





دانشکده : مهندسی برق و رباتیک

گروه : کنترل

کنترل فازی – تطبیقی دما و رطوبت گلخانه

دانشجو : میثم نجارزاده جوزم

استاد راهنما :

دکتر علی اکبرزاده کلات

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ماه 1392

تعهد نامه

اینجانب **مهندس محسن بنیادین** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **برق - کنترل** دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان :

کنترل فازی - تطبیق رها در سیستم گسیل

تحت راهنمایی آقای دکتر **علیرضا شاهرود** متعهد می شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا Shahrood University of Technology « به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ : ۹۲، ۴، ۱۴

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره : ۷۰۸۰/ت.ب

تاریخ : ۹۲/۰۴/۱۶

ویرایش : ———

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای :

گرایش : کنترل

رشته : برق

میتهم نجارزاده چوینم

تحت عنوان : کنترل فازی - تطبیقی دما و رطوبت سیستم گلخانه

که در تاریخ ۹۲/۰۴/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☒ قبول (با درجه : <u>بسیار خوب</u>) امتیاز <u>۱۸/۹۹</u>
--------------------------------	------------------------------------	--

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

✓ ۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	علی نجارزاده چوینم	استادیار	
۲- استاد مشاور	—	—	—
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	حسن نجارزاده چوینم	استادیار	
۴- استاد ممتحن	مهرمنی فاتح	استاد	
۵- استاد ممتحن	اسیرضا سرخس	استادیار	

رئیس دانشکده :

تقدیم بہ روح پاکش

آن کہ بہ امید دیدارش زندہ ایم

و منتظر و چشم بہ راہ ایستادیم تا او بیاید،

دستمان را تنگنای زندگی بگیرد.

تشکر و تقدیر

از پدر و مادر عزیزیم که تمامی لحظات کنارم ایستادند

و دست گرمشان بر شانه‌هایم فشردند

و دوستانم که همواره مرا مورد حمایت و تشویق قرار دادند.

اگر یاری، کمک و صبر و حوصله همیشگی در تعلیم استاد راهنمایم

جناب آقای دکتر اکبرزاده کلات

نبود، این اثر به سرانجام نمی‌رسید.

جناب آقای دکتر محمد مهدی فاتح و جناب آقای دکتر امید رضا معروضی قبول

زحمت فرمودند و وقت گران‌بهایشان را برای داوری این پایان‌نامه گذاشتند، تشکر فراوان دارم.

چکیده

گلخانه به عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر از کشاورزی مدرن، سهم وسیعی در تولید محصولات کشاورزی دارند. هدف گلخانه‌ها ایجاد فضایی بسته است که دما و رطوبت داخل آن قابل کنترل باشد. مدل‌های گوناگونی برای سیستم گلخانه ارائه شده است. سیستم گلخانه چند ورودی چند خروجی بوده و همچنین در سیستم تزویج وجود دارد. مدل‌های ارائه‌شده برای سیستم، انطباق کامل با سیستم واقعی ندارند. در مدل استفاده‌شده در این پایان‌نامه دما و رطوبت داخل گلخانه متغیرهای حالت و همچنین خروجی‌های سیستم نیز هستند. دما و رطوبت بیرون گلخانه و نور خورشید اغتشاشات واردشده به سیستم هستند. امروزه سیستم‌های فازی سهم وسیعی در تحقیقات دانشگاهی و کاربردهای صنعتی دارند. سیستم‌های فازی عملکرد مقاومی در برابر نامعینی‌ها دارند، بنابراین از آن‌ها در کنترل‌کننده استفاده‌شده است. در این پایان‌نامه از سیستم فازی تاکاگی – سوگنو در شناسایی ترم‌های نامعینی استفاده‌شده است. از ساختار کنترل‌کننده تطبیقی مدل مرجع در طراحی کنترل‌کننده استفاده‌شده است. در کنترل‌کننده ارائه‌شده در این پایان‌نامه از پایداری سیستم اطمینان حاصل‌شده، ولی عموم کارهای ارائه‌شده در گذشته، کنترل‌کننده‌ها دارای اثبات پایداری نبوده‌اند. سیستم کنترل‌کننده ارائه‌شده قابلیت استفاده بر روی دسته بزرگی از سیستم چند متغیره را دارد.

کلمات کلیدی:

سیستم فازی تاکاگی – سوگنو، کنترل‌کننده تطبیقی مدل مرجع، سیستم گلخانه

لیست مقالات استخراج شده

فهرست مطالب

چکیده (ت)

لیست شکل ها (د)

لیست جدول ها (ر)

2	1-	مقدمه
3	1-1	پارامترهای سیستم
4	2-1	تجهیزات مورد نیاز برای کنترل گلخانه
5	3-1	مروری بر کارهای گذشته
7	4-1	طرح کلی پایان نامه
9	2-	مدل سازی
10	1-2	مدیریت سلسله مراتبی آب و هوای گلخانه
11	2-2	فرایند تولید محصول گلخانه‌ای
13	3-2	مدل دینامیکی گلخانه
17	4-2	ساده سازی مدل
18	5-2	شبیه سازی بدون کنترل کننده
21	3-	طراحی کنترل کننده
21	1-3	سیستم های فازی

22	1-1-3 فازى تاكاگى - سوگنو
23	2-3 كنترل تطبيقى
23	1-2-3 سيستم‌هاى تطبيقى مدل مرجع
24	3-3 شناسايى با روش حداقل مربعات خطا
26	1-3-3 شناسايى بر روى خط كمترين مربعات خطاى بازگشتى
28	4-3 مدل سيستم مرجع
28	5-3 مدل سيستم در فضاى حالت
30	3-6 طراحى كنترل كننده تركيبى خطى سازى فيدبكى و RLS
32	7-3 مدل پارامترى سيستم
32	8-3 طراحى كنترل كننده فازى - تطبيقى
32	3-8-1 مدل فازى T-S سيستم شناسايى شده
36	2-8-3 قوانين لياپانوف
36	3-8-3 قانون دوم لياپانوف
37	4-8-3 تحليل پايدارى و قوانين تطبيق
42	4- نتايج شبیه سازى
42	1-4 مشخصات سيستم گلخانه
43	2-4 نتايج شبیه سازى
47	3-4 نتيجه گيرى
48	4-4 ارائه پيشنهاده‌ها
49	5- مراجع

لیست شکل‌ها

- شکل (1-2) شماتیک فرآیند تولید محصول گلخانه‌ای..... 12
- شکل (2-2) مدل دینامیکی گلخانه..... 13
- شکل (3-2) دما داخل گلخانه..... 19
- شکل (4-2) رطوبت داخل سیستم..... 19
- شکل (1-3) بلوک دیاگرام سیستم تطبیقی مدل مرجع..... 23
- شکل (2-3) مجموعه‌های فازی..... 35
- شکل (1-4) دمای بیرون گلخانه..... 43
- شکل (2-4) رطوبت بیرون گلخانه..... 43
- شکل (3-4) حرارت ناشی از میزان نور به دام افتاده در گلخانه..... 44
- شکل (4-4) دمای درون سیستم..... 44
- شکل (5-4) دمای داخل سیستم (بزرگ‌نمایی شده)..... 45
- شکل (6-4) رطوبت داخل سیستم..... 45
- شکل (7-4) سیگنال کنترلی سیستم تهویه..... 46
- شکل (8-4) سیگنال کنترلی سیستم مه ساز..... 46

جدول‌ها

جدول (1-2) سیستم مورد کنترل با توجه مقیاس زمانی.....10

جدول (2-2) پارامترهای سیستم15

فصل اول:

مقدمه

مقدمه

در ابتدا گلخانه‌ها برای محافظت از محصولات کشاورزی در برابر تغییرات آب و هوای ساخته شدند. گلخانه‌ها از گیاهان در تابستان در برابر گرمای شدید و در زمستان در برابر سرمای شدید محافظت می‌کنند. اما امروزه از محیط بسته درون گلخانه‌ها به دلایل دیگری چون دستیابی کیفیت بالاتر محصول، افزایش سود اقتصادی و استفاده بهینه‌تر از زمین نیز حائز اهمیت است. همچنین از فواید استفاده از گلخانه‌ای می‌توان کاهش مصرف کود، آب، انرژی و CO₂ برشمرد.

از اهداف کنترل دما و رطوبت گلخانه‌ها می‌توان گفت:

- به دست آوردن بهره‌وری بالاتر
 - اطمینان از انطباق کیفیت محصول تولیدشده با استانداردهای کیفیت به دست آمده از اهداف تجاری. به طور مثال برای گل‌ها: طول و قطر ساقه گل، عدم تغییر شکل، رنگ و غیره
 - کنترل تقویم تولید از طریق کنترل فتوسنتز، چرخه دما
 - صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در واقع بخش زیادی از هزینه‌های فرآیند تولید محصول در گلخانه‌ها صرف گرم کردن هوای درون گلخانه می‌شود. در اروپا به عنوان مثال، هزینه گرم کردن بین 10 تا 30 درصد از هزینه‌های جاری برای تولید محصولات گلخانه‌ای است.
- در این فصل ابتدا پارامترهای این سیستم در بخش (1-1) توضیح داده‌شده و سرانجام در بخش (2-1) تجهیزات گلخانه توضیح داده‌شده است.

1-1 پارامترهای سیستم

نور خورشید: نور خورشید برای رشد گیاه ضروری است. در روزهای طولانی و بی‌ابر تابستان نور خورشید می‌تواند به تنهایی و بدون استفاده از CO₂ و نور مصنوعی برای رشد گیاه کافی است.

دما: درجه حرارت بسیار کم در شب زمستان و درجه حرارت بسیار زیاد در روز تابستان می‌تواند مشکلاتی را برای گیاهان درون گلخانه به وجود بیاورد. مشکل دمای پایین در شب زمستان را می‌توان با تدابیر خواص برطرف کرد. یکی از مشکلات اساسی ما دمای بالای در روز تابستان است، که برای آن باید ملزومات لازم را در نظر گرفت.

رطوبت: رطوبت نسبی مقیاسی از مقدار آب موجود در هوا در یک دمای داده‌شده است. میزان فتوسنتز گیاهان متأثر از رطوبت نسبی هوای اطراف است. رطوبت نسبی بین 25 تا 80 درصد، تأثیر ناسازگاری بر روی رشد اکثر گیاهان ندارد. رطوبت نسبی هوای داخل گلخانه به وسیله دمای سطوح داخلی تعیین می‌شود. کاهش جریان هوا و نیز کم شدن نرخ تعویض هوا، منجر به افزایش رطوبت نسبی می‌شود. یک گلخانه داری که دارای گلخانه‌ای کاملاً بسته با پوشش دو لایه‌ای می‌باشد، باید از وجود امکانات تهویه کافی، که برای کنترل رطوبت نسبی و نیز حداکثر دما لازم است، مطمئن باشد. رطوبت نسبی ایده‌آل برای گلخانه چیزی بین 50 تا 60 درصد است. اگر رطوبت نسبی خیلی بالا باشد، شرایط برای حمله بیماری‌ها به گیاهان فراهم می‌شود. اگر رطوبت نسبی خیلی پایین باشد، گیاهان از تنش آبی در رنج خواهند بود. اختلال در تنظیم میزان رطوبت مورد نیاز، نشان از ضعف سیستم تهویه است.

غلظت CO₂: کاربرد CO₂ در گیاهان تقریباً معادل استفاده از مواد غذایی در حیوانات است. در کشورهای گرم که گیاهان از لحاظ نور خورشید در وضعیت مناسبی قرار دارند، می‌توان با استفاده از CO₂ راندمان تولید محصول را بالاتر برد. وجود CO₂ برای انجام عمل فتوسنتز ضروری است. این

واکنش شیمیایی منجر به تولید محصول می‌شود. در این واکنش CO_2 عامل بسیار مهمی است. سال‌های زیادی است که از منابع غنی‌سازی دی‌اکسید کربن در گلخانه‌ها، برای افزایش رشد و تولید گیاهان پی برده شده است. فتوسنتز یک فرآیند شیمیایی است که انرژی نور خورشید را برای تبدیل دی‌اکسید کربن و آب به مواد قندی در گیاهان سبز مورد استفاده قرار می‌دهد. سپس این مواد قندی در خلال تنفس گیاه برای رشد آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. اختلاف بین نرخ فتوسنتز و تنفس، مبنایی برای میزان انباشتگی ماده خشک در گیاهان می‌باشد. در تولید گلخانه‌ای، هدف همه پرورش-دهندگان، افزایش ماده خشک و بهینه‌سازی اقتصادی فرآیند تولید محصولات می‌باشد. دی‌اکسید کربن با توجه به بهبود رشد گیاهان، باروری محصولات را نیز افزایش می‌دهد. بعضی از مواردی که باروری محصولات به وسیله غنی‌سازی دی‌اکسید کربن افزایش داده می‌شود عبارت‌اند از: گل‌دهی قبل از موعد، افزایش بازده میوه دهی، کاهش جوانه‌های ناقص در گل‌ها، بهبود استحکام ساقه گیاه و اندازه گل. بنابراین پرورش‌دهندگان گل و گیاه باید دی‌اکسید کربن را به عنوان یک ماده مغذی در نظر بگیرند. همچنین در فصل زمستان که محیط گلخانه بسته است، می‌توان با افزایش غلظت CO_2 ، دما گلخانه را افزایش داد.

2-1 تجهیزات مورد نیاز برای کنترل گلخانه

تجهیزات کنترل دما:

کنترل دمای گلخانه با استفاده از دستگاه‌های گرمایشی و خنک‌کننده‌ها تحقق می‌یابد. استفاده از سیستم‌های گرمایشی باعث افزایش بهره‌وری، کیفیت و زودرسی محصول می‌شود. به علت هزینه‌های بالایی که استفاده از سیستم گرمایشی دارد بر مبنای نظر اقتصادی ممکن استفاده شود و یا نشود. اما استفاده از خنک‌کننده جنبه‌های مهم و راهبردی دارد. روش‌های متعددی برای خنک کردن

سیستم گلخانه وجود دارد از جمله استاتیک، اجباری و تبخیری است. خنک‌کننده تبخیری، به خصوص در مناطق گرم و خشک از کارآمدترین روش‌هاست.

رطوبت‌گیر:

سیستم برای کاهش رطوبت نیاز به رطوبت‌گیر دارد. رطوبت‌گیر بسیار گران است. در کشورهایی با آب و هوای گرم و خشک تنها راه به صرفه و در دسترس برای کاهش رطوبت استفاده از سیستم تهویه برای کاهش رطوبت است.

غنی ساز CO₂:

این تکنیک در کشورهایی با آب و هوای گرم و خشک ضروری نیست. استفاده از غنی ساز CO₂ در دوره‌های محدود با توجه به شرایط تهویه مقرون به صرفه است.

3-1 مروری بر کارهای گذشته

در دهه‌های اخیر با روش‌های متنوعی سیستم گلخانه کنترل شده است. با توجه به وجود داشتن شدن چندین مدل برای سیستم گلخانه در این بخش فقط کارهایی که از مدل استفاده‌شده در این پایان‌نامه استفاده نموده‌اند، نام‌برده شده است. از جمله روش‌ها می‌توان به کنترل پیش بین [1-3]، [4]، کنترل تطبیقی [4]، کنترل با فیدبک غیرخطی [5]، کنترل فازی [6-8]، کنترل مقاوم [9] و کنترل بهینه [10] نام برد. اما در سال‌های اخیر روش‌های ترکیبی (ترکیبی از دو یا چند روش) برای دست-یابی کنترل دقیق‌تر و کارایی بیشتر به کار می‌رود.

کنترل‌کننده‌ی تناسبی - مشتقی تطبیقی با مدل مرجع غیرخطی بر مبنای شبکه عصبی [11] نمونه‌ای از روش ترکیبی است. در آن برای تنظیم ضرایب دو کنترل‌کننده‌ی تناسبی - مشتقی، سیستم را با شبکه عصبی RBF شناسایی کرده و برای بروز رسانی ضرایب PD از روابطی بر مبنای مشتق‌هایی از شبکه RBF استفاده‌شده است. در آن روابط را بر مبنای کمینه کردن خطاهای تخمین

به دست آورده‌اند. اما راهکاری برای بررسی پایداری ارائه ننموده است. تا کنون راهکاری برای اطمینان از حصول پایداری سیستم‌هایی با ساختار مشابه ارائه نشده است.

در مرجع [12] از یک سیستم فازی برای شناسایی استفاده شده است. در دو فاز خارج از خط و بر روی خط ضرایب سیستم فازی بروز رسانی شده است. سیستم فازی بکار رفته از نوع تاکاگی - سوگنو زمان گسسته است. از مدل فازی به دست آمده روابط تطبیقی برای کنترل سیستم گلخانه ارائه شده است. پایداری سیستم بررسی نشده است.

همچنین در [13] از روش‌های بهینه‌سازی چند هدفی با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری برای تنظیم ضرایب دو کنترل‌کننده تناسبی مشتقی انتگرالی بکار برده است. از الگوریتم یادگیری NSGA-II (نوعی الگوریتم پیشرفته ژنتیک است) استفاده شده است.

در [14] بر اساس مدل غیرخطی گلخانه یک مدل فازی تاکاگی - سوگنو (T-S) به عنوان مدل سیستم ارائه شده است. برای مدل فازی به دست آمده، کنترل‌کننده‌ی جبران ساز توزیع شده موازی (PDC) طراحی شده است. برای بررسی پایداری از روش نامساوی ماتریسی خطی (LMI) بکار رفته است. در این روش از حصول پایداری اطمینان حاصل شده است.

در [15] از روش فیدبک غیرخطی برای کنترل سیستم گلخانه استفاده کرده است. این کار بیشتر هدف مدل‌سازی بوده است. با استفاده از داده‌های واقعی و تطبیق آن‌ها بر روی مدل ضرایب مدل را به دست آورده است.

4-1 طرح کلی پایان نامه

در پایان نامه از روش ترکیبی استفاده شده است. کنترل کننده تطبیقی مدل مرجع با شناسایی با استفاده از سیستم های فازی ترکیب شده اند. برای مدل سیستم از نوعی مدل غیرخطی که از روابط پایه ای و ساده فیزیک به دست آمده اند، بکار رفته است.

خلاقیت و نوآوری به کار رفته در پایان نامه ارائه مدلی ساده اما قدرتمند و دقیق برای کنترل این سیستم است. همچنین این توانایی گسترش و ترکیب با بسیاری دیگر از ساختارها (مانند کنترل مقاوم، کنترل مود لغزشی و ...) را دارد.

در فصل دوم مدل سازی سیستم بررسی شده است. ساختار و روابط کنترل کننده در فصل سوم به دست آمده است. در فصل چهارم نتایج حاصل از شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

فصل دوم:

مدل سازی

مقدمه

آب و هوا در کشت محصولات کشاورزی تأثیر به سزایی دارد. گلخانه در واقع یک محیط بسته برای کشاورزی ایست، که آب و هوای آن کنترل شده است. جدای از مباحث مربوط به کنترل گلخانه، بهینه‌سازی کنترل‌کننده مورد استفاده در سیستم گلخانه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. بهینه‌سازی نیاز به مدل گلخانه و مدل محصول دارد، اما به دلیل پیچیدگی روابط بین محصول و گلخانه و برای سادگی، مدل محصول نادیده گرفته می‌شود. [16-19]

مدل‌های استفاده‌شده در پژوهش‌ها به دو دسته: مدل فیزیکی، مدل جعبه سیاه تقسیم می‌شود. [20-23] مدل فیزیکی از رابطه بین انرژی هوای داخل گلخانه، انرژی هوای بیرون گلخانه و انرژی خاک گلخانه (انرژی که در خاک ذخیره می‌شود) به دست می‌آید. برای مدل کالیبراسیون بسیاری از پارامترهای چون ضریب انتقال حرارت پوشش گلخانه، ظرفیت گرمایی خاک و غیره نیاز است. برای کالیبراسیون پارامترها نیاز به آزمایش‌های زیاد و دقیق است. در بعضی از تحقیقات برای جلوگیری از کالیبراسیون پارامترها استفاده از مدل جعبه سیاه و شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده است. بسیاری از محققان نشان داده‌اند با آموزش شبکه‌های عصبی می‌توان مدل موفق و دقیقی رسید. [24-27]

در بخش (1-2) مدیریت آب و هوای گلخانه بر مبنای مقیاس زمانی تقسیم‌بندی شده است. در بخش بعد مدل فیزیکی (معادلات حالت) سیستم گلخانه توضیح داده‌شده است. در بخش (2-3) مدل فیزیکی سیستم با توجه به فرضیات پایان‌نامه ساده‌سازی شده است.

1-2 مدیریت سلسله مراتبی آب و هوای گلخانه

در کنترل فرایندهای صنعتی به دلیل پیچیدگی ذاتی سیستم‌ها، از سیستم‌های کنترل سلسله مراتبی استفاده می‌شود. درجه پیچیدگی سیستم به مقیاس پاسخ زمانی سیستم و اثر متقابل با سیستم بیولوژیکی دارد. به طور کلی محیط بسته (گلخانه) تأثیر بسیاری روی سیستم بیولوژیک و همین طور سیستم بیولوژیکی بر روی محیط بسته دارد. پاسخ زمانی یک گلخانه می‌تواند متأثر از رفتن خروشید به پشت یک ابر در حدود چند دقیقه باشد، تا پاسخ زمانی وزن محصول می‌تواند متأثر از تغییر غلظت دی‌اکسید کربن در عرض یک روز تا چند هفته باشد. به طور کلی می‌توان پاسخ زمانی سیستم فیزیکی تولید گیاه (آب و هوای گلخانه) سریع است در حالی سیستم‌های بیولوژیکی پاسخ کندی دارند. متغیرهای کنترل را به دسته‌های سریع و کند دسته‌بندی کرد، ولی به این معنی نیست به دسته‌بندی دیگری نمی‌توان در نظر گرفت. در [28،29] سیستم را به چهار سطح دسته‌بندی کرده‌اند که در جدول (1-2) نمایش داده شده است.

جدول (1-2) سیستم مورد کنترل با توجه مقیاس زمانی

سطح	سیستم مورد کنترل	مقیاس زمانی
3	تولید فضا و زمان	فصل – سال
2	رشد محصول و تولید	ساعت‌ها – روزها – هفته‌ها
1	آب و هوای گلخانه	دقیقه‌ها
0	عملگرها (فن‌ها، دریچه‌ها)	دقیقه‌ها – ثانیه‌ها

سطح 3 کنترل را می‌توان تابعی از شرایط بازار در نظر گرفت که با صلاحدید مدیر گلخانه کنترل می‌شود. سطح 2 کنترل بیولوژیکی سیستم است که نظراتی را برای کنترل در سطح 1 ارائه

می‌کند. سطوح کنترل 1 و 2 منجر به کنترل بهینه مصرف انرژی و مدیریت هزینه می‌شود. سطح 0 مربوط به عملکرد عملگرها است. بهره‌وری در سطح 1 بستگی به عملکرد سطح 0 دارد، که برای گلخانه‌های با وسعت زیاد می‌تواند مشکل‌ساز شود. به طور مثال گلخانه‌ای با حجم 10000 مترمربع باید سطح 0 آن توانایی تعویض هوای آن را در چند دقیقه داشته باشد. [15]

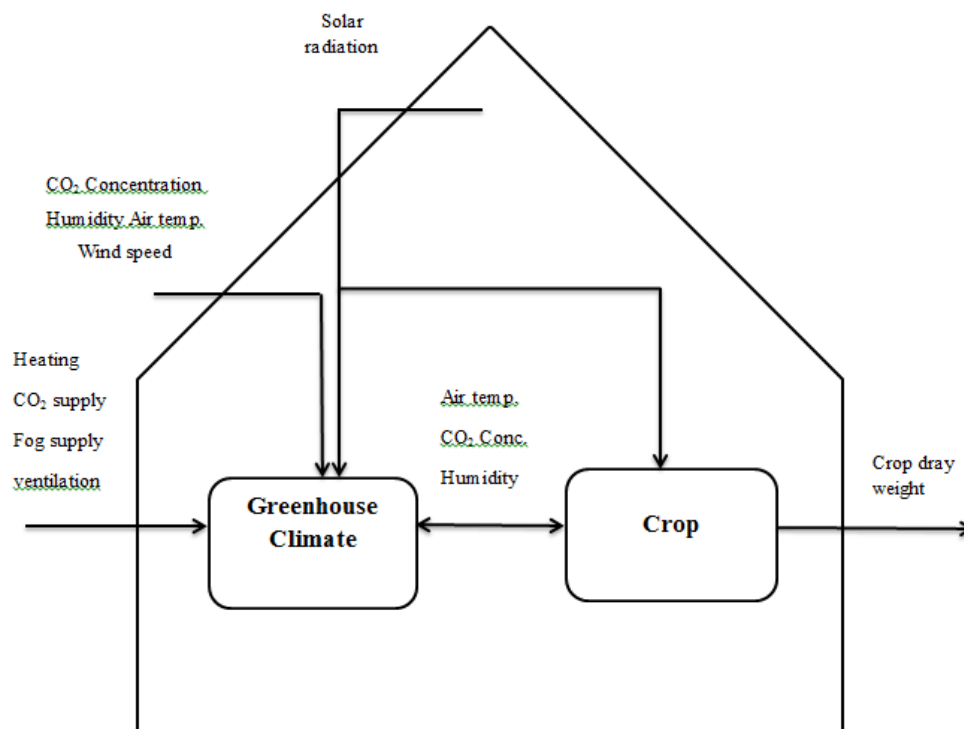
2-2 فرایند تولید محصول گلخانه‌ای

دیگرام شماتیک تولید محصول گلخانه‌ای در شکل (2-1) نشان داده شده است. به طور کلی می‌توان دو زیرسیستم برای فرایند تولید محصول گلخانه در نظر گرفت، تحقیقات در زمینه مدل‌سازی آب و هوای گلخانه و محصول [29] و مدیریت آب و هوای سیستم گلخانه با سلسله مراتبی از سیستم‌های فرعی، که در آن هر زیرسیستم متناسب با دستورالعمل‌های زیرسیستم در مرتبه بالاتر از خود عمل می‌کند. دلیل این عملیات سلسله مراتبی پیچیدگی ذاتی فرایند است. تعداد زیاد متغیرهای مرتبط با تولید محصول و آب و هوای گلخانه و همچنین تزویج پیچیده بین تولید محصول و آب و هوا گلخانه باعث می‌شود که سیستم کنترلی به صورت یک سیستم آرام طراحی شود.

فرض می‌شود که در فرایند تولید محصول تفاوت‌های قابل‌توجهی در پاسخ‌های زمانی است. سرعت پاسخ دینامیکی آب و هوا گلخانه بسیار سریع‌تر است از پاسخ رشد محصول و در واقع پاسخ آرامی نسبت به ورودی‌ها دارد. به همین نحو می‌توان گفت که پاسخ عملگرها مانند دریچه‌ها و سرو موتور سریع‌تر از پاسخ دینامیکی آب و هوای گلخانه است.

در سیستم‌های پیچیده چندبعدی، زیرسیستم‌هایی تفاوت بسیاری در پاسخ‌های زمانی دارند. در این‌گونه مسائل مهندسی نادیده گرفتن ثابت‌های متفاوت زمانی سیستم باعث پیچیده‌تر شدن دستیابی به سیستم کنترلی بهینه عملی، می‌شود. بر اساس تجربیات متغیرها به دسته‌بندی سریع و کند تقسیم می‌شوند.

در مطالعات زمان‌های کوچک بهترین راه، کار بر روی متغیرهای سریع بدون در نظر گرفتن تغییرات متغیرهای کند است. اما در مطالعات زمان‌های طولانی متغیرهای آهسته به عنوان متغیرهای حالت در نظر گرفته می‌شوند و تغییرات متغیرهای سریع نادیده می‌شود.



شکل (1-2) شماتیک فرآیند تولید محصول گلخانه‌ای

چهار سطح ارائه شده در جدول (1-2) ایده‌های اساسی مدیریت سلسله مراتبی آب و هوای گلخانه را در بردارد. در سطح 0 عملکرد صحیح دریچه‌های سیستم‌های گرمایش و تأمین دی‌اکسید کربن و همچنین سرو موتورهای پنجره‌های سیستم تهویه مورد توجه است.

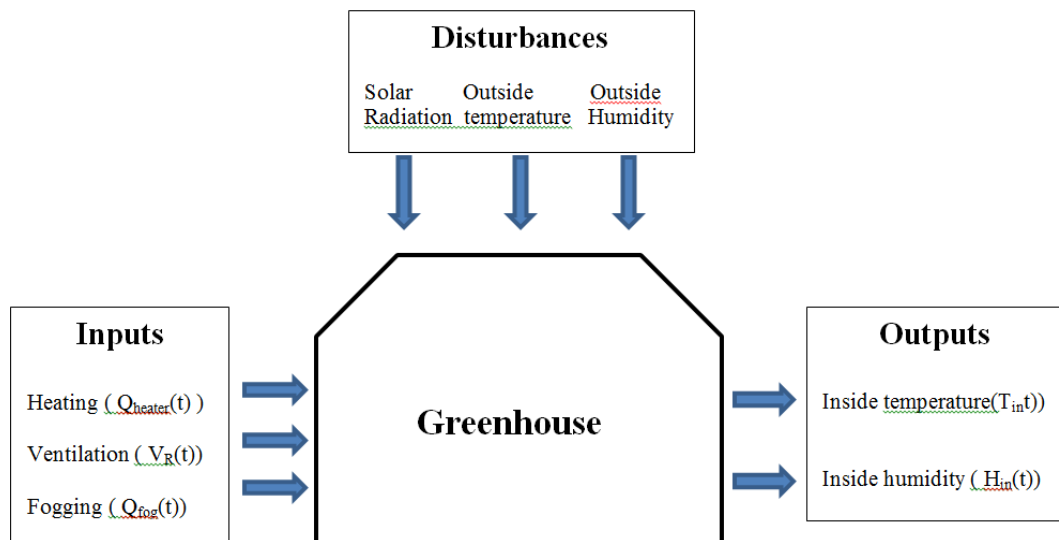
در سطح 1 تنظیمات دریچه‌ها و سرو موتورها با توجه کنترل متغیرهای آب و هوایی گلخانه از قبیل درجه حرارت، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت مورد نظر تعیین می‌شود. در سطح 2 متغیرهای آب و هوایی و نقاط کار تعیین می‌شوند. در سطح‌های 0 و 1 پاسخ دینامیکی سریعی دارد که زمان‌ها در حد دقیقه است. بنابراین بر اساس دقیقه به دقیقه کنترل شود. در سطح 0 و 1 به یکی از دو صورت، موازی یا سطح بالاتر و سطح پایین‌تر کنترل می‌شوند، که 1 سطح بالاتر بوده و

سطح 0 (سطح پایین تر) را کنترل می کند. در این پایان نامه در سطح 0 و 1 بیشتر روی متغیرهای درجه حرارت و رطوبت هوا تمرکز شده است.

سطح 2 به طور مستقیم با رشد و تولید گیاه مرتبط است. بنابراین پاسخ دینامیکی محصول به طور مستقیم در طراحی سیستم کنترلی نقش دارد. در این سطح متغیرهای آب و هوایی مانند دما، غلظت دی اکسید کربن و رطوبت گلخانه برای فرایند تولید محصول تعیین می شوند. در نتیجه مجموعه نقاطی برای کنترل آب و هوای گلخانه در سطح 1 تولید می شود.

3-2 مدل دینامیکی گلخانه

در شکل (2-2) ورودی ها و خروجی ها و اغتشاشات وارد شده به سیستم گلخانه نمایش داده شده است.



شکل (2-2) مدل دینامیکی گلخانه

ورودی‌های سیستم میزان گرمای ورودی سیستم گرمایشی $q_{heater}(t)$ ، میزان بخار آب ورودی سیستم مه ساز $q_{fog}(t)$ و میزان هوادمی سیستم تهویه $V_R(t)$ هستند. خروجی‌های سیستم که همان متغیرهای حالت در نظر گرفته شده‌اند، دما درون گلخانه T_{in} و رطوبت درون w_{in} گلخانه‌اند. میزان توان به دام افتاده حاصل از نور خورشید $S_i(t)$ ، دمای بیرون سیستم گلخانه $T_{out}(t)$ و رطوبت بیرون گلخانه $w_{out}(t)$ اغتشاشات ورودی به سیستم هستند.

هدف معادله دینامیکی گلخانه این است که بتواند رابطه‌ای از آب و هوای (دما و رطوبت) داخل گلخانه بر مبنای آب و هوای بیرون گلخانه و ورودی‌های کنترلی به دست آورد. معادلات دینامیکی بر اساس دو قانون بقای انرژی و قانون بقای جرم به دست می‌آیند.

معادلات دینامیکی در معادلات (1-2) و (2-2) نمایش داده شده است. [15]

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} [q_{heater}(t) + S_i(t) + \lambda q_{fog}(t)] + \frac{V_R(t)}{V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] - \frac{UA}{\rho C_p V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] \quad (1-2)$$

$$\frac{dw_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} q_{fog}(t) + \frac{1}{\rho V} E(S_i(t), w_{in}(t)) - \frac{V_R(t)}{\rho V} [w_{in}(t) - w_{out}(t)] \quad (2-2)$$

در روابط بالا T_{in} دما داخل گلخانه با واحد C^0 ، T_{out} دمای خارج گلخانه با واحد C^0 ، UA ضریب انتقال گرما با واحد $W K^{-1}$ به کاررفته است. ρ چگالی هوا ($1.2 K g m^{-3}$)، C_p ظرفیت گرمایی هوا ($1006 J K g^{-1} K^{-1}$)، q_{heater} توان گرمایی تولیدی سیستم گرمایشی با واحد (W) است. $S_i(t)$ توان به دام افتاده حاصل از نور خورشید (W)، q_{fog} ظرفیت تبدیل آب به بخار سیستم مه ساز ($g H_2 O S^{-1}$) است. λ گرمای نهان تبخیر آب ($2257 J g^{-1}$)، V_R نرخ هوا دمی سیستم تهویه ($m^3 [air] S^{-1}$)، w_{in} ، w_{out} نرخ رطوبت خارج و داخل گلخانه (نسبت جرم بخار آب به هوا خشک) هستند. $E(S_i(t), w_{in}(t))$ میزان تعرق و تبخیر گیاهان با واحد ($g H_2 O S^{-1}$) است.

درون گلخانه گوشه‌ها و فضاهایی وجود دارد در آن گردش هوا و جریان همرفت به سختی صورت می‌پذیرد و یا رطوبت هوا در آن جا به راحتی تغییر نمی‌پذیرد، مجموع سایر فضاها حجم موثر در نظر گرفته می‌شود. به جای حجم کل درون گلخانه از حجم موثر استفاده می‌شود. به این ترتیب به جای V در معادله (1-2) V_T (حجم موثر هوا برای دما) و V در معادله (2-2) را V_H (حجم موثر هوا برای رطوبت) در نظر می‌گرفته‌شده است. مناطق اتصال کوتاه و مناطق راکد که حجم قابل توجهی از حجم کل سیستم هستند باید محاسبه شوند. حجم هوای موثر برای دما ممکن است به 60٪ تا 70٪ از حجم هوای کل کاهش یابد. این به این معنی است که دما و رطوبت درون سیستم مانند بیرون گلخانه کاملاً یکنواخت نیست. حجم موثر هوا برای رطوبت نیز ممکن است به دلایل فیزیکی کمتر یا بیشتر از حجم کل سیستم باشد.

برای دسترسی راحت‌تر پارامترها و ضرایب معادلات در جدول زیر آمده‌اند.

جدول (2-2) پارامترهای سیستم

مقدار پارامتر	واحد	نام پارامتر	نماینه انگلیسی
---	C^0	دمای درون گلخانه	T_{in}
---	C^0	دمای بیرون گلخانه	T_{out}
---	Wk^{-1}	ضریب انتقال گرما	UA
1.2	Kgm^{-3}	چگالی هوا	ρ
1006	$JKg^{-1}K^{-1}$	ظرفیت گرمایی	C_p
---	W	میزان حرارت تولیدشده در سیستم گرمایشی	q_{heater}
---	W	انرژی به دام افتاده حاصل از نور خورشید	$S_i(t)$
---	$gH_2O S^{-1}$	ظرفیت تبدیل آب به بخار سیستم مه ساز	q_{fog}

λ	گرمای نهان تبخیر آب	Jg^{-1}	2257
V_R	نرخ هوا دمی سیستم تهویه	$m^3[air]S^{-1}$	---
w_{in}	میزان رطوبت داخل گلخانه	gr/m^3	---
w_{out}	میزان رطوبت خارج از گلخانه	gr/m^3	---

در این مدل سیستم دما و رطوبت با استفاده از فرآیندهای گرمادهی، خنک‌کننده، رطوبت ساز و رطوبت‌گیر کنترل می‌شود. از آنجا که رطوبت‌گیر گران است، از رطوبت‌گیر استفاده نمی‌شود. از گرمادهی و تهویه برای جبران عدم استفاده از رطوبت‌گیر استفاده می‌شود. به طور مثال در مناطق دارای آب و هوای گرم می‌توان زمانی که رطوبت درون گلخانه بسیار زیاد شود، با تهویه هوای مرطوب داخل را با هوای خشک بیرون جا به جا نمود. برای بالا بردن سطح رطوبت مورد نیاز می‌توان از روش‌های آبپاش‌های سقف، مه ساز و همچنین اضافه کردن بخار آب به تهویه ورودی استفاده کرد. هوای مرطوب داخل باید پیوسته با هوای خشک بیرون جا به جا شود وگرنه فضای درون گلخانه به حمام بخار تبدیل می‌شود و به محصولات آسیب می‌رسد. از آن جایی که سیستم به طور ضعیفی از آب و هوا بیرون ایزوله شده است، نور خورشید، دما و رطوبت هوای بیرون تأثیر بزرگی بر روی روابط انرژی و جرم سیستم می‌گذارند. انتقال جرم و انرژی در فیزیک گلخانه تحت پدیده‌های هدایت، همرفت و تابش رخ می‌دهد.

4-2 ساده سازی مدل

در این پایان نامه فرض بر بودن در فصل تابستان است. در این فصل سیستم گرمای مورد نیاز خود را می تواند از نور خورشید تأمین کند. با توجه به رایگان بودن نور خورشید و هزینه های سنگین سیستم گرمایشی از سیستم گرمایشی استفاده نمی شود. بنابراین q_{heater} است.

$$q_{heater} = 0 \quad (3-2)$$

رابطه تبخیر و تعرق $E(S_i(t), w_{in}(t))$ به صورت رابطه (4-2) زیر تخمین زده می شود:

$$E(S_i(t), w_{in}(t)) = \alpha \frac{S_i}{\lambda} - \beta_T w_{in}(t) \quad (4-2)$$

ضریب α با توجه به سطوح سایه در گلخانه تخمین زده می شود. ضریب β_T با در نظر گرفتن ثابت های ترمودینامیکی و سایر عوامل موثر بر تبخیر و تعرق به دست می آید. با جایگذاری روابط (2-2) و (3) و (4-2) در روابط (1-2) و (2-2) خواهیم داشت:

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} [S_i(t) + \lambda q_{fog}(t)] + \frac{V_R(t)}{V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] - \frac{UA}{\rho C_p V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] \quad (5-2)$$

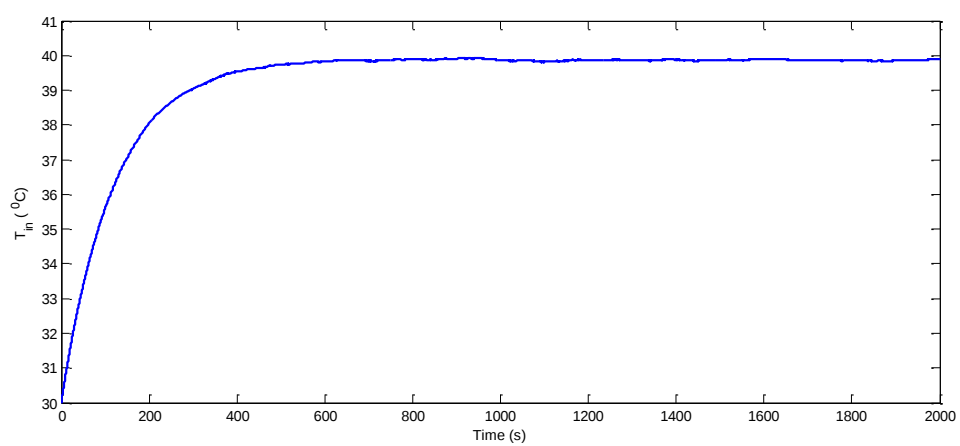
$$\frac{dw_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} q_{fog}(t) + \frac{1}{\rho V} [\alpha \frac{S_i}{\lambda} - \beta_T w_{in}(t)] - \frac{V_R(t)}{\rho V} [w_{in}(t) - w_{out}(t)] \quad (6-2)$$

بدیهی است، که معادلات (5-2) و (6-2) را نمی توان مانند سیستم های غیرخطی ساده به راحتی تحلیل نمی شود، که دلیل آن پیچیدگی روابط و اختلال ها و اثرات متقابل بین متغیرهای حالت است.

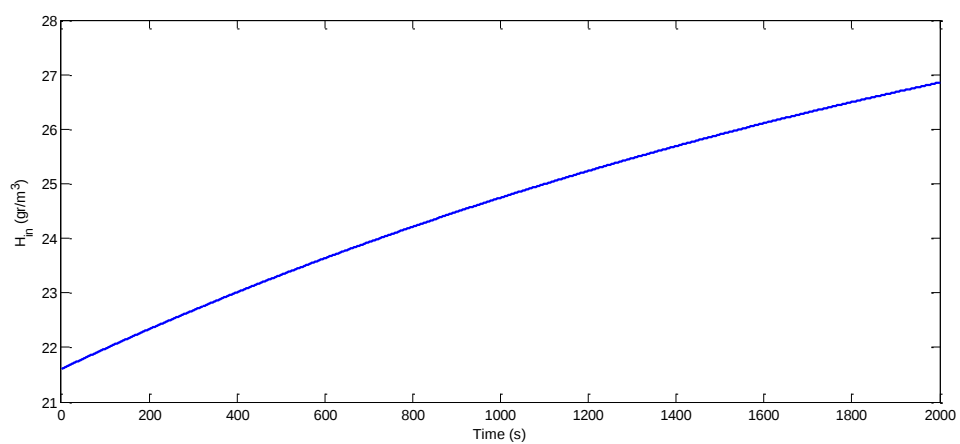
5-2 شبیه‌سازی بدون کنترل‌کننده

در این بخش معادلات حالت (5-2) و (6-2) شبیه‌سازی شده است. 30°C دمای اولیه داخل گلخانه و $21.6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$ میزان رطوبت اولیه داخل گلخانه در نظر گرفته شده است. با محاسبات به دست می‌آید، اگر $10.27 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ میزان خروجی سیستم تهویه و $162 \frac{\text{gr}}{\text{s}}$ میزان خروجی سیستم مه ساز باشد، دما و رطوبت سیستم گلخانه همان دما و رطوبت اولیه سیستم می‌ماند. این مطلب به معنای صفر شدن مشتق دما بر زمان و مشتق رطوبت بر زمان است.

در شبیه‌سازی میزان خروجی سیستم‌های تهویه $1.027 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ و مه ساز $16.2 \frac{\text{gr}}{\text{s}}$ در نظر گرفته شده است. در شکل‌های (3-2) و (4-2) دما و رطوبت داخل گلخانه نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، دمای سیستم در نهایت به حدود 40°C میل کرده است. همچنین رطوبت سیستم به حدود $27 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}$ رسیده است. همان طور که از معادلات بر می‌آید، سیستم دارای تزویج در ورودی است. بنابراین نمی‌توان بدون کنترل‌کننده مقادیر عددی دقیقی برای ورودی ثابت، برای رسیدن به خروجی مطلوب محاسبه کرد. دمای داخل سیستم بعد از گذر زمان به حالت پایدار رسیده است ولی رطوبت داخل سیستم به طور ناپایدار (تقریباً انتگرالی) در حال افزایش است. کاملاً نتایج شبیه سازی به شرایط اولیه و ورودی‌های سیستم بستگی دارد، به نحوی که خروجی می‌تواند پایدار یا ناپایدار باشد.



شکل (3-2) دما داخل گلخانه



شکل (4-2) رطوبت داخل سیستم

فصل سوم

طراحی کنترل کننده

مقدمه

در این فصل ابتدا مفاهیم کلی مانند سیستم‌های فازی ، کنترل تطبیقی و ... که در طراحی کنترل‌کننده‌ها به کار رفته است، به طور خلاصه شرح داده شده است. سپس کنترل‌کننده خطی سازی فیدبکی با استفاده از حداقل مربعات خطا طراحی شده است. در پایان کنترل‌کننده فازی تطبیقی طراحی شده است.

1-3 سیستم‌های فازی

نظریه فازی به وسیله پرفسور لطفی عسکر زاده در سال 1965 در مقاله‌ای تحت عنوان "مجموعه‌های فازی" [30] معرفی گردید. در کنترل کلاسیک تاکید بر روی مدل دقیق سیستم است، به همین دلیل در برخورد با سیستم‌های پیچیده عدم کارایی خود را نشان داده است. آقای زاده توانست در دومین مقاله خود با نام "الگوریتم‌های فازی" [31] به ایده‌های خود تجسم بخشد. آقای ممدانی برای اولین بار نظریه‌های فازی را در بعد عملی پیاده‌سازی کرد. بعد پیاده‌سازی مهم‌ترین موضوع در مورد سیستم‌های فازی، پایداری قرار گرفت.

در مقایسه با کنترل‌کننده‌های متعارف، کنترل فازی حداقل دارای دو مزیت است، سیستم‌های فازی دارای حساسیت کمتر نسبت به نویز و تغییرات پارامتری می‌باشند که از اولین مزیت‌های سیستم‌های فازی محسوب می‌شوند. همچنین سیستم‌های فازی را می‌توان به سیستم‌ها و فرآیندهای نابسامان اعمال کرد که در بسیاری از موارد سیستم‌های کنترل متعارف غیرقابل پیاده‌سازی می‌باشند.

از دهه 90 که سیستم‌های فازی به طور عملی در صنعت جا باز کردند. با پیشرفت‌هایی در بحث اثبات پایداری سیستم‌های فازی، بیش از پیش در محافل علمی و صنعتی دارای اهمیت شدند. روش‌هایی در اواخر دهه 90 برای اثبات پایداری (تاناکا^۱، سوگنو^۲ و ...) معرفی شد، که روش‌های تکامل‌یافته امروزی بر مبنای همان روش‌ها هستند. امروزه دو بحث بیشتر مطرح است، دستیابی به عملکرد قوی همراه با اثبات پایداری و اثبات پایداری سیستم‌های هیبریدی که ترکیبی از فازی و سایر روش‌های کنترلی است.

1-1-3 فازی تاکاگی – سوگنو

مدل TSK در سال 1985 توسط سوگنو و تاکاگی [32] ارائه شد. در سیستم TSK نسبت به سیستم ممدانی قسمت غیرفازی ساز حذف شده است. در مدل TSK قسمت نتیجه هر قانون کنترل تابعی از متغیرهای پیشین است.

مدل فازی TSK به صورت زیر است

$$\text{if } p_1 \text{ is } M_1^i \text{ and } p_2 \text{ is } M_2^i \text{ and } \dots \text{ and } p_s \text{ is } M_s^i \text{ then } y = f^i(p_1, p_2, \dots, p_s) \quad (1-3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

که n تعداد قوانین و M_j^i مجموعه فازی zام از قانون i ام است. f^i یک تابع از متغیرهایی پیشین $p_1, p_2, \dots, p_s$ است. که در مدل TSK تابع f^i در معادله (2-3) مشخص شده است.

$$f^i(p_1, p_2, \dots, p_s) = a_0^i + a_1^i p_1 + a_2^i p_2 + \dots + a_s^i p_s \quad (2-3)$$

¹ . tanaka
² sugeno

2-3 کنترل تطبیقی

در اوایل دهه 1950 تحقیقات وسیعی در زمینه کنترل تطبیقی و در خصوص طراحی اتوپایلوت برای هواپیماهایی با مانور زیاد انجام شد. چهار روش کلی در کنترل تطبیقی [33] استفاده می‌شود.

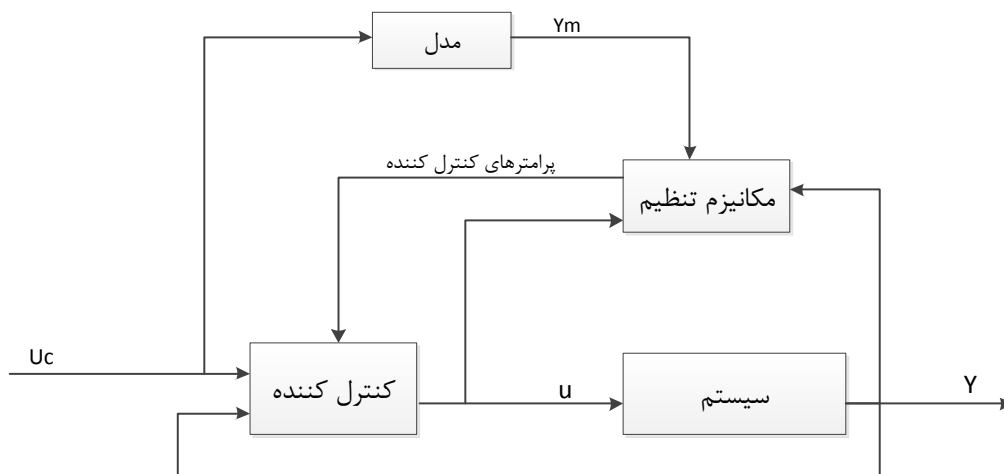
- جدول بندی بهره
- سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع
- رگلاتور خود تنظیم
- کنترل دوگان

در این پایان نامه از ترکیب روش فازی با روش تطبیقی مدل مرجع استفاده شده است.

1-2-3 سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع

سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع برای سیستم‌های پیوسته بکار می‌روند. بلوک دیاگرام در شکل

(1-3) به نمایش گذاشته شده است. [33]



شکل (1-3) بلوک دیاگرام سیستم تطبیقی مدل مرجع

با استفاده از مکانیزم تنظیم بر اساس خروجی مطلوب Y_m ، ورودی کنترلی u و خروجی سیستم Y پارامترهای کنترل کننده لحظه به لحظه بروز می‌شوند. با استفاده از نظریه لیاپانوف پارامترهای کنترل کننده به گونه‌ای تنظیم می‌شوند، که پایداری کل سیستم تضمین شده باشد.

3-3 شناسایی با روش حداقل مربعات خطا

روش کمترین مربعات^۱ روشی در آمار است که برای حل دستگاه معادلاتی به کار می‌رود که تعداد معادله‌های بیش از تعداد مجهول‌هایش باشد. کمترین مربعات در واقع روشی برای برازش^۲ داده‌ها است. در روش کمترین مربعات، بهترین مدل برازش شده بر مجموعه‌ای از داده‌ها مدلی است که در آن مجموع مربع باقی‌مانده‌ها کمینه باشد. منظور از باقی‌مانده‌ها، اختلاف بین داده‌های مشاهده‌شده و مقادیری است که از مدل به دست می‌آید. این روش را نخستین بار کارل فردریش گاوس در سال ۱۷۹۴ میلادی بیان کرد.[34]

خطا $e(i)$ به صورت زیر تعریف می‌شود، که $y(i)$ ، i امین داده مشاهده‌شده و $\hat{y}(i)$ ، i امین داده تخمین زده شده است.

$$e(i) = y(i) - \hat{y}(i) \quad (3-3)$$

تابع تخمین را به فرم زیر در نظر گرفته شده است.

$$\hat{y}(u, \theta) = \hat{f}(u, \theta) \quad (4-3)$$

ساده‌ترین حالت وقتی رخ می‌دهد که تابع $\hat{f}$ نسبت به θ خطی باشد. بنابراین می‌توان نوشت.

$$\hat{y}(i) = f_1(u(i))\theta_1 + f_2(u(i))\theta_2 + \dots + f_n(u(i))\theta_n \quad (5-3)$$

¹ Least Squares

² fit

که فرم ماتریسی آن در رابطه (6-3) آورده شده است.

$$\hat{y} = [f_1(u(i)) \quad \dots \quad f_n(u(i))] \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix} \quad (6-3)$$

برای ساده‌سازی در نوشتار به صورت فرم خلاصه زیر نمایش داده شده است.

$$\hat{y} = \varphi^T \theta \quad (7-3)$$

برای N تعداد داده، بردار داده‌های مشاهده شده تعریف می‌شود

$$Y_{N \times 1} = [y(u_1) \quad \dots \quad y(u_2)]^T \quad (8-3)$$

بنابراین بردار خطا برابر است با

$$E = Y - \hat{Y} \quad (9-3)$$

همین طور می‌توان نوشت

$$E = Y - \phi \theta \quad (10-3)$$

که

$$\phi_{N \times n} = \begin{bmatrix} \varphi^T(u_1) \\ \vdots \\ \varphi^T(u_1) \end{bmatrix} \quad (11-3)$$

مجموع کمترین مربعات خطا برابر است با

$$J(\theta) = \frac{1}{2} E^T E \quad (12-3)$$

در این روش مشتق $J(\theta)$ را بر حسب θ برابر با صفر قرار داده $(\dot{E}^T E = 0)$ تا مربعات خطا کمینه شود. با

دسته‌بندی رابطه بروز رسانی پارمترها (θ) به دست آید.

$$\hat{\theta} = (\phi^T \phi)^{-1} \phi^T Y \quad (13-3)$$

1-3-3 شناسایی بر روی خط کمترین مربعات خطای بازگشتی¹

در قسمت قبل روابطی ارائه شده که برای روش شناسایی خارج از خط بکار می‌روند، در قسمت روابط برای روش شناسایی بر روی خط بازنویسی شده است. ماتریس $P(t)$ به صورت زیر تعریف شده است.

$$P_{n \times n}(t) = (\phi^T(t) * \phi(t))^{-1} \quad (14-3)$$

که $\phi(t)$ را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\phi_{N \times n}(t) = \begin{bmatrix} \phi(t-1) \\ \phi^T(t) \end{bmatrix} \quad (15-3)$$

بنابراین

$$P^{-1}(t) = \phi^T(t-1)\phi(t-1) + \phi(t)\phi^T(t) \quad (16-3)$$

که به وضوح مشخص است.

$$P^{-1}(t-1) = \phi^T(t-1)\phi(t-1) \quad (17-3)$$

با جایگذاری در (13-3) به دست می‌آید.

$$\hat{\theta}(t) = P(t) \left(\sum_{i=1}^t \phi(i)y(i) \right) \quad (18-3)$$

با جداسازی به دست می‌آید.

¹ Recursive Least Squares

$$\hat{\theta}(t) = P(t) \left(\sum_{i=1}^{t-1} \varphi(i)y(i) + \varphi(t)y(t) \right) \quad (19-3)$$

از رابطه (19-3) ، رابطه (20-3) به دست می آید.

$$P^{-1}(t)\hat{\theta}(t) = \sum_{i=1}^t \varphi(i)y(i) \quad (20-3)$$

با جایگذاری (20-3) در (18-3)

$$\hat{\theta}(t) = P(t)(P^{-1}(t-1)\hat{\theta}(t-1) + \varphi(t)y(t)) \quad (21-3)$$

پارامتر به صورت زیر تعریف می شود

$$K(t) = P(t)\varphi(t) \quad (22-3)$$

با ساده سازی به روابط نهایی بروز رسانی پارامترها به دست می آید

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) - K(t)[y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)] \quad (23-3)$$

$$K(t) = P(t-1)\varphi(t)(I + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t))^{-1} \quad (24-3)$$

$$P(t) = (I - K(t)\varphi^T(t))P(t-1) \quad (25-3)$$

که رابطه خطا به صورت زیر است.

$$e(t) = y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1) \quad (26-3)$$

4-3 مدل سیستم مرجع

سیستم مرجع همانند سیستم گلخانه، دو ورودی و دو خروجی است، اما با توجه به فرم معادلات حالت سیستم، سیستم مرجع را به صورت دو معادله ساده کاملاً غیر مزدوج در نظر گرفته شده است. فرم کلی معادلات سیستم مرجع به صورت زیر است.

$$\dot{X}_d = A_d X_d + B_d U_c \quad (26-3)$$

که به فرم زیر در نظر گرفته می شود

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{d1} \\ \dot{x}_{d2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{d1} \\ x_{d2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{T} & 0 \\ 0 & \frac{1}{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{c1} \\ u_{c2} \end{bmatrix} \quad (27-3)$$

در رابطه (3-15) T ثابت زمانی (مدت زمانی که هر کدام از x_d ها به 63% u_c متناظر خود می رسند. که به طور مثال برای سیستم مورد مطالعه در این پایان نامه حدود 100 ثانیه می تواند انتخاب مناسبی باشد.

5-3 مدل سیستم در فضای حالت

برای راحتی در فضای حالت روابط کنترل کننده به دست آورده شده است. قبل از آن در این بخش مدل سیستم را در فضای حالت آورده شده است. دمای درون گلخانه و رطوبت درون گلخانه به عنوان متغیرهای حالت در نظر گرفته شده است. هوا دمی و مه ساز ورودی های سیستم هستند. نور خورشید، رطوبت هوای بیرون گلخانه و دمای هوای بیرون گلخانه اغتشاشات سیستم هستند. معادلات سیستم در معادلات (3-3) و (4-3) به نمایش گذاشته شده اند.

$$\frac{dT_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} [S_i(t) + \lambda q_{fog}(t)] + \frac{V_R(t)}{V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] - \frac{UA}{\rho C_p V} [T_{in}(t) - T_{out}(t)] \quad (28-3)$$

$$\frac{dw_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} q_{fog}(t) + \frac{1}{\rho V} [\alpha \frac{S_i}{\lambda} - \beta_T w_{in}(t)] - \frac{V_R(t)}{\rho V} [w_{in}(t) - w_{out}(t)] \quad (29-3)$$

فرم خطی شده معادله حالت را می‌توان به فرم زیر نوشت که متغیرهای خروجی همان

متغیرهای حالت هستند.:

$$\dot{X} = AX + G(x, w) * U + F * W \quad (30-3)$$

که بردار متغیرهای حالت

$$X = \begin{bmatrix} T_{in} \\ H_{in} \end{bmatrix} \quad (31-3)$$

برداری ورودی‌ها

$$U(t) = \begin{bmatrix} V_R(t) \\ Q_{fog}(t) \end{bmatrix} \quad (32-3)$$

برداری اغتشاش‌های سیستم

$$W = \begin{bmatrix} S_i \\ T_{out} \\ H_{out} \end{bmatrix} \quad (33-3)$$

ماتریس

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{UA}{\rho C_p V} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (34-3)$$

ماتریس

$$G(x, w) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{V}(T_{in} - T_{out}) & -\frac{\lambda}{\rho C_p V} \\ -\frac{1}{V}(H_{in} - H_{out}) & \frac{1}{V} \end{bmatrix} \quad (35-3)$$

ماتریس

$$F = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho C_p V} & \frac{UA}{\rho C_p V} & 0 \\ \frac{\alpha_T}{V\lambda} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (36-3)$$

ماتریس‌های F , A ثابت هستند و با زمان تغییر نمی‌کنند، ولی ماتریس G با زمان تغییر می‌کند. همان طور که مشاهده می‌شود متغیرهای حالت و دو تا از اغتشاش‌ها به طور مستقیم در ماتریس G حضور دارند.

6-3 طراحی کنترل کننده ترکیبی خطی سازی فیدبکی و RLS

در روش خطی سازی فیدبکی با استفاده از روش‌های شناسایی، سیستم شناسایی می‌شود. سپس مدل مرجع مناسبی ارائه می‌شود. در نهایت با استفاده از روابط خطی سازی فیدبکی سیگنال کنترلی به دست می‌آید.

برای شناسایی از روش کمترین مربعات خطا بازگشتی که روابط آن در بخش (3-3-1) مرور شد، استفاده شده است. از دو بلوک شناسایی یکی برای معادله حالت دمای سیستم (3-37) و دیگری برای معادله حالت رطوبت سیستم (3-38) استفاده شده است.

معادلات حالت (3-37) و (3-38) به فرم زیر بازنویسی شده‌اند.

$$\begin{aligned} \frac{dT_{in}(t)}{dt} = & -\frac{UA}{\rho C_p V} T_{in}(t) + \frac{V_R(t)}{V} T_{in}(t) + \frac{1}{\rho C_p V} \lambda q_{fog}(t) + \left[\frac{1}{\rho C_p V} S_i(t) - \frac{V_R(t)}{V} T_{out}(t) \right. \\ & \left. + \frac{UA}{\rho C_p V} T_{out}(t) \right] \end{aligned} \quad (37-3)$$

$$\frac{dw_{in}(t)}{dt} = -\frac{V_R(t)}{\rho V} w_{in}(t) + \frac{1}{\rho V} q_{fog}(t) + \left[\frac{\alpha}{\rho V} \frac{S_i}{\lambda} + \frac{V_R(t)}{\rho V} w_{out}(t) \right] \quad (38-3)$$

بردار θ_l, φ_l که $l = 1, 2$ برای دو بلوک شناسایی صورت زیر در نظر گرفته می‌شوند.

$$\varphi_1 = [T_{in}(t), V_R(t)T_{in}(t), q_{fog}(t), S_i, V_R(t)T_{out}, T_{out}(t)] \quad (39-3)$$

$$\theta_1 = \begin{bmatrix} \theta_{11} \\ \vdots \\ \theta_{16} \end{bmatrix} \quad (40-3)$$

$$\varphi_2 = [w_{in}(t)V_R(t), q_{fog}(t), S_i, V_R(t)w_{out}(t)] \quad (41-3)$$

$$\theta_2 = \begin{bmatrix} \theta_{21} \\ \vdots \\ \theta_{24} \end{bmatrix} \quad (42-3)$$

معادلات حالت سیستم شناسایی شده به فرم ماتریسی زیر در نظر گرفته شده است.

$$\dot{X} = \hat{A}X + \hat{G}(x) * U + \hat{F} \quad (43-3)$$

که ماتریس‌های آن در زیر آورده شده‌اند.

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \theta_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (44-3)$$

$$\hat{G}(x) = \begin{bmatrix} T_{in}\theta_{12} & \theta_{13} \\ W_{in}\theta_{21} & \theta_{22} \end{bmatrix} \quad (45-3)$$

$$\hat{F} = \begin{bmatrix} \theta_{14} + \theta_{15}V_R(t) + \theta_{16} \\ \theta_{23} + \theta_{24}W_{out}(t) \end{bmatrix} \quad (46-3)$$

با توجه به معادلات مدل مرجع که در زیر آمده است، رابطه (3-48) نشان‌دهنده قانون کنترل است.

$$\dot{X}_d = A_d X_d + B_d U_c \quad (47-3)$$

$$U = \hat{G}^{-1}[(A_d - \hat{A})X + B_d U_c - \hat{F}] \quad (48-3)$$

7-3 مدل پارامتری سیستم

برای سادگی و اعمال نامعینی معادلات حالت سیستم به فرم (3-49) در آورده شده است.

$$\dot{X} = AX + B(x_1, x_2) * U + D(W, U) \quad (49-3)$$

که می توان به دو جز (3-50) و (3-51) تقسیم کرد.

$$\dot{X} = AX + B(x_1, x_2) * U + D(W, U) \quad (50-3)$$

$$\dot{x}_1 = a_1 x_1 + a_2 x_1 V_R + a_3 Q_{fog} + d_1(W, U) \quad (51-3)$$

$$\dot{x}_2 = b_1 x_2 V_R + b_2 Q_{fog} + d_2(W, U) \quad (52-3)$$

با توجه به کران دار بودن تمامی متغیرهای این سیستم، بنابراین درایه های ماتریس D هم که ترکیبی از ضرایب ثابت و متغیرهای سیستم هستند، کران دار هستند. ما در این مساله فرض بر این بوده که ضرایب به کاررفته دقیق نیستند. بردار D به عنوان ترمی نامعین ولی کران دار در نظر گرفته شده است. درایه های بردار D را با یک سیستم فازی T-S شناسایی می کنیم. پارامترهای سیستم فازی با استفاده از روابط سیستم تطبیقی مدل مرجع با قانون لیاپانوف بروز می شوند.

8-3 طراحی کنترل کننده فازی - تطبیقی

1-8-3 مدل فازی T-S سیستم شناسایی شده

برای شناسایی بردار D از مدل فازی T-S استفاده شده است. از دو سیستم فاز مجزا ولی بسیار مشابه برای دو درایه بردار D بکار رفته است. متغیرهای هر کدام از سیستم های فازی با اندیس 1

مشخص شده‌اند. سیستم فازی به کاررفته به فرم زیر ساده می‌کنیم. مدل فازی T-S به صورت زیر است :

$$\text{if } p_{11} \text{ is } M_{11}^i \text{ and } p_{12} \text{ is } M_{12}^i \text{ and } \dots \text{ and } p_{lS_l} \text{ is } M_{lS_l}^i \text{ then } y = f_l^i(p_{11}, p_{12}, \dots, p_{lS_l}) \quad (53-3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n_l$$

که n_l تعداد قوانین و M_{lj}^i مجموعه فازی z ام از قانون i ام در سیستم فازی l ام است. تعداد S_l ورودی سیستم فازی است. f^i یک تابع از متغیرهایی پیشین $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{lS_l}$ است. که در این مدل T-S تابع f_l^i در معادله بالا مشخص شده است، برای پیچیده نشدن بیش از اندازه کنترل کننده f_l^i تابعی از متغیرهای پیشین در نظر گرفته نشده و عددی ثابت است.

$$f_l^i(p_{11}, p_{12}, \dots, p_{lS_l}) = a_l^i \quad (54-3)$$

μ_{lk} به دست می‌آید

$$\mu_{lk} = \prod_{i=1}^{S_l} \mu_{li}^K(p_{li}) \quad (55-3)$$

جواب نهایی سیستم فازی l ام به فرم زیر خواهد شد

$$F_l(x) = \frac{\sum_{k=1}^{n_l} \mu_{lk} a_l^k}{\sum_{k=1}^{n_l} \mu_{lk}} \quad (56-3)$$

همچنین با جداسازی می‌توان نوشت:

$$\alpha_{lk} = \frac{\mu_{lk}}{\sum_{k=1}^{n_l} \mu_{lk}} \quad (57-3)$$

با توجه رابطه (57-3) رابطه (57-3) به فرم زیر در می‌آید:

$$F_l(x) = \sum_{k=1}^{n_l} \alpha_{lk} a_l^k \quad (58-3)$$

رابطه (3-58) به فرم ماتریس در آورده شده که

$$F_l(x) = [\alpha_{l1} \quad \cdots \quad \alpha_{ln_l}] \begin{bmatrix} a_l^1 \\ \vdots \\ a_l^{n_l} \end{bmatrix} \quad (3-59)$$

بردار F را با دو جز F_l که $l=1,2$ تشکیل داده شده

$$F(x) = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} \quad (3-60)$$

برای به فرم ماتریسی در آوردن تعداد قوانین و ورودی‌های دو سیستم فازی یکسان در نظر

گرفته شده است. تعداد قوانین را n و تعداد ورودی‌های سیستم فازی 2 در نظر گرفته شده است.

تابع $\varphi_l(x)$ به صورت زیر تعریف شده است

$$\varphi_l(x) = \phi_l \tau_l \quad (3-61)$$

که در آن ϕ_l به صورت (3-62) و τ_l به صورت (3-63) است

$$\phi_l = [\alpha_{l1} \quad \cdots \quad \alpha_{ln}] \quad (3-62)$$

$$\tau_l = \begin{bmatrix} a_l^1 \\ \vdots \\ a_l^n \end{bmatrix} \quad (3-63)$$

باید تابع‌های F_l به فرم تابع φ_l درآورده شود. بنابراین

$$F(x) = \begin{bmatrix} \phi_1 & 0 \\ 0 & \phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 & 0 \\ 0 & \tau_2 \end{bmatrix} \quad (3-64)$$

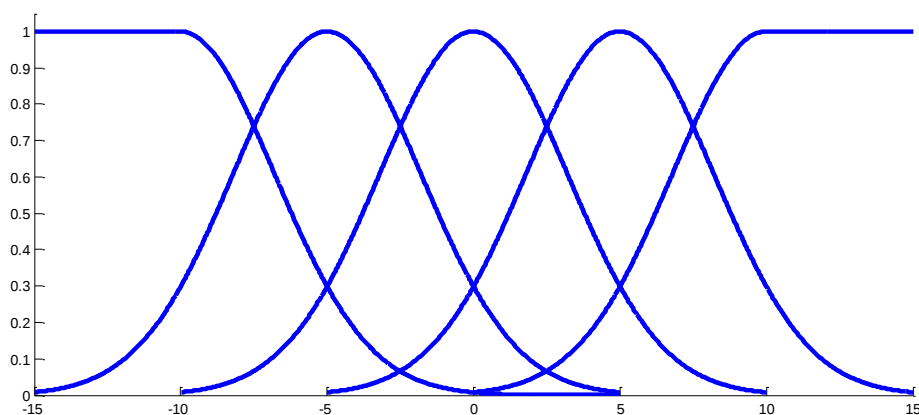
که بدیهی است

$$\phi_l = [\alpha_{l1} \quad \cdots \quad \alpha_{ln}] = [\alpha_{l1} \quad \cdots \quad \alpha_{ln_l}] \quad (3-65)$$

$$\tau_l = \begin{bmatrix} a_l^1 \\ \vdots \\ a_l^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_l^1 \\ \vdots \\ a_l^{n_l} \end{bmatrix} \quad (66-3)$$

دو سیگنال $(e_l, \dot{e}_l)$ به عنوان ورودی برای هر سیستم فازی استفاده شده است. کران بالا و پایین سیگنال ورودی را $[-K, K]$ (با توجه به مساله K بین 10 تا 20) در نظر گرفته شده است. فرم توابع عضویت در شکل زیر برای حالت 5 مجموعه فازی و $K=10$ نمایش داده شده است. برای هر چهار سیگنال از مجموعه های فازی نشان داده شده در شکل زیر استفاده شده است. برای خارج از محدودی 15- تا 15+ سیگنال ها در شبیه سازی در یک ضریب مناسب ضرب و تقسیم می شوند.

مجموعه های فازی ابتدایی و انتهایی ترکیبی از توابع گوسین و خطی در نظر گرفته شده تا مجموع مجموعه های در مخرج $(\sum_{k=1}^{n_l} \mu_{lk})$ سیستم فازی قرار می گیرد، به ازای تمامی مقادیر ورودی سیستم هیچ گاه عددی بسیار نزدیک صفر نشود.



شکل (2-3) مجموعه های فازی

2-8-3 قضایای لیاپانوف

بعد از چاپ کتاب " مشکلات کلی پایداری حرکتی " اثر الکساندر لیاپانوف در سال 1892 اصطلاح " پایداری لیاپانوفی " مطرح شد. [35] لیاپانوف دو روش غیرمستقیم (روش اول لیاپانوف) و مستقیم (روش دوم لیاپانوف) برای تحلیل پایداری ارائه نمود. در روش اول برای تحلیل پایداری از معادلات خطی شده که از خطی سازی معادلات غیرخطی حول نقطه کار به دست آمده استفاده می-شود. بدیهی است که این تحلیل تنها در محدوده کارایی مدل خطی اعتبار دارد. در روش دوم از خطی سازی استفاده نمی شود و حالت کلی تری نسبت به روش اول دارد. بنابراین در این پایان نامه تمرکز بر روی روش دوم است.

3-8-3 قانون دوم لیاپانوف

فلسفه اصلی روش دوم لیاپانوف، بر اساس این اصل نظریه مکانیک کلاسیک استوار است که سیستم های نوسانی بدون ورودی خارجی در صورتی پایدار هستند که مجموع انرژی آن ها (تابعی مثبت معین) به طور پیوسته کاهشی باشد (یعنی مشتق بر حسب زمان انرژی سیستم باید منفی معین باشد) تا اینکه به نقطه تعادل برسد.

به عبارت دیگر روش دوم بر این واقعیت بنانهاده شده است اگر سیستمی حالت تعادل پایدار مجانبی دارد، انرژی ذخیره شده سیستم در داخل حوزه جذب با افزایش زمان کاهش یافته تا سرانجام به مقدار آن در نقطه تعادل برسد. لیاپانوف تابع انرژی تعمیم یافته را ارائه کرد، که به آن تابع لیاپانوف نیز می گویند.

قضیه 1 - سیستم $\dot{X} = F(X)$ در نزدیکی نقطه تعادل در مبدا پایدار مجانبی است، اگر تابع اسکالری همانند $V(x)$ وجود داشته باشد که شرایط زیر برآورده سازد: [36]

1- $V(x)$ در محدوده حول مبدا S پیوسته است و مشتق های جزئی آن نیز پیوسته هستند.

2- $V(x) > 0$ برای $x \neq 0$

$$V(0) = 0 \quad -3$$

$$\dot{V}(x) < 0 \quad \text{برای } x \neq 0 \quad -4$$

شرایط 1 تا 3 مثبت معین بودن را تضمین می کند و شرط 4 بدان معنی است که $\dot{V}(x)$ منفی معین است.

4-8-3 تحلیل پایداری و قوانین تطبیق

در این بخش با استفاده از روابط لیاپانوف روابطی برای بروز رسانی پارامترهای کنترل کننده فازی - تطبیقی فازی به دست آورده شده که همزمان کل سیستم هم پایدار باشد.

معادلات حالت سیستم مرجع و سیستم گلخانه در زیر آمده است.

$$\dot{X}_d = A_d X_d + B_d U_c \quad (67-3)$$

$$\dot{X} = AX + B(x_1, x_2) * U + D(W, X, U) \quad (68-3)$$

که اختلاف متغیرهای حالت سیستم گلخانه و سیستم مرجع خطا در نظر گرفته شده است.

$$E = X - X_d \quad (69-3)$$

با تفریق دو رابطه (67-3) و (68-3) به دست می آید:

$$\dot{X} - \dot{X}_d = AX - A_d X_d + B(x_1, x_2) * U + D(W, X, U) - B_d U_c \quad (70-3)$$

با جایگذاری X_d از رابطه (69-3) در رابطه (70-3) به دست می آید:

$$\dot{E} = A_d E + (A - A_d)X + B(x_1, x_2) * U + D(W, X, U) - B_d U_c \quad (71-3)$$

با فرض به جای بردار D از بردار $\hat{D}$ که از بخش شناسایی فازی به دست آمده استفاده شده است.

$$U = B^{-1}[(A_d - A)X + B_d U_c - \hat{D}] \quad (72-3)$$

با اعمال قانون کنترلی در رابطه (71-3) به رابطه (73-3) به دست آمده

$$\dot{E} = A_d E + (D - \tilde{D}) \quad (73-3)$$

که $\tilde{D}$ تعریف می‌شود

$$\tilde{D} = D - \hat{D} \quad (74-3)$$

$\tilde{D}$ به صورت ضرب دو بردار که در بخش شناسایی با استفاده از سیستم‌های فازی توضیح داده شد، در نظر گرفته شده است.

$$\tilde{D} = \psi \tilde{\theta} \quad (75-3)$$

با جایگذاری (75-3) در (73-3)

$$\dot{E} = A_d E + \psi \tilde{\theta} \quad (76-3)$$

با استفاده از قانون دوم لیاپانوف تابع مثبت معین V پیشنهاد داده شده است.

$$V = \frac{1}{2} E^T P E + \frac{1}{2} \tilde{\theta}^T \Gamma \tilde{\theta} \quad (77-3)$$

که مشتق آن برابر است با

$$\dot{V} = \frac{1}{2} \dot{E}^T P E + \frac{1}{2} E^T P \dot{E} + \frac{1}{2} \dot{\tilde{\theta}}^T \Gamma \tilde{\theta} + \frac{1}{2} \tilde{\theta}^T \Gamma \dot{\tilde{\theta}} \quad (78-3)$$

با جایگذاری $\dot{E}$ از رابطه (76-3) می‌توان نوشت.

$$\dot{V} = \frac{1}{2} (E^T A_d^T + \tilde{\theta}^T \psi^T) P E + \frac{1}{2} E^T P (A_d E + \psi \tilde{\theta}) + \tilde{\theta}^T \Gamma \dot{\tilde{\theta}} \quad (79-3)$$

که با دسته‌بندی به رابطه (80-3) به دست آمده است.

$$\dot{V} = \frac{1}{2}E^T(A_d^T P + P A_d)E + \frac{1}{2}\tilde{\theta}^T \psi^T P E + \frac{1}{2}E^T P \psi \tilde{\theta} + \theta^T \Gamma \dot{\tilde{\theta}} \quad (80-3)$$

با در نظر گرفتن Q به صورت

$$Q = -(A_d^T P + P A_d) \quad (81-3)$$

با جایگذاری Q در رابطه (81-3) به دست می آید

$$\dot{V} = -\frac{1}{2}E^T Q E + \tilde{\theta}^T \psi^T P E + \theta^T \Gamma \dot{\tilde{\theta}} \quad (82-3)$$

Q,P از جمله عوامل تنظیم کنترل کننده است. برای پایداری کافی است به ازای ماتریس مثبت معین P ، ماتریس Q مثبت معینی به دست آید. با توجه به معادلات حالت مدل مرجع روابط (83-3) و (84-3) به وضوح مشخص است.

$$A_d = -\frac{1}{T} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (83-3)$$

$$A_d = A_d^T \quad (84-3)$$

برای ماتریس P ، ماتریس مثبت معین همانی در نظر گرفته شده است. با جایگذاری به دست می آید

$$Q = -(-\frac{1}{T}I * I - \frac{1}{T}I * I) \quad (85-3)$$

که

$$Q = \frac{2}{T}(I * I) = \frac{2}{T}I \quad (86-3)$$

با توجه به رابطه بالا ماتریس Q مثبت معین به دست آمد. بنابراین برای پایداری کافی است

بقیه جزیهای معادله $\dot{V}$ صفر شوند. بنابراین

$$\theta^T(\psi^T PE + \Gamma \dot{\theta}) = 0 \quad (87-3)$$

می‌دانیم $\theta^T \neq 0$ (با توجه به نوع مجموعه‌های فازی انتخاب‌شده) بنابراین

$$\psi^T PE + \Gamma \dot{\theta} = 0 \quad (88-3)$$

رابطه بروز رسانی پارامترهای سیستم‌های فازی به دست می‌آید

$$\dot{\theta} = -\Gamma^{-1}\psi^T PE \quad (89-3)$$

فصل چهارم

نتایج شبیه سازی

مقدمه

در فصل روش ارائه شده در فصل سوم شبیه سازی شده و نتایج آن آورده شده است. در فصل قبل روش کنترل تطبیقی مدل مرجع با به کارگیری سیستم های فازی به دست آمد. در قسمت 1-4 مشخصات سیستم مورد مطالعه ذکر شده است. در بخش 2-4 نتایج شبیه سازی آورده شده است. در بخش 3-4 نتایج حاصل از شبیه سازی تحلیل شده است. در بخش 4-4 پیشنهادهایی برای کارهای آینده ارائه شده است.

