T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ODA TERMOSTATLARI İÇİN SICAKLIK ÖLÇÜM KARARLIĞINI ARTIRAN BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

Yunus ARI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Fırat KAÇAR

Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Mart, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Yunus ARI tarafından, **Prof. Dr. Fırat KAÇAR** danışmanlığında hazırlanan **"ODA TERMOSTATLARI İÇİN SICAKLIK ÖLÇÜM KARARLILIĞINI ARTIRAN BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **27/03/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Fırat KAÇAR İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Yasin ÖZÇELEP İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KONAL Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Yunus ARI

(İmza)

Aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

ODA TERMOSTATLARI İÇİN SICAKLIK ÖLÇÜM KARARLILIĞINI ARTIRAN BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bana her türlü teknik imkânı sağlayan şirketim Ges Teknik'e, maddi manevi desteğini eksik etmeyen yöneticilerim ve takım arkadaşlarıma, çalışma süresince her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını benden esirgemeyerek her fırsatta çalışmamla yakından ilgilenen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Fırat KAÇAR'a ve her alanda bana gerekli motivasyonu sağlayan sevgili eşim Büşra'ya ve aileme bir teşekkürü borç bilirim.

Mart 2024 Yunus ARI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
3. YÖNTEM **10**
3.1. Test Düzeneği 10
3.2. Termostat Sıcaklık Ölçüm Metodu 12
4. BULGULAR **15**
4.1. Test 1 Sensör Analog Ölçüm 15
4.1.1. Algoritma 15
4.1.2. Sensör Analog Ölçüm Testi Çıktıları 16
4.2. Test 2 Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi 21
4.2.1. Algoritma 21
4.2.2. Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi Testi Çıktıları 22
4.3. Test 3 Termostat ON – OFF Durumunun Sensör Ölçümüne Etkisi 25
4.3.1. Algoritma 25
4.3.2. Termostat ON – OFF Durumunun Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Çıktıları 25
4.4. Test 4 Yük Bağlantısının Sensör Ölçümüne Etkisi 27
4.4.1. Algoritma 27
4.4.2. Yük Bağlantısının Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Çıktıları 28
4.5. Test 5 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri 30

4.5.1. Algoritma 30
4.5.2. Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Çıktıları 30
4.6. Test 6 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri 33
4.6.1. Algoritma 33
4.6.2. Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Çıktıları 33
4.7. Test 7 Termostat Durumu Kaynaklı Ölçüm Hatasının Giderilmesi 37
4.7.1. Algoritma 37
4.7.2. Termostat Durumu Kaynaklı Ölçüm Hatasının Giderilmesi Testi Çıktıları 39
5. TARTIŞMA 42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 44
KAYNAKLAR 46
EKLER 48
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 53
ETİK KURUL İZİN YAZISI 54
KURUM İZNİ YAZILARI 55
PATENT HAKKI İZNİ 56
ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2-1 Merkezi ve Lokal Isıtma Sistemleri Örnek Şeması. 5

Şekil 2-2 Sulu Isıtma Soğutma Serpantinli Fan Coil Şeması. 6

Şekil 2-3 Termostat Mekanik Tasarım 9

Şekil 3-1 Test Düzeneği 11

Şekil 3-2 Sensör Ölçüm Devresi Tasarımı 12

Şekil 4-1 Sensör Analog Ölçüm Testi Kapsamında Toplanan Veri Grafiği 17

Şekil 4-2 Termostat Ölçümleri ile Referans Ölçümler Arasındaki Hata Dağılımı..... 18

Şekil 4-3 Sabit Ölçüm Hatası Düşülerek İyileştirilmiş Ölçüm Verileri 19

Şekil 4-4 Sensör Analog Ölçüm Testi Bir Noktanın 2 Saatlik Ölçüm Grafiği. 20

Şekil 4-5 MAF Çalışma Prensibi. 21

Şekil 4-6 Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi Testi Kapsamında Toplanan Veri Grafiği..... 23

Şekil 4-7 Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi Testi Bir Noktanın 2 Saatlik Ölçüm Grafiği. 24

Şekil 4-8 Test 3 Düzeneği ON-OFF Termostat Durumları. 25

Şekil 4-9 Termostat ON – OFF Durumunun Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Kapsamında Toplanan Veri. 26

Şekil 4-10 Test 4 Düzeneğinde Yük Altında Termostatlar. 27

Şekil 4-11 Yük Bağlantısının Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Kapsamında Toplanan Veri. 28

Şekil 4-12 Termostat 3 Test 4 Sonunda Isınma Grafiği. 29

Şekil 4-13 Termostat 6 Test 4 Sonunda Isınma Grafiği. 29

Şekil 4-14 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Düzeneğinde Termostat Bağlantıları. 30

Şekil 4-15 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Başlangıcı ve Bitişi Güç Kutusu Termal Görüntüleri. 31

Şekil 4-16 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Kapsamında Toplanan Güç Kutusu Ortalama Sıcaklığı. 32

Şekil 4-17 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Kapsamında Toplanan Veri. 34

Şekil 4-18 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Sıcaklık Ölçümlerinin Ortalaması. 35

Şekil 4-19 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Sıcaklık Ölçüm Ortalamalarının OFF Duruma Göre Farkı. 36

Şekil 4-20 Kalibrasyon Eğrisi Grafiği. 37

Şekil 4-21 Termostat Durumu Kaynaklı Ölçüm Hatasının Giderilmesi Testi Kapsamında Toplanan Veri. 40

Şekil 4-22 Kalibre Edilmiş Termostat Ölçümleri ile Referans Ölçümler Arasındaki Hata Dağılımı 41

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

mm : Milimetre
cm : Santimetre
°C : Santigrat Derece
$\boldsymