بسم الله الرّحمن الرّحيم

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی برق گرایش قدرت

طراحی کنترلگرهای بهینه- مقاوم جهت پایدارسازی سیستم های غیرخطی با استفاده از مدلسازی فازی (T-S)

استادان راهنما:

دکتر سعید حقوقی اصفهانی

دکتر غلامرضا عرب مارکده

استاد مشاور:

دکتر جعفر قیصری

پژوهشگر:

آرش خداپرست سیچانی

شهریور ماه ۱۳۸۹

دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان نامه آقای آرش خداپرست سیچانی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی برق گرایش قدرت با عنوان:

طراحی کنترلگرهای بهینه- مقاوم جهت پایدارسازی سیستم های غیرخطی

با استفاده از مدلسازی فازی (T-S)

در تاریخ ۱۳۸۹/۷/۲۸ با حضور هیأت داوران زیر، بررسی و با نمره ۱۹/۵ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استادان راهنمای پایان نامه:

-دکتر سعید حقوقی اصفهانی با مرتبه ی علمی استادیاری امضاء

-دکتر غلامرضا عرب مارکده با مرتبه ی علمی استادیاری امضاء

۲. استاد مشاور پایان نامه:

-دکتر جعفر قیصری با مرتبه ی علمی استادیاری امضاء

۳. استادان داور پایان نامه:

-دکتر عباس کارگر با مرتبه ی علمی استادیاری امضاء

-دکتر نوید رضا ابجدی با مرتبه ی علمی استادیاری امضاء

دکتر بهزاد قاسمی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده فنی مهندسی

کلّیه ی حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلّق به دانشگاه شهرکرد است.

تشکّر و قدردانی

بدین وسیله کمال تشکّر و قدردانی به کلّیه ی افرادی که در شکل گیری این طرح یاری رسانده اند، ابراز می گردد. بالاخص از زحمات بی دریغ اساتید راهنما و مشاور اینجانب نهایت تشکّر به عمل می آید. همچنین از مسئولین آزمایشگاه کنترل پیشرفته ی دانشگاه صنعتی اصفهان به لحاظ در اختیار قراردادن مجموعه ی عملی آونگ-گاری، جهت بدست آوردن نتایج عملی موجود در طرح، قدردانی می گردد.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

چکیده

در این گزارش، طراحی کنترلگرهای بهینه-مقاوم جهت اعمال بر روی سیستم های غیرخطّی توسط مدلسازی فازی (T-S)[1] مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در این راستا، با توجّه بر اهمیّت مدلسازی سیستمها در طراحی کنترلگر، مدلسازی سیستمهای دینامیکی غیرخطّی مورد بررسی قرارگرفته است. همچنین در بحث مدلسازی سیستمهای غیرخطّی، مدلسازی فازی به عنوان یکی از راهکارهای موجود جهت مدلسازی سیستم های غیرخطّی معرفی شده و ویژگیهای آن با توجّه بر مطالعات انجام شده، مورد بحث و بررسی واقع شده است. در ادامه با اشاره بر ویژگیهای کنترلگرهای حلقه بسته ی فازی، انواع روشهای مرسوّم در طراحی کنترلگرهایی که دارای قابلیت بهره گیری از سیستم استنتاج فازی هستند، ارائه گردیده است. در بین روشهای مطرح شده در طراحی کنترلگرهای فازی، جهت حصول کنترلگر مقاوم-بهینه روش طراحی کنترلگر فازی با بهره ی برنامه ریزی[2] انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته و ویژگیهای منحصر به فرد آن ارائه گردیده است. در ادامه طراحی کنترلگرهای از نوع بهره ی برنامه ریزی شده در قالب کنترلگر فیدبک حالت و کنترلگرهای مبتنی بر مشاهده گر با تعریف معیارهای مرسوّم و کارآمد بهینه-مقاوم مورد بررسی قرار گرفته است. در امر طراحی، معیارهای حصول کارایی بهینه-مقاوم، از نوع کنترل با تضمین حد بالای تابع هزینه و معیار زیر بهینه ی H_∞ و ساختار قانون کنترل از نوع جبرانسازی توزیع یافته ی موازی[3] (PDC) و جبرانسازی توزیع یافته ی موازی پویا[4] (DPDC) انتخاب شده است. همچنین امر طراحی کنترلگر ساختار یافته در قالب حل عددی مسئله ی بهینه سازی محدّب، بر روی محدوده ی تشکیل یافته شده، توسط نامساویهای ماتریسی خطّی[5](LMIs) فرمول بندی شده است. جهت بررسی کارامدی هر یک از قضیه های مطرح شده، کاربردهایی از هر یک از انواع کنترلگرهای مطرح شده ی فیدبک حالت، کنترلگر فیدبک حالت مبتنی بر مشاهده گر و کنترلگر مبتنی بر فیدبک خروجی ارائه گردیده است. از دسته کاربردهای مطرح شده در این گزارش می توان طراحی کنترلگر بهینه-مقاوم فازی از نوع حالت را جهت اعمال بر روی سیستم درایو موتور القایی روتور سیم پیچی شده و طراحی کنترلگر بهینه-مقاوم فازی از نوع حالت و مبتنی بر مشاهده گر حالت را برای سیستم آزمایشگاهی آونگ-گاری نام برد. در هر یک از کاربردهای مطرح شده کارآیی کنترلگر توسط ارائه ی نتایج شبیه سازی های انجام گرفته و یا نتایج بدست آمده از پیاده سازی کنترلگر بر روی سیستم عملی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در انتها با ارائه و بررسی قابلیت ها و معایب روش مطرح شده به ارائه ی پیشنهاداتی جهت بهبود و رفع معایب، پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: کنترلگر مقاوم-بهینه، مدل فازی T-S، جبرانسازی توزیع یافته ی موازی، نامساوی های ماتریسی خطّی، کنترل با تضمین حد بالای تابع هزینه، معیار H_∞.

---

[1] Takagi-Sugeno

[2] Gain Scheduling Fuzzy Controller

[3] Parallel Distributed Compensation

[4] Dynamic Parallel Distributed Compensation

[5] Linear Matrix Inequalities

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اوّل- مقدّمه	**۱۵**
فصل دوّم- سیستم های غیرخطّی و مدل های فازی	**۲۰**
۲-۱ سیستم های غیرخطّی	۲۱
۲-۲ مدل های فازی	۲۸
۲-۳ مدل فازی T-S	۲۹
فصل سوّم-کنترلگرهای فازی	**۴۱**
۳-۱ انواع کنترلگرهای فازی	٤۲
۳-۲ کنترلگرهای فازی غیر مبتنی بر مدل	٤۳
۳-۳ کنترلگرهای فازی مبتنی بر مدل	٤٥
۳-۴ ویژگیهای کنترلگرهای فازی و کنترلگرهای فازی با بهره برنامه ریزی شده	٦۳
فصل چهارم-کنترلگر حالت مقاوم و بهینه ی فازی	**۶۷**
۴-۱کنترلگرهای فازی مقاوم	٦۸
۴-۲ کنترل های فازی بهینه	۷٦
۴-۳ مسئله ی کنترل فازی بهینه-مقاوم	۸۲
۴-۴ طراحی کنترلگر فازی مقاوم- بهینه برای درایو موتور القایی روتور سیم پیچی شده	۸٤
۴-۵ طراحی کنترلگر فازی مقاوم- بهینه برای کنترل سیستم آونگ وارون	۹۱
فصل پنجم-کنترل تعقیب مقاوم-بهینه ی فازی مبتنی بر مشاهده گر حالت	**۱۰۳**
۵-۱ کنترل تعقیب خروجی مبتنی بر معیار کارایی H_∞	۱۰٤
۵-۲ بهبود کنترل تعقیب خروجی مبتنی بر معیار کارایی H_∞	۱۰۸
۵- ۳کنترل تعقیب خروجی بهینه-مقاوم برای سیستم آونگ-گاری	۱۱٦
فصل ششم-نتیجه گیری و ارائه ی پیشنهادات	**۱۲۳**
۶-۱ نتیجه گیری	۱۲۳
۶-۲ محدودیت ها، معایب و قضیه های ارائه شده جهت رفع آنها	۱۲٤
۶-۳ پیشنهادات	۱۲٥

۷-فهرست منابع ۱۲۷

فهرست شکلها

عنوان شماره صفحه

شکل ۲- ۱ اجزای سیستم آونگ-گاری ۲٤
شکل ۲- ۲ سیستم آونگ-گاری ۲٥
شکل ۲- ۳ نیروی اصطکاک T_c متناظر با سرعت گاری x_3 ۲۷
شکل ۲- ۴ نمای فاز سیستم آونگ وارون ۲۷
شکل ۲- ۵ روند طراحی کنترلگر مبتنی بر مدل فازی ۳۱
شکل ۲- ۷ سکتور محلّی ۳۲
شکل ۲- ۶ سکتور سراسری ۳۲
شکل ۲- ۸ توابع عضویت $M_1(z_1(t))$ و $M_2(z_1(t))$ ۳۳
شکل ۲- ۹ توابع عضویت $N_1(z_2(t))$ و $N_2(z_2(t))$ ۳٤
شکل ۲- ۱۰ توابع عضویت متناظر با زاویه ی آونگ ۳٦
شکل ۲- ۱۱ توابع عضویت متناظر با سرعت زاویه ای آونگ ۳٦
شکل ۲- ۱۲ تابع هزینه ی خطای مربوط به سه مدل مورد مقایسه بر حسب زمان برای شرایط اوّلیه ی غیر صفر ۳۹
شکل ۲- ۱۳ تابع هزینه ی خطای مربوط به سه مدل مورد مقایسه بر حسب زمان برای ورودی غیر صفر ٤۰
شکل ۲- ۱۴ مقادیر زاویه ی آونگ برای سه مدل مطرح شده ٤۰
شکل ۳- ۱ دسته بندی کنترلگرهای فازی ٤۳
شکل ۳- ۲ کنترلگر (PD) فازی ٤٤
شکل ۳- ۳ کنترلگر (PI) فازی ٤٤
شکل ۳- ۴ کنترلگر (PID) فازی ٤٥
شکل ۳- ۵ کنترلگر (PD+I) فازی ٤٥
شکل ۳- ۶ روش طراحی کنترلگر فراگیری معکوس ٤۷
شکل ۳- ۷ ساختار کنترل تطبیقی مستقیم ٤۸
شکل ۳- ۸ تنظیم ضرایب ثابت توسط بهینه سازی غیرخطّی ٥۰
شکل ۳- ۹ تنظیم ضرایب داخلی کنترلگر فازی (توابع عضویت، نتایج، ...) ٥۱
شکل ۳- ۱۰ نمایی از خطّی سازی با فیدبک تطبیقی ٥٤
شکل ۳- ۱۱ رابطه ی بین موقعیت توابع عضویت و نمودار $K_{fuzz}(x,t,s,\phi)$ ٥۹
شکل ۳- ۱۲ نمودار بلوکی از کنترلگر پیش بین ٦۲
شکل ۴- ۱ درایو اصلاح شده موتور القایی روتور سیم پیچی شده ۸٦
شکل ۴- ۲ ساختار کنترل پیشنهادی برای مجموعه ی درایو در موتور القایی روتور سیم پیچی شده ۸۸
شکل ۴- ۳ سرعت محور موتور به ازای مقادیر متفاوت مرجع سرعت ۹۰
شکل ۴- ۴ تغییرات جریان اتصال (DC) درایو با تغییر مرجع سرعت محور موتور ۹۰
شکل ۴- ۵ ورودی کنترل u(t) با توجّه به تغییر مرجع سرعت محور ۹۰
شکل ۴- ۶ خطای کنترل سرعت محور با اعمال تغییر پلّه در بار ثابت موتور ۹۰
شکل ۴- ۷ ورودی کنترل u(t) با اعمال تغییر پلّه در بار ثابت ۹۰
شکل ۴- ۸ تغییرات جریان اتصال (DC) با اعمال تغییر پلّه در بار ثابت ۹۰

شکل ۴- ۹ نواحی عملکرد کنترلگرهای چرخش رو به بالا و پایدار ساز سیستم آونگ-گاری ۹۲
شکل ۴- ۱۰ توابع عضویت متناظر با زاویه ی آونگ ۹٤
شکل ۴- ۱۱ عملکرد سیستم نامی در حضور کنترلگر فازی بهینه-مقاوم ۹٦
شکل ۴- ۱۲ نتایج شبیه سازی کنترلگر فازی بهینه-مقاوم بر روی سیستم آونگ-گاری با وجود نامعیّنی ۹۷
شکل ۴- ۱۳ مقدار تابع هزینه بعد از پیاده سازی کنترلگر ۹۷
شکل ۴- ۱۴ مجموعه ی آزمایشگاهی آونگ-گاری ۹۸
شکل ۴- ۱۵مقادیر حالت ها و ورودی سیستم آونگ وارون (نتایج عملی) ۹۹
شکل ۴- ۱۶ مقادیر حالت ها و ورودی سیستم آونگ وارون در زمان فعالیّت کنترلگر فازی مقاوم-بهینه ۱۰۰
شکل ۴- ۱۷ اعمال اغتشاش خارجی بر سیستم آونگ وارون (نتایج عملی) ۱۰۱
شکل ۴-۱۸ افزایش محدوده ی عملکرد کنترلگر ارائه شده در مقایسه با کنترلگر خطّی حالت ۱۰۲

