





دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه کنترل

کنترل عصبی فازی دما و رطوبت سیستم گلخانه

دانشجو: هیوا مرادی

استاد راهنما:

دکتر علی اکبرزاده کلات

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری آقای / خانم

تحت عنوان:

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد / رساله دکتری ارزیابی گردید و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:
			نام و نام خانوادگی:

تقدیم

به سه وجود مقدس:

... آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم

... موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم

... وعاشقانه سوختند تا کرم ما بخش وجود ما و روشنگر ایمان باشند

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

تقدیر و شکر

به مصداق «من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق»

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب دکتر علی اکبرزاده کلات که با

کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با

راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

(ويزكيهم ويعلمهم الكتاب والحكمة).

تعمدنامه

اینجانب هیوا مرادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق-کنترل دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کنترل عصبی فازی دما و رطوبت سیستم گلخانه تحت راهنمایی دکتر علی اکبرزاده کلات 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 بافتهای 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

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها 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.

چکیده

سیستم گلخانه چند ورودی چند خروجی بوده و همچنین دارای اثر متقابل می‌باشد. در مدل مورد استفاده در این پایان نامه دما و رطوبت داخل گلخانه به عنوان متغیرهای حالت، نرخ هوا دهی سیستم تهویه و ظرفیت تبدیل آب به بخار سیستم مه ساز به عنوان ورودی‌های سیستم و نور خورشید، دما و رطوبت خارج گلخانه به عنوان اغتشاش‌های سیستم در نظر گرفته شده است. در این پایان نامه از روش عصبی فازی برای رسیدن به رسیدن به یک پاسخ مناسب با نوسان کم استفاده نموده‌ایم. برای نشان دادن قدرت و دقت کنترل طراحی شده آنرا با کنترل کننده تطبیقی پیشنهاد شده و کنترل کننده خطی سازی فیدبکی مقایسه کردیم که این مقایسه، سرعت، انعطاف پذیری، قدرت و دقت کنترل کننده عصبی فازی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: سیستم استنتاج عصبی فازی (*ANFIS*)، کنترل کننده تطبیقی، خطی سازی فیدبکی،

سیستم گلخانه

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

چکیده خ

فصل اول: مقدمه و مدل سازی سیستم

۱-۱- مقدمه ۲

۲-۱- پارامترهای سیستم ۳

۱-۲-۱- نور خورشید ۳

۲-۲-۱- دما ۳

۳-۲-۱- رطوبت ۳

۴-۲-۱- غلظت CO_2 ۴

۳-۱- تجهیزات مورد نیاز برای کنترل گلخانه ۵

۱-۳-۱- تجهیزات کنترل دما ۵

۲-۳-۱- رطوبت گیر ۵

۳-۳-۱- غنی سازی CO_2 ۵

۴-۱- مروری بر کارهای گذشته ۵

۵-۱- مدیریت سلسله مراتبی آب و هوای گلخانه ۸

۶-۱- فرایند تولید محصول گلخانه‌های ۹

۷-۱- مدل دینامیکی گلخانه ۱۲

۸-۱- ساده سازی مدل ۱۶

۹-۱- نقطه کار ۱۷

۱۰-۱- طرح کلی پایان نامه ۱۸

فصل دوم: معرفی کنترل کننده

۱-۲- مقدمه ۲۰

معرفی کنترل کننده عصبی فازی

۲-۲- پیشینه منطق فازی ۲۰

۳-۲- مجموعه‌های فازی ۲۱

۴-۲- سیستمهای فازی ۲۲

۵-۲- مدل فازی تاگاکای-سوگنو ۲۳

۶-۲- قوانین لیاپانوف ۲۴

۶-۲-۱- قانون اول لیاپانوف ۲۴

۶-۲-۲- قانون دوم لیاپانوف ۲۵

۷-۲- سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) ۲۵

۸-۲- طراحی کنترلکننده عصبی-فازی ۲۸

۹-۲- نتایج شبیه سازی ۳۳

معرفی کنترل کننده تطبیقی

۱۰-۲- کنترل تطبیقی ۳۸

۱۱-۲- سیستمهای تطبیقی ۳۸

۱۲-۲- الگوریتم تطبیق خطا ۳۹

۱۳-۲- پیکربندی سیستمهای تطبیقی ۳۹

۳۹	.....	۱۴-۲-سیستمهای تطبیقی مدل مرجع
۴۰	.....	۱۵-۲-شناسایی با روش حداقل مربعات خطا
۴۲	.....	۱۶-۲-شناسایی بر روی خط کمترین مربعات خطای بازگشتی
۴۴	.....	۱۷-۲-طراحی کنترل کننده تطبیقی
۴۷	.....	۱۸-۲-نتایج شبیه سازی

فصل سوم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵۴	.....	۱-۳-نتیجه گیری
۵۶	.....	۲-۳-پیشنهادات
۵۷	.....	منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل (۱-۱) شماتیک فرآیند تولید محصول گلخانه ای ۱۱
- شکل (۲-۱) مدل دینامیکی گلخانه ۱۲
- شکل (۳-۱) دمای داخل گلخانه ۱۷
- شکل (۴-۱) رطوبت داخل گلخانه ۱۸
- شکل (۱-۲) ساختار شبکه انفیس (جنگ، ۱۹۹۳) ۲۶
- شکل (۲-۲) گروه‌های فازی ۳۰
- شکل (۳-۲) اغتشاش‌های سیستم ۳۴
- شکل (۴-۲) دمای سیستم ۳۵
- شکل (۵-۲) رطوبت سیستم ۳۵
- شکل (۶-۲) قانون کنترل ۳۶
- شکل (۷-۲) همگرایی پارامترهای سیستم ۳۶
- شکل (۸-۲) همگرایی پارامترهای تنظیم درایه اول ماتریس D ۳۷
- شکل (۹-۲) همگرایی پارامترهای تنظیم درایه دوم ماتریس D ۳۷
- شکل (۱۰-۲) بلوک دیاگرام سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع ۴۰
- شکل (۱۱-۲) اغتشاش‌های سیستم ۴۸
- شکل (۱۲-۲) دما سیستم ۴۹
- شکل (۱۳-۲) رطوبت سیستم ۴۹
- شکل (۱۴-۲) قانون کنترل ۵۰
- شکل (۱۵-۲) همگرایی پارامترهای سیستم ۵۰
- شکل (۱۶-۲) همگرایی پارامترهای تقریب D ۵۱

فهرست جداول

صفحه

عنوان

جدول (۱-۱) سیستم مورد کنترل با توجه به مقیاس زمانی ۹

جدول (۲-۱) پارامترهای سیستم ۱۴

فصل اول:

مقدمه و مدل سازی سیستم

۱-۱- مقدمه

در ابتدا گلخانه‌ها برای محافظت از محصولات کشاورزی در برابر تغییرات آب و هوایی 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 گلخانه می‌توان کاهش مصرف کود، آب، انرژی و CO_2 را برشمرد. از اهداف کنترل دما و رطوبت گلخانه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- به دست آوردن بهره‌وری بالاتر
- اطمینان از انطباق کیفیت محصول تولید شده 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 گلخانه‌ها صرف گرم کردن هوای درون گلخانه می‌شود. در اروپا به عنوان مثال، هزینه گرم کردن بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از هزینه‌های جاری برای تولید محصولات گلخانه‌ای است.

در این فصل ابتدا پارامترهای این سیستم در بخش (۱-۲) توضیح داده شده و سرانجام در بخش (۱-۳) تجهیزات گلخانه توضیح داده شده است.

۱-۲- متغیرها

۱-۲-۱- نور خورشید

نور خورشید برای رشد گیاه ضروری است. در روزهای طولانی و بی ابر تابستان نور خورشید می تواند به تنهایی و بدون استفاده از CO_2 و نور مصنوعی برای رشد گیاه کافی است.

۱-۲-۲- دما

درجه حرارت بسیار کم در شبهای زمستان و درجه حرارت بسیار زیاد در روزهای تابستان می تواند مشکلاتی را برای گیاهان درون گلخانه به وجود بیاورد. مشکل دمای پایین در شبهای زمستان را می توان با تدابیر خاص برطرف کرد. یکی از مشکلات اساسی ما دمای بالا در روزهای تابستان است که برای آن باید ملزومات لازم را در نظر گرفت.

۱-۲-۳- رطوبت

رطوبت نسبی مقیاسی از مقدار آب موجود در هوا در یک دمای داده شده است. میزان فتوسنتز گیاهان متأثر از رطوبت نسبی هوای اطراف است. رطوبت نسبی بین ۲۵ تا ۸۰ درصد، تأثیر ناسازگاری بر روی رشد اکثر گیاهان ندارد. رطوبت نسبی هوای داخل گلخانه به وسیله دمای سطوح داخلی تعیین می شود. کاهش جریان هوا و نیز کم شدن نرخ تعویض هوا، منجر به افزایش رطوبت نسبی می شود. یک گلخانه داری که دارای گلخانه ای کاملاً بسته با پوشش دو لایه ای می باشد، باید از وجود امکانات تهویه کافی، که برای کنترل رطوبت نسبی و نیز حداکثر دما لازم است، مطمئن باشد.

رطوبت نسبی ایده آل برای گلخانه چیزی بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است. اگر رطوبت نسبی خیلی بالا باشد، شرایط برای حمله بیماری ها به گیاهان فراهم می شود. 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.

۱-۲-۴-غلظت CO_2

کاربرد CO_2 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، می توان با استفاده از CO_2 راندمان تولید محصول را بالاتر برد. وجود CO_2 برای انجام عمل فتوسنتز ضروری است. این واکنش منجر به تولید محصول می شود. در این واکنش CO_2 عامل بسیار مهمی است.

سال های زیادی است که از منابع غنی سازی دی اکسید کربن در گلخانه ها، برای افزایش رشد و تولید گیاهان پی برده شده است. فتوسنتز یک فرآیند شیمیایی است که انرژی نور خورشید را برای تبدیل دی اکسید کربن و آب به مواد قندی در گیاهان سبز مورد استفاده قرار می دهد. سپس این مواد قندی در خلال تنفس گیاه برای رشد آن مورد استفاده قرار می گیرند. اختلاف بین نرخ فتوسنتز و تنفس، مبنایی برای میزان انباشتگی ماده خشک در گیاهان می باشد. در تولید گلخانه ای، هدف همه پرورش دهندگان، افزایش ماده خشک و بهینه سازی اقتصادی فرآیند تولید محصولات می باشد. دی اکسید کربن با توجه به بهبود رشد گیاهان، باروری محصولات را نیز افزایش می دهد. بعضی از مواردی که باروری محصولات به وسیله غنی سازی دی اکسید کربن افزایش داده می شود عبارت اند از: گل دهی قبلی از موعد، افزایش بازده میوه دهی، کاهش جوانه های ناقص در گل ها، بهبود استحکام ساقه گیاه و اندازه گل. بنابراین پرورش دهندگان گل و گیاه باید دی اکسید کربن را به عنوان یک ماده مغذی در نظر بگیرند. همچنین در فصل زمستان که محیط گلخانه بسته است، می توان با افزایش غلظت CO_2 ، دما گلخانه را افزایش داد.

۱-۳- تجهیزات مورد نیاز برای کنترل گلخانه

۱-۳-۱- تجهیزات کنترل دما

کنترل دمای گلخانه با استفاده از دستگاه های گرمایشی و خنک کننده ها تحقق می یابد. استفاده از سیستم های گرمایشی باعث افزایش بهره وری، کیفیت و زودرسی محصول می شود. به علت هزینه های بالایی که استفاده از سیستم گرمایشی دارد بر مبنای نظر اقتصادی ممکن استفاده شود و یا نشود. اما استفاده از خنک کننده به جنبه های مهم و راهبردی دارد. روش های متعددی برای خنک کردن سیستم گلخانه وجود دارد از جمله این روش ها استاتیک، اجباری و تبخیری است. خنک کننده تبخیری، به خصوص در مناطق گرم و خشک از کارآمدترین روش ها می باشد.

۱-۳-۲- رطوبت گیر

سیستم برای کاهش رطوبت نیاز به رطوبت گیر دارد. رطوبت گیر 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.

۱-۳-۳- غنی سازی CO_2

این تکنیک در کشورهایی با آب و هوای گرم و خشک ضروری نیست. استفاده از غنی ساز CO_2 در دوره های محدود با توجه به شرایط تهویه مقرون به صرفه است.

۱-۴- مروری بر کارهای گذشته

در دهه های اخیر با روش های متنوعی سیستم گلخانه کنترل شده است. با توجه به وجود داشتن چندین مدل برای سیستم گلخانه در این بخش فقط کارهایی که از مدل استفاده شده در این پایان نامه استفاده

نموده‌اند، نام‌برده شده است. از جمله روش‌ها می‌توان به کنترل پیش‌بین [۱-۳]، کنترل تطبیقی [۴]، کنترل با فیدبک غیر خطی [۵]، کنترل فازی [۶-۸]، کنترل مقاوم [۹] و کنترل بهینه [۱۰] نام برد. با بررسی کنترل‌کننده‌های ارائه شده تا زمان حال به این نتیجه می‌رسیم که اکثر کارهای ارائه شده دارای اثبات پایداری نمی‌باشد. از جمله معایب دیگر این کنترل‌کننده‌های پیشنهادی ثابت زمانی زیاد و نوسانات بیش از حد و همچنین عملکرد ضعیف در از بین بردن اثر متقابل بین متغیرهای حالت است.

اما در سال‌های اخیر روش‌های ترکیبی (ترکیبی از دو یا چند روش) برای دستیابی به کنترل دقیق‌تر و کارایی بیشتر به کار می‌رود. کنترل‌کننده‌های تناسبی-مشتقی تطبیقی با مدل مرجع غیرخطی بر مبنای شبکه عصبی [۱۱] نمونه‌ای از روش‌های ترکیبی است. در آن برای تنظیم ضرایب دو کنترل‌کننده تناسبی-مشتقی، سیستم را با شبکه عصبی *RBF* شناسایی کرده و برای بروز رسانی ضرایب *PD* از روابطی بر مبنای مشتق‌هایی از شبکه *RBF* استفاده شده است. در آن روابط را بر مبنای کمینه کردن خطاهای تخمین به دست آورده‌اند. اما راهکاری برای بررسی پایداری ارائه ننموده است. تاکنون راهکاری برای اطمینان از حصول پایداری سیستم‌هایی با ساختار مشابه ارائه نشده است.

در مرجع [۱۲] از یک سیستم فازی برای شناسایی استفاده شده است. در دو حالت 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 ولی پایداری سیستم بررسی نشده است.

همچنین در [۱۳] روش‌های بهینه‌سازی چند هدفی با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری برای تنظیم ضرایب دو کنترل‌کننده تناسبی-مشتقی انتگرالی استفاده شده است. از الگوریتم یادگیری *NSGA-II* (نوعی الگوریتم پیشرفته ژنتیک) بهره برده شده است.

در [۱۴] بر اساس مدل غیر خطی گلخانه یک مدل فازی تاکاگی-سوگنو ($T-S$) به عنوان مدل سیستم ارائه شده است. برای مدل فازی به دست آمده، کنترل کننده‌ی جبران ساز توزیع شده موازی (PDC) طراحی شده است. برای بررسی پایداری روش نامساوی ماتریسی خطی (LMI) بکار رفته است.

در [۱۵] از روش فیدبک غیرخطی برای کنترل سیستم گلخانه استفاده کرده است. در این کار هدف اصلی مدل سازی بوده است. با استفاده از داده‌های واقعی و تطبیق آن‌ها بر روی مدل، ضرایب مدل را به دست آورده است.

با بکار گرفتن کنترل کننده‌های ترکیبی تا حدی به بهبود ثابت زمانی و از بین بردن اثر متقابل بین دو متغیر حالت دما و رطوبت کمک شده است. ولی باید این واقعیت را پذیرفت که با توجه به حساس بودن کنترل آب و هوای داخل گلخانه و اهمیت تولید محصول سالم و همچنین بیشترین بازده باید در راستای کنترل دقیق‌تر این سیستم تلاش نمود و گامی رو جلو در جهت بهبود کشاورزی مدرن برداشت. حال با توجه به قدرت روش‌های فازی، عصبی و تطبیقی و ادغام این روش‌ها با هم که در قالب روش $ANFIS$ نمایان می‌شود، باز هم می‌توان این نقاط ضعف را بهبود بخشیده و بصورت دقیق‌تر و در مدت زمان کمتر به وضعیت مطلوب دست یافت.

مدل سازی سیستم

آب و هوا در کشت محصولات کشاورزی تأثیر به‌سزایی دارد. گلخانه در واقع یک محیط بسته برای کشاورزی است، که آب و هوای آن کنترل شده است. جدای از مباحث مربوط به کنترل گلخانه، بهینه سازی کنترل کننده مورد استفاده در سیستم گلخانه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. بهینه سازی 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 [۱۶-۱۹].

مدل‌های استفاده شده در پژوهش‌ها به دو دسته: مدل فیزیکی و مدل جعبه سیاه تقسیم می‌شود [۲۰-۲۳]. 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 سیستم مانند ضرب 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 به مدل موفق و دقیقی رسید [۲۴-۲۷].

در بخش (۱-۵) مدیریت آب و هوای گلخانه بر مبنای مقیاس زمانی تقسیم‌بندی شده است. در بخش (۱-۸) مدل فیزیکی (معادلات حالت) سیستم گلخانه توضیح داده شده است. در بخش (۱-۸) مدل فیزیکی سیستم با توجه به فرضیه‌های پایان نامه ساده سازی شده است.

۱-۵- مدیریت سلسله مراتبی آب و هوای گلخانه

در کنترل فرآیندهای 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 بستگی دارد. به طور کلی محیط بسته (گلخانه) تأثیر بسیار زیادی روی سیستم بیولوژیک و همین طور سیستم بیولوژیکی بر روی محیط بسته دارد. پاسخ زمانی یک گلخانه می‌تواند متأثر از رفتن خورشید به پشت ابر در حدود چند دقیقه باشد، یا پاسخ زمانی وزن محصول می‌تواند متأثر از تغییر غلظت دی اکسید کربن در عرض یک روز تا چند هفته باشد. به طور کلی می‌توان گفت پاسخ زمانی سیستم فیزیکی تولید گیاه (آب و هوای گلخانه) سریع است در حالی که سیستم‌های بیولوژیکی پاسخ کندی دارند. متغیرهای کنترل را می‌توان به دسته‌های سریع و کند دسته بندی کرد، ولی به این معنی نیست که دسته بندی‌های

دیگری نمی توان در نظر گرفت. در [۲۹ و ۲۸] سیستم را به چهار سطح دسته بندی کرده اند که در جدول (۱-۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱-۱) سیستم مورد کنترل با توجه به مقیاس زمانی

سطح	سیستم مورد کنترل	مقیاس زمانی
۳	تولید فضا و زمان	فصل - سال
۲	رشد محصول و تولید	ساعت ها - روزها - هفته ها
۱	آب و هوای گلخانه	دقیقه ها
۰	عملکردها (فن ها ، دریچه ها)	دقیقه ها - ثانیه ها

کنترل سطح ۳ را می توان تابعی از شرایط بازار در نظر گرفت که با صلاح دید مدیر گلخانه کنترل می شود. سطح ۲ کنترل بیولوژیکی سیستم است که نظراتی را برای کنترل در سطح ۱ ارائه می کند. سطوح کنترل ۱ و ۲ منجر به کنترل بهینه مصرف انرژی و مدیریت هزینه می شود. سطح ۰ مربوط به عملکرد عملگرها است. بهره‌وری در سطح ۱ بستگی به عملکرد سطح ۰ دارد، که برای گلخانه‌های با وسعت زیاد می تواند مشکل ساز شود. به طور مثال گلخانه‌ای با حجم ۱۰۰۰۰ متر مربع باید سطح ۰ آن توانایی تعویض هوای آن را در چند دقیقه داشته باشد [۱۵].

۱-۶- فرایند تولید محصول گلخانه‌ای

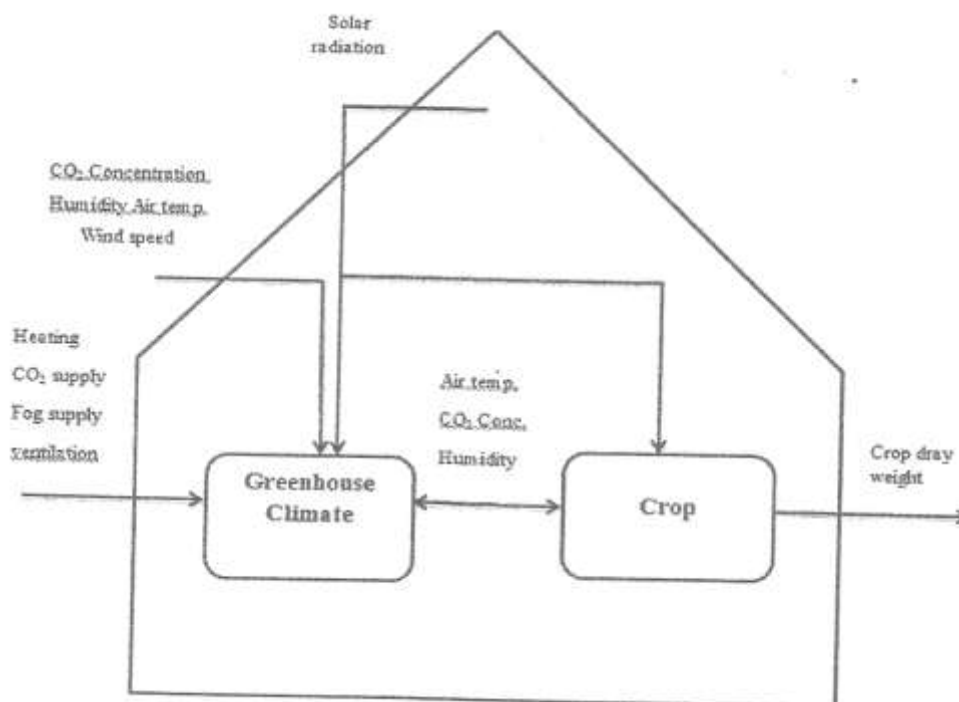
دیاگرام شماتیک تولید محصول گلخانه‌ای در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. به طور کلی می توان دو زیر سیستم برای فرایند تولید محصول گلخانه در نظر گرفت، تحقیقات در زمینه مدل سازی آب و هوای گلخانه و محصول [۲۹] و مدیریت آب و هوای سیستم گلخانه با سلسله مراتبی از سیستم‌های فرعی، که در

آن هر زیرسیستم متناسب با دستورالعمل‌های زیر سیستم مرتبه بالاتر از خود عمل می‌کند. دلیل این عملیات سلسله مراتبی پیچیدگی ذاتی فرآیند 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 قابل توجهی در پاسخ‌های زمانی است. سرعت پاسخ دینامیکی آب و هوا گلخانه بسیار سریع تر 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 سروموتورها سریع‌تر از پاسخ دینامیکی آب و هوای گلخانه است.

در سیستم‌های پیچیده چندبعدی، زیر سیستم‌ها تفاوت زیادی در پاسخ‌های زمانی دارند. در این گونه مسائل مهندسی نادیده گرفتن ثابت‌های متفاوت زمانی سیستم، باعث پیچیده‌تر شدن دست‌یابی به سیستم کنترلی بهینه عملی، می‌شود. بر اساس این تجربیات، متغیرها به دسته سریع و کند تقسیم می‌شوند.

در مطالعات زمان‌های کوچک و 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 گرفته خواهند شد.



شکل (۱-۱) شماتیک فرآیند تولید محصول گلخانه ای [۲]

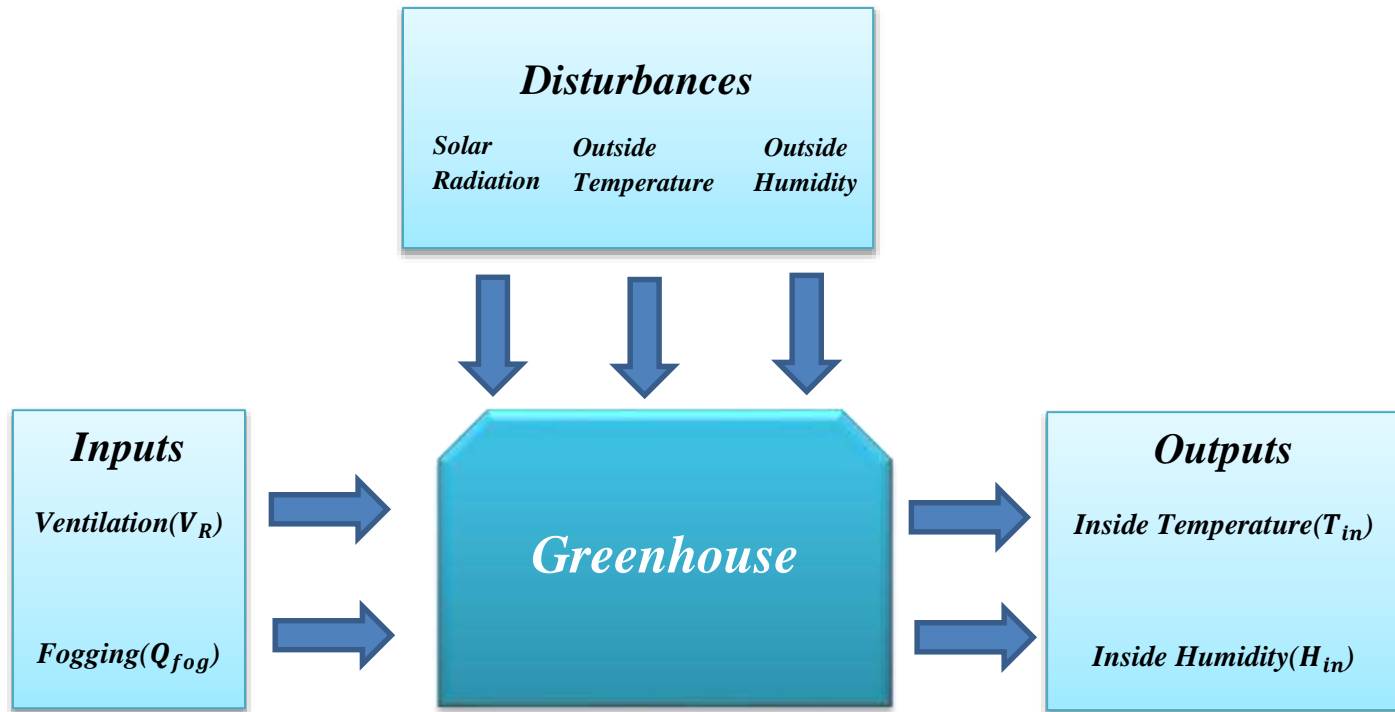
چهار سطح ارائه شده در جدول (۱-۱) ایده‌های اساسی مدیریت سلسله مراتبی آب و هوای گلخانه را در بردارد. در سطح ۰ عملکرد صحیح دریاچه‌های سیستم‌های گرمایش و تأمین دی‌اکسید کربن و همچنین سرو موتورها و پنجره‌های سیستم تهویه مورد توجه است.

در سطح ۱ تنظیمات دریاچه‌ها و سروموتورها با توجه کنترل متغیرهای آب و هوایی گلخانه از قبیل درجه حرارت، غلظت دی‌اکسید کربن و رطوبت مورد نظر تعیین می‌شود. در سطح ۲ متغیرهای آب و هوایی و نقاط کار تعیین می‌شوند. سطح‌های ۰ و ۱ پاسخ دینامیکی سریعی دارند و زمان‌ها در حد دقیقه است. بنابراین بر اساس دقیقه به دقیقه کنترل می‌شود. عمل سطح ۰ و ۱ به یکی از دو صورت، موازی یا سطح

بالتر و سطح پایین تر کنترل می‌شوند، که سطح ۱ بالاتر بوده و سطح ۰ (سطح پایین تر) را کنترل می‌کند. در این پایان نامه در سطح ۰ و ۱ بیشتر روی متغیرهای درجه حرارت و رطوبت هوا تمرکز شده است. سطح ۲ 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 دی‌اکسید کربن و رطوبت گلخانه برای فرایند تولید محصول تعیین می‌شوند. در نتیجه مجموعه نقاطی برای کنترل آب و هوای گلخانه در سطح ۱ تولید می‌شود.

۱-۷- مدل دینامیکی گلخانه

در شکل (۱-۲) ورودی‌ها، خروجی‌ها و اغتشاشات وارد شده به سیستم گلخانه نمایش داده شده است.



شکل (۱-۲) 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 در درون گلخانه T_{in} و رطوبت درون گلخانه W_{in} می‌باشند. 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 (۱-۱) و (۲-۱) نمایش داده شده است [۱۵].

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

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

در روابط بالا T_{in} دما داخل گلخانه به واحد C^0 ، T_{out} دمای خارج گلخانه به واحد C^0 ، UA ضریب انتقال گرما Wk^{-1} ، ρ غلظت هوا ($1.2 kgm^{-3}$)، C_p ظرفیت گرمایی هوا ($1.006 kg^{-1}k^{-1}$)، q_{heater} توان گرمایی تولیدی سیستم گرمایشی با واحد (W) ، $S_i(t)$ توان به دام افتاده از نور خورشید (W) ، q_{fog} ظرفیت تبدیل آب به سیستم مه ساز (gH_2S^{-1}) ، λ گرمای نهان تبخیر آب $(2257 g^{-1})$ ، V_R نرخ هوادمی سیستم تهویه $(m^3[air]s^{-1})$ ، w_{in} ، w_{out} نرخ رطوبت خارج و داخل گلخانه (نسبت به جرم بخار آب به هوای خشک)، $E(S_i(t), w_{in}(t))$ میزان تعرق و تبخیر گیاهان با واحد (gH_2S^{-1}) است.

درون گلخانه گوشه‌ها و فضاهایی وجود دارد که 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 (۱-۱) V_T (حجم موثر هوا برای دما) و V در معادله (۲-۱) را V_H (حجم موثر هوا برای رطوبت) در نظر گرفته شده 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 ۶۰٪ تا ۷۰٪ 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 راحت تر پارامترها و ضرایب معادلات در جدول زیر آمده اند.

جدول (۲-۱) پارامترهای سیستم

مقدار پارامتر	واحد	نام پارامتر	نماینده انگلیسی
---	C°	دمای درون گلخانه	T_{in}
---	C°	دمای بیرون گلخانه	T_{out}
---	wk^{-1}	ضریب انتقال گرما	UA
۱,۲	Kgm^{-3}	چگالی هوا	ρ
۱۰۰۶	$JKg^{-1}K^{-1}$	ظرفیت گرمایی	C_p
---	W	میزان حرارت تولید شده در سیستم گرمایشی	Q_{heater}
---	W	انرژی به دام افتاده حاصل از نور خورشید	$S_i(t)$

q_{fog}	ظرفیت تبدیل آب به بخار سیستم مه ساز	gH_2OS^{-1}	---
λ	گرمای نهان تبخیر آب	Jg^{-1}	۲۲۵۷
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، خنک کننده، رطوبت ساز و رطوبت گیر کنترل می‌شود. از آنجا که رطوبت گیر گران است، از رطوبت گیر استفاده نشده و در عوض از گرمادهی و تهویه برای جبران عدم استفاده از رطوبت گیر استفاده می‌شود. به طور مثال در مناطق دارای آب و هوای گرم می‌توان زمانی که رطوبت درون گلخانه بسیار زیاد می‌شود، با تهویه، هوای مرطوب داخل را با هوای خشک بیرون جا به جا نمود. برای بالابردن سطح رطوبت مورد نیاز می‌توان از 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 و گر نه 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.

۱-۸- ساده سازی مدل

در این پایانامه فرض بر بودن در فصل تابستان است. در این فصل سیستم، گرمای مورد نیاز خود را می‌تواند از نور خورشید تأمین کند. با توجه به رایگان بودن نور خورشید و هزینه های سنگین سیستم گرمایشی از سیستم گرمایشی استفاده نمی‌شود بنابراین $q_{heater} = 0$ است.

$$q_{heater} = 0 \quad (3-1)$$

رابطه تبخیر و تعرق $E(S_i(t), w_{in}(t))$ به صورت رابطه (۴-۱) زیر تخمین زده می‌شود:

$$E(S_i(t), w_{in}(t)) = \alpha \frac{S_i}{\lambda} - \beta_T w_{in}(t) \quad (4-1)$$

ضریب α با توجه به سطوح سایه در گلخانه تخمین زده می‌شود. ضریب β_T با در نظر گرفتن ثابت‌های ترمودینامیکی و سایر عوامل موثر بر تبخیر و تعرق به دست می‌آید. با جایگذاری روابط (۳-۱) و (۴-۱) در روابط (۱-۱) و (۲-۱) خواهیم داشت:

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

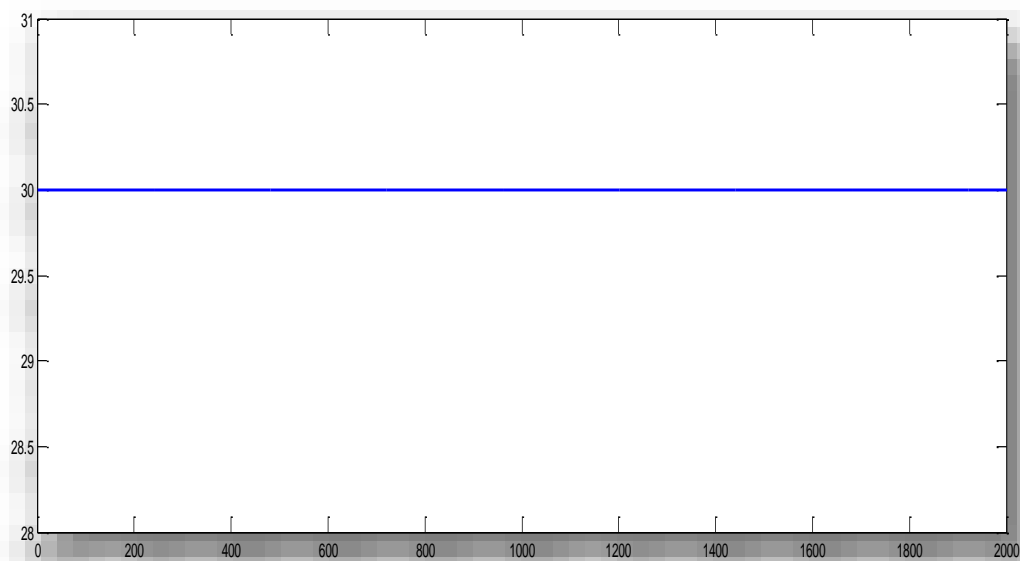
$$\frac{dw_{in}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho V} q_{fog}(t) + \frac{1}{\rho V} (\alpha \frac{S_i}{\lambda} - \beta_T w_{in}(t)) - \frac{V_R(t)}{\rho V} [w_i(t) - w_{out}(t)] \quad (6-1)$$

بدیهی است، که معادلات (۵-۱) و (۶-۱) را نمی‌توان مانند سیستم‌های غیرخطی ساده به راحتی تحلیل نمود، که دلیل آن پیچیدگی روابط و اختلال‌ها و اثرات متقابل بین متغیرهای حالت است.

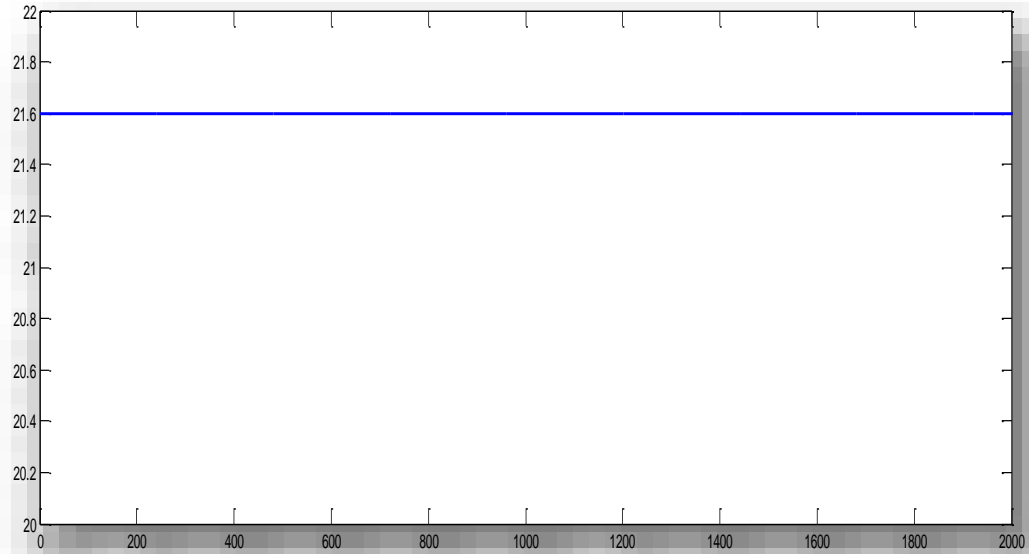
۹-۱- نقطه کار

در این بخش معادلات حالت (۵-۱) و (۶-۱) شبیه سازی شده است. $30^{\circ}C$ دمای اولیه داخل گلخانه و $21/6 \frac{gr}{m^3}$ میزان رطوبت اولیه داخل گلخانه در نظر گرفته شده است. با محاسبات به دست می آید، اگر $10/27 \frac{m^3}{s}$ میزان خروجی سیستم تهویه و $162 \frac{gr}{s}$ میزان خروجی سیستم مه ساز باشد، دما و رطوبت سیستم گلخانه همان دما و رطوبت اولیه سیستم می ماند. این مطلب به معنای صفر شدن مشتق دما بر زمان و مشتق رطوبت بر زمان است.

در شکل های (۳-۱) و (۴-۱) دما و رطوبت داخل گلخانه نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، دما و رطوبت سیستم در نقطه تعادل باقی مانده اند.



شکل (۳-۱) دمای داخل گلخانه



شکل (۴-۱) رطوبت داخل گلخانه

۱-۱۰- طرح کلی پایان نامه

ساختار و روابط کنترل کننده‌های پیشنهادی در فصل دوم (به ترتیب، کنترل کننده تطبیقی و کنترل کننده عصبی فازی) تشریح شده است و در انتهای هر کدام از کنترل کننده‌ها نتایج حاصل از شبیه سازی مربوطه آورده شده است و در نهایت در فصل سوم نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه شده است.

فصل دوم:

طراحی کنترل کننده

۲-۱- مقدمه

گلخانه‌ها سیستم‌های شدیداً غیر خطی، دارای اثر متقابل و چند ورودی-چند خروجی می‌باشند. در این فصل ابتدا کنترل‌کننده عصبی فازی و سپس کنترل‌کننده تطبیقی برای کنترل دما و رطوبت سیستم گلخانه ارائه شده است و در انتهای فصل نتایج شبیه‌سازی گنجانده شده است. در این پایان‌نامه از روش عصبی-فازی که از جمله روش‌های ترکیبی می‌باشد به عنوان روش اصلی و کنترل‌کننده تطبیقی برای مقایسه استفاده شده است. مدل سیستم مورد استفاده، نوعی مدل غیرخطی که از روابط پایه‌ای فیزیک به دست آمده‌اند، می‌باشد.

معرفی کنترل‌کننده عصبی فازی

۲-۲- پیشینه منطق فازی

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اولین بار پروفسور لطفی‌زاده در رساله‌ای به نام > مجموعه‌های فازی-اطلاعات و کنترل< در سال ۱۹۶۵ معرفی نمود و برای اولین بار در سال ۱۹۷۴ در اروپا برای تنظیم دستگاه تولید بخار در یک نیروگاه کاربرد علمی پیدا کرد. با پیشرفت چشمگیر ژاپن در عرضه وسایل الکترونیکی در سال ۱۹۹۰ کلمه فازی در آن کشور به عنوان کلمه سال شناخته شد. هدف اولیه او در آن زمان، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. او مفاهیم و اصلاحاتی همچون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود. از آن زمان تاکنون، پروفسور لطفی‌زاده به دلیل معرفی نظریه بدیع و سودمند منطق فازی و تلاش-هایش در این زمینه، موفق به کسب جوایز بین‌المللی متعددی شده است.

پس از معرفی منطق فازی به دنیای علوم، در ابتدا مقاومت‌های بسیاری در برابر پذیرش این نظریه صورت گرفت. بخشی از این مقاومت‌ها، چنان که ذکر شد، ناشی از برداشت‌های نادرست از منطق فازی و کارآیی آن بود. جالب اینکه، منطق فازی در سال‌های نخست تولدش بیشتر در دنیای مشرق زمین، به ویژه کشور ژاپن با استقبال روبه‌رو شد، اما استیلای اندیشه کلاسیک صفر و یک در کشورهای مغرب زمین، اجازه رشد اندکی به این نظریه داد. با این حال به تدریج که این علم کاربردهایی پیدا کرد و وسایل الکترونیکی و دیجیتالی جدیدی وارد بازار شدند که براساس منطق فازی کار می‌کردند، مخالفت‌ها نیز اندک اندک کاهش یافتند [۳۰].

سال ۱۹۷۴ میلادی نقطه عطفی برای منطق فازی بود. ابراهیم ممدانی از دانشگاه لندن برای نخستین بار منطق فازی را در زمینه‌ی کنترل به کار گرفت "کنترل یک موتور بخار ساده". اولین کاربرد صنعتی منطق فازی شش سال بعد به منصفه ظهور رسید. در سال ۱۹۸۰ میلادی اسمیت از دانمارک برای نخستین بار از منطق فازی برای کنترل کوره سیمان استفاده کرد. در دهه ۱۹۸۰ میلادی مؤسسه فوجی الکترونیک منطق فازی را برای کنترل یک فرآیند تصفیه آب به کار گرفت. متعاقب آن شرکت هیتاچی یک سیستم کنترل خودکار قطار را بر مبنای منطق فازی توسعه داد [۳۱].

۲-۳- مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های فازی از تعمیم نظریه کلاسیک مجموعه‌ها حاصل می‌آید که در منطق فازی کاربرد دارد. این مجموعه‌ها نتیجه تفکرات و تأثیرات فکری دکتر عسکرزاده دانشمند ایرانی‌الاصول ساکن ایالات متحده می‌باشد. مجموعه‌های فازی مجموعه‌ای است که اعضای آن درجه عضویت دارند. مجموعه فازی توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ به صورت الحاقی به تئوری کلاسیک مجموعه‌ها اضافه شد. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها عضویت در یک مجموعه به صورت جملات باینری براساس شرط دودویی تعیین می‌شود یک عضو یا به

مجموعه تعلق دارد یا ندارد. در عوض در تئوری فازی دستیابی تدریجی عضویت اعضا در مجموعه مجاز است. بنیاد منطق فازی بر شالوده نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریه تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه است یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک و باینری تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی - و نه کاملاً - عضو یک مجموعه باشد. مثلاً این جمله که > آقای الف به اندازه هفتاد درصد عضو جامعه بزرگسالان است < از دید تئوری مجموعه‌های فازی صحیح است. در این تئوری عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع $U(X)$ مشخص می‌شود که X نمایانگر یک عضو مشخص و U تابعی فازی است که درجه عضویت X در مجموعه مربوطه را تعیین می‌کند و مقدار آن بین ۰ و ۱ است.

$$\tilde{A} = \{(X, \mu_A(X)) \mid X \in X\} \quad (1-2)$$

به بیان دیگر $U(X)$ نگاشتی از مقادیر X به مقادیر عددی ممکن بین ۰ و ۱ را می‌سازد. تابع $U(X)$ ممکن است مجموعه‌ای از مقادیر گسسته^۱ یا پیوسته باشد. وقتی که U فقط تعدادی از مقادیر گسسته بین ۰ و ۱ را تشکیل می‌دهد مثلاً ممکن است شامل اعداد $0/3$ و $0/5$ و $0/7$ و $0/9$ و ۰ و ۱ باشد. اما وقتی مجموعه مقادیر U پیوسته باشند یک منحنی پیوسته از اعداد اعشاری بین ۰ و ۱ تشکیل می‌شود [۳۰].

۲-۴- سیستم‌های فازی

نظریه فازی بوسیله پرفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای تحت عنوان "مجموعه‌های فازی" [۳۰] معرفی گردید. در کنترل کلاسیک تأکید بر روی مدل دقیق سیستم است. به همین دلیل در برخورد با سیستم‌های پیچیده عدم‌کارایی خود را نشان داده است. آقای زاده توانست در دومین مقاله خود با نام

¹ Discrete

"الگوریتم‌های فازی" [۳۱] به ایده‌های خود تجسم بخشید. آقای ممدانی برای اولین بار نظریه‌های فازی را در بعد عملی پیاده‌سازی کرد. بعد از پیاده‌سازی مهمترین موضوع در مورد سیستم‌های فازی، پایداری بود که مورد بررسی 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 ۹۰ که سیستم‌های فازی بطور 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 ۹۰ برای اثبات پایداری (تاناکا^۱، سوگنو^۲ و...) معرفی شدند، که روش‌های تکامل-یافته امروزی بر مبنای همان روش‌ها هستند. امروزه دو بحث بیشتر مطرح هستند، دستیابی به عملکرد قوی همراه با اثبات پایداری و اثبات پایداری سیستم‌های هیبریدی که ترکیبی از فازی و سایر روش‌های کنترلی است.

۲-۵-مدل فازی تاگاکا-سوگنو

مدل *TSK* در سال ۱۹۸۵ توسط سوگنو و تاگاکا [۳۲] ارائه شد. در سیستم *TSK* نسبت به سیستم ممدانی قسمت غیرفازی‌ساز حذف شده است. در مدل *TSK* قسمت نتیجه هر قانون کنترل تابعی از متغیرهای پیشین است.

¹ - *tanaka*

² - *sugeno*

مدل فازی TSK به صورت زیر است

$$\text{if } p_1 \text{ is } M_1^i \text{ and } p_2 \text{ is } M_2^i \text{ and } \dots \text{ and } p_s \text{ is } M_s^i \text{ then } y = f^i(p_1, p_2, \dots, p_s) \quad (2-2)$$

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

که n تعداد قوانین و M_j^i مجموعه فازی j ام 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.

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

۲-۶- قوانین لیاپانوف

بعد از چاپ کتاب "مشکلات کلی پایداری حرکتی" اثر الکساندر لیاپانوف در سال ۱۸۹۲ اصطلاح "پایداری لیاپانوفی" مطرح شد. [۳۳] لیاپانوف دو روش غیرمستقیم (روش اول لیاپانوف) و مستقیم (روش دوم لیاپانوف) برای تحلیل پایداری ارائه نمود.

۲-۶-۱- روش اول لیاپانوف

در روش اول برای تحلیل پایداری از معادلات خطی شده که از خطی‌سازی معادلات غیرخطی حول نقطه کار به دست آمده استفاده می‌شود. بدیهی است که این تحلیل تنها در محدوده کارایی مدل خطی اعتبار دارد. در روش دوم از خطی‌سازی استفاده نمی‌شود و حالت کلی‌تری نسبت به روش اول دارد. بنابراین در این پایان‌نامه تمرکز بر روی روش دوم است.

۲-۶-۲- روش دوم لیاپانوف

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

به عبارت دیگر روش دوم بر این واقعیت بنا نهاده 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 می‌گویند.

قضیه ۱ - سیستم $\dot{X} = F(X)$ در نزدیکی نقطه تعادل در مبدأ پایدار مجانبی است، اگر تابع اسکالری همانند $V(X)$ وجود داشته باشد که شرایط زیر برآورده سازد [۳۴]:

۱- $V(X)$ در محدود حول مبدأ S پیوسته است و مشتق‌های جزئی آن نیز پیوسته هستند.

۲- $V(X) > 0$ برای $X \neq 0$

۳- $V(0) = 0$

۴- $\dot{V}(X) < 0$ برای $X \neq 0$

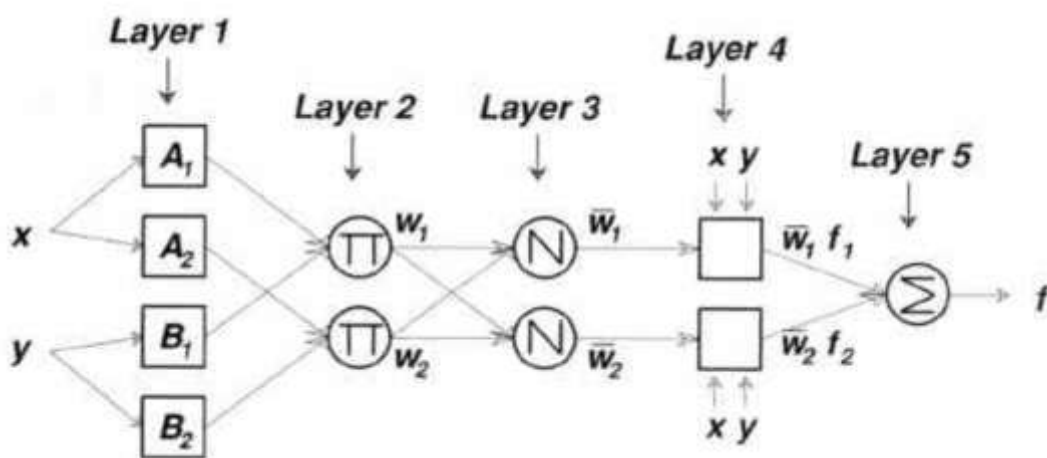
شرایط ۱ تا ۳ مثبت معین بودن را تضمین می‌کند و شرط ۴ بدان معنی است که $\dot{V}(X)$ منفی معین است.

۲-۷- سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS)

در سیستم‌های استنتاج فازی مرسوم، قوانین توسط یک کارشناس یا فرد خبره که سیستم را به خوبی می‌شناسد و با مدل سازی آن آشنایی دارد تعیین می‌شود. در برخی موارد هیچ کارشناس خبره‌ای

در دسترس نبوده و یا یافت نمی‌شود و تعداد توابع عضویت اختصاص داده شده به هر ورودی به طور تجربی انتخاب می‌شود. در اینجا با بررسی داده‌های ورودی و خروجی مورد نظر و/یا با آزمون و خطا کار را پیش می‌برند. این وضعیت بسیار مشابه است ANN است. در این قسمت بخش *ANFIS* و روش‌های یادگیری مورد استفاده برای این شبکه عصبی فازی ارائه شده است. شبکه‌های عصبی و منطق فازی هر دو در تخمین مدل آزاد هستند و از این قابلیت مشترک می‌توان برای غلبه بر عدم قطعیت‌ها، اغتشاش و نویز بهره گرفت. و این امکان برای ما فراهم است که از مزایای شبکه‌های عصبی و منطق فازی به صورت همزمان استفاده کنیم [۳۵].

در حالت کلی ساختار شبکه‌ای انفیس به صورت شکل ۱-۲ می‌باشد:



شکل (۱-۲) ساختار شبکه انفیس (جنگ، ۱۹۹۳)

لایه اول:

ورودی‌های سیستم وارد این لایه شده و به هر کدام از آنها گروه‌های فازی اختصاص داده خواهد شد

$$O_i = \mu_{A_i}(x) \quad (۴-۲)$$

که x ورودی نرون A_i ، تابع فعال ساز و O_i^1 تابع عضویت می باشد. به طور معمول مقدار $\mu_{A_i}(x)$ را بین ۰ و ۱ محدود می کنند.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{-bi}} \quad (5-2)$$

که $\{a_i, bi, c_i\}$ پارامترهای تنظیم می باشند.

لایه دوم:

توابع عضویت تشکیل شده در لایه اول، وارد این لایه شده و به ترتیبی که در شکل ۱ نشان داده شده است در هم ضرب می شوند و خروجی تولید شده وارد لایه سوم می شود.

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{A_i}(y), i = 1, 2 \quad (6-2)$$

لایه سوم:

ورودی های این لایه طبق فرمول زیر نرمالیزه می شوند و وارد لایه چهارم خواهند شد.

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2 \quad (7-2)$$

لایه چهارم:

خروجی این لایه در واقع ضرب دو مقدار می باشد: ۱- خروجی لایه سوم و ۲- توابع خطی از ورودی های اصلی سیستم

$$o_i^f = \bar{w}_i f = \overline{w(p_i x + q_i y + r_i)} \quad (8-2)$$

که w_i خروجی لایه سوم و $\{p_i, q_i, r_i\}$ پارامترهای تنظیم هستند.

لایه پنجم:

خروجی این لایه که در واقع خروجی کلی نیز هست مجموع خروجی های لایه چهارم می باشد

$$o_i^{\Delta} = \text{overall output} = \sum_i \bar{w}_i f = \frac{\sum_i w_i f}{\sum_i w_i} \quad (9-2)$$

به این ترتیب ما یک شبکه تطبیقی داریم که از نظر عملکرد معادل سیستم استنتاج فازی می باشد.

برای یادگیری شبکه می توان از الگوریتم پس انتشار خطا و یا روش هیبرید که شامل الگوریتم پس

انتشار خطا و روش تخمین حداقل مربعات خطا می باشد، استفاده نمود [۳۶].

۸-۲- طراحی کنترل کننده عصبی-فازی

سیستم چند متغیره گلخانه را می توان به فرم معادلات حالت زیر در نظر گرفت:

$$\dot{X} = AX + B(x_1, x_2)U + D(W, X, U) \quad (10-2)$$

که $X = \begin{bmatrix} T_{in} \\ H_{in} \end{bmatrix}$ بردارهای متغیرهای حالت و $U(t) = \begin{bmatrix} V_R \\ Q_{fog} \end{bmatrix}$ بردار ورودی ها

$$D = \begin{bmatrix} \frac{1}{c_0} w_1 + \frac{1}{tv} u_1 w_2 + \frac{UA}{c_0} w_3 \\ \alpha w_1 + \frac{1}{tv} u_1 w_2 \end{bmatrix} \text{ و بردار اختلال است.}$$

معادلات حالت سیستم به فرم زیر می باشد:

$$\dot{X}(t) = \begin{pmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & \cdot \\ \cdot & \cdot \end{pmatrix} X(t) + \begin{pmatrix} a_2 X_1 & a_3 \\ b_1 X_2 & b_2 \end{pmatrix} U(t) + D(w, u, t) \quad (11-2)$$

که

$$a_1 = -\frac{UA}{c}, \quad a_2 = -\frac{1}{tv}, \quad a_3 = -\frac{\lambda'}{c}, \quad b_1 = -\frac{1}{tv}, \quad b_2 = \frac{1}{v}$$

ابتدا معادلات را گسسته سازی می‌کنیم، برای گسسته سازی معادلات حالت از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$X(K + 1) = Ta(X(K), U(K), K) + X(K) \quad (12-2)$$

که در این رابطه داریم:

$$\dot{X} = a(X(K), U(K), K) \quad (13-2)$$

حال با توجه به رابطه (12-2) سیستم رابطه (11-2) را گسسته سازی می‌نماییم:

$$X(K + 1) = \begin{pmatrix} X_1(K + 1) \\ X_2(K + 1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 + 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} X(K) + \begin{pmatrix} a_r X_1 & a_r \\ b_1 X_2 & b_2 \end{pmatrix} U(K) + D(W(K), X(K), K) \quad (14-2)$$

مدل فضای حالت سیستم مرجع به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$X_d(K + 1) = A_d X_d(K) + B_d u_c \quad (15-2)$$

و بردار خطا را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$E(K) = X(K) - X_d(K) \quad (16-2)$$

با تفریق رابطه (15-2) از (14-2) داریم:

$$\begin{aligned} X(K + 1) - X_d(K + 1) \\ = A'X(K) - A_d X_d(K) + BU(K) + D(w, x, u) - B_d u_c \end{aligned} \quad (17-2)$$

بر اساس رابطه (16-2) داریم:

$$E(K + 1) = A_d E(K) + (A' - A_d)X(K) + BU(K) + D(w, x, u) - B_d u_c \quad (18-2)$$

قانون کنترل به صورت زیر پیشنهاد داده می‌شود:

$$U(K) = B^{-1}[(A_d - A')X(K) + B_d u_c - \hat{D}] \quad (19-2)$$

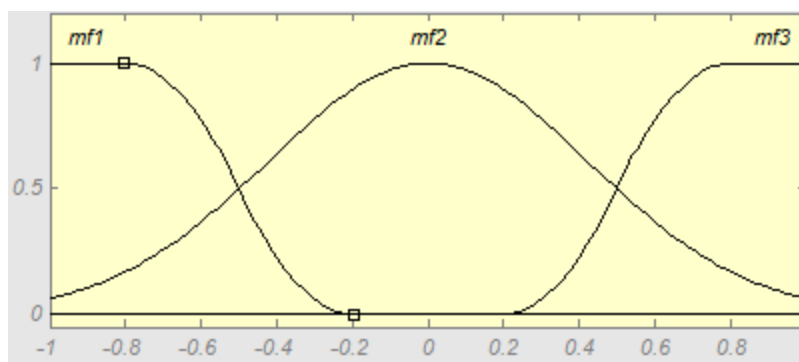
با اعمال قانون کنترل رابطه (19-2) به معادله (18-2):

$$E(K + 1) = A_d E(K) + (D - \hat{D}) \quad (20-2)$$

هدف ما تقریب زدن بخش \hat{D} به وسیله ANFIS می‌باشد. بردار \hat{D} به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{D} = \begin{bmatrix} \hat{d}_1 \\ \hat{d}_2 \end{bmatrix} \quad (21-2)$$

از e_1 و e_2 به عنوان ورودی استفاده می‌شود که به هر کدام از آنها 3 گروه فازی به صورت شکل (2-2) اختصاص داده شده است.



شکل (2-2) گروه‌های فازی

e_1 ، e_2 به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$e_1 = X_1 - X_{d1} \text{ و } e_2 = X_2 - X_{d2} \quad (22-2)$$

با توجه به اینکه به هر کدام از ورودی‌ها 3 گروه فازی اختصاص داده بودیم، با ضرب کردن توابع عضویت، 9 گروه فازی بدست می‌آید.

توابع عضویت نرمالیزه شده در لایه سوم، در لایه چهارم در توابع خطی از ورودی‌های سیستم (e_1, e_2) ضرب می‌شوند.

$$p_i e_1 + q_i e_2 + r_i \quad i = 1, \dots, 9 \quad (23-2)$$

$\{p_i, q_i, r_i\}$ پارامترهای تنظیم هستند. در این پایان نامه با توجه به اینکه سیستم تاکاگی سوگنو مرتبه صفر در نظر گرفته شده است، بنابراین در لایه چهارم، ۹ پارامتر تنظیم خواهیم داشت که به وسیله *RLS* تقریب زده خواهند شد.

روش *RLS* شیوه‌ای اساسی در تخمین پارامترها در حوزه کنترل تطبیقی می‌باشد. در کنترلگرهای تطبیقی مشاهدات پی‌در پی در زمان حقیقی به دست می‌آیند. برای این کار استفاده از محاسبات بازگشتی برای صرفه جویی در زمان محاسبه، امر مطلوبی است. محاسبه تخمین حداقل مربعات را می‌توان چنان تنظیم کرد که نتایج به دست آمده در زمان $k - 1$ ، برای به دست آوردن تخمین‌های زمان k مورد استفاده واقع شود. فرض کنید $\hat{\theta}(k)$ و $\hat{\theta}(k - 1)$ تخمین حداقل مربعات براساس اندازه گیری در زمان $k - 1$ و k باشند. علاوه بر این فرض کنید ماتریس $\phi^T \phi$ برای تمام مقادیر k ، غیر منفرد باشد. روابط برای روش *RLS* به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k - 1) + P(k)\phi(k)[X(k) - \phi^T(k)\hat{\theta}(k - 1)] \quad (24-2)$$

$$K(k) = P(k - 1)\phi(k)/(I + \phi^T(k)P(k - 1)\phi(k)) \quad (25-2)$$

$$P(k) = P(k - 1) - K(k)\phi^T(k)P(k - 1) \quad (26-2)$$

پارامترهای سیستم، شامل a_1, a_2, a_3, b_1, b_2 و همچنین پارامترهای تنظیم لایه چهارم (۹ پارامتر تنظیم) از طریق *RLS* تقریب زده می‌شوند.

بردار \emptyset به صورت زیر

$$\emptyset_1 = [X_1(K-1); X_1(K-1)U_1(K-1); U_1(K-1); W_1(1,1); W_1(2,1); W_1(3,1); W_1(4,1); W_1(5,1); W_1(6,1); W_1(7,1); W_1(8,1); W_1(9,1)]$$

$$\emptyset_2 = [X_2(K-1)U_2(K-1); U_2(K-1); W_2(1,1); W_2(2,1); W_2(3,1); W_2(4,1); W_2(5,1); W_2(6,1); W_2(7,1); W_2(8,1); W_2(9,1)]$$

بردار θ به این صورت است:

$$\theta_1 = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \\ r_7 \\ r_8 \\ r_9 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad \theta_2 = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \\ r_7 \\ r_8 \\ r_9 \end{bmatrix}$$

و مقادیر اولیه P و $\hat{\theta}$ نیز به صورت زیر می باشد:

$$\hat{\theta}_1(\cdot) = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1] \quad \text{و} \quad \hat{\theta}_2(\cdot) = [1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1]$$

و

$$P_1(\cdot) = 1000I(12) \quad \text{و} \quad P_2(\cdot) = 1000I(11)$$

برای شناسایی از روش کمترین مربعات خطا بازگشتی که روابط آن در فرمول های شماره (۲-۲۴)، (۲-۲۵)

(۲-۲۶) آورده شده، استفاده شده است. از دو بلوک شناسایی یکی برای معادله حالت دمای سیستم)

(۵-۱) و دیگری برای معادلات حالت رطوبت سیستم (۱-۶) استفاده شده است.

۲-۹- نتایج شبیه سازی

به منظور نشان دادن مؤثر بودن و عملکرد خوب کنترل کننده پیشنهادی نتایج شبیه سازی را ارائه کرده ایم. گلخانه‌ی مورد مطالعه دارای مساحت $1000 m^3$ و ارتفاع $4 m$ است. با توجه به سایه صفحات انرژی دریافتی از نور خورشید به 60% کاهش یافته است. ماکزیمم ظرفیت سیستم مه پاش $26 g_{H_2O} min^{-1} m^3$ است. همچنین سیستم تهویه توانای 20 بار در ساعت تعویض هوای داخل گلخانه با هوای بیرون ($22.2 m^3 \cdot S^{-1}$) را دارد. حجم مؤثر برای دما و رطوبت 65% در نظر گرفته شده است [۱۲]. در زیر شکل‌های دما و رطوبت سیستم و سیگنال‌های کنترلی آمده است. مقادیر پارامترهای بکار رفته در شبیه سازی به صورت زیر می‌باشد:

$$C_1 = -324/67 \text{ min} \cdot W \cdot C^{-1}$$

$$UA = 29/8 \text{ W} \cdot C^{-1}$$

$$t_V = 3/41 \text{ min}$$

$$\lambda' = 465 W$$

$$\alpha' = 0.10033 \text{ gm}^{-3} \text{ min}^{-1} W^{-1}$$

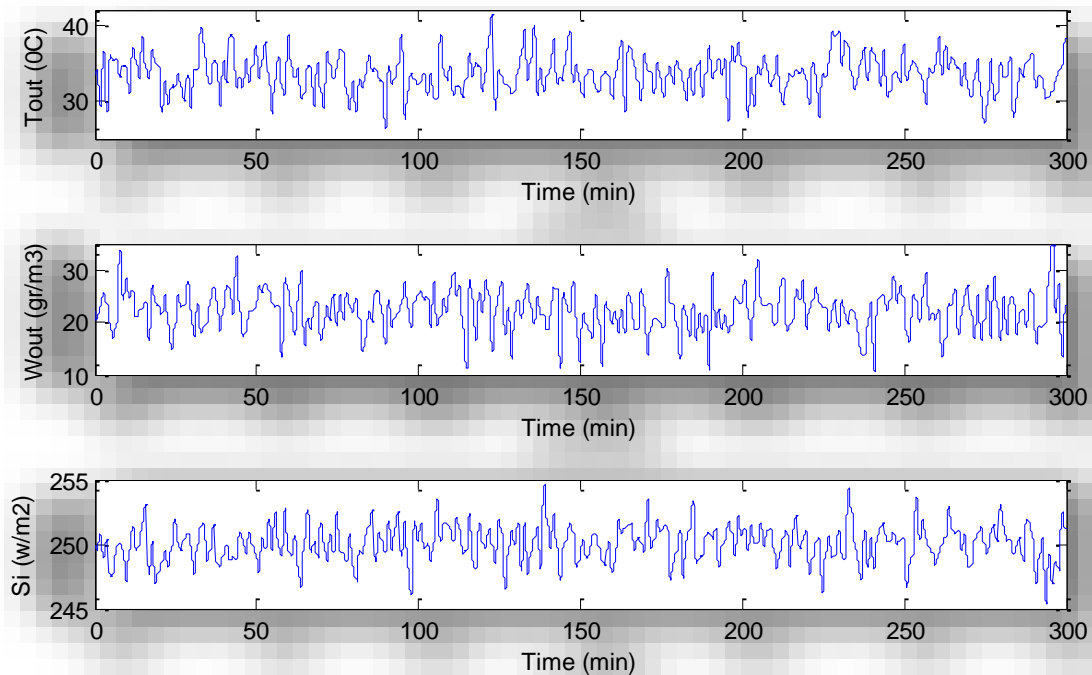
$$\frac{1}{V'} = 13/3 \text{ gm}^{-3} \text{ min}^{-1}$$

مدل سیستم مرجع در معادلات (۲-۵۴) بیان شده است.

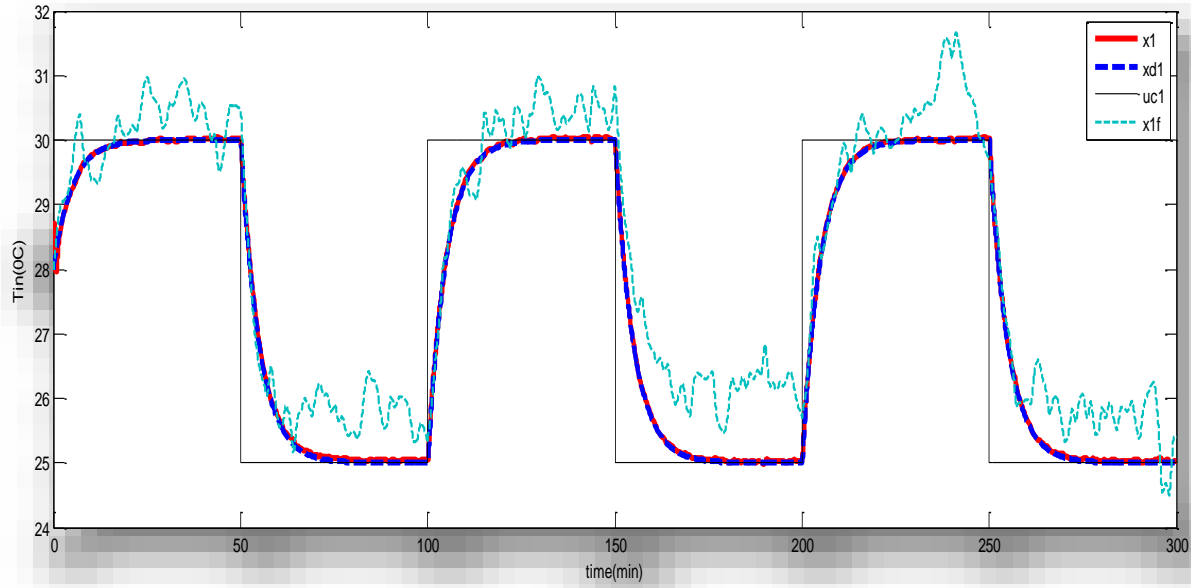
$$\begin{cases} Xd_1(K+1) = -0.2Xd_1(K) + 0.2uc_1 \\ Xd_2(K+1) = -0.2Xd_2(K) + 0.2uc_2 \end{cases} \quad (2-27)$$

uc_1 و uc_2 پالس مربعی با دوره تناوب 100 و دامنه 5 می‌باشد که بین 25 تا 30 برای uc_1 و 20 تا 25 برای uc_2 تغییر می‌کند. مقدار برای دما $28^\circ C$ و برای رطوبت $22 \text{ gr}/m^3$ می‌باشد.

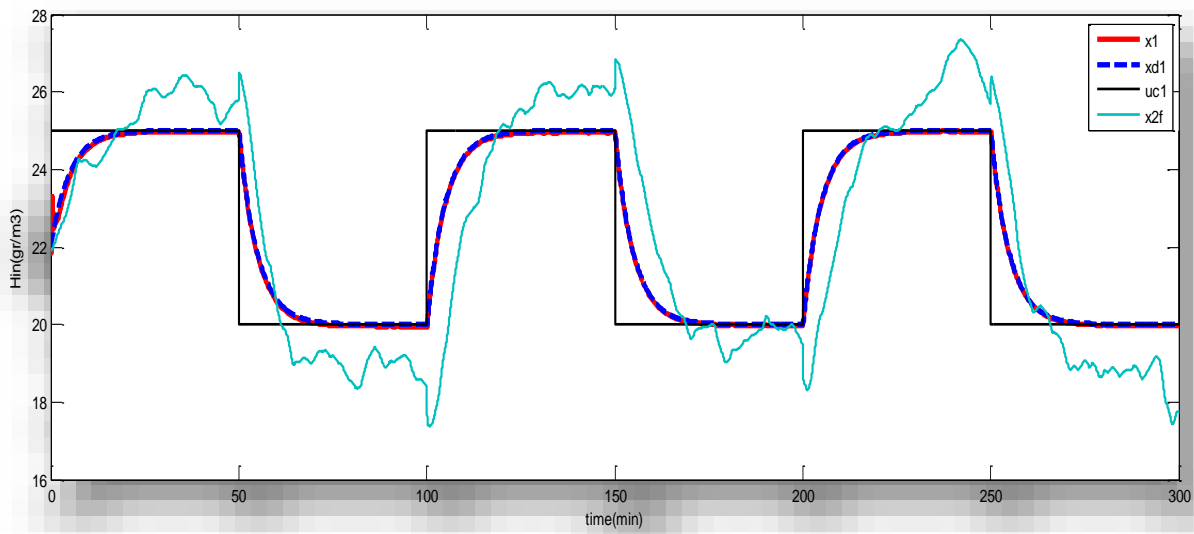
همچنین اغتشاش‌ها به صورت شکل (۳-۲) در نظر گرفته شده است.



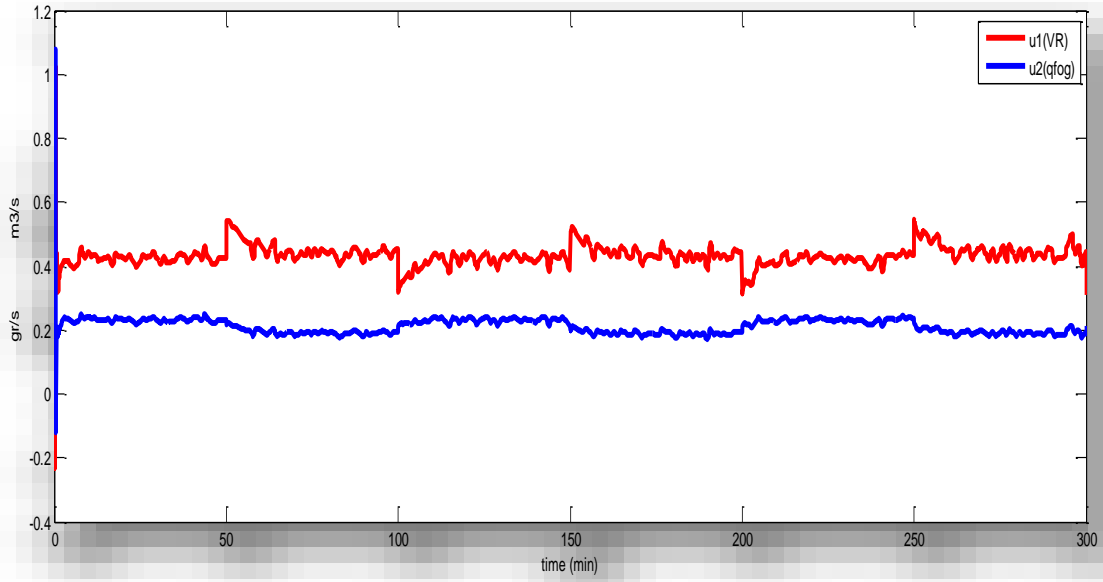
شکل (۳-۲) اغتشاش‌های سیستم



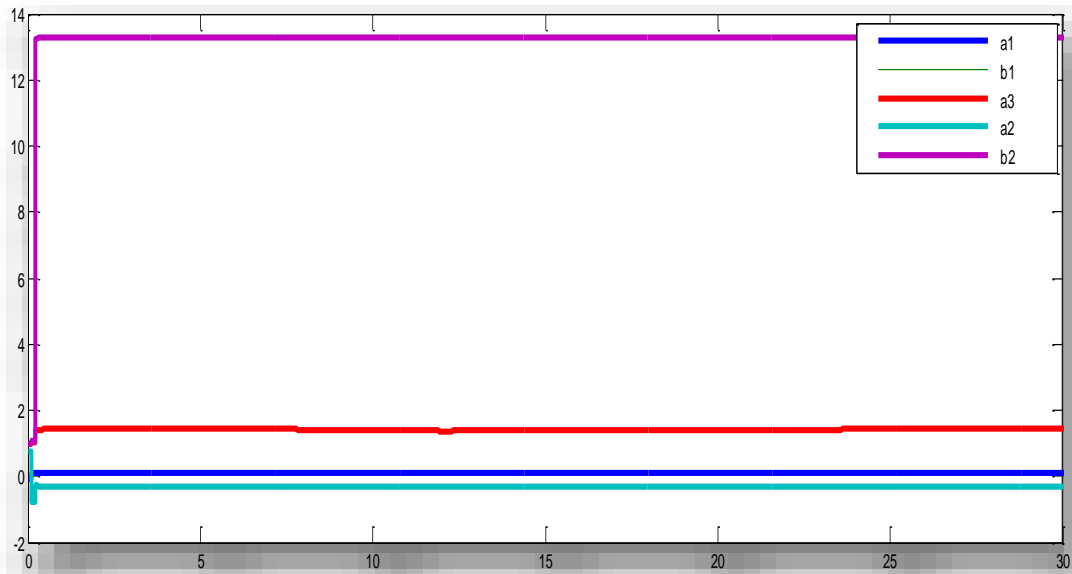
شکل (۴-۲) دمای سیستم



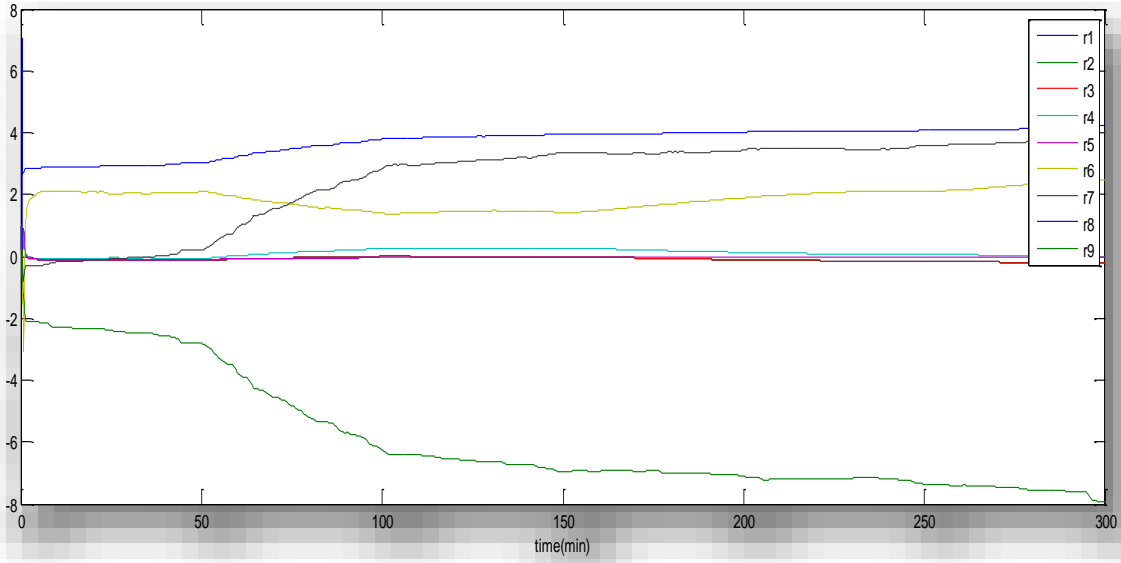
شکل (۵-۲) رطوبت سیستم



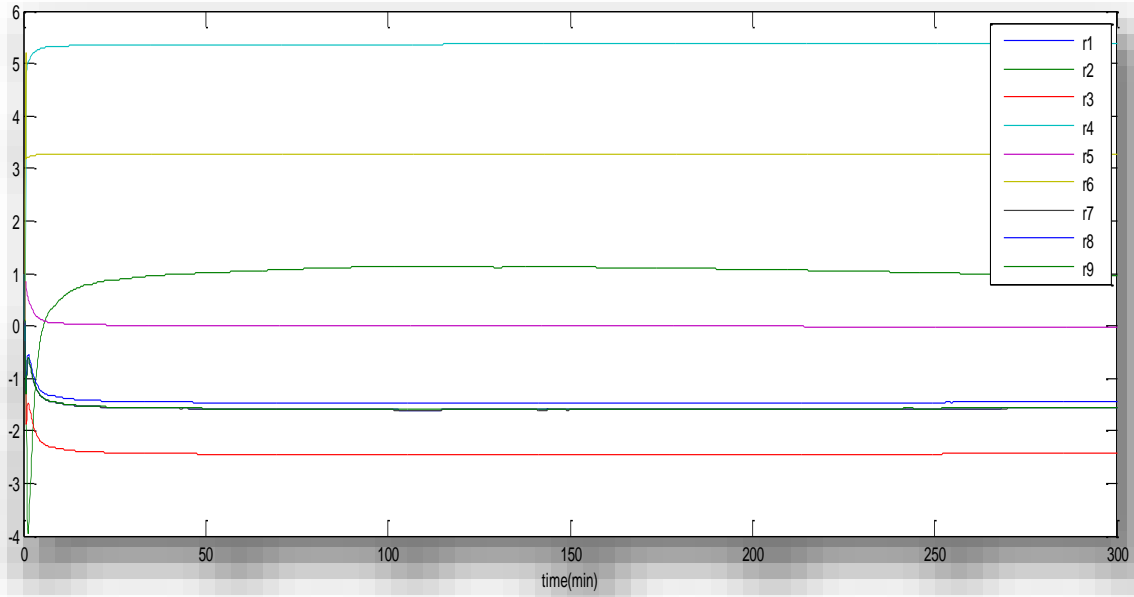
شکل (۶-۲) قانون کنترل



شکل (۷-۲) همگرایی پارامترهای سیستم



شکل (۸-۲) همگرایی پارامترهای تنظیم درایه اول ماتریس D



شکل (۹-۲) همگرایی پارامترهای تنظیم درایه دوم ماتریس D

معرفی کنترل کننده تطبیقی

در این بخش کنترل کننده تطبیقی با استفاده از خطی سازی فیدبکی پیشنهاد شده است. قانون کنترل پیشنهادی براساس خطی سازی فیدبکی می‌باشد که بخش نامعین معادلات سیستم به وسیله کنترل تطبیقی تقریب زده شده است. گلخانه‌ها سیستم‌هایی با اندازه بزرگ‌اند که دارای اثر متقابل، پیچیدگی زیاد و غیرخطی می‌باشند. شبیه سازیهای ارائه شده دقت و سرعت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۲-۱۰- کنترل تطبیقی

در اوایل دهه ۱۹۵۰ تحقیقات وسیعی در زمینه کنترل تطبیقی و درخصوص طراحی اتوپایلوت^۱ برای هواپیماهایی با مانور زیاد انجام شد. چهار روش کلی در کنترل تطبیقی [۳۷] استفاده می‌شود.

- جدول بندی بهره
- سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع
- رگلاتور خودتنظیم
- کنترل دوگان

۲-۱۱- سیستم‌های تطبیقی

تطبیق به معنی رفتار مبتنی بر سازگاری در یک محیط معین است. سیستمی که قابلیت تطبیق را از خود نشان دهد، سیستم تطبیقی نامیده می‌شود. سیستم‌های بیولوژیکی، سیستم‌های تطبیقی هستند. برای مثال حیوانات می‌توانند با تغییرات محیط خود بواسطه فرآیندهای یادگیری تطبیق پیدا کنند.

¹ Autopilot

i. یک مجموعه از پارامترهای قابل تنظیم (مثل وزن‌ها)

ii. یک بلوک محاسبه‌کننده خطا

iii. یک الگوریتم یادگیری برای تطبیق وزن‌ها

۲-۱۲- الگوریتم تطبیق خطا

نوع یادگیری بکار رفته در ساختار فوق، یادگیری باناظر نامیده می‌شود که در آن یادگیری بوسیله پاسخ مطلوب سیستم هدایت می‌شود. در اینجا، هدف تنظیم تکراری پارامترهای سیستم تطبیقی به منظور کمینه کردن تابع هزینه^۱ است.

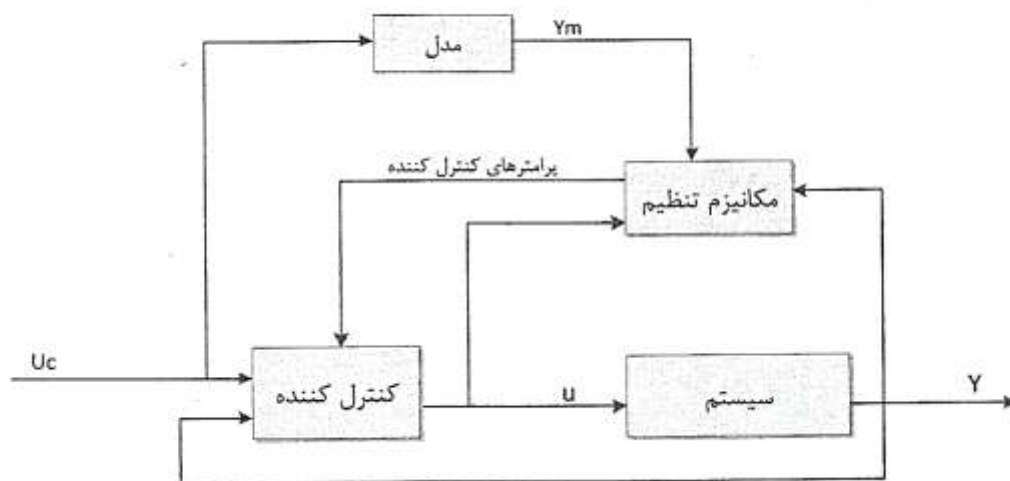
۲-۱۳- پیکربندی سیستم‌های تطبیقی

سیگنال ورودی $x(k)$ به سیستم واقعی و سیستم تطبیقی داده می‌شود. سیگنال خطا از روی خروجی به فرم $e(k) = d(k) - y(k)$ محاسبه گردیده و پارامترهای سیستم تطبیقی بوسیله آن تنظیم می‌شوند. نکته جالب توجه در این پیکربندی این است که سیگنال مطلوب $d(k)$ به منظور آموزش سیستم تطبیقی، بوسیله سیستم واقعی تأمین می‌گردد.

۲-۱۴- سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع

سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع برای سیستم‌های پیوسته بکار می‌روند. بلوک دیاگرام در شکل (۲-۳) به نمایش گذاشته شده است [۳۷].

¹ - Cost function



شکل (۲-۱۰) بلوک دیاگرام سیستم‌های تطبیقی مدل مرجع

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

۲-۱۵- شناسایی با روش حداقل مربعات خطا

روش کمترین مربعات^۱ روشی در آمار است که برای حل دستگاه معادلاتی بکار می‌رود که تعداد معادله- هایش 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. منظوری از باقیمانده‌ها، اختلاف بین داده‌های مشاهده شده و مقادیری است که از مدل به دست می‌آید. این روش را نخستین بار کارل فردریش گاوس در سال ۱۷۹۴ میلادی بیان کرد. [۳۸]

^۱-LS

^۲-fit

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

$$e(i) = y(i) - \hat{y}(i) \quad (28-2)$$

تابع تخمین را به فرم زیر در نظر گرفته شده است

$$\hat{y}(u, \theta) = \hat{f}(u, \theta) \quad (29-2)$$

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

$$\hat{y}(i) = f_1(u(i))\theta_1 + f_2(u(i))\theta_2 + \dots + f_n(u(i))\theta_n \quad (30-2)$$

با مرتب کردن رابطه (25-2) داریم:

$$\hat{y} = [f_1(u(i)) \quad \dots \quad f_n(u(i))] \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \theta_n \end{bmatrix} \quad (31-2)$$

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

$$\hat{y} = \varphi^T \theta \quad (32-2)$$

برای تعداد داده، بردار داده‌های مشاهده شده تعریف می‌شود

$$Y_{N \times 1} = [y(u_1) \quad \dots \quad y(u_r)]^T \quad (33-2)$$

بنابراین بردار خطا برابر است با

$$E = Y - \hat{Y} \quad (34-2)$$

همین طور می‌توان نوشت

$$E = Y - \Phi\theta \quad (35-2)$$

که

$$\Phi_{N \times n} = \begin{bmatrix} \varphi^T(u_1) \\ \vdots \\ \varphi^T(u_N) \end{bmatrix} \quad (36-2)$$

مجموع کمترین مربعات خطا برابر است با

$$J(\theta) = \frac{1}{2} E^T E \quad (37-2)$$

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

$$\hat{\theta} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T Y \quad (38-2)$$

۲-۱۶- شناسایی بر روی خط کمترین مربعات خطای بازگشتی^۱

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 $P(t)$ بصورت زیر تعریف شده است.

$$P_{n \times n}(t) = (\Phi^T(t) * \Phi(t))^{-1} \quad (39-2)$$

که $\varphi(t)$ را می‌توان بصورت زیر نوشت.

$$\Phi_{N \times n}(t) = \begin{bmatrix} \varphi(t-1) \\ \vdots \\ \varphi(t) \end{bmatrix}_{N \times n} \quad (40-2)$$

بنابراین

^۱ RLS

$$P^{-1}(t) = \phi^T(t-1)\phi(t-1) + \varphi(t)\varphi^T(t) \quad (41-2)$$

که به وضوح مشخص است

$$P^{-1}(t-1) = \phi^T(t-1)\phi(t-1) \quad (42-2)$$

با جایگذاری در (38-2) به دست می‌آید:

$$\hat{\theta}(t) = p(t)(\sum_{i=1}^t \varphi(i)y(i)) \quad (43-2)$$

با جداسازی به دست می‌آید:

$$\hat{\theta}(t) = p(t)(\sum_{i=1}^{t-1} \varphi(i)y(i) + \varphi(t)y(t)) \quad (44-2)$$

با ضرب طرفین رابطه (43-2) از راست در $P^{-1}(t)$ داریم:

$$P^{-1}(t)\hat{\theta}(t) = \sum_{i=1}^t \varphi(i)y(i) \quad (45-2)$$

با جایگذاری (49-2) در (48-2)

$$\hat{\theta}(t) = p(t)(P^{-1}(t-1)\hat{\theta}(t-1) + \varphi(t)y(t)) \quad (46-2)$$

پارامتر به صورت زیر تعریف می‌شود

$$k(t) = p(t)\varphi(t) \quad (47-2)$$

با ساده‌سازی روابط نهایی بروزرسانی پارامترها به دست می‌آید

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) - p(t)\varphi(t)[y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1)] \quad (48-2)$$

$$k(t) = p(t-1)\varphi(t)(I + \varphi^T(t)p(t-1)\varphi(t))^{-1} \quad (49-2)$$

$$p(t) = (I - K(t)\varphi^T)p(t-1) \quad (50-2)$$

که رابطه خطا به صورت زیر است.

$$e(t) = y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t-1) \quad (51-2)$$

۲-۱۷- طراحی کنترل کننده تطبیقی

در روش خطی سازی فیدبکی با استفاده از روش های شناسایی، سیستم شناسایی می شود. سپس مدل مرجع مناسبی ارائه می شود. در نهایت با استفاده از روابط خطی سازی فیدبکی سیگنال کنترلی به دست می آید.

معادلات حالت سیستم به فرم زیر می باشد:

$$\dot{X}(t) = \begin{pmatrix} \dot{X}_1(t) \\ \dot{X}_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix} X(t) + \begin{pmatrix} a_1 X_1 & a_2 \\ b_1 X_1 & b_2 \end{pmatrix} U(t) + D(w, u, t) \quad (52-2)$$

که

$$a_1 = -\frac{UA}{c} \quad a_2 = -\frac{1}{t_v} \quad a_3 = -\frac{\lambda'}{c} \quad b_1 = -\frac{1}{t_v} \quad b_2 = \frac{1}{v}$$

ابتدا معادلات را گسسته سازی می کنیم، برای گسسته سازی معادلات حالت از فرمول زیر استفاده می کنیم:

$$X(K+1) = Ta(X(K), U(K), K) + X(K) \quad (53-2)$$

که در این رابطه داریم:

$$\dot{X} = a(X(K), U(K), K) \quad (54-2)$$

حال با توجه به رابطه (53-2) سیستم رابطه (52-2) را گسسته سازی می نماییم:

$$X(K+1) = \begin{pmatrix} X_1(K+1) \\ X_2(K+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 + 1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix} X(K) + \begin{pmatrix} a_1 X_1 & a_2 \\ b_1 X_1 & b_2 \end{pmatrix} U(K) + D(W(K), X(K), K) \quad (55-2)$$

مدل فضای حالت سیستم مرجع به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$X_d(K+1) = A_d X_d(K) + B_d u_c \quad (56-2)$$

و بردار خطا را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$E(K) = X(K) - X_d(K) \quad (57-2)$$

با تفریق رابطه (۲۵۶-۲) از (۲۵۵-۲) داریم:

$$\begin{aligned} X(K+1) - X_d(K+1) \\ = A'X(K) - A_dX_d(K) + BU(K) + D(w, x, u) - B_du_c \end{aligned} \quad (58-2)$$

بر اساس رابطه (۲۵۲-۲) داریم:

$$E(K+1) = A_dE(K) + (A' - A_d)X(K) + BU(K) + D(w, x, u) - B_du_c \quad (59-2)$$

قانون کنترل به صورت زیر پیشنهاد داده می‌شود:

$$U(K) = B^{-1}[(A_d - A')X(K) + B_du_c - \hat{D}] \quad (60-2)$$

با اعمال قانون کنترل رابطه (۲۵۵-۲) به معادله (۲۵۴-۲):

$$E(K+1) = A_dE(K) + (D - \hat{D}) \quad (61-2)$$

روش *RLS* شیوه‌ای اساسی در تخمین پارامترها در حوزه کنترل تطبیقی می‌باشد. در کنترلگرهای تطبیقی مشاهدات پی‌در پی در زمان حقیقی به دست می‌آیند. برای این کار استفاده از محاسبات بازگشتی برای صرفه جویی در زمان محاسبه، امر مطلوبی است. محاسبه تخمین حداقل مربعات را می‌توان چنان تنظیم کرد که نتایج به دست آمده در زمان $k-1$ ، برای به دست آوردن تخمین‌های زمان k مورد استفاده واقع شود. فرض کنید $\hat{\theta}(k-1)$ و $\hat{\theta}(k)$ تخمین حداقل مربعات براساس اندازه گیری در زمان $k-1$ و k

باشند. علاوه بر این فرض کنید ماتریس $\phi^T \phi$ برای تمام مقادیر k ، غیر منفرد باشد. روابط برای روش RLS به صورت زیر می باشد:

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + P(k)\phi(k)[X(k) - \phi^T(k)\hat{\theta}(k-1)] \quad (62-2)$$

$$K(k) = P(k-1)\phi(k)/(I + \phi^T(k)P(k-1)\phi(k)) \quad (63-2)$$

$$P(k) = P(k-1) - K(k)\phi^T(k)P(k-1) \quad (64-2)$$

بردار \hat{D} را نیز به فرم زیر تبدیل می کنیم:

$$\hat{D} = \begin{bmatrix} \hat{d}_1 \\ \hat{d}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}e_1(k-1) + d_{12}e_1(k-2) \\ d_{21}e_2(k-1) + d_{22}e_2(k-2) \end{bmatrix} \quad (65-2)$$

که d_{22} و d_{21} ، d_{12} ، d_{11} پارامترهای ثابت و $e_2(k-2)$ ، $e_2(k-1)$ ، $e_1(k-2)$ ، $e_1(k-1)$

رگرسیونهای تولید شدهی خطای RLS می باشند.

پارامترهای a_1 ، a_2 ، a_3 ، b_1 ، b_2 ، d_{11} ، d_{12} ، d_{21} و d_{22} از طریق RLS تقریب زده می شوند.

بردار Φ به صورت زیر

$$\Phi_1 = [X_1(K-1); X_1(K-1)U_1(K-1); U_2(K-1); e_1(k-1); e_1(k-2)]$$

$$\Phi_2 = [X_2(K-1)U_1(K-1); U_2(K-1); e_2(k-1); e_2(k-2)]$$

بردار θ به این صورت است:

$$\theta_1 = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ d_{11} \\ d_{12} \end{bmatrix} \text{ و } \theta_2 = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ d_{21} \\ d_{22} \end{bmatrix}$$

و مقادیر اولیه P و $\hat{\theta}$ نیز به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\theta}_1(0) = [1; 1; 1; 1; 1] \quad \text{و} \quad \hat{\theta}_2(0) = [1; 1; 1; 1]$$

و

$$P_1(0) = I(5) \quad \text{و} \quad P_2(0) = I(4)$$

برای شناسایی از روش کمترین مربعات خطا بازگشتی که روابط آن در فرمول‌های شماره (۲-۶۲)، (۲-۶۳) و (۲-۶۴) آورده شده، استفاده شده است. از دو بلوک شناسایی یکی برای معادله حالت دمای سیستم (۱-۵) و دیگری برای معادلات حالت رطوبت سیستم (۱-۶) استفاده شده است.

۲-۱۸- نتایج شبیه سازی

به منظور نشان دادن مؤثر بودن و عملکرد خوب کنترل کننده پیشنهادی نتایج شبیه سازی را ارائه کرده ایم. گلخانه‌ی مورد مطالعه دارای مساحت $1000 m^3$ و ارتفاع $4 m$ است. با توجه به سایه صفحات انرژی دریافتی از نور خورشید به 60% کاهش یافته است. ماکزیمم ظرفیت سیستم مه پاش $26 gH_2O min^{-1} m^3$ است. همچنین سیستم تهویه توانای 20 بار در ساعت تعویض هوای داخل گلخانه با هوای بیرون ($22.2 m^3 \cdot S^{-1}$) را دارد. حجم مؤثر برای دما و رطوبت 65% در نظر گرفته شده است [۱۲]. در زیر شکل‌های دما و رطوبت سیستم و سیگنال‌های کنترلی آمده است. مقادیر پارامترهای بکار رفته در شبیه سازی به صورت زیر می‌باشد:

$$C_s = -324/67 \text{ min} \cdot W \cdot C^{-1}$$

$$UA = 29/8 \text{ W} \cdot C^{-1}$$

$$t_V = 3/41 \text{ min}$$

$$\lambda' = 465 \text{ W}$$

$$\alpha' = 0.0033 \text{ gm}^{-3} \text{ min}^{-1} \text{ W}^{-1}$$

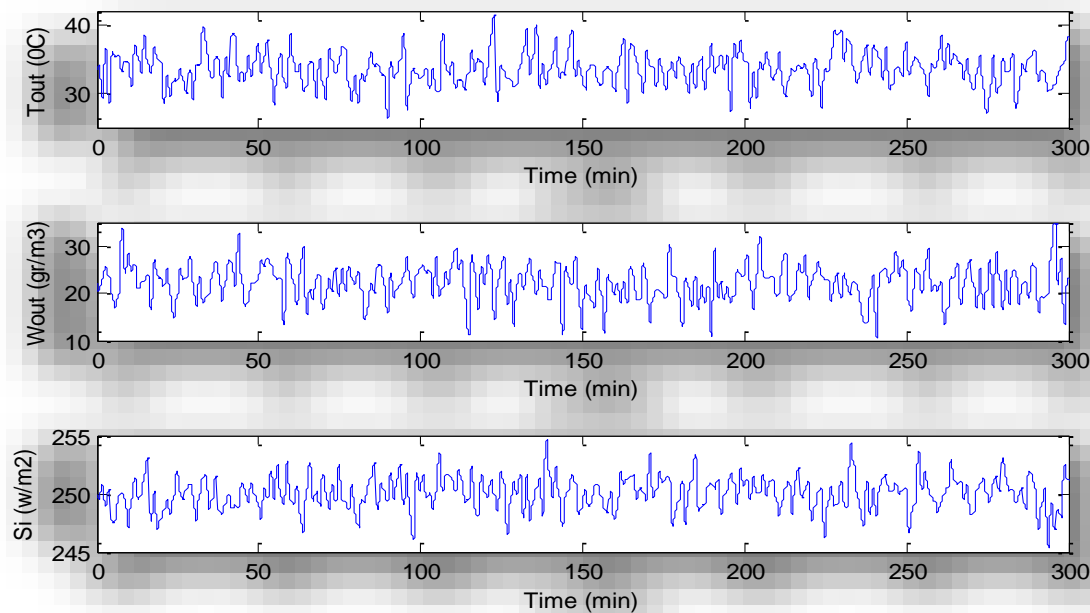
$$\frac{1}{V'} = 13/3 \text{ gm}^{-3} \text{ min}^{-1}$$

مدل سیستم مرجع در معادلات (۵۴-۲) بیان شده است.

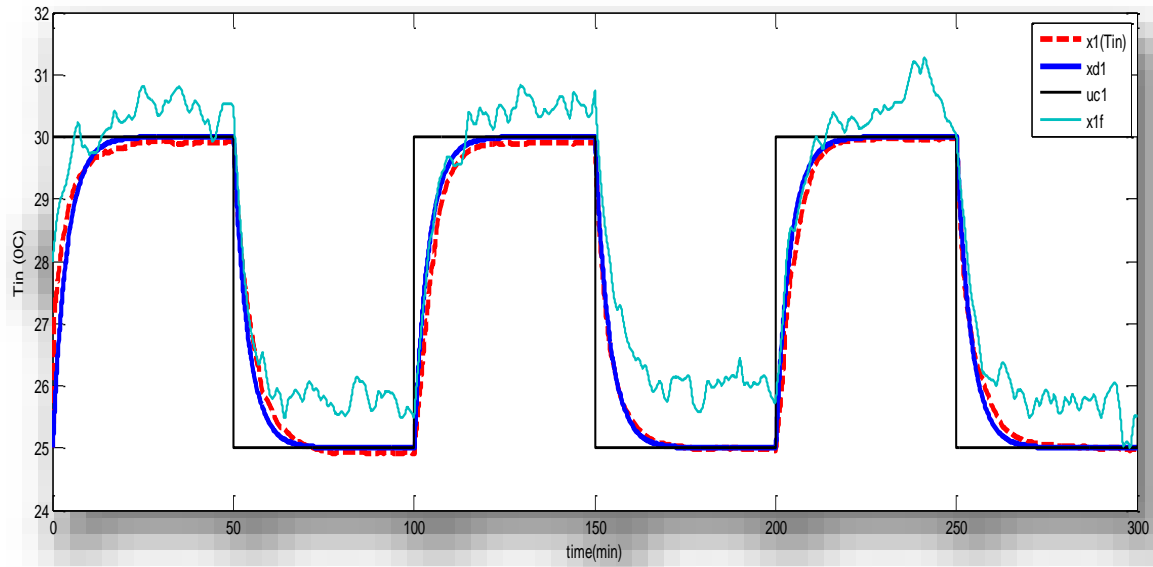
$$\begin{cases} Xd_1(K+1) = -0.25Xd_1(K) + 0.25uc_1 \\ Xd_2(K+1) = -0.35Xd_2(K) + 0.35uc_2 \end{cases} \quad (66-2)$$

uc_1 و uc_2 پالس مربعی با دوره تناوب ۱۰۰ و دامنه ۵ می باشد که بین ۲۵ تا ۳۰ برای uc_1 و ۲۰ تا ۲۵ برای uc_2 تغییر می کند. مقدار اولیه برای دما $25^\circ C$ و برای رطوبت 16 gr/m^3 می باشد.

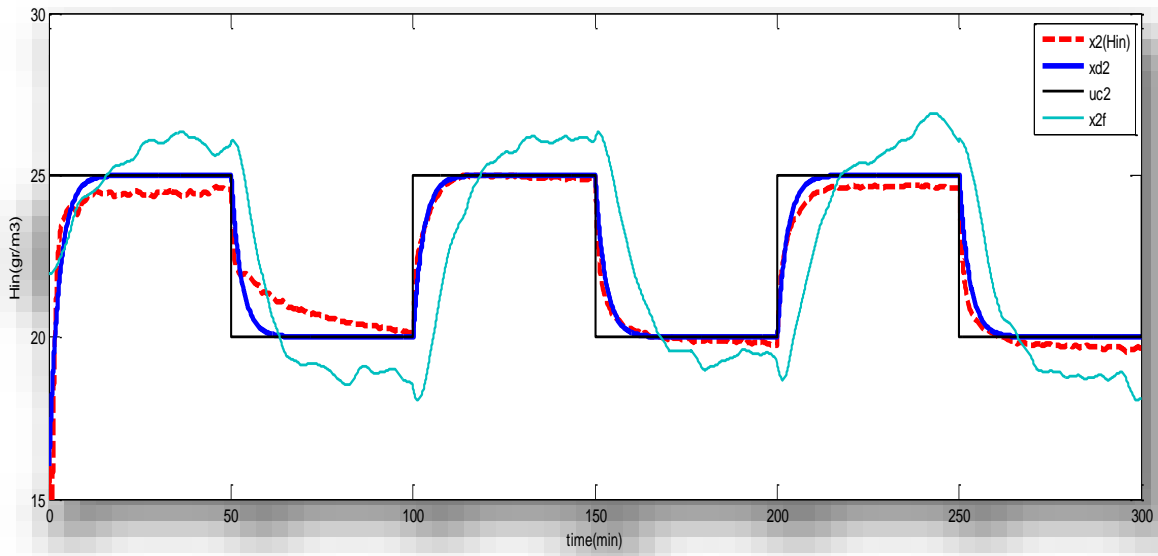
همچنین اغتشاش ها به صورت شکل (۱۱-۲) در نظر گرفته شده است.



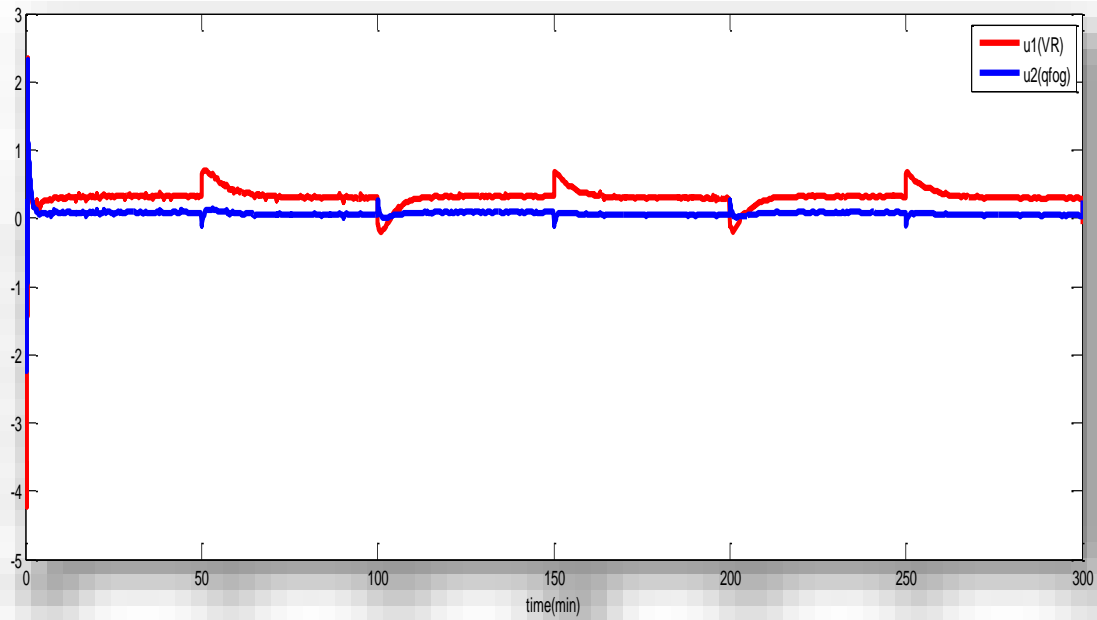
شکل (۱۱-۲) اغتشاش های سیستم



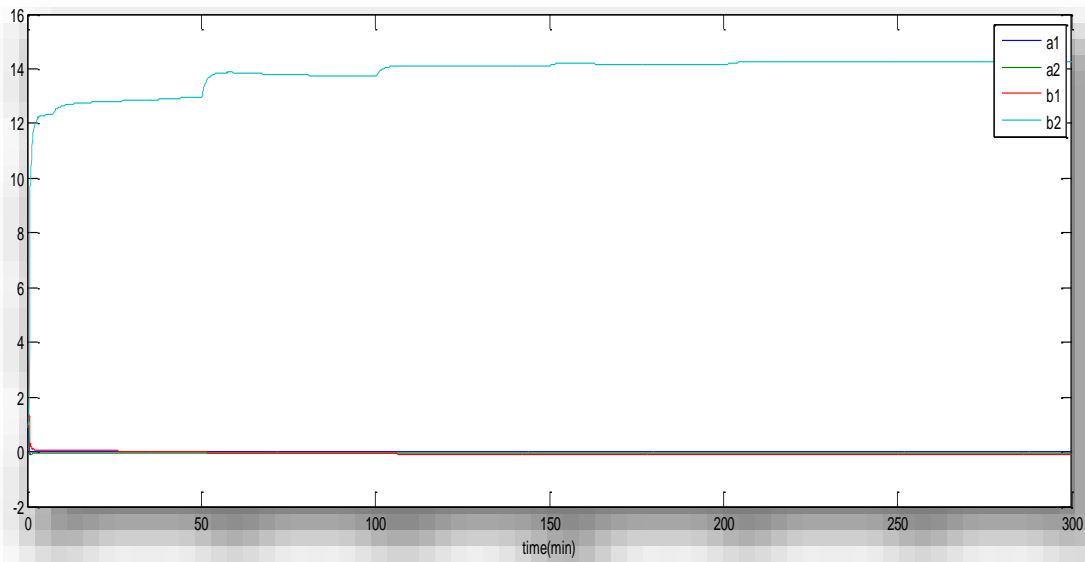
شکل (۲-۱۲) دما سیستم



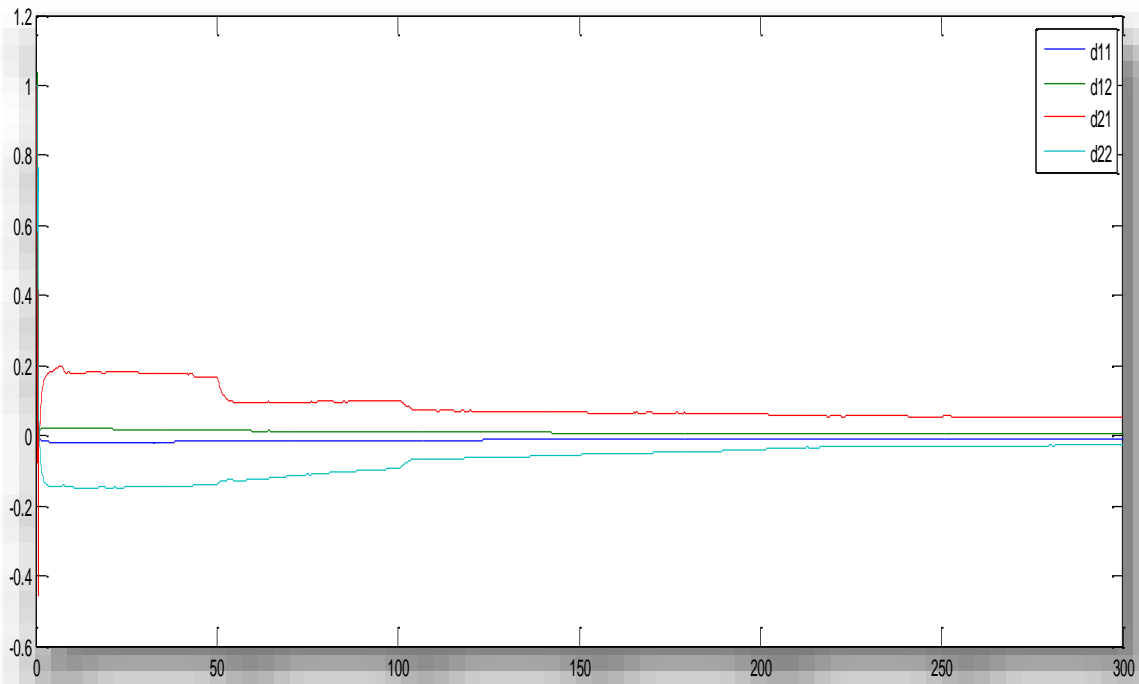
شکل (۲-۱۳) رطوبت سیستم



شکل (۲-۱۴) قانون کنترل



شکل (۲-۱۵) همگرایی پارامترهای سیستم



شکل (۲-۱۶) همگرایی پارامترهای تقریب D

فصل سوم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۳-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه ابتدا روش عصبی فازی را به عنوان روش اصلی پیاده سازی کردیم. سیستم استنتاج عصبی فازی (*ANFIS*) نوعی از شبکه عصبی بر اساس سیستم استنتاج فازی تاکاگی سوگنو می باشد. چون این سیستم از ادغام شبکه های عصبی و اصول منطق فازی به وجود آمده است، مزایای هر دو را در یک چارچوب واحد دارا می باشد. این سیستم استنتاج متناظر است با یک مجموعه قوانین *IF-THEN* فازی که توانایی تقریب هر تابع غیر خطی را دارد. از اینرو *ANFIS* به عنوان یک تقریبگر عمومی در نظر گرفته می شود. از مهمترین جنبه های پایه ای نگرش عصبی فازی می توان به موارد زیر اشاره کرد: (۱) روش های استاندارد برای تبدیل تجربیات و اطلاعات انسانی به قوانین و داده برای سیستم استنتاج فازی وجود ندارد. (۲) نیاز به روش های موثر برای تنظیم توابع عضویت به منظور کمینه کردن اندازه خطای خروجی و بهینه کردن شاخص عملکرد دارد. بنابراین به منظور طراحی کنترل کننده ی مناسب، پیش بینی دما و رطوبت گلخانه برای جبران اثرات منفی ذاتی ناشی از تاخیر زمانی سیستم گلخانه مورد نیاز است. که ما در این پایان نامه از روش عصبی فازی برای رسیدن به یک پاسخ مناسب با نوسان کم و دقت بالا کمک می گیریم. با توجه به نتایج شبیه سازی (شکل های (۲-۴) تا (۲-۱۰)) دقت در رسیدن به مسیر هدف و سرعت رسیدن را مشاهده می کنیم. همچنین این کنترل کننده به خوبی اثر متقابل بین متغیرهای حالت را از بین برده است که در شکل ها کاملا مشهود می باشد (با توجه به اینکه شکل ها به صورت نرم به مقدار مطلوب رسیده و هیچ ضربه ای را به وجود نیاورده است). با توجه به شکل (۲-۴) متغیر حالت دمای سیستم با کنترل کننده عصبی فازی دارای ثابت زمانی حدود ۲۵ دقیقه و با توجه به شکل (۲-۵) ثابت زمانی متغیر حالت رطوبت سیستم حدود ۲۵ دقیقه می باشد. که در مقایسه با کنترل کننده خطی سازی فیدبکی دارای سرعت و دقت بهتری در رسیدن به مقدار مطلوب می باشد و همچنین نوسانات ناشی از اغتشاشات خارجی را به خوبی دفع کرده است. که اثرات این اغتشاشات را می توان به وضوح در نتایج مربوط به کنترل

کننده خطی سازی فیدبکی مشاهده نمود. با توجه به نتایج ارائه شده قدرت، دقت و مزیت کنترل کننده پیشنهادی نسبت به کنترل کننده خطی سازی فیدبکی کاملاً مشهود است.

در بخش دوم طراحی کنترل کننده، کنترل کننده تطبیقی با استفاده از خطی سازی فیدبکی را ارائه کردیم. قانون کنترل بر اساس خطی سازی فیدبکی بود که با ترکیب کنترل تطبیقی، روشی موثر برای کنترل دما و رطوبت سیستم گلخانه به وجود آورد. نتایج شبیه سازی برای این کنترل کننده که در شکل‌های (۲-۱۲) تا (۲-۱۶) نشان داده شد، نشان می‌دهد که این کنترل کننده پیشنهادی در مقایسه با بسیاری از کنترل-کننده‌ها که تا حال برای کنترل سیستم گلخانه ارائه شده است از جمله خطی سازی فیدبکی که در این تحقیق برای مقایسه بکار برده شده دارای عملکرد بهتری می‌باشد اما در مقایسه با کنترل کننده عصبی فازی مشاهده می‌کنیم که کنترل کننده عصبی فازی به مراتب عملکرد بهتری در کنترل سیستم از خود نشان داده است. کنترل کننده تطبیقی نیز توانسته است در کنترل دما و رطوبت سیستم اثر متقابل را از بین ببرد. یکی دیگر از موارد مقایسه بین عملکرد دو کنترل کننده سرعت رسیدن به مقدار مطلوب می‌باشد که با توجه به شکل‌های شماره (۲-۱۲) و (۲-۱۳) مشاهده می‌کنیم که ثابت زمانی دمای سیستم در رسیدن به هدف ۲۵ دقیقه و همچنین ثابت زمانی رطوبت سیستم در رسیدن به مقدار مطلوب ۲۰ دقیقه می‌باشد که همانطور که مشاهده شد نسبت به کنترل کننده خطی سازی فیدبکی دارای سرعت بهتر می‌باشد. از دیگر موارد مقایسه بین دو کنترل کننده خطایی است که بین متغیرهای حالت (دما و رطوبت) و مقدار مطلوب، در نهایت وجود دارد می‌باشد. در بخش کنترل کننده عصبی فازی با توجه به شکل شماره (۲-۴) مشاهده می‌کنیم که فاصله‌ای بین دما و رطوبت سیستم و مقدار مطلوب وجود نداشته اما در بخش کنترل کننده تطبیقی مشاهده می‌کنیم که با توجه به شکل‌های شماره (۲-۱۲) بین دما و رطوبت سیستم و مقدار مطلوب در برخی از پریودها فاصله اندکی در حدود ۰/۱ وجود دارد. همچنین یکی دیگر از مزیت‌های کنترل کننده‌های عصبی فازی و تطبیقی مطرح شده در این تحقیق قدرت و سرعت بالا در از بین بردن

نوسانات می باشد که این گفته در شکل های ارائه شده کاملاً مشهود می باشد. با توجه به موارد گفته شده در بالا در کل نتیجه می گیریم که کنترل کننده عصبی فازی و کنترل کننده تطبیقی ارائه شده دارای قدرت و سرعت بهتری نسبت به کنترل کننده خطی سازی فیدبکی در دنبال کردن مسیر هدف می باشند و همچنین کنترل کننده عصبی فازی دارای عملکرد نسبتاً بهتری نسبت به کنترل کننده تطبیقی دارد و در کنترل دما و رطوبت سیستم گلخانه عملکرد بهتری را از خود نشان داده و دارای سرعت بالاتر و دقت بیشتر بوده و همچنین با توجه به چند متغییره بودن سیستم، قدرت بیشتری در از بین بردن اثر متقابل بین متغییرهای حالت دارد.

۳-۲- پیشنهادات

سیستم گلخانه در عمل دارای اغتشاش های زیادی می باشد. ما در این تحقیق فقط نور خورشید، دما و رطوبت خارج گلخانه را به عنوان اغتشاش در نظر گرفتیم. پیشنهاد می شود برای نزدیک تر شدن به واقعیت سایر اغتشاش هایی که در عمل وجود دارند (سرعت باد و ...) را نیز در نظر بگیریم. مدل های مورد استفاده در پژوهش ها برای سیستم گلخانه به دو دسته مدل فیزیکی و مدل جعبه سیاه تقسیم می شوند که ما در این تحقیق از مدل فیزیکی استفاده کردیم. پیشنهاد می شود از کنترل کننده های پیشنهادی برای کنترل مدل جعبه سیاه سیستم گلخانه استفاده کنیم.

در صورت دسترسی، پیشنهاد می شود که داده های عملی و واقعی را از گلخانه گرفته و در طراحی کنترل کننده از این داده ها استفاده شود و کنترل کننده طراحی شده بر روی گلخانه واقعی مورد آزمایش قرار گیرد.

در برخی موارد برای ساده سازی، مقادیری از پارامترهای سیستم را با توجه به فرضیاتی که داشتیم صفر در نظر گرفتیم (مثلاً فرض کردیم که در فصل تابستان هستیم و در این فصل سیستم گرمای

مورد نیاز خود را از نور خورشید تامین می‌کند و بنابراین Q_{heater} را مساوی صفر قرار دادیم). پیشنهاد می‌شود برای نزدیک تر شدن به واقعیت و رسیدن به پاسخ‌های دقیق‌تر، این مقادیر را نیز لحاظ کنیم.

منابع

- [۱] Coelho, J. P. P. B. Moura Oliveira, and J. Boaventura Cunha. 2005 "Greenhouse air temperature predictive control using the particle swarm optimization algorithm". *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 49, no. 3, pp.330-344.
- [۲] Cunha, J. B., C. Couto, and A. E. B. Ruano. 2000 "A greenhouse climate multivariable predictive controller", *Acta Horticulturae*, N. 534, ISHS, pp. 269-276.
- [۳] Pinon, S., E. F. Camachoa, B. Kuchen, and M. Pena. 2005 "Constrained predictive control of a Greenhouse". *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 49, no. 3, pp. 317-329.
- [۴] Arvanitis, K. G., P. N. Paraskevopoulos, and A. A. 2000 "Vernardos, Multirate adaptive temperature control of greenhouses". *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 26, no. 3, pp. 303-320.
- [۵] Pasgianos, G. D., K. G. Arvanitis, P. Polycarpou, and N.Sigrimis. 2003 "A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 40, no. 1-3, pp. 153-177.
- [۶] Lafont, F., and J. -F. Balmat. 2002 "Optimized fuzzy control of a greenhouse", *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 128, no. 1, pp. 47-59.
- [۷] Lafont, F, and J. F. Balmat. 2004 "Fuzzy logic to the identification and the command of the Multidimensional systems", *International Journal of Computational Cognition*, vol. 2, no. 3, pp. 21-47.

- [٨] Miranda, R. C., E. Ventura-Ramos, R. R. Peniche-Vera, and G. Herrera-Riuz. 2006 "Fuzzy greenhouse climate control system based on field programmable gate array" , *Biosystems Eng.*, vol. 94, no.2,pp. 165-177.
- [٩] Bennis, N., J. Duplaix, G. Enea, M. Haloua, and H. Youlal. 2008 "Greenhouse climate modeling and robust control", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 61, no. 2,pp. 96-107.
- [١٠] Pucheta, J. A., C. Schugurensky, R. Fullana, H. Patino, and B. Kuchen. 2006 "Optimal greenhouse control of tomato- seedling crops", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 50, no. 1,pp. 60-82.
- [١١] Hai-Gen Hu, Li-Hong Xu, Rui-Hue Wei, Bing-Kun Zhu. 2011 "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.
- [١٢] A. Trabelsi, F. Lafont, M. Kamoun, and G. .Enea. 2007 "Fuzzy identification of a greenhouse", *Appl. Soft Comput.*, vol. 7, no. 3, pp. 1092-1101.
- [١٣] Haigen Hu, Lihong Xu 2, Ruihua Wei and Bingkun Zhu. 2011 "Multi-Objective Control Optimization for Greenhouse Environment Using evolutionary Algorithms", *Sensors*, vol. 11, pp. 5792-5807.
- [١٤] M. Nachidi, A.Benzaouia, F. Tadeo. 2006 "Temperature and humidity control in greenhouses using the Takagi-Sugeno fuzzy model", *International Conference on Control Applications*.
- [١٥] A. Seginer, R.W. McClendon. 1992 "Methods for optimal control of the greenhouse Environment", *Transactions of the ASAE*, vol. 35, pp. 1299-1307.
- [١٦] R. F. Tap, L. G. Van Wiligenburg, G. Van Straten, and E.J. van. Henten. 1993 "Optimal control of greenhouse climate: computation of the influence of fast and slow dynamics", *Proc. 12th IFAC World Congr.*
- [١٧] E.J. van Henten. 2003 "Sensitivity Analysis of Optimal Control Problem in Greenhouse Climate Management", *Biosystems Engineering*, vol. 85, pp. 355-364.

- [18] G. van Straiten, H. Ghalla and F. Buwalda. 2000 "Towards user accepted optimal control of greenhouse climate", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol.26, pp. 221-238.
- [19] T. Takakura, K.A. Jordan, L.L. Boyd. 1971 "Dynamic simulation of plant growth and environment", *Transactions of the ASAE*, vol. 14, pp.964-971.
- [20] M. Kindelan. 1980 "Dynamic modeling of greenhouse environment", *Transactions of the ASAE*, vol. 23, pp.1232-1239.
- [21] R. Avissar, and Y. MAHRER. 1982 "Verification study of a numerical greenhouse microclimate model", *Transactions of the ASAE*, vol.25, pp.50-53.
- [22] T. Boulard, A. Baille. 1993 "A simple greenhouse climate control model incorporating effects of ventilation and evaporative cooling", *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 65,pp. 145-157.
- [23] Seginer, T. Boulard, B.J. Bailey. 1994 "Neural Network Models of the Greenhouse Climate", *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 59, pp.203-216.
- [24] R. Kok, R. Lacroix, G. Clark, and E. Taillefer. 1994 "Limitation of a procedural greenhouse model with an artificial neural networks", *Canadian Agricultural Engineering*, vol. 36, pp. 117-126.
- [25] R. Linker, I. Seginer, and P.O Gutman. 1998 "Neural network and hybrid adaptive modeling of greenhouse air temperature", In *Proceeding of AgEng 98 conference*.
- [26] R. Linker, I. Seginer, and P.O Gutman. 1998 "Optimal control of CO2 in a greenhouse modeled with neural networks", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 19, pp.289-310.
- [27] J. Richalet, A.Rault, J.L Testud, and J. Papon. 1978 "Model predictive heuristic control: to industrial process", *Automatica*, vol. 14, pp.413-428.
- [28] E.J. van Henten, "Greenhouse climate management: An optimal control approach", ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural
- [29] L.D. Albright, R.S Gates, K.G Arvanities. 2001 "plants on earth and in space", *IEEE control system magazine*, Oct., pp.28-47.

- [۳۰] L.A. Zadeh. 1965 "fuzzy sets". Informtion and Control, vol. 8, no. 3, pp. 338-353.
- [۳۱] L.A. Zadeh. 1968 "Fuzzy algorithms", Information and Control, vol. 12, no. 2, 94-102.
- [۳۲] T. Takagi, M. Sugeno. 1985 "Fuzzy identication of systems and its applications to modeling and control", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 15, no. pp.116-132.
- [۳۳] A. Lyapunov. 1892 "General problem of the stability of motion (in Russian)".
- [۳۴] ع.خاکی صدیق. ۱۳۸۲. " اصول کنترل مدرن"، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۳۵] Nedjah, Nadia (ed.). "Adaptation of Fuzzy Inference System Using Neural Learning, Fuzzy System Engineering: Theory and Practice". Studies in Fuzziness and Soft Computing (Germany: Springer Verlag): 53–83.
- [۳۶] Jyh-Shing Roger Jang "ANFIS: Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference Syatem" IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, MAYIJUNE 1993.
- [۳۷] K.J. Astrom and B. Wittenmark. 1989 "Adaptive Control", Addison-Wesley.
- [۳۸] O.Bretscher. 1995 "Linear Algebra with Applications", 3rd ed., Prentice Hall.

Abstract

Greenhouse system is MIMO and also has interaction. The given models are not fully adapted to the Real system. In our model in this paper, Greenhouse temperature and moisture are considered as state variables, ventilation rate and capacity of converting water to vapor of the fog system both as system inputs, and finally sun light, outer temperature and moisture of Greenhouse are here considered as system disturbances. In this thesis, we have used neuro-fuzzy method in order to get the appropriate response and minimum fluctuation. To show the power and accuracy of our designed controller, we compared it to the proposed Adaptive and feedback linerization controller. And what we get after the comparison is higher speed and more of accuracy of neuro-fuzzy controller.

Keywords: ANFIS, Adaptive controller, Feedback Linerization, Greenhouse system.



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Neuro-Fuzzy control of greenhouse climate system

Hiwa Moradi

Supervisor:

Dr. Ali Akbarzade Kalat

۲۰۱۵