: ساخت مکانیزم و پیاده سازی عملی کنترل کننده
۸۵	۶-۱ ساختار مکانیزم.....
۸۷	۶-۱-۱ ساختار صفحه متحرک.....
۸۸	۶-۱-۲ ساختار صفحه ثابت.....
۸۹	۶-۱-۳ ساختار یونیت هیدرولیک.....
۹۶	۶-۱-۴ ساختار جک های هیدرولیکی.....
۹۶	۶-۱-۵ تابلو قدرت و فرمان موتور الکتریکی و شیر اطمینان.....
۹۷	۶-۱-۶ ساختار بوم ثابت.....
۹۷	۶-۱-۷ واحد اندازه گیری طول جک.....
۹۹	۶-۱-۸ ارتباطات سخت افزار و نرم افزار.....
۱۰۵	۶-۲ پیاده سازی عملی کنترل کننده.....
	فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۶	۷-۱ نتیجه گیری.....
۱۰۷	۷-۲ پیشنهادات.....
۱۰۹	ضمیمه الف.....
۱۱۳	ضمیمه ب.....
۱۱۶	ضمیمه ج.....
۱۱۹	مراجع.....

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱ نمونه‌هایی از انواع ربات‌های سری صنعتی.....
۴	شکل‌های الف، ب و ج ۱-۲ پیکربندی‌های مختلف ربات موازی.....
۵	شکل ۳-۱ طرح‌های شماتیک ربات استوارت.....
۵	شکل ۴-۱ استفاده ربات استوارت در شبیه ساز پرواز.....
۶	شکل ۵-۱ آرایش‌های مختلف مکانیزم استوارت.....
۶	شکل ۶-۱ مکانیزم با محرک‌های ثابت.....
۷	شکل ۷-۱ مکانیزم با محرک‌های دورانی.....
۷	شکل ۸-۱ یک نمونه از ساختار RRR.....
۷	شکل ۹-۱ یک نمونه از ساختار RRU سه درجه آزادی.....
۷	شکل ۱۰-۱ یک نمونه از ساختار 2PU & 1PUR.....
۷	شکل ۱۱-۱ یک نمونه از ساختار RPS.....
۸	شکل ۱۲-۱ یک نمونه از ساختار 3UPS & 1PU.....
۸	شکل ۱۳-۱ یک نمونه از ساختار 2PU & 1PUR.....
۸	شکل ۱۴-۱ یک نمونه از ساختار DELTA.....
۸	شکل ۱۵-۱ یک نمونه از ساختار PRPS.....
۸	شکل ۱۶-۱ طرح شماتیک مکانیزم 3RPR.....
۸	شکل ۱۷-۱ مکانیزم Tricept.....
۹	شکل ۱۸-۱ مکانیزم Trivariant.....
۹	شکل ۱۹-۱ طرح شماتیک مکانیزم مورد بحث پروژه.....
۱۰	شکل ۲۰-۱ استفاده از ربات موازی در جراحی.....
۱۰	شکل ۲۱-۱ استفاده از ربات موازی بعنوان نگهدارنده در قلاب جرثقیل.....
۱۰	شکل ۲۲-۱ کاربرد ربات موازی در مکانیزم‌های Pick & Place.....
۱۰	شکل ۲۳-۱ کاربرد استوارت در ماشین‌های ابزار.....
۱۰	شکل ۲۴-۱ کاربرد استوارت در ماشین‌های ابزار.....
۱۰	شکل ۲۵-۱ کاربرد استوارت در ساخت شبیه ساز اتومبیل.....
۱۰	شکل ۲۶-۱ کاربرد استوارت در شهرک‌های بازی.....
۱۰	شکل ۲۷-۱ کاربرد استوارت در در نانو تکنولوژی.....
۱۱	شکل ۲۸-۱ کاربرد استوارت در جراحی قلب.....
۱۲	شکل ۲۹-۱ تصویر مکانیزم سه درجه آزادی.....
۱۹	شکل ۱۱-۲ تعریف دستگاه‌های مختصات برای مکانیزم.....
۱۹	شکل ۱۲-۲ دستگاه مختصات متصل به هر کدام از جک‌ها.....
۲۱	شکل ۱۳-۲ انتقال دستگاه مختصات اینرسی بر روی دستگاه صفحه متحرک.....

