İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI AKILLI KLİMA KONTROL SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onuralp SÖZER

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI AKILLI KLİMA KONTROL SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onuralp SÖZER
(504131119)

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504131119 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onuralp SÖZER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TERMAL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI AKILLI KLİMA KONTROL SİSTEMİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yrd. Doç. Dr. Tufan KUMBASAR** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Müjde GÜZELKAYA** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd. Doç. Dr. İlker ÜSTOĞLU Yıldız Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 24 Kasım 2016
Savunma Tarihi : 21 Aralık 2016

ÖNSÖZ

Türkiye'nin cari açığının yarısının enerji ithalatı sebebiyle oluştuğu düşünüldüğünde enerji alanında araştırma yapmak bariz şekilde gereklidir. Fakat çözüm arayışı içerisine girerken daha fazla enerji elde etmenin yollarını aramakla birlikte daha az enerji tüketmenin yollarını da aramamız gerekmektedir. Bu şekilde hem ülke ekonomisi hem de yaşam alanımız olan Dünya için ilerleme kaydetmiş oluruz.

Bilim dünyasına küçük de olsa katkı yapmama zemin hazırlayan ve beni yüksek lisans programına kabul eden İTU Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü hocalarıma ve tez danışmanın Yrd. Doç. Dr. Tufan Kumbasar hocama teşekkür ederim. Eğitim hayatım boyunca beni destekleyip motive eden canım aileme ve enerjisini güler yüzüyle paylaşarak daima yanımda olan sevgili nişanlım Elvan Erdem'e yürekten sevgilerimi sunarım.

Aralık 2016

Onuralp Sözer
(Elektrik-Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
SEMBOLLER ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Özeti 1
1.1.1 Klimaların tarihsel gelişimi 2
1.1.2 Klimaların çalışma prensibi 3
1.1.3 Mevcut klima kontrol metodları 4
1.1.4 Termal konfor 5
1.1.5 Termal konfor tahmini 7
1.1.6 Termal konfor odaklı sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar 9
1.2 Tezin Amacı 13
2. DENEY PLATFORMUNUN OLUŞTURULMASI **15**
2.1 Donanım Platformu 15
2.2 Yazılım Platformu 18
3. TERMAL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI AKILLI KLİMA KONTROL SİSTEMİ TASARIMI **21**
3.1 Konfor Sıcaklığının Bulunması 21
3.2 Deney Ortamının Termal Modelinin Bulunması 25
3.3 Kontrolörün Tasarlanması 29
3.4 Kontrolör Performansı Testleri 32
3.5 Konfor Sıcaklığının Sıcaklık Girişi Olarak Kullanılması ve Sistem Testleri 37
4. SONUÇ VE ÖNERİLER **43**
KAYNAKLAR **45**
ÖZ GEÇMİŞ **47**

KISALTMALAR

PMV **:** Predicted Mean Vote
ANFIS **:** Adaptive neuro fuzzy inference system
ISO **:** International Organization for Standardization
AC **:** Air Conditioner
PID **:** Proportional-Integral-Derivative
PSO **:** Particle Swarm Optimisation
PI **:** Proportional-Integral
4G **:** Fourth generation of wireless technology
PWM **:** Pulse Width Modulation
PPD **:** Predicted Percentage of Dissatisfied
DC **:** Direct Current
RH **:** Relative Humidity
SSH **:** Secure Shell
FTP **:** File Transfer Protocol
HTTP **:** Hyper Text Transfer Protochol
LIRC **:** Linux Infrared Remote Control
Kb **:** Back Calculation Constant
Led **:** Light Emitting Diode
ASHRAE **:** American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

SEMBOLLER

C	**:** Celcious
M	**:** Metabolizma
L	**:** Vücudun termal yükü
h_c	**:** Konveksiyonel ısı tranferi katsayısı
t_{cl}	**:** Kıyafet yüzey sıcaklığı
W	**:** Yapılan iş
I_{cl}	**:** Kıyafet termal direnci
f_{cl}	**:** Kıyafetli vücut yüzey alanının kıyafetsiz vücut yüzey alanına oranı
t_a	**:** Hava sıcaklığı
t_{mrt}	**:** Ortalama radyal sıcaklık
t_r	**:** Radyal sıcaklık
V	**:** Hava akış hızı
P_a	**:** Kısmi su buharı basıncı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Termal konfor yelpazesi [3]. 7
Çizelge 1.2: PMV fonksiyonu için gerekli olan argümanlar [3,4]. 10
Çizelge 1.3: Çeşitli aktiviteler için üretilen metabolik ısı değerleri [3]. 11
Çizelge 1.4: Çeşitli kıyafet gruplarının termal geçirgenlik katsayıları [3]. 11
Çizelge 2.1: DHT-22 sıcaklık ve nem alıcısının özellikleri. 15
Çizelge 3.1: Basamak cevaplarından elde edilen transfer fonksiyonları. 29
Çizelge 3.2: Kapalı çevrim sistemin basamak cevabı karakteristiği. 32
Çizelge 3.3: Deneylerden elde edilen basamak cevaplarının karakteristiği. 37

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Klima teknolojisinin gelişimi [2]. 2
Şekil 1.2: Klimanın çalışma prensibi. 4
Şekil 1.3: Aç-kapa kontrol [2]. 4
Şekil 1.4: Inverter kontrol [2]. 5
Şekil 1.5: İnsan vücudunun çevresi ile olan ısı ilişkisi [3]. 6
Şekil 1.6: PPD – PMV ilişki grafiği [3]. 9
Şekil 2.1: Kızıl ötesi alıcı kartı. 16
Şekil 2.2: Kızıl ötesi verici devresi tasarımı. 16
Şekil 2.3: Ethernet üzerinden haberleşilen uç noktalar. 17
Şekil 2.4: Ethernet portu arttırılmış Raspberry Pi geliştirme kartı. 17
Şekil 2.5: Yazılım platformunun web ara yüzü. 19
Şekil 3.1: PMV değerinin bulunması. 21
Şekil 3.2: hc ve tcl'nin PSO ile bulunması. 22
Şekil 3.3: Konfor sıcaklığının bulunması. 23
Şekil 3.4: PMV formülünün PSO ile tersinin alınması. 24
Şekil 3.5: Deneylerde kullanılan kübik oda. 25
Şekil 3.6: Deney elemanlarının oda içerisindeki dağılımı. 26
Şekil 3.7: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 1. deney. 27
Şekil 3.8: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 2. deney. 27
Şekil 3.9: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 3. deney. 28
Şekil 3.10: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 4. deney. 28
Şekil 3.11: Deneylerin yapıldığı odanın termal benzetim modeli. 30
Şekil 3.12: Tasarlanan PI kontrolörün içyapısı. 30
Şekil 3.13: Sistemin kapalı çevrim cevabının benzetim sonucu. 31
Şekil 3.14: PI kontrolörün ürettiği kontrol işaretinin benzetim sonucu. 31
Şekil 3.15: Sistemin kapalı çevrim basamak cevabı 1. deney. 32
Şekil 3.16: Deney 1 sırasında üretilen kontrol işareti. 33
Şekil 3.17: Deney 1 sırasında üretilen hata işareti. 33
Şekil 3.18: Sistemin kapalı çevrim basamak cevabı 2. deney. 34
Şekil 3.19: Deney 2 sırasında üretilen kontrol işareti. 34
Şekil 3.20: Deney 2 sırasında üretilen hata işareti. 35
Şekil 3.21: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 1. deney. 35
Şekil 3.22: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 2. deney. 36
Şekil 3.23: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 3. deney. 36
Şekil 3.24: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 4. deney. 37
Şekil 3.25: Sıcaklık girişi olarak konfor sıcaklığı kullanılması. 38
Şekil 3.26: Tasarlanan sistemin kapalı çevrim cevabı. 38
Şekil 3.27: Tasarlanan sistemin kontrol işareti. 39
Şekil 3.28: Tasarlanan sistemin hata işareti. 39
Şekil 3.29: Tasarlanan sitemden elde edilen PMV değeri. 40
Şekil 3.30: Tasarlanan sitemden elde edilen PPD değeri. 40
Şekil 3.31: Açık pencere senaryosundan elde edilen sıcaklık grafiği. 41
Şekil 3.32: Açık pencere senaryosundan elde kontrol işareti grafiği. 41
Şekil 3.33: Açık pencere senaryosundan elde edilen hata işareti grafiği. 42

TERMAL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI AKILLI KLİMA KONTROL SİSTEMİ

ÖZET

Bu tezde, klima kumandası ile klimayı kontrol eden bir kullanıcı gibi çalışan akıllı klima kontrol sistemi anlatılmaktadır. Tasarlanan akıllı klima kontrol sistemiyle klima, kullanıcıların termal konfor sıcaklığına otomatik olarak ayarlanmakta ve tasarım sayesinde enerji verimliliği arttırılmaktadır.

Günümüzde insanlar konforlu, modern ve kaliteli bir yaşama ortamı sağlamak için iklimlendirme sistemlerini hiç olmadığı kadar yoğun bir şekilde kullanmaktadırlar. Aynı zamanda klimaların kullanımı gelir seviyesindeki artış ile birlikte artmaktadır ve bununla paralel olarak elektrik harcamalarında da artış gözlenmektedir. Bu sebeplerle artan ihtiyaca yönelik klima kullanımın konforunu arttırmak ve yoğun kullanımdan doğan enerji ihtiyacı azaltmak araştırmaya değer ve gerekli bir konudur.

Akıllı klima kontrol sistemi internet üzerinden erişilebilirlik, alıcılar ile haberleşme, lineer olmayan denklem çözme, optimizasyon algoritması ve klima kontrolü algoritması gibi yazılım unsurlarını üzerinde barındıran ve bu unsurları aynı anda performans kaybı yaşamadan koşturabilecek donanım unsurlarından oluşmaktadır.

Kontrol edilecek klimanın kumandasının tuşlarına basıldığında gönderdiği kızıl ötesi komutlar, kızıl ötesi alıcı yardımıyla kontrolörün içine önceden kayıt edilmektedir. Klima kontrol sistemi bu sayede, kurulu klimanın iç ve dış birimlerinin çalışma şekline müdahale etmeden kızıl ötesi yoluyla klima kumandası komutları gönderen bir kullanıcı rolünde çalışır.

Klima kontrol sistemini akıllı yapan, termal konfor sıcaklığını belirleyen algoritma, deney ortamına yerleştirilen sıcaklık ve nem alıcılarından aldığı bilgiler ve sabit deney koşulları altında termal konfor sıcaklığını belirleyerek klimanın kızıl ötesi yoluyla konfor sıcaklığına ayarlanmasını sağlar.

Termal konfor sıcaklığını belirleyen algoritmanın çekirdeğini, çevre ve insan faktörleri arasındaki termodinamik ilişki ile deney sonuçlarından alınan istatistiksel verilerin birleştirilmesiyle ortaya çıkarılan tahmini ortalama oy (PMV) fonksiyonu oluşturmaktadır. Fonksiyon sonucunda elde edilen PMV değeri, ISO 7730 ve ASHRAE Standard 55'de belirtilen termal konfor yelpazesinde bir noktaya denk gelir ve büyük bir insan gurubunun ortalama termal konforunu tahmin eder.

Termal konfor yelpazesi +3 ve -3 aralığında değişmektedir ve +3 çok sıcak koşullar için, -3 ise çok soğuk koşullar içindir. PMV fonksiyonuna göre elde edilen 0 değeri termal konfor yelpazesinde en uygun ortam koşullarını temsil eder ve yelpazedeki bu değerde bile PMV'ye göre istatistiksel olarak insanların %5'i kendini termal anlamda konforlu hissetmemektedir.

ISO standartlarında PMV değerinin +0.5 ve -0.5 arasında olması gerektiği belirtilmiştir. Termal konfor sıcaklığı bulunurken de hem ISO standartları dışına çıkmamak hem de enerji verimliliği sağlamak için deney ortamının PMV değerini yaz

aylarında +0.25, kış aylarında -0.25 olmasını sağlayacak hava sıcaklıkları seçilmiştir. Fakat seçilen hava sıcaklığı, PMV fonksiyonunda kullanılan bir parametre olduğu için fonksiyonun tersi alınmıştır. PMV fonksiyonunun çözümü doğrusal olarak yapılamadığından fonksiyonun tersini alma işlemi de doğrusal olarak yapılamaz, dolayısıyla PMV değerinin bulunması ve fonksiyonun tersinin alınması işlemlerinde parçacık kümesi optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır.

Akıllı klima kontrol sistemi deney ortamının sıcaklığını, belirlenen termal konfor sıcaklığına aşım yapmadan olabildiğince hızlı bir şekilde tasarlanan PI kontrolör sayesinde getirir. PI kontrolör tasarlanırken öncelikle deney ortamının termal transfer fonksiyonu yapılan basamak cevabı deneyleriyle çıkarılmıştır. Daha sonra yapılan benzetimler ve testler ile PI kontrolörünün katsayıları ve yapısı belirlenmiştir.

Tasarlanan termal konfor ve enerji verimliliği odaklı akıllı klima kontrol sistemi ile klima çalışma sıcaklığı 0.1 ^{o}C çözünürlükle otomatik olarak termal konfor sıcaklığına ayarlanabilmektedir. Yapılan deneyde, PMV değeri -0.25 ve 0 olarak seçildiğinde konfor değeri sırasıyla ortalama 21.7 ^{o}C ve 22.8 ^{o}C olarak bulunmuştur. Klima, ortamın sıcaklığına ve nemine aynı anda etki ettiği için konfor sıcaklıkları $\pm$ 0.1 ^{o}C salınım yapmıştır.

Deneyde PMV -0.25 değeri için ortam sıcaklığı kontrol sistemi tarafından $\pm$0.4 hata payı ile 21.7 ^{o}C'de tutulmaya çalışılmıştır. PMV 0 değeri için ise ortam sıcaklığı kontrol sistemi tarafından $\pm$0.5 ^{o}C hata payı ile 22.8 ^{o}C'de tutulmaya çalışılmıştır. PMV 0 için sistemin nispeten zorlanmasının sebebi, odanın çok yavaş ısınması fakat çok çabuk soğumasıdır.

Ayrıca dış hava sıcaklığı 20 ^{o}C'de iken pencere açma senaryosu ile sistemin hata girişine karşı olan dayanıklılığı ölçülmüş ve deney sonuçlarında kontrol sisteminin hata sinyalini başarılı şekilde bastırdığı görülmüştür.

Verilere göre kullanıcılar, kışlık kıyafetler ile bilgisayar işleriyle uğraştıklarında ve konfor sıcaklığı PMV -0.25 değerine göre belirlendiğinde %6-%8 arasında ortamdan termal açıdan rahatsız olmuşlardır. Aynı koşullarda konfor sıcaklığı PMV 0 değerine göre belirlendiğinde kullanıcılar ortalama %5.1 oranında ortamdan termal açıdan rahatsız olmuşlardır. Bu yüzden hem enerji verimliliği hem de termal konforun sağlanması için kış aylarında PMV -0.25 değeri tercih edilmiştir.

THERMAL COMFORT AND ENERGY CONSERVATION BASED AUTOMATIC AIR CONDITIONER CONTROL SYSTEM

SUMMARY

In this thesis, a smart climate control system that operates like a user who controls an air conditioner (AC) via its remote control, is introduced. The smart climate control system sets AC to users thermal comfort temperature automatically, also increase in sustainability is achieved by the design.

Today, people are using the air conditioning systems more intensely than ever to provide a comfortable, modern and quality living environment. While use of air conditioners is increasing with increase in income, electricity spending is also increasing in parallel.

In addition, according to the simulation results, it is predicted that global warming will reduce the need for heating by 34% in the year 2100, but the cooling requirement is expected to increase by 72%. It is therefore worthwhile to investigate how to increase thermal comfort of air conditioning usage and reducing the energy requirement from intensive use.

The smart climate control system is composed of software and hardware that contains accessibility over internet, communication with sensors, nonlinear equation solving, optimisation algorithms, AC control algorithm and hardware which is responsible for running these software factors at the same time without having performance issues.

As hardware, a popular and powerful development board Raspberry Pi is used as controller to have fast development schedule by means of its open software and community support. In addition, three temperature and humidity sensor and 1 infrared transmitter are used as nodes of the controller.

As software platform, Linux is used as operating system and mentioned software parts are implemented separately as programs. Programs like optimisation algorithm and nonlinear equation solving are written in C language to reduce calculation time. On the other hand, web server and PI controller algorithm are written in Python language for fast development because calculation time is not the main priority in that case.

The smart controller is designed to be able to work with any kind of AC, which has an infrared remote control. Such compatibility is achieved by recording infrared signals for every button that is sent to AC when pressed. Therefore, smart controller acts as a real person who has the remote control and sending temperature commands.

Decision making algorithm for determining which temperature command is going to be sent to AC makes the controller smart. The algorithm, determines thermal comfort temperature with information that comes from temperature and humidity sensors under constant test conditions.

Povl Ole Fanger's Predicted Mean Vote (PMV) function, which is derived from the results obtained from the thermal comfort experiments on humans and the mathematical model of the thermal relationship of the human body with its

environment is the core component of the thermal comfort temperature algorithm. The PMV value obtained as result of the PMV function, represents a point in thermal comfort scale which is defined in ISO 7730 and ASHRAE Standard 55 and it predicts the thermal comfort of a large number of people.

Thermal comfort scale varies between +3 and -3 which means very hot conditions and very cold conditions, respectively. A value of 0 according to the PMV formula indicates the most favourable ambient conditions and even at this value on the scale, statistically 5% of people do not feel comfortable in a thermal sense.

PMV formula is a very popular method in thermodynamic science and thermal comfort measurement. In ISO, it is specified that PMV value generated by the formula should be between +0.5 and -0.5 in order to have thermal comfort for human beings. When designing the control algorithm to determine thermal comfort temperature, staying inside of the specified ISO range and energy efficiency are ensured by selecting target PMV as +0.25 for summer conditions and -0.25 for winter conditions.

Because air temperature is an input argument to find PMV value, the PMV formula is needed to be reversed. Taking reverse of PMV formula is a nonlinear task as the function itself. Therefore, Particle Swarm Optimisation (PSO) is used for finding PMV value and while taking reverse of the function to find thermal comfort temperature. PSO is a population based stochastic optimization technique inspired by social behaviour of bird flocking or fish schooling.

The smart climate control system manages the air temperature of the test environment to stay in thermal comfort temperature by PI controller that is designed to have zero overshoot while being as fast as possible. Firstly, thermal transfer function of the test environment is obtained by applying the stepped temperature inputs to the air conditioner.

After the thermal transfer function of the test environment is achieved, a PI controller was designed to eliminate the steady state errors due to the shape of the room and the position of the air conditioner. In addition, temperature oscillations made by the air conditioner which are related to the position of the room and the air conditioner are reduced.

Thanks to designed thermal comfort and energy conservation based automatic air conditioner control system, AC temperature can be set with the resolution of 0.1 ^{0}C. In the experiment with the designed control system, when the PMV value is selected as -0.25 and 0, the comfort value is found as 21.7 ^{0}C and 22.8 ^{0}C respectively. Since the air conditioner affects the temperature and humidity of the environment at the same time, the comfort temperatures oscillated by ± 0.1 ° C.

In the experiment, for PMV -0.25 value, air temperature of the test environment is managed to be hold on at 21.7 ^{0}C with error ±0.4 ^{0}C. For PMV 0 value, air temperature of the test environment is managed to be hold at 22.8 ^{0}C with error ±0.5 ^{0}C. The reason behind the decrease of performance for PMV 0 value is that heating of the room is slow but cooling down is faster.

In addition, when the outside air temperature is 20 ^{0}C, the resistance against the error input of the system with the window opening scenario is measured and it is seen that the control system successfully suppresses the error signal in the test results.

According to the data, when people are sitting in winter clothes and working with their computer and when the comfort temperature is determined according to PMV -0.25

value, the users are disturbed thermally from the environment between 6% and 8%. When the comfort temperature was determined according to the PMV 0 value in the same conditions, the users were disturbed thermally from the ambient by an average of 5.1%.

The thermal comfort must be between +0.5 and -0.5 as it is specified in the ISO standards. Therefore, PMV-0.25 is preferred for winter months in terms of both energy efficiency and thermal comfort.

1. GİRİŞ

Bu tez çalışması, internet üzerinden erişilebilen bir klima kontrol sistemi yardımıyla oda sıcaklığının otomatik olarak enerji verimliliği ve termal konfor esas alınarak kontrol edilmesini anlatmaktadır.

Tezin birinci bölümünde kısaca klimanın nasıl çalıştığından ve gelişim sürecinden, mevcut klima kontrol sistemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca termal konfor odaklı sistemlerde tercih edilen tahmini ortalama oy (PMV) fonksiyonundan ve termal konfor odaklı yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir.

Tezin ikinci bölümünde ise deney platformunun oluşturulması için kullanılan donanım ve yazılım teknolojilerinden bahsedilmektedir. Kullanıcıların klimaya uzaktan erişiminin sağlanması için kurulan yazılım platformuna ve kullanılan programlara değinilmiştir. Proje için özgün olarak değiştirilen ilk örnek geliştirme kartından, hazırlanan sıcaklık ve nem alıcılarından ve klima ile haberleşmenin sağlanması için hazırlanan parçadan bahsedilmiştir.

Son bölümde ise oluşturulan deney platformu üzerinden termal konfor ve enerji odaklı klima kontrol sisteminin tasarlanma aşamalarından ve test sonuçlarından bahsedilmiştir. Klimaya basamak sıcaklık girişleri gönderilerek odanın termal modeli çıkartılmıştır. Elde edilen sonuçlara dayanarak tasarlanan PI kontrolör ile sistemin sürekli hal hataları giderilip performansı iyileştirilmiştir. Sisteme uygulanan sıcaklık girişi, PMV fonksiyonunun parçacık kümesi optimizasyonu (PSO) yardımıyla tersi alınarak elde edilen konfor sıcaklığı seçilerek klima sıcaklık kontrolü otomatikleştirilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

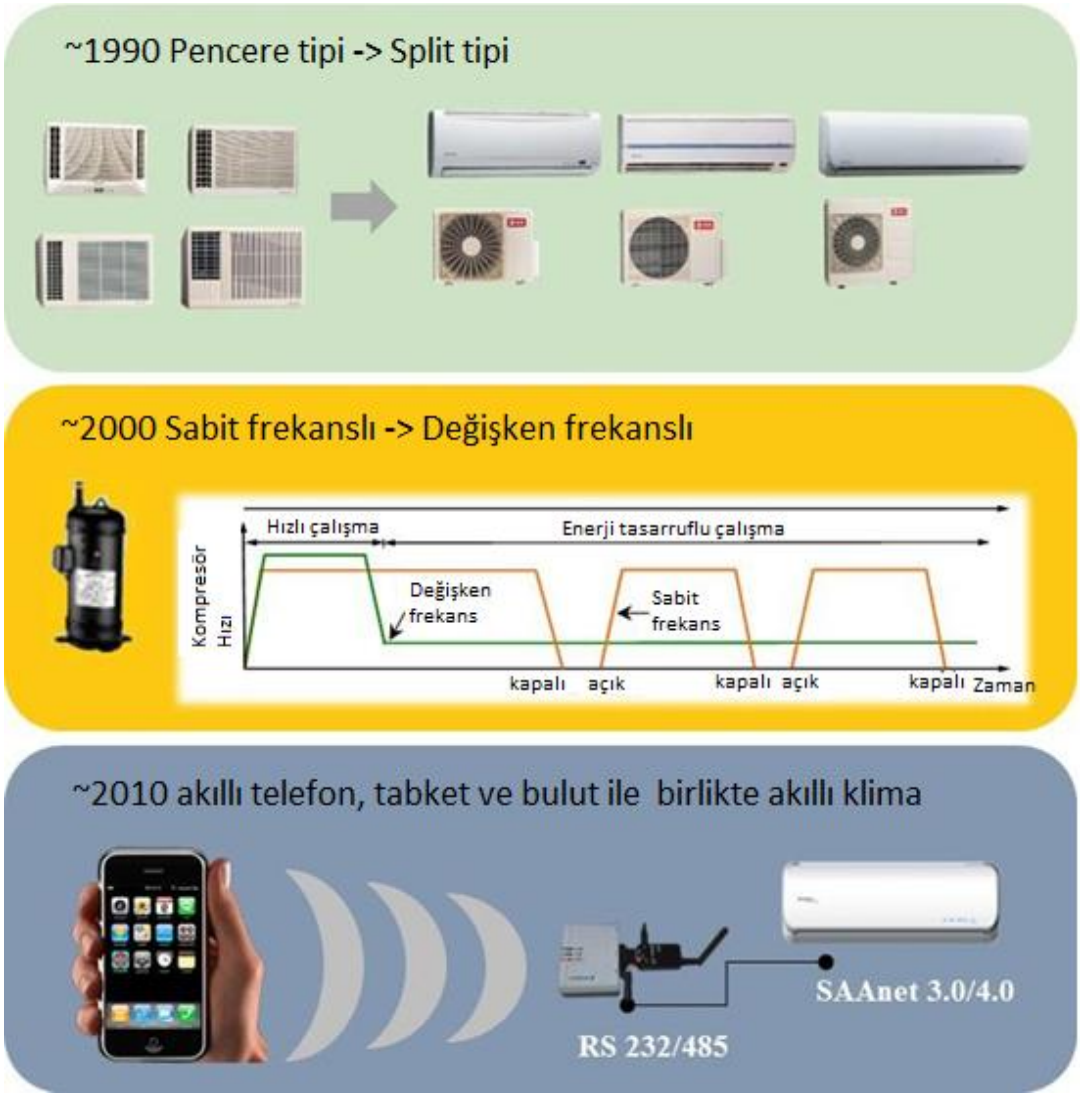
Günümüzde insanlar konforlu, modern ve kaliteli bir yaşama ortamı sağlamak için iklimlendirme sistemlerini hiç olmadığı kadar yoğun bir şekilde kullanmaktadırlar. Klimalar ise özellikle soğutma amaçlı olarak en çok tercih edilen iklimlendirme sistemidir. Klimaların kullanımı gelir seviyesindeki artış ile birlikte artmaktadır ve bununla paralel olarak elektrik harcamalarında da artış gözlenmektedir. Ayrıca yapılan

benzetim sonuçlarına göre küresel ısınmanın 2100'lü yıllarda ısınma ihtiyacını %34 düşüreceği öngörülmesine rağmen, soğutma ihtiyacının %72 artacağı öngörülmektedir. Bu sebeplerle artan ihtiyaca yönelik klima kullanımın konforunu arttırmak ve yoğun kullanımdan doğan enerji ihtiyacı azaltmak araştırmaya değer ve gerekli bir konudur [1].

1.1.1 Klimaların tarihsel gelişimi

İlk olarak 1900'lü yılların başlangıcında buzun üzerinden hava iletimi ile gerçekleştirilen soğutma işleminin yerini daha sonra pencere tipi klimalar almıştır.

1990'lı yıllarda ise gürültüyü azaltmak ve kullanıcıların konforunu arttırmak için klimanın kompresör kısmı dışarıya alınarak split tip klimalar kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.1: Klima teknolojisinin gelişimi [2].

2000'li yıllara kadar kompresörler sabit frekansta, aç-kapa yapılarak kontrol edilmekteydi. Aç-kapa ile kontrol edilen klimalar açık durumda tüm gücüyle çalışmaktaydı ve sıcaklık salınımına sebep olmaktaydılar. Bu yüzden enerji kullanımı fazlaydı fakat buna rağmen sağlanan konfor düşüktü.

Fazla olan enerji ihtiyacını düşürmek ve konforu arttırmak için klimaları sabit frekansta aç-kapa ile kontrol etmek yerine, elektronik bir valf yardımıyla yapılan değişken frekanslı kontrol, kompresör çıkışını ve soğutma sıvısının akış hızını ayarlayarak ortam sıcaklığının sürekli olarak ayarlanmasını sağlamıştır. Inverter adıyla alınan bu teknolojiyle birlikte klimaların enerji ihtiyacı azaltılmış ve konfor arttırılmıştır.

Özellikle 2010'dan sonra akıllı telefonlar, tabletler, bulut bilişimi, 4G gibi bilişimde yaşanan gelişmelerle birlikte klimalarda daha akıllı hale gelmiştir. Yaşanan bu gelişim daha çok klimaların erişilebilirliğini arttırmış ve kişiye özel kullanımı geliştirmiştir. Şekil 1.1'de klimaların gelişimi gösterilmektedir [2].

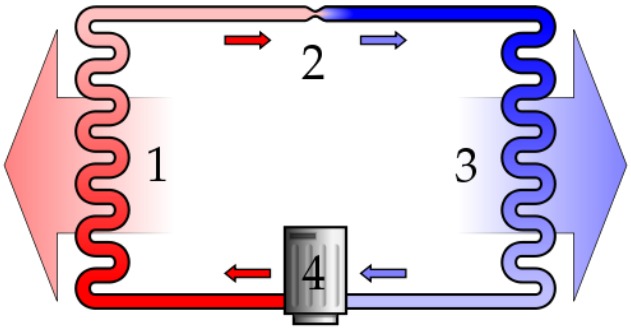
1.1.2 Klimaların çalışma prensibi

Klimalar, kaynama noktası oldukça düşük olan soğutucunun buharlaşma-yoğunlaşma döngüsüyle sağlanan ısı transferinden faydalanarak çalışmaktadırlar.

Soğutucu, kompresör, yoğunlaşma bobini, genişleme valfi ve buharlaşma bobininin olduğu kapalı bir sistemde, kompresör vasıtasıyla dolaştırılmaktadır. Kapalı çevrim sistemde dolaşan sıvı-gaz karışımının basıncı genişleme valfi ile ayarlanır. Genişleme valfi vasıtasıyla yaratılan yüksek basınçlı bölgede soğutucu yoğunlaşarak sıvı hale geçer. Soğutucunun yoğunlaşmasıyla oluşan sıcaklık artışı, pervane yardımıyla yoğunlaşma bobinine giren hava ile alınır.

Genişleme valfinin basıncı düşük olan bölgesinde ise soğutucu buharlaşarak gaz haline geçer. Soğutucunun buharlaşması ile oluşan sıcaklık düşüşü, pervane yardımıyla buharlaşma bobinine giren hava ile alınır.

Şekil 1.2'de klimaların çalışma mekanizması görsel olarak anlatılmaktadır. Soğutucu kapalı çevrim içinde 4 numaralı kompresör ile döndürülür. 2 numaralı genişleme valfi ile kapalı çevrim içinde basınç kontrolü yapılır. Basıncın fazla oluğu 1 numaralı bölgede soğutucu yoğunlaşır. Basıncın düşük olduğu 3 numaralı bölgede ise soğutucu buharlaşır. Böylece 1 numaralı bölge ısınırken, 3 numaralı bölge soğur.

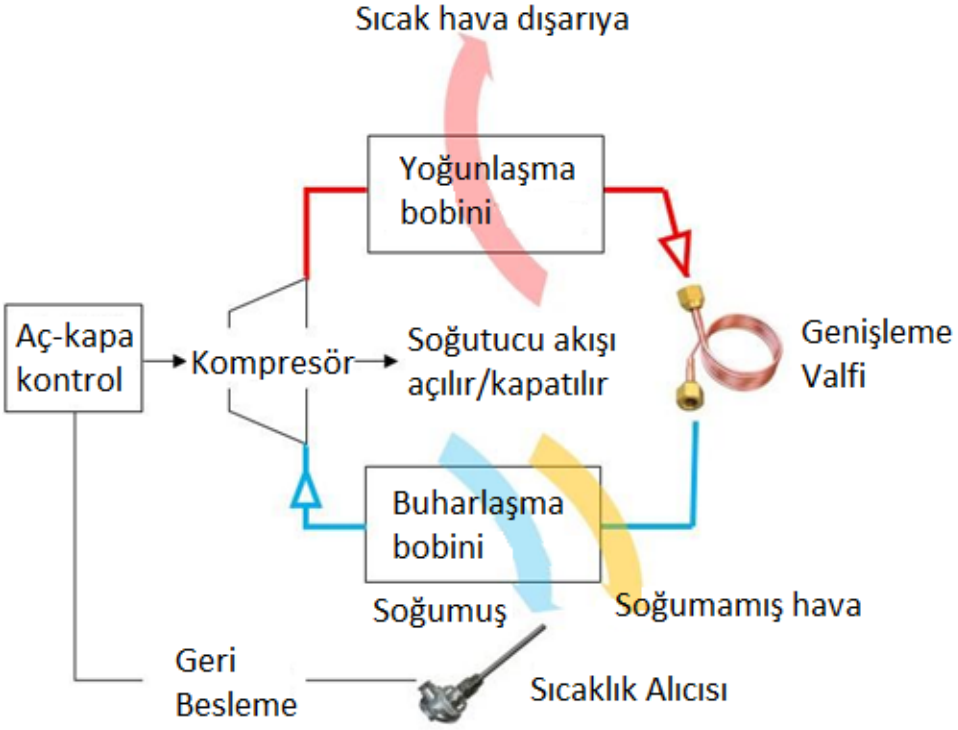


Şekil 1.2: Klimanın çalışma prensibi.

Klima soğutma amaçlı kullanıldığı zaman, split tipi klimaların iç ünitesi buharlaşma bobini, dış ünitesi ise yoğunlaşma bobini olarak kullanılmaktadır. Isıtma amaçlı kullanıldığı zaman ise durum tam tersine dönmektedir.

1.1.3 Mevcut klima kontrol metodları

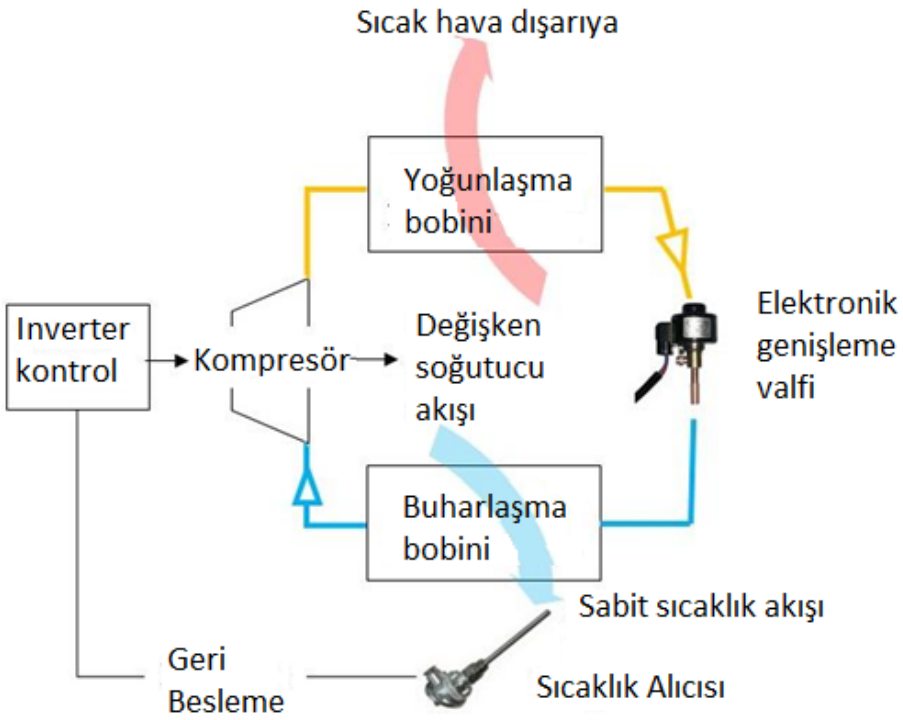
Split tipi klimalarda, iç ünitenin içinde sıcaklık alıcısı bulunmaktadır. Aç-kapa ile yönetilen klimalarda kompresör sabit frekansta çalışmaktadır. Odanın sıcaklığının alıcı yardımıyla istenilen seviyeye geldiği anlaşıldığında aç-kapa kontrol yapılarak kompresör açılıp-kapatılır. Böylece sıcaklık sabit tutulmaya çalışılır. Şekil 1.3'de aç-kapa kontrol mekanizması görsel olarak anlatılmaktadır [2].



Şekil 1.3: Aç-kapa kontrol [2].

İç ünitedeki sıcaklık alıcısı yardımıyla ortam sıcaklığının istenilen seviye gelip gelmediği kontrol edilir. Sıcaklık istenilen seviyeye geldiğinde kompresör açılıp kapatılarak sıcaklık sabit tutulmaya çalışılır.

Inverter kontrol biçiminde ise kompresör frekansı anlık olarak ayarlanarak sıcaklık sabit tutulmaya çalışılır. Ayrıca elektronik genişleme valfi kullanılarak basınç eş zamanlı olarak ayarlanır. Inverter kontrol sayesinde aç-kapa kontrole göre hem daha fazla enerji tasarrufu hem de sıcaklık salınımları azaltıldığı için daha fazla konfor elde edilmiş olunur. Şekil 1.4'te inverter kontrolün çalışma mekanizması görsel olarak anlatılmaktadır [2].



Şekil 1.4: Inverter kontrol [2].

İç ünitedeki sıcaklık alıcısı yardımıyla ortam sıcaklığının istenilen seviye gelip gelmediği kontrol edilir. Sıcaklık istenilen seviyeye geldiğinde kompresör darbe genişliği modülasyonu(PWM) ile kontrol edilerek sıcaklık sabit tutulmaya çalışılır. Ayrıca soğutucu basıncı elektronik valf ile eş zamanlı olarak ayarlanır.

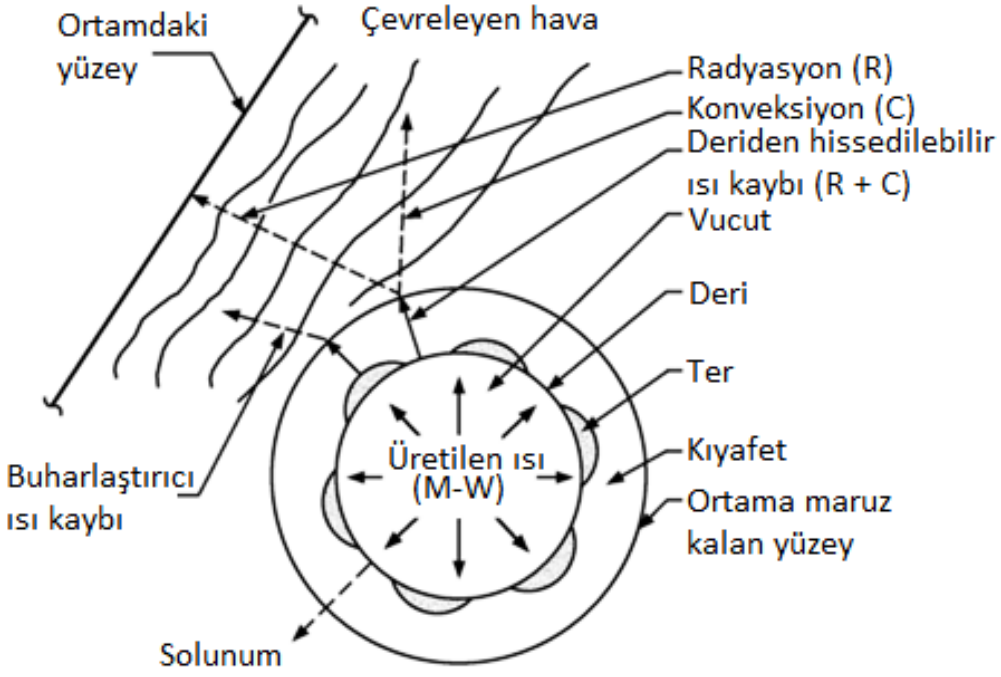
1.1.4 Termal konfor

İklimlendirme sistemlerinin amacı termal konforun oluşacağı ortamı hazırlamaktır. Fakat termal konfor algısal bir durumdur ve fiziksel, fizyolojik, psikolojik etmenler gibi birçok parametreden etkilenmektedir.

Bireyler termal açıdan konforlu olup olmadıklarını, derilerinde direkt olarak gerçekleşen sıcaklık ve nem değişikliklerinden, vücut iç sıcaklıklarından ve vücut ısılarını korumaya yönelik çabalarından yola çıkarak karar verirler. Genel olarak, vücut sıcaklığı dar bir bant içinde tutulabildiğinde, derideki nem seviyesi düşük olduğunda ve vücudun sıcaklığı korumak için harcadığı çaba az olduğunda termal konfordan söz edilebilmektedir.

Termal konfor ayrıca sıcaklık ve nem alıcılarımız yardımıyla duyduğumuz termal rahatsızlıktan kurtulmak için bilinçli ya da bilinçsiz yaptığımız eylemlerden de etkilenmektedir. Kıyafet değiştirmek, aktivite değiştirmek, duruş ya da pozisyon değiştirmek, bir iklimlendirme ünitesinin termostat ayarını değiştirmek, havalandırmak ya da serinlemek için cam açmak, şikâyet etmek ya da mekân değiştirmek bu eylemlere örnek oluşturabilirler.

Şaşırtıcı şekilde, iklim koşulları, yaşama koşulları ve kültürler dünya çapında farklılık göstermesine rağmen insanların kendi termal konforlarını sağlayabilmek için kıyafet, aktivite, nem ve bulundukları ortamın hava dolaşım hızının benzer olması koşulları altında tercih ettikleri sıcaklık çok benzerlik göstermektedir [3].



Şekil 1.5: İnsan vücudunun çevresi ile olan ısı ilişkisi [3].

Şekil 1.5'te insan vücudunun çevresi ile olan ısı ilişkisi gösterilmektedir. İnsan vücudu sıcaklığını belli bir bantta tutabilmek için sürekli olarak çevresiyle ısı transferi

gerçekleştirmektedir. Yapılan iş çıkarıldığında, metabolizmanın ürettiği enerji ısıya dönüşür ve fazla ısı insan beynindeki hipotalamus kontrolünde dışarı atılmak istenir. Eğer üretilen bu ısı yeterince hızlı dışarıya atılamayıp vücut çok ısınırsa hipertermi, fazla hızlı dışarı atılıp vücut soğursa hipotermi gerçekleşir.

Hassan olan bu ısı ilişkisini hipotalamus kontrol eder ve ısı transferi genel olarak deriye giden kan akışının kontrolüyle gerçekleşir. Vücut ısındığında, hipotalamus deriye giden kan akışını hızlandırır. Deriye gelen kan terleme ve hava alma yoluyla soğumaya başlar. Terleme ve hava yoluyla aktarılmak istenilen ısı radyal ve konveksiyonel olarak başka cisimler ve hava dolaşımı tarafından alınır. Vücut, ürettiği ısıyı fazla hızlı ilettiğinde ise hipotalamus kanın deriye daha az gitmesini sağlayarak iletimi yavaşlatmaya çalışır. Ayrıca giyilen kıyafet doğru seçilip yalıtım arttırılarak ve ısı transferinin gerçekleştiği yüzey küçültülerek de ısı iletimi yavaşlatıla bilinir.

1.1.5 Termal konfor tahmini

Termal konforun tahmin edilmesinde, Povl Ole Fanger'in insanlar üzerinde yapılan termal konfor deneylerinden elde edilen sonuçlar ile insan vücudunun çevresi ile olan termal ilişkisinin matematiksel modelinden yararlanarak ortaya koyduğu tahmini ortalama oy(PMV) fonksiyonundan yararlanılır.

Fonksiyon sonucunda elde edilen PMV değeri, ISO 7730 ve ASHRAE Standard 55'de belirtilen ve çizelge 1.1'de gösterilen termal konfor yelpazesindeki bir noktaya denk gelir ve büyük bir gurup insanın ortalama termal konforunu tahmin eder [3]. Bu yelpazedeki 0' değeri termal konfor açısından en iyi koşulları temsil eder ve ASHRAE 55 ile ISO 7730'a göre termal konfor 0.5 ile -0.5 değerleri arasında olmalıdır.

Çizelge 1.1: Termal konfor yelpazesi [3].

PMV	Termal Algı
+3	Çok Sıcak
+2	Sıcak
+1	Ilık
0	Natural
-1	Serin
-2	Soğuk
-3	Çok Soğuk

PMV değeri (1.1) denklemi ile hesaplanmaktadır. M (w/m^2), vücudun faaliyetlerini gerçekleştirebilmesi için metabolizmanın harcadığı enerjiyi, L ise vücudun termal

yükünü yani, vücudun ürettiği ısı ile çevresindeki ortama verdiği ısının farkını göstermektedir ve (1.2) denklemi ile hesaplanmaktadır [4].

$$PMV = (0.028 + 0.3033e^{-0.036M}) \times L \tag{1.1}$$

$$\begin{aligned} L = {} & M - W \\ & -3.05 \times 10^{-3}[5733 - 6.99(M - W) - P_a] \\ & -0.42(M - W - 58.15) \\ & -1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) \\ & -0.0014M(34 - t_a) - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \\ & -3.96 \times 10^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] \end{aligned} \tag{1.2}$$

W(W/m^2) yapıla işi göstermektedir, metabolizmanın harcadığı enerjinin bir kısmı iş için harcanır. Bu enerji ısıya dönüşmez. I_{cl}(clo, 1 clo = 0.155($m^2 \times C^o$)/W)) kıyafetin termal direncini ve f_{cl} kıyafetli vücut yüzeyinin kıyafetsiz vücut yüzeyine oranını göstermektedir. Kıyafetsiz vücut ile ortam arasında termal bir direnç yokken, kıyafetli yüzey ile ortam arasında kıyafetin cinsi ile doğrudan alakalı bir termal direnç vardır.$T_a(C^o)$, ortamın hava sıcaklığını, $t_{mrt}(C^o)$ ortamın ortalama radyal sıcaklığını, V(m/s) ortamdaki hava akış hızını, P_a(Pa) ortamdaki kısmi su buharı basıncını göstermektedir.

Vücudun çevresiyle yaptığı ısı alış verişi iki yolla olur. Bunlar radyasyon ve konveksiyondur. Radyasyonla olan ısı transferi güneşin dünyayı ısıtması şeklinde anlatılabilir, arada bir ortam yoktur.

Konveksiyonel yol ile ısı transferi ise pervane karşısında serinleyebilmek ile örneklendirilebilir, yani arada bir ortam vardır. Kıyafet yüzeyine çarpan hava molekülleri sıcaklık koparırlar, böylece serinleme gerçekleşir. Konveksiyonel ısı transferi katsayısı h_c (1.3) denklemi, giyilen kıyafetin yüzey sıcaklığı t_{cl} ise (1.4) denklemi ile hesaplanmaktadır.

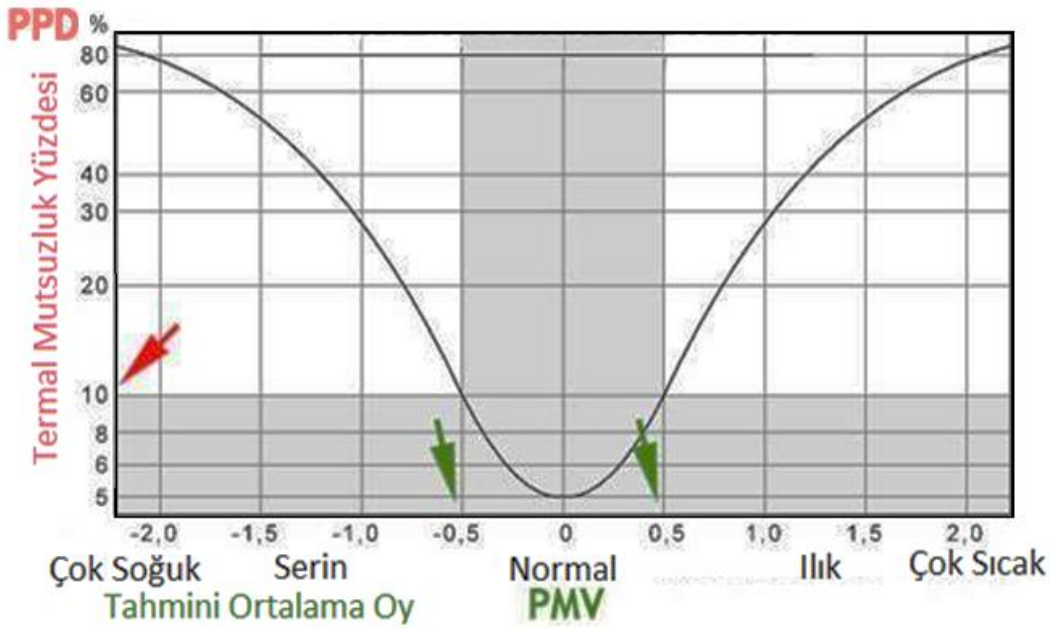
$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25}, eğer\ 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{V} \\ 12.1\sqrt{V} \qquad\qquad , eğer\ 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{V} \end{cases} \tag{1.3}$$

$$\begin{aligned} t_{cl} = {} & 35.7 - 0.028(M - W) - 0.155 I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8} \times \\ & f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 + (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} \times h_c(t_{cl} - t_a)\} \end{aligned} \tag{1.4}$$

PMV fonksiyonu (1.3) ve (1.4) denklemlerinden anlaşılacağı üzere doğrusal bir fonksiyon değildir ve yinelemeli olarak çözülmelidir. PMV değeri bulunduktan sonra tahmini termal mutsuzluk (PPD)' da (1.5) ile tahmin edilebilir.

$$PPD = 100 - 95\exp[-(0.3353\ PMV^4 + 0.2179\ PMV^2)] \qquad (1.5)$$

PPD değeri ortamdan termal açıdan mutlu olmayan insanların yüzdesini göstermektedir. Termal açıdan mutlu olmayan insanlar ise termal konfor yelpazesinde -1, +1 ya da 0 oyu vermeyen herkesi kapsamaktadır. PMV-PPD ilişkisi şekil 1.6'da gösterilmektedir. %10 PPD değeri ± 0.5 PMV aralığına denk gelmektedir ve PMV 0 değerinde bile insanların %5'i ortamdan termal açıdan mutsuzdur [3,4].



Şekil 1.6: PPD – PMV ilişki grafiği [3].

PMV-PPD modeli termal konfor oluşturmak istenilen sistemlerin tasarlanmasında yaygınca kullanılan bir yöntemdir. ISO 7730 standardında birçok parametreye göre hesaplanan PMV ve PPD değerleri için tablo oluşturulmuştur.

1.1.6 Termal konfor odaklı sistemlerle ilgili yapılan çalışmalar

İnsanların klima kullanımı alışkanlıkları ve klima bilgileri farklılıklar göstermektedir. Çoğu zaman klimanın içinde bir termostat olduğu bilinmemektedir ve kullanıcılar termostat rolü üstlenmektedir. Böylece klimanın yapması gereken aç-kapa kontrolünü

kullanıcılar yapmakta ve hem termal konfordan hem de enerji tasarrufundan kayıp yaşanmaktadır [5].

Günümüzdeki termal konfor odaklı çalışmalar, iklimlendirme kontrolünde yapılan yanlışları ortadan kaldırmak, ortam koşullarına, kullanıcı tercihlerine göre çalışmak ve manuel olarak yapılan kontrolleri en aza indirmek için yapılmaktadır [2, 5-22].

Teknolojinin gelişmesiyle akıllı bileklik, saat gibi giyilebilir teknolojilerin yardımıyla kullanıcıların aktiviteleri tahmin edilerek iklimlendirme yapılabilmektedir. Ayrıca kullanıcının konum bilgisinden yararlanılarak iklimlendirme işlemi önceden planlanabilmektedir. Cheng ve Lee'nin yaptığı çalışmada, kullanıcılar daha kontrol edilen odaya girmeden oda istenilen sıcaklık değerine getirilebilmektedir. Kullanıcının odanın içindeki pozisyonu bilinerek klimanın vantilatörü uygun yöne ve dönüş gücüne ayarlanabilmektedir. Akıllı bileklikler sayesinde kullanıcı aktiviteleri tahmin edilip, uyku durumu algılandığında klimanın enerji tasarruflu çalışması sağlanabilmektedir [2].

Termal konfor sıcaklığının belirlenmesinde ise PMV yaklaşımı kullanılmaktadır. PMV fonksiyonunun çözülmesi ve PMV değerinin bulunması için çizelge 1.2'deki parametrelerin fonksiyona girdi olarak verilmesi gerekmektedir.

Çizelge 1.2: PMV fonksiyonu için gerekli olan argümanlar [3,4].

Argüman	Birim
Hava Sıcaklığı	^{o}C
Radyal Sıcaklık	^{o}C
Bağıl Nem	%
Hava akış hızı	m/s
Giyilen Kıyafet	clo
Metabolizma	w/m^2
Yapılan İş	w/m^2

İdeal termal konfor sıcaklığının bulunması için çizelge 2'deki girdilerin dinamik olarak hesaplanıp bu değerlerden elde edilen PMV değerine göre karar alınır. Fakat pratikte bu mümkün olmamaktadır. Çoğu zaman hava sıcaklığı ile radyal sıcaklık birbirine eşit kabul edilmektedir.

Ayrıca yapılan iş genelde sıfır kabul edilerek metabolizmanın ürettiği enerjinin tamamının ısıya dönüştüğü varsayımı yapılmaktadır. Hava akış hızı ise anemometre ile ilk defaya mahsus olarak ölçülüp, sonraki kullanımlar için tablo oluşturulmaktadır.

Hava sıcaklığını ve bağıl nemi ölçmek ise nispeten daha kolaydır. Metabolizma olarak 1.3'te gösterilen, ISO7730 ve ASHRAE Standart 55'de belirtilen değerler kullanılmaktadır [6, 7].

Çizelge 1.3: Çeşitli aktiviteler için üretilen metabolik ısı değerleri [3].

Aktivite	w/m^2	**Aktivite**	w/m^2
Uyumak	40	Gezinmek	100
Uzanmak	45	Paketleyip taşımak	120
Oturmak	60	Araba sürmek	60-115
Ayakta durmak	70	Uçak kullanmak	70
Yürümek ($0.9m/s$)	115	Uçak indirmek	105
Yürümek ($1.2m/s$)	150	Savaş uçağı kullanmak	140
Yürümek ($1.8m/s$)	220	Yemek yapmak	95-115
Oturup okumak	55	Ev temizlemek	115-200
Yazmak	60	Dans etmek	140-255
Daktilo etmek	65	Tenis oynamak	210-270
Oturup form doldurmak	70	Basketbol oynamak	290-440
Ayakta form doldurmak	80	Güreşmek	410-505

Giyilen kıyafet konusunda ise 1.4'te gösterilen, ISO7730 ve ASHRAE Standart 55'de belirtilen değerler kullanılmaktadır [6, 7].

Çizelge 1.4: Çeşitli kıyafet gruplarının termal geçirgenlik katsayıları [3].

Kıyafet grubu	**Termal geçirgenlik**
Pantolon, kısa kollu gömlek	0.57
Pantolon, uzun kollu gömlek	0.61
Üsttekinin aynısı, ayrıca ceket	0.96
Üsttekinin aynısı, ayrıca yelek ve tişört	1.14
Pantolon, uzun kollu gölek, uzun kollu süveter ve tişört	1.01
Üsttekinin aynısı, ayrıca ceket ve uzun içlik	1.30
Alt-üst eşofman	0.74
Uzun alt-üst pijama, bornoz ve terlik	0.96
Diz hizası etek, kısa kollu gömlek, çorap, sandalet	0.54
Diz hizası etek, uzun kollu gömlek, sandalet	0.67
Üsttekinin aynısı, ayrıca astar ve uzun süveter	1.10
Üstekinin aynısı, süveter yerine ceket	1.04
Uzun etek, uzun kollu gömlek, ceket ve çorap	1.10
Tam tulum ve tişört	0.72
Askılı tulum, uzun kollu gömlek ve tişört	0.89
İzolasyonlu tam tulum, uzun kollu termal içlik, uzun alt içlik	1.37

Dinamik olarak PMV değeri hesaplanarak, en yüksek termal konfor sağlamayı amaçlayan çalışmalarda çeşitli alıcılar kullanılarak PMV giriş parametreleri dinamik olarak güncellenmeye çalışılmaktadır. İnsanların aktivitelerini ve giydiklerini

algılamak zor olsa da, yapılan bir çalışmada deney ortamına hareket alıcıları yerleştirilerek kullanıcıların aktiviteleri bulundukları yere göre belirlenmeye çalışılmıştır.

Örneğin kullanıcı mutfakta ise yemek yapıyor ya da bulaşık yıkıyor olabilir. Yatak odasında ise uyuyor olabilir. Ayrıca yaşanan mevsimlere göre kıyafet grubu seçilebilir. Örneğin yazın kısa kollu gömlek ve pantolon, kışın uzun kollu gömlek, pantolon ve ceket seçilebilir [7].

Hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava akış hızı gibi parametreler belirlenirken, alıcıların kullanıcıların olduğu bölgelerde seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Termal konfor sıcaklığı belirlenirken insan odaklı düşünüldüğünden, özellikle sıcaklık ve nem alıcılarının kullanıcının ağırlık merkezi hizasında olmasına dikkat edilmelidir.

PMV formülü doğrusal olmayan bir fonksiyondur ve çözümü yinelemeli olarak yapılabilmektedir. Giyilen kıyafetin yüzey sıcaklığı t_{cl} ve konveksiyonel ısı transferi katsayısı h_c birbirine bağımlı çözülmesi gereken iki parametredir. Genelde $t_{cl} - t_{cl}'$ değeri hata fonksiyonu olarak kabul edilir ve yinelemeli olarak çözülerek sıfıra götürülmeye çalışılır.

Ayrıca, termal konfor sıcaklığının bulunabilmesi için PMV fonksiyonunun tersinin alınması gerekmektedir. Yapılan bir çalışmada PMV, uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve parçacık kümesi optimizasyonu (PSO) ile çözülmüştür. Daha sonra tersi alınarak termal konfor sıcaklığı bulunmuştur [7, 23].

Yapılan çalışmalar, PMV yaklaşımı ile tasarlanan sistemlerin hem daha konforlu hem de daha ekonomik olduğunu göstermiştir. Ülke çapında düşünülecek olursa, Türkiye'nin cari açığının yarısı enerji ithalatından dolayı oluşmaktadır. Küresel anlamda düşünülecek olursa, küresel ısınmanın sonucu olarak her geçen gün iklimlendirme sistemlerine olan ihtiyaç artmaktadır.

Paralelde ise nüfustaki artış ve artan sanayi enerji talebini arttırarak, enerjinin pahalılaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerle hem daha ucuz hem de daha konforlu sistemleri geliştirmek için araştırma yapmak önemli bir konudur. Ayrıca enerji arzı problemine daha az enerji tüketme penceresinden yaklaşıldığı için iyi bir alternatif çözümdür [2, 5-22].

1.2 Tezin Amacı

Maddi gelir artışı, küresel ısınma gibi nedenlerle artan klima kullanımına paralel olarak yükselen enerji tüketiminin azaltılması buna rağmen termal konforun en yüksek seviyede tutulması hedeflenmektedir.

Kullanımı, montajı kolay ve geliştirilmeye açık bir kontrolör tasarlanmak istenmektedir. Tasarlanan kontrolör ile klimanın sıcaklık değeri kullanıcının en rahat edeceği şekilde PMV metoduyla ayarlanacaktır. PMV değerinin hesaplanmasında ve fonksiyonun tersinin alınmasında hızlı ve doğru sonuç elde etmek için PSO kullanılacaktır.

Deneyin yapılacağı ortamın termal sistem cevabı analiz edilerek, performans artışı sağlamak için PI kontrolör tasarlanacaktır. Kullanım kolaylığını arttırmak için kontrol sistemine internet üzerinden erişile bilinecek, deney ortamına yerleştirilen sıcaklık ve nem alıcıları ile ortam değerleri gözlemlene bilinecek, ayrıca klimaya yine internet üzerinden sıcaklık komutları manuel olarak gönderile bilinecektir.

2. DENEY ALTYAPISININ OLUŞTURULMASI

Kontrol sisteminin denenmesi ve deneyler için pratik bir platform oluşturulması, tezin sonuçlanması için en çok emek harcanan bölümlerden birisidir. Yapılacak olan sıcaklık deneyleri için kararlı ve ön görülebilir davranan, veri kaybının olmadığı, uzaktan erişilebilen, donanım ve yazılım olarak sürekli geliştirmeye açık bir platformun oluşturulması amaçlanmıştır.

Ayrıca, tasarlanan platformun ürünleşmeye açık, maliyetinin düşük ve sistemde bir hata olduğu zaman hatanın ne olduğuna dair ipuçları veren bir yapıda olması istenmiştir.

2.1 Donanım Altyapısı

Klima kontrolü, internet üzerinden uzaktan erişim, alıcılarla haberleşme ve PMV algoritmasının koşturulması gibi görevleri aynı anda rahatlıkla yönetebilmek için kontrolör olarak, açık kaynaklı yazılım desteği ve kullanım kolaylığı sağladığı için Raspberry Pi 2 ilk örnek geliştirme devre kartı tercih edilmiştir [24].

Hava sıcaklığının ve bağıl nemin ölçülebilmesi için ise sıcaklık ve nem alıcılarını üzerinde barındıran DHT-22 tercih edilmiştir. Özellikleri çizelge 2.1'te belirtilen alıcı; fiyatına göre sağladığı performansı, hem sıcaklığı hem nemi ölçebilmesi ve uzun mesafe kablolu haberleşme özelliği sağladığı için tercih edilmiştir.

Çizelge 2.1: DHT-22 sıcaklık ve nem alıcısının özellikleri.

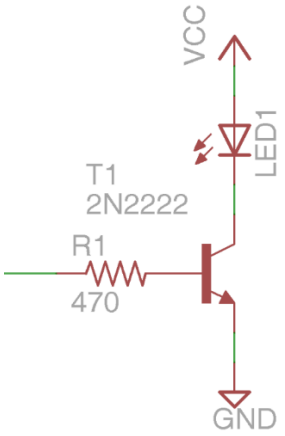
Alıcının Özellikleri	
Besleme gerilimi	3.3-6V DC
Çıkış sinyali	Tek hat üzerinde dijital sinyal (One-Wire)
Ölçme tekniği	Polimer kapasitör
Çalışma aralığı	0-100%RH; -40~80 °C
Doğruluğu	Nem ±2%RH; Sıcaklık<±0.5°C
Ölçme çözünürlüğü	Nem ±1%RH; Sıcaklık ±0.2°C
Nem histerezisi	±0.3%RH
Ölçme aralığı	2 saniye
Boyutları	14×18×5.5mm

Klima kontrolü yapılabilmesi için ise kızıl ötesi alıcı-verici kullanılmıştır. Klima kumandasının tuşlarına atanan kızıl ötesi sinyalleri kontrolör içine kayıt edebilmek için şekil 2.1'de gösterilen kızıl ötesi alıcı kullanılmıştır.



Şekil 2.1: Kızıl ötesi alıcı kartı.

Klimanın insansız ve ya internet üzerinden uzaktan kontrol edilebilmesi için ise, kayıt edilen kızıl ötesi sinyallerinin klimaya gönderilmesinden sorumlu, tasarımı şekil 2.2'de gösterilen devre tasarlanmıştır. 5V dc gerilim ile çalışan bu devre, anahtarlama amacıyla kullanılan transistörün base kısmına gönderilen klima komutu bilgisini 940-950 nm led yardımıyla kızıl ötesi sinyale çevirmektedir.

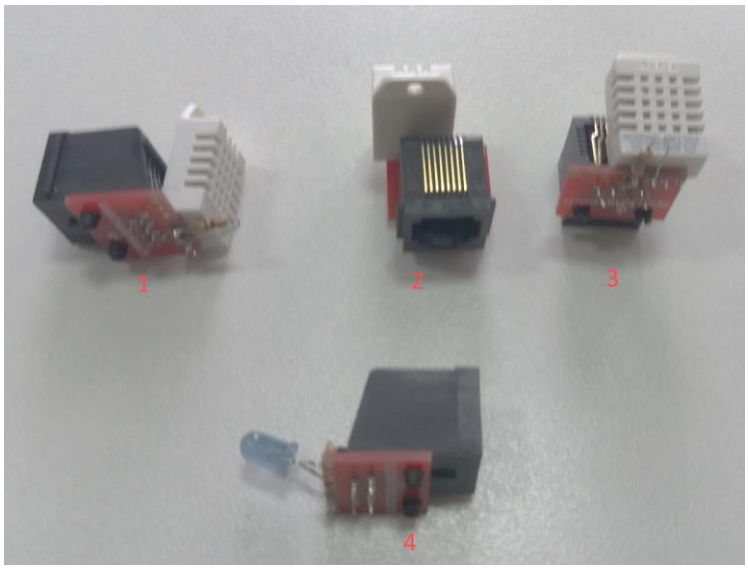


Şekil 2.2: Kızıl ötesi verici devresi tasarımı.

Tasarlanan kızıl ötesi verici devresi, 3 adet DHT-22 sıcaklık ve nem alıcısı ve kontrolör olarak çalışan Raspberry Pi 2 ilk örnek geliştirme kartı kablolu olarak birleştirilmişlerdir.

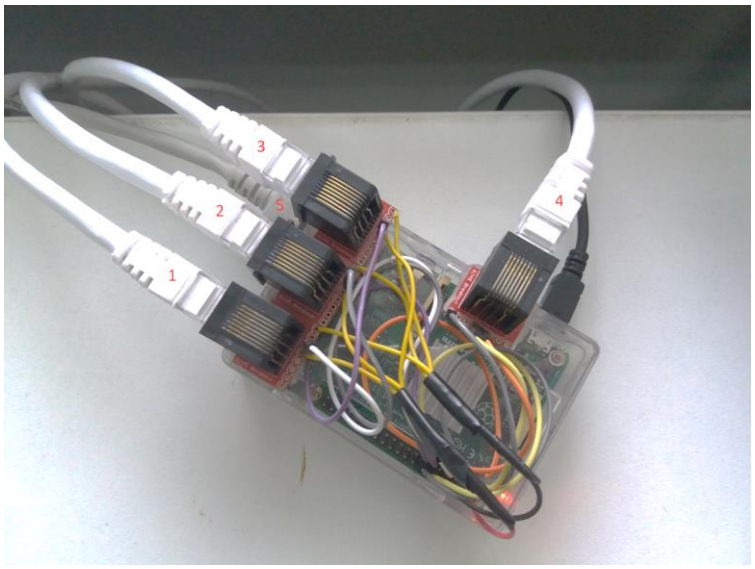
Kablolu haberleşme yapılırken kullanılacak olan kablolunun ve bağlantı noktalarının seçiminde; sistemin kurulumunun kolay olması, kablo boylarının kolay ayarlanabilmesi ve standartlaşmış olması sebebiyle Ethernet kablosu ve RJ45 bağlantı noktaları tercih edilmiştir.

Şekil 2.3'de Ethernet üzerinden kolay haberleşmek için tasarlanmış olan DHT-22 alıcıları ve kızıl ötesi vericisi gösterilmektedir. 1, 2 ve 3 numaralarda çeşitli perspektiflerde duran DHT-22 alıcıları, 4 numarada ise kızıl ötesi verici devresi gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Ethernet üzerinden haberleşilen uç noktalar.

Şekil 2.4'de ise Ethernet portu sayısı arttırılmış Raspberry Pi geliştirme kartı gösterilmektedir. 1, 2 ve 3 ile gösterilen Ethernet kabloları DHT-22 alıcılarından, 4 ile gösterilen kablo kızıl ötesi vericiden gelmektedir. Ayrıca geliştirme kartının orijinal halinde mevcut olan porttan 5 numaralı Ethernet kablosu ile internet erişimi sağlanmaktadır.



Şekil 2.4: Ethernet portu arttırılmış Raspberry Pi geliştirme kartı.

2.2 Yazılım Altyapısı

Raspberry pi 2 geliştirme kartı üzerinde kendisi için geliştirilen, Linux 4.4 çekirdeği ile gelen Raspian Jessie-Lite işletim sistemi kullanılmaktadır. Linux tabanlı olan bu işletim sistemi açık kaynak kodlu olması sayesinde geliştirme kartının bütün fonksiyonlarını kullanıcılarına açmaktadır. Ayrıca grafik ara yüzü barındırmadığı için performansından ödün vermemektedir [25].

Uzaktan erişimin sağlanması için ise işletim sisteminin sağladığı Secure Shell (SSH) sunucusu ve deneyler için geliştirilen web sunucusu kullanılmıştır. İşletim sisteminin sağladığı SSH sunucusu sayesinde File Transfer Protocol (FTP) üzerinden deney verileri istemcilere gönderilebilmekte ve istenilen herhangi dosya güncellene bilmektedir.

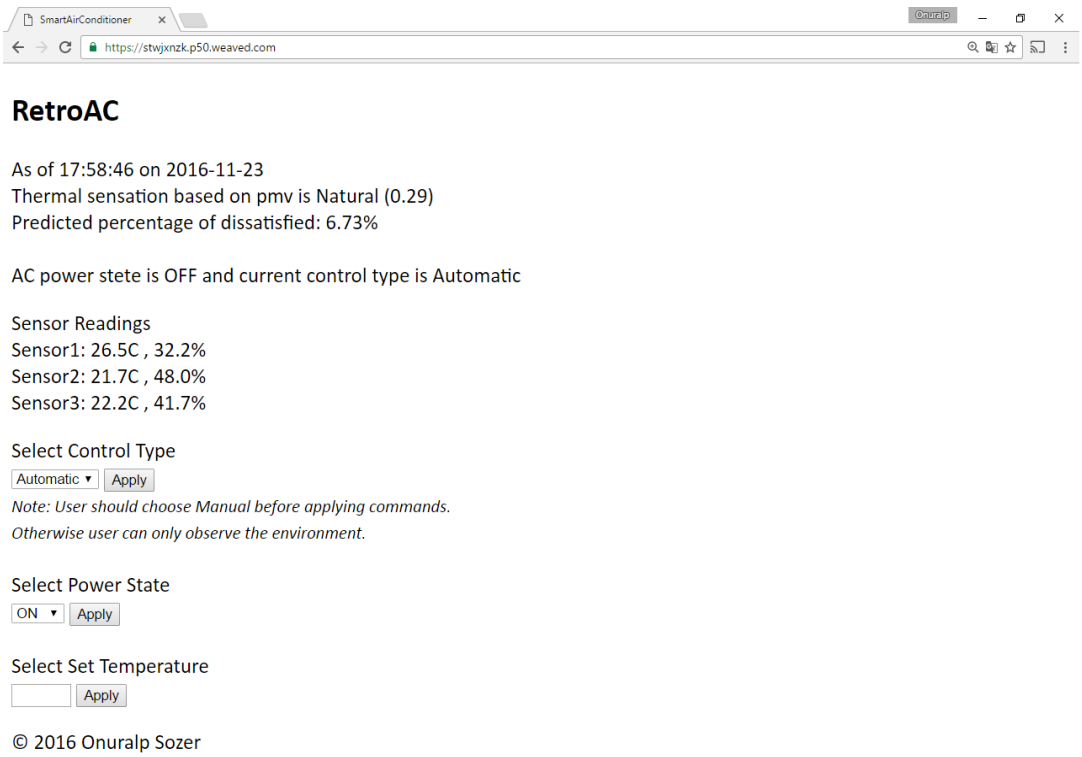
Ayrıca yazılım geliştirme aşamasında terminal ekranının sunuculara sağlanmasını da sağlayarak hata ayıklama evresini hızlandırmaktadır. Yazılım platformunda yazılım güncelleme ve veri transferi için Filezilla, uzaktan terminal ekranına erişim için ise Putty yazılımları kullanılmıştır. İki yazılımda hem bedava hem de kullanımlarının pratik olmasından dolayı tercih edilmiştir [26-29].

Web sunucusu ise Python yazılım dili ile Flask Kütüphanesi kullanılarak yazılmıştır. HTTP sayfası üzerinden kullanıcının tercihlerini girebilmesinden ve ortam koşullarının gösterilmesinden sorumlu olan web sunucusunun ara yüzü şekil 2.5'de gösterilmektedir. Tasarlanan ara yüz, klimanın çalışma durumunu, ortam koşullarını, PMV değerini göstermekte ve kullanıcıdan manuel olarak klima komutlarını alabilmektedir [30, 31].

Ara yüzde deney ortamına yerleştirilen 3 adet DHT-22 sıcaklık ve nem alıcısından okunan değerler gösterilmektedir. Ayrıca hesaplanan PMV değeri ile termal konfor hakkında bilgi verilmekte ve klima çalışma durumu da gösterilmektedir. Kullanıcı isterse otomatik çalışma senaryosunu tercih edip kontrol sisteminin PMV değerine göre oda sıcaklığını kontrol etmesine izin verebilir, isterse manuel olarak klima komutu gönderip klimayı uzaktan kontrol edebilmektedir.

Genelde hem SSH'a, hem web sunucusuna uzaktan erişebilmek için en çok tercih edilen yöntem internet sağlayıcısından sabit ip hizmeti satın almaktır. Fakat bu yöntem hem kötü niyetli kullanıcıların saldırılarına karşı zayıf kalmaktadır hem de fazladan bir maliyete sebep olmaktadır. Bunun yerine Weaved adı verilen uygulama işletim

sistemine eklenerek uzaktan erişim sağlanabilmiştir. Uygulama, internete bağlandığı anda Weaved sunucusuna bağlanarak sabit ip olmadan da uzaktan erişimi mümkün kılabilmektedir [32].



Şekil 2.5: Yazılım platformunun web ara yüzü.

Web sunucusu yazılımında ve ileride bahsedilecek olan kontrol algoritmasında Python dili kullanılmasının sebebi hızlı yazılım geliştirme ortamı sağlaması ve proje için gerekli olan birçok kütüphaneyi sağlayabiliyor olmasıdır. Performans odaklı olması gereken PSO'nun PMV değeri bulma ve konfor sıcaklığının belirlenmesi için kullanıldığı bölümlerde C dili tercih edilmiştir.

Klima kontrolü için gerekli olan ve hem kızıl ötesi komutların kayıt edilmesine hem de kayıt edilen sinyallerin gönderilmesine yarayan sistem, Linux Infrared Remote Control (LIRC) kullanılarak oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılacak olan Arçelik marka klimanın LIRC veri tabanında olmamasından dolayı, klima kumandası komutları manuel olarak LIRC ile kayıt edilmiş ve tasarlanacak olan kontrolörün kullanımına hazırlanmıştır [33].

Sıcaklık ve nem alıcıları ile haberleşme yapılırken One-Wire haberleşme protokolü kullanılmıştır. One-Wire, Dallas Semiconductor tarafından geliştirilmiş, verinin tek hattan sadece tek bir yöne gönderilebildiği, I^2C benzeri bir haberleşme protokolüdür.

Veri hızı düşürülerek haberleşme mesafesi uzatılmıştır, bu sebeple sıcaklık alıcısı gibi basit sistemler ile haberleşmek için idealdir. Projede tercih edilen geliştirme kartı, yazılım meraklıları arasında çok kullanıldığından dolayı DHT-22 alıcısı ile haberleşmek için ayrıca bir C kütüphanesi yazılmamış, hazır yazılmış bir kütüphane kullanılmıştır [34].

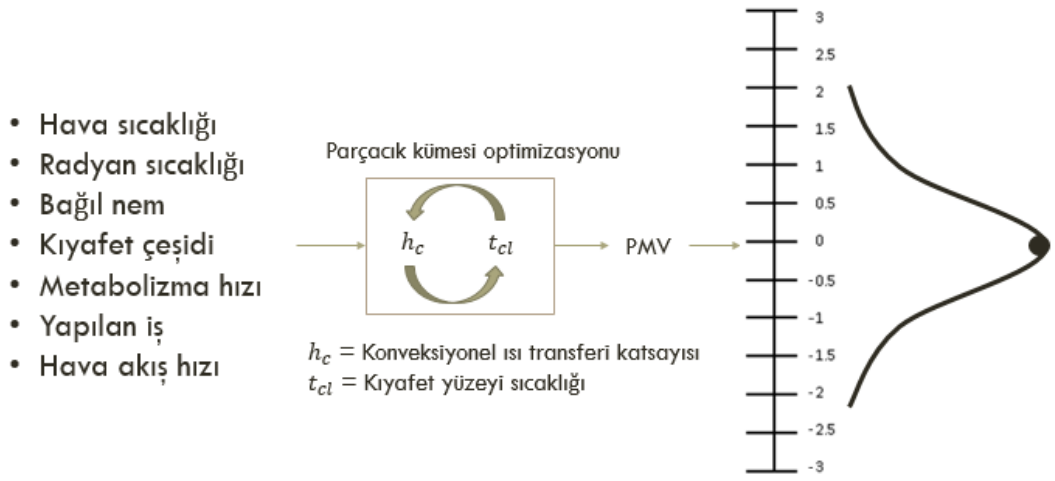
3. TERMAL KONFOR VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ODAKLI AKILLI KLİMA KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

Deney ortamı için gereken donanım ve yazılım platformu oluşturulduktan sonra aslında klima uzaktan kontrol edilebilir duruma getirilmiştir. Fakat asıl amaç klimayı hem daha verimli hem de kullanıcılar için daha konforlu bir şekilde yönetebilmektir.

Tasarımda öncelikle PSO yardımıyla PMV değeri bulunmuş sonra formülün tersi alınarak konfor sıcaklığı elde edilmiştir. Daha sonra deneyin yapıldığı odanın termal modeli Matlab'ın sistem modelleme aracı ile belirlenip, performansı iyileştirmek için PI kontrolör tasarlanmıştır. Sonuç olarak klima, enerji verimliliğini sağlayarak PMV değerine göre otomatik olarak kontrol edilebilir duruma getirilmiştir, ayrıca kullanıcı klimayı manuel olarak da 0.1 °C çözünürlükle kullanabilmektedir [35].

3.1 Konfor Sıcaklığının Bulunması

Konfor sıcaklığının bulunması iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Öncelikle şekil 3.1 deki gibi, çizelge 1.2'deki bilgiler ile PMV değeri hesaplanabilmelidir. Daha sonra PMV fonksiyonunun tersi alınarak konfor sıcaklığı bulunacaktır.



Şekil 3.1: PMV değerinin bulunması.

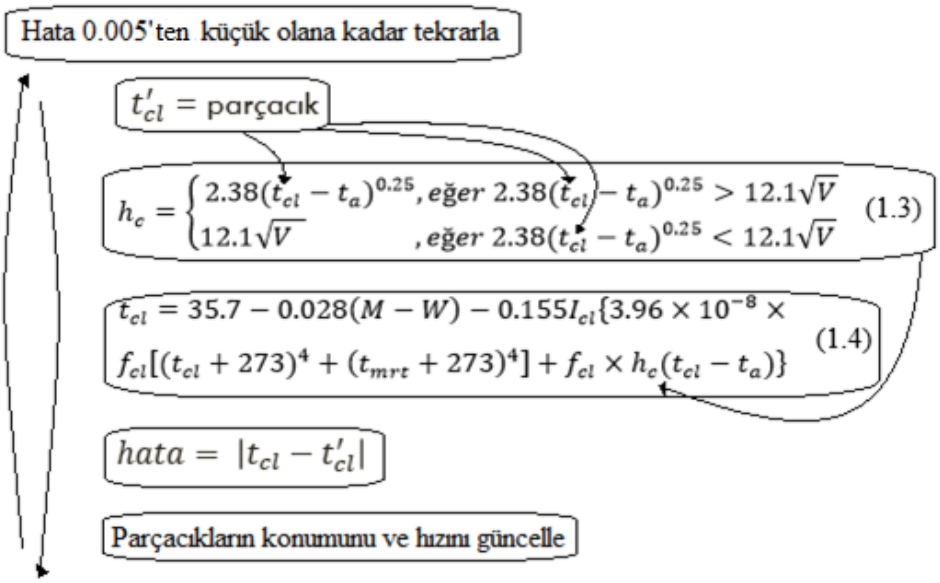
PMV değeri bulunurken deney ortamında sadece sıcaklık ve nem alıcısı olduğu için diğer bilgilerin ya kullanıcı tarafından ya da sabit olarak fonksiyonun çözümü için

sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple radyal sıcaklık ve hava sıcaklığı birbirine eşit kabul edilmiştir. Vücudun ürettiği ısı hesaplanırken ise deney ortamındaki kullanıcının, bilgisayarı ile araştırma yaptığı varsayımı yapılarak çizelge 1.4'deki daktilo etmek eylemi tercih edilmiştir.

Vücut ile ortam arasında yalıtım sağlayan, kullanıcının giydiği kıyafetin seçiminde ise deneylerin yapıldığı mevsim koşullarına uygun olarak kışlık bir kıyafet grubu tercih edilmiş ve çizelge 1.3'deki pantolon-uzun kollu gömlek-ceket tercih edilmiştir. Ortamdaki hava akış hızı olarak kullanıcının klimanın esintisine maruz kalmadığı, odanın köşesindeki masada oturduğu varsayılarak 0.1 m/s tercih edilmiştir. Hava sıcaklığı ve nem ise ortamdaki alıcılar ile belirlenmiştir. Böylece PMV değerini bulmak için gerekli bilgiler oluşturulmuştur [6, 7].

PMV fonksiyonu (1.3) ve (1.4) denklemlerinden anlaşılacağı üzere doğrusal bir fonksiyon değildir ve yinelemeli olarak şekil 3.2'deki gibi PSO ile çözülmesi gerekmektedir. Çözüm için kullanılan parçacıklar potansiyel t_{cl}(kıyafet yüzeyi sıcaklığı) değerlerini ifade ederler ve bu parçacıklar kullanılarak denklem 1.3 ile h_c(konveksiyonel ısı transferi katsayısı) elde edilir.

Parçacıklardan elde edilen h_c, denklem 1.4'te yerine konularak t_{cl} elde edilir. Hata, elde edilen t_{cl} ile parçacıkların ifade ettiği potansiyel t'_{cl} değerlerinin farkının mutlak değeriyle elde edilir ve hata değeri 0.005'ten küçük olana kadar parçacıkların konumu ve hızı denklem 3.1 ve 3.2 de gösterildiği gibi güncellenerek döngü tekrarlanır.



Şekil 3.2: h_c ve t_{cl}'nin PSO ile bulunması.

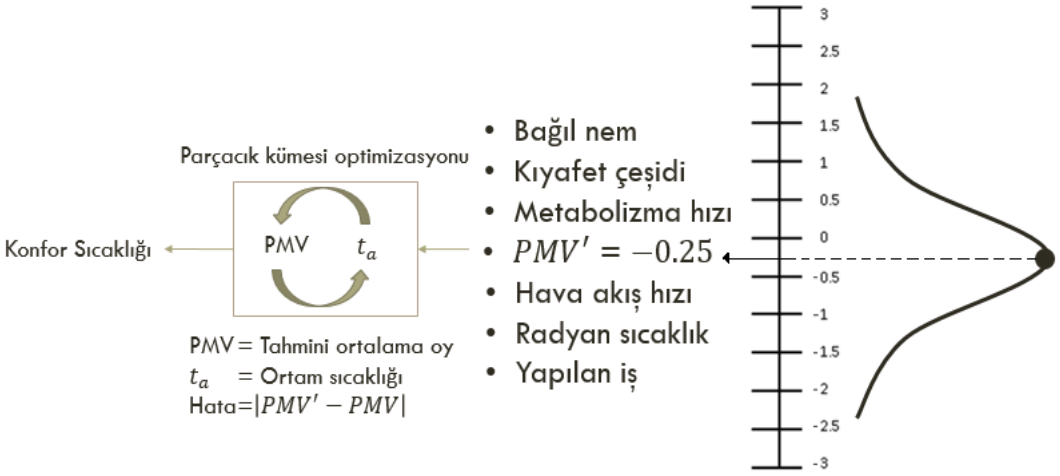
$$Parçacık\ hızı = önceki\ hız + c * rand * (parçacığın\ en\ iyi\ konumu) + c * rand * (kümedeki\ en\ iyi\ konum - parçacık\ konumu) \quad (3.1)$$

$$Parçacık\ konumu = önceki\ konum + parçacık\ hızı \quad (3.2)$$

Denklem 3.1'deki c ifadesi öğrenme katsayısıdır ve her döngü de hatanın onda biri olarak kabul edilmiştir, rand ise sıfır ile bir arasında rastgele bir sayıyı ifade etmektedir.

PSO, kuşların ya da balıkların sürü halinde olan hareketlerinden etkilenerek geliştirilen bir algoritmadır. Doğadan esinlenilerek oluşturulan parçacıklar çözüm uzayında ilk pozisyonlarına yerleştirilirler ve her bir parçacık bu uzayda hareket ederken çözüme olan en iyi konumunu kayıt eder. Aynı zamanda tüm parçacıklar hesaba katılarak kümedeki en iyi konum bir başka değişle en yakın uzaklık da kayıt edilir.

Parçacıkların hızları, hareketlerinden önce parçacığın ve parçacık kümesinin en iyi konumuna göre güncellenir ve parçacıklar bir sonraki pozisyonlarına bu hızlarla ulaşır. Hızlar hesaplanırken parçacıkların ivmelenmesi, ilgili parçacığın ve parçacık kümesinin en iyi değerlerinin rastgele değişkenlerle ölçeklenmesiyle bulunur. Belli bir hareket sayısına ya da çözüme yaklaşılan mesafeye göre algoritma sonlandırılarak sonuca varılmış olunur [23].

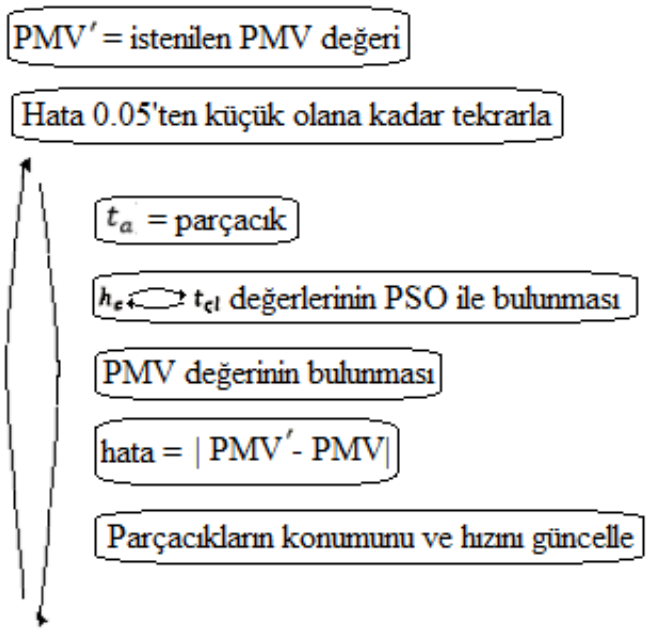


Şekil 3.3: Konfor sıcaklığının bulunması.

Konveksiyonel ısı transferi katsayısı h_c ve giyilen kıyafetin yüzey sıcaklığı t_{cl}, PSO ile bulunduktan sonra (1.2) denkleminde yerlerine konularak vücudun termal yükü

yani L bulunur. Daha sonra termal yük L (1.1) denkleminde yerine konarak PMV değeri elde edilmiş olunur.Termal konfor sıcaklığı ise şekil 3.3'de gösterildiği gibi PMV fonksiyonunun tersi alınarak bulunur. Termal konfor sıcaklığı başka bir değişle ortamın istenilen PMV değerinde olması için gereken hava sıcaklığıdır.

PMV fonksiyonu doğrusal olarak çözülemediğinden, fonksiyonun tersi de doğrusal olarak bulunamaz ve bu sebepten ötürü PMV fonksiyonunun tersini alma ve termal konfor sıcaklığının bulunması işleminde de şekil 3.4'de gösterildiği gibi PSO'dan yararlanılmıştır.



Şekil 3.4: PMV formülünün PSO ile tersinin alınması.

Çözüm için kullanılan parçacıklar potansiyel t_a(ortamın hava sıcaklığı) değerlerini ifade ederler ve bu parçacıklar kullanılarak PMV değeri hesaplanır. PMV değeri hesaplanırken h_c ve t_{cl} değerlerini bulmak için yine PSO kullanılır, böylece iç içe PSO algoritması kullanılmış olunur.

Hata, elde edilen PMV değeri ile ortamda elde edilmek istenilen PMV' değerlerinin farkının mutlak değeriyle elde edilir ve hata değeri 0.05'ten küçük olana kadar parçacıkların konumu ve hızı formül 3.1 ve 3.2 de gösterildiği gibi güncellenerek döngü tekrarlanır. Konfor sıcaklığı bulunurken iç içe PSO algoritması kullanıldığından dolayı çözüm süresini uzatmamak için 0.1 ºC çözünürlükte sonuçlar elde edilmiştir.

