

Gömülü Kontrolör ile Sera İklimlendirme Sisteminin Bulanık Kontrolü

Fuzzy Control of Greenhouse Climate System with Embedded Controller

Hakkı Soy¹, Ersen Yılmaz², Yusuf Dilay¹

¹Meslek Yüksekokulu
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
hakkisoy@selcuk.edu.tr, ydilay@selcuk.edu.tr

²Elektronik Mühendisliği, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Uludağ Üniversitesi
ersen@uludag.edu.tr

Özet

Bu çalışmada sera iklimlendirme sisteminin bulanık kontrolü ele alınmıştır. Seranın sıcaklık ve nem değerleri gömülü bir kontrolör tarafından kontrol edilmektedir. Tasarlanan kontrolör modelinin başarımı Proteus VSM kullanılarak test edilmiştir.

Abstract

In this study fuzzy control of greenhouse climate system is considered. Temperature and humidity values of greenhouse are controlled by embedded controller. Performance of designed controller model is tested by Proteus VSM.

1. Giriş

Doğal yetiştirme koşullarının uygun olmadığı bölgelerde ve/veya mevsimlerde bitki yetiştirilmesi için ortam parametreleri kontrol edilerek gerekli çevresel şartların sağlandığı, etrafı güneş ışınlarının geçmesine izin verecek şekilde yarı saydam plastik veya cam duvarlar ile çevrilmiş yapılar sera olarak isimlendirilir. Seralarda kapalı ortam içinde oluşturulan mikro iklim ile istenilen ürünlerin yetiştirilmesine imkân verildiği gibi aynı zamanda dış ortamda var olan elverişsiz iklim şartlarına karşı koruma sağlanmış olunur. Sera yetiştiriciliğinin dezavantajı maliyet açısından tarlada ürün yetiştirmeye göre daha pahalı olmasıdır. Bu sebepten rekabeti sağlayabilmek için üretim maliyetlerini düşürülerek, verim artırılmalıdır. Sera yetiştiriciliğinde ürün verimliliğinin artırılabilmesi büyük ölçüde ortam iklim şartlarının optimal değerlere ayarlanmasına bağlıdır [1].

Seralarda iklimlendirme sistemi kontrolüne yönelik pek çok çalışma yapılmıştır [2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Son yıllarda tüm dünyada yaşanan enerji dar boğazları ve enerji maliyetlerinin yükselmesi her alanda olduğu gibi tarımda da minimum enerji ile maksimum performansa ulaşma hedefini ön plana çıkarmıştır. Bu sebepten sera iklimlendirme kontrol sistemi tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biri de şüphesiz enerji tüketimini en aza indirerek tasarruf sağlamak olmalıdır. Sera iklimlendirmesinde kontrol edilecek ortam parametreleri içinde en önemlileri sıcaklık ve havadaki bağıl nem

değerleridir. Yetiştirilen ürünlerde görülen hastalıklar da ortamın sıcaklık ve nem değerlerinden fazlasıyla etkilenir. Ayrıca topraktaki nem, rüzgar hızı ve yönü, yağış durumu, ortam CO₂ konsantrasyonu vb. parametreler kontrol edilerek ortam içinde optimal yetiştirme şartları sağlanabilir.

Seralarda iklimlendirme kontrolü ticari ve endüstriyel binalar ile karşılaştırıldığında önemli derecede farklılıklar gösterir. Örneğin güneş ışığının hızlı değişimleri sonucunda ısıtma ve özellikle soğutma yüklerinde ani değişimler meydana gelir [1]. Sera iklimlendirme kontrolü için düşünülmesi gereken asıl problem sera içi ve dışı ortam parametreleri arasındaki karmaşık etkileşimdir. Geleneksel PID kontrolörler kullanılarak gerçekleştirilen kontrol sistemleri ortam parametreleri arasında etkileşimin bulunduğu bu tip uygulamalar için uygun değildir [2]. Sera dışı ortam sıcaklığı ve içeriye ulaşan güneş ışınları sera içinde ortam hava sıcaklığını doğrudan etkiler. Ayrıca sera içinde hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri birbiri ile yakından ilişkilidir. Mutlak nem miktarı sabitken hava sıcaklığı düşerse bağıl nem değeri artar. Ortam içindeki hava kendisinden daha soğuk bir hava kütlesi içinden geçerse sıcaklığı azalır. Soğuyan havanın taşıyacağı nem kapasitesi düşer ve bağıl nem değeri artar. Bunun tersine ortam sıcaklığı artarsa bağıl nem değeri azalır. Isınan hava yoğunluğunun düşmesi sebebi genişleyeceğinden taşıyacağı nem kapasitesi artar. Sıcaklık ile orantılı miktarda buharlaşma gerçekleşmez ise havada nem açığı büyür ve bağıl nem değeri azalır.