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۴-۲ شبیه‌سازی مکانیزم در جعبه ابزار Simmech	۲۵
شکل ۵-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط جبری برای لینک q_1	۲۷
شکل ۶-۲ مقایسه نتایج سینماتیک معکوس حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط جبری	۲۷
برای لینک q_1	۲۷
شکل ۷-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط جبری برای لینک q_2	۲۷
شکل ۸-۲ مقایسه نتایج سینماتیک معکوس حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط جبری	۲۷
برای لینک q_2	۲۷
شکل ۹-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط جبری برای لینک q_3	۲۷
شکل ۱۰-۲ مقایسه نتایج سینماتیک معکوس حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط جبری	۲۷
برای لینک q_3	۲۷
شکل ۱۱-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط دیفرانسیلی برای لینک q_1	۲۹
شکل ۱۲-۲ مقایسه نتایج سینماتیک معکوس حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط دیفرانسیلی	۲۹
برای لینک q_1	۲۹
شکل ۱۳-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط دیفرانسیلی برای لینک q_2	۲۹
شکل ۱۴-۲ مقایسه نتایج سینماتیک معکوس حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط دیفرانسیلی برای لینک	۲۹
q_2	۲۹
شکل ۱۵-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط دیفرانسیلی برای لینک q_3	۲۹
شکل ۱۶-۲ مقایسه نتایج سینماتیک معکوس حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط دیفرانسیلی	۲۹
برای لینک q_3	۲۹
شکل ۱۷-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط دیفرانسیلی	۳۱
برای محاسبه Z_p (سینماتیک مستقیم)	۳۱
شکل ۱۸-۲ مقایسه نتایج سینماتیک مستقیم حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط دیفرانسیلی	۳۱
برای محاسبه Z_p	۳۱
شکل ۱۹-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط دیفرانسیلی	۳۱
برای محاسبه ψ (سینماتیک مستقیم)	۳۱
شکل ۲۰-۲ مقایسه نتایج سینماتیک مستقیم حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط دیفرانسیلی	۳۱
برای محاسبه ψ	۳۱
شکل ۲۱-۲ خطای حاصل از مقایسه (Simmech (MATLAB و مقایسه روابط دیفرانسیلی	۳۱
برای محاسبه φ (سینماتیک مستقیم)	۳۱
شکل ۲۲-۲ مقایسه نتایج سینماتیک مستقیم حاصل از (Simmech (MATLAB و کاربرد روابط دیفرانسیلی	۳۱
برای محاسبه φ	۳۱
شکل ۲۳-۲ نیروهای اعمال شده بر حسب نیوتن به ترتیب روی جک‌های ۱، ۲ و ۳	۳۵

شکل ۲-۲۴ خطای حاصل از مقایسه Simmech (MATLAB) و مقایسه روابط لاگرانژ برای محاسبه	
Z_p (دینامیک مستقیم).....	۳۶
شکل ۲-۲۵ مقایسه نتایج دینامیک مستقیم حاصل از Simmech (MATLAB) و کاربرد معادلات لاگرانژ	
برای لینک Z_p	۳۶
شکل ۲-۲۶ خطای حاصل از مقایسه Simmech (MATLAB) و مقایسه روابط لاگرانژ برای محاسبه	
ψ (دینامیک مستقیم).....	۳۶
شکل ۲-۲۷ مقایسه نتایج دینامیک مستقیم حاصل از Simmech (MATLAB) و کاربرد معادلات لاگرانژ	
برای لینک ψ	۳۶
شکل ۲-۲۸ خطای حاصل از مقایسه Simmech (MATLAB) و مقایسه روابط لاگرانژ برای محاسبه	
φ (دینامیک مستقیم).....	۳۷
شکل ۲-۲۹ مقایسه نتایج دینامیک مستقیم حاصل از Simmech (MATLAB) و کاربرد معادلات لاگرانژ	
برای لینک φ	۳۷
شکل ۲-۳۰ نتایج شبیه‌سازی عددی دینامیک معکوس با کاربرد معادلات لاگرانژ برای محاسبه F_1	۳۷
شکل ۲-۳۱ نتایج شبیه‌سازی عددی دینامیک معکوس با کاربرد معادلات لاگرانژ برای محاسبه F_2	۳۷
شکل ۲-۳۲ نتایج شبیه‌سازی عددی دینامیک معکوس با کاربرد معادلات لاگرانژ برای محاسبه F_3	۳۸
شکل ۳-۱ طراحی کنترل‌کننده فازی.....	۴۷
شکل ۳-۲ ربات دو درجه آزادی مفید.....	۵۶
شکل ۳-۳ توابع وزن برای مدل فازی.....	۵۸
شکل ۳-۴ کنترل موقعیت θ_1 با استفاده از کنترل‌کننده فازی.....	۵۹
شکل ۳-۵ مقایسه تاریخچه زمانی θ_1 با کاربرد کنترل‌کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی.....	۵۹
شکل ۳-۶ میزان خطای کنترل‌کننده فازی با مسیر مطلوب سینوسی برای θ_1	۵۹
شکل ۴-۱ بلوک دیاگرام کنترلی کنترل‌کننده وقفی فازی مبتنی بر مدل مرجع، برای کنترل مدل فازی.....	۶۷
شکل ۴-۲ بلوک دیاگرام کنترلی کنترل‌کننده وقفی فازی مبتنی بر مدل مرجع، برای کنترل مدل واقعی.....	۶۸
شکل ۴-۳ بلوک دیاگرام کنترلی کنترل‌کننده وقفی فازی مبتنی بر مدل مرجع، همراه با کنترل‌کننده خطی سازی فیدبک.....	۶۹
شکل ۴-۴ مقایسه کنترل مسیر مدل مرجع (\mathbf{x}_m) با مسیر مطلوب (\mathbf{x}_{de}).....	۷۱
شکل ۴-۵ خطای حاصل از کنترل مسیر مدل مرجع (\mathbf{x}_m) با مسیر مطلوب (\mathbf{x}_{de}).....	۷۱
شکل ۴-۶ مقایسه کنترل‌کننده فازی وقفی با کنترل‌کننده فازی برای مسیر سینوسی.....	۷۱
شکل ۴-۷ خطای حاصل از کنترل‌کننده فازی وقفی با کنترل‌کننده فازی برای مسیر سینوسی.....	۷۱
شکل ۴-۸ مقایسه کنترل‌کننده فازی وقفی، مسیر طی شده توسط مدل مرجع با کنترل‌کننده فازی برای کنترل موقعیت.....	۷۱
شکل ۴-۹ خطای حاصل از کنترل‌کننده فازی وقفی، مسیر طی شده توسط مدل مرجع و کنترل‌کننده فازی	
برای کنترل موقعیت.....	۷۱
شکل ۴-۱۰ بروز رسانی ضریب‌های $\mathbf{K}_j(t)$	۷۲

شکل ۴-۱۱ بروز رسانی ضریب‌های $L_j(t)$	۷۲
شکل ۵-۱ خطاء مسیر کنترل PID برای q_1 با مسیر مطلوب.....	۷۴
شکل ۵-۲ مقایسه مسیر کنترل PID برای q_1 با مسیر مطلوب.....	۷۴
شکل ۵-۳ خطاء مسیر کنترل PID برای q_2 با مسیر مطلوب.....	۷۵
شکل ۵-۴ مقایسه مسیر کنترل PID برای q_2 با مسیر مطلوب.....	۷۵
شکل ۵-۵ خطاء مسیر کنترل PID برای q_3 با مسیر مطلوب.....	۷۵
شکل ۵-۶ مقایسه مسیر کنترل PID برای q_3 با مسیر مطلوب.....	۷۵
شکل ۵-۷ خطاء مسیر کنترل PID برای Z_p با مسیر مطلوب.....	۷۵
شکل ۵-۸ مقایسه مسیر کنترل PID برای Z_p با مسیر مطلوب.....	۷۵
شکل ۵-۹ خطاء مسیر کنترل PID برای ψ با مسیر مطلوب.....	۷۶
شکل ۵-۱۰ مقایسه مسیر کنترل PID برای ψ با مسیر مطلوب.....	۷۶
شکل ۵-۱۱ خطاء مسیر کنترل PID برای φ با مسیر مطلوب.....	۷۶
شکل ۵-۱۲ مقایسه مسیر کنترل PID برای φ با مسیر مطلوب.....	۷۶
شکل ۵-۱۳ مقدار نیروهای بدست آمده از کنترل کننده PID برای جک‌ها.....	۷۶
شکل ۵-۱۴ نقاط منتخب برای خطی سازی.....	۷۷
شکل ۵-۱۵ توابع خطی وزن تعریف شده بر روی فضای کاری.....	۷۸
شکل ۵-۱۶ بلوک دیاگرام کنترل فازی.....	۷۹
شکل ۵-۱۷ بلوک دیاگرام کنترل فازی در Simmech.....	۷۹
شکل ۵-۱۸ میزان خطای کنترل کننده فازی با مسیر مطلوب سینوسی برای Z_p (با شرایط اولیه متفاوت).....	۷۹
شکل ۵-۱۹ مقایسه تاریخچه زمانی Z_p با کاربرد کنترل کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی (با شرایط اولیه متفاوت).....	۷۹
شکل ۵-۲۰ میزان خطای کنترل کننده فازی با مسیر مطلوب سینوسی برای ψ (با شرایط اولیه متفاوت).....	۸۰
شکل ۵-۲۱ مقایسه تاریخچه زمانی ψ با کاربرد کنترل کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی (با شرایط اولیه متفاوت).....	۸۰
شکل ۵-۲۲ میزان خطای کنترل کننده فازی با مسیر مطلوب سینوسی برای φ (با شرایط اولیه متفاوت).....	۸۰
شکل ۵-۲۳ مقایسه تاریخچه زمانی φ با کاربرد کنترل کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی (با شرایط اولیه متفاوت).....	۸۰
شکل ۵-۲۴ بلوک دیاگرام کنترلی کنترل کننده وفقی فازی مبتنی بر مدل مرجع، همراه با کنترل کننده خطی سازی فیدبک.....	۸۱
شکل ۵-۲۵ بلوک دیاگرام کنترلی کنترل کننده فازی وفقی در جعبه ابزار Simmech.....	۸۲
شکل ۵-۲۶ مقایسه میزان خطای کنترل کننده فازی وفقی، مدل مرجع و کنترل کننده فازی برای مسیر سینوسی	
برای q_1 با نقطه شروع متفاوت.....	۸۲
شکل ۵-۲۷ مقایسه کنترل کننده فازی وفقی، مسیر طی شده توسط مدل مرجع، کنترل کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی	
برای q_1 با نقطه شروع متفاوت.....	۸۲
شکل ۵-۲۸ مقایسه میزان خطای کنترل کننده فازی وفقی، مدل مرجع و کنترل کننده فازی برای مسیر سینوسی	
برای q_2 با نقطه شروع متفاوت.....	۸۳