3.2 Deney Ortamının Termal Modelinin Bulunması

Deneylerde kullanılan ve şekil 3.5'de gösterilen oda aslında daha geniş olan İTU Kontrol Laboratuvarının içinde kalan, tamamen izole olmayıp tavana yakın bölgelerden hava alan bir çalışma odasıdır.

Yapısı itibarıyla odanın hava aldığı tavana yakın bölgede bulunan inverter klima ile odanın yere daha yakın olan iç kısımlarında sıcaklık farklılıkları olmaktadır. Bu farktan dolayı oda sıcaklığı klima ile istenilen değere getirilemediğinden klimanın pozisyonuna ve odanın yapısına uygun bir kontrolör tasarlanması gerekmektedir. Çünkü klima içerisinde bulunan termostat asıl kontrol edilmek istenilen bölgenin sıcaklığını değil klimanın yakın çevresindeki sıcaklığı ölçmektedir.



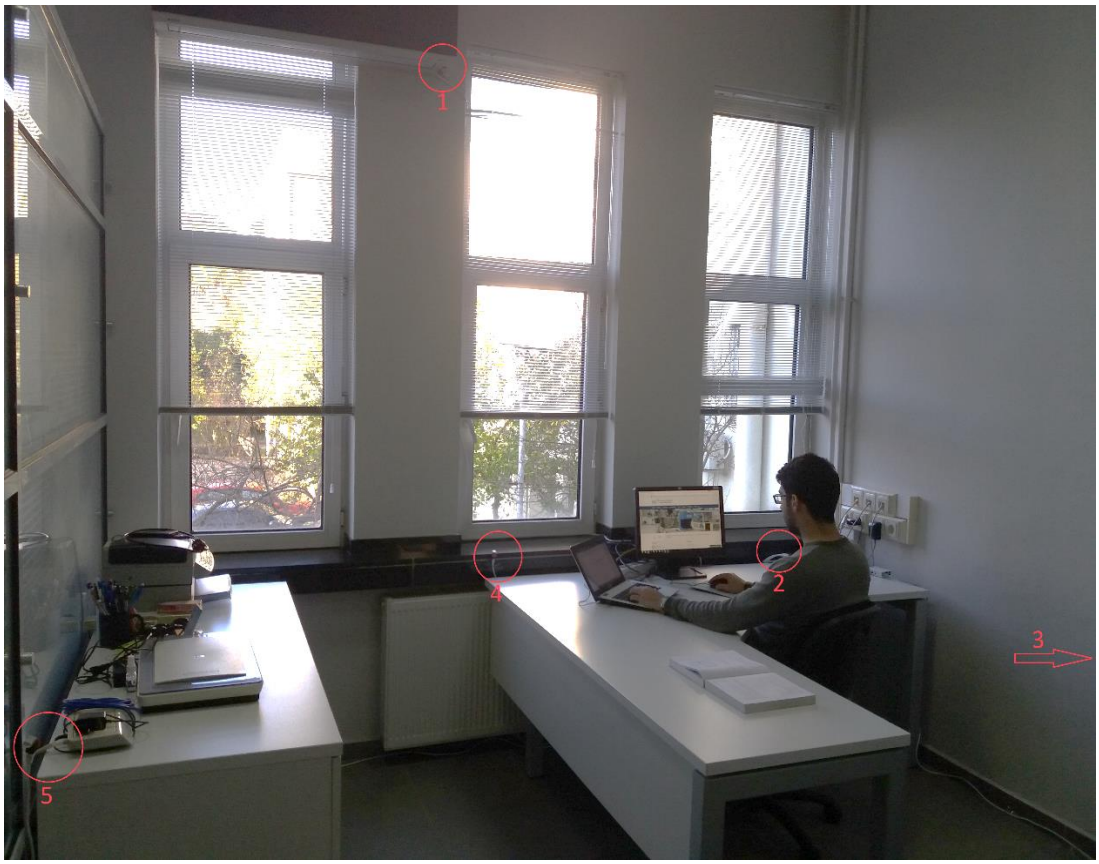
Şekil 3.5: Deneylerde kullanılan kübik oda.

Sıcaklığın, odanın içinde çalışacak olan kişinin tam olarak istediği değere gelmesini sağlayacak kontrol sisteminin tasarlanması için DHT-22 alıcıları odanın içinde şekil 3.6'da gösterilen şekilde yerleştirilmiştir.

Alıcıların her birinin yerden yüksekliği, odadaki masada sandalyeye oturur şekilde çalışan kullanıcının göğüs hizasına denk gelecek şekilde ayarlanmıştır. 1 numaralı

noktada kızıl ötesi verici, 2'de kontrolör, 3,4 ve 5 numarada ise sıcaklık ve nem alıcıları bulunmaktadır.

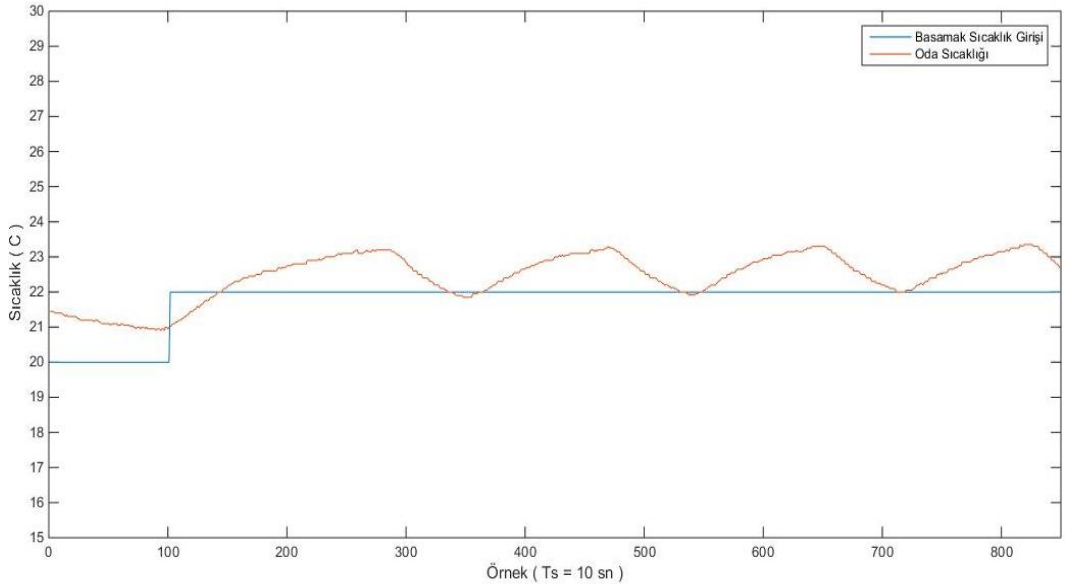
Özellikle 3 ve 4 numaralı alıcılar, kullanıcının ön ve arka tarafındaki sıcaklık ve nem değerlerini ölçmek için konumlandırılmış ve klimanın direkt olarak etki alanı dışında bırakılmıştır. 5 numaralı alıcı ise direkt olarak klimanın önüne konumlandırılmış ve klimanın durumu hakkında bilgi alınması için kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Deney elemanlarının oda içerisindeki dağılımı.

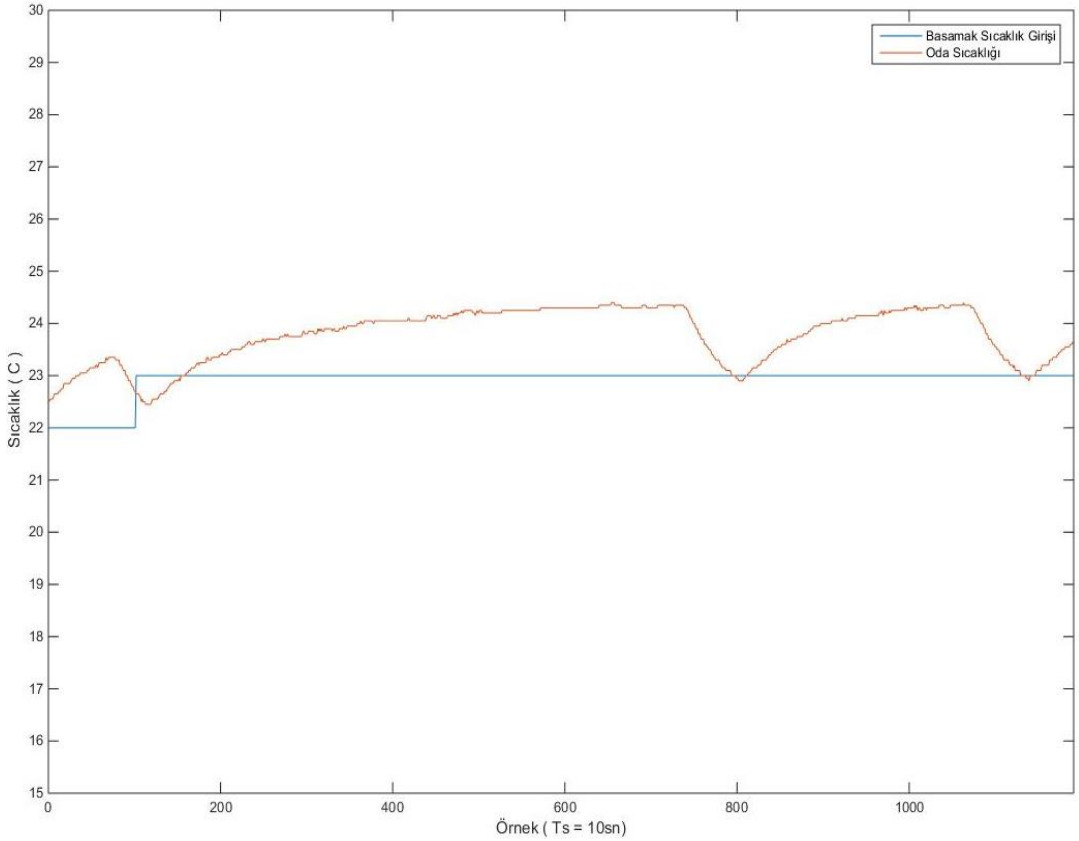
Kontrolörün tasarlanabilmesi için öncelikle odanın termal modelinin çıkarılması gerekmektedir. Bunun için odanın basamak şeklinde uygulanan sıcaklık girişlerine karşı olan tepkisi ölçülmüştür.

Odanın tepkisi ölçülürken, kullanıcı için önemli olan bölge değerlendirildiğinden 3 ve 4 numaralı sıcaklık alıcılarının kayıtlarının ortalaması değerlendirilmiş, 5 numaralı sıcaklık alıcısının kayıtları kontrol amaçlı kullanılmıştır. Yapılan 4 deney sırasıyla şekil 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da gösterilmektedir. 1. Deneyde klima çalışma sıcaklığı 20 ^{0}C'den 22 ^{0}C'ye çıkarılarak gerçekleştirilmiştir. Kırmızı grafik oda sıcaklığını, mavi grafik klima çalışma sıcaklığını göstermektedir.



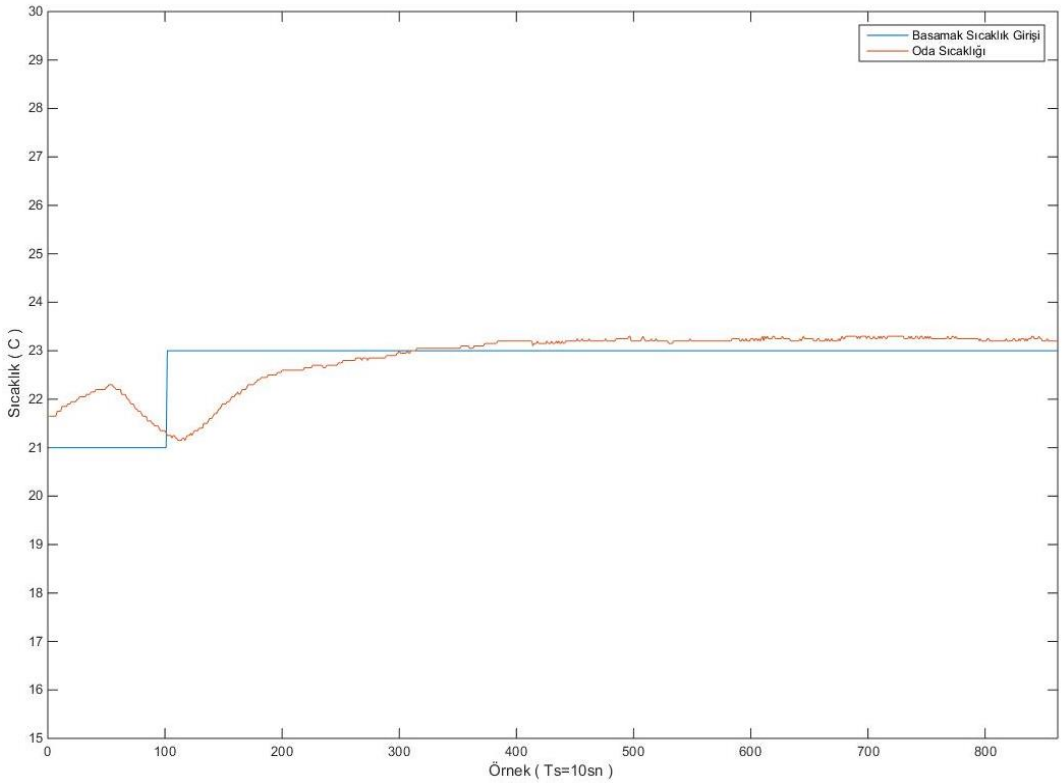
Şekil 3.7: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 1. deney.

2. deneyde klima çalışma sıcaklığı 22 ºC'den 23 ºC'ye çıkarılarak gerçekleştirilmiştir. Kırmızı grafik oda sıcaklığını, mavi grafik klima çalışma sıcaklığını göstermektedir.



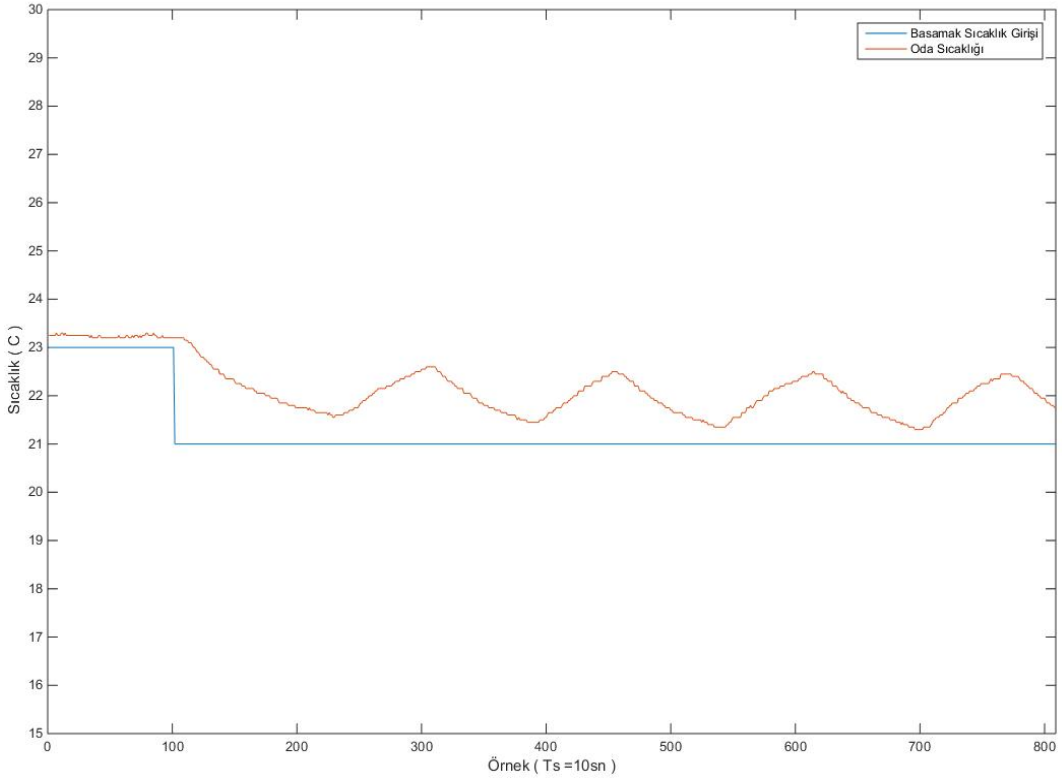
Şekil 3.8: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 2. deney.

Deney, klima çalışma sıcaklığı 21 ^{0}C'den 23 ^{0}C'ye çıkarılarak gerçekleştirilmiştir. Kırmızı grafik oda sıcaklığını, mavi grafik klima çalışma sıcaklığını göstermektedir.



Şekil 3.9: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 3. deney.

4. deney, klima çalışma sıcaklığı 23 ^{0}C'den 21 ^{0}C'ye indirilerek gerçekleştirilmiştir. Kırmızı grafik oda sıcaklığını, mavi grafik klima çalışma sıcaklığını göstermektedir.



Şekil 3.10: Sistemin açık çevrim basamak cevabı 4. deney.

Yapılan deneylerde klimanın pozisyonundan dolayı odanın, klima çalışma sıcaklığına gelemediği görülmektedir. Oda sıcaklığının 1°C ile 0.5°C aralığında klima çalışma sıcaklığının üstünde olmasının sebebi klimanın, dolayısıyla klima içerisindeki sıcaklık alıcısının odaya göre daha serin kalmasıdır.

Deney 1,2 ve 4'de görülen oda sıcaklığının zikzak yaptığı davranış şekli ise ısınan havanın odanın tavana yakın olan bölgesinden kaçması sonucu oluşmaktadır. Deney 3'de zikzak yapısı yerine inverter klimalarda beklenen bir sıcaklık grafiği görülmesinin sebebi ise kaçan havadan dolayı odanın klima çalışma sıcaklığına hiç gelemiyor olmasıdır.

Deneylerde gözlemlenen sıcaklık hatalarının giderilmesi için odanın termal modeli yapılan 4 deneyin ortalaması alınarak çıkarılmıştır. Böylece kontrolörün üreteceği farklı kontrol sıcaklığı değerleri için ortalama bir model bulunması amaçlanmıştır. Matlab'ın sistem tanıma aracı ile elde edilen birinci dereceden, örnekleme zamanı 10 saniye olan ayrık transfer fonksiyonları çizelge 3.1'de gösterilmektedir [22, 34].

Çizelge 3.1: Basamak cevaplarından elde edilen transfer fonksiyonları.

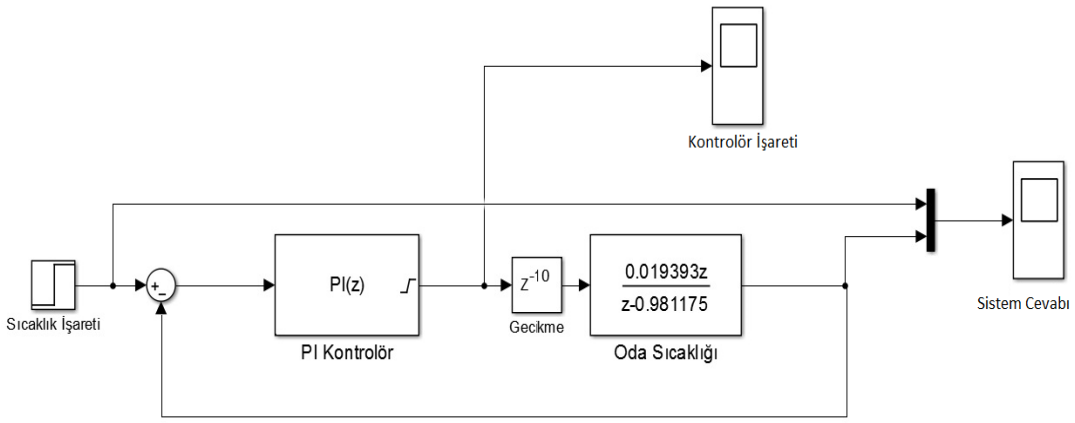
Deney Numarası	Ölü Zaman	Ayrık Transfer Fonksiyonu
1	z^{-1}	$\frac{0.02758\,z}{z-0.9733}$
2	z^{-16}	$\frac{0.01057\,z}{z-0.9895}$
3	z^{-8}	$\frac{0.02888\,z}{z-\ 0.9722}$
4	z^{-15}	$\frac{0.01054\,z}{z-\ 0.9897}$
Ortalama Transfer Fonksiyonu	z^{-10}	$\frac{0.019393\,z}{z-0.981175}$

3.3 Kontrolörün Tasarlanması

Klimanın, konumu sebebiyle deney ortamını istenilen seviyeye getiremediği ve kalıcı hal hatasına sahip olduğu görülmüştür. Konfor açısından düşünülecek olduğunda odanın istenilen sıcaklığa olabildiğince hızlı gelmesi, aynı zamanda oda sıcaklığının istenilen sıcaklığa gelirken enerji verimliliği açısından aşım yapmaması istenmektedir.

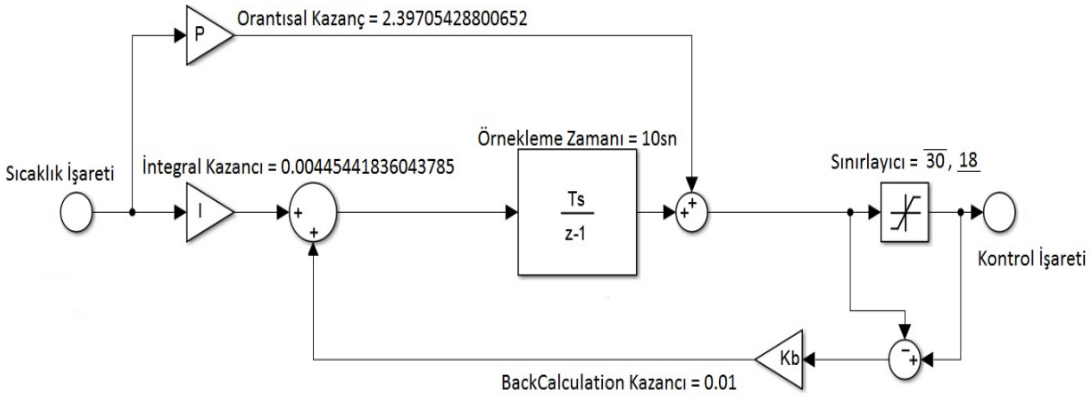
Ayrıca, klima çalışma sıcaklığı sınır değerler dâhil olmak üzere 18 °C ile 30 °C aralığında 1° çözünürlükle seçilebildiğinden kontrolörün üreteceği kontrol sinyalleri yine bu aralıkta ve çözünürlükte olmak zorundadır.

Tasarım gereksinimleri ve yapılan benzetim sonuçları değerlendirildiğinde PI kontrolörün gerekli şartları sağladığı görülmüş ve termal sistem şekil 3.11'de gösterildiği gibi tüm sistem ayrık zamanlı olarak modellenmiştir ve örnekleme aralığı 10 saniyedir.



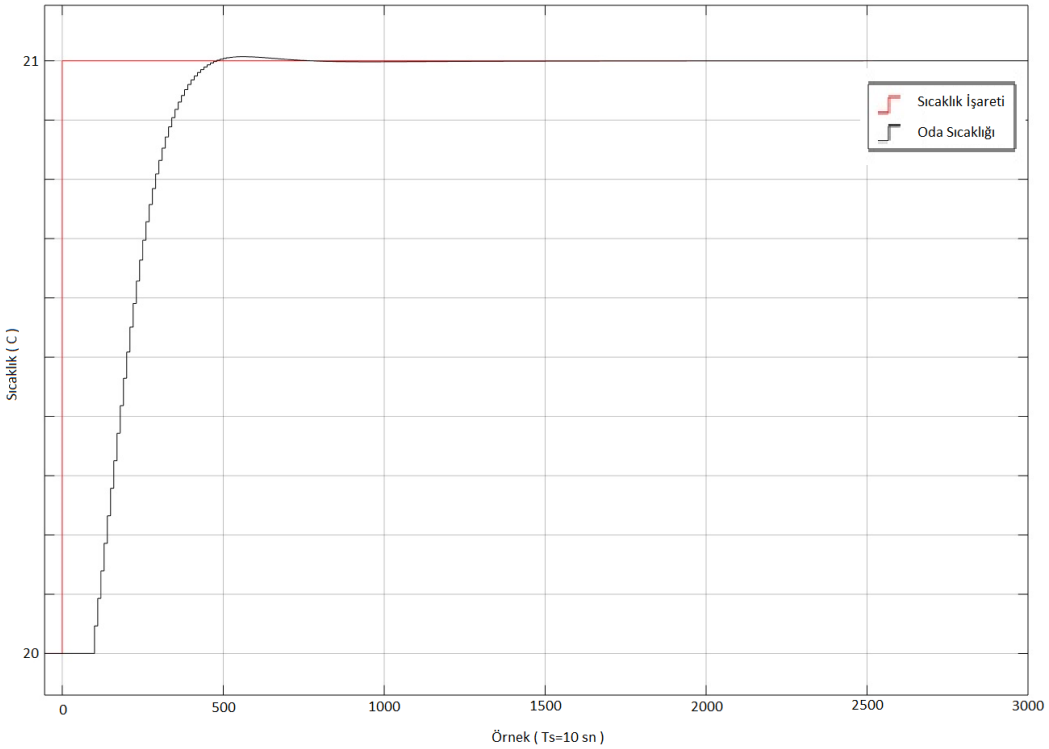
Şekil 3.11: Deneylerin yapıldığı odanın termal benzetim modeli.

Kontrolörün iç modeli ise hem üretilen sinyalin sınırlandırılması hem de integral sarmasının önlenebilmesi için şekil 3.12'deki gibi modellenmiştir. Fakat üretilen sinyallerin çözünürlüğü, benzetimlerin yapılabilmesini sağlayan matematiksel modeli bozduğundan dolayı 1^0 ile sınırlandırılamamış dolayısıyla kontrolör 18 ^{0}C ile 30 ^{0}C aralığında reel kontrol değerleri üretmiştir.



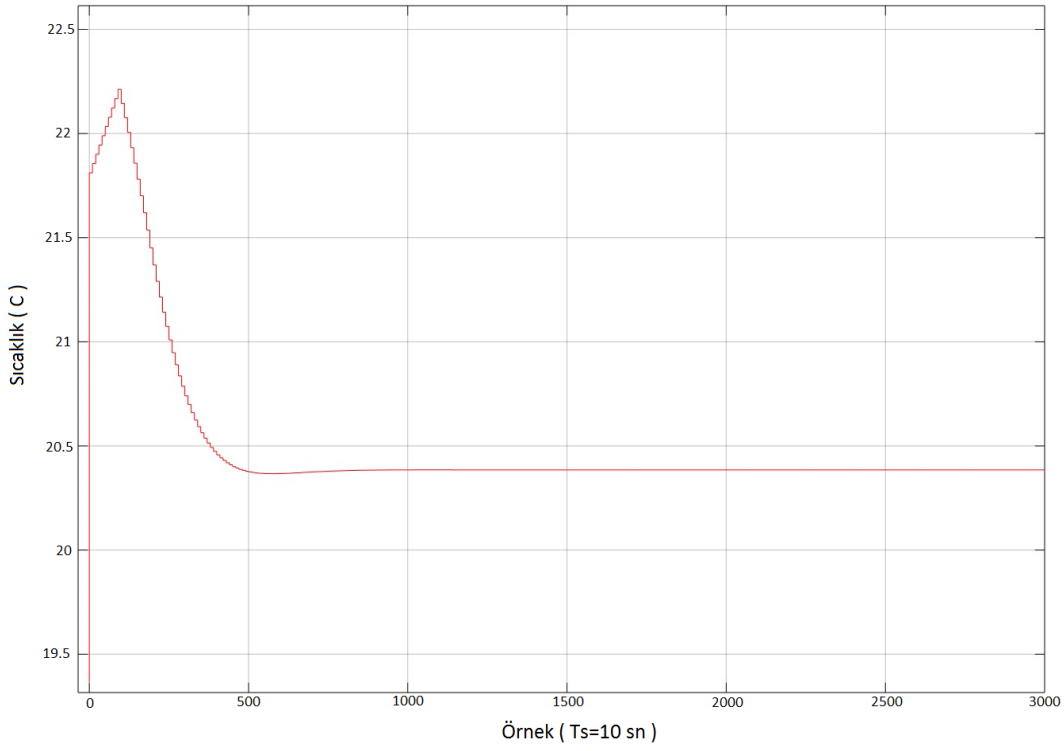
Şekil 3.12: Tasarlanan PI kontrolörün içyapısı.

Yapılan benzetimler sonucunda tasarlanan PI kontrolör ile birlikte sistemin kapalı çevrim basamak cevabı şekil 3.13 de gösterilmektedir. Kırmızı eğri sıcaklık işaretini, siyah eğri oda sıcaklığını göstermektedir. Klima çalışma sıcaklığı 20 ^{0}C'den 21^{0}C'ye çıkarılmıştır.



Şekil 3.13: Sistemin kapalı çevrim cevabının benzetim sonucu.

Kapalı çevrim sistemde üretilen kontrol sinyali şekil 3.14'te gösterilmektedir. Simülasyonların yapılabilmesi için kontrol işaretinin tam sayı değerleri yerine reel değerler almasına izin verilmiştir.



Şekil 3.14: PI kontrolörün ürettiği kontrol işaretinin benzetim sonucu.

Kapalı çevrim sistemin yeni kazandığı basamak cevabı özellikleri ise çizelge 3.2'de belirtilmektedir.

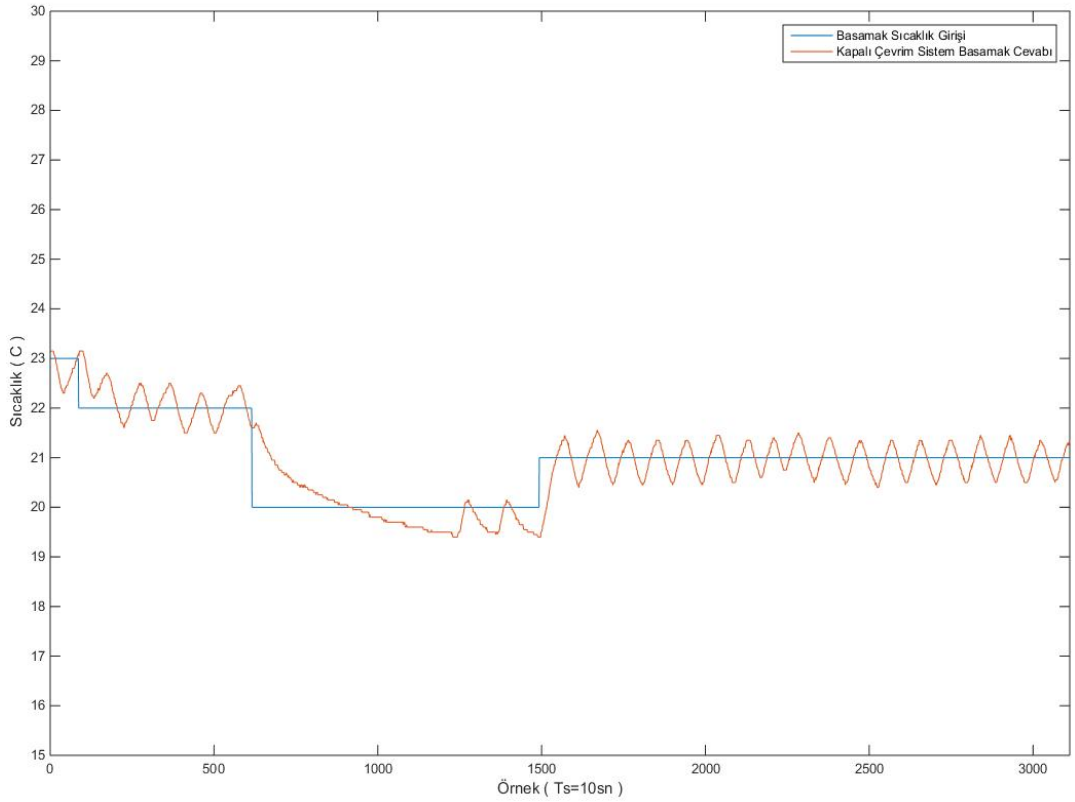
Çizelge 3.2: Kapalı çevrim sistemin basamak cevabı karakteristiği.

Sistemin basamak cevabı karakteristiği	
Yükselme zamanı	220 saniye
Oturma zamanı	420 saniye
Aşım	% 0.691

3.4 Kontrolör Performansı Testleri

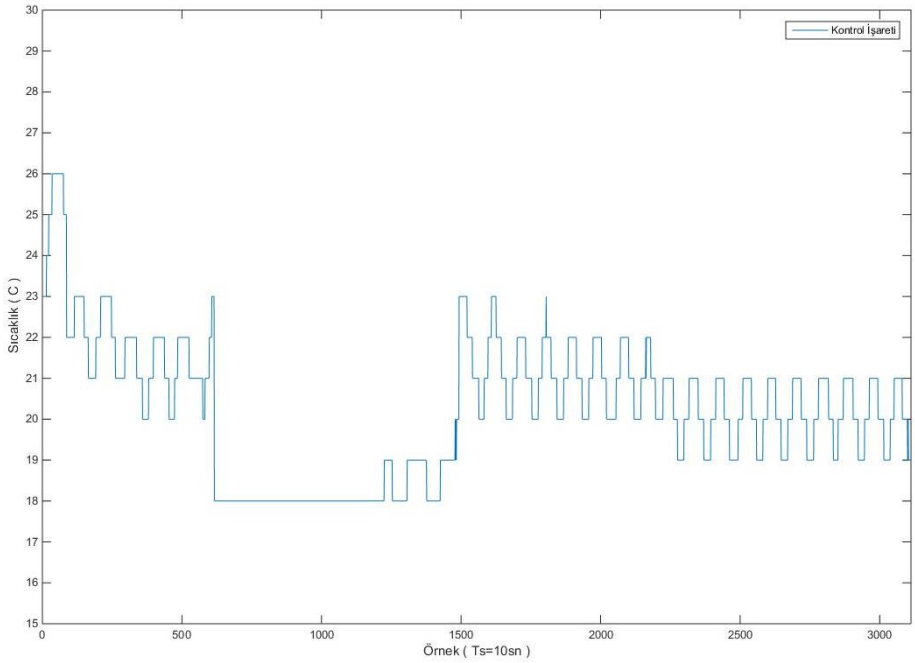
Matlab simulink ortamında şekil 3.11'deki gibi tasarlanan kontrolörün fark denklemi bulunarak Python dilinde gerçek sistemin kontrolü için uyarlanmıştır. Kontrolör performansını ölçmek için ise ikişer adet basamak cevabından oluşan iki deney yapılmıştır.

Birinci deneyden elde edilen kapalı çevrim sistem cevabı şekil 3.15'de gösterilmektedir. Deney, sıcaklık girişi 23 ºC'den 22 ºC'ye, sonra 20 ºC'ye indirilip daha sonra tekrar 21ºC'ye çıkarılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kırmızı grafik oda sıcaklığını, mavi grafik sıcaklık girişini göstermektedir.

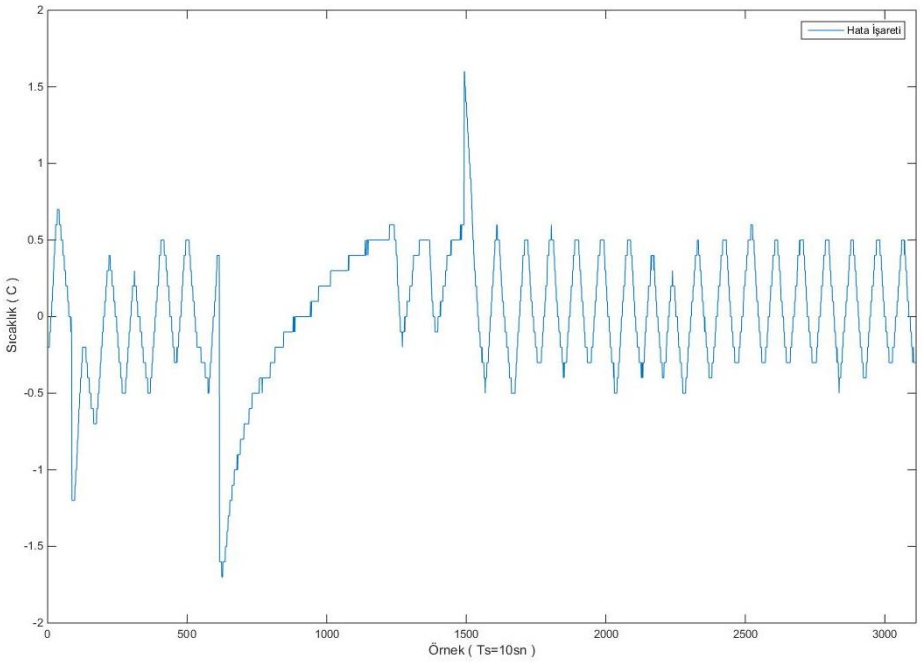


Şekil 3.15: Sistemin kapalı çevrim basamak cevabı 1. deney.

Kapalı çevrim sistemden elde edilen kontrol işareti ve hata işareti ise sırasıyla şekil 3.16 ve 3.17'de gösterilmektedir.

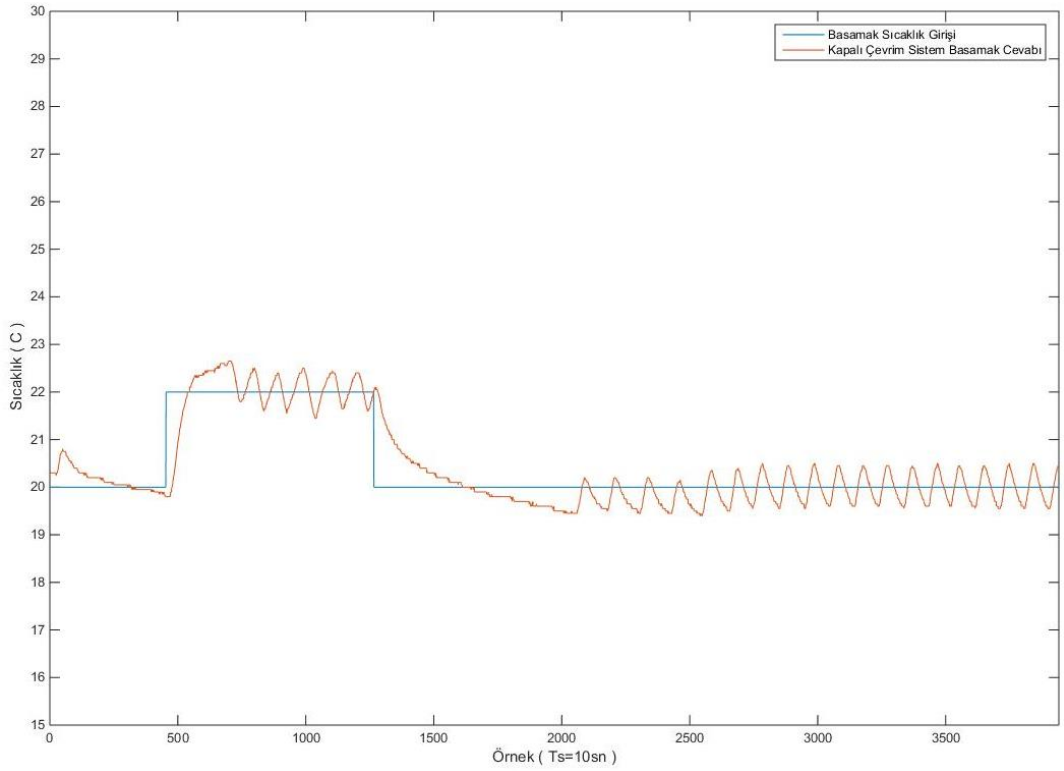


Şekil 3.16: Deney 1 sırasında üretilen kontrol işareti.



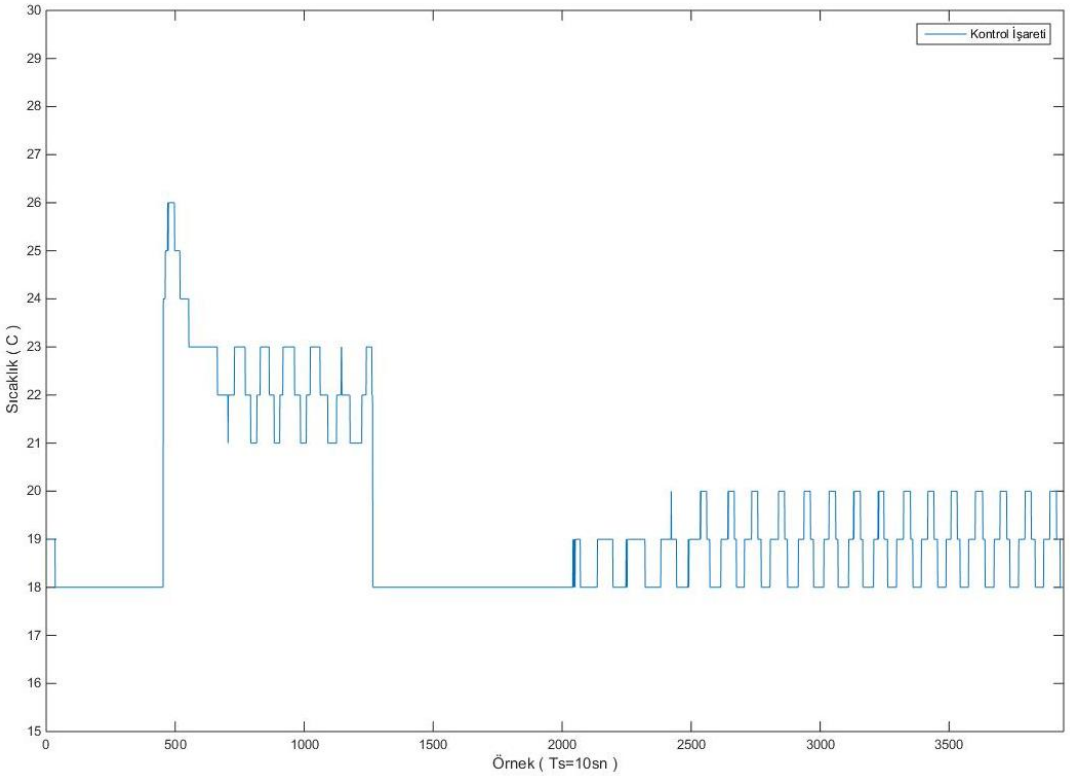
Şekil 3.17: Deney 1 sırasında üretilen hata işareti.

İkinci deneyden elde edilen kapalı çevrim sistem cevabı şekil 3.18'de gösterilmektedir. Deney, sıcaklık girişi 20 ºC'den 22 ºC'ye çıkarılıp, sonra tekrar 20 ºC'ye indirilerek gerçekleştirilmiştir. Kırmızı grafik oda sıcaklığını, mavi grafik sıcaklık girişini göstermektedir.

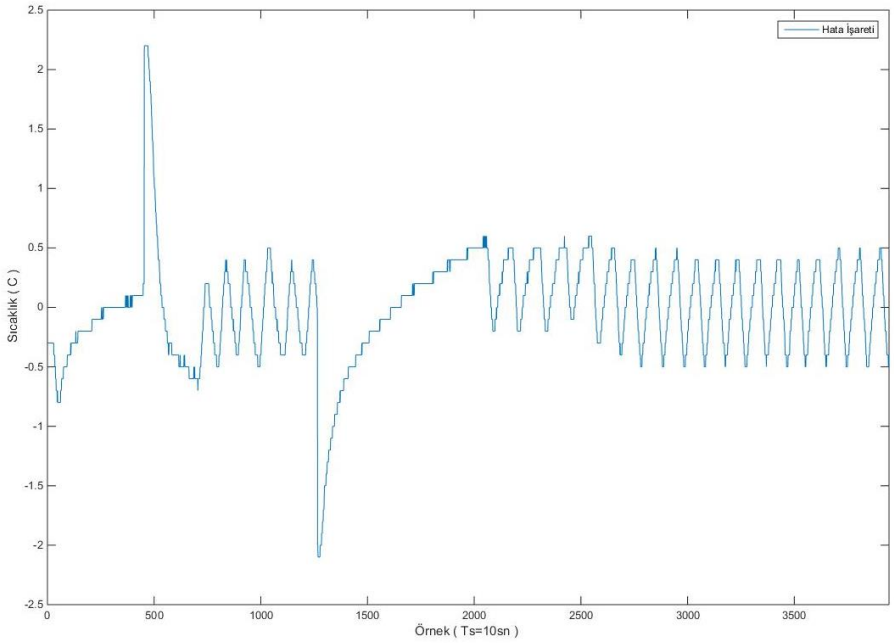


Şekil 3.18: Sistemin kapalı çevrim basamak cevabı 2. deney.

Kapalı çevrim sistemden elde edilen kontrol işareti ve hata işareti ise sırasıyla şekil 3.19 ve 3.20'de gösterilmektedir.



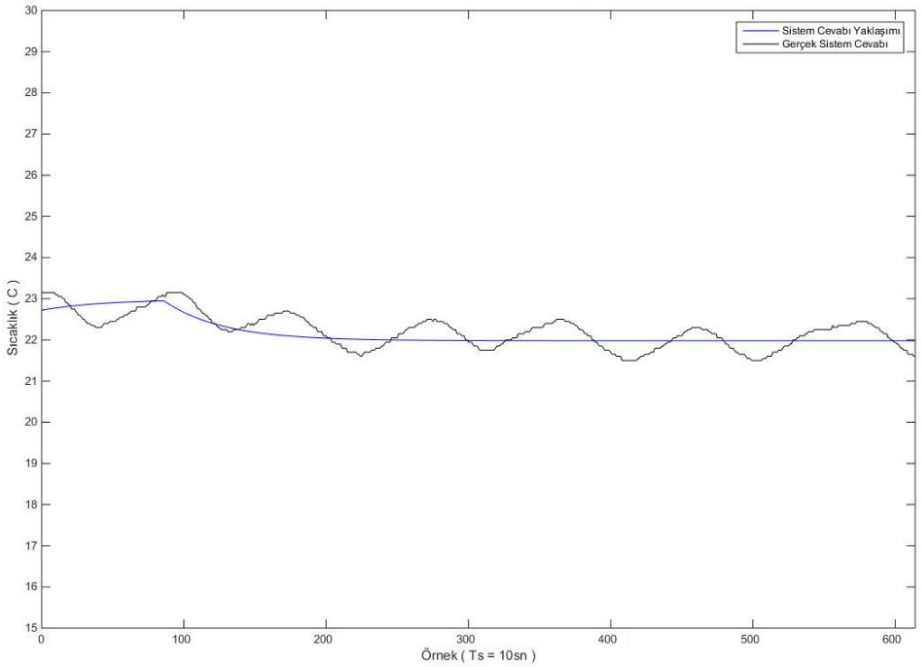
Şekil 3.19: Deney 2 sırasında üretilen kontrol işareti.



Şekil 3.20: Deney 2 sırasında üretilen hata işareti.

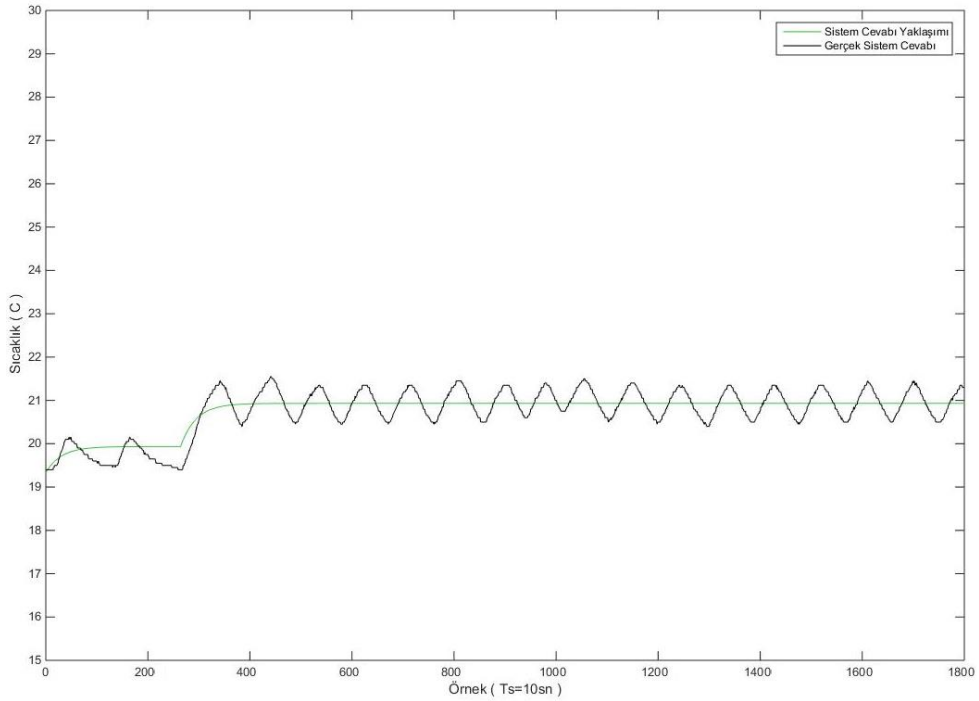
Yapılan iki deneyin sonuçlarından elde edilen dört adet basamak cevabı karakteristiğini çıkartabilmek için ise ilk önce Matlab sistem tanıma aracı ile kapalı çevrim sistem modellenmiş daha sonra Matlab stepinfo() fonksiyonu ile basamak cevabı karakteristiği elde edilmiştir [36].

Birinci kapalı çevrim basamak cevabı ve yaklaşımı şekil 3.21'de gösterilmektedir. Deney, sıcaklık girişi 23 ºC'den 22 ºC'ye düşürülerek gerçekleştirilmiştir.



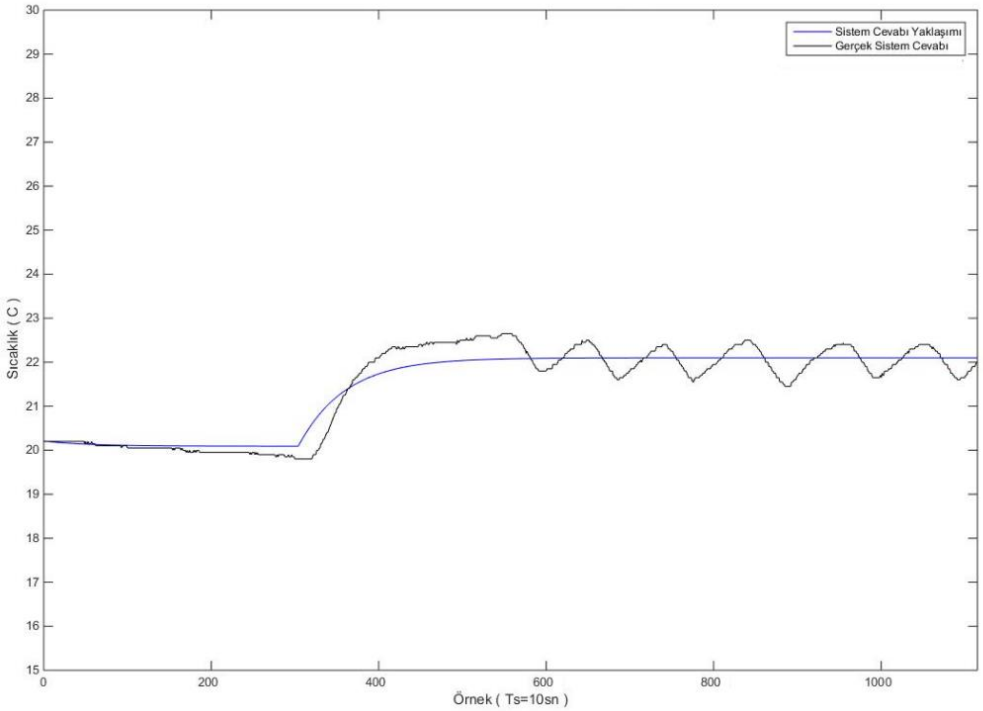
Şekil 3.21: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 1. deney.

İkinci kapalı çevrim basamak cevabı ve yaklaşımı şekil 3.22'de gösterilmektedir. Deney, sıcaklık girişi 20 ^{0}C'den 21 ^{0}C'ye çıkarılarak gerçekleştirilmiştir.



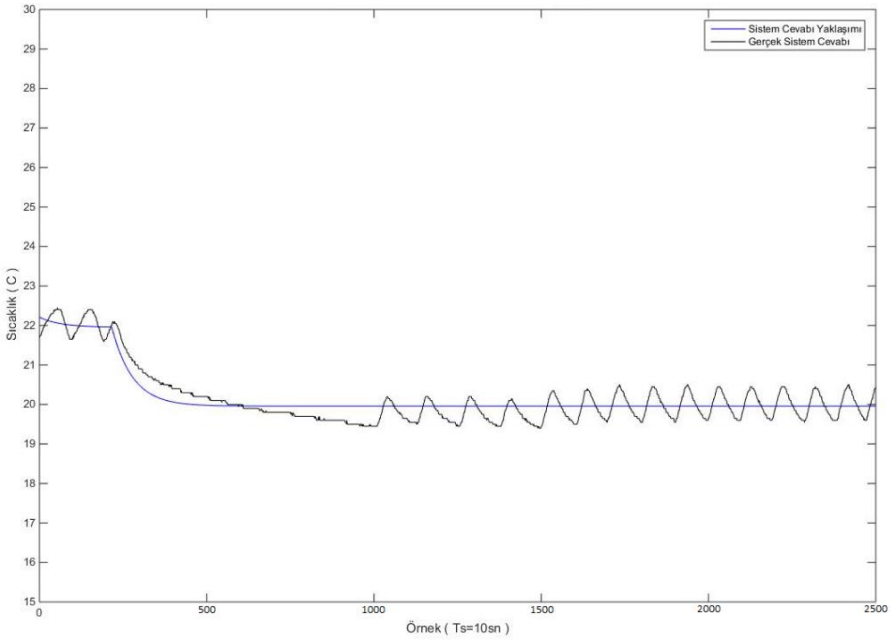
Şekil 3.22: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 2. deney.

Üçüncü kapalı çevrim basamak cevabı ve yaklaşımı şekil 3.23'de gösterilmektedir. Deney, sıcaklık girişi 20 ^{0}C'den 22 ^{0}C'ye çıkarılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.23: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 3. deney.

Dördüncü kapalı çevrim basamak cevabı ve yaklaşımı şekil 3.24'de gösterilmektedir. Deney, sıcaklık girişi 22 ^{0}C'den 20 ^{0}C'ye indirilerek gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.24: Kapalı çevrim basamak cevabı yaklaşımı 4. deney.

Modellerden elde edilen basamak cevabı karakteristiği ise çizelge 3.3'de belirtilmektedir. Parametreler, gerçek sistem cevaplarından türetilen sistem modelleri Matlab stepinfo() fonksiyonuna girilerek elde edilmiştir.

Çizelge 3.3: Deneylerden elde edilen basamak cevaplarının karakteristiği.

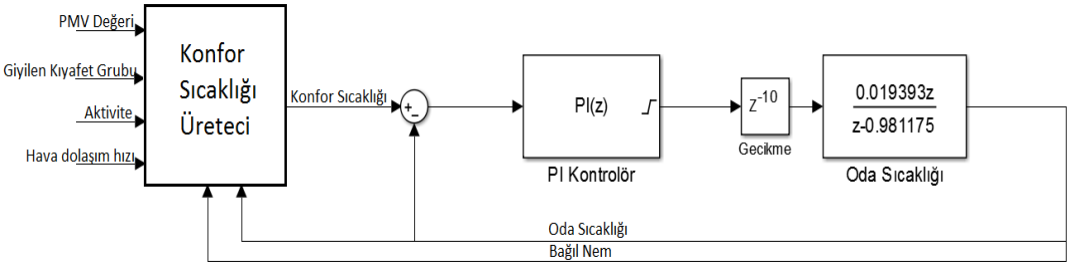
Deney Numarası	1	2	3	4	Ortalama
Yükselme Zamanı	900	660	1240	1370	1042,5
Oturma Zamanı	1610	1190	2200	2440	1860
Zirve Noktası	0.9980	0.9962	1.0039	0.9963	0.9986
Zirve Zamanı	2790	2290	4190	3990	3315

Deney sonuçlarına bakıldığında, eskiye göre sistemin hızlandığı ve sürekli sıcaklık hatasının ortadan kaldırıldığı görülmektedir. Ayrıca sistem hızlanmasına rağmen aşım yapmayarak enerji verimliliğinden de ödün vermemektedir.

3.5 Konfor Sıcaklığının Sıcaklık Girişi Olarak Kullanılması ve Sistem Testleri

Deneylerde kullanılan klima, odanın termal modeline uygun bir kontrolör ile yönetildiğinde önceye göre daha verimli ve performanslı çalıştığı görülmektedir. Sisteme uygulanan sıcaklık girişi PMV fonksiyonundan elde edilen konfor sıcaklığı ile şekil 3.25'te gösterildiği gibi belirlendiği zaman ise tezin amacına ulaşılmaktadır.

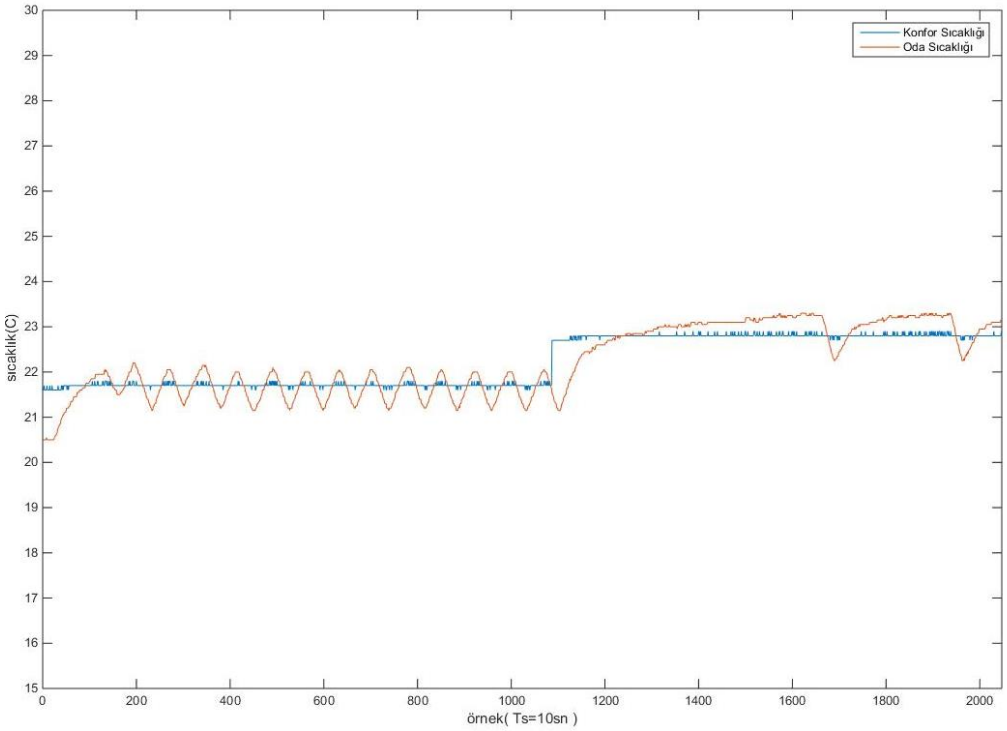
PSO ile çözülüp tersi alınan PMV fonksiyonu, girilen ortam parametreleri için konfor sıcaklığını belirlemektedir.



Şekil 3.25: Sıcaklık girişi olarak konfor sıcaklığı kullanılması.

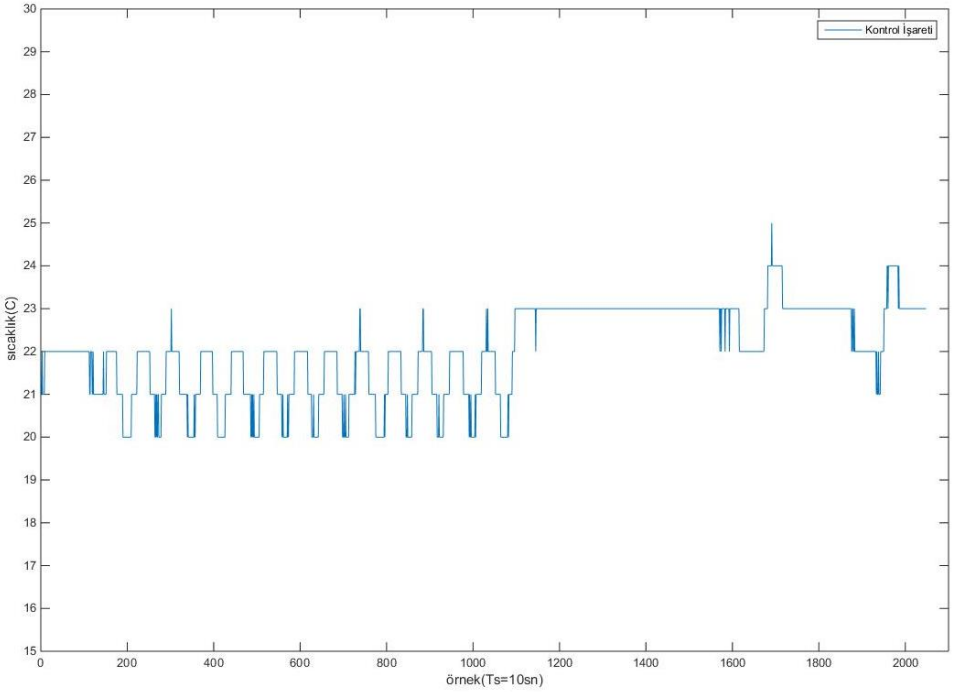
Sıcaklık girişi konfor sıcaklığı ile belirlendiği zaman kullanıcılar için termal açıdan konforlu bir ortam sunulmaktadır. Bununla birlikte enerji verimliliğinin sağlanmasında hem tasarlanan PI kontrolörün hem de konfor sıcaklığının doğru parametrelere göre üretilmesinin payı vardır.

Termal konfor ve enerji tasarrufu sağlayan klima kontrol sisteminin test edilmesi için PMV değeri önce -0.25 daha sonra 0 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kullanıcının kış aylarına uygun olarak ceket-pantolon-gömlek kıyafet grubunu giydiği ve bilgisayarı ile araştırma yaptığı, deney ortamının hava dolaşım hızının ise 0.1 m/s olduğu kabul edilip bu koşullar altında deneyler yapılmıştır.

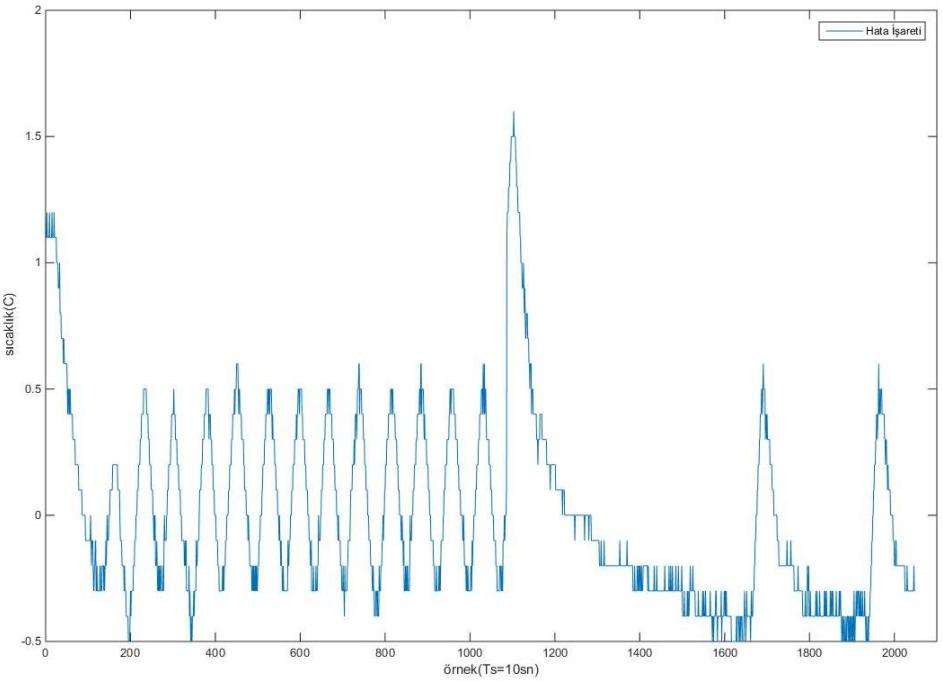


Şekil 3.26: Tasarlanan sistemin kapalı çevrim cevabı.

Deney sonuçlarından elde edilen kapalı çevrim sistemin sıcaklık grafiği şekil 3.26'da gösterilmektedir. PMV değeri -0.25 olarak belirlendiğinde konfor sıcaklığı ortalama 21.7 ºC, PMV değeri 0 olarak belirlendiğinde ise konfor sıcaklığı ortalama 22.8 olmuştur. Deney sonuçlarından elde edilen kapalı çevrim sistemin kontrol işareti ve hata grafikleri ise sırasıyla şekil 3.27 ve 3.29'da gösterilmektedir.

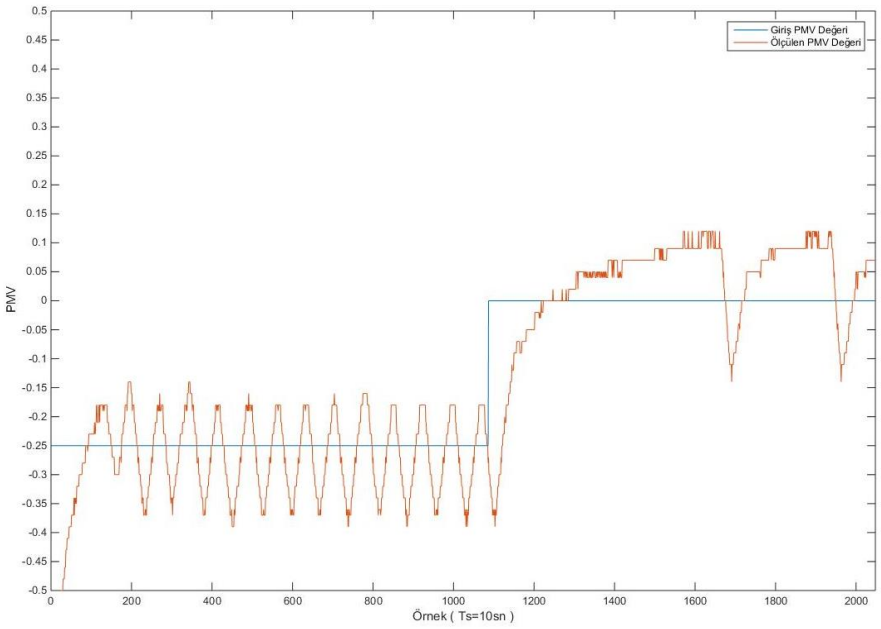


Şekil 3.27: Tasarlanan sistemin kontrol işareti.

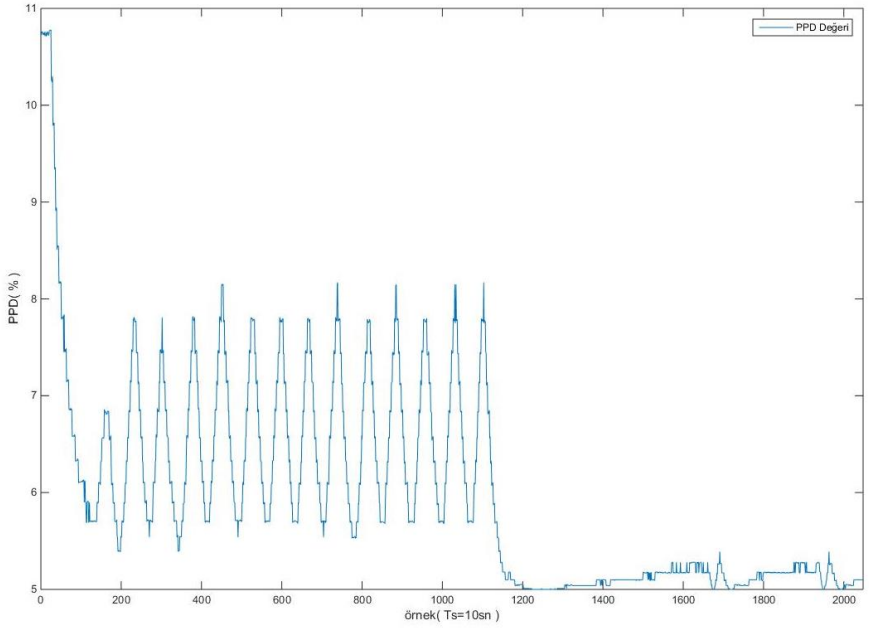


Şekil 3.28: Tasarlanan sistemin hata işareti.

Ayrıca, Deney sonuçlarından elde edilen PMV ve PPD grafikleri sırasıyla şekil 3.29 ve 3.30'da gösterilmektedir.

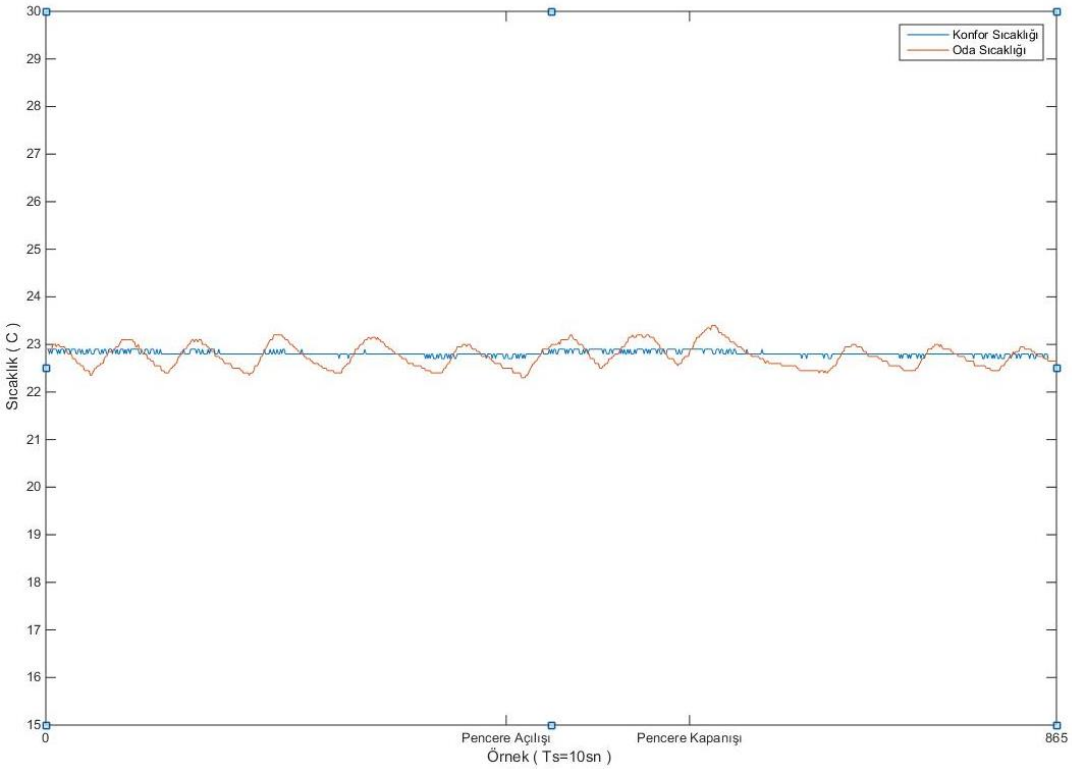


Şekil 3.29: Tasarlanan sitemden elde edilen PMV değeri.



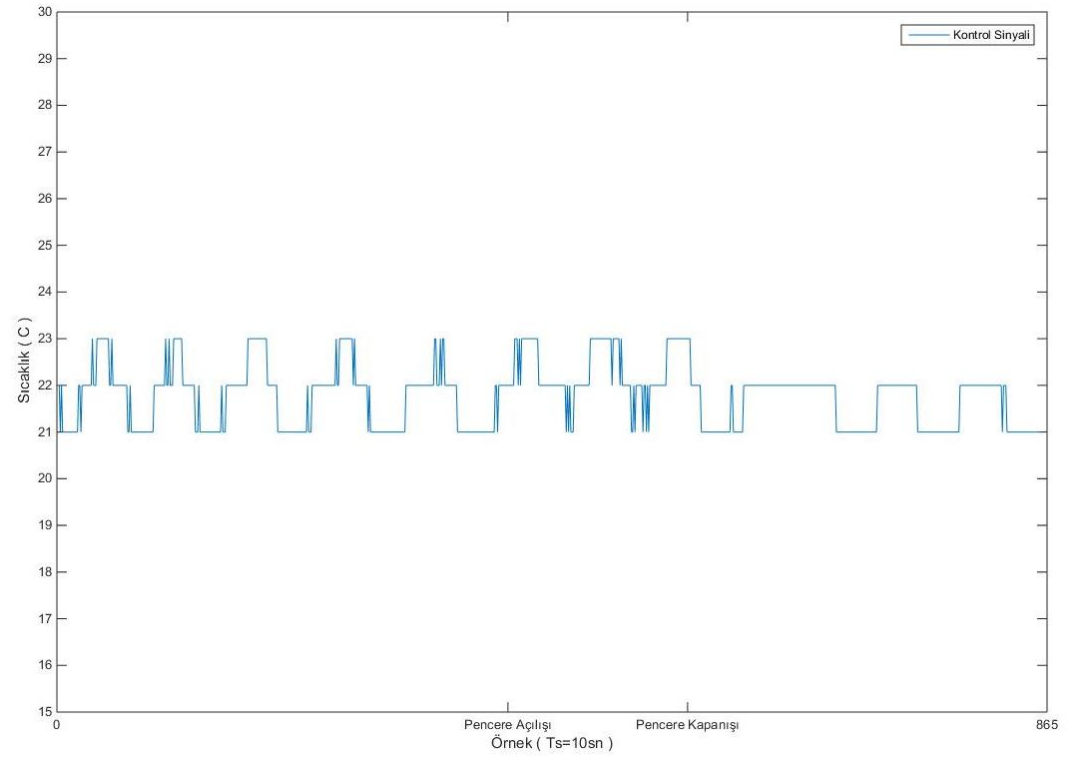
Şekil 3.30: Tasarlanan sitemden elde edilen PPD değeri.

Sistemin hata girişine karşı dayanıklılığının testi için, konfor sıcaklığı PMV -0.25 değeri ile belirlenirken dış hava sıcaklığının 20 ^{0}C olduğu yarım saatlik bir zaman aralığında deney ortamında pencere açılarak deney yapılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen kapalı çevrim sistemin sıcaklık grafiği şekil 3.31'de gösterilmektedir. Pencere açılışı ve kapanışı arasında geçen süre 30 dakikadır.

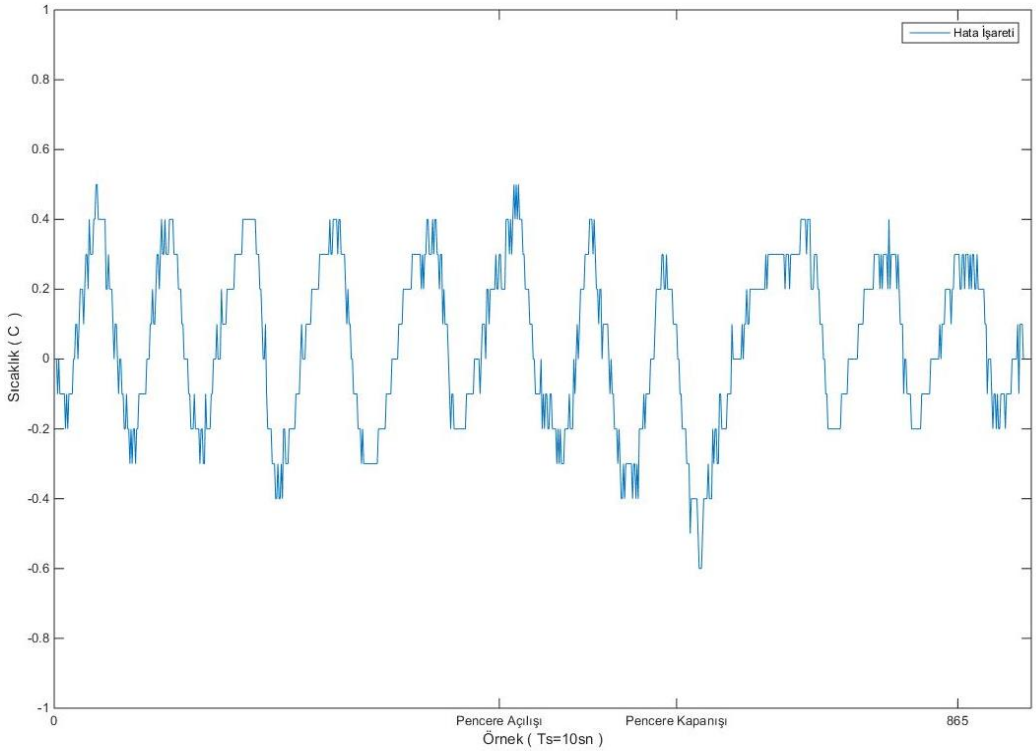


Şekil 3.31: Açık pencere senaryosundan elde edilen sıcaklık grafiği.

Deney sonuçlarından elde edilen kapalı çevrim sistemin kontrol işareti ve hata grafikleri ise sırasıyla şekil 3.32 ve 3.33'de gösterilmektedir.



Şekil 3.32: Açık pencere senaryosundan elde kontrol işareti grafiği.



Şekil 3.33: Açık pencere senaryosundan elde edilen hata işareti grafiği.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez sonucunda termal konfor ve enerji verimliliği odaklı, internet üzerinden erişilip kontrol edilebilen bir akıllı klima kontrol sistemi tasarlanmıştır. Sistem, klimanın içyapısına müdahale etmeden uzaktan kumanda ile kontrol edilebilen her klimaya uygulanabilir bir yapıdadır. Kullanıcıdan ve kullanıcının bulunduğu ortamdan alınan verilerle klima çalışma sıcaklığı konfor ve enerji verimliliğini sağlayacak şekilde otomatik olarak belirlenmektedir.

Öncelikle, deneylerin yapıldığı odanın şeklinden ve klimanın pozisyonundan kaynaklanan sürekli hal hataları gidermek ve sıcaklık salınımını azaltarak performansı arttırmak için klimaya basamak sıcaklık girişleri uygulanarak deney ortamının termal transfer fonksiyonu çıkarılmıştır.

Termal transfer fonksiyonu elde edildikten sonra benzetim ortamında PI kontrolör tasarlanarak sürekli hal hataları giderilmiş ve 1 ^{o}C'den büyük olan sıcaklık salınımları azaltılmıştır. Ayrıca PI kontrolör sayesinde daha önce 1 ^{o}C çözünürlükle kontrol edilen ortalama oda sıcaklığı artık 0.1 ^{o}C çözünürlükle kontrol edilebilmektedir.

Sisteme uygulanan konfor sıcaklığı ise tahmini ortalama oy (PMV) fonksiyonunun parçacık kümesi optimizasyonu (PSO) yardımıyla tersi alınıp, anlık olarak ölçülen ortam parametreleri kullanılarak belirlenmiştir. Böylece klima sıcaklık kontrolü normal bir kullanıcıya göre daha sık ve daha doğru kontrol edilmiş ve sistem otomatikleştirilmiştir. Aynı zamanda konfor seviyesi mevsimlere göre ISO standardı dışına çıkmadan seçilerek enerji verimliliği sağlanmıştır.

Tasarlanan kontrol sistemiyle yapılan deneyde, PMV değeri -0.25 ve 0 olarak seçildiğinde konfor değeri sırasıyla ortalama 21.7 ^{o}C ve 22.8 ^{o}C olarak bulunmuştur. Klima, ortamın sıcaklığına ve nemine aynı anda etki ettiği için konfor sıcaklıkları $\pm$ 0.1 ^{o}C salınım yapmıştır.

Deneyde PMV -0.25 değeri için ortam sıcaklığı kontrol sistemi tarafından $\pm$0.4 ^{o}C hata payı ile 21.7 ^{o}C'de tutulmaya çalışılmıştır. PMV 0 değeri için ise ortam sıcaklığı kontrol sistemi tarafından $\pm$0.5 ^{o}C hata payı ile 22.8 ^{o}C'de tutulmaya çalışılmıştır.

PMV 0 için sistemin nispeten zorlanmasının sebebi, odanın çok yavaş ısınması fakat çok çabuk soğumasıdır.

Ayrıca dış hava sıcaklığı 20 ºC'de iken pencere açma senaryosu ile sistemin hata girişine karşı olan dayanıklılığı ölçülmüş ve deney sonuçlarında kontrol sisteminin hata sinyalini başarılı şekilde bastırdığı görülmüştür.

Verilere göre insanlar kışlık kıyafetler ile oturur pozisyonda bilgisayar işleriyle uğraştıkları zaman, konfor sıcaklığı PMV -0.25 değerine göre belirlendiğinde kullanıcılar %6-%8 arasında ortamdan termal açıdan rahatsız olmuşlardır. Aynı koşullarda konfor sıcaklığı PMV 0 değerine göre belirlendiğinde kullanıcılar ortalama %5.1 oranında ortamdan termal açıdan rahatsız olmuşlardır.

ISO standartları çerçevesinde termal konforun +0.5 -0.5 arasında olması gerekmektedir. Bu yüzden hem enerji verimliliği hem de termal konforun sağlanması açısından PMV -0.25 değeri kış ayları için tercih edilmiştir.

Tasarlanan kontrol sisteminin iyileştirilmesindeki bir sonraki adım, konfor sıcaklığı hesaplanırken sabit olarak kullanılan PMV parametrelerinin anlık olarak ölçülmesine ağırlık vermek olabilir. Rüzgâr alıcıları ile ortamın hava akış hızı anlık olarak ölçülebilir. Kullanıcıların aktiviteleri kalp ritmi alıcısı olan bileklikler ile tahmin edilmeye çalışılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Morna Isaac, Detlef P. van Vuuren** (2009). Modeling global residential sector energy demand for heating and air conditioning in the context of climate change, Energy Policy 37 (2009) 507–521.

[2] **Chin-Chi Cheng, Dasheng Lee** (2014). Smart Sensors Enable Smart Air Conditioning Control, Sensors 2014, 14, 11179-11203.

[3] **ASHRAE** (2009). ASHRAE Handbook of Fundamentals, SI edition – F09.

[4] **P. O. Fanger** (1970). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering, New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1970.

[5] **Willett Kempton, Daniel Feuermann, Arthur E. McCarty** (1992). "I always turn it on super"" user decisions about when and how to operate room air conditioners, Energy and Buildings, 18 (1992) 177-191.

[6] **K. L. Ku, J. S. Liaw, M. Y. Tsai, and T. S. Liu** (2015). Automatic Control System for Thermal Comfort Based on Predicted Mean Vote and Energy Saving, IEEE Transactions on Automation Science and Engıneerıng, vol. 12, no. 1, January 2015.

[7] **Ju-Kyung Lee, Suk Lee, Hyun-Hee Kim, Kyung-Chang Lee** (2013). PMV Calculation and Intelligent Control Algorithm for Location-based Human Adaptive Air-conditioner, 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE).

[8] **Francisco Herrera** (2004). A genetic rule weighting and selection process for fuzzy control of heating, ventilating and air conditioning systems, Engineering Applications of Artificial Intelligence 18 (2005) 279–296.

[9] **Francisco Herrera** (2010). A multi-objective evolutionary algorithm for an effective tuning of fuzzy logic controllers in heating, ventilating and air conditioning systems, Applied Intelligence 36(2):330-347.

[10] **T.M.I. Mahlia** (2010). Effect of Ambient Temperature and Relative Humidity on COP of A Split Room Air Conditioner, Journal of Energy & Environment, Vol. 2 (2010), No. 2, 35-38.

[11] **Chengdong Li, Weina Ren, Huidong Wang, and Jianqiang Yi** (2015). Sensor Data Driven Modeling and Control of Personalized Thermal Comfort Using Interval Type-2 Fuzzy Sets, D.-S. Huang and K. Han (Eds.): ICIC 2015, Part III, LNAI 9227, pp. 167–178, 2015.

[12] **Gook-Sup Song** (2012). Air conditioner operation behaviour based on student's skin temperature in a classroom, Applied Ergonomics 43 (2012) 211-216.

[13] **Lukas G. Swan** (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modelling techniques, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1819–1835.

[14] **T.-J. Yeh** (2009). Incorporating fan control into air-conditioning systems to improve energy efficiency and transient response, Applied Thermal Engineering 29 (2009) 1955–1964.

[15] **K.J. Chua** (2012). Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of Technologies and strategies, Applied Energy 104 (2013) 87–104.

[16] **Luis Pe´rez Lombard** (2007). A review on buildings energy consumption information, Energy and Buildings 40 (2008) 394–398.

[17] **Roberto Z. Freire** (2007). Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings, Energy and Buildings 40 (2008) 1353–1365.

[18] **D. Kolokotsa** (2003). Comparison of the performance of fuzzy controllers for the management of the indoor environment, Building and Environment 38 (2003) 1439–1450.

[19] **Mario Collotta** (2014). A Dynamic Fuzzy Controller to Meet Thermal Comfort by Using Neural Network Forecasted Parameters as the Input, Energies 2014, 7, 4727-4756.

[20] **Emerson Donaisky, Gustavo H. C. Oliveira** (2007). PMV-Based Predictive Algorithms for Controlling Thermal Comfort in Building Plants, 16th IEEE International Conference on Control Applications Part of IEEE Multi-conference on Systems and Control Singapore, 1-3 October 2007.

[21] **Gianfranco Rizzo** (2003). The control of indoor thermal comfort conditions: introducing a fuzzy adaptive controller, Energy and Buildings 36 (2004) 97–102.

[22] **Shuanghua Cao, Fang Liu and Wenbing Weng** (2010). An Innovation PID Control Method of Split Air-conditioner Based on Online Prediction, 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering.

[23] **Url-22** <www.swarmintelligence.org>, 22.11.2016.

[24] **Url-23** <https://www.raspberrypi.org/>, 22.11.2016.

[25] **Url-24** <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>, 22.11.2016.

[26] **Url-25** <https://www.ssh.com/>, 22.11.2016.

[27] **Url-26** <https://tools.ietf.org/pdf/rfc354.pdf>, 22.11.2016.

[28] **Url-27** < https://filezilla-project.org/ >, 22.11.2016.

[29] **Url-28** <www.putty.org>, 22.11.2016.

[30] **Url-29** <https://www.python.org/>, 22.11.2016.

[31] **Url-30** <http://flask.pocoo.org/>, 22.11.2016.

[32] **Url-31** <https://www.weaved.com>, 22.11.2016.

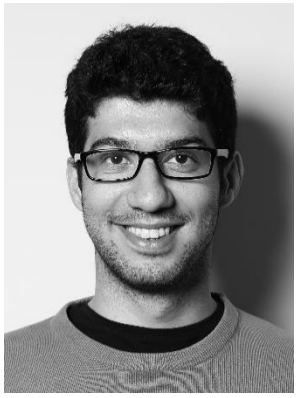
[33] **Url-32** <www.lirc.org/>, 22.11.2016.

[34] **Url-33** <https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT>, 22.11.2016.

[35] **Url-34** <https://www.mathworks.com/products/sysid >, 22.11.2016.

[36] **Url-36** <http://www.mathworks.com/help/control/ref/stepinfo.html>, 22.11.2016.

ÖZ GEÇMİŞ



İsim: Onuralp Sözer

Doğum Tarihi: 09.08.1990

Doğum Yeri: Tekirdağ / Çorlu

E-mail: onuralpsozer@gmail.com

EĞİTİM

Lisans: Ege Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği 2013

İŞ TECRÜBESİ

2013-2015 TSV Enerji, Gömülü Yazılım Mühendisi

2015 – Siemens A.Ş, Gömülü Yazılım Mühendisi