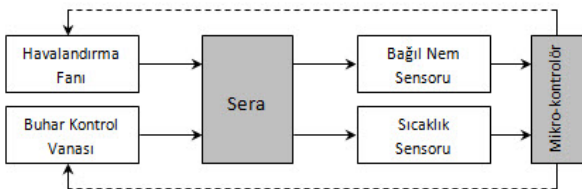
İstenen yetiştirme şartlarının sağlanması için kontrol edilen ortam parametrelerinin durumuna göre ısıtma, soğutma, havalandırma, sulama vb. işlemler gerçekleştirilir. Örneğin ortam hava sıcaklığının kontrolü için havalandırma pencereleri ile doğal havalandırma, vantilatörler yardımı ile mekanik havalandırma yapılırken; soğutma için fanlar ile birlikte yastık sistemi, ısıtma için sıcak havalı ve sıcak sulu sistemler kullanılabilir [3]. Sera iklimlendirme kontrolünde özellikle ısıtma harcamaları bazı durumlarda üretim masraflarının %65'ine kadar ulaşabilmektedir. Enerji maliyeti nedeniyle seraların yeterince ısıtılmaması ürün kalitesinin ve miktarının istenilen seviyeye getirilememesi sonuçlarını doğurur [4]. Ortam hava sıcaklığı kontrol edilerek bitki yaprakları ve bünyesinde gerçekleşen ısı geçişi ve enerji dengesi kontrol edilebilir. Bitkiler belli bir sıcaklık değeri

altında güneş ışınımı ve diğer etmenler sabit kabul edildiğinde büyümektedir [5]. Bağıl nem değeri ise ortam içinde hava sirkülasyonunun düzenlenmesi için gerekli olan enerji miktarını etkiler. Ortamın bağıl nem değeri kontrolü ekonomik optimal iklimlendirme için önemli rol oynarken ürünün gelişiminde büyük öneme sahiptir [2]. Özellikle yetiştirilen bitkilerin birbirine çok yakın olduğu durumlarda sera içindeki yüksek nem hastalık gelişimini teşvik eder. Sera yetiştiriciliğinde gündüzleri bağıl nem değeri genellikle %25 - %70 arasında olup bu değer aralığı sorun oluşturmaz. Buna karşılık gece boyunca bağıl nem değeri %90 seviyesinin üstüne çıkabilir. Özellikle yağmurlu kış günlerinde bağıl nem değeri gündüz ve gece boyunca %100'e yakın olarak kalır ve bu durum sera içinde önemli bir yoğunlaşmaya sebep olur [6].

Sera iklimlendirme kontrolü için tasarlanacak etkili bir kontrol sistemi öncelikle ortam sıcaklığı ve bağıl nem değerlerinin kontrolünde başarı göstermelidir. Ortam sıcaklığı kontrol edilirken ısıtma işlemi gerçekleştirmek üzere sera içinde sıcak buhar taşıyan boru hattı yerleştirilmesi düşünülebilir. Böylece sıcaklığın istenenden düşük olduğu durumlarda buhar kontrol vanasının açıklığı artırılarak daha fazla ısı aktarımı sağlanır. Yüksek bağıl nem değeri görülmesi durumunda hava sirkülasyonu sağlamak üzere pek çok sera havalandırma fanları ile donatılmıştır. Sıcak hava kütlesi fanlar ile dışarı atılarak yerine dışarıdan taze ve serin hava alınır. Eğer dış ortamdan alınan hava içeridekinden daha kuruyorsa ısıtılır. Bu şekilde gerçekleştirilecek havalandırma bağıl nem değerini ve beraberinde getirdiği yoğunlaşmayı büyük ölçüde düşürür.

2. Bulanık Kontrol Sistemi Tasarımı

Sera iklimlendirme kontrolü için tasarlanan kontrol sistemi Şekil 1'de gösterilmiştir. Tasarlanan sistemde ortam sıcaklığı ve bağıl nem sensorlarından periyodik olarak alınan veriler mikro kontrolör tarafından değerlendirilerek buhar kontrol vanası açıklığı ve havalandırma fanları hızının bulanık kontrolü ile ortam sıcaklık ve nem değerleri kontrol edilmiştir.

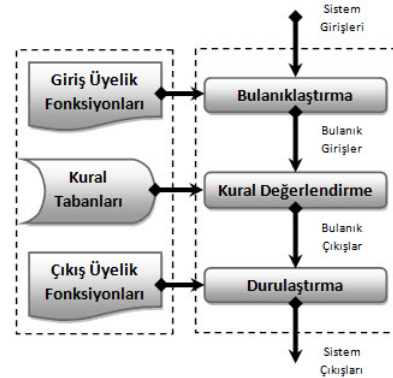


Şekil 1: Sera iklimlendirme kontrol sistemi.