شکل ۵-۲۹ مقایسه کنترل کننده فازی و فقی، مسیر طی شده توسط مدل مرجع، کنترل کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی	۸۳
برای q_2 با نقطه شروع متفاوت.....	۸۳
شکل ۵-۳۰ مقایسه میزان خطای کنترل کننده فازی و فقی، مدل مرجع و کنترل کننده فازی برای مسیر سینوسی برای	۸۳
q_3 با نقطه شروع متفاوت.....	۸۳
شکل ۵-۳۱ مقایسه کنترل کننده فازی و فقی، مسیر طی شده توسط مدل مرجع، کنترل کننده فازی و مسیر مطلوب سینوسی	۸۳
برای q_3 با نقطه شروع متفاوت.....	۸۳
شکل ۵-۳۲ مقایسه کنترل موقعیت کنترل کننده فازی و فقی، کنترل کننده فازی و مسیر طی شده توسط مدل مرجع	۸۳
برای q_1	۸۳
شکل ۵-۳۳ مقایسه کنترل موقعیت کنترل کننده فازی و فقی، کنترل کننده فازی و مسیر طی شده توسط مدل مرجع	۸۳
برای q_2	۸۳
شکل ۵-۳۴ مقایسه کنترل موقعیت کنترل کننده فازی و فقی، کنترل کننده فازی و مسیر طی شده توسط مدل مرجع	۸۴
برای q_3	۸۴
شکل ۵-۳۵ نیروی‌های حاصل از کنترل کننده فازی و فقی برای کنترل موقعیت.....	۸۴
شکل ۵-۳۶ نیروی‌های حاصل از کنترل کننده فازی و فقی برای کنترل مسیر مطلوب.....	۸۴
شکل ۶-۱ مکانیزم سه درجه آزادی ساخته شده.....	۸۶
شکل ۶-۲ نحوه ارتباط واحدهای مختلف.....	۸۷
شکل ۶-۳ نمای سه بعدی صفحه متحرک.....	۸۷
شکل ۶-۴ نمای دو بعدی صفحه متحرک.....	۸۸
شکل ۶-۵ نمای سه بعدی صفحه ثابت.....	۸۸
شکل ۶-۶ نمای دو بعدی صفحه ثابت.....	۸۹
شکل ۶-۷ چیدمان یونیت هیدرولیک.....	۸۹
شکل ۶-۸ شماتیک شیر کنترل تناسبی.....	۹۰
شکل ۶-۹ نمای کلی کنترل مدار باز شیر تناسبی.....	۹۰
شکل ۶-۱۰ نمای کلی کنترل مدار بسته شیر تناسبی.....	۹۱
شکل ۶-۱۱ شماتیک کلی نحوه کار شیر تناسبی.....	۹۲
شکل ۶-۱۲ شیر تناسبی 4WR-6.....	۹۲
شکل ۶-۱۳ نمودار x بر حسب ΔP و q	۹۳
شکل ۶-۱۴ چیدمان کارت‌های کنترل شیرهای تناسبی.....	۹۳
شکل ۶-۱۵ نحوه اتصالات کارت‌های کنترلی شیرهای تناسبی.....	۹۴
شکل ۶-۱۶ دیاگرام کارت‌های کنترل شیرهای تناسبی.....	۹۴
شکل ۶-۱۷ نقشه جک‌های استفاده شده در مکانیزم.....	۹۶
شکل ۶-۱۸ نقشه خط فرمان تابلو قدرت و فرمان.....	۹۶
شکل ۶-۱۹ نقشه بوم ثابت استفاده شده در مکانیزم.....	۹۷

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۶-۲۰ خط کش استفاده شده KA-300.....	۹۸
شکل ۶-۲۱ سیگنال TTL خروجی خط کش KA-300-820.....	۹۸
شکل ۶-۲۲- ترتیب شماره گذاری پین های اتصال DB-9(Male) (نمای جلو).....	۹۸
شکل ۶-۲۳- چیدمان جک ها، خط کش ها و کارت های کنترلی.....	۱۰۱
شکل ۶-۲۴- شماتیک جعبه واسط.....	۱۰۱
شکل ۶-۲۵- ترتیب شماره گذاری پین های اتصال فرمان (Male) (نمای جلو).....	۱۰۲
شکل ۶-۲۶- صفحه ی ارتباطی نرم افزار با کاربر.....	۱۰۳
شکل ۶-۲۷- کنترل موقعیت جک هیدرولیک، q_1	۱۰۵
شکل ۶-۲۸- کنترل مسیر جک هیدرولیک، q_1	۱۰۵
شکل ۶-۲۹- کنترل مسیر جک هیدرولیک، q_2	۱۰۵
شکل ۶-۳۰- کنترل مسیر جک هیدرولیک، q_3	۱۰۵
شکل ج-۱- کارت ورودی/خروجی Advantech PCI-1723.....	۱۱۶
شکل ج-۲- اتصال PCI-1723.....	۱۱۶
شکل ج-۳- مشخصات فنی کارت Advantech PCI-1723.....	۱۱۷
شکل ج-۴- کارت شمارنده Advantech PCI-1784.....	۱۱۷
شکل ج-۵- اتصال PCI-1784.....	۱۱۹
شکل ج-۶- مشخصات فنی کارت Advantech PCI-1784.....	۱۱۹

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۶	جدول ۱-۲ مشخصات هندسی و دینامیکی مکانیزم سه درجه آزادی
۵۶	جدول ۱-۳ مشخصات هندسی و دینامیکی ربات دو درجه آزادی
۹۹	جدول ۱-۶ ترتیب اتصال‌های خط کش KA-300-820 استفاده شده در پروژه
۹۹	جدول ۲-۶ پارامترهای فنی خط کش KA-300-820 استفاده شده در پروژه
۱۰۲	جدول ۳-۶ اتصال‌های جعبه واسط
۱۰۲	جدول ۴-۶ نحوه ارتباط خط کش ها با کارت‌های واسط
۱۰۳	جدول ۵-۶ نحوه ارتباط کارت‌های کنترلی شیرهای تناسبی با کارت‌های واسط

چکیده

این تحقیق ضمن مروری بر سینماتیک و دینامیک مکانیزم سه درجه آزادی با طراحی جدید با محرک‌های خطی (هیدرولیکی)، کنترل مکانیزم را مورد مطالعه قرار داده است. روابط سینماتیکی، با استفاده از قیود زنجیره هندسی بسته مکانیزم، به صورت جبری و دیفرانسیلی و معادلات دینامیکی با استفاده از روش لاگرانژ برای سیستم‌های مقید، استخراج شده‌اند. ضرایب لاگرانژ به کمک ماتریس مکمل متعامد حذف و فرم کاهش یافته معادلات، جهت طراحی کنترل کننده ارائه شده است. در ادامه روش خطی سازی معادلات دینامیک سیستم‌های مقید، تنها بر حسب پارامترهای مستقل آورده شده است. استفاده از معادلات خطی شده بر حسب پارامتر مستقل در کنترل کننده‌هایی که از تکنیک‌های روش‌های خطی استفاده می‌کنند، دارای مزیت حجم محاسبات کمتر و کاربرد حسگرها کمتر در کنترل مکانیزم است.

برای کنترل مکانیزم ابتدا یک کنترل کننده به روش مفاصل مجزا، بدون در نظر گرفتن دینامیک کلی مکانیزم برای کنترل هر یک از محرک‌ها مکانیزم به صورت جداگانه، طراحی شده است. در مرحله بعد یک کنترل کننده غیرخطی فازی¹ به روش Takagi-Sugeno طراحی گردیده است. در طراحی کنترل کننده فازی، دینامیک غیرخطی مکانیزم به صورت ترکیب خطی از دینامیک خطی شده محلی در نقاط منتخب از فضای کاری مکانیزم، ارائه شده است. قانون کنترل فازی به صورت ترکیب خطی از قوانین خطی کنترل محلی آورده شده است. سپس یک کنترل کننده فازی وفقی مبتنی بر مدل² برای کنترل مکانیزم با دینامیک ناشناخته طراحی شده است.

نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی و پیاده‌سازی عملی کنترل کننده بر روی مکانیزم مورد نظر در تحقیق ارائه شده است.

کلمات کلیدی: روش لاگرانژ، خطی سازی معادلات دینامیک، کنترل کننده مفاصل مجزا، کنترل کننده فازی و کنترل کننده فازی وفقی مبتنی بر مدل.

1 Fuzzy Controller

2 Model Reference Adaptive Fuzzy Control (MRAFC)

فصل اول

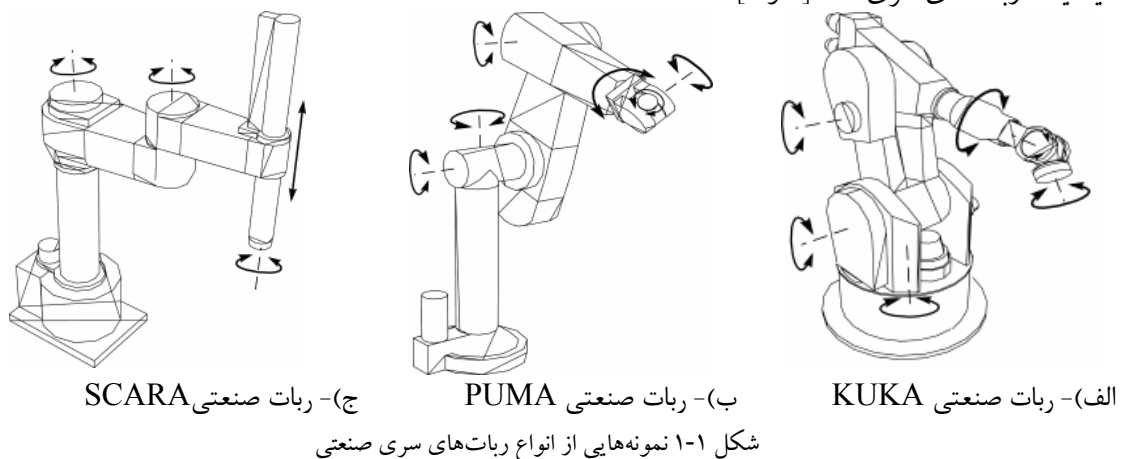
مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

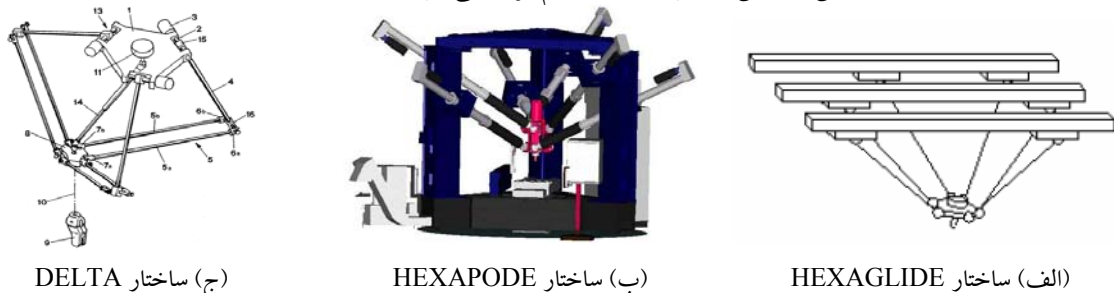
ربات‌ها، ماشین‌هایی با قابلیت حرکت دقیق، تکرارپذیری، تحمل‌پذیری بالا هستند. به همین دلیل استفاده از ربات‌ها در محیط‌هایی با امنیت پایین به خصوص در کارخانجات صنعتی موفق بوده است. حسگرهای نیرو، سیستم‌های کنترلی پیشرفته خود تنظیم و کنترل‌کننده‌های منطقی قابل برنامه ریز (PLC^1) اجازه استفاده از ربات‌ها در صنایع گوناگون نظیر ماشین‌کاری، کنترل بار، جوشکاری، اتوماسیون را داده است. بنابراین نوع استفاده از ربات و ساختار ربات بستگی به نوع محیط و کاربرد خاص استفاده از آن دارد و با تغییرات محیط کار، نوع ربات مورد استفاده نیز تغییر می‌یابد [۱].

ربات‌ها بر اساس باز یا بسته بودن زنجیر سینماتیکی، به ترتیب به دو دسته سری و موازی تقسیم می‌شوند. ربات‌های سری دارای یک زنجیر باز سینماتیکی از پایه تا پنجه هستند. نمونه‌هایی از انواع ربات‌های سری صنعتی در شکل ۱-۱ آورده شده است [۲]. ربات‌های موازی دارای مزایایی، چون صلبيت بالا، نسبت تحمل نیرو به وزن تا حدود ۵۰٪، دقت بالا، توانایی حمل بارهای سنگین، قابلیت انعطاف‌پذیری بالا و نصب محرک‌ها بر روی زمین هستند. در مقابل معایبی چون محدودیت فضای کار و همچنین کالیبراسیون پیچیده دارند [۳]. در مقابل ربات‌های سری دارای

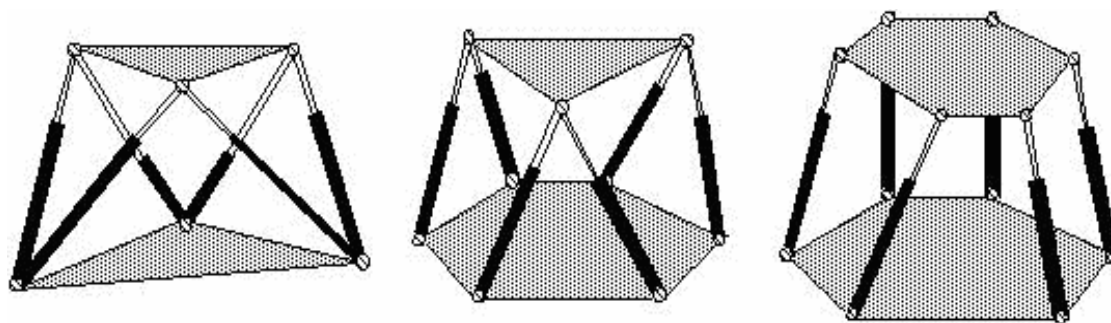
صلبیت پایین، فرکانس طبیعی پایین، عدم تحمل حمل بار سنگین، نسبت بار به وزن پایین (حدود ۳٪) و دقت کمتر و همچنین مشکل نصب محرک‌ها را دارند. مزایایی چون فضای کاری زیاد، قدرت مانور بالا و کالیبراسیون راحت‌تر از ویژه‌گی‌های ربات‌های سری است [۴]. از نقطه نظر سینماتیکی، تحلیل مسئله سینماتیک مستقیم در ربات‌های موازی پیچیده و در ربات‌های سری ساده و در مقابل تحلیل مسئله سینماتیک معکوس در ربات‌های سری پیچیده و در ربات‌های موازی ساده است. تحلیل دینامیک ربات‌های موازی به دلیل ساختار هندسی مقید آنها پیچیده‌تر از تحلیل دینامیک ربات‌های سری است [۵ و ۶].



طرح‌های مختلفی از ربات‌های موازی مانند DELTA، HEXA، HEXAGLIDE (شکل‌های الف، ب و ج ۲-۱) و غیره ارائه شده است [۷، ۸ و ۹]. یکی از انواع پیکربندی‌های ربات‌های موازی ربات معروف Stewart Platform است، که ساختارهای مختلف آن در شکل ۱-۳ آمده است [۱۰]. در سال ۱۹۶۵ استوارت استفاده از این ربات موازی سکودار را در ساخت شبیه ساز پرواز پیشنهاد کرد (شکل ۱-۴) [۱۱، ۱۲ و ۱۳]. این ربات دارای ۶ درجه آزادی است، یعنی سه درجه آزادی انتقالی (x, y, z) و سه درجه آزادی چرخشی (θ, ψ, ϕ) آن قابل کنترل است. این مکانیزم از سه بخش سکوی ثابت، سکوی متحرک و میله‌ها تشکیل شده است. میله‌ها توسط مفصل یونیورسال به سکوی ثابت و مفصل کروی به سکوی متحرک متصل شده و از محرک‌های خطی برای تغییر طول میله‌ها استفاده شده است. از این آرایش با عنوان UPR^1 نام برده می‌شود.



شکل‌های الف، ب و ج ۲-۱ پیکربندی‌های مختلف ربات موازی



ج- طرح ۳-۳

ب- طرح ۶-۳

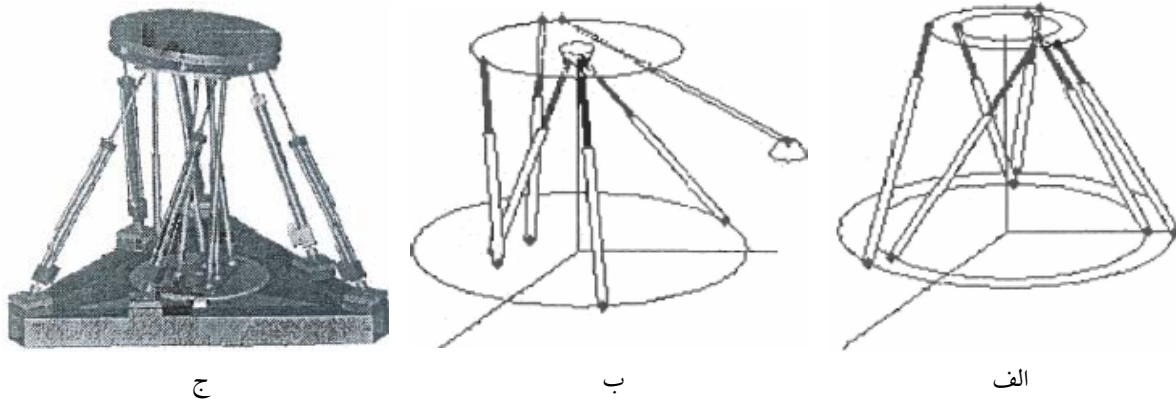
الف- طرح ۶-۶

شکل ۳-۱ طرح‌های شماتیک ربات استوارت



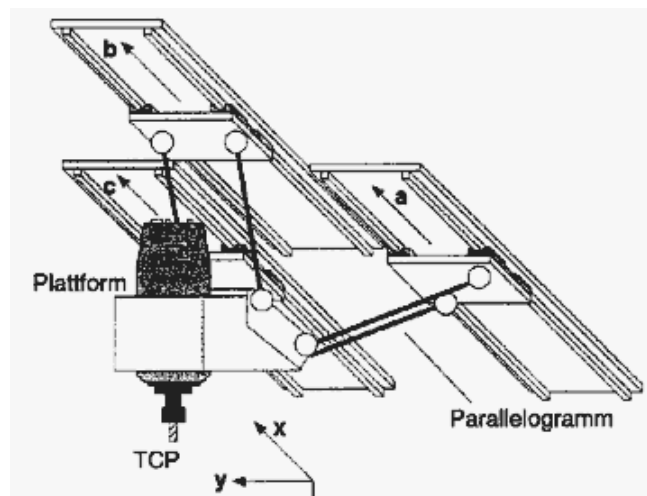
شکل ۴-۱ استفاده ربات استوارت در شبیه ساز پرواز

مکانیزم استوارت بر اساس نحوه قرار گیری اتصالات در روی دو سکو، آرایش‌های متفاوتی دارد. هر یک از این آرایش‌ها برای هدف خاصی طراحی شده‌است. نمونه‌ای از این آرایش‌ها، در شکل ۵-۱ آورده شده است. آرایش نشان داده شده در قسمت الف شکل ۵-۱، دارای قدرت مانور بیشتری است و از این آرایش به عنوان مکانیزم اصلاح شده استوارت نام برده می‌شود [۱۴]. به منظور بالا بردن صلبیت مکانیزم استوارت آرایش قسمت ب شکل ۵-۱، پیشنهاد شده است. از آرایش قسمت ج شکل ۵-۱، در دستگاه فرز CNC استفاده شده است. در آرایش اخیر، از جک‌های بیرونی برای اعمال نیروهای اصلی با هدف کنترل نیرو و از جک‌های داخلی برای تنظیم موقعیت دقیق سکوی متحرک استفاده شده است.



شکل ۱-۵ آرایش‌های مختلف مکانیزم استوارت

مکانیزم استوارت، از لحاظ نیروهای محرک، انواع مختلفی دارد. این محرک‌ها می‌توانند محرک‌های ثابت [۱۵] (محرک‌هایی که حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل می‌کنند)، محرک‌های هیدرولیکی و دورانی باشند. سیستم محرک با عملگر طولی هیدرولیکی متداولترین سیستم محرک در این نوع مکانیزم‌ها است. مزیت برتر این محرک‌ها اعمال نیرو زیاد در سرعت‌های بالا است. به جای عملگر طولی هیدرولیکی می‌توان از موتورهای الکتریکی استفاده کرد. در این مورد برای تبدیل حرکت دورانی به خطی، باید از مکانیزم بال اسکرو^۱ یا چرخ دنده شانه‌ای استفاده نمود. هنگام استفاده از محرک‌های ثابت (شکل ۱-۶)، جک‌های هیدرولیکی با محرک‌های خطی ثابت جایگزین شده‌اند. مزیت این روش این است که توان سیستم محرک، بواسطه حرکت محرک‌های سنگین تلف نمی‌شود و عیب آن این است که فضای کاری آن به ازای یک تغییر طول یکسان در سیستم محرک در مقایسه با محرک‌های دیگر، کمتر است. از طرف دیگر نیروی وارد بر محرک‌ها، دارای یک مولفه عمودی است، در حالی که در مکانیزم استوارت نیروی جک‌ها در راستای محور آنها است. محرک‌های این مکانیزم، خطی یا دورانی می‌توانند باشد.



شکل ۱-۶ مکانیزم با محرک‌های ثابت