

AKILLI EV SİSTEMLERİ İÇİN BULANIK MANTIK İLE KLİMA KONTROLÜ TASARIMI

Prof. Dr. Haluk Görgün¹, Prof. Dr. Nizamettin Aydın², Mert Sevil³, Nevzat Elalmış⁴

[1] Yıldız Teknik Üniversitesi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Öğretim Üyesi, e-posta: gorgun@yildiz.edu.tr, [2] Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Öğretim Üyesi, e-posta: naydin@yildiz.edu.tr, [3] Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, e-posta: mertsevil1991@hotmail.com, [4] Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, e-posta: elalmis.ne@gmail.com

ÖZET

Bulanık mantık son yıllarda yaygınlaşan bir kontrol yöntemidir. Sözel dilde karşılıkları bulunan ancak matematiksel olarak karşılıkları bulunmayan ifadeleri karşılığı olan algoritmik ve matematiksel ifadelerle dönüştürmek esasına dayalı bir kontrol metodudur. Son yıllarda pek çok uygulama için PID, MÖK (Model öngörülü kontrol) gibi pek çok kontrol yöntemine rakip olacak düzeyde çalışmalar yapılmıştır. Bazı uygulamalarda bulanık mantığın başarımı, PID kontrolcünden yüksek bunun yanı sıra, tasarım süreleri ile maliyetleri ise düşük olmuştur. Bu durum bu alanda yapılan araştırmaları daha da yaygınlaştırmıştır. Klima kontrolü alanında ise son yıllara kadar kontrol sistemine gerek duyulmamaktaydı. Analog sistemler ile klimanın belirlenen değere ulaşması öngörülmekteydi. Ancak kontrol teorisindeki gelişmeler ve insanların yaşam standartlarındaki konfor artışı beklentisi ile son yıllarda klimanın otomatik olarak ortam şartlarına göre insan için en konforlu şartlara gelmesini sağlayacak kontrol yöntemleri öngörülmüştür. PID, yapay sinir ağları, model öngörülü kontrol, genetik algoritma gibi pek çok kontrol yöntemi klima kontrolü için denenmiş ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma ile bulanık mantık kontrol algoritma ile klima kontrolü sisteminin tanıtılması ve akıllı evler için kullanımına örnek teşkil etmek hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, PID, Kontrol, Klima, Klima kontrolü, Akıllı ev sistemleri

CONTROL OF AIR CONDITIONING WITH FUZZY LOGIC CONTROLLER DESIGN FOR SMART HOME SYSTEMS

ABSTRACT

Fuzzy logic control, which is a widespread using control method, has been developed recent years. It target to transform verbal expression to mathematical expressions or algorithms. There are a lot of applications or workings in literature on fuzzy logic, which are contender PID or MPC (Model Predictive Control). Some results are more successful; and their design duration or design costs are lower than PID. There is no significant workings on air conditioning field since recent years. It was used analogue control, it could adjust according to user command. However control theory was developed very fast, and humans comfort demands has been rising. Thus some methods applied on air conditioning for provide human comfort as automatic. These methods is known PID, MPC, artificial intelligence, genetic algorithm, fuzzy logic or other adaptive control methods. This working target to introduce of using fuzzy logic concept on smart homes

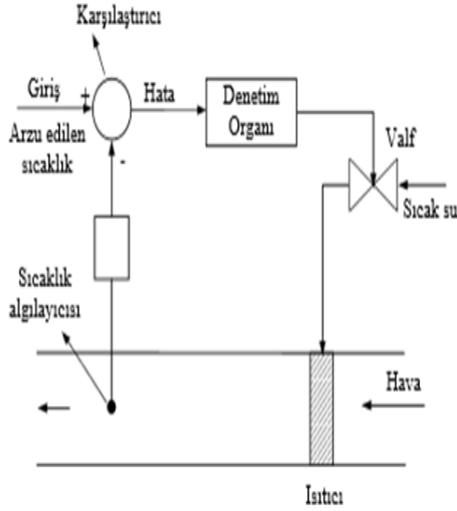
Keywords: Fuzzy logic, PID, Control, Air Conditioning, Control of Air Conditioning, Smart home systems

1. Giriş

Klima kontrol yöntemi olarak pekçok yöntem öngörülmektedir. Bu yöntemlerden bazıları literatürde aktif olarak çalışılmış yâda çalışılmaya devam edilmektedir. Bunlardan bazıları şu şekilde belirtilmelidir;

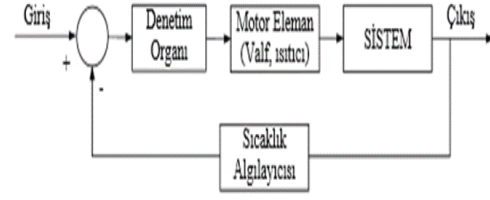
- ✓ PID Kontrol
- ✓ Uyarmalı Denetim
- ✓ Bulanık Mantık
- ✓ Yapay Sinir Ağları
- ✓ Genetik Algoritmalar

Genel kontrol şeması Şekil 1. 'de belirtilmiştir.



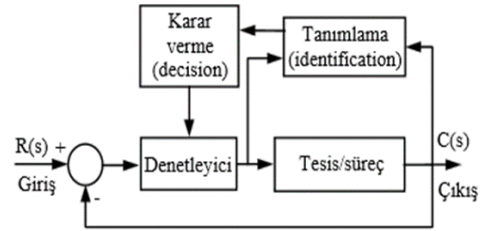
Şekil 1. Sıcaklık Kontrol Sisteminin Şematize Edilmesi [1]

PID ile kontrolde sistem modelinin çıkarılması ve modelin gerçekleştirilmesi tasarımı zorlaştırmaktadır. Aşağıdaki blok şemasında belirtilen sistem matematiksel olarak modellenilebilirse PID ile kontrol etmek oldukça kolaydır. Ancak ısı sistemlerinde modelleme çok kolay değildir. Bu nedenle PID ile kontrolcü tasarımı dezavantajlar barındırır. Bunun dışında tasarıma bağlı olarak sistem cevabında meydana gelecek yüzde aşım, kalıcı rejim hatası gibi olumsuzluklarda PID kontrolcünün başarımını düşürmektedir. Bu nedenle çalışmalar PID kontrolcü geliştirilmesinin klima kontrol sistemi için çok elverişli olmadığını göstermektedir. Ancak sınırlı sayıda da olsa mevcut ve başarılı sonuçlar elde edilmiş çalışmalar mevcuttur. [2]



Şekil 2. PID Kontrolcü Formatına Uyarlanmış Sistem Modellemesi

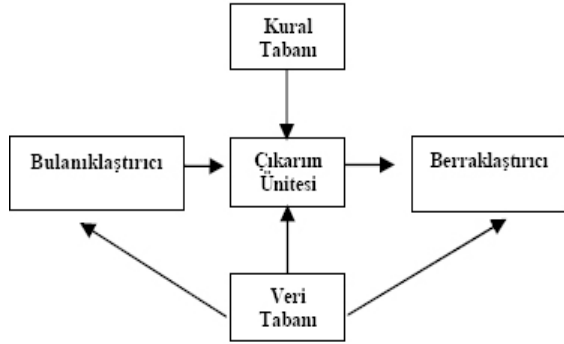
İkinci yaklaşım uyarmalı kontrolcünde kendi kendini ortam şartlarına ayarlayan bir yaklaşım yöntemi öngörülmektedir. Model öngörülü kontrol olarakta bilinen bu sistemde en küçük kareler yöntemi gibi metotlar ile kestirimciler geliştirilmeye çalışılır. Kestirimci tasarımı ve model öngörülü kontrol çoğu zaman PID denetleyici tasarımına veya diğer kontrol yöntemlerine göre daha karmaşık olabileceğinden tasarım zamanlarının uzamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle çok hassas sıcaklık değişikliğinden etkilenmeyen sistemler için gerek duyulmamaktadır.



Şekil 3. Uyarmalı Kontrolcü Formatına Uyarlanmış Sistem Modellemesi

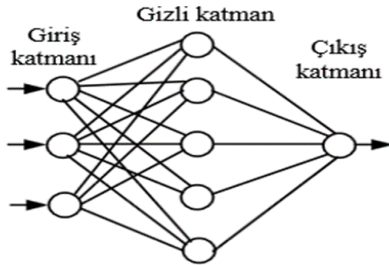
Bulanık mantık denetleyici modelden bağımsızdır. Herhangi bir matematiksel modele gereksinim duymamaktadır. Ayrıca ılık, çok soğuk, az nemli gibi keskin matematikte karşılığı olmayan dilsel ifadelerin bulanık mantıkta anlam bulması klima kontrolü konusunda bulanık mantığı daha da cazip hale getirmektedir. Bulanık mantığın en zor kısmı bulanıklaştırma işleminin hangi eğri ve kural tabanlarına göre yapılacağıdır. Tek bir doğru söz konusu değildir. Eğriler ve kural tabanları tasarımcıya göre değişebildiği gibi bu durum sonuçları doğrudan etkiler. Bu nedenle tasarımcılar iyi bir sistem cevabı bulmak için farklı eğri ve kural tabanlarını denemek zorunda

kalabilirler. Ancak bulanık mantık son yıllarda klima kontrolünde sıkça uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilebilmiştir.



Şekil 4. Bulanık Kontrolcü Formatına Uyarlanmış Sistem Modellemesi

Yapay sinir ağları ve genetik algoritma gibi yaklaşımlar daha çok diğer kontrolcülerin başarısını artırmak için onlara ek olarak geliştirilmektedir. Genetik algoritma ile PID parametrelerinin ayarlanması veya bulanık denetçiye yardımcı YSA uygulamaları mevcuttur. Bu tip kompleks denetçilerin başarımı yüksek, ancak geliştirme süreleri ve tasarım maliyetleri yüksektir.



Şekil 5. YSA Kontrolcü Formatına Uyarlanmış Sistem Modellemesi

Aktarılanlardan da anlaşılacağı üzere bulanık denetleyici klima kontrolü için öngörülen denetleyicilerden yalnızca bir tanesidir. Akıllı ev üzerinde uygulanan prototip bir modelle bu kontrolcüye örnek teşkil edilmesi hedeflenmiştir. Uygulama sonuçları ve deneysel çalışmalar aşağıda vurgulanmıştır.

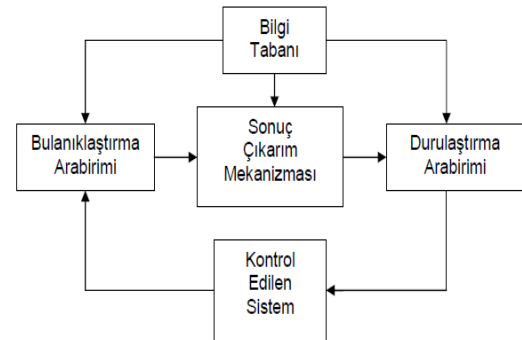
Giriş bölümünde kontrolcü metotları kısaca değerlendirilmiştir. Bu uygulamada bu yaklaşımlardan bulanık mantık kontrol ele alınmıştır ve çalışma boyunca tanıtılmaya çalışılmıştır.

2. Bulanık Mantık İle Kontrol

Bulanık mantık son yılların yaygınca çalışılan bir kontrol algoritması geliştirme metodudur. Özellikle karmaşık sistemlerde geleneksel kontrol metotlarını uygulamak çoğu zaman olarak dışıdır. Bu metotları böyle durumlarda uygulamak hem pahalı hem de oldukça zordur. Bu açıdan bulanık mantıkla karmaşık sistemler rahatça modellenebilmektedir. Pekçok karmaşık uygulamada bulanık mantık ile yüksek başarımlar elde edilmiş pekçok akademik çalışmalar ve uygulamalar bulunmaktadır. Ancak bulanık mantık deneyim ile doğrudan ilişkilidir. Doğru kural tabanları ve eğrilerin belirlenmesi, deneyimlere bağlı olarak gerçek sonuçlara en yakın sonuçların elde edilmesini sağlar. Bu deneyim uygulamaya bağlı olarak çok zaman alabilmektedir. Bu durum bulanık mantığın dezavantajı olarak görülmelidir [11].

Akıllı evlerde pekçok uygulama örneği bulunan bulanık mantık ile bu çalışma için klima kontrolü uygulaması gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. Burada fanların nem ve sıcaklık sensörlerinden gelen bilgilere göre otomatik olarak en uygun fan devir sayısının yakalanması sağlanmıştır. Böylece insan faktörünü en az seviyeye indirerek en uygun ev sıcaklığı ve nem seviyesinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Bulanık mantığa ait kontrol akışını gösteren blok şeması Şekil 6. 'da belirlenmiştir.



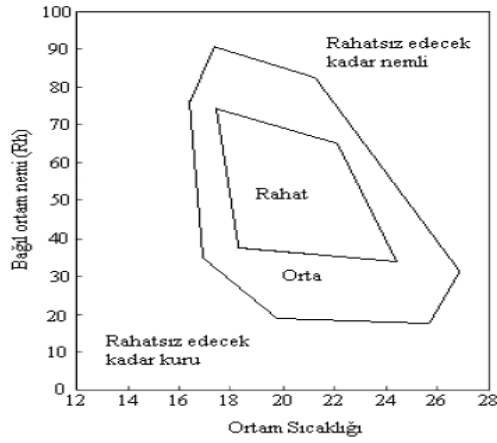
Şekil 6. Bulanık Mantık İle Kontrol İçin Blok Şeması [4]

Çalışmada bulanık ile klima kontrolü fan ile sağlanmış olup, giriş ve çıkışlar Çizelge 1. 'de belirlenmiştir.

Çizelge 1. Bulanık Mantık İle Klima Kontrolü İçin Giriş ve Çıktıların Belirlenmesi [4]

Değişkenler		Değer Aralığı
Giriş	Sıcaklık Sensörü 1	0 C-100 C
	Sıcaklık Sensörü 2	0 C-100 C
	Nem Sensörü	%0-% 100 (%Rh)
Çıkış	Fan 1	20-90 (devir/saniye)

Girişlerin çıktıları en uygun şekilde ayarlayabilmesi için algoritmanın geliştirilmesi gereken en uygun şartların ne olduğu açıkça belirlenmelidir. Yapılan çalışmalar iyi bir hava için gerekli ortam şartlarını belirlemiştir. Bu durum Şekil 7. 'da şematize edilmiştir.



Şekil 7. İyi Bir Hava İçin Ortam Şartlarının Belirlenmesi [4]

Üyelik fonksiyonları bulanık mantığı lojik mantıktan ayıran en temel unsurlardır. Böylece fonksiyonlara ait ağırlıklar 0-1 arasında sürekli bir biçimde ifade edilebilmektedir.

Giriş ve çıktılara ait üyelik fonksiyonları belirlenerek Çizelge 2. 'de belirlenmiştir.

Çizelge 2. Sıcaklık Fonksiyonuna Ait Üyelik Değerlerinin Belirlenmesi

Sıcaklı Değeri	Çok Soğuk	Soğuk	Ilık	Sıcak	Çok Sıcak
$0 < t < 10$	1	0	0	0	0
$10 < t < 13$	$\frac{-t+13}{3}$	$\frac{t-10}{3}$	0	0	0
$13 < t < 16$	0	1	0	0	0
$16 < t < 19$	0	$\frac{-t+19}{3}$	$\frac{t-16}{3}$	0	0

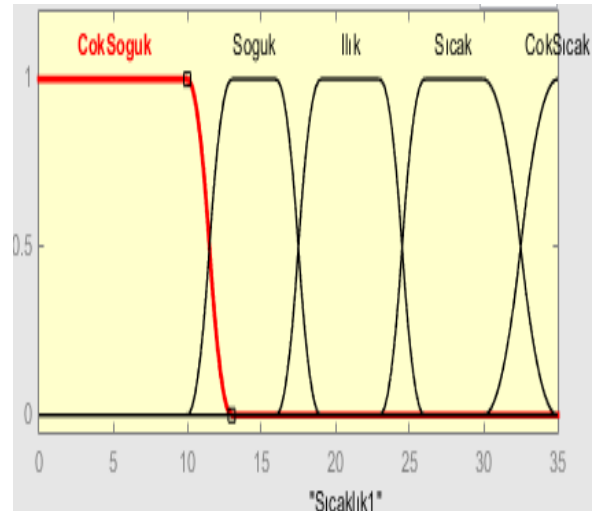
$19 < t < 23$	0	0	1	0	0
$23 < t < 26$	0	0	$\frac{-t+26}{3}$	$\frac{t-23}{3}$	0
$26 < t < 30$	0	0	0	1	0
$30 < t < 35$	0	0	0	$\frac{-t+35}{5}$	$\frac{t-30}{5}$
$35 < t < 60$	0	0	0	0	1

Görüldüğü gibi sıcaklık değerleri belli bir aralıkta tanımlanarak üyelik fonksiyonları haline dönüştürülerek gruplandırılmıştır. Nem için üyelik fonksiyonları ise Çizelge 3. 'de belirtilmiştir.

