طراحی، شبیه سازی وساخت گلخانه هوشمند به وسیله ابزارهای فازی

محسن داوری نژاد
mo_da41@stu-mail.um.ac.ir
دانشجوی دانشگاه فردوسی مشهد

محمدرضا اکبرزاده توتونچی
akbarzadeh@kiaeee.org
عضو هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد

علی اکرمی زاده
akramizadeh@yahoo.com
دانشجوی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: گلخانه که یک سیستم غیر خطی زنده با رفتار پیچیده و عدم قطعیت زیاد است، از زیر سیستمهای بسیاری مانند سیستم تأمین حرارتی، سیستم تأمین رطوبتی هوا و خاک و سیستم تأمین نور تشکیل می شود. گرچه کنترل یک یک این زیر اجزاء با توجه به عدم قطعیت محیطی می تواند به نحو مؤثری بوسیلهٔ کنترل فازی مطرح شود، بیشترین میزان بهینه سازی مصرف انرژی وبهبود کیفیت رشد گیاه را به وسیلهٔ کنترل نظارتی (به عبارتی دیگر تعیین مقادیر ایده آل پارامترها) این زیر سیستمها می توان بدست آورد. در این پروژه، با استخراج دانش کشاورزی مورد نیاز و استخراج قوانین رشد بهینه گیاه (توت فرنگی)، اقدام به پیاده سازی این قواعد به کمک ابزارهای فازی بر روی یک محیط گلخانه ای نمونه شده است.

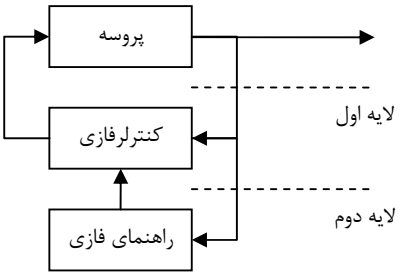
کلمات کلیدی *: محیطهای گلخانه ای، ابزارهای فازی، شبیه سازی و ساخت .*

1- مقدمه

سیستمهای تهویه مطبوع و گرم‌کننده (HVAC Systems) به صورت وسیعی در واحدهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیستمها اغلب به وسیله PLC های غیراختصاصی تحت کنترل هستند. و علی رغم استفاده فراگیر، دارای قابلیتهای خوبی نیستند. آنها معمولاً برای استفاده در شرایط یکنواخت، طراحی و راه‌اندازی شده‌اند. اکثر سیستمهایی که در ابعاد بزرگ در گلخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند از تجهیزات ON/OFF بهره می‌برند، چنانکه کنترل‌کننده‌های آنها از ترموستاتهای چندمرحله‌ای (multiple stage) بهره می برند، که هر مرحله نمایانگر میزان افزایش یا کاهش متغیر می‌باشد[1]. تلاشهای زیادی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستمهای از این دست صورت گرفته است که نتوانسته جوابگوی کلیه ابعاد مسئله باشد.

سیستمهای با استنتاج فازی (FIS) که خود یک نگاشت غیرخطی از ورودیها به خروجیها هستند، راهکار خوبی را جهت طراحی کنترلرهای مبتنی بر اطلاعات فرد خبره، در اختیار قرار می‌دهند. استفاده از کنترل‌کننده‌های فازی در پروسه‌های صنعتی از دیر هنگام کاربرد داشته است ولی بهره گیری از این تجهیزات در محیطهای کنترل شده کشاورزی (گلخانه؛ انکواتور ...) چندان مرسوم نیست[2]. خصوصیت برجسته سیستمهای فازی قابلیت آنها جهت وارد کردن استنتاجهای فرد خبره در زمینه رفتار سیستم و قابلیت استنتاج براساس درک آنها از پارامترهای کمی میباشد. مزایا و ارزش یک کنترل کننده خوب عبارت اند از[3]:

1. افزایش بازدهی انرژی
2. کاهش نهاده های کشاورزی (آب، کود، مواد شیمیایی، ...)
3. کاهش فرسایش تجهیزات
4. کاهش آسیب‌های وارده به گیاه



شکل 1) ساختار کنترلر دو مرحله ای

از آنجائیکه در سیستمهای کنترل شده کشاورزی، احتیاج به کنترل پارامترهای زیادی مانند دما، رطوبت و نور می باشد و با توجه به عدم قطعیتهای محیط (که ناشی از عواملی مانند: انرژی تابشی خورشید، تغییرات آب و هوائی، تنفس، فوتوسنتز و سایر فرایندهای اصلی گیاه مانند واکنش های شیمیایی و همچنین نویز موجود در فرایند سیستم و حسگرها می باشد) و رفتار پیچیده و غیر خطی سیستم تحت کنترل، استفاده از سیستمهای کنترل فازی می تواند به نحو مؤثری راهگشا باشد. همچنین با توجه به ویژگی خاص کنترل نظارتی، به منظور بهینه سازی مصرف انرژی وکاهش تعداد قوانین از ساختار کنترل دو مرحله ای بهره گرفته شده است. (شکل 1)

در این ساختار، کنترلر سطح دو که یک راهنمای فازی است، با توجه به قوانین استخراج شده از طبیعت، شرایط محیطی بهینه رشد گیاه را تعیین می کند و سپس کنترلر سطح یک، برقراری این شرایط را در محیط گلخانه تضمین می کند. در این پروژه این ابزارها بوسیلهٔ یک میکروکنترلر 8052 پیاده سازی و اجرا شده است.

در بخش دوم این مقاله ابتدا به بررسی کنترل کننده فازی بکار گرفته شده در این پروژه می پردازیم. در بخش سوم، راهنمای فازی که همان کنترلر سطح دو می باشد را بررسی می کنیم. پس از آن روابط حرارتی حاکم بر یک محیط گلخانه ای نمونه در بخش چهار بررسی خواهد شد و نتایج شبیه سازی را نشان خواهیم داد و در بخش پنجم، طریقهٔ پیاده سازی و اجرای ساختمان گلخانهٔ ساخته شده بیان خواهد شد.

2- کنترل‌کننده‌های فازی

در این پروژه که قسمتی از آن کنترل دما و رطوبت می‌باشد، ورودی‌ها که شامل خطا و مشتق خطا می‌باشند وارد سیستم استنتاج فازی می‌شوند وپس از اعمال قوانین برروی ورودی‌ها، خروجی ها defuzzify می‌شوند و به عملگرها اعمال می‌گردند. قوانین مورد استفاده در این پروژه همان قوانین معمول در کنترل دما و رطوبت می‌باشند که در این پروژه، قوانین به طور خاص، به صورت جدول 1 تعریف شده است.

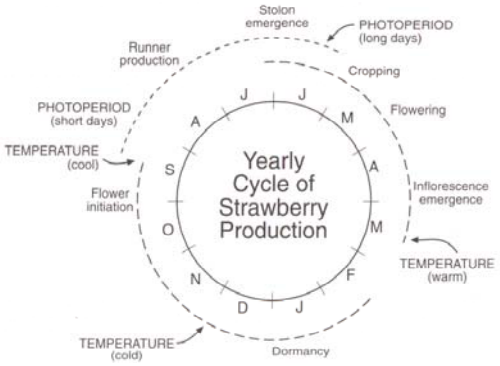
ساختار کنترل فازی مقاومت قابل توجهی را نسبت به نویز موجود در محیط ارائه می نماید. از آنجائیکه فرایند رشد گیاه نسبت به نویزهای گذرای محیطی مقاومت قابل توجهی را نیز دارا میباشد، میتوان به سهولت از منطق فازی استفاده نمود و کنترلر های مناسبی را طراحی نمود، همچنان که در مراجع مختلف به آن اشاره شده است.

3- راهنمای فازی

یکی از قسمت های مهم انجام گرفته در این پروژه راهنمای فازی می‌باشد. استفاده از سیستمهای فازی به عنوان راهنمای فازی، بعضاً در سیستمهای پیچیده مورد استفاده قرار گرفته است، ولی اعمال آن بر محیطهای کشاورزی برای اولین بار در این مقاله مورد بررسی و پیاده سازی قرار گرفته است. در این بخش از تصمیم گیری، ورودی راهنمای فازی متاثر از شرایط محیطی نمیباشد و بنابراین نویز محیطی اثری در تصمیم گیری ندارد. در مقابل از منطق فازی استفاده شده است تا از دانش انسانی در دوره ای بودن رشد گیاه و فرایند تدریجی فصلها بهره برداری شود.

جدول1- قوانین فازی مورد استفاده در کنترل کننده دما

$\dot{e}$ \ e	NB	NM	Z	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	Z
NM	NB	NB	NM	Z	PM
Z	NB	NM	Z	PM	PB
PM	NM	Z	PM	PB	PB
PB	Z	PM	PB	PB	PB



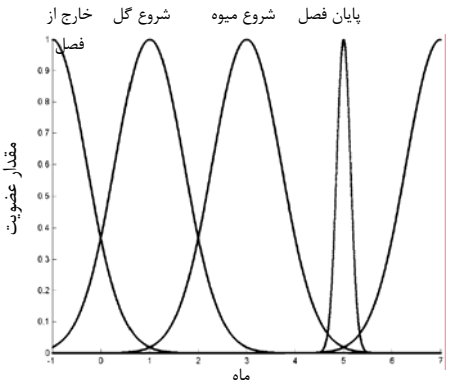
شکل 2- چرخه زیستی توت فرنگی

به طور قطع بهترین شرایط رشد و باروری گیاهان، شرایط محیط طبیعی زیستگاه اصلی آنها می‌باشد، که لازم است در محیط‌های گلخانه‌ای نیز این شرایط پیاده گردند. لحاظ کردن این شرایط ضمن این که می‌تواند بازدهی تولید محصول را افزایش دهد، می‌تواند در جهت کاهش هزینه‌های نگهداری نیز به ما کمک کند. ضمن این که با اعمال شرایط خاصی بر گیاهان موجود در گلخانه‌ها، می‌توان امکان بهره‌برداری از محصولات این گیاهان را حتی تا چند دوره در سال فراهم نمود. با توجه به شکل زیر که چرخه زیستی یک گیاه نمونه مانند توت فرنگی را در طول یک سال رشد نشان می‌دهد می‌توان قوانین فازی مورد نیاز را استخراج نمود [4].

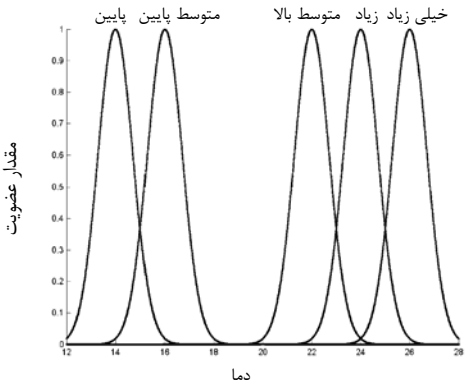
همانگونه که از شکل 2 بر می آید، با گرم شدن تدریجی هوا در ماه March، گل آذین ها که قبلاً بصورت جنینی تشکیل شده اند، ظاهر می گردند و سپس در ماهMay، گلدهی و بعد از آن بین Mayو June باردهی صورت می گیرد و همزمان با باردهی، روزها بلند می شوند و دما به حد بالای نیاز گیاه می رسد. سپس گیاه حد فاصلJuly و September رشد رویشی و تولید ساقه های رونده، کرده و حدفاصل September تا October گل انگیزی برای سال بعد در گیاه شکل میگیرد ودر ماه October تا January و February گیاه به خواب می رود. نکته مهم در این سیکل، چرخهٔ روز کوتاه است که همانطور که ذکر شد در ماههای September و October این چرخه بصورت طبیعی اتفاق می افتد و طول این چرخه جهت ایجاد جوانه های جنینی گل بین 7 تا 23 روز است. با وجود کوتاه بودن این دوره، وجود آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است و ایجاد شدن جوانه های جنینی گل را تضمین می کند. نکته دیگر اینکه در هنگام باردهی و بعد از آن (بین June و July) طول روز 16 ساعته بهترین عملکرد تولید را نشان می دهد. همچنین آغاز ایجاد جوانه های گل (بین Septemberو October) با سرد شدن هوا یعنی زیر ^{0C} 15 و طول روز کمتر از 12 ساعت انجام می‌گیرد. بنابراین با توجه به مقدمات بالا، اکنون میتوانیم قوانین زیر را استخراج کنیم.

- ✓ اگر اکنون شروع گل دهی است واکنون روز است آنگاه دما متوسط وطول روز هم متوسط باشد.
- ✓ اگر اکنون شروع گل دهی است و اکنون شب است آنگاه دما کم و طول روز هم متوسط باشد.
- ✓ اگر اکنون شروع میوه دهی است و اکنون روز است آنگاه دما زیاد و طول روز بلند باشد.
- ✓ اگر اکنون شروع میوه دهی است و اکنون شب است آنگاه دما متوسط و طول روز بلند باشد.
- ✓ اگر اکنون پایان فصل است و اکنون روز است آنگاه دما خنک و طول روز هم کوتاه باشد.
- ✓ اگر اکنون پایان فصل است و اکنون شب است آنگاه دما سرد و طول روز هم کوتاه باشد.

توابع عضویت مربوط به شروع و پایان فصل برای این گیاه نمونه را به صورت شکل (3) در نظرمی گیریم. همچنین توابع عضویت مربوط به دما را به صورت شکل (4) در نظر میگیریم. عدم همپوشانی ناحیهٔ کوچکی از توابع عضویت



شکل 3- توابع عضویت شروع و پایان فصل



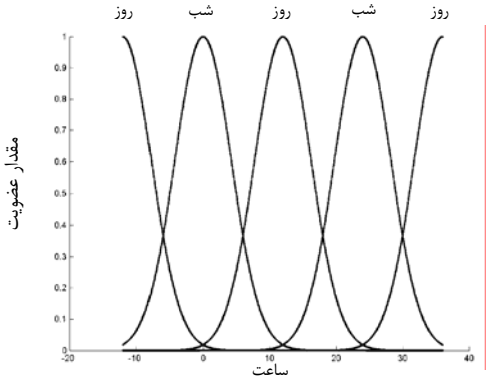
شکل4- توابع عضویت مربوط به دما

مربوط به دما باعث ایجاد شیب تند در خروجی راهنمای فازی، مطابق شکل (6) می شود. در این شیب تند که باعث کاهش ناگهانی زمان فتو پریودیک می شود، در طول مدت 7 روز این نیاز گیاه برآورده می شود و جوانه های جنینی گل در گیاه ایجاد می شود. در مورد توابع عضویت مربوط به دما (و به طور کلی تمام خروجی ها) لازم است بدانیم که شکل آنها (مثلثی یا گوسی) به دلیل استفاده از Center Average Defuzzifier دارای اهمیت نمی باشد و چیزی که مهم است، تنها مراکز آنها است. همچنین توابع عضویت مربوط به روز و شب هم بصورت شکل (5) است.

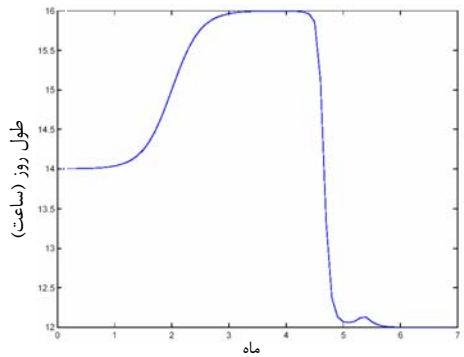
در طبیعت دوره روزهای کوتاه بیشتر از دو ماه است. ولی نیاز گیاه به این چرخه جهت گل انگیزی در حدود 7 روز است بنابراین میتوان شرایط محیطی لازم برای خواب گیاه (dormancy) را فراهم کرده و پس از طی این مدت دوباره گیاه را فعال نمود. بدین ترتیب می توان با کمک شرایط گلخانه ای، از یک محیط محدود چند بار در سال محصول برداشت نمود. ضمن آنکه با توجه به اینکه در اینجا سیستم فازی به عنوان یک راهنما عمل میکند و می تواند شرایط بهینه مورد نیاز گیاه را فراهم نماید، بنابراین عملکرد محصول در واحد سطح به طور چشم گیری افزایش پیدا می کند. شکل (6) خروجی راهنمای فازی مربوط به تعیین طول روز را به ازای ماه های پس از کاشت نشان میدهد. محور افقی نشانگر ماه است و محور عمودی طول روز را نشان می دهد. شکل (7) نیز خروجی راهنمای فازی مربوط به تعیین دما را نشان میدهد. محور x ها که scale مربوط به آن دو برابر شده است نشان دهنده ماه است. محور y ها هم که نشان دهنده روز و شب است تنها برای ساعات بین 0-12 رسم شده است. زیرا نقاط خارج از این بازه به صورت متقارن با قسمت رسم شده قرار دارد. لحاظ کردن این نکته داری اهمیت می باشد که تغییرات دمایی شدید و ناگهانی، می تواند باعث وارد آمدن شُک به گیاه گردد و منجر به کاهش محصول شود.

4- شبیه سازی

در این پروژه، علاوه بر ساخت یک گلخانه نمونه با ابعاد بزرگ جهت نزدیک تر بودن هر چه بیشتر ابعاد با ابعاد



شکل 5- توابع عضویت مربوط به روز و شب



شکل 6- خروجی راهنمای فازی مربوط به تعین طول روز

واقعی ؛ اقدام به شبیه سازی مساله به کمک نرم افزار MATLAB شده است. معادلات حاکم بر یک گلخانه نمونه به صورت زیر است.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V}[q_{\text{heater}} + aSA_f] - \frac{\dot{V}}{V}(T - T_{out}) - \frac{UA_s}{\rho C_p V}(T - T_{out}) \qquad (1)$$

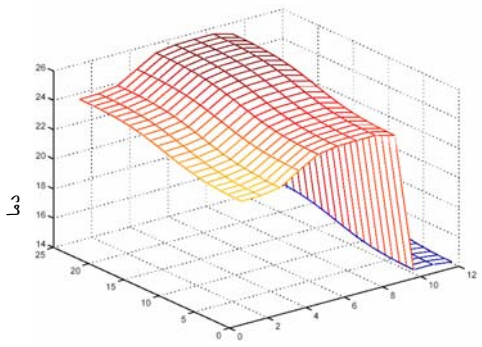
که در این رابطه A_f= مساحت کف (m^2), A_s= مساحت رویه (m^2)، C_p= گرمای ویژه هوا $\left(j/kg^{\circ}C\right)$, qheater= خروجی سیستم گرمازا (W), S= درخشندگی خورشید $\left(W/m^2\right)$, Tout= دمای بیرون (^oc), T= دمای داخل،U= ضریب جابجایی گرما $\left(W/m^{2\cdot C}\right)$, V= حجم ساختمان (m^3) و $\dot{V}$= سرعت تهویه $\left(m^2/S\right)$ است.

همچنین ρ چگالی هوا و α ضریبی است بین صفر و یک که بر حسب میزان عبوردهی نور خورشید توسط پوشش گلخانه تعیین می شود. اولین عبارت رابطه (1) بیانگر میزان انرژی وارده به سیستم توسط هیتر به علاوه انرژی وارده به سیستم توسط نور خورشید است. همچنین عبارتهای دوم و سوم، به ترتیب بیانگر میزان انرژی خارج شده از سیستم، توسط سیستم تهویه مطبوع و گرمای خارج شده به وسیله structure گلخانه را نشان میدهد. با توجه به این معادله و ورودی های کنترل کننده فازی که خطا و مشتق خطا هستند، شبیه سازی صورت گرفته در MATLAB به صورت شکل 9 است[5]. در شکل 8 نتایج شبیه سازی شده را برای حالتی که scale مربوط به توابع عضویت خطا و مشتق خطا با هم برابر اند را ملاحظه می کنید.

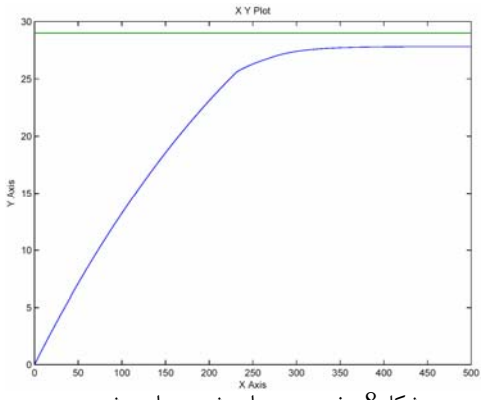
در مورد رطوبت نیز به همین طریق میتوان برای سیستم یک راهنما طراحی نمود؛ ولی با توجه به اینکه در مورد گیاه خاص مورد بحث در این پروژه (توت فرنگی)، اطلاعات بسیار اندکی در مورد نیاز رطوبتی آن وجود دارد (و آن هم به صورت پراکنده) و اصولاً تأثیر رطوبت هوا بر بعضی گیاهان اندک است (به همین دلیل، تحقیقات در مورد تاثیر رطوبت هوا بر گیاهان مختلف در سطح بسیار کمتری از تحقیقات در مورد تاثیر دما و حتی photoperiod بر روند تکثیر، رشد و بار دهی گیاهان مختلف صورت گرفته است)، بنابراین در این پروژه از بحث بیشتر در مورد این مقوله اجتناب میگردد. در اینجا تنها میتوان به این نکته اشاره نمود که بهترین شرایط جهت رشد بهینه یک گیاه، شرایط محیطی حاکم بر محل اصلی پیدایش، رشد و گسترش آن گیاه است؛ بنابراین در مورد درصد رطوبت نسبی هوا، میتوان به دو قانون کلی زیر اشاره نمود:

اگر دما کم است آنگاه رطوبت هوا کم باشد.

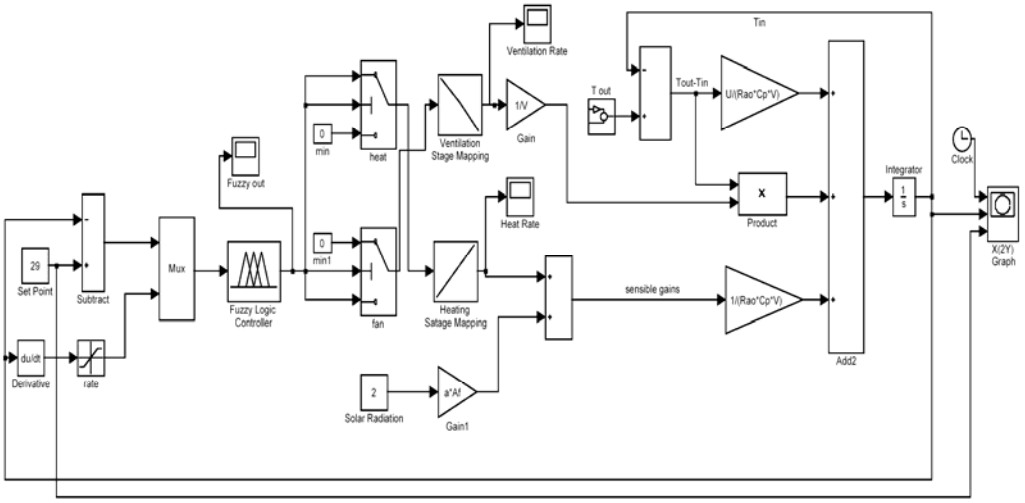
اگر دما زیاد است آنگاه رطوبت هوا زیاد باشد.



شکل 7- خروجی راهنمای فازی مربوط به تعیین دما



شکل8- خروجی دمای شبیه سازی شده



شکل9- شبیه سازی انجام شده به کمک SIMULINK

5- طریقه پیاده‌سازی و اجرای ساختمان گلخانه

5-1 اسکلت : اسکلت این گلخانه یک شش وجهی می‌باشد، که اندازه هر وجه آن حدوداً 1 m و ارتفاع آن حدوداً 1/4 m می‌باشد، که به دلیل گرانی نسبی آلومینیوم، با استفاده از پروفیلهای شش وجهی آهنی ساخته شده است، و با استفاده از چند لایه ضد زنگ در مقابل زنگ زدگی محافظت شده است.

5-2 پوشش : بیشترین مقدار جابجایی و تلف شدن انرژی از طریق پوشش گلخانه صورت میگیرد که با رابطه

$$H=AU(T-T_{out}) \qquad (2)$$

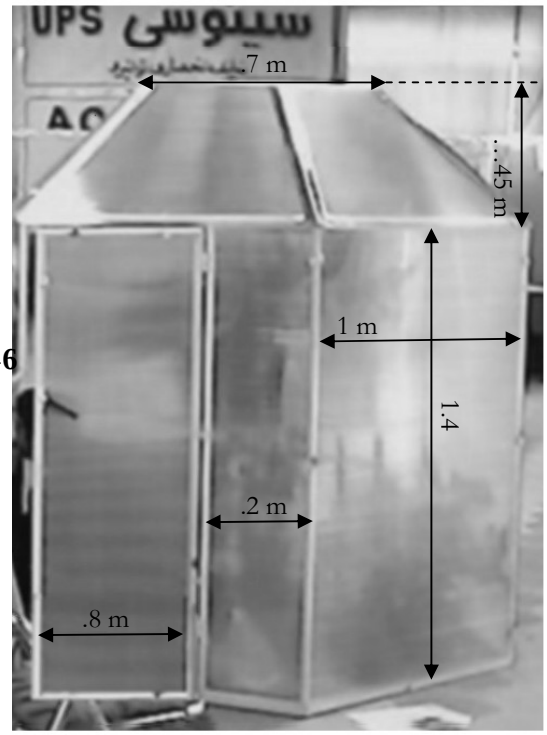
میتوان آنرا تخمین زد. همان طوری که در این رابطه دیده میشود، علاوه بر این که میتوان به کمک کم کردن دمای مطلوب در شب (T)، به میزان قابل ملاحظه ای در مصرف انرژی صرفه جویی کرد، با کاهش ضریب جابجایی گرما، میتوان از هدر رفتن انرژی از طریق پوشش آن جلوگیری کرد. پوشش مورد استفاده در این گلخانه از جنس صفحات شفاف پلی کربنات دو جداره می‌باشد که عایق حرارتی بسیار خوبی است و داری ضریب جابجایی گرمایی $0.5 W/m^{2\circ c}$ میباشدکه نسبت به شیشه که در آن این ضریب برابر 1/1 و ورقه های fiberglass که این ضریب برابر 1/2 می باشد مقدار بسیار کوچکی است و جهت بالا بردن راندمان مصرف انرژی، به کار رفته است. استفاده از این صفحات علاوه بر مزیت ذکر شده به دلیل مقاومت فیزیکی نسبتا بالا در مقابل ضربات وارده، دارا بودن پوشش محافظ در برابر اشعه ماوراء بنفش، سبکی فوق العاده نسبت به شیشه، توصیه شده است. در مقابل قیمت نسبتاً بالا، موارد استفاده از آنرا محدود کرده است. یک ساختار هرمی ناقص با قاعده شش وجهی مطابق شکل 10 سقف آنرا تشکیل میدهد.

5-3 سیستم حرارتی: عملگر حرارتی مورد استفاده در این پروژه یک هیتر سانتریفوژ کوچک و کم قدرت می باشد که جهت گرم کردن هوای داخل گلخانه تعبیه شده است. یک لوله پلاستیکی با منافذ کوچک به صورت دایره ای در داخل محیط و روی زمین قرار گرفته است و هوای گرم ایجاد شده توسط هیتر وارد این لوله شده و جهت توزیع یکنواخت حرارت از منافذ آن خارج میگردد. قدرت خروجی این عملگر نیز حدودا 1000وات میباشد.

5-4 سیستم رطوبتی: از یک مه ساز مجهز به شیر برقی جهت تزریق رطوبت به داخل محیط گلخانه استفاده شده است. در هنگام زیادی رطوبت نیز با روشن شدن fanرطوبت اضافی از محیط خارج می شود. البته به دلیل رعایت هر چه بیشتر صرفه جویی انرژی و در اولیت بودن آن لازم است که در صورتیکه دمای محیط با دمای بیرون تفاوت

زیادی داشته باشد از انجام این کار خود داری به عمل آید.

5-5 سیستم تهویه: روی سقف این گلخانه یک fan با سرعت تهویه 4 متر مکعب بر ثانیه نصب گردیده است که در مواقع لزوم از آن جهت پایین آوردن مقدار رطوبت و یا دما استفاده میشود.



شکل 10– گلخانه ساخته شده در آزمایشگاه سیستمهای هوشمند

6- نتیجه گیری

با توجه به قابلیت سیستمهای فازی در بکارگیری و پیاده سازی قوانین موجود در طبیعت، میتوان با استخراج این قوانین و بکارگیری آنها، با ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاهان، امکان بهره برداری هرچه بهتر از شرایط موجود را ممکن ساخت. جهت نیل به این هدف، با توجه به ویژگی خاص محیطهای گلخانه ای که سیستمهایی غیرخطی با رفتار پیچیده و عدم قطعیت زیاد می باشند، استفاده از کنترل دو مرحله ای پیشنهادی می تواند به طور مؤثری راه گشا باشد. یک لایهٔ این کنترل دو مرحله ای را راهنمای فازی تشکیل می دهند که جهت تعیین شرایط بهینهٔ رشد گیاه مورد استفاده قرار گرفته است و یک کنترل فازی، لایهٔ بعدی را تشکیل می دهد که برقراری این شرایط در محیط گلخانه را تضمین می کند. در این مقطع از پروژه، علاوه بر شبیه سازی های مربوط به زیر اجزاء سیستم مانند دما و رطوبت، طرح کلی کنترل نظارتی پیشنهاد و در یک گلخانه نمونه اجرا شده است. نتایج عملی بهره وری از این طرح نیازمند به کاشت و برداشت محصولات کشاورزی می باشد که در مقطع بعدی این پروژه قابل انجام است.

7- مراجع

[1] L. D. Albright, "Environment Control for Animals and Plants", St. Joseph MI: ASAE, 1990.

[2] R. Martin and K. Kovats, "Satisfaction of soft constraints applied to the Greenhouse to the determination of greenhouse climate setpoints", 211-220. In Proc. AIFA Conf., 27-29 October, Nimes, France. London, England:Elsevier, Ltd, 1993.

[3] F. Lafont, J.-F. Balmat, "Fuzzy control of the greenhouse climate", 118-122. Int. Conf. Artificial and Computational Intelligence for Decision, Control and Automation in Engineering and Industrial Applications, ACIDCA'2000, vol. Systems Analysis and Automatic Control, Monastir, Tunisia, 22-24 March 2000.

[4] D.T. Jackson, and N.E. Looney, Temperate and subtropical fruit production, *2nd Edition*. CABI Publishing, 1999.

[5] R.S. Gates, K. Chao, and N.Sigrimis, "Fuzzy control simulation of plant and animal environments" in ASAE Annual International Meeting ,Canada, 1999.