شکل ۵- ۱ مقادیر متغیر های حالت سیستم، مرجع و ورودی سیستم تحت کنترل مثال (۵-۱) ۱۱۵
شکل ۵- ۲ مقدار $\gamma(t)$ بر حسب زمان در شبیه سازی مثال (۱-۵) ۱۱۶
شکل ۵- ۳ اعمال کنترلگر مقاوم-بهینه ی مبتنی بر مشاهده گر بر روی سیستم آونگ-گاری ۱۱۸
شکل ۵- ۴ اعمال کنترلگر مقاوم-بهینه ی مبتنی بر مشاهده گر در حضور نامعیّنی ۱۱۹
شکل ۵- ۵ نتایج عملی پیاده سازی کنترلگر پایدارساز بر روی سیستم آونگ-گاری ۱۲۰
شکل ۵- ۶ نتایج عملی پیاده سازی کنترلگر مقاوم-بهینه ی مبتنی بر مشاهده گر ۱۲۱
شکل ۵- ۷ نتایج عملی در اعمال اغتشاش خارجی بر سیستم آونگ وارون ۱۲۲

فهرست جدول ها

عنوان شماره صفحه

جدول ۲-۱ پارامتر های سیستم آونگ-گار ۲۵
جدول۲- ۲ پارامتر های سیستم آزمایشگاهی آونگ-گاری ۲۸
جدول ۳- ۱ مقایسه ی ویژگیهای انواع کنترلگرهای فازی مرسوّم ٦٦
جدول ۴- ۱ پارامتر های سیستم آزمایشگاهی موتور و درایو ۸٦

فصل اوّل

۱- مقدّمه

شناسایی و کنترل رفتار سیستمهای غیرخطّی بخش حائز اهمیّتی از علم کنترل را به خود اختصاص می دهد. در اغلب کاربردهای عملی، رفتار غیرخطّی جزء جدایی ناپذیری از سیستم تحت کنترل یا عملگرها می باشد. جهت بررسی هرچه بیشتر سیستم های غیرخطّی، اعم از شناسایی رفتار و اعمال کنترل، بدست آوردن مدلی ریاضی از رفتار سیستم الزامی به نظر می رسد. از مهمترین ویژگی های یک مدل می توان بر توانایی آن برای تخمین هرچه بهتر رفتار سیستم واقعی در شرایط کاری سیستم و سادگی آن جهت طراحی هرچه بهتر، آسانتر و ساختار یافته تر کنترلگر جهت دسترسی به ملزومات کنترلی سیستم نام برد. در این حین پیشرفتهای انجام شده در حیطه ی مدلسازی و طراحی کنترلگر با استفاده از مباحث ریاضیات فازی و منطق کلامی، راهکارهای مؤثّری را جهت بدست آوردن یک مدل ساده و کارآمد ارائه می نماید.

استفاده از ریاضیات فازی با قابلیت ارائه ی بستری جهت اعمال منطق کلامی انسان در قالب های عددی و از طرفی توانایی سیستم استنتاج فازی در تقریب توابع غیرخطّی و پیوسته از هر دقّت دلخواه، مدلهای فازی را به عنوان یکی از مهمترین راهکارها جهت مدل سازی سیستم های غیرخطّی مطرح می نمایند. همچنین مطالعات انجام شده جهت طراحی کنترلگرهای ساختار یافته و با کارایی بالا قابلیت های طراحی و اعمال کنترل را برای این دسته از مدلها فراهم نموده است. بنابر این با توجّه بر قابلیت های مطرح شده می توان مدل های فازی را به عنوان یکی از راهکارهای کارآمد جهت مدلسازی و کنترل سیستم های غیرخطّی در نظر گرفت.

روند صعودی استفاده از کنترلگرهای فازی در سیستم های عملی که خود نشانگر کارایی بالای این دسته از کنترلگرها می باشد، صنایع ساخت تجهیزات الکترونیک و سیستم های کنترل و اتوماسیون را ملزم به طراحی و ساخت سیستم های خود در راستای پیاده سازی هر چه ساده تر و کاراتر این دسته از کنترلگرها در قالب بسترهایی از جمله پروسسورها، بردهای کنترلی و محصولات اتوماسیون صنعتی و سازگار با پیاده سازی

کنترلگرهای فازی نموده است. بنابراین، به کارگیری کنترلگرهای فازی به عنوان یک انتخاب مناسب برای مهندسین طراح در رفع نیازها در کنترل سیستمها در کلّیه سطوح مدّ نظر قرار گرفته است. قابلیت این دسته از کنترلگرها در کنترل سیستمهای پیچیده از بکارگیری منطق فازی در ساختار و قانون کنترل نتیجه می شود و در حقیقت توانایی این دسته از کنترلگرها در بکارگیری تجربه و منطق زبانی انسان در آنالیز، طراحی و یا ساختار کنترلگر، باعث ساده سازی روند طراحی می گردد.

امروزه طیف گسترده ای از ساختارهای کنترلگرهای فازی جهت اعمال بر روی سیستم های غیرخطّی ارائه گردیده است. به طور کلّی انواع کنترلگرهای فازی را می توان از حیث ساختار به دو دسته ی مبتنی بر مدل و غیر مبتنی بر مدل تقسیم نمود. اغلب کنترلگرهای ارائه شده در دسته ی اوّل از ویژگی های ریاضیات فازی در امر مدلسازی و کنترل سیستمها بهره می گیرند. در حالی که دسته ی دوّم تنها از ویژگیهای سیستمهای فازی در اعمال کنترل با منطق کلامی بهره می برند. هر دو دسته از کنترلگرهای ایراد شده ویژگیها و قابلیت های خاص منحصر به فردی را از خود به نمایش می گذارند و انتخاب ساختار مورد نظر بسته بر نظر طراح در کاربردهای مختلف متفاوت خواهد بود.

از ویژگیهای مهم کنترلگرهای فازی مبتنی بر مدل می توان، توانایی بر اثبات پایداری و تحلیل کارایی آنها را در گام طراحی ذکر نمود. در این بین کنترلگرهایی با توانایی طراحی مستقیم جهت اعمال بر روی سیستمهای غیرخطّی مطرح می گردد. در طراحی کنترلگر به روش طراحی مستقیم قانون کنترل به صورت کامل در فاز طراحی بر اساس اهداف و معیارهای کارایی سیستم تحت کنترل مشخّص می گردد. در این بین ایده ی بکار گیری روشهای طراحی سیستمهای خطّی با قابلیت اعمال بر روی سیستمهای غیرخطّی به سبب پیچیدگی ها و مشکلات طراحی کنترلگرهای غیرخطّی همواره مدّ نظر قرار گرفته است. در این حال کنترلگرهای با بهره بر نامه ریزی به خوبی ایده ی استفاده از طراحی و آنالیز سیستم های خطّی را به کار گرفته است.

کنترلگرهای بهره برنامه ریزی شده بستری را جهت تعمیم و اعمال یافته های موجود در بحث آنالیز و طراحی کنترلگرهای مطرح در حیطه ی سیستمهای خطّی بر روی سیستم های غیرخطّی در اختیار طراح قرار می دهند. این ویژگی ابزار قدرتمندی را جهت آنالیز و طراحی کارایی کنترلگر ارائه می نماید. این مهم زیربنای اصلی ترین ویژگیهای کنترلگرهای بهره برنامه ریزی شده ی فازی را تشکیل می دهد. کنترلگرهای بهره برنامه ریزی شده ی فازی که مدل فرضی سیستم غیرخطّی در آن از نوع مدل فازی (T-S) اختیار می گردد، مدل سیستم غیرخطّی را توسط زیر سیستمهای خطّی مدل می نماید. بر مبنای مدل ارائه شده در این روش طراحی این دسته از کنترلگرها می تواند به صورت کاملاً ساختار یافته و مؤثّر توسط ابزارهای طراحی موجود انجام پذیرد. ابزار های موجود جهت طراحی و بررسی کارایی کنترلگرهای این خانواده قابلیت طراحی کنترلگر را برای سیستم های از مرتبه های بالا و با پیچیدگی زیاد در اختیار طراح قرار می دهد. از ابزارهایی که قابلیت طراحی را در خانواده ی کنترلگرهای بهره برنامه ریزی شده به صورت چشمگیری توسعه بخشیده است، مجموعه ی الگوریتمهای ارائه شده در حیطه ی برنامه ریزی محدّب[1] می باشد. کاربرد

[1] convex programming

الگوریتمهای ارائه شده در حیطه ی برنامه ریزی محدّب که خود در قالب ابزارهای در دسترس حل عددی نامساوی های ماتریسی خطّی و غیرخطّی ارائه می شود، روند طراحی کنترلگرهای با بهره برنامه ریزی شده را به سادگی ممکن کرده است. بستر فراهم شده در آنالیز و طراحی کنترلگرهای با بهره ی برنامه ریزی شده همچنین قابلیت منحصر به فرد طراحی کنترلگرهای مقاوم-بهینه را برای سیستم های غیرخطّی و متغیر با زمان، دارای تأخیر و سیستم هایی با مدل غیرخوش ریخت[۲] فراهم می آورند. این امر کنترلگرهای با بهره برنامه ریزی شده را به عنوان یک انتخاب مناسب جهت اعمال بر روی سیستم های غیرخطّی و پیچیده مطرح می نماید.

از ساختارهای مطرح کنترلگرکه بر مبنای مفهوم کنترل با بهره ی برنامه ریزی شده ی فازی شکل گرفته است، می توان جبرانسازی توزیع شده ی موازی (PDC) را نام برد. این ساختار در سال ۱۹۹۴ پیروی مقاله ی [۱] در حیطه ی بررسی پایداری مدل های فازی، برای اوّلین بار در [۲] معرفی گردیده است. این ساختار یکی از مهمترین قالب های طراحی کنترلگر پیشنهادی در دهه ی اخیر می باشد. از مهمترین ویژگی های این ساختار قابلیت ارائه ی شرایط طراحی و بهبود کارایی سیستم های کنترل شده در قالب نامساویهای ماتریسی خطّی (LMIs) است. حل این نامعادلات در امرِ طراحی و آنالیز، از دید عددی به سادگی توسط الگوریتم های ارائه شده در [۳] [۴] امکان پذیر است. به همراه کاربرد مدل (T-S) و کنترلگر(PDC)، در ابتدای معرفی این روش در ۱۹۹۴ این دسته از کنترلگرها به موفقیتهای چشمگیری در سیستم های عملی نیز دست پیدا کردند، که از آن نمونه می توان به [۶] [۵] و[۷] اشاره نمود. در این طرح کنترلگرهای مبتنی بر ساختارهای (PDC) و (DPDC) جهت طراحی بکار گرفته شده اند.

در امر طراحی کنترلگرهای غیرخطّی تعداد بیشماری کنترلگر جهت پایدار سازی یک سیستم پایدارپذیر موجود می باشد. انتخاب کنترلگر مناسب از مجموعه ای از کنترلگرهای پایدارساز معمولاً بر اساس معیارهای کارایی مورد نظر از کنترلگر انجام می پذیرد. از مهمترین معیارهای کارایی ارائه شده که بر قابلیت پیاده سازی کنترلگر در عمل نقش مؤثّری را ایفا می نماید، معیار مقاوم و بهینه بودن کنترلگر می باشد. در این گزارش با استفاده از ایده ی ارائه شده توسط قضیه ی کنترلگرهای با بهره برنامه ریزی شده ی فازی و با استفاده از ساختار های (PDC) و (DPDC) به بررسی کنترلگرهای مقاوم-بهینه جهت اعمال بر روی سیستم های غیرخطّی پرداخته شده است. در عمل قضیه ی بهره برنامه ریزی شده ی فازی از معدود روشهای مطرح شده جهت طراحی مستقیم کنترلگرهای مقاوم-بهینه برای سیستمهای غیرخطّی به شمار می آید[۸] .

نحوه ی ارائه ی گزارش در این طرح، در قالب فصل های زیر صورت گرفته است:

در فصل دوّم از گزارش با عنوان "سیستمهای غیرخطّی و مدلهای فازی" به اختصار مدلسازی سیستمهای دینامیکی غیرخطّی مورد بررسی قرار می گیرد. در این فصل با اشاره بر ضرورت بررسی مفاهیم پایداری به عنوان اصلی ترین ویژگی سیستمهای غیرخطّی به اختصار به نقش قضیه های لیاپانوف در پایداری سیستم ها پرداخته شده است. در ادامه به عنوان مثالی از یک سیستم غیرخطّی دینامیک سیستم آونگ-گاری که یکی از انواع سیستمهای آزمایشگاهی آونگ وارون می باشد، با بررسی قوانین فیزیک حاکم بر این سیستم مورد