Çizelge 3. Nem Fonksiyonuna Ait Üyelik Değerlerinin Belirlenmesi

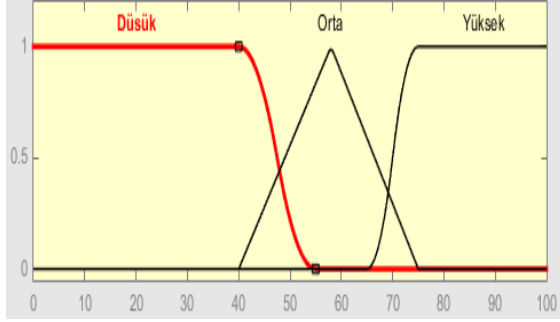
Nem (%Rh)	Düşük	Orta	Yüksek
$0 < \text{Nem} < 40$	1	0	0
$40 < \text{Nem} < 55$	$\frac{-t+55}{15}$	$\frac{t-40}{15}$	0
$55 < \text{Nem} < 65$	0	1	0
$65 < \text{Nem} < 75$	0	$\frac{-t+75}{10}$	$\frac{t-65}{10}$
$75 < \text{Nem} < 100$	0	0	1

Sıcaklık üyelik fonksiyonunun MATLAB ortamında girdi olarak işlenmesi sonucu elde edilen üyelik fonksiyonu çizimi Şekil 8.'de belirlenmiştir.



Şekil 8. Sıcaklık Girdi Fonksiyonuna Ait Bulanık Kümenin Çizdirilmesi

Nem üyelik fonksiyonunun MATLAB ortamında girdi olarak işlenmesi sonucu elde edilen üyelik fonksiyonu çizimi Şekil 9.'da belirlenmiştir.



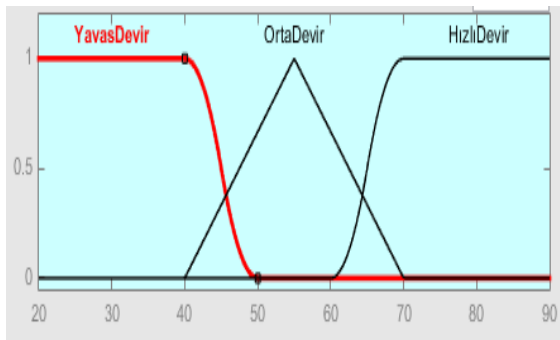
Şekil 9. Nem Girdi Fonksiyonuna Ait Bulanık Kümenin Çizdirilmesi

Giriş olarak belirlenen sıcaklık ve neme karşılık gelen üyelik fonksiyonlarının ardından çıkış için üyelik fonksiyonları belirlenmiştir (Fan devir sayısı).

Çizelge 4. Çıkışa Ait Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Devir Sayısı (devir/saniye)	Yavaş	Orta	Hızlı
$20 < DS < 40$	1	0	0
$40 < DS < 50$	$\frac{-t+50}{10}$	$\frac{t-40}{10}$	0
$50 < DS < 60$	0	1	0
$60 < DS < 70$	0	$\frac{-t+70}{10}$	$\frac{t-60}{10}$
$70 < DS < 90$	0	0	1

Fan devir sayısı üyelik fonksiyonunun MATLAB ortamında çıktı olarak işlenmesi sonucu elde edilmek istenen üyelik fonksiyonu çizimi Şekil 10'da belirlenmiştir.



Şekil 10. Fan Devir Sayısı Çıktı Üyelik Fonksiyonuna Ait Bulanık Kümenin Çizdirilmesi

Üyelik fonksiyonlarının ardından oluşturulması beklenen yapı giriş bilgilerine göre çıkışı ayarlayacak bir kural tabanının oluşturulmasıdır. Bu kural tabanının oluşturulması için ön bir tablo hazırlanarak işleyişin anlaşılabilirliği ve tasarımı kolaylaştırılmaya çalışılmıştır.

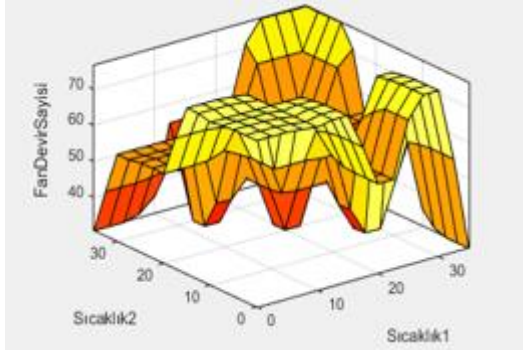
Çizelge 5. Kural Tabanının Oluşturulması İçin Ön Çizelgenin Belirlenmesi (D: Düşük, Yü: Yüksek, O: Orta, H: Hızlı, N: Normal, Ya: Yavaş)

		SICAKLIK				
		Çok Soğuk	Soğuk	Ilık	Sıcak	Çok Sıcak
Nem	D	H	H	N	N	H
	O	H	N	Ya	N	H
	Yü	H	N	N	H	H

Bu kural tabanı oluşturulurken tek bir fan kullanıldığı ve bu fanın verdiği sıcaklığın sabit bir peltier üzerinden en optimum ortam sıcaklığı olan 23 derece olduğu varsayımı yapılmıştır. Bu nedenle ideal oda şartlarına yaklaştıkça fan yavaşlayacak, idealden saptıkça fan hızlanmaya başlayacaktır. Ancak farklı tasarımlarda farklı kural tabanları oluşturulabilir. Örneğin bir yerine iki fan kullanılan uygulamalarda ısıtıcı ve soğutucu fan tanımlamaları yapılarak bu tanıma özel bir iki çıkışlı kural tabanı oluşturulmuş uygulamalar bulunmaktadır. [4]

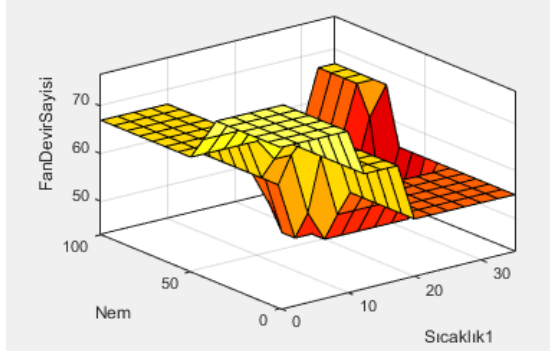
Bu aşamada kural tabanı oluşturulmalıdır. Çoğu uygulamada en zorlu süreç kural tabanının oluşturulmasıdır. Çünkü bu durum deneyimlerle doğrudan ilişkilidir. Deneyimlere göre geliştirilen kural tabanlarının başarımı, deneyimlere göre geliştirilmeyen kural tabanlarına göre daha yüksektir. Buna göre 75 durum için (Sıcaklık sensör 1, sıcaklık sensör 2, nem sensörü durumlarına ait farklı tüm kombinasyonlar $(5*5*3)$) kural tabanı oluşturulmuştur. Kural tabanı Çizelge 5.'deki mantık çerçevesinde geliştirilmiş olup ayrıca belirtilmemiştir.

Simülasyonda kural tabanının 3 boyutlu olarak çizdirilmesi sonucu ortaya çıkan yapı Şekil 11.'de belirtilmiştir (Sıcaklık sensör 1 ve Sıcaklık sensör 2'ye göre.)



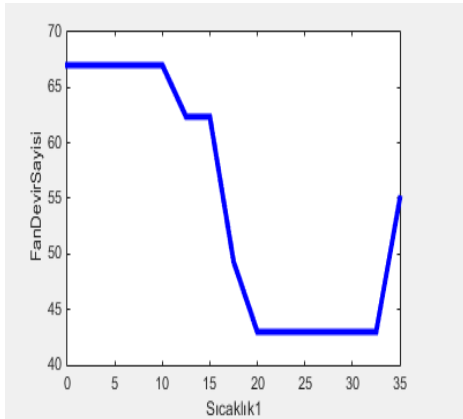
Şekil 11. Sıcaklık-Sıcaklık Sensörleri Arasındaki İlişkeye Göre Beklenen Çıkış Devir Sayısı Bilgisinin 3 Boyutlu Çizdirilmesi

Çizim “Sıcaklık ve Nem” arasındaki bağıntıya göre çizdirilirse sonuç Şekil 12.’de gözlemlendiği gibi olacaktır.



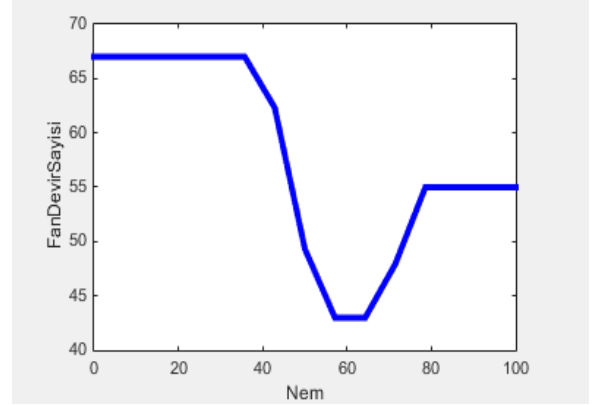
Şekil 12. Sıcaklık-Nem Sensörleri Arasındaki İlişkeye Göre Beklenen Çıkış Devir Sayısı Bilgisinin 3 Boyutlu Çizdirilmesi

Yalnızca sıcaklık sensörüne göre beklenen çıkış değişkenine ilişkin yapı Şekil 13’de aktarılmıştır.



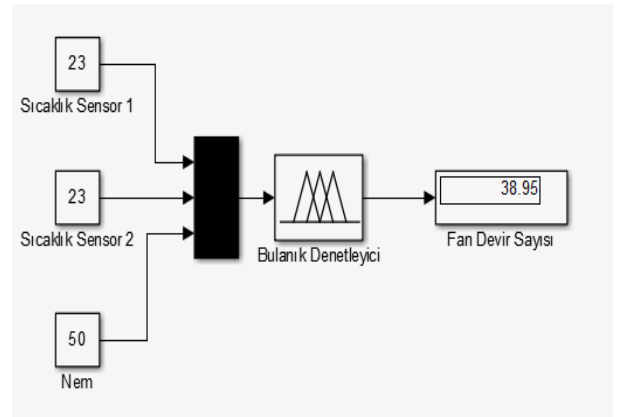
Şekil 13. Kural Tabanına Göre Sıcaklık ve Devir Sayısı Arasındaki İlişkinin 2 Boyutlu Olarak Aktarılması

Son olarak yalnızca nem sensörü bilgisine göre beklenen çıkış değişkeni bilgisine ait grafik Şekil 14. ‘da belirtilmiştir.

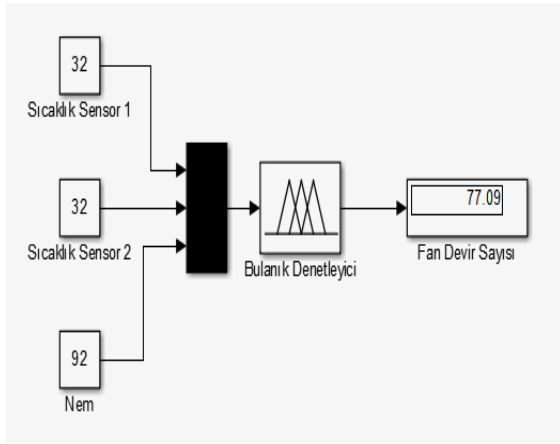


Şekil 14. Kural Tabanına Göre Nem ve Devir Sayısı Arasındaki İlişkinin 2 Boyutlu Olarak Aktarılması

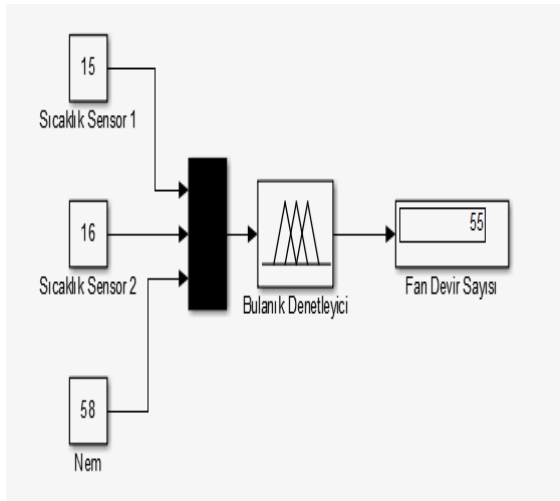
Kurulan modele ait örnek değerler için simülasyon sonuçları paylaşılmıştır. Şekil 15 ‘de sıcaklık değerleri ideale yakın nem ise ortaya yakın seçilmiştir. Sonuçta beklenti fanın devir sayısının yavaş devir sayısı içerisinde olması yönünde olacaktır. Sonuç beklentiyi karşılamıştır. Şekil 16’da ise sıcaklık değerleri yüksek nem ise %100’e yakın seçilmiştir. Beklenti fanın tam devir sayısına yakın dönmesi yönündedir. Çıktı olarak belirlenen 77.09 devir sayısı beklentiyi karşılamıştır. Dinamik olmayan örnek modellere son örnekte soğuk sıcaklık değerleri ile orta nem miktarında orta devir sayısı beklentisine ilişkin bir deneme yapılmıştır. Şekil 17.’de bu durum gözlemlenmiştir.



Şekil 15. Girdilere Göre Sonuç Çıktısının Üretilmesi ve Değerlendirilmesi (1)

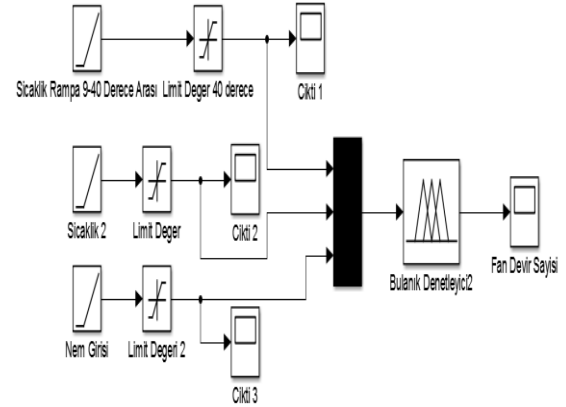


Şekil 16. Girdilere Göre Sonuç Çıktısının Üretilmesi ve Değerlendirilmesi (2)

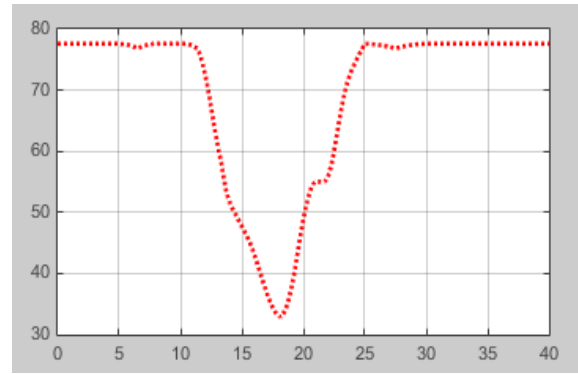


Şekil 17. Girdilere Göre Sonuç Çıktısının Üretilmesi ve Değerlendirilmesi (3)

Statik olarak yapılan denemelerin yanında giriş değişkenlerinin dinamik olarak değişmesi de gözlemlenmiştir. Şekil 18.'de dinamik giriş değişkenlerine karşı elde edilen dinamik çıkış değişkeni cevabı gözlemlenmiştir. Modelde sıcaklık giriş değişkenleri 9-40 derece arası 1 eğim değerine göre artıyor varsayımı ile modellenmiştir. Doyum ile üst limit 40 derece ile sınırlandırılmıştır. Nem ise 0 ile 100 arasında 3 eğimle zamana göre lineer artan bir model ile dinamik giriş değişkeni olarak varsayılmıştır. Sonuçta çıkışın başlangıçta dinamik olarak değişen yüksek devir sayıları, süreç içinde yavaşlayan ve ardından sıcak değerlere çıkılmasıyla tekrar artması beklenen bir sistem cevabı umulmuştur. Deneme sonucu beklentilere paralel çıkmıştır.



Şekil 18. Kurulan Dinamik Giriş ve Çıkış Değişkenli Bulanık Mantık Modeli



Şekil 19. Dinamik Çıkış Değişkenine Ait Sistem Cevabı (Fan Devir Sayısı d/d)

Simülasyon neticeleri matematiksel olarak aşağıdaki denklemlerle açıklanmalıdır. Öncelikle bu konudaki matematiksel yaklaşımlar tanımlanmalıdır. Bu açıdan yaklaşımlar ve alt metotlar Çizelge 6'da belirlenmiştir.

Çizelge 6. Bulanık Mantık Çıkarım Metotlarının Belirlenmesi [5]

Yaklaşımlar (Bulanık Mantık Çıkarım Metotları)		
Mamdani (Min-Max)	Sugeno	Tsukamoto
Mamdani (Max-Dot)		

Seçim olarak modellediğimizi Min-Max Mamdani modelinde; kuralın çıkışındaki bulanık kümenin üyelik derecesinin üstü kesilir.