Sera modeli dağıtık parametrelere sahip olup pek çok noktada lineer olamayan karakteristikler (ölü zamanlar, düzgün olmayan hava dağılımı vb.) gösterir. Bunun yanında rüzgârın yönü ve hızı, dış ortam sıcaklığı, mevsimsel olarak güneş ışınlarının geliş açısının değişmesi, terleme olayı vb. kontrol edilemeyen etkenlerin bulunması sistem kontrolünü daha da zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerden sera iklimlendirme sistemi kontrolünde matematiksel modelinin kurulması çoğu kez mümkün değildir. Geleneksel kontrol yöntemlerinden istenen verim alınamayan bu tip problemlerin çözümünde pek çok uygulamada olduğu gibi bulanık kontrol yönteminden faydalanılabilir.

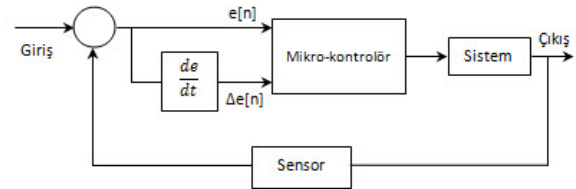
Bulanık mantık temelli kontrolörler Şekil 2'de gösterildiği gibi çıkış değerlerinin hesaplanması için insan beyninin karar

verme mekanizmasını taklit eden kural tabanlı bir sonuç çıkarım sistemine sahiptir. Sera yetiştiriciliğinin her aşamasında sahip olunan sezgisel uzman tecrübeleri kontrol sistemi tasarımında uygun kontrol hareketlerinin sağlanmasında kullanılabilir. Sıcaklık ve bağıl nem değeri gibi ortam parametrelerinin düzenlenmesi amacıyla bulanık gömülü kontrolör kullanılması ısıtma ve havalandırmaya yönelik enerji tüketimini minimuma düşürmek için oldukça güçlü bir yaklaşım sağlar.



Şekil 2: Bulanık kontrol program modeli.

Kontrol edilen ortam parametreleri yetiştirilen ürün için en uygun nokta olan ayar değerlerine yaklaştıkça ürün verimi artırılabileceği gibi enerji maliyeti de azaltılacaktır. Bu sebepten kontrol stratejisi belirlenirken en önemli konu sıcaklık ve nem kontrolü için uygun bir yaklaşım seçilmesidir. Bu çalışmada tasarlanan kontrol sistemi için basitlik, hassasiyet, maliyet ve verim amaçları ön planda tutulmuştur. İklimlendirme kontrolü için önerilen bulanık PD kontrolör blok diyagramı Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3: Bulanık PD kontrolör blok diyagramı.

2.1. Sistem Girişleri

Sera yetiştiriciliğinde farklı bitki türleri için istenen ortam şartları değişiklik göstermektedir. Bu sebepten öncelikle kullanıcıya ortam sıcaklığı ve bağıl nem miktarı için ayar değerleri belirleme imkânı verilmiştir. Sıcaklık kontrolü için iç ortam sıcaklık sensorundan alınan değer ile kullanıcı tarafından belirlenen sıcaklık ayar değeri karşılaştırılarak sıcaklık hata değeri bulunur.

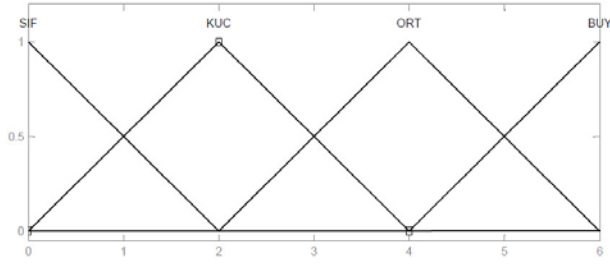
$$SH = IS - OS \quad (1)$$

SH: Sıcaklık hatası

IS: İstenen sıcaklık

OS: Ölçülen sıcaklık

Şekil 4'de sıcaklık hatası değeri için bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Sıcaklık hatası için sıfıra yakın (SIF), küçük (KUC), orta (ORT) ve büyük (BUY) olmak üzere dört farklı bulanık küme tanımlanmıştır.



Şekil 4: Sıcaklık hatasının bulanıklaştırılması.

İç ortamda ölçülen sıcaklık değeri kullanıcı tarafından belirlenen ayar değerinden daha düşükse yani sıcaklık hatası pozitifse ($SH > 0$) ısıtma sistemi aktif duruma getirilir. Bu şekilde buhar vanası açıklığının ayarlanması ile sıcak hava taşıyan boruların sıcaklığı artırılarak ortam sıcaklığı değiştirilebilir. Buhar vanasının açıklığı belirlenirken dikkate alınan diğer bir kriter de sıcaklık hatasının değişim miktarıdır.

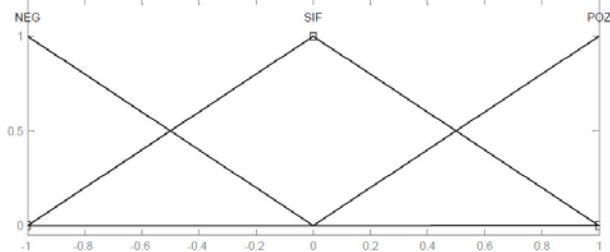
$$\Delta SH = SH[n] - SH[n - 1] \quad (2)$$

ΔSH : Sıcaklık hatası değişimi

$SH[n]$: Sıcaklık hatasının o anki örnekleme değeri

$SH[n - 1]$: Sıcaklık hatasının bir önceki örnekleme değeri

Şekil 5'de sıcaklık hatası değişim değeri için bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Sıcaklık hatası değişimi için negatif (NEG), sıfıra yakın (SIF) ve pozitif (POZ) olmak üzere üç farklı bulanık küme tanımlanmıştır.



Şekil 5: Sıcaklık hatası değişiminin bulanıklaştırılması.

Nem kontrolü için bağıl nem sensordan alınan değer ile kullanıcı tarafından belirlenen nem ayar değeri karşılaştırılarak nem hata değeri bulunur.

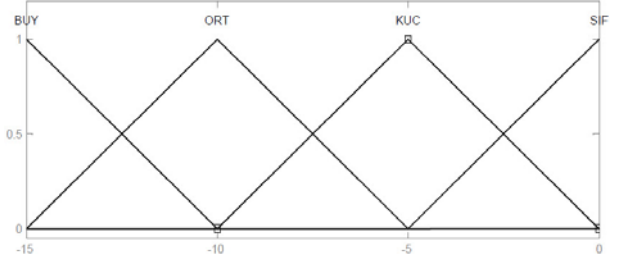
$$NH = IN - ON \quad (3)$$

NH : Bağıl nem hatası

IN : İstenen bağıl nem

ON : Ölçülen bağıl nem

Şekil 6'da bağıl nem hatası değeri için bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Bağıl nem hatası için büyük (BUY), orta (ORT), küçük (KUC) ve sıfıra yakın (SIF) olmak üzere dört farklı bulanık küme tanımlanmıştır.



Şekil 6: Bağıl nem hatasının bulanıklaştırılması.

İç ortamda ölçülen bağıl nem değeri kullanıcı tarafından belirlenen ayar değerinden daha yüksekse yani bağıl nem hatası negatifse ($NH < 0$) havalandırma sistemi aktif duruma getirilir. Bu şekilde fan motoru hızının ayarlanması ile hava sirkülasyonu sağlanarak ortamın bağıl nem miktarı değiştirilebilir. Havalandırma fan motoru hızı belirlenirken dikkate alınan diğer bir kriter de bağıl nem hatasının değişim miktarıdır.

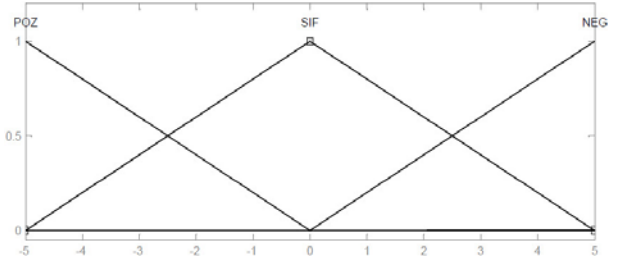
$$\Delta NH = NH[n] - NH[n - 1] \quad (4)$$

ΔNH : Bağıl nem hatası değişimi

$NH[n]$: Bağıl nem hatasının o anki örnekleme değeri

$NH[n - 1]$: Bağıl nem hatasının bir önceki örnekleme değeri

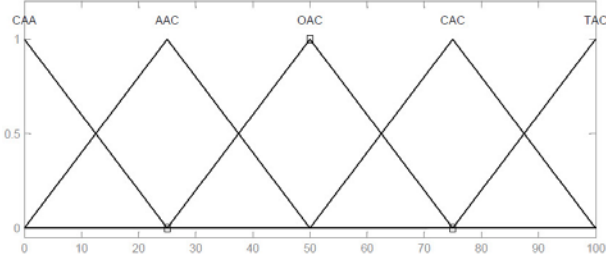
Şekil 7'de bağıl nem hatası değişim değeri için bulanık kümelerin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Sıcaklık hatası değişimi için pozitif (POZ), sıfıra yakın (SIF) ve negatif (NEG) olmak üzere üç farklı bulanık küme tanımlanmıştır.



Şekil 7: Bağıl nem hatası değişiminin bulanıklaştırılması.