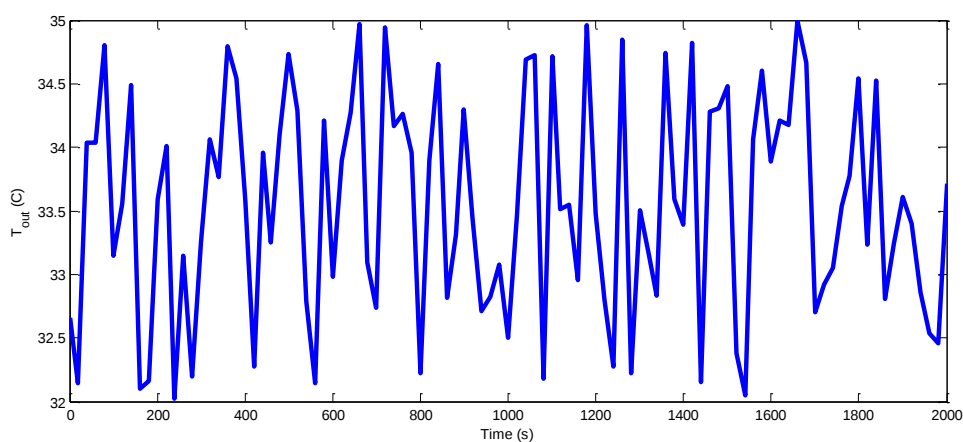
1-4 مشخصات سیستم گلخانه

گلخانه ی مورد مطالعه مساحت $1000m^3$ و ارتفاع $4m$ است. با توجه به سایه صفحات انرژی دریافتی از نور خورشید به 60٪ کاهش یافته است. ماکزیم ظرفیت سیستم مه پاش $26gH_2O.min^{-1}.m^3$ است. همچنین سیستم تهویه توانایی 20 بار در ساعت تعویض هوای داخل گلخانه با هوا بیرون ($22.2 m^3.s^{-1}$) را دارد. حجم موثر برای دما و رطوبت 65٪ در نظر گرفته شده است. کنترل کننده دمای مطلوب سیستم را دماهای $25,30^{\circ}C$ تنظیم کرده است. رطوبت مطلوب $20,25 \frac{g}{m^3}$ در نظر گرفته شده است. دمای بیرون در بازه [32 35] درجه سانتی گراد است. رطوبت بیرون در بازه $[4.8]g/m^3$ قرار دارد. میزان نور خورشید در بازه $0.6 * 10^4 W/m^2$ [32 36] است. [15]

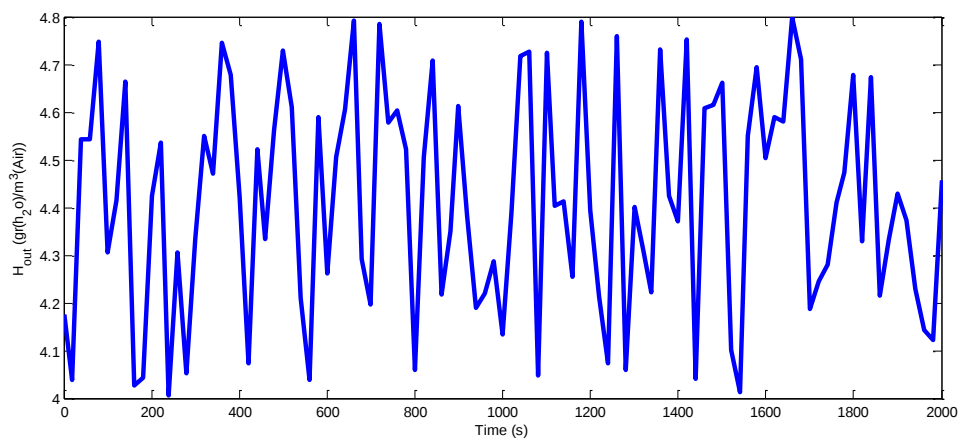
2-4 نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی به نمایش گذاشته‌شده و توضیحاتی راجع به آن ارائه‌شده است.

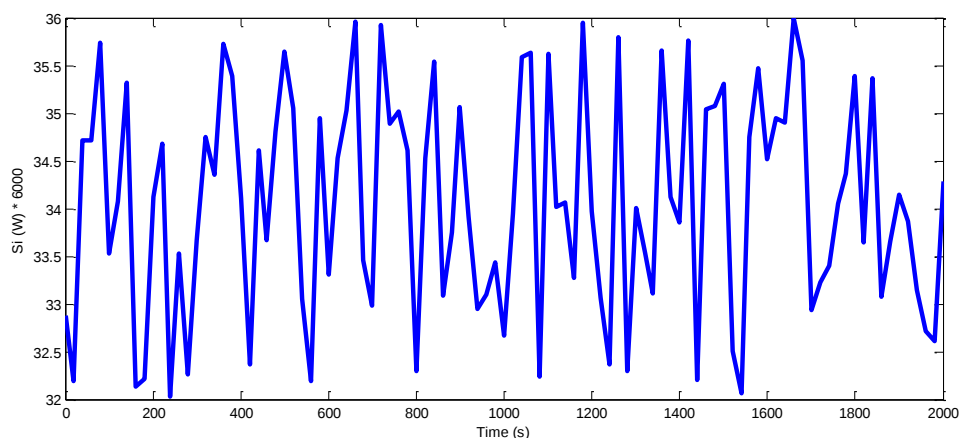
در شکل‌های (1-4) ، (2-4) و (3-4) به ترتیب اغتشاشات دمای بیرون سیستم، رطوبت بیرون سیستم و نور خورشید در گلخانه نشان داده‌شده است. [13]



شکل (1-4) دمای بیرون گلخانه

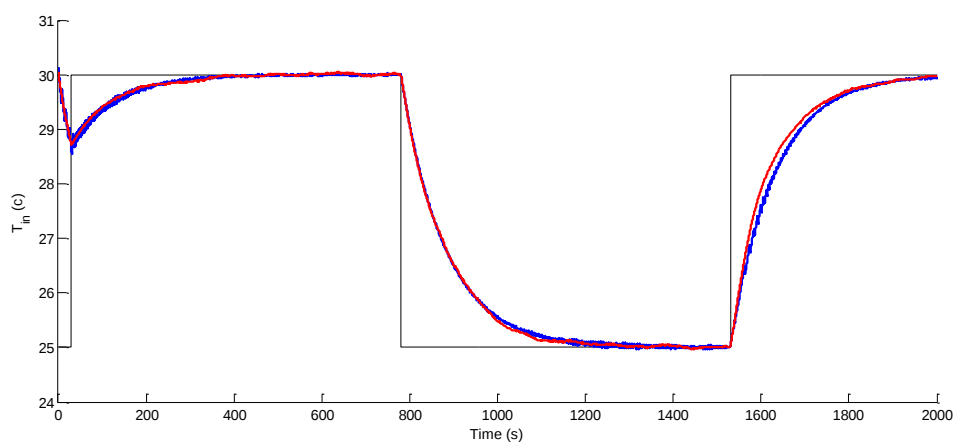


شکل (2-4) رطوبت بیرون گلخانه

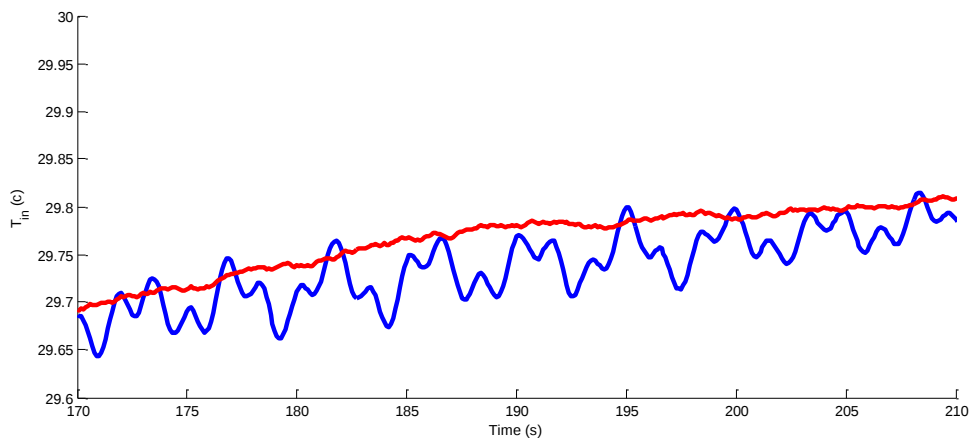


شکل (3-4) حرارت ناشی از میزان نور به دام افتاده در گلخانه

در شکل (4-4) دما مطلوب درون گلخانه که با سیگنال مربعی نشان داده شده و دمای داخل گلخانه برای دو کنترل کننده خطی سازی فیدبکی و فازی – تطبیقی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، خروجی دو کنترل کننده تفاوت چندانی ندارند. در شکل (4-5) بخش کوچکی از سیگنال های دمای سیستم گلخانه با هر کدام از کنترل کننده ها با بزرگنمایی نشان داده شده است. خط قرمز رنگ مربوط به کنترل کننده خطی سازی فیدبکی و خط آبی مربوط به کنترل کننده فازی – تطبیقی است. سیگنال حاصل از کنترل کننده فازی – تطبیقی دارای نوسانات بیشتری است.

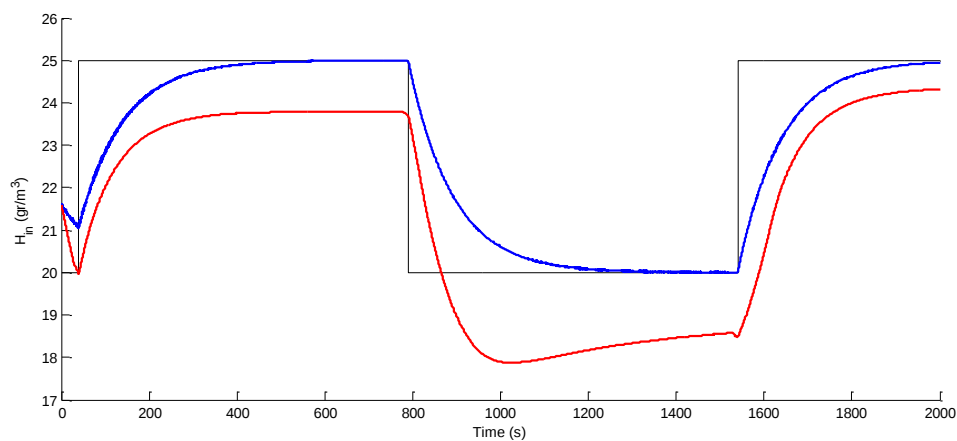


شکل (4-4) دمای درون سیستم



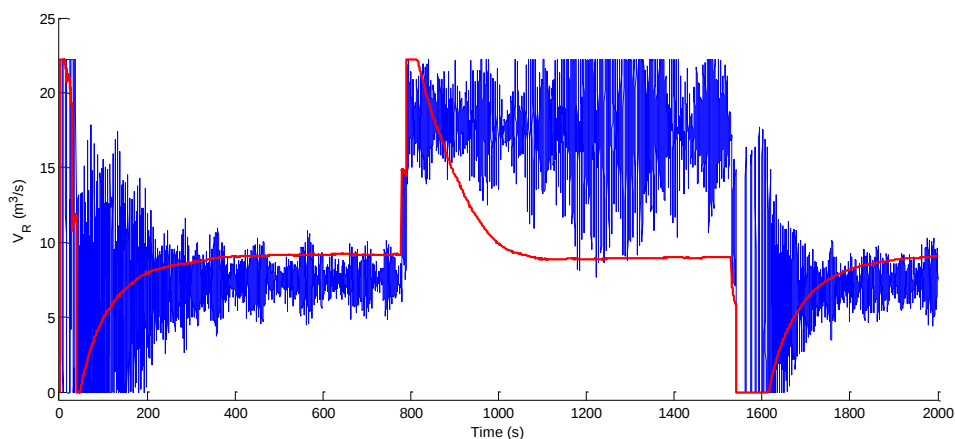
شکل (5-4) دمای داخل سیستم (بزرگ نمایی شده)

در شکل (4-4) رطوبت مطلوب درون گلخانه که با سیگنال مربعی نشان داده شده و دمای داخل گلخانه برای دو کنترل کننده خطی سازی فیدبکی و فازی – تطبیقی نشان داده شده است. خط و نقطه چین مربوط به کنترل کننده خطی سازی فیدبکی و خط ممتد مربوط به کنترل کننده فازی – تطبیقی است. همان طور که مشاهده می شود، خروجی کنترل کننده خطی سازی فیدبکی ردیابی را با یک اختلاف انجام داده است.



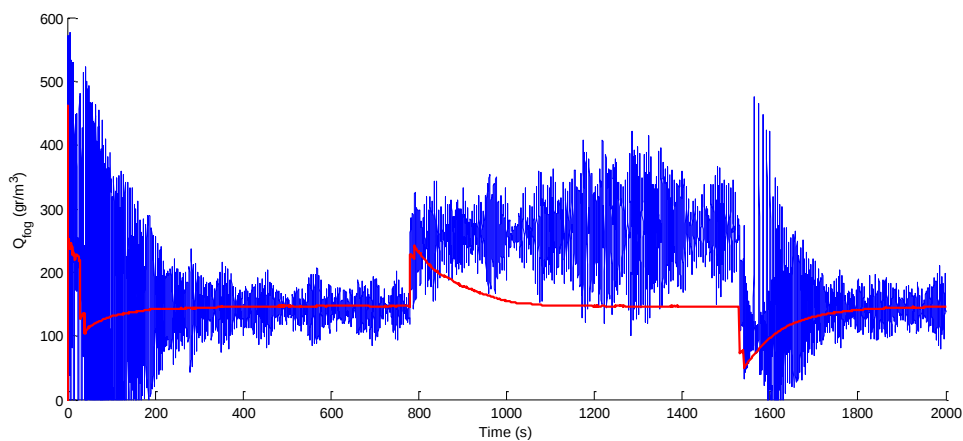
شکل (6-4) رطوبت داخل سیستم

در شکل (7-4) سیگنال کنترلی مربوط به سیستم تهویه نشان داده است. خط با پهنای بیشتر مرتبط با کنترل کننده خطی سازی فیدبکی است.



شکل (7-4) سیگنال کنترلی سیستم تهویه

در شکل (8-4) سیگنال مربوط به سیستم مه ساز نشان داده شده است. خط با پهنای بیشتر مرتبط با کنترل کننده خطی سازی فیدبکی است.



شکل (8-4) سیگنال کنترلی سیستم مه ساز

3-4 نتیجه‌گیری

همان طور از شکل‌های (4-4) و (6-4) برمی‌آید، از لحظه فرمان دادن به تغییر دمای مطلوب این عمل با ثابت زمانی حدود 300 ثانیه رخ می‌دهد، نتیجه بسیار خوب است.

کنترل‌کننده فازی - تطبیقی ارائه شده در این پایان‌نامه دارای اثبات پایداری است، درحالی‌که کنترل‌کننده خطی سازی فیدبکی دارای اثبات پایداری نیست.

سیگنال‌های کنترلی کنترل‌کننده خطی سازی فیدبکی نسبت به کنترل‌کننده فازی - تطبیقی دارای نوسان بسیار کمتری هستند که این یک مزیت محسوب می‌شود.

4-4 ارائه پیشنهادها

- مدل‌سازی‌های متفاوتی برای سیستم گلخانه وجود دارد، که با ترکیب آن‌ها می‌توان به مدل دقیق‌تر و بهتری رسید.
- سیستم‌های فازی قابلیت‌های بیشماری دارند، در ساختار کنترل‌کننده این پایان‌نامه از ترکیب فازی- تطبیقی استفاده شده است، که در آن سیستم‌های فازی فقط برای شناسایی استفاده شده‌اند، که می‌توان در بخش کنترل‌کننده (در حال حاضر از قوانین تطبیق بکار رفته است) نیز استفاده نمود. ساختار پیشنهادی علاوه بر داشتن خاصیت تطبیقی قدرت و عملکرد بهتری خواهد داشت.
- در کنترل‌کننده ارائه شده دو سیستم فازی برای شناسایی وجود دارد که با ترکیب روابط می‌توان به یک سیستم فازی رسید.
- این کنترل‌کننده بر روی دسته خاصی از سیستم‌های چند متغیره قابل پیاده‌سازی است. ارائه کنترل‌کننده‌ای که بتواند دسته بزرگ‌تری از سیستم‌های چند متغیره را کنترل کند.

فصل پنجم

مراجع

مراجع

- [1] Coelho, J. P., P. B. Moura Oliveira, and J. Boaventura Cunha, “Greenhouse air temperature predictive control using the particle swarm optimisation algorithm”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 49, no. 3, pp. 330-344, 2005.
- [2] Cunha, J. B., C. Couto, and A. E. B. Ruano, “A greenhouse climate multivariable predictive controller”, *Acta Horticulturae*, N. 534, ISHS, pp. 269-276, 2000.
- [3] Piñón, S., E. F. Camachoa, B. Kuchen, and M. Peña, “Constrained predictive control of a Greenhouse”. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 49, no. 3, pp. 317-329, 2005.
- [4] Arvanitis, K. G., P. N. Paraskevopoulos, and A. A. “Vernardos, Multirate adaptive temperature control of greenhouses”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 26, no. 3, pp. 303-320, 2000.
- [5] Pasgianos, G. D., K. G. Arvanitis, P. Polycarpou, and N. Sigrimis, “A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 40, no. 1-3, pp. 153-177, 2003.
- [6] Lafont, F., and J. -F. Balmat, “Optimized fuzzy control of a greenhouse”, *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 128, no. 1, pp. 47-59, 2002.
- [7] Lafont, F., and J. F. Balmat, “Fuzzy logic to the identification and the command of the Multidimensional systems”, *International Journal of Computational Cognition*, vol. 2, no. 3, pp. 21-47, 2004.
- [8] Miranda, R. C., E. Ventura-Ramos, R. R. Peniche-Vera, and G. Herrera-Riuz, “Fuzzy greenhouse climate control system based on a field programmable gate array”, *Biosystems Eng.*, vol. 94, no. 2, pp. 165-177, 2006

- [9] Bennis, N., J. Duplaix, G. Enéa, M. Haloua, and H. Youlal, “Greenhouse climate modelling and robust control”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, no. 2, pp. 96-107, 2008.
- [10] Pucheta, J. A., C. Schugurensky, R. Fullana, H. Patiño, and B. Kuchen, “Optimal greenhouse control of tomato-seedling crops”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 50, no. 1, pp. 70-82, 2006.
- [11] Hai-Gen Hu, Li-Hong Xu, Rui-Hua Wei, Bing-Kun Zhu, “RBF Network Based Nonlinear Model Reference Adaptive PD Controller Design for Greenhouse Climate”, *International Journal of Advancements in Computing Technology*, vol. 3, no. 9, pp. 357-366, 2011.
- [12] A. Trabelsi, F. Lafont, M. Kamoun, and G. Enea, “Fuzzy identification of a greenhouse”, *Appl. Soft Comput.*, vol. 7, no. 3, pp. 1092-1101, 2007.
- [13] Haigen Hu , Lihong Xu 2, Ruihua Wei and Bingkun Zhu, “Multi-Objective Control Optimization for Greenhouse Environment Using evolutionary Algorithms”, *Sensors*, vol. 11, pp. 5792-5807, 2011.
- [14] M. Nachidi ,A.Benzaouia , F. Tadeo, “Temperature and humidity control in greenhouses using the Takagi-Sugeno fuzzy model”, *International Conference on Control Applications*, 2006.
- [15] A. Seginer, R.W. McClendon, “ Methods for optimal control of the greenhouse Environment”, *Transactions of the ASAE*, vol. 35, pp. 1299–1307, 1992.
- [16] R.F. Tap, L.G. van Willigenburg, G. van Straten, and E.J. van Henten, “Optimal control of greenhouse climate: computation of the influence of fast and slow dynamics”, *Proc. 12th IFAC World Congr.*, 1993.
- [17] E.J. van Henten, “Sensitivity Analysis of an Optimal Control Problem in Greenhouse Climate Management”, *Biosystems Engineering*, vol. 85, pp. 355-364, 2003.
- [18] G. van Straten, H. Challa and F. Buwalda, “Towards user accepted optimal control of greenhouse climate”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 26, pp. 221-238, 2000.

- [19] T. Takakura, K.A. Jordan, L.L. Boyd, "Dynamic simulation of plant growth and environment", Transactions of the ASAE, vol. 14, pp. 964-971, 1971.
- [20] M. Kindelan, "Dynamic modelling of greenhouse environment", Transactions of the ASAE, vol. 23, pp. 1232-1239, 1980.
- [21] R. Avissar, and Y. Mahrer, "Verification study of a numerical greenhouse microclimate model", Transactions of the ASAE, vol. 25, pp. 50-53, 1982.
- [22] T. Boulard, A. Baille, "A simple greenhouse climate control model incorporating effects of ventilation and evaporative cooling", Agricultural and Forest Meteorology, vol. 65, pp. 145-157, 1993.
- [23] Seginer, T. Boulard, B.J. Bailey, "Neural Network Models of the Greenhouse Climate", Journal of Agricultural Engineering Research, vol. 59, pp. 203-216, 1994.
- [24] R. Kok, R. Lacroix, G. Clark, and E. Taillefer, "Limitation of a procedural greenhouse model with an artificial neural networks", Canadian Agricultural Engineering, vol. 36, pp. 117-126, 1994.
- [25] R. Linker, I. Seginer, and P.O. Gutman, "Neural network and hybrid adaptive modeling of greenhouse air temperature", In Proceeding of AgEng 98 conference, 1998.
- [26] R. Linker, I. Seginer, and P.O. Gutman, "Optimal control of CO₂ in a greenhouse modelled with neural networks", Computers and Electronics in Agriculture, vol. 19, pp. 289-310, 1998.
- [27] J. Richalet, A. Rault, J.L. Testud, and J. Papon, "Model predictive heuristic control: application to industrial process", Automatica, vol. 14, pp. 413-428, 1978.
- [28] E.J. van Henten, "Greenhouse climate management: An optimal control approach", Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands, 1994.
- [29] L.D. Albright, R.S. Gates, K.G. Arvanities and A.E. Drysdal, "Environmental control for plants on earth and in space", IEEE control system magazine, Oct., pp. 28-47, 2001.

- [30] L.A. Zadeh, "Fuzzy sets". Information and Control, vol. **8**, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [31] L.A. Zadeh, "Fuzzy algorithms", Information and Control, vol. **12**, no. 2, 94–102, 1968.
- [32] T. Takagi, M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 15, no. 1, pp. 116-132, 1985.
- [33] K. J. Åström and B. Wittenmark, "Adaptive Control", Addison-Wesley, 1989.
- [34] O. Bretscher, "Linear Algebra With Applications", 3rd ed., Prentice Hall, 1995.
- [35] A. Lyapunov, General problem of the stability of motion (in Russian), 1892.
- [36] ع. خاکی صدیق، "اصول کنترل مدرن"، انتشارات دانشگاه تهران، 1382.

Abstract:

Greenhouses, as an integral part of modern agriculture, have a large share in the production of agricultural crops. The goal of greenhouse is creating a closed space, that the temperature and humidity inside are controllable. Several models have been proposed for greenhouse. A greenhouse is Multi-input multi-output systems and also, there is a coupling in system. The presented models for the system have not full accordance with the real system. In model used in this thesis, the temperature and humidity inside the greenhouse are system state variables and outputs. Temperature and humidity of outside the greenhouse and sunlight are disturbances entered into the system. Today, fuzzy systems have a large share in academic research and industrial applications. Fuzzy systems have performance of resistant against uncertain, so they are used in the controller. In this thesis, fuzzy systems Takagi - Sugeno are used for identification of uncertain terms. Model Reference Adaptive Controller structure is used in controller design. In controller presented in this thesis has been ensured the system stability. Most of works presented in the past, controllers have not proven stability. The control system is presented have usability on a great group of multivariable systems.

Keywords:

System Fuzzy Takagi - Sugeno, Model Reference Adaptive Control, System Greenhouse



Shahrood University of Technology
Department of Electrical and Robotic Engineering

Adaptive - Fuzzy Control of Climate Greenhouse System

By:
Meisam Najarzadeh Javazm

Supervisor:
Dr. Ali AKbarzadeh Kalat

2013