Çıkış sayısal değeri ağırlık ortalaması metoduyla belirlenir. [5]

Çizelge 2. ve Çizelge 3'e göre nem ve sıcaklık sensörleri için örnek değerleri ile üyelik değerleri fonksiyonları belirlenecek olursa; (Sensör 1: 17.2 derece, Sensör 2: 21.1 derece, Sensör 3: 62)

Çizelge 7. Örnek Sensör Değerleri İçin Üyelik Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Sensör 1 Üyelik Değerleri	$16 < t < 19$	$\frac{-t+19}{3}$ (Soğuk)	$\frac{t-16}{3}$ (Ilık)	0.6 Soğuk 0.4 Ilık
Sensör 2 Üyelik Değerleri	$19 < t < 23$	0 (Soğuk)	1 (Ilık)	1
Sensör 3 Üyelik Değerleri	$55 < t < 65$	0	1 (Orta)	1

Kural tabanı ve minimum-maksimum metoduna göre aşağıdaki ifadelerde görüldüğü gibi kural tabanı işletilerek durulama işlemine geçilir.

$$(u1(\text{soğuk}) = 0.6) \wedge (u2(\text{ılık}) = 1) \wedge (u3(\text{orta}) = 1) \\ = z(\text{orta}) 0.6$$

$$(u1(\text{ılık}) = 0.4) \wedge (u2(\text{ılık}) = 1) \wedge (u3(\text{orta}) = 1) \\ = z(\text{yavaş}) 0.4$$

Ağırlık merkezi formülüne göre;

$$\text{Ağırlık Merkezi} \\ = \frac{0.4 * (10 + 20 + 30 + 40) + (0.6 * (50 + 60))}{0.4 * 4 + 0.6 * 2} \\ = \frac{40 + 66}{2.8}$$

$$\text{Ağırlık Merkezi} = 37.85$$

Buna göre bu sıcaklık değerleri ve nem değeri altında fanın devir sayısının bulanık mantık tekniğine göre matematiksel olarak 37.85 d/d hızla dönmesi beklenmektedir.

3. Donanım Altyapısı

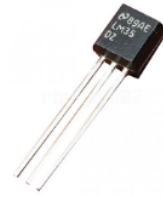
Sistemin donanımsal bileşenleri şu şekilde belirtilmelidir.

- ✓ Güç elektroniği devreleri (Sensör ve yükler için besleme devreleri)
- ✓ Sıcaklık sensörü ve devresi (LM35)
- ✓ Nem sensörü ve devresi (DHT11)
- ✓ PWM ile fan motoru sürme devresi (MOSFET)
- ✓ Mikroişlemci ve bağlantıları

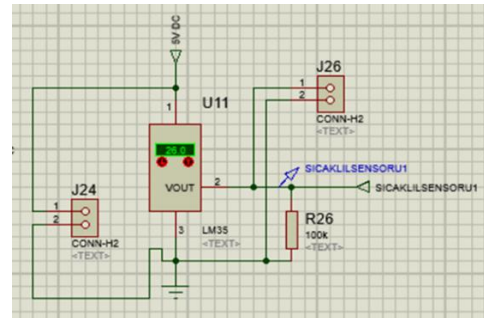
Bu alt bileşenlere ait yapılar bu bölümünde tanıtılmış ve yapılan test sonuçları yorumlanmıştır. Diğer bölümlerde bu bileşenleri birbirleriyle ve sistem ile entegrasyonu konuları incelenmiştir.

3.1 Sıcaklık Sensörü

Piyasada pekçok sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanlarından biri LM35 adlı sensördür. Bu sensör 3 bacaklı olup basitçe besleme gerilimi ve toprak uçlarına bağlanırsa orta ucundan anlamlı ve sıcaklığa göre değişen bir gerilim üretir. Bu gerilim bir mikroişlemcinin ADC kanalında rahatça anlamlandırılır. Şekil 20.'de sensör ve Şekil 21. 'de tasarım çıktıları gözlenmiştir.



Şekil 20. LM35 Sıcaklık Sensörü



Şekil 21. LM35 Sıcaklık Sensörünün Proteus Ortamında Simüle Edilmesi



Şekil 22. Sensörün Akıllı Ev Üzerine Entegrasyonu

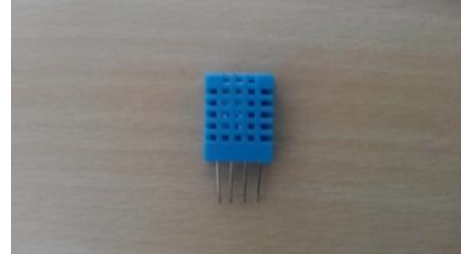
Sıcaklık sensörü aktarıldığı gibi analog değer üreten bir sensördür. ADC portunda bu değer örnekleme teoremi ve ADC prensipleri kapsamında dijital bir değere dönüştürülür. Böylece analog sıcaklık bilgisi, üzerinde algoritmalar koşturulabilecek yazılımsal olarak anlamlı dijital bir sıcaklık değerine dönüştürülür. Bu duruma denk düşen algoritmik akış yazılım bölümünde belirtilmiştir. Şekil 23.'de LM35 sensörüne ait test sonuçları görülmektedir.

```
Sicaklik degeri:22.97derece
Sicaklik degeri:22.48derece
Sicaklik degeri:21.99derece
Sicaklik degeri:21.99derece
Sicaklik degeri:21.51derece
Sicaklik degeri:21.51derece
Sicaklik degeri:21.51derece
Sicaklik degeri:21.51derece
Sicaklik degeri:21.02derece
Sicaklik degeri:21.02derece
Sicaklik degeri:21.02derece
Sicaklik degeri:21.02derece
Sicaklik degeri:20.53derece
Sicaklik degeri:20.53derece
Sicaklik degeri:20.53derece
```

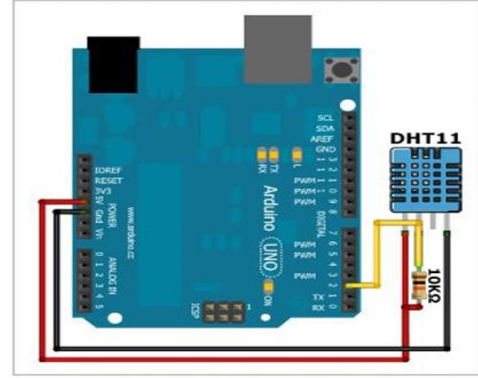
Şekil 23. LM35 Test Sonuçlarının Seri Port Üzerinden İzlenmesi

3.2 Nem Sensörü

Nem sensörü olarak piyasada pekçok farklı tipte nem sensörü bulmak mümkündür. Uygulamamızda hazır kütüphanesinin Arduino ortamında tanımlı olması bakımından DHT11 olarak bilinen nem sensörü tercih edilmiştir. Şekil 24.'de sensör, Şekil 25.'de ise sensörün Arduino ile olan bağlantıları gözlemlenmektedir.



Şekil 24. DHT11 Nem Sensörü



Şekil 25. DHT11 Nem Sensörü İçin Arduino Uygulaması [6]

Nem sensörü ile tek başına test sonuçları gözlenerek doğruluğu incelenmiştir. (Şekil 26.) Yazılımsal olarak `#include <dht11.h>` kütüphanesi kullanılmıştır. Bu ve benzeri kütüphaneler ile Arduino platformu üzerinde yazılım geliştirmek diğer mikroişlemcilerle göre kolaylaşmaktadır. Deneylerde elde edilen sonuçlara istinaden tasarım baskı devre üzerinde gerçekleştirilmiştir.

```
Nem (%): 44.00
Sicaklik (Celcius): 22.00
Sicaklik (Fahrenheit): 71.60
Sicaklik (Kelvin): 295.15
Cig Olusma Noktasi: 9.21

Nem (%): 44.00
Sicaklik (Celcius): 22.00
Sicaklik (Fahrenheit): 71.60
Sicaklik (Kelvin): 295.15
Cig Olusma Noktasi: 9.21

Nem (%): 44.00
Sicaklik (Celcius): 22.00
Sicaklik (Fahrenheit): 71.60
Sicaklik (Kelvin): 295.15
Cig Olusma Noktasi: 9.21
```

Şekil 26. DHT11 Test Sonuçlarının Seri Port Üzerinden İzlenmesi

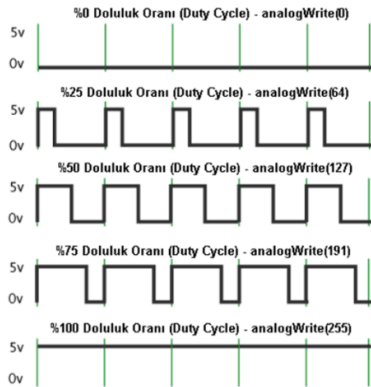
3.3 PWM İle Fan Hızı Kontrolü

Türkçesiyle darbe genişlik modülasyonu olarak bilinen PWM motor kontrolü başta olmak üzere pekçok alanda yaygınca kullanılmaktadır. Uygulama olarak her periyotta uygulanan voltaj süresinin periyoda oranına doluluk oranı denilmektedir. Doluluk oranı arttıkça etkin voltaj oranı artar ve bununla orantılı olarak uygulama için ayarlı bir gerilim elde edilebilir [3]. PWM'in önem kazanması mikroişlemcilerin bu yapıyı desteklemesiyle artış göstermiştir. Böylece uygulamaya uygun olarak geliştirilen algoritmik akış ile ayarlı bir gerilim oluşturulabilir. Teorik olarak bu durum Formül 1. ile açıklanmalıdır.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt} \quad (E. voltaj)(1)[3]$$

$$V_{rms} = \alpha * V_{max} \quad , \alpha: \text{Doluluk O.} (2)[3]$$

%100 doluluk oranı 8 bitlik sayı dizisiyle gösterilecek olursa (255 sayısı %100 ile tanımlanır) aşağıdaki şekilde kare dalgalar için doluluk oranları belirlenmiş olur.



Şekil 27. Arduino İle Doluluk Oranlarına Göre Değişen PWM Oranlarının Saptanması [3]

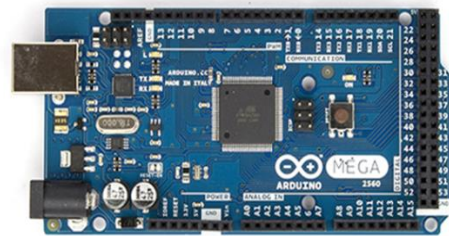
3.4 Arduino Ortamında Donanım Altyapısının Kurulması

Mikroişlemci sistemin kurulması için en önemli bileşendir. Bütün donanım çıktıları ve algoritmaların çalıştırılacağı yazılım bu bileşen üzerinde gerçekleştirilir. Arduino bir mikroişlemci değil, bir platformdur. Açık kaynak kodlu bir platform olup, hazır fonksiyon

ve kütüphaneleri sayesinde tasarımı kolaylaştırmaktadır. Çizelge 8.'de Arduino Uno ve Arduino Mega platformlarının teknik özellikleri özetlenmiştir. Şekil 28. 'de ise uygulamamızda kullanılan Arduino Mega 2560 platformu gözlemlenmektedir.

Çizelge 8. Arduino Platformlarının Teknik Özelliklerinin Belirlenmesi [12]

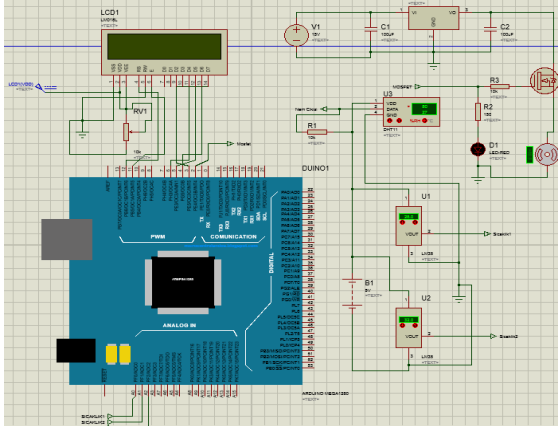
	Arduino Uno	Arduino Mega 2560
Mikrodenetleyici	Atmega328	Atmega 2560
Çalışma Gerilimi	+5V DC	+5V DC
Tavsiye Edilen Besleme Gerilimi	7-12 V DC	7-12 V DC
Besleme Gerilimi Limitleri	6-20 V	6-20 V
Analog Giriş Pinleri	6 tane	16 tane
I/O Birimleri İçin Maksimum DC Çıkış Akımı	40 mA	40 mA
Saat Frekansı	16 MHZ	16 MHZ
EEPROM	1 KB	4 KB
I/O Sayısı	14 tane (6 PWM)	54 tane (15 PWM)



Şekil 28. Arduino Mega 2560 Platformu [12]

Teknik özellikler olarak Arduino Mega Ortamı daha yeterli görülmüş ve tercih edilmiştir. Kurulan donanımının simülasyon olarak

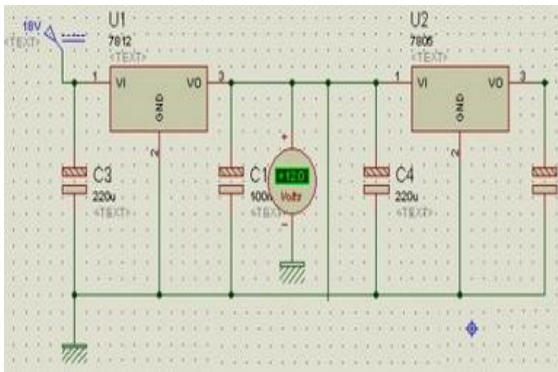
yapılması için hazır Arduino kütüphanesi Proteus ortamına eklenerek ilgili simülasyon testleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 29. Arduino Platformunun Proteus Ortamında Simüle Edilmesi

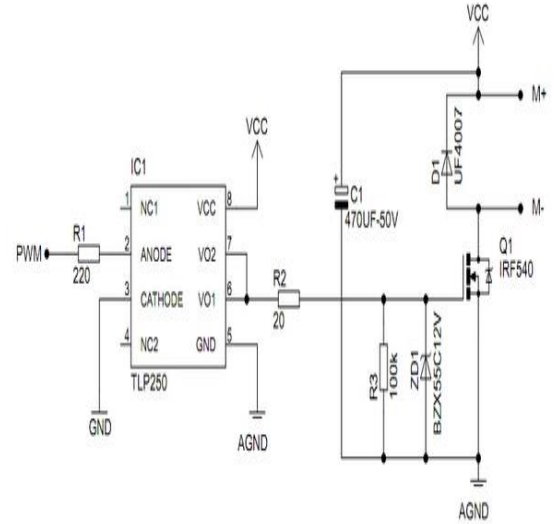
3.5 Güç Elektroniği ve MOSFET Sürme Devresi

Sistemin enerji akışı bir güç elektroniği sistemi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Fan olarak 12V DC bir fan seçilmiştir. Bu açıdan AC şebeke bir trafo üzerinden düşük gerilimli bir AC gerilime (12 V AC) düşürüldükten sonra tam köprü doğrultucu ile doğrultulur. Ancak efektif olarak DC gerilimin değeri 16.97 V olur. Bu değer piyasada yaygınca kullanılan 7812 regülatöründen geçirilerek 12V DC regüleli gerilim elde edilir [7]. Benzer mantık sensör beslemeleri içinde 7805 entegresi ve benzer prensipler ile gerçekleştirilir. Bu duruma denk düşün Proteus simülasyon çıktısı Şekil 30'da belirtilmiştir.



Şekil 30. Proteus Ortamlarında Besleme Devreleri ve Güç Elektroniği Dönüştürücülerinin Simüle Edilmesi

MOSFET sürme devresi olarak ise uygulamada pekçok yöntem öngörülmüştür. Hazır MOSFET sürücüler ile sürme de literatürde uygulanan yöntemler olarak bilinir. TLP entegresi bunlardan biri olup MOSFET sürme konusunda ideal bir entegredir. Bu duruma örnek teşkil edecek sürme devresi Şekil 31. 'de belirtilmiştir.[10]



Şekil 31. TLP250 Entegresi İle MOSFET Sürme Devresi Tasarımı [8]

4. Yazılım Altyapısı

Bulanık mantık bölümünde aktarılan matematiksel ve teorik bilgiler, donanım bölümünde detaylarıyla aktarılan ilgili donanım üzerinde algoritmik olarak koşturulmuştur. Bu bölümde bu algoritmik altyapı incelenmeye çalışılmıştır. Yazılım bölümü de donanım bölümü gibi alt başlıklardan bileşenlerden oluşmaktadır. Alt bileşenler şu şekilde belirlenebilir.

- ✓ ADC ile sensör verisi okuma
- ✓ LCD portu ve seri port üzerinden okuma
- ✓ PWM sinyali üretme
- ✓ Bulanık mantık algoritması

Bu alt bileşenlere ait yapılar bu bölümünde tanıtılmış ve yorumlanmıştır. Diğer bölümlerde bu bileşenleri birbirleriyle ve sistem ile entegrasyonu konuları incelenmiştir.

4.1 ADC ile Değer Okuma

Analog dijital dönüştürücüleri anlamlandırmak için öncelikli olarak analog ve dijital kavramları tanımlanmalıdır. Buna göre;

Analog veri sürekli olan tanımlanabilen matematiksel fonksiyonlara denk düşen verilerdir. Günlük yaşamın sürekli olduğu düşünülürse aslında analog veriler günlük yaşamımızda var olan gerçek verilerdir. Sıcaklık, aydınlık düzeyi, nem hatta duyu organlarımızla algıladığımız her şey analog verilerdir. Bu açıdan algılayıcılar analog veri olarak bilgiyi okurlar. Bu duruma lojik mantıkla çalışan istisnai algılayıcılar dahil değildir. Örneğin hareketi algılayan bir hareket sensörü görüp görmemesine +5 V,0 V üretiyorsa bu durum analog veriye denk düşmemektedir.