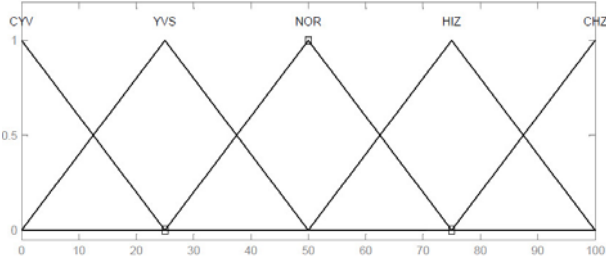
2.2. Sistem Çıktıları

Sistem çıktıları olan buhar kontrol vanası açıklığı ve havalandırma fan motoru hızı değiştirilerek ortam sıcaklık ve nem değerleri kontrolü gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık hatası ve sıcaklık hatası değişim miktarı değerlerinin durumuna göre kural tabanı değerlendirilerek ortam sıcaklığını kontrol etmek üzere elektronik uyarıcı kontrol vanasının açıklığı maksimum vana açıklığının belirli bir yüzdesi oranında değerlere ayarlanır. Buhar kontrol vanası açıklığı için çok az açık (CAA), az açık (AAC), orta açık (OAC), çok açık (CAC), tam açık (TAC) olmak üzere beş farklı bulanık değişken tanımlanmış olup kullanılan çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 8'de gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonları seçilirken hesaplama kolaylığı sağlamak amacıyla üçgen üyelik fonksiyonları kullanımı tercih edilmiştir.



Şekil 8: Buhar kontrol vanası çıkış üyelik fonksiyonları.

Benzer şekilde nem hatası ve nem hatası değişim miktarı değerlerinin durumuna göre kural tabanı değerlendirilerek ortam bağıl nemini kontrol etmeye üzere havalandırma fanlarının hızı maksimum fan hızının belirli bir yüzdesi oranında değerlere ayarlanır. Havalandırma fan motoru hızı için çok yavaş (CYV), yavaş (YVS), normal (NOR), hızlı (HIZ), çok hızlı (CHZ) olmak üzere beş farklı bulanık değişken tanımlanmış olup kullanılan çıkış üyelik fonksiyonları Şekil 9'da gösterilmiştir.



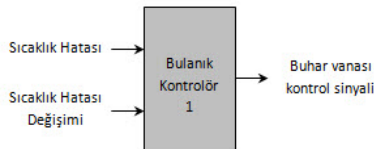
Şekil 9: Fan motoru hızı çıkış üyelik fonksiyonları.

Çıkış parametrelerinin durulaştırılması için üyelik fonksiyonlarının simetrik olması avantajından faydalanarak (5) ile matematiksel olarak ifade edildiği gibi ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılmıştır.

$$x^* = \frac{\sum \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum \mu(x_i)} \quad (5)$$

2.3. Kural Tabanları

Sistem kontrolünde bulanık kontrol yöntemi kullanılmasından dolayı kontrol hareketleri sahip olunan uzman bilgisine göre gerçekleştirilecektir. Karar verme aşamasında Mamdani bulanık çıkarım yöntemi kullanımı tercih edilmiştir. Kontrol hareketleri ortam parametrelerin değer aralıkları üzerinde kural tabanları ile depolanmıştır. Buhar kontrol vanası açıklığını belirlemek üzere Şekil 10'da gösterildiği gibi sıcaklık hatası ve sıcaklık hatası değişiminden faydalanılarak bulanık çıkarım yapılır.

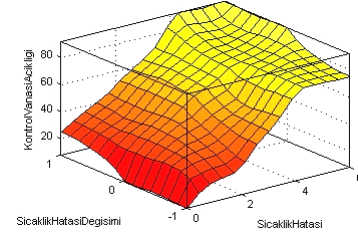


Şekil 10: Buhar vanası açıklığı için bulanık çıkarım modeli.

Sıcaklık kontrolü için oluşturulan kural tabanı Tablo 1'de verilmiş olup bu kural tabanından elde edilen kural yüzeyi Şekil 11'de gösterilmiştir.

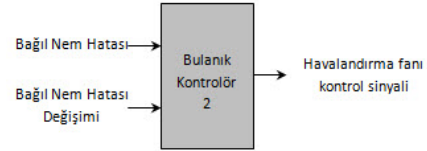
Tablo 1: Buhar kontrol vanası için kural tabanı

BUH. VANASI AÇIKLIĞI		SH			
		SIF	KUC	ORT	BUY
ΔSH	NEG	CAA	AAC	CAC	CAC
	SIF	CAA	OAC	CAC	TAC
	POZ	AAC	OAC	TAC	TAC



Şekil 11: Buhar vanası açıklığı için kural yüzeyi.

Fan motoru hızını belirlemek üzere Şekil 12'de gösterildiği gibi bağıl nem hatası ve bağıl nem hatası değişiminden faydalanılarak bulanık çıkarım yapılır.

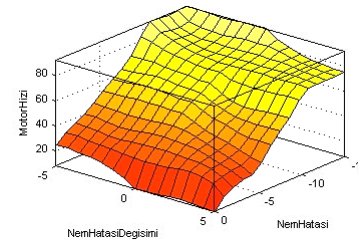


Şekil 12: Havalandırma fanı hızı için bulanık çıkarım modeli.

Nem kontrolü için oluşturulan kural tabanı Tablo 2'de verilmiş olup bu kural tabanından elde edilen kural yüzeyi Şekil 13'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Havalandırma fanı için kural tabanı

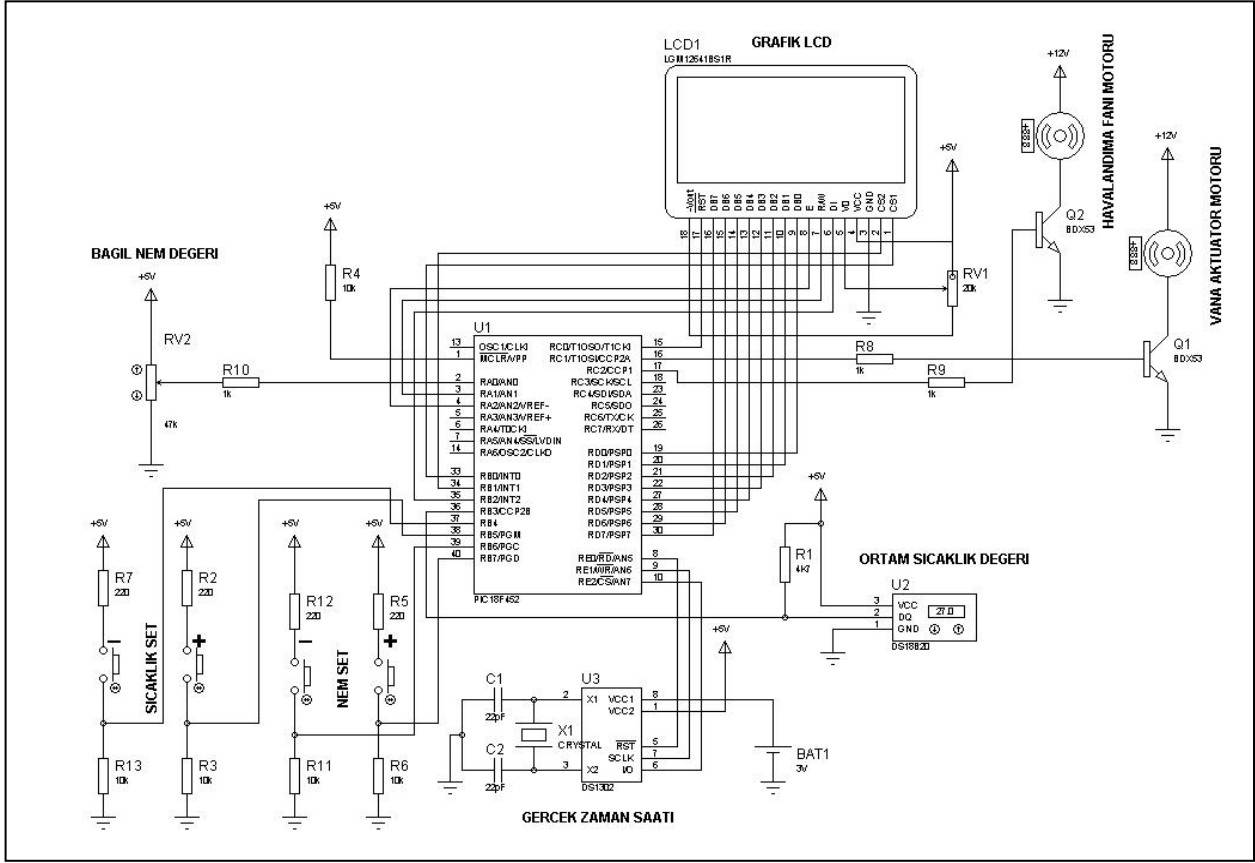
FAN MOTORU HIZI		NH			
		BUY	ORT	KUC	SIF
ΔNH	POZ	CHZ	CHZ	NOR	YVS
	SIF	CHZ	HIZ	NOR	CYV
	NEG	HIZ	HIZ	YVS	CYV



Şekil 13: Havalandırma fanı hızı için kural yüzeyi.

3. Sonuçlar

Tasarlanan kontrol sisteminin performansı Proteus Virtual System Modelling (VSM) sistem modelleme ve simülasyon programı üzerinde değerlendirilmiştir. Simülasyon için tasarlanan kontrol sistemi Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14: Tasarlanan kontrol sisteminin Proteus VSM programı simülasyon modeli.

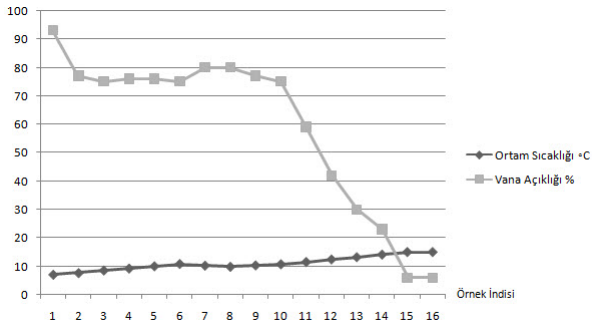
Yapılan testlerde biber yetiştiriciliği için uygun ortam şartları baz alınarak buhar kontrol vanası ve havalandırma fanı için kontrol sinyalleri üretilmiştir. Biber optimal olarak gündüz 21 – 26 °C, gece 15 – 17 °C sıcaklıkta iyi gelişir. Sıcaklık 21 °C'nin altına düştüğünde büyüme yavaşlar [13].

Sistem içinde mikro kontrolör olarak Microchip PIC18F452 kullanılmış olup gerekli kontrol programı CCS PIC C derleyicisi ile kodlanmıştır. Ortam sıcaklık değeri Dallas Semiconductor DS18B20 sensörü, bağıl nem değeri ise mikro kontrolör girişine bağlı bir potansiyometre üzerinden değiştirilebilmekte olup ayrıca kullanıcıya ayar butonları üzerinden istenilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerini tanımlama imkânı sağlanmıştır. Gece ve gündüz zaman dilimlerinde farklı ayar değerlerinin tanımlanması için Dallas Semiconductor DS1302 gerçek zaman saati kullanılmış olup sistemin çalışması ile ilgili bilgiler grafik LCD üzerinden kullanıcıya aktarılmaktadır. Buhar vanası ve fan motoru kontrolü için gerekli kontrol sinyalleri mikro kontrolörün PWM çıkışlarından alınarak kontrol hareketleri gerçekleştirilmiştir.

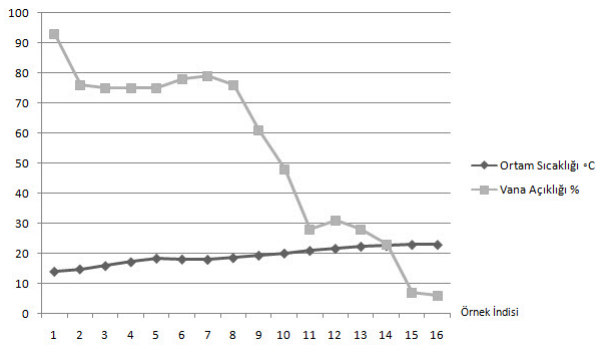
Şekil 15'de gece çalışma zamanında istenilen 15 °C sıcaklık ayar değeri için örneklem aralığı boyunca ölçülen ortam sıcaklığı ile buhar kontrol vanası açıklığının değişimi gösterilmiştir. Şekil 16'da gündüz çalışma zamanında istenilen 24 °C sıcaklık ayar değeri için örneklem aralığı boyunca ölçülen ortam sıcaklığı ile buhar kontrol vanası açıklığının değişimi gösterilmiştir.

Şekil 17'de istenilen %65 bağıl nem ayar değeri için örneklem aralığı boyunca ölçülen bağıl nem değeri ile havalandırma fanı motoru hızının değişimi gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi sıcaklık hatası ve sıcaklık hatası değişimi küçüldükçe buhar kontrol vanası açıklığı azalmakta, benzer şekilde bağıl nem hatası ve bağıl nem hatası değişimi büyüdükçe havalandırma fanı motoru hızı azalmaktadır. Simülasyon sonuçları bulanık kontrol stratejisi kullanılarak tasarlanan kontrol sisteminin istenilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerini korumak üzere tatmin edici performansa sahip olduğunu ve uygulanabilirliğini göstermektedir.

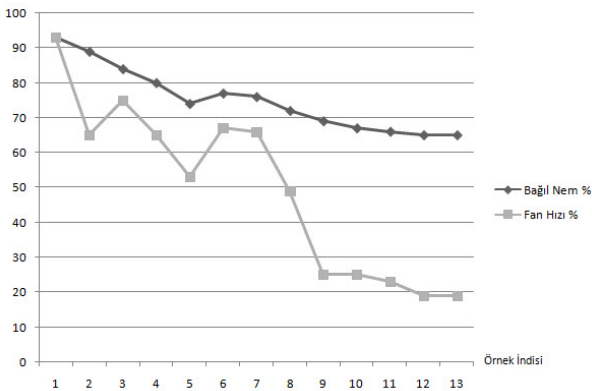
Yapılan çalışmada sera iklimlendirme kontrolünde gömülü kontrolör ile bulanık kontrol yönteminin kullanılabilirliğini göstermek amacıyla gerekli temel alt yapının oluşturulması hedeflenmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalar sistemin gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesine yönelik olacaktır. Sisteme rüzgar yön ve hız bilgisi aktaran sensorların eklenmesi halinde tasarlanacak akıllı bir sistem ile uygun şartlarda sera pencerelerinin oransal olarak açılıp kapanması durumunda mekanik havalandırma yerine doğal havalandırma yapılarak önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabilir. Mikro kontrolör üzerinde toplanan verilerin bilgisayar ortamına aktarılıp burada kaydedilmesi ve grafiksel olarak görüntülenmesi ile kullanıcı için kolaylık sağlanması mümkündür. Bunun yanı sıra büyük ölçekli seralar için kendi içinde RF vericisi olan mikro kontrolörler ve kablosuz sensör ağları kullanılarak kablosuz haberleşmenin avantajlarından faydalanarak sisteme esneklik kazandırılabilir.



Şekil 15: Gece 15 °C sıcaklık ayar değeri için ortam sıcaklığı ve buhar kontrol vanası açıklığının değişimi.



Şekil 16: Gündüz 24 °C sıcaklık ayar değeri için ortam sıcaklığı ve buhar kontrol vanası açıklığının değişimi.



Şekil 17: %65 bağıl nem ayar değeri için bağıl nem değeri ve havalandırma fanı hızının değişimi.

4. Kaynaklar

- [1] Omid, M. ve Shafaei, A., "Temperature and relative humidity changes inside greenhouse", *International Agrophysics ISSN 0236-8722 CODEN INAGEX*, vol.19, no.2, pp. 153-158, 2005.
- [2] Fang, X., Junqiang, S., Jiaoliao, C., "Rough Sets Based Fuzzy Logic Control for Greenhouse Temperature", *Mechatronic and Embedded Systems and Applications, Proceedings of the 2nd IEEE/ASME International Conference*, pp. 1-5, 2006
- [3] Kürklü, A. ve Çağlayan, N., "Sera Otomasyon Sistemlerinin Geliştirilmesine Yönelik Bir Çalışma",

Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1), 25-34, 2005.

- [4] Çolak, A., "Isıtılmayan Bir Cam Serada Sera İçi Sıcaklık, Çiğlenme Sıcaklığı ve Bağıl Nem Deseni Üzerine Bir Araştırma", *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 39(3):105-112, ISSN 1018-8851, 2002.
- [5] Kürklü, A. ve Çağlayan, N., "Mikrodenetleyici ve Radyo Frekansı Kullanılarak Alternatif İklim Kontrol Sisteminin Geliştirilmesine Yönelik Bir Çalışma", *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 229-239, 2007.
- [6] Eshenaur, B. ve Anderson, R., "Managing the Greenhouse Environment to Control Plant Diseases", *University of Kentucky College Of Agriculture*, 2004.
- [7] Stipanicev, D., Marasovic, J., "Networked Embedded Greenhouse Monitoring and Control", *CCA 2003 Proceeding of 2003 IEEE Conference on Control Applications*, 2003, pp. 1350-1355.
- [8] Saridakis, G., Kolokotsa, D., Dolianitis, S., "Development of an Intelligent Indoor Environment and Energy Management System for Greenhouses using a Fuzzy Logic Controller and LonWorks® protocol", *EPEQUB Conference*, 2006, pp. 1-5.
- [9] Taplamacıoğlu, M.C., Saygın, A., Değirmenci, E., Tezcan, C., "PLC Cihazı ile Serada Sıcaklık ve Nem Kontrolünün PID Denetleyiciyle Gerçekleştirilmesi", *ELECO'2002 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2002.
- [10] Candido, A., Cicirelli, F., Furfaro, A., Nigro, L., "Embedded real-time system for climate control in a complex greenhouse", *International Agrophysics*, vol: 21, number: 1, pages: 17-27, 2007.
- [11] Lanfang, P., Wanliang, W., Qidi, W., "Application of Adaptive Fuzzy Logic System to Model for Greenhouse Climate", *Intelligent Control and Automation, Proceedings of the 3rd World Congress*, 2000, vol.3, Page(s):1687 – 1691.
- [12] Caponetto, R., Fortuna, L., Nunnari, G., Occhipinti, L., Xibilia, M.G., "Soft computing for greenhouse climate control", *Fuzzy Systems, IEEE Transactions*, Volume 8, Issue 6, Page(s):753 – 760, 2000.
- [13] Aybak, H.Ç., *Biber Yetiştiriciliği*, Hasad Yayıncılık, İstanbul, 2007.