---

[۲] non-affine

مطالعه قرار داده است. سپس مدل های فازی مرسوّم را به عنوان یک انتخاب جهت ارائه ی رفتار سیستم های دینامیکی غیرخطّی مورد مطالعه قرار داده به اختصار به بررسی ویژگیها و توانایی های آنها می پردازیم. با توجّه بر اهمیّت مدلسازی فازی (T-S) در فصول بعدی، نحوه ی بدست آوردن این مدل در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت برای بررسی توانایی های مدلسازی فازی، مدل فازی (T-S) سیستم آونگ-گاری بدست آورده شده است. در آخر با مقایسه ی مدلهای غیرخطّی حاصله از بررسی قوانین فیزیکی و مدلسازی فازی، توانایی های مدلسازی فازی (T-S) در تخمین رفتار این سیستم در محدوده ی عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در فصل سوّم با عنوان "کنترلگرهای فازی" به ارائه ی انواع کنترلگرهای فازی مرسوّم پرداخته می شود. این بخش به همراه ارائه ی ساختارهای مطرح برای کنترلگرهای فازی، حیطه ی عملکرد مناسب هر دسته را مشخّص می نماید. همچنین در این فصل به اختصار روند طراحی کنترلگرهای مزبور به همراه ارائه ی مزایا و معایب هر یک مورد بررسی قرار خواهد گرفت و جایگاه و محدوده ی استفاده از آنها مورد مطالعه قرار می گیرد. در انتها ویژگیهای کنترلگرهای با بهره برنامه ریزی شده ی فازی در راستای طراحیِ ساختار یافته ی کنترلگرهای مقاوم-بهینه برای سیستم های غیرخطّی مطرح می گردد.

فصل چهارم با عنوان "کنترلگر حالت مقاوم و بهینه ی فازی" ساختار جبرانسازهای توزیع یافته ی موازی یا (PDC) را ارائه می نماید. این ساختار که می توان آن را تعمیمی از فیدبک حالت برای سیستم های غیرخطّی دانست، برای هر زیر مدل خطّی مدل فازی (T-S)، بردار بهره ی فیدبک حالت را جهت پایدارسازی وکنترل سیستم معرفی می نماید. طی این فصل در ابتدا دسته ای مرسوّم از کنترلگرهای مقاوم و کنترلگرهای بهینه را به صورت مجزا مورد مطالعه قرار داده و با ترکیب این دو مفهوم به کنترلگرهای بهینه-مقاوم را معرفی می نماییم. همچنین به عنوان مثالی از نحوه ی طراحی این کنترلگر بر روی سیستم های الکترومکانیکی غیرخطّی و بررسی کارایی کنترلگر حالت مقاوم-بهینه ی ارائه شده دو مثال کاربردی در ادامه ی این بخش ارائه شده است. در مثال اوّل نحوه ی طراحی یک کنترلگر مقاوم-بهینه ی فازی برای سیستم درایو موتور القایی روتور سیم پیچی شده مطرح شده و کارایی کنترلگر مذکور در کنترل این سیستم توسط شبیه سازی تأیید می گردد. در ادامه کنترلگری از این نوع جهت اعمال بر روی سیستم آونگ-گاری طراحی شده و کارایی مطلوب کنترلگر توسط شبیه سازی و پیاده سازی عملی بر روی مجموعه ی آزمایشگاهی سیستم ارائه گردیده است.

فصل پنجم با عنوان "کنترل تعقیب مقاوم-فازی مبتنی بر مشاهده گر حالت" ساختار جبرانسازهای توزیع یافته ی موازی پویا یا (DPDC) را ارائه می نماید. این ساختار که می توان آن را تعمیمی از فیدبک حالت مبتنی بر مشاهده گر برای سیستم های غیرخطّی دانست، برای هر زیر مدل خطّی مدل فازی (T-S) دینامیک فیدبک مبتنی بر مشاهده گر را جهت کنترل سیستم معرفی می نماید. طی این فصل دو ساختار مقاوم و بهینه، مبتنی بر مشاهده گر حالت و فیدبک خروجی ارائه گردیده است. در این دو ساختار معیار H_∞ جهت طراحی کنترلگر در راستای کاهش شاخص معیار، مدّ نظر قرار گرفته است. در این بین مسئله ی فیدبک خروجی در قالب حل مسئله ی کمینه سازی محدّب در محدوده ی تعیین شده توسط دستگاه نامساوی ماتریسی خطّی بیان گردیده است. که به سادگی به صورت عددی قابل حل می باشد. این روش در

مقایسه با روشهای مطرح شده ی قبلی از لحاظ حل عددی مسئله ی دارای برتری و محافظه کاری کمتری می باشد. به عنوان مثالی از نحوه ی طراحی این کنترلگر بر روی سیستم های غیرخطّی و بررسی کارایی کنترلگر حالت مقاوم-بهینه ی ارائه شده دو مثال در ادامه ی این بخش ارائه شده است. در مثال اوّل نحوه ی طراحی یک کنترلگر مقاوم-بهینه ی فازی خروجی بر روی یک سیستم غیرخطّی مبنی مطرح شده و کارایی تعقیب کنندگی کنترلگر مذکور در کنترل این سیستم توسط شبیه سازی تأیید می گردد. در ادامه کنترلگری جهت اعمال بر روی سیستم آونگ-گاری طراحی شده و کارایی کنترلگر توسط شبیه سازی و پیاده سازی عملی تأیید گردیده است.

فصل ششم با عنوان " نتیجه گیری و ارائه ی پیشنهادات" بعد از ارائه ی نتایج و مطالعات انجام گرفته در این پایان نامه، محدودیتها و معایب قضیه های ارائه شده در متن گزارش و همچنین ایده های مطرح شده جهت رفع آنها را ارائه می نماید. همچنین در این فصل با ترسیم مسیری از تحقیقات جاری انجام گرفته در حیطه بررسی و طراحی کنترلگرهای بهینه-مقاوم برای سیستم های غیرخطی، پیشنهاداتی جهت گسترش تحقیقات انجام شده ارائه می گردد.

فصل دوّم

۲- سیستم های غیرخطّی و مدل های فازی

در اغلب کاربردهای عملی، رفتار غیرخطّی جزء جدایی ناپذیری از سیستم تحت کنترل و یا عملگرها می باشد. جهت بررسی هر چه بیشتر این دسته از سیستم ها اعم از شناسایی رفتار و اعمال کنترل، بدست آوردن مدلی ریاضی از رفتار سیستم الزامی به نظر می رسد. از مهمترین ویژگی های یک مدل جهت ارائه ی رفتار یک سیستم غیرخطّی می توان توانایی آن برای تخمین هرچه بهتر رفتار سیستم واقعی در محدوده ی عملکرد سیستم و سادگی آن جهت طراحی هرچه بهتر، آسانتر و ساختار یافته تر کنترلگر برای دسترسی به ملزومات کنترل سیستم را نام برد. در این میان پیشرفتهای انجام شده در حیطه ی مدل سازی و قضیه های طراحی کنترلگرهای فازی، جهت ارائه ی هرچه ساده تر رفتار سیستم با استفاده از مباحث ریاضیات فازی و منطق کلامی، راهکارهای مؤثّری را جهت بدست آوردن مدلی ساده و کارآمد، ارائه می نماید.

استفاده از ریاضیات فازی با ایجاد بستری جهت اعمال منطق کلامی انسان در قالب های عددی و از طرفی توانایی سیستم استنتاج فازی در تقریب توابع غیرخطّی و پیوسته، مدلهای فازی را به عنوان یکی از مهمترین راهکارها جهت مدل سازی سیستم های غیرخطّی مطرح می نمایند. همچنین مطالعات انجام شده جهت طراحی کنترلگرهای ساختار یافته، با کارایی بالا و مبتنی بر مدل های فازی، قابلیت های طراحی و اعمال کنترل را برای این دسته از مدلها فراهم نموده است. بنابر این با توجّه بر قابلیت های مطرح شده می توان مدل های فازی را به عنوان یکی از راهکارهای مناسب جهت مدلسازی سیستم های غیرخطّی در نظر گرفت.

در این بخش در ابتدا به اختصار نحوه ی مدلسازی سیستمهای دینامیکی غیرخطّی بیان می گردد. سپس با اشاره بر ضرورت بررسی مفاهیم پایداری به عنوان اصلی ترین ویژگی سیستمهای غیرخطّی به اختصار به نقش قضیه های لیاپانوف در پایداری سیستم ها پرداخته شده است. در ادامه به عنوان مثالی از یک سیستم غیرخطّی دینامیک سیستم آونگ-گاری با بررسی قوانین فیزیکی حاکم بر این سیستم مورد مطالعه