Dijital veri ise analog verinin aksine ayrık olarak tanımlı matematiksel fonksiyonlara denk düşen verilerdir. Bu durum bilgisayarların en temelde mikroişlemci ve hatta işlemcilerin çalışma prensibiyle alakalı bir durumdur. Sürekli bir fonksiyonu sürekli haliyle bir bellek alanında işlemek teknik olarak mümkün değildir. Bu haliyle bu durum sonsuz küçük aralıkta sonsuz tane verinin saklanması anlamı taşır. Bu mümkün olmayacağı için analog veriler çok küçük örnekleme sürelerinde örneklenir. Bu işlem örnekleme işlemi olarak bilinmekle beraber örnekleme teoremine göre yapılmalıdır.[9]

Uygulamada ADC işlemleri;

- ✓ Filtreleme
- ✓ Örnekleme
- ✓ Kuantizasyon
- ✓ İkili kodlama

işlemlerinden meydana gelir.

Teorik olarak kısaca özetlenen bu durum yazılımsal olarak çok basitçe tek bir kod satırı ile gerçekleştirilebilir. Farklı gömülü sistem programlama dillerinde sözdizimi farklı olsa da benzerlik göstermektedir. Arduino için ADC dönüştürme fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

```
float x=Analogread(AnalogPinGirisi);
```

Ancak x değişkenin gerçek fiziksel dünyadaki sensörlerden gelen ve beklediğimiz okuma değeri olmadığı unutulmamalıdır. İlgili sensör katalog verilerine göre x değişkeni bit sayısı ile de ilişkili olarak gerçek değere dönüştürülmelidir.

4.2 Yazılımsal Olarak PWM Sinyali Üretme

PWM teorisi donanım bölümünde ele alınmıştır. Yazılımsal olarak ise PWM sinyali üretmek tanımlı hazır fonksiyonlar sayesinde ADC işleminde olduğu gibi oldukça kolay hale gelmektedir. Arduino için PWM işlemi aşağıdaki gibi gerçekleştirilmektedir.

```
analogWrite(Pin, value);
```

Pin PWM sinyaline ait çıkış pinini belirlemektedir. Value 0-255 arasında bir değer olup 255 değeri %100 doluluğu ifade ederken, 0 %0 doluluğu ifade eder, ara doluluk değerleri ise lineer olarak hesaplanarak bulunmalıdır.

Ancak bu fonksiyonla PWM sinyaline ait üçüncü özellik ayarlanamamaktadır. Bu özellik sinyal frekansıdır. Örnek olarak güç elektroniği elemanlarından bazıları yüksek frekans altında tetiklenmelidir. Bu açıdan ayarlanamayan sabit bir frekans uygulamalarda kısıtlama yaratabilmektedir. Bu açıdan diğer bir yöntemle frekansı ayarlanabilir PWM tekniği üretme Arduino için aktarılmıştır.

```
digitalWrite(13, HIGH);
```

```
delayMicroseconds(100); //
```

```
digitalWrite(13, LOW);
```

```
delayMicroseconds(1000 - 100);
```

Yukarıdaki 4 satırlık kod ile PWM sinyali üretilmektedir. Bu yazılıma göre 13 nolu pinden %10 doluluk oranında 10 Khz lik bir sinyal üretilmiştir. Gecikme süreleri ile frekans ve doluluk rahatça değiştirilebilmektedir.

4.3 Algoritma

Algoritma olarak, ADC bölümünden nasıl geldiği açıkça belirtilen sensör verilerine göre, çıkışta bir MOSFET sürme devresi üzerinden PWM ile nasıl üretilceği aktarılan bir sinyal

arasındaki, bulanık mantık akışı koşturulmuştur. Buna göre gelen sensör verilerinin doğru olarak geldiği kabulüyle aşağıdaki örnek kod blokları ile algoritmik akış açıklanmıştır.

```
else if (sicaklik1 < 13 && sicaklik1 > 10) {
    a = (-sicaklik1 + 13) / 3;
    b = (sicaklik1 - 10) / 3;
    coksoguk1 = a;
    soguk1 = b;
    ilik1 = 0;
    sicak1 = 0;
    coksicak1 = 0;
} (Kod bloğu 1)
```

Bu örnek kod bloğu bulanıklaştırma aşamasına aittir. Buna göre 13-16 sıcaklıkları arasında sensör 1 verisinden gelen bilgi çok soğuk ve soğuk üyelik değerlerine göre bulanıklaştırılır. Örneğin gelen verinin 11 derece olması varsayımı ile %66 çok soğuk, %33 soğuk bilgisi üyelik fonksiyonları değerleri olarak bulanıklaşmış olarak alt akışa iletilir. Bu örnek kod bloğu (Kod bloğu 1) kural tabanı ve bulanıklaştırma eğrisine göre bütün sensör verileri ve girdi değişkenlerine göre genelleştirilir.

```
if(coksoguk1!=0 && coksoguk2!=0 && orta!=0){
    hizli=kucuksec(coksoguk1,coksoguk2,orta);
    temp1=buyuksec1(temp1,hizli);
} (Kod bloğu 2)
```

Bu kod bloğu ile (Kod bloğu 2) kural tabanının seçilmesi ve durulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Buna durum için, kural tabanına göre sensör1 için çok soğuk, sensör2 için çok soğuk ve nem olarak orta bilgisi içeren bir sistem if bloğu ile hızlı devir sayısı üretecek kural tabanını işletecektir. Tanımlı kucuksec() ve buyuksec() fonksiyonları ise min-max kuralına dolayısıyla durulama aşamasına denk düşmektedir. Buna göre önce gelen veriler arasından en küçükler seçilir ardından en küçük

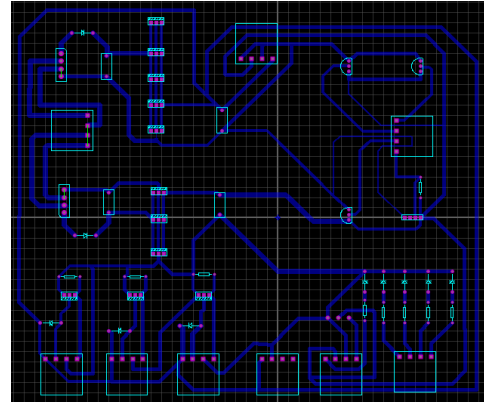
veriler arasından o çıkışa ait en büyük değişken seçilir. Böylece durulanmış olarak elde edilen çıkış değeri üyelik değerleri olarak fanın devir sayısını belirler.

$$\text{devirsayisi2} = ((100 * \text{temp3}) + (110 * \text{temp2}) + (170 * \text{temp1})) / ((\text{temp3} * 5 + \text{temp2} * 2 + \text{temp1} * 2));$$

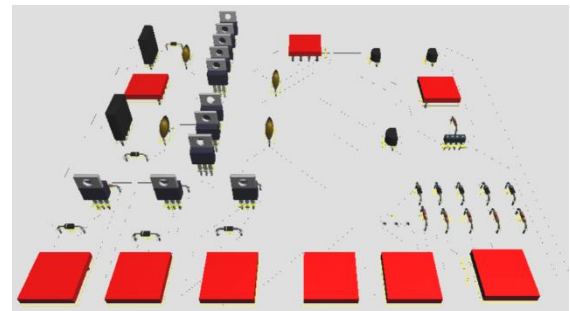
Son olarak ilgili çıkışın ağırlık merkezi yöntemi ile değeri hesaplanır. Bu değer PWM metodunda aktarılan yöntemlerle anlamlı bir PWM sinyali haline dönüştürülür. Böylece bir MOSFET sürme devresi üzerinden fanın devir sayısı kontrolü gerçekleştirilmiş olur.

5. Sistem Entegrasyonu ve Sistemin Akıllı Ev Üzerinde Uygulanması

Sistem entegrasyonu kapsamında devre tahtası üzerinde testleri gerçekleştirilen donanım çıktıları daha sağlıklı bir çalışma için baskı devre haline dönüştürülerek elektronik bir bütünlük sağlanmıştır. Tasarlanan elektronik devre ile güç elektroniği devreleri, sensör devreleri, MOSFET sürme devreleri ve çıkışlar tek bir kart üzerinde birleştirilmiştir.



Şekil 32. Devre Tasarımına Ait ARES Çıktısı



Şekil 33. Tasarımın 3 Boyutlu Olarak Gözlemlenmesi

Son olarak elektronik bileşenler ve yazılım testleri yapılmak üzere Akıllı ev üzerine entegre edilmiştir.



Şekil 34. Prototip Akıllı Ev Modeli Üzerine Sistemin Entegre Edilmesi

Entegrasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra test işlemi uygulanmıştır. Test işlemine ait sonuçlar ve yorumları sonuç bölümünde tartışılmıştır.

6. Sonuçlar ve Öneriler

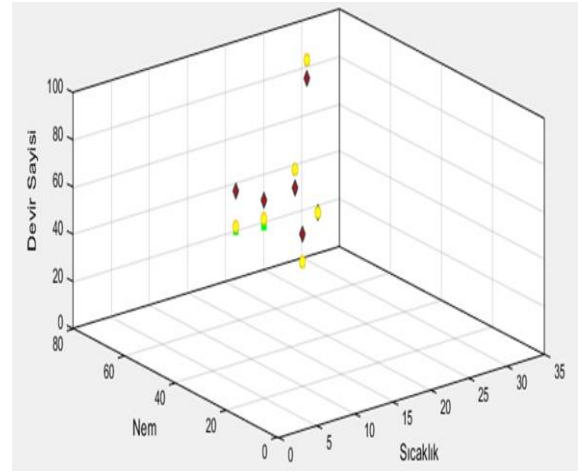
Bu bölümde çalışma boyunca teorisi ve tasarımı aktarılan bulanık mantık algoritmasına ait sonuçlar aktarılmıştır. Çizelge 9. 'da MATLAB, Proteus ortamları ve matematiksel bulgular ile farklı sensör değerlerine göre bulanık mantık yaklaşımları ile elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 9. Farklı simülasyon ve matematiksel olarak bulunan devir sayıları (S.1: Sıcaklık sensörü 1, S.2: Sıcaklık sensörü 2, N.1: Nem sensörü)

Giriş Değişkenleri			Çıkış (Fan Devir Sayısı)		
S. 1	S.2	N.1	MATLAB	Proteus	Matematiksel
17.2	21.2	62	46.60	34.22	37.85
28	32	78	77.09	85.00	85.00
11	13	29	77.23	85.00	85.00

23	22	56	32.60	20.00	20.00
18	19	42	46.09	30.00	31.42
35	40	80	77.59	85.00	85.00
20	17	38	55.00	55.00	55.00

Bulgular Şekil 35.'de 3 boyutlu grafik olarak analiz edilmiş farklı ortamlardaki sonuçların kabul edilebilir hata sınırları içerisinde yer aldığı gözlemlenmiştir.



Şekil.35 Farklı Ortam ve Yöntemlerle Bulunan Devir Sayısı Sonuçları (Kahverengi: MATLAB, Sarı: Proteus, Yeşil: Matematiksel Metotlar)

Akıllı ev üzerinde ve deneysel çalışma sonucu elde edilen bulgular Şekil 36. 'da belirtilmiştir.

```

Nem:
42.00
Sıcaklık 1:
23.00
Sıcaklık 2:
23.00
Devir Sayısı:
45.28
PWM:
42.07

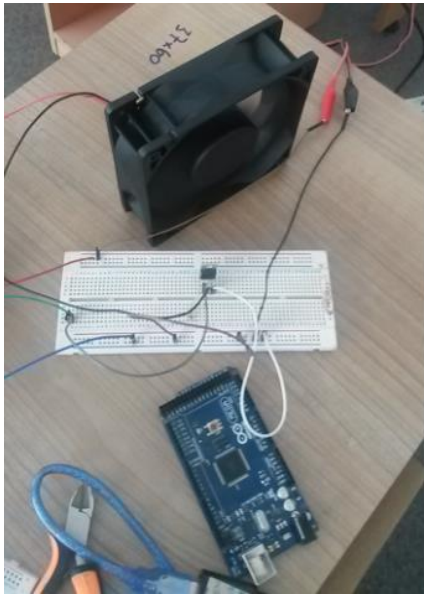
Nem:
22.00
Sıcaklık 1:
16.11
Sıcaklık 2:
22.15
Devir Sayısı:
55.00
PWM:
58.40

```


Nem:
52.00
Sicaklik 1:
19.00
Sicaklik 2:
21.00
Devir Sayisi:
23.18
PWM:
4.95

Şekil 36. Deneyisel Bulguların Seri Port Üzerinden İzlenmesi

Deneyisel bulgular için kurulan düzenek Şekil 37. ve Şekil 38. 'de paylaşılmıştır.



Şekil 37. Deneyisel Çalışmalar İçin Deney Düzeneğinin Kurulması (1)



Şekil 38. Deneyisel Çalışmalar İçin Deney Düzeneğinin Kurulması (2)

Çalışma akıllı ev prototip modeli üzerine entegre edilerek denenmiştir. Bulgular deneyisel çalışmalarda edinilen bulgularla benzer

olmuştur. Şekil 39. 'da sistemin akıllı ev üzerine entegrasyonu gözlemlenmektedir.



Şekil 39. Sistemin Akıllı Ev Üzerine Entegrasyonu

Son olarak deneyisel bulgular matematiksel olarak analiz edilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Çizelge 10. 'da gözlemlenmiştir;

Çizelge 10. Deneyisel Sonuçlar ve Matematiksel Sonuçların Karşılaştırılması

Giriş Değişkenleri			Çıkış Değişkeni (Devir Sayısı)		Hata Oranı
S1	S2	S3	Deneyisel	Matematiksel	% Yüzde
23.00	23.00	42.00	42.07	41.53	1.47
16.11	22.15	22.00	55.00	55.00	0
19.00	21.00	52.00	23.18	23.18	0

Öneri bölümünde sistemin geliştirilmesi için sunulan öngörüler ve yapılabilecekler konusu değerlendirilmiştir. Buna göre;

- ✓ Bulanıklaştırma kuralları değiştirilebilir
- ✓ Kural tabanında güncelleme yapılabilir
- ✓ Fanın devir sayısının yanında sıcaklık değerlerinin geldiği yön bilgisine göre bir servo motor ile sürülmek üzere fanın hareketli olarak yönünde değiştirilmesi sağlanabilir

- ✓ Durulama aşamasındaki kullanılan yöntemler değiştirilebilir
- ✓ Sistem PID ve MPC'ye ek olarak kurularak çok daha hassas bir uygulama örneği sunulabilir
- ✓ Peltier ısısı kontrol edilmek suretiyle fanın devir sayısı yanında fandan verilen havanın sıcaklığı da kontrol edilebilir.
- ✓ Nem dengeleyici çözümler ile neme bağlı çıkış kontrolcüsü tasarımı gerçekleştirilebilir.
- ✓ Algoritma gerçek bir klima sistemi üzerinde deneceği zaman güç elektroniği daha önemli hale gelecektir. Yüksek gerilim ve akımlarda kontrol işlemleri için daha hassas güç elektroniği devre dizaynları gerçekleştirilmelidir.

7. Kaynakça

- [1] ŞENGİRGİN M., Isıtma, Havalandırma Ve Klima Sistemlerinde Denetimin Dünü Ve Bugünü, Uludağ Üniversitesi, <http://smesut.home.uludag.edu.tr/pdf/HVAC-ttmd.pdf>
- [2] ¹ YAMAZAKI T, ² YAMAKAWA Y. , ³ KAMIMURA K. , ⁴ KURASU S. , Air-Conditioning PID Control System with Adjustable Reset to Offset Thermal Loads Upsets, ¹ Oyama National College of Technology, Japan, ² Univ. of Tokyo, Japan, ³ National Institute for Environmental Studies, Japan, ⁴ Research Inst. "Crotech", Japan
- [3] ÇETİN L. , Makine Mühendisliğinde Ölçüm ve Analiz Lab., Dokuz Eylül Üniversitesi, <http://makina.deu.edu.tr/files/courses/4097/docs/10DCMotor.pdf>
- [4] ERKAYMAZ H. , ÇAYIROĞLU İ. , Bulanık Mantık ve PIC Kullanılarak Bir Klima Sistem Kontrolü, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (MAKUFEED (2010) 2: 167-180)
- [5] AKÇAYOL M. A. , Bulanık Mantık Denetleyiciler, Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
- [6] <http://arduinoturkiye.com/dht11-sicaklik-ve-nem-sensorunun-arduino-ile-kullanimi/> (İnternet Kaynağı- Erişim Tarihi: 08.03.2015)
- [7] Doğrultmaçlar ve Regüle Devreleri, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Ankara 2011, MEGEP Dökümanları
- [8] BODUR H. , Güç Elektroniği (Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar), Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Birsen Yayınevi, İstanbul 2010
- [9] ÇİÇEK S. , CCS C İle Pic Programlama, Altaş Yayıncılık, İstanbul 2009 (Bölüm 18, Sayfa 427,428,429- Bölüm 9, Sayfa 257,258)
- [10] KUNTMAN H. H. , Güç Mosfetleri, Köprü Devreleri Ve Sürücüler, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Fakültesi <http://web.itu.edu.tr/~kuntman/lisans/elh426/MOSSUR.pdf>
- [11] AKGÜL N. H., KAVDIR İ. , DAYIOĞLU M. A. , Bulanık Mantık Yardımıyla Doğal Havalandırma Yapılan Bir Serada Sıcaklık ve Bağıl Nem Kontrolünün Modelenmesi, Tarım Makinaları Bilim Dergisi, 2006, 2(1),57-63
- [12] <http://www.arduino.cc/> (İnternet Kaynağı, Arduinio Resmi Sitesi, Erişim Tarihi: 24.03.2015)