اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای
۲۶ مهرماه ۱۳۸۶

کنترل هوشمند به کمک منطق فازی برای اتوماسیون سیستم آبیاری گلخانه و ارزیابی آن نسبت به سیستم‌های متداول

پیام جوادی‌کیا، احمد طباطبایی‌فر، محمود امید، رضا علیمردانی و لیلا ندرلو[1]

چکیده

ایده آبیاری جدید نیست. آبیاری در زمان های گذشته به مصر، بلکه پیشتر به زمانهای قبل از تاریخ بر می گردد. حتی ایده آبیاری اتوماتیک نیز جدید نیست. مانکیند چگونگی آبیاری سطح وسیعی از شاخ و برگ را از طریق استفاده از سیستم آبیاری قطره ای و اتوماتیک به تصویر کشیده است. در حال حاضر سیستم آبیاری اتوماتیک کارآمد، که بتواند در سطح مطلوبی گیاهان را آبیاری نموده و در طول مراحل رشد گیاه کمترین آب را استفاده نماید، موجود نمی باشد(۸). کنترلر آبیاری که دبی آب و مواد مغذی را کنترل می نماید، مغز سیستم آبیاری اتوماتیک است. در نتیجه این کنترل است که باغبان یا کشاورز به آبیاری با ماکزیمم بازدهی که بدست آوردن محصول مطلوب با استفاده از کمترین مقدار آب و مواد مغذی است، می رسد(۳). امروزه کنترل کامپیوتری برای سیستم های آبیاری گلخانه بسیار ضروری است. خیلی از شیوه های متداول کنترل، مؤثر نیستند. چرا که بر اساس شیوه کنترل دو وضعیتی (ON/OFF) و یا شیوه های کنترل حلقه بسته تناسبی می باشند که موجب تلفات انرژی و کاهش بهره وری می شوند. منطق فازی مبنای سیستم های خبره فازی است. سیستم های خبره فازی علاوه بر پرداختن به عدم قطعیت، قادرند استدلال عقل سلیم را مدل سازی نمایند که انجام آن برای سیستم های معمولی بسیار دشوار است. یکی از محدودیت های اساسی منطق سنتی این است که فقط به دو مقدار درست و نادرست محدود می شود. اشکال اساسی این منطق آن است که در دنیای واقعی، تعداد موضوعات دو ارزشی بسیار اندک است. دنیای واقعی یک دنیای قیاسی است و نه یک دنیای عددی(٦). در این مقاله ابتدا مشکلات اصلی آبیاری مورد بحث قرار گرفته است. سپس مدل فیزیکی برای کنترل سیستم آبیاری گلخانه ارائه شده است. در ادامه مراحل طراحی یک سیستم کنترل آبیاری گلخانه به کمک منطق فازی ارائه شده است. این سیستم قادر است با جمع آوری اطلاعات از شرایط محیطی درون گلخانه، خصوصیات خاک موجود در گلخانه، نوع گیاه و با استفاده از مدل های معتبر در زمینه آبیاری و تبخیر آب از سطح خاک، مقدار آب مورد نیاز گیاه در عمق مشخص را تعیین نماید. سیستم

[1]- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشیار، استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران

هوشمند طراحی شده، در محیط MATLAB شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته و خروجی آن نسبت به عملکرد سیستم های متداول مورد مقایسه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: اتوماسیون، آبیاری، گلخانه و سیستم هوشمند

مقدمه

آب عنصر اصلی همه زندگی های شناخته شده در روی زمین است. آب هم می تواند زندگی را حفظ کند و هم می تواند در صورت کم یا زیاد بودن تهدیدی برای زندگی باشد.در نتیجه آب یک منبع طبیعی خیلی گرانبها است که نباید تلف شود. اگر آب زیادی برای آبیاری بکار رود، مشکلاتی چون آب بردگی، فرسایش، تلفات آب و بیماری گیاه را موجب می شود و اگر آب کمی در آبیاری بکار رود، مشکلات متفاوت دیگری چون کلوخه شدن و... پیش می آید. کلید آبیاری درست به گونه ای است که اپتیمم مقدار آب برای طول زندگی مناسب گیاه مصرف شود(۸،٤).

کنترلرهای آبیاری به طور کلی به دو گروه اصلی تقسیم می شوند: (۲،۱۱)

کنترلرهای حلقه باز: این نوع کنترلرها بر اساس اطلاعات از پیش تعریف شده، بدون هیچ گونه پسخوردی[۲] عمل می کنند. اغلب سیستم های ساده کنترلی در این گروه قرار می گیرند. کاربر زمان شروع به کار، زمان اتمام کار، وقفه ها و دوره آبیاری را تنظیم می نماید. این پارامترها در ابتدا، برای کل دوره سیستم تنظیم می شوند که عبارتند از: دوره آبیاری چه مدت طول می کشد؟ چند بار دوره آبیاری باید تکرار شود؟ چه مقدار آب یا کود مایع در این دوره آبیاری استفاده شود؟

در این روش، مقدار مناسب استفاده از آب کنترل نمی شود. این نوع از کنترلرها با وجود اینکه نسبتاً ارزان هستند ولی در اغلب موارد بحرانی نمی توانند به خوبی عمل کنند. فاکتور اصلی در عملیات آبیاری، زمان است. بنابراین کنترلرهای حلقه باز از شیوه آبیاری متناوب استفاده می کنند(۳). در این شیوه آبیاری، مقادیر مناسبی از آب به طور متناوب به گیاه داده می شود. کارشناسان توصیه می کنند که در آبیاری متناوب آب داده شده کمی بیشتر از نیاز گیاه باشد تا آب اضافی بتواند مواد شیمیایی خاک را شسته وتعادل بهتری در خاک ایجاد نماید(۷).

کنترلر حلقه بسته: کنترل در این نوع سیستم ها بر اساس ترکیبی از اطلاعات از پیش تعریف شده و پسخوردی از فاکتورهای کنترل شده می باشد. این نوع کنترلر دارای پسخوردی از اطلاعات ضروری برای تعیین مقدار آب مورد نیاز آبیاری است. چندین پارامتر وجود دارد که می تواند بر روی مقدار آب مورد استفاده در آبیاری تأثیر بگذارد. برخی از این پارامترها ثابت هستند و جزء خصوصیات کشاورزی می باشند مانند نوع گیاهان، نوع خاک، پوشش برگ، مرحله رشد و . . . و برخی دیگر تغییر می کنند و بایستی در طول آبیاری اندازه گیری شوند. این پارامترها جزء خصوصیات فیزیکی مانند دما، رطوبت هوا، شدت تابش، رطوبت خاک و . .. می باشند. بنابراین وقتی این شرایط تغییر کند، مقدار آب مورد استفاده برای آبیاری باید تغییر نماید(۵).

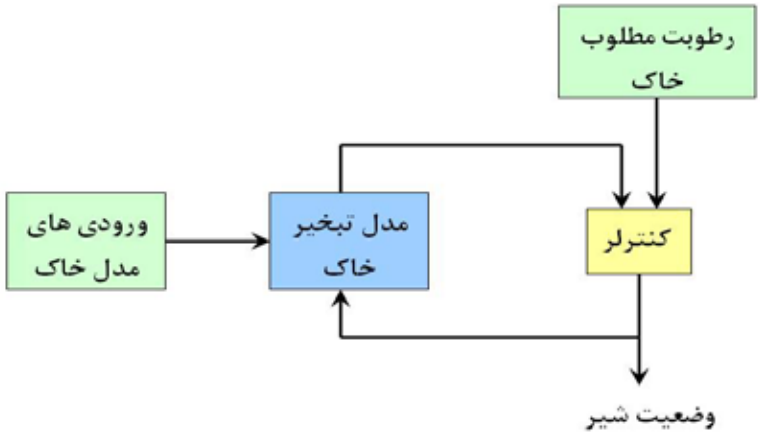
2 - Feedback

سیستمی که در این مقاله شرح داده می شود، از کنترل حلقه بسته استفاده می نماید که به طور پیوسته اطلاعات جدیدی در مورد پارامترهایی که بوسیله سیستم تغییر می کنند، به کنترلر منتقل می شود مانند رطوبت خاک. بر اساس اندازه گیری های انجام شده توسط حسگرها و اطلاعات از پیش تعریف شده مانند نوع گیاه و . . . کنترلر تصمیم می گیرد که شیر آب چقدر باز شود. پارامترهای اصلی که دوره آبیاری را تعیین می کنند، عبارتند از: مرحله رشد، وضعیت رشد(ارتفاع گیاه، عمق ریشه)، پوشش برگ، نوع خاک. بنابراین پارامترهای ورودی که بوسیله سیستم استفاده می شود، عبارتند از: رطوبت خاک، دما، تابش خورشید، سرعت باد، رطوبت هوا.

پارامترهای خروجی عبارتند از: باز و بسته کردن شیرهای آب یا کود مایع و تنظیم مقدار آنها در ترکیب(۲).

مواد و روش‌ها

شکل ۱ بلوک دیاگرامی از کل سیستم را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می نمایید سیستم کنترل از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است.



شکل ۱: *بلوک دیاگرام سیستم کنترل آبیاری*

۱- رطوبت مطلوب خاک: در این قسمت رطوبتی را که خاک باید داشته باشد تا محصول بتواند به رشد مناسب خود ادامه دهد، مدل می شود.

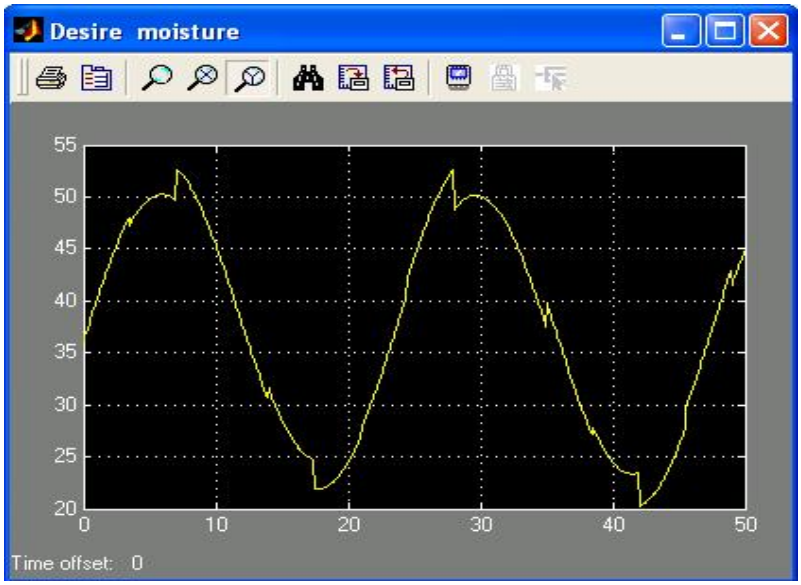
۲- ورودی های مدل خاک: در این مرحله تغییرات دما، شدت تابش، سرعت باد و رطوبت هوا مدل می گردد.

۳- مدل تبخیر خاک: این مدل با در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر رطوبت خاک مانند دما، شدت تابش، سرعت باد و رطوبت هوا و نیز مقدار آب اضافه شده به خاک رطوبت واقعی خاک را به دست می آورد.

٤- مرحله کنترل: در این مرحله رطوبت مطلوب خاک با رطوبت واقعی خاک اندازه گیری شده و مقایسه می شود. به دنبال این مقایسه یک تصمیم گیری دینامیکی، مقدار آبی را که باید به خاک اضافه شود، محاسبه می کند.

رطوبت مطلوب خاک

برای مدل کردن رطوبت مطلوب خاک ابتدا باید با توجه به نوع گیاه و دوره رشد آن مقدار آب مورد نیاز آن را استخراج‌کرده و سپس با توجه به نوع خاک مقدار رطوبت مطلوب خاک را محاسبه نمود که این کار برای هر گیاه و دوره رشد و نوع خاک متفاوت خواهدبود. شکل زیر نمونه‌ای فرضی از مدل رطوبت مطلوب خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۲: *نموداری فرضی از رطوبت مطلوب خاک در ۵۰ ساعت*

ورودی های مدل خاک

ورودی های مدل خاک به غیر از مقدار آب اضافه شده به خاک توسط سیستم، شامل چهار عامل مؤثر بر تبخیر و تعرق می باشد که عبارتند از:

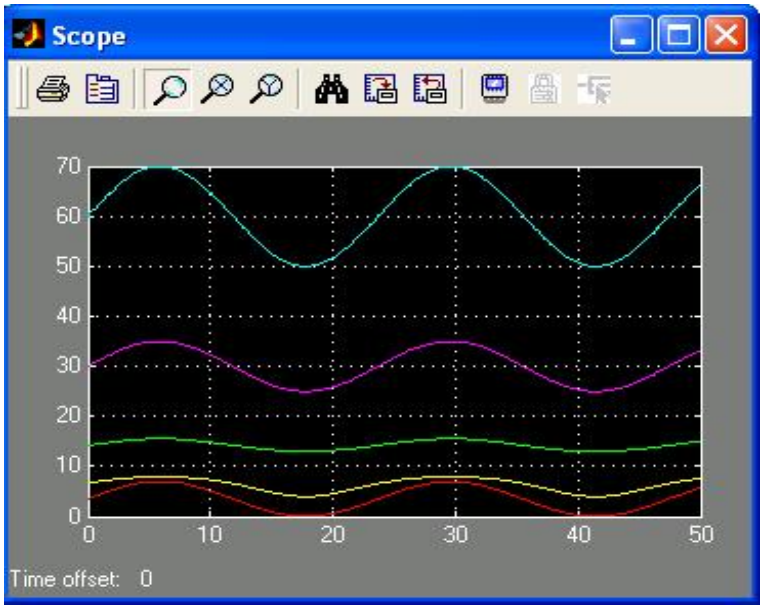
دما: اثر این پارامتر بر روی میزان تبخیر و تعرق مستقیم است. بدین معنی که با افزایش دما میزان تبخیر و تعرق خاک و گیاه افزایش یافته و با کاهش آن کمتر می شود. برای مدل کردن دما از یک سیگنال پیوسته که معمولاً به صورت یک موج سیسنوسی است، استفاده می‌شود که تغییرات دمای شب و روز را شبیه سازی می‌نماید. اما ممکن است در لحظات مشخصی تغییرات ناگهانی نیز وجود داشته‌باشد. برای این منظور از یک موج سینوسی، با دامنه ۵ درجه سانتیگراد و انحراف ثابت ۳۰ در جه سانتیگراد و با فرکانس ۰/۲۶۱۸ رادیان بر ساعت استفاده‌شد. این فرکانس برای مدت زمان ۲٤ ساعت اندازه گیری شده‌است. این مدل موجی، بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم [۳۵ و ۲۵] ایجاد می‌نماید. اگرچه می‌توان با تغییردادن این اعداد دمای هر روز را شبیه‌سازی نمود(نمودار صورتی رنگ).

رطوبت هوا: یک موج سینوسی با دامنه ۱۰٪ و میزان انحراف ثابت ٦۰٪ و با فرکانس ۰/۲٦۱۸ رادیان بر ساعت (نمودار آبی رنگ).

سرعت باد: یک موج سینوسی با دامنه یک و میزان انحراف ثابت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و با فرکانس ۰/۲٦۱۸ رادیان بر ساعت (نمودار زرد رنگ).

تابش خورشید: برای میزان تابش خورشید، نرم افزار، مجهز به امکاناتی برای انتخاب مدل و یا حالت اتوماتیک است. در مدلی که برای خاک طراحی شده است وضعیتی به نام حسگر نور وجود دارد که در صورتی که این وضعیت صفر باشد، از حالت مدل های اتوماتیک بهره می برد و در صورتی که این وضعیت برابر یک باشد، از مدل های درست شده استفاده می کند که برای دیدن پنجره مربوط به خصوصیات مدل خاک کافی است بر روی آن دو بار کلیک چپ کنید. در شکل ۳ نمودار سبز رنگ نشان دهنده مدل شدت تابش خورشید است.

در شکل زیر وضعیت ورودی های شرح داده شده در بالا را مشاهده می نمایید.



شکل ۳: *نمودار ورودی های مدل تبخیرخاک*

مدل تبخیر خاک(۱،۹)

برای مدل کردن تبخیر خاک از معادله فائو- پنمن- مونتیت استفاده شد. روش فائو- پنمن- مونتیت به عنوان یکی از معتبرترین روش ها برای تخمین تبخیر وتعرق مورد استفاده متخصصان قرار دارد. در روش مذکور گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی متر و ضریب بازتاب تابش[1] در آن ۲۳ درصد است. در گیاه چمن فرضی مونتیت، زبری سطح که بستگی به ارتفاع گیاه و سرعت باد دارد و لذا مقاومت آیرودینامیک در این مورد با آنچه در معادله پنمن می باشد، متفاوت است. لذا تابع باد در معادله پنمن مونتیت نیز متفاوت می باشد. علاوه بر مقاومت آیرودینامیک که مربوط به خارج شدن بخار آب از سطح پوشش گیاهی به هوای خارج می باشد، مقاومت دیگری نیز در نظر گرفته می شود و آن مقاومت روزنه های برگ در مقابل پخش بخار آب از آن به خارج می باشد. در واقع در معادله فائو- پنمن- مونتیت سطح پوشش گیاهی، بر خلاف روش پنمن یک سطح آب در نظر گرفته می شد، یک سطح مرطوب است. به عبارت دیگر در روش پنمن- مونتیت فرض می شود که کل سطح پوشش گیاهی یک برگ بزرگ با روزنه های موجود در آن است. به همین دلیل روش پنمن- مونتیت را روش برگ بزرگ[2] هم می گویند. معادله پنمن- مونتیت به صورت زیر می باشد:

(۱)

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)}$$

که در آن:

ET_o = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

R_n = تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)

1- Albedo
۲ -Big leaf

T = متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($^{\circ}C$)

u_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})

e_a-e_d = فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (Kpa)

Δ = شیب منحنی فشار بخار ($Kpa^{\circ}C^{-1}$)

γ = ضریب رطوبتی ($Kpa^{\circ}C^{-1}$)

G = شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) (در پوشش کامل گیاه برابر صفر است.)

برای بدست آوردن اجزاء معادله پنمن- مونتیت به ترتیب زیر عمل می شود.

۱- تعیین گرمای نهان تبخیر:

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})\,T \qquad (۲)$$

λ = گرمای نهان تبخیر ($MJkg^{-1}$)

۲- تعیین شیب منحنی فشار بخار:

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108\exp\left(\frac{17.27\,T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2} \qquad (۳)$$

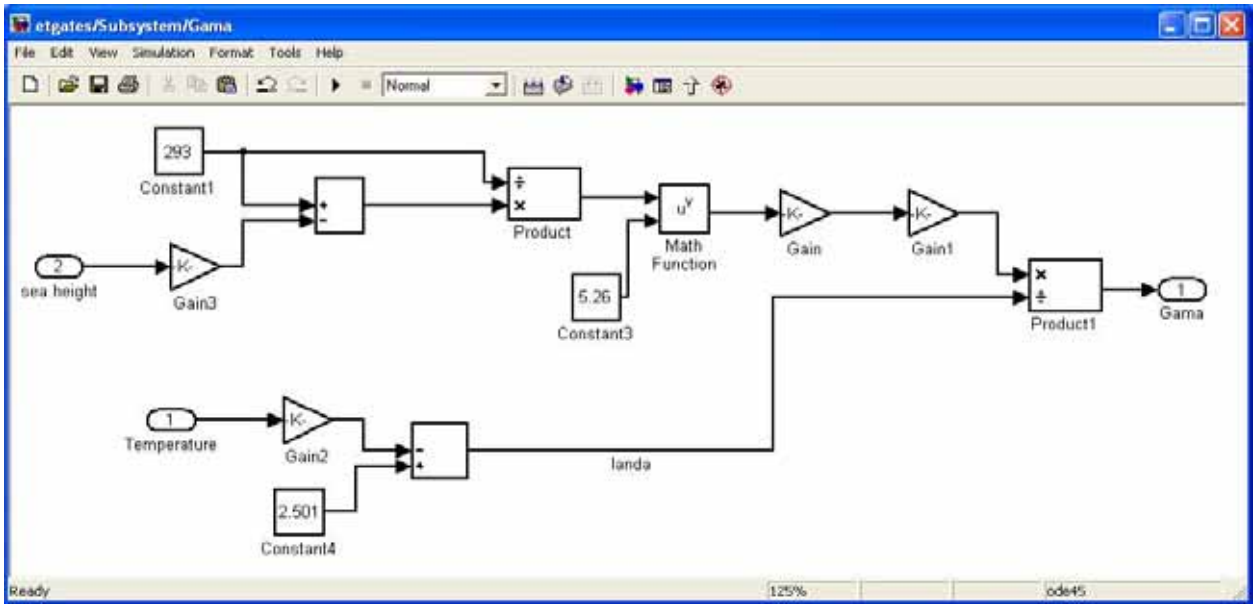
۳- تعیین ضریب رطوبتی

$$\gamma = 0.00163\,\frac{P}{\lambda} \qquad (٤)$$

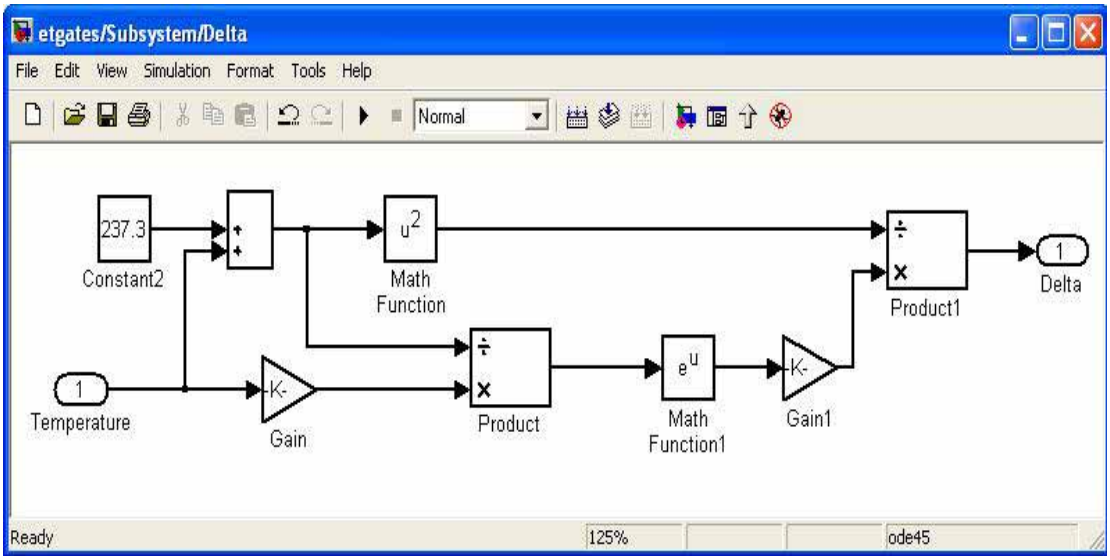
P= فشار هوا (Kpa) ، مقدار آن در صورتی که ارتفاع محل از سطح دریا مشخص باشد از معادله زیر بدست‌می‌آید.

$$P = 101.3\left(\frac{293 - 0.0065\,z}{293}\right)^{5.26} \qquad (۵)$$

z = ارتفاع محل از سطح دریا (m)



شکل ٤: *مدل تعیین ضریب رطوبتی به کمک فشار هوا و گرمای نهان تبخیر*

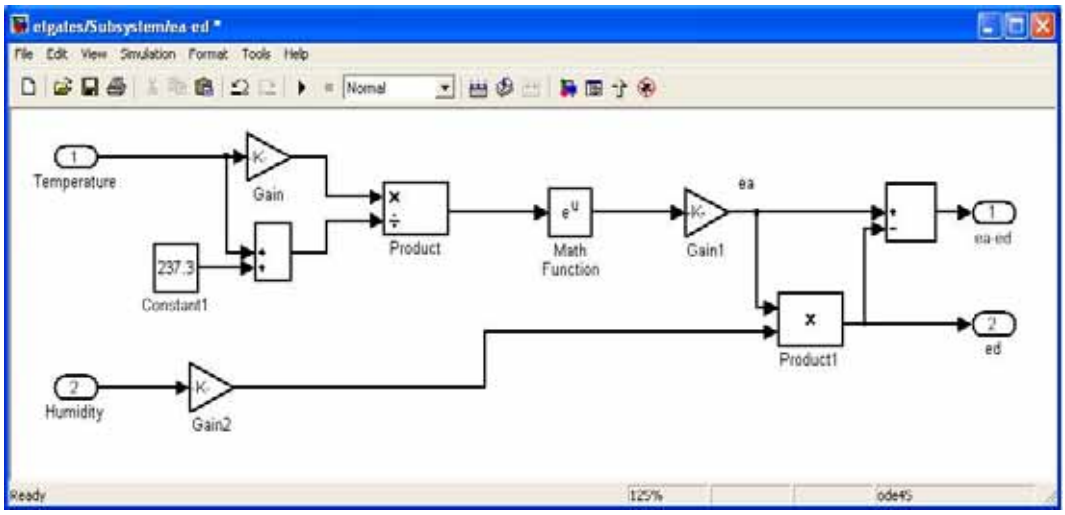


شکل ۵: *مدل محاسبه شیب منحنی فشار بخار*

٤- تعیین فشار بخار اشباع:

$$e_a = 0.611 \exp\left[\frac{17.27\ T}{T + 237.3}\right] \qquad (٦)$$

ea = فشار بخار اشباع (Kpa)



شکل ٦: *مدل فشار بخار در ارتفاع ۲ متری*

۵- تعیین مقدار تابش برون زمینی

برای محاسبه تابش خالص روی سطح گیاه، ابتدا لازم است تابش برون زمینی که به آن تابش فرازمینی هم گفته می شود، از معادلات زیر محاسبه شود.

$$R_a = 37.6\ dr(W_s \sin\phi.\ \mathrm{Sin}\ \delta + \cos\phi.\ \mathrm{Cos}\ \delta \sin W_s) \qquad (٧)$$

$$W_s = \arccos(-\tan\phi \tan\delta) \qquad (٨)$$

$$dr = 1 + 0.033 \cos(0.0172\ J) \qquad (٩)$$

$$\delta = 0.409 \sin (0.0172\, J - 1.39) \quad (۱۰)$$

$$J = \text{integer}(275M/9 - 30 + D) - 2 \quad (۱۱)$$

$$N = 7.64\, W_s \quad (۱۲)$$

$$R_a = 0.77(0.25 + 0.50\, n/N)R_a - 2.45 \times 10^{-9} (0.9\, n/N + 0.1)(0.34 - 0.14(e_d)^{0.5})(T_{kx}^{4} + T_{kn}^{4}) \quad (۱۳)$$

R_a = تابش برون زمینی ($MJm^{-2}d^{-1}$)

dr = فاصله نسبی زمین تا خورشید

δ = زاویه میل خورشید (رادیان)

ϕ = عرض جغرافیایی (رادیان)

Ws = زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان)

M = شماره ماه میلادی که تبخیر و تعرق برای آن محاسبه می شود

J = شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال مسیحی

D = شماره روز از ماه

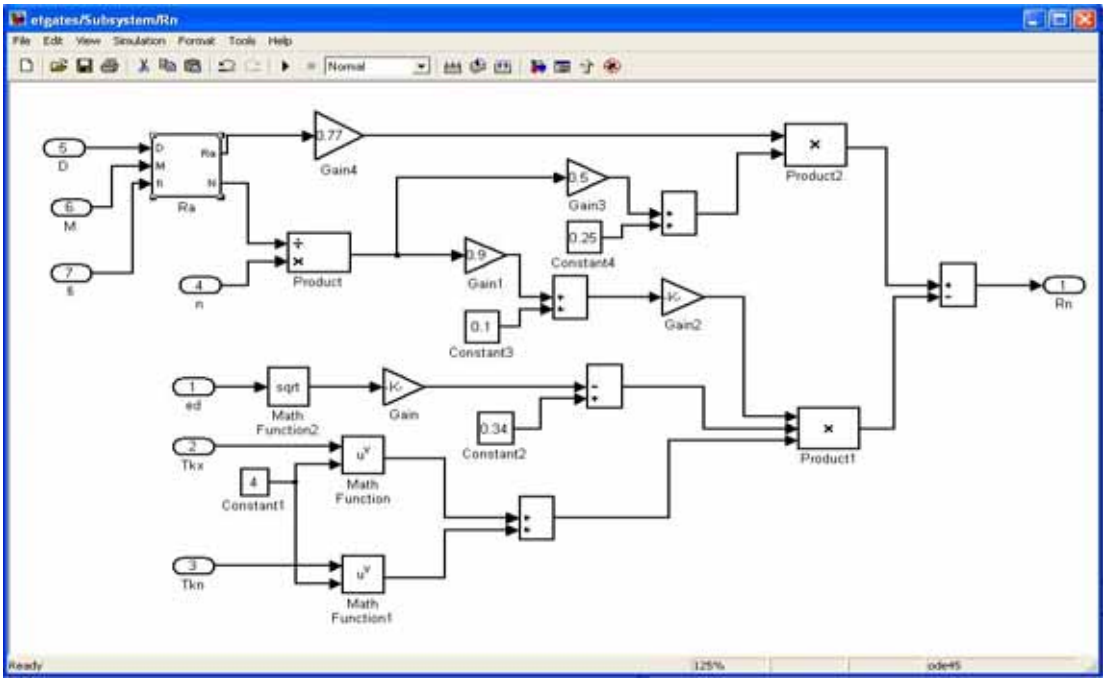
N = حداکثر ساعات روشنایی در روز (ساعت)

n = تعداد ساعات واقعی آفتاب (ساعت)

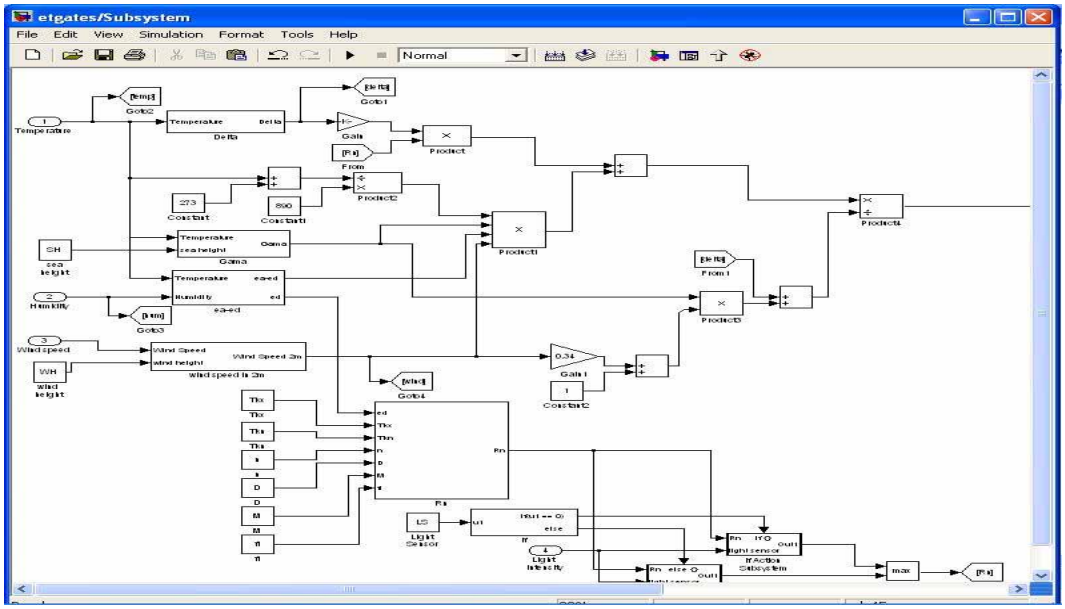
T_{kx} = حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه کلوین

T_{kn} = حداقل دمای روزانه بر حسب درجه کلوین

R_n = تابش خالص ($MJm^{-2}d^{-1}$)



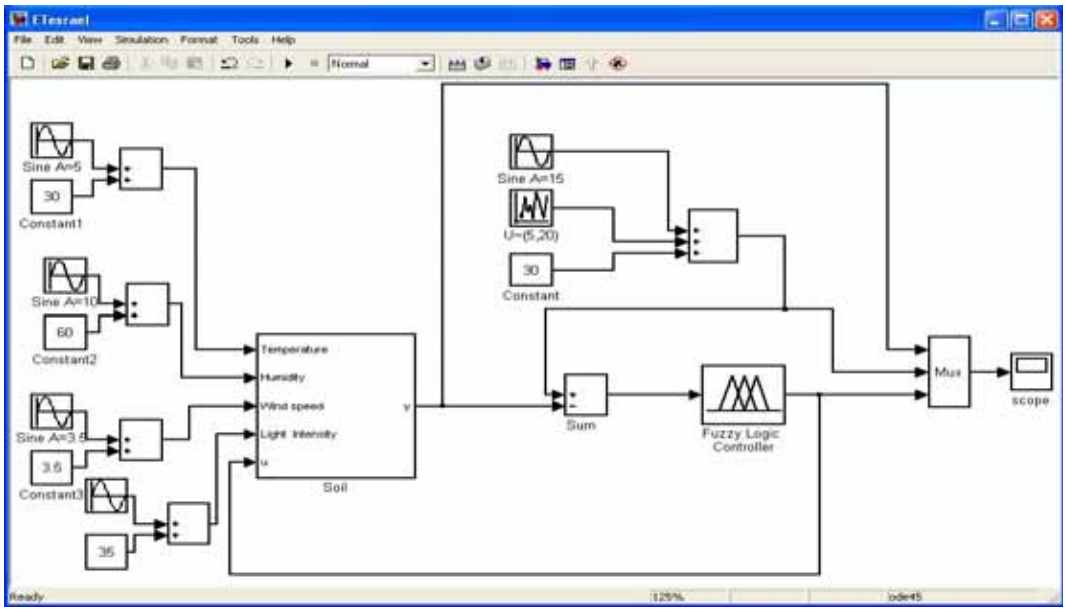
شکل ۷: *مدل محاسبه تابش خالص*



شکل ۸: *مدل تبخیر خاک*

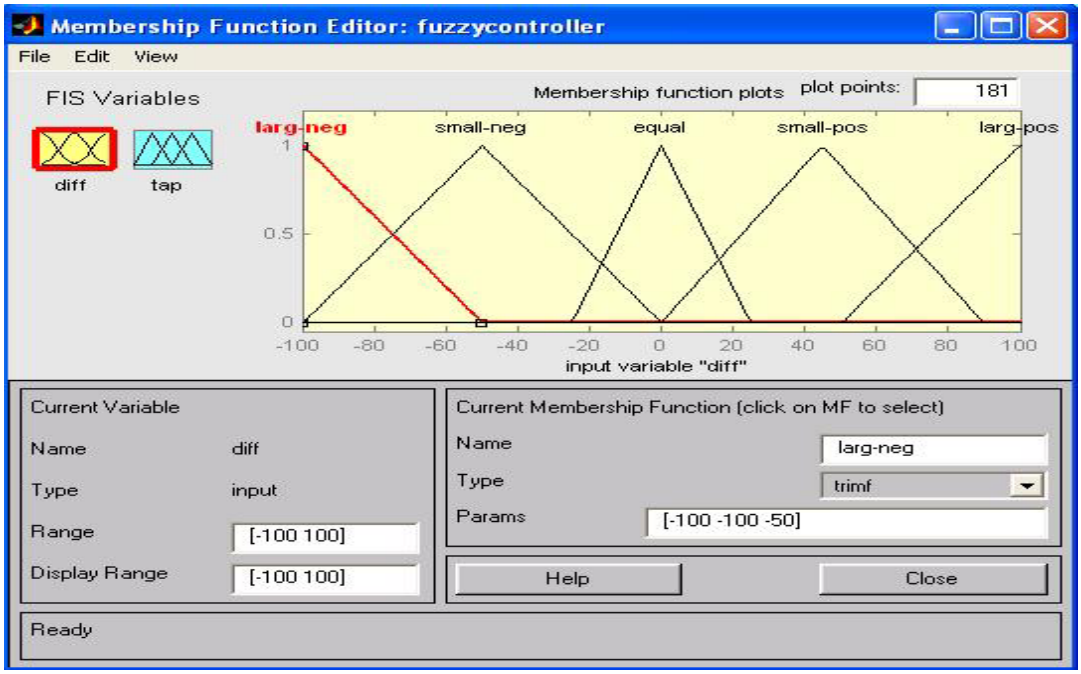
مرحله کنترل

در این مرحله رطوبت واقعی خاک از رطوبت مطلوب خاک کم می شود. به عبارتی اختلاف این دو مقدار را بدست آورده و سعی می شود این اختلاف تا حد امکان به صفر میل کند. خروجی این مرحله وضعیت شیر کنترل آب است و مقدار آبی را که به طور پیوسته باید به خاک اضافه شود تا مقدار خطا به صفر میل کند. بلوک دیاگرام کنترلر فازی در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیدا است، کنترلر فقط یک سیگنال ورودی (اختلاف بین مقادیر رطوبت واقعی و مطلوب خاک) و یک سیگنال خروجی(شیر کنترل) دارد. این موجب می شود که سیستم بسیار ساده باشد. مقادیر ورودی در محدوده[۱۰۰ و ۱۰۰-] و مقادیر خروجی در محدوده [۱۰۰ و۰] تعریف شده اند. کنترلر می تواند محدوده مطلوب عملکرد شیر را تعیین نماید.

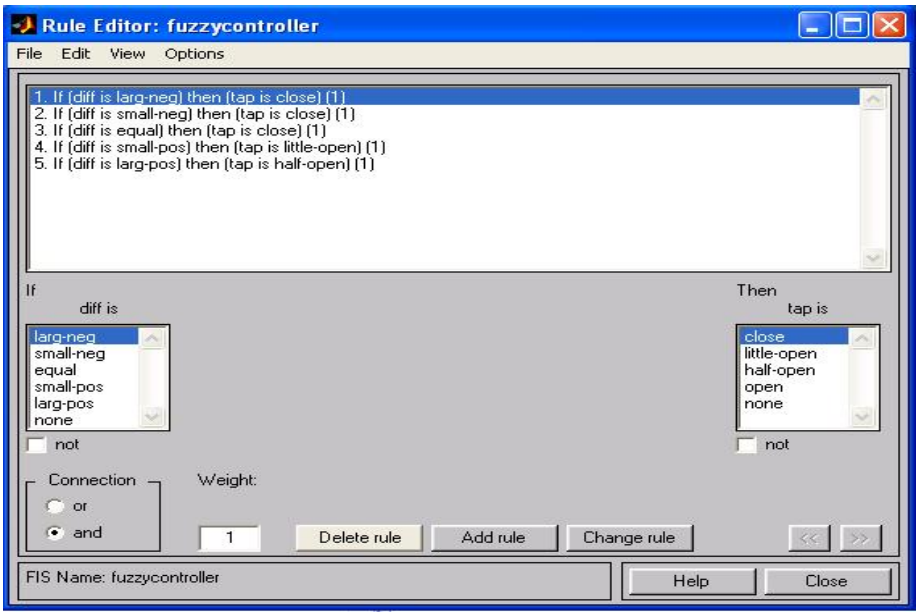


شکل ۹: *دیاگرامی از سیستم کنترل فازی*

تابع عضویت ورودی کنترلر فازی که در واقع اختلاف رطوبت مطلوب و واقعی خاک است، در شکل ۱۰ نشان‌داده شده‌است. قوانین کنترلر خیلی ساده هستند و تنها ۵ قانون وجود دارد. این قوانین در شکل ۱۱ نشان داده شده‌است.

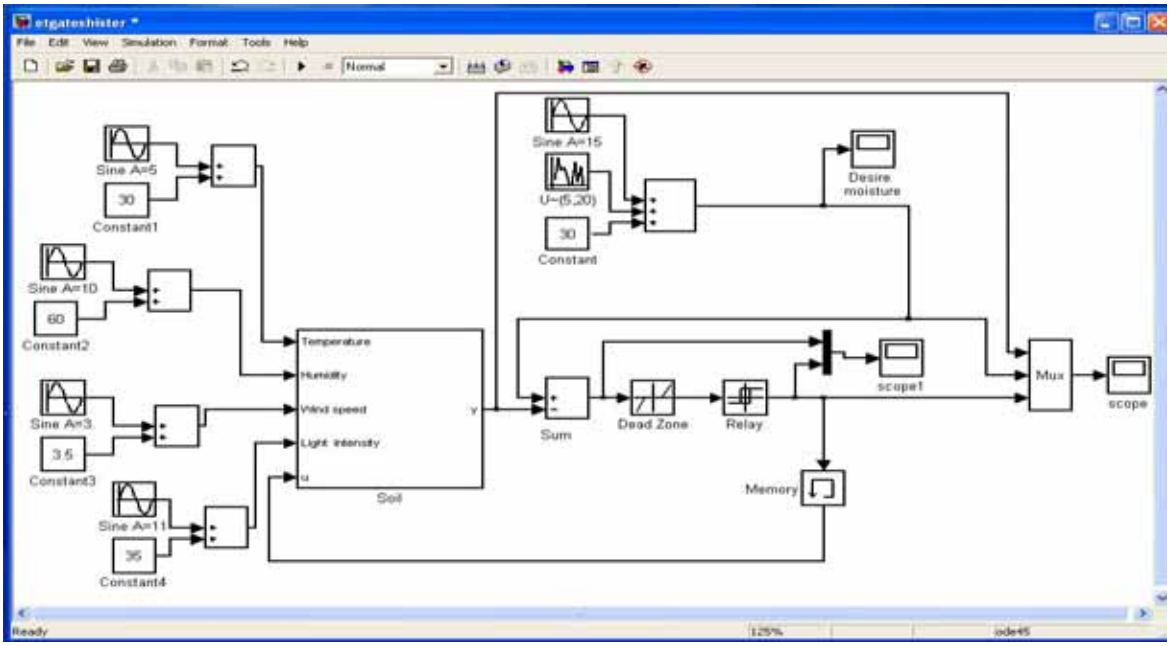


شکل ۱۰: *تابع عضویت متغیر ورودی کنترلر فازی*



شکل ۱۱: *پنجره قوانین کنترلر فازی*

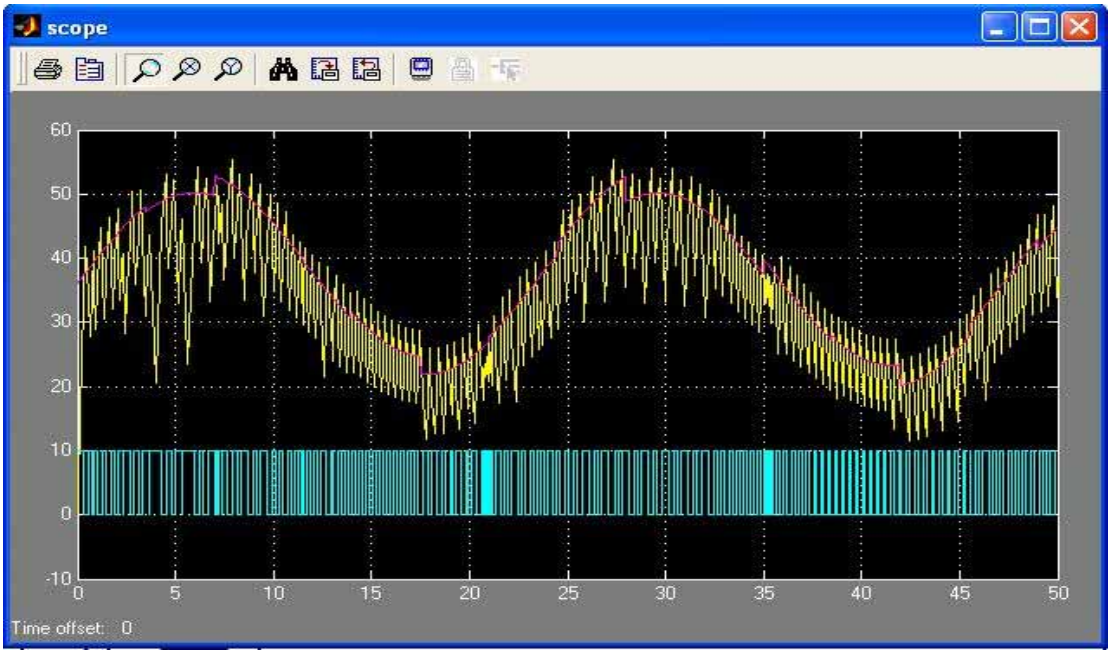
بلوک دیاگرام کنترل ON/OFF با هیسترزیس و بدون آن نیز در شکل ۱۲ نشان داده شده است. کنترلری که هیسترزیس ندارد در صورتی که رطوبت مطلوب از رطوبت واقعی خاک بیشتر باشد، شیر آب را باز و در غیر این صورت آن را می بندد. در صورتی که کنترلری که مجهز به هیسترزیس است، زمانی شیر آب را باز می کند که رطوبت مطلوب، حداقل به اندازه مقدارهیسترزیس از رطوبت واقعی بیشتر باشد.



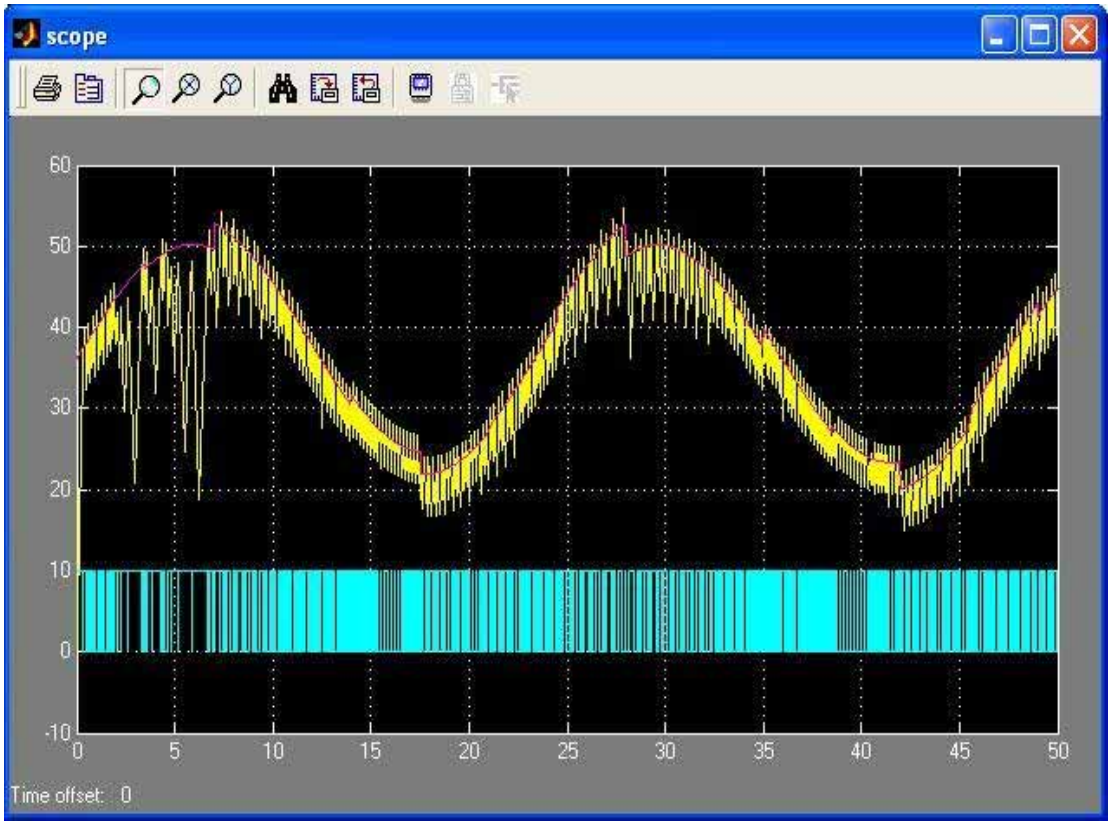
شکل ۱۲: *دیاگرامی از سیستم کنترل ON/OFF با هیسترزیس و بدون آن*

نتایج و بحث

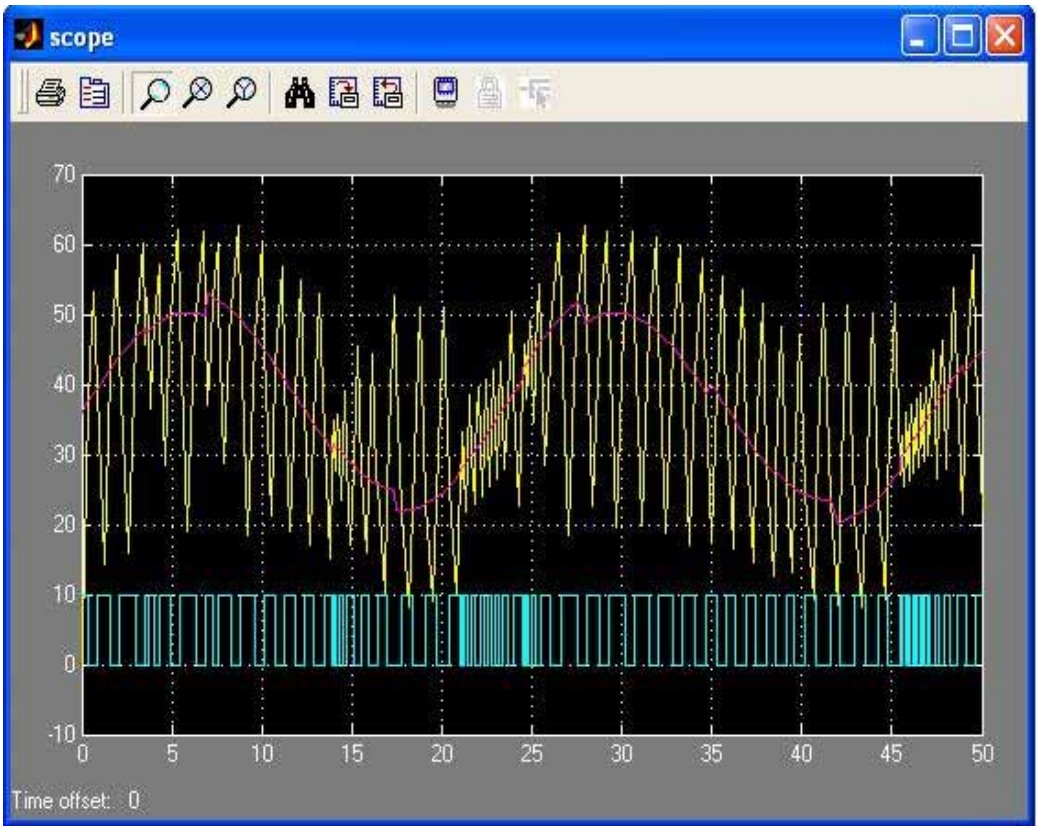
شکل های ۱۳ و ۱٤ و ۱۵ و ۱٦ نتایج شبیه‌سازی را به طور گرافیکی نشان می‌دهد. در این شکل‌ها نمودار مشخص شده با رنگ صورتی مقدار رطوبت مطلوب خاک و نمودار مشخص شده با رنگ زرد رطوبت واقعی خاک را نشان می دهد. در ضمن باز یا بسته شدن شیر آب و میزان بازشدگی دریچه توسط نمودارهای آبی رنگ نشان داده شده است.



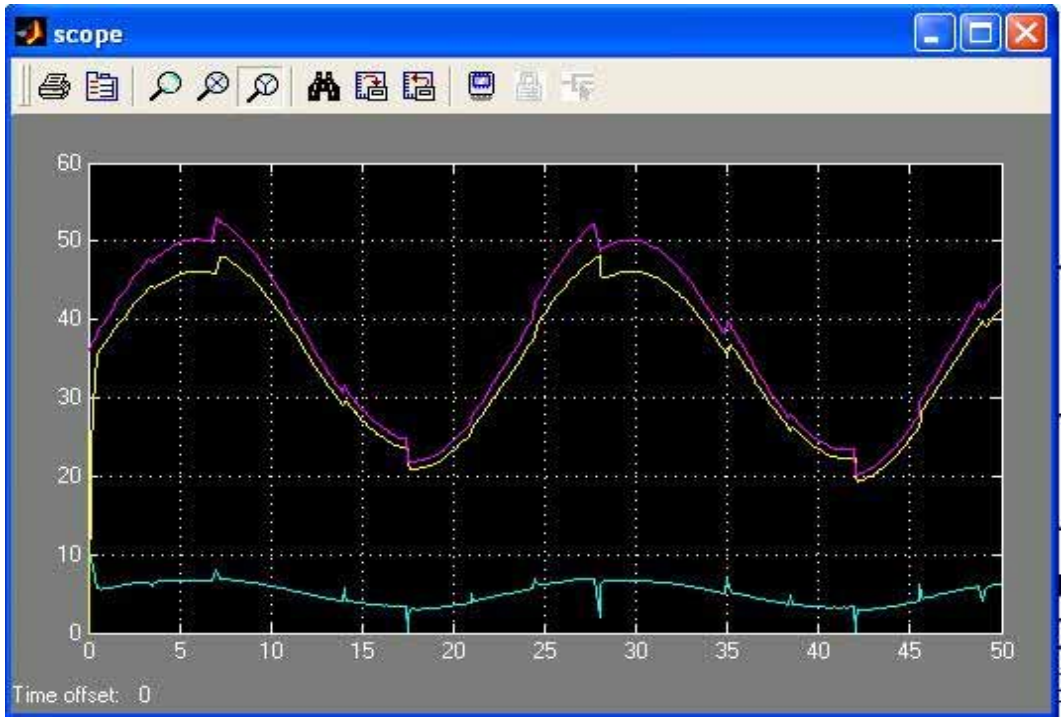
شکل ۱۳: *نتایج شبیه سازی سیستم کنترل ON/OFF با هیسترزیس ٤ ±*



شکل ١٤: *نتایج شبیه سازی سیستم کنترل ON/OFF با هیسترزیس ۲ ±*



شکل ١٥: *نتایج شبیه سازی سیستم کنترل ON/OFF بدون هیسترزیس*



شکل ١٦: *نتایج شبیه سازی سیستم کنترل فازی*

چندین نکته خیلی مهم قابل استخراج از شکل های ۱۳- ١٦ وجود دارد:

۱- در سیستم های کنترل ON/OFF اگرچه رطوبت واقعی، رطوبت مطلوب خاک را دنبال می کند ولی با نوسانات پیوسته ای حول مقادیر مطلوب همراه است و به عبارتی سیستم کاملاً پایا نیست.

۲- در سیستم های کنترل ON/OFF با هیسترزیس هرچه مقدار هیسترزیس کمتر می شود، نوسانات رطوبت واقعی خاک افزایش یافته، به دنبال آن باز و بسته شدن شیر آب بیشتر و میزان استهلاک و مصرف انرژی افزایش می یابد.

۳- در سیستم های کنترل ON/OFF بدون هیسترزیس اگرچه میزان نوسانات رطوبت واقعی خاک، باز و بسته شدن شیر آب، استهلاک و مصرف انرژی نسبت به حالت مجهز به هیسترزیس کاهش می یابد ولی تلفات آب و تنش های آبی در خاک و گیاه افزایش می یابد.

٤- در سیستم کنترل فازی در طول مدت شبیه سازی رطوبت واقعی خاک رطوبت مطلوب را دنبال می کند و مانند سیستم های ON/OFF دارای نوسان نیست.

٥- در سیستم کنترل فازی اختلاف بین رطوبت واقعی و مطلوب خاک (خطا) منطقی است و کاملاً یکنواخت و ثابت است(حدود ۲-۳٪) این نشان می دهد که کنترل آبیاری پایا است.

٦- در سیستم کنترل فازی میزان باز و بسته شدن شیر آب بسیار کمتر از سیستم ON/OFF می باشد و در نتیجه مصرف انرژی و میزان استهلاک کمتر می باشد. اگرچه ضمن صرفه جویی در مصرف آب از ایجاد تنش های آبی در خاک و گیاه هم جلوگیری می نماید.

۷- در هر سه سیستم کنترل، مدل های تولید ورودی به کاربر اجازه می دهند که ورودی های بسیار مختلفی را ایجاد کند. بنابراین کنترلر می تواند در هر نوع شرایط آب و هوایی عمل کند.

۸- در نتیجه هدف اصلی که طراحی سیستم کنترل ارزان قیمت و انعطاف پذیر است توسط سیستم های کنترل فازی تأمین می شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله سه سیستم کنترل آبیاری مجهز به کنترلر فازی، کنترلر ON/OFF با هیسترزیس و بدون آن تشریح شده است، در ابتدا ساختار کلی و عناصر آن را توضیح داده شده، سپس مثال هایی عنوان شده که سیستم در طی محدوده های مناسب عمل می کند و پایدار است. در نهایت سیستم های کنترل فازی نسبت به دیگر سیستم ها قابلیت بیشتری از خود نشان دادند که توانایی صرفه جویی در مصرف آب، کاهش مصرف انرژی، کاهش استهلاک قطعات سیستم کنترل، جلوگیری از ایجاد تنش های آبی در خاک وگیاه را دارند و در ضمن بسیار ارزان قیمت هستند. بنابراین استفاده از این نوع سیستم کنترل برای همه نوع فعالیت های کشاورزی بسیار مفید است.

منابع

۱-علیزاده، امین. ۱۳۸۵. رابطه آب و خاک و گیاه (تألیف)، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)-مشهد، ٤٧٢ صفحه.

2- Bahat M., Inbar G., Yaniv O. and M. Schneider, 2000. A fuzzy irrigation controller system. Engineering Applications of Artificial Intelligence 13: 137-145.

3- Burman R. and L.O. Pochop, 2004. Evaporation evapotranspiration and climatic data. Elsevier, Amsterdam.

4- Evans R., Sneed R.E. and D.K. Cassel, 2006. Irrigation scheduling to improve water and energy use efficiencies, North Carolina Cooperative extension Service (AG 452-4).

5- Ioslovich I., Gutman P. and I. Seginer, 2006. A non linear optimal greenhouse control problem with heating and ventilation, Optimal Control applications and methods, 17: 157-169.

6- Klir G.J. and B. Yuan, 2005. Fuzysets and fuzzy logic. Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ.

7- Or D., 2005. Soil water sensors placement and interpretation for drip irrigation management in heterogeneous soils. In: Proceeding of 5th International Microirrigation Congress, 214-222.

8- Reuter D. C. and R. S. Everett, 2000, Control theory and applications: neural-fuzzy controller for lawn irrigation.

9- Richard G. A., Luis S. P., Dirk R. and S. Martin, 2006, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56: Crop Evapotranspiration.

10- Schneider M., Kandel A., Langholz G. and G. Chew, 2006. Fuzzy expert system tools. Wiley, New York.

11- Zazueta F.S., Smajstrla A.G. and G.A. Clark, 2004. Irrigation system controllers. Institute of Food and Agriculture Science, University of Florida (AGE-32).