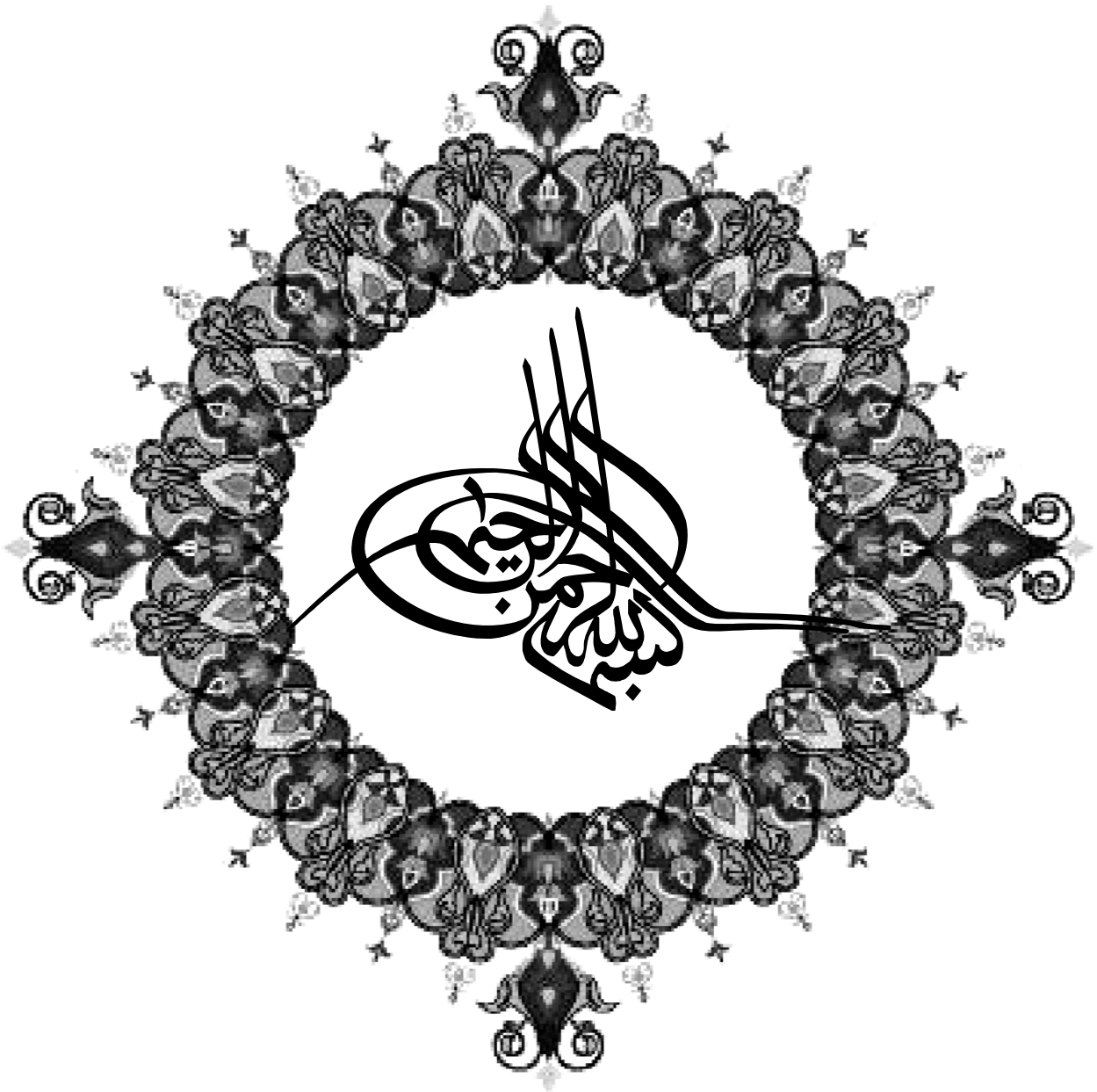
بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

IMAM KHOMEINI INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق

طراحی کنترل کننده LQR فازی توزیع شده موازی برای سیستم جرثقیل معلق

دانشجو:

مهدیه عادلی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش کنترل

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر حسن زرآبادی پور

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر مهدی علیاری شوره دلی

اسفند ۱۳۹۰

تعهدنامه اصالت پایان‌نامه

اینجانب **مهدیه عادلی** دانشجوی رشته برق گرایش کنترل مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد، بدینوسیله اصالت کلیه مطالب موجود در مباحث مربوطه در پایان‌نامه/تز تحصیلی خود، با عنوان **طراحی کنترل کننده LQR فازی توزیع شده موازی برای سیستم جرثقیل معلق** را تائید کرده ، اعلام می‌نمایم که تمام محتوای آن حاصل مطالعه، پژوهش و تدوین خودم بوده و به هیچ وجه رونویسی از پایان‌نامه و یا هیچ اثر یا منبع دیگری اعم از خارجی، داخلی و یا بین‌المللی نبوده و تعهد می‌نمایم در صورت اثبات عدم اصالت آن و یا احراز عدم صحت مفاد و یا لوازم این تعهدنامه در هر مرحله از مراحل منتهی به فارغ‌التحصیلی و یا پس از آن و یا تحصیل در مقاطع دیگر و یا اشتغال و ... دانشگاه حق دارد ضمن رد پایان‌نامه نسبت به لغو و ابطال مدرک تحصیلی مربوطه اقدام نماید. مضافاً اینکه کلیه مسئولیتها و پیامدهای قانونی و یا خسارت وارده از هر حیث متوجه اینجانب می‌باشد.

مهدیه عادلی

تصویب پایان‌نامه توسط داوران

تقدیم به:

پدر و مادر مهربان و دلسوزم که در تمام مراحل

تحصیل همواره امیدبخش من بود.

چکیده

در این پایان نامه، کنترل سیستم جرثقیل معلق به روش LQR توزیع شده موازی بررسی می گردد که در این روش کنترلی از مدل فازی تاکاگی-سوگنو و کنترل کننده بهینه استفاده می شود. هدف از طراحی، کنترل موقعیت و زاویه تاب بار با استفاده از کنترل کننده LQR فازی توزیع شده موازی است. با به کار بردن مدل فازی تاکاگی-سوگنو ، سیستم های غیرخطی توسط ترکیب چند زیرسیستم خطی در فضای افراز شده فازی تقریب زده می شوند. از آنجا که زیرسیستم های خطی به صورت فازی ترکیب شده اند، مدل فازی T-S یک مدل غیرخطی است که می تواند مشخصات غیرخطی سیستم غیرخطی پیچیده را حفظ کند. با استفاده از جبران سازی توزیع شده موازی می توان برای مدل فازی T-S موجود کنترل کننده فازی طراحی کرد. برای طراحی کنترل کننده LQR فازی توزیع شده موازی، با توجه به مدل T-S بدست آمده، برای هر زیر سیستم خطی کنترل کننده LQR طراحی می شود. طراحی کنترل کننده و بررسی پایداری سیستم کنترلی با مسئله LMI انجام می شود. در ادامه مقاوم بودن کنترل کننده طراحی شده نسبت به نویز، اغتشاش و خطا بررسی می شود.

واژه های کلیدی:

جرثقیل معلق، کنترل کننده LQR، مدل فازی تاکاگی سوگنو، نامساوی ماتریسی خطی (LMI)، جبران سازی توزیع شده موازی (PDC)

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می‌بینم از زحمات اساتید ارجمندم دکتر زرآبادی پور و دکتر علیـاری شـوره دلـی کـه بـا راهنمایی‌ها و زحمات بی‌دریغشان اینجانب را در پیمودن این راه کمک کردنـد، سپاسـگذاری کـنم. از جناب آقای دکتر بهشتی و سرکار خانم دکتر بیگدلی که قبـول دعـوت نمـوده و داوری ایـن رسـاله را پذیرفتند کمال تشکر را دارم.

در نهایت از زحمات دلسوزانه مادر و پدر عزیزم که دعای خیرشان بدرقـه راهـم بـوده تقـدیر نمـوده و مراتب تشکر و سپاس خود را به حضورشان تقدیم می‌کنم.

فهرست صفحه

۱- فصل اول:مقدمه..... ۱

۱-۱- معرفی سیستم جرثقیل ۲

۱-۲- انواع جرثقیل..... ۳

۱-۲-۱- جرثقیل پل ۴

۱-۲-۲- جرثقیل سیار تلسکوپی ۵

۱-۲-۳- جرثقیل همه کاره ۶

۱-۲-۴- جرثقیل سیار ماشین آلات اوراق و ضایعات..... ۶

۱-۲-۵- جرثقیل کامیونی..... ۷

۱-۲-۶- جرثقیل های زمینی ۸

۱-۲-۷- جرثقیل راه آهن ۹

۱-۲-۸- جرثقیل های شناور ۹

۱-۲-۹- جرثقیل کانتینر ۹

۱-۲-۱۰- جرثقیل های زیربشکه ای ریل سوار یا EOT..... ۱۰

۱-۳- تجهیزات جرثقیل ۱۱

۱-۳-۱- بالابر هوایی ۱۱

۱-۳-۲- واگن بالابر ۱۱

۱-۴- روش های انجام شده روی سیستم جرثقیل ۱۲

۱-۵- مدل دینامیکی جرثقیل معلق ۱۵

۱-۵-۱- مدل تک آونگی جرثقیل معلق..... ۱۵

۱-۵-۲- مدل دو آونگی جرثقیل معلق ۱۶

۱-۵-۳- مدل جرثقیل معلق با کابل قابل انعطاف ۱۷

۱-۵-۴- مدل سه بعدی جرثقیل معلق..... ۱۸

۱-۶- انگیزش و رئوس مطالب ۲۰

۲- فصل دوم:مدل فازی تاکاگی-سوگنو و جبران سازی توزیع شده موازی ۲۱

۲-۱- مقدمه..... ۲۲

۲-۲- مدل فازی تاکاگی-سوگنو ۲۳

۲-۳- ساختار مدل فازی..... ۲۶

۲-۳-۱- ناحیه غیر خطی ۲۷

۲-۳-۲- تقریب محلی در فضای افراز شده فازی.....۲۸

۲-۴- جبران سازی فازی توزیع شده موازی ۳۰

۲-۵- یک مثال ترغیب کننده ۳۱

۲-۶- اصل روش طراحی مبتنی بر LMI ۳۵

۲-۶-۱- طراحی کنترل کننده پایدار با روش تکرار شونده ۳۶

۲-۶-۲- طراحی کنترل کننده پایدار با نامساوی های ماتریسی خطی.....۳۸

۳- فصل سوم: مروری بر روش کنترل LMI.....۴۴

۳-۱- مقدمه..... ۴۵

۳-۲- شرایط پایداری ۴۵

۳-۳- شرایط پایداری ساده شده ۴۸

۳-۴- طراحی کنترل کننده پایدار ۵۳

۴- فصل چهارم:کنترل فازی بهینه..... ۵۸

۴-۱- مقدمه..... ۵۹

۴-۲- تابع عملکرد درجه دوم و کنترل پایداری..... ۵۹

۴-۳- طراحی کنترل کننده فازی بهینه..... ۶۵

۵- فصل پنجم:طراحی کنترل کننده فازی توزیع شده موازی و فازی بهینه برای سیستم جرثقیل معلق.....۶۹

۵-۱- مقدمه ۷۰
۵-۲- مدل فازی تاکاگی-سوگنو جرثقیل معلق نوع تک آونگی ۷۰
۵-۳- طراحی کنترل کننده برای مدل تک آونگی جرثقیل معلق به روش PDC ۷۹
۵-۴- طراحی کنترل کننده LQR فازی توزیع شده موازی برای مدل تک آونگی جرثقیل ۸۱
۵-۴-۱- مدل فازی تاکاگی-سوگنو جرثقیل معلق تک آونگی با تعداد قواعد فازی کمتر ۸۱
۵-۴-۲- طراحی کنترل کننده برای مدل تک آونگی جرثقیل معلق به روش PDC با ۸ قاعده فازی.. ۸۴
۵-۴-۳- طراحی کنترل کننده برای مدل تک آونگی جرثقیل معلق به روش PDC LQR با ۸ قاعده فازی ۸۵
۵-۵- مدل فازی تاکاگی-سوگنو جرثقیل معلق نوع دوآونگی ۸۶
۵-۶- طراحی کنترل کننده برای مدل دو آونگی جرثقیل معلق به روش PDC ۹۴
۵-۷- طراحی کنترل کننده برای مدل دو آونگی جرثقیل معلق به روش PDC LQR ۹۵
۵-۸- مدل فازی تاکاگی-سوگنو جرثقیل معلق نوع دوآونگی با انتخاب مجموعه قواعد فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۹۶
۵-۹- طراحی کنترل کننده برای مدل دو آونگی جرثقیل معلق با انتخاب ۸ قاعده فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به روش PDC ۱۰۲
۵-۱۰- طراحی کنترل کننده برای مدل دو آونگی جرثقیل معلق با انتخاب ۸ قاعده فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به روش PDC LQR ۱۰۳
۶- فصل ششم:شبیه سازی ۱۰۵
۶-۱- مقدمه ۱۰۶
۶-۲- کنترل جرثقیل معلق نوع تک آونگی با ۱۶ قاعده فازی ۱۰۶
۶-۳- کنترل جرثقیل معلق نوع تک آونگی با ۸ قاعده فازی ۱۰۷
۶-۴- بررسی اثر نویز در سیستم جرثقیل معلق نوع تک آونگی ۱۱۲
۶-۵- بررسی اثر اغتشاش در سیستم جرثقیل معلق نوع تک آونگی ۱۱۷
۶-۶- بررسی خطا در سیستم جرثقیل معلق نوع تک آونگی ۱۲۳

۶-۷- کنترل جرثقیل معلق نوع دو آونگی ۱۲۴
۶-۸- اثر نویز در سیستم جرثقیل معلق نوع دو آونگی با کنترل کننده PDC LQR ۱۳۱
۶-۹- اثر اغتشاش در سیستم جرثقیل معلق نوع دو آونگی با کنترل کننده PDC LQR..... ۱۳۲
۶-۱۰- بررسی خطا در سیستم جرثقیل معلق نوع دو آونگی با کنترل کننده PDC LQR..... ۱۳۴
۷- فصل هفتم:نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۳۶
۷-۱- نتیجه گیری ۱۳۷
۷-۲- پیشنهادات ۱۳۸
مراجع ۱۴۰

فهرست اشکال

صفحه

شکل۱- ۱- جرثقیل برجی ۴
شکل۱- ۲- جرثقیل پل ٤
شکل۱- ۳- جرثقیل تلسکوپی ٦
شکل۱- ۴- جرثقیل همه کاره ۷
شکل۱- ۵- جرثقیل سیار ماشین آلات اوراق و ضایعات ۷
شکل۱- ۶- جرثقیل کامیونی ۸
شکل۱- ۷- جرثقیل راه آهن ۸
شکل۱- ۸- جرثقیل شناور ۹
شکل۱- ۹- جرثقیل کانتینر ۱۰
شکل۱- ۱۰- (الف) بالابر هوایی، (ب) واگن بالابر ۱۲
شکل۱- ۱۱- طرح جرثقیل تک آونگی ۱٦
شکل۱- ۱۲- طرح جرثقیل دو آونگی ۱۷
شکل۱- ۱۳- طرح جرثقیل معلق با کابل قابل انعطاف ۱۸
شکل۱- ۱۴- طرح جرثقیل با واگن و بار در دستگاه مختصات سه بعدی ۱۹

شکل ۲- ۱- طراحی کنترل فازی مبتنی بر مدل ۲۶
شکل ۲- ۲- ناحیه غیر خطی کلی ۲۸
شکل ۲- ۳- ناحیه غیر خطی محلی ۲۹
شکل ۲- ۴- توابع تعلق M_1 و M_2 مثال ۲-۱ ..... ۳۳
شکل ۲- ۵- پاسخ مثال ۲-۱ ($a = 1$) ۳٤
شکل ۲- ۶- ناحیه جذب مثال ۲-۱ ..... ۳۵

شکل۵- ۱- تغییرات $z_1(t)$ تا $z_4(t)$ ۷۳
شکل۵- ۲- توابع تعلق $M_{1,p}\left(z_p(t)\right)$ و $M_{2,p}\left(z_p(t)\right)$ ۷٤
شکل۵- ۳- گستره تغییرات $z_1(t)$، $z_2(t)$ و $z_3(t)$ ۹۱
شکل۵- ۴- گستره تغییرات $\mathrm{z}_4(\mathrm{t})$، $\mathrm{z}_5(\mathrm{t})$ و $\mathrm{z}_6(\mathrm{t})$ ۹۱
شکل۵- ۵- گستره تغییرات $\mathrm{z}_7(\mathrm{t})$، $\mathrm{z}_8(\mathrm{t})$ و $\mathrm{z}_9(\mathrm{t})$ ۹۲
شکل۵- ۶- رابطه تناظری بین قواعد فازی و کروموزوم ۹۸

شکل ۶- ۱- موقعیت و سرعت واگن جرثقیل تک آونگی با ۱۶ قاعده فازی به روش PDC ۱۰۵
شکل ۶- ۲- زاویه تاب و سرعت تاب بار در جرثقیل تک آونگی با ۱۶ قاعده فازی به روش PDC ۱۰۷
شکل ۶- ۳- قانون کنترل PDC برای جرثقیل تک آونگی با ۱۶ قاعده فازی ۱۰۷
شکل ۶- ۴- موقعیت و سرعت واگن جرثقیل تک آونگی با ۸ قاعده فازی به روش PDC و PDC LQR ۱۰۸
شکل ۶- ۵- زاویه تاب و سرعت تاب بار در جرثقیل تک آونگی با ۸ قاعده فازی به روش PDC و PDC LQR ۱۰۹
شکل ۶- ۶- قانون کنترل PDC و PDC LQR برای جرثقیل تک آونگی با ۸ قاعده فازی ۱۰۹
شکل ۶- ۷- موقعیت و سرعت حرکت واگن کنترل شده با روش PDC با ۸ قاعده فازی از شرایط اولیه متفاوت ۱۱۰
شکل ۶- ۸- زاویه و سرعت زاویه ای تاب بار کنترل شده با روش PDC با ۸ قاعده فازی از شرایط اولیه متفاوت ۱۱۰

شکل ۶- ۹- قانون کنترل PDC برای جرثقیل تک آونگی با ۸ قاعده فازی از شرایط اولیه متفاوت..... ۱۱۱
شکل ۶- ۱۰- موقعیت و سرعت حرکت واگن کنترل شده با روشPDC LQR با ۸ قاعده فازی از شرایط اولیه متفاوت..... ۱۱۱
شکل ۶- ۱۱- زاویه و سرعت زاویه ای تاب بار کنترل شده با روش PDC LQR با ۸ قاعده فازی از شرایط اولیه متفاوت..... ۱۱۲
شکل ۶- ۱۲- قانون کنترل PDC LQR برای جرثقیل تک آونگی با ۸ قاعده فازی از شرایط اولیه متفاوت ۱۱۲
شکل ۶- ۱۳- موقعیت واگن X_1 و زاویه تاب X_3 با اعمال نویز با واریانس ۰/۱ به روش PDC ۱۱۳
شکل ۶- ۱۴- موقعیت واگن X_1 و زاویه تاب X_3 با اعمال نویز با واریانس ۰/۰۱ به روش PDC ۱۱٤
شکل ۶- ۱۵- موقعیت واگن X_1 و زاویه تاب X_3 با اعمال نویز با واریانس ۰/۰۰۱ به روش PDC ۱۱٤
شکل ۶- ۱۶- موقعیت واگن X_1 و زاویه تاب X_3 با اعمال نویز با واریانس ۰/۱ به روش PDC LQR ۱۱۵
شکل ۶- ۱۷- موقعیت واگن X_1 و زاویه تاب X_3 با اعمال نویز با واریانس ۰/۰۱ به روش PDC LQR ۱۱۵
شکل ۶- ۱۸- موقعیت واگن X_1 و زاویه تاب X_3 با اعمال نویز با واریانس ۰/۰۰۱ به روش PDC LQR ۱۱٦
شکل ۶- ۱۹- موقعیت و سرعت واگن در حضور اغتشاش پله نامحدود کنترل شده با روش PDC ۱۱۷
شکل ۶- ۲۰- زاویه و سرعت زاویه ای تاب بار در حضور اغتشاش پله نامحدود کنترل شده با روش PDC..... ۱۱۸
شکل ۶- ۲۱- موقعیت و سرعت واگن در حضور اغتشاش پله محدود کنترل شده با روش PDC ۱۱۸
شکل ۶- ۲۲- زاویه و سرعت زاویه ای تاب بار در حضور اغتشاش پله محدود کنترل شده با روش PDC ۱۱۹
شکل ۶- ۲۳- موقعیت و سرعت واگن در حضور اغتشاش پله نامحدود کنترل شده با روش PDC LQR ۱۱۹
شکل ۶- ۲۴- زاویه و سرعت زاویه ای تاب بار در حضور اغتشاش پله نامحدود کنترل شده با روش PDC LQR ۱۲۰
شکل ۶- ۲۵- موقعیت و سرعت واگن در حضور اغتشاش پله محدود کنترل شده با روش PDC LQR ۱۲۰
شکل ۶- ۲۶- زاویه و سرعت زاویه ای تاب بار در حضور اغتشاش پله محدود کنترل شده با روش PDC LQR ۱۲۱
شکل ۶- ۲۷- موقعیت و سرعت واگن در حضور اغتشاش شیب کنترل شده با روشPDC ۱۲۱
شکل ۶- ۲۸- زاویه و سرعت زاویه ای بار در حضور اغتشاش شیب کنترل شده با روشPDC ۱۲۲
شکل ۶- ۲۹- موقعیت و سرعت واگن در حضور اغتشاش شیب کنترل شده با روشPDC LQR ۱۲۲
شکل ۶- ۳۰- زاویه و سرعت زاویه ای بار در حضور اغتشاش شیب کنترل شده با روشPDC LQR..... ۱۲۳
شکل ۶- ۳۱- موقعیت و سرعت واگن کنترل شده به روش PDC و PDC LQR ۱۲۵
شکل ۶- ۳۲- زاویه و سرعت زاویه ای قلاب کنترل شده به روش PDC و PDC LQR ۱۲۵
شکل ۶- ۳۳- زاویه و سرعت زاویه ای بار کنترل شده به روش PDC و PDC LQR ۱۲٦
شکل ۶- ۳۴- قوانین کنترل PDC و PDC LQR..... ۱۲٦
شکل ۶- ۳۵- موقعیت و سرعت واگن کنترل شده به روش GA PDC و GA PDC LQR ۱۲۷
شکل ۶- ۳۶- زاویه و سرعت زاویه ای قلاب کنترل شده به روش GA PDC و GA PDC LQR ۱۲۷
شکل ۶- ۳۷- زاویه و سرعت زاویه ای بار کنترل شده به روش GA PDC و GA PDC LQR ۱۲۸
شکل ۶- ۳۸- قوانین کنترلGA PDC و GA PDC LQR..... ۱۲۸
شکل ۶- ۳۹- موقعیت و سرعت واگن کنترل شده به روش PDC LQR و GA PDC LQR..... ۱۲۹
شکل ۶- ۴۰- زاویه و سرعت زاویه ای قلاب کنترل شده به روش PDC LQR و GA PDC LQR ۱۲۹
شکل ۶- ۴۱- زاویه و سرعت زاویه ای بار کنترل شده به روش PDC LQR و GA PDC LQR ۱۳۰
شکل ۶- ۴۲- قوانین کنترل PDC LQR و GA PDC LQR..... ۱۳۰
شکل ۶- ۴۳- موقعیت و زوایای تاب قلاب و بار با اعمال نویز به روش PDC LQR ۱۳۱

شکل ۶- ۴۴- موقعیت و زوایای تاب قلاب و بار با اعمال اغتشاش پله محدود فقط به موقعیت به روش PDC LQR ۱۳۲
شکل ۶- ۴۵- موقعیت و زوایای تاب قلاب و بار با اعمال اغتشاش پله محدود به روش PDC LQR..... ۱۳۳
شکل ۶- ۴۶- اغتشاش های اعمال شده به موقعیت و زوایای تاب قلاب و بار ۱۳۳
شکل ۶- ۴۷- موقعیت و زوایای تاب قلاب و بار با اعمال اغتشاش پله محدود به روش PDC LQR..... ۱۳٤

فهرست جدول ها **صفحه**

جدول ۶- ۱- واریانس نویز اعمالی به حالت ها و نویز حالت های کنترل شده ۱۱۷
جدول ۶- ۲- میزان تحمل خطای ناگهانی کنترل کننده PDC LQR ۱۲٤
جدول ۶- ۳- واریانس نویز اعمالی به حالت ها و نویز حالت های کنترل شده ۱۳۱
جدول ۶- ۴- میزان تحمل خطای ناگهانی کنترل کننده PDC LQR در جرثقیل معلق نوع دو آونگی ۱۳۵

۱- فصل اول:

مقدمه

۱-۱- معرفی سیستم جرثقیل

سال هاست که جرثقیل ها برای بلند کردن و حمل اجسام سنگین استفاده می شوند. آنها در کارخانه های کشتی سازی، ساختمان سازی و انبارهای کالا مورد استفاده قرار می گیرند. در تمام موارد بیشترین کاربرد جرثقیل جابجایی بار از یک مکان به مکان دیگر است. هر جا حمل بار سنگین نیاز است، استفاده از جرثقیل سیار غیر قابل اجتناب است. آنها قابل اطمینان و چندمنظوره هستند و ظرفیت وزنی آنها بسیار زیاد است. آنها قابل حمل بوده و برای تعداد زیادی از صنایع و کارها ضروری هستند [۱].

جرثقیل های زیربشکه ای[1]، جرثقیل پل و جرثقیل هوایی از انواع جرثقیل ها هستند که توسط یک بالابر که روی یک واگن بالابر سوار شده و می تواند روی یک ریل یا یک جفت ریل به صورت افقی حرکت کند، اشیاء را جابجا می کنند. جرثقیل هوایی سیار، جرثقیل هوایی یا جرثقیل معلق نیز نامیده می شود [۲].

جرثقیل معلق و جرثقیل زیربشکه ای منحصراً برای حمل اشیاء خیلی سنگین مناسب هستند و جرثقیل های زیربشکه ای عظیم الجثه برای کشتی سازی مورد استفاده قرار می گیرند که استفاده از جرثقیل امکان حمل اشیاء بزرگ مثل موتورهای کشتی ها را فراهم می کند. دو جرثقیل زیربشکه ای معروف در سال های ۱۹۷۴ و ۱۹۶۹ به نام های سامسون[2] و گلیات[3] ساخته شده اند که در بزرگ ترین تعمیرگاه کشتی در جهان در بلفاست[4] ایرلند شمالی مستقر بودند. هر جرثقیل ۱۴۰ متر اندازه دارد و می تواند بارهای سنگین تر از ۸۴۰ تن را تا ارتفاع ۷۰ متری حمل کند [۲].

[1] Gantry cranes
[2] Samson
[3] Goliath
[4] Belfast

سه عامل مهم در عملکرد جرثقیل عبارتند از: سرعت، دقت و ایمنی. به عنوان مثال در ساخت و ساز برای کاهش هزینه عامل سرعت بسیار مهم است. اما اگر جرثقیل برای بالا بردن یک میله به مکان متصل به یک ساختار پیش ساخته استفاده شود، دقت عملکرد برای تراز کردن میله در جای مناسبش مهم خواهد بود. امنیت برای تمام جرثقیل ها به دلیل وجود احتمال برخورد بین اشیاء و انسان ها عامل مهمی است [۱].

تمام جرثقیل ها برای بلند کردن و نگه داشتن بار به کابل نیاز دارند. به واسطه این ساختار، ممکن است هنگام حمل بار، بار تاب بخورد. تاب خوردن باعث کاهش سرعت، دقت و ایمنی هنگام حمل بار می شود. تاب سرعت انتقال بار را کاهش می دهد، زیرا تاب بار باید قبل از اینکه بار به طور ایمن در موقعیت تعیین شده پایین گذاشته شود، از بین برود. تاب موقعیت یابی دقیق و سایر کارهای دقت محور را مشکل می کند. همچنین تاب به دلیل اینکه احتمال برخورد بار را با اشیاء و انسان ها ایجاد می کند، باعث کاهش ایمنی می شود [۱].

دو نوع جرثقیل متداول، جرثقیل برجی[۱] و جرثقیل پل[۲] به ترتیب در شکل های ۱-۱ و ۱-۲ آورده شده است. جرثقیل پل با استفاده از مختصات کارتزین[۳] x-y کار می کند در حالیکه جرثقیل برجی از مختصات قطبی استفاده می کند.

۱-۲- انواع جرثقیل

انواع مختلفی از جرثقیل ها برای اهداف مختلف وجود دارد.

[1] Tower crane
[2] Bridge crane
[3] Cartesian

شکل۱- ۱- جرثقیل برجی[۳]

شکل۱- ۲- جرثقیل پل[۴و۵]

۱-۲-۱- جرثقیل پل

جرثقیل پل یکی از لوازم مورد نیاز برای جابجایی کالای کشتی ها از یک مکان به مکان دیگر است. بیشتر شرکت ها از جرثقیل پل برای جابجایی استفاده می کنند. جرثقیل پل یکی از عمده ترین تجهیزات باربری است که در کشتی سازی بسیار پرتقاضا است. به طور مثال در بخش حمل و نقل آمریکا جرثقیل پل باید حدود ۳۰٪ کل کالاها را حمل کند [۲].

جرثقیل های پل معمولاً به دو دسته متفاوت تقسیم می شوند، یکی جرثقیل پل سقفی و دیگری جرثقیل پل زمینی.

جرثقیل پل سقفی یک وسیله ایده آل برای جابجایی در فضاهای باز و سرپوشیده می باشد. بهترین ویژگی این جرثقیل این است که می توان از آن با توجه به جهت قرار گرفتن بار، در هر جهت ممکن استفاده کرد. برای نصب این جرثقیل تجهیزات هوایی لازم است. ویژگی جرثقیل پل زمینی این است که به تجهیزات هوایی نیاز ندارد ولی برای ایستادن روی زمین به استاتین[1] با حداقل شش اینچ ارتفاع بتن نیاز دارد [۲].

معمولاً جرثقیل پل به جرثقیل بازویی[2] ترجیح داده می شود. منحصر بودن این جرثقیل به این دلیل است که نواحی متعامد را در تمام اشکال مختلف به جای تنها کار در نواحی دایره ای، که در تمام جرثقیل های بازویی متداول است، پوشش می دهد. با استفاده از این جرثقیل می توان بیشترین رضایت را برای مشتری ایجاد کرد [۱].

کارخانه کشتی سازی تنها جایی نیست که جرثقیل پل در آنجا کاربرد دارد، از جرثقیل پل می توان در هر مکانی استفاده کرد. جرثقیل پل با دو میله افقی که پل را نگه می دارند، نگه داشته می شود. جرثقیل با استفاده از یک واگن برقی و یک قرقره کار می کند. در بیشتر موارد، پل دو ریل موازی را حرکت می دهد و یک فضای مستطیلی تحت پوشش قرار می گیرد [۱].

۱-۲-۲- جرثقیل سیار تلسکوپی[3]

هر جا که جایابی دقیق بار نیاز است، جرثقیل های سیار می توانند این نیاز را برطرف کنند. آنها در مونتاژ بسیار مفید و قابل اطمینان هستند. از ویژگی های بارز این جرثقیل ها، قیمت پایین آنها و قابلیت جابجایی بسیار عالی و همچنین ساختار کم حجم آن می باشد[۱و۸]. نمونه ای از جرثقیل تلسکوپی را می توان در شکل ۱-۳ مشاهده کرد.

[1] Astatine
[2] Jib crane
[3] Telescopic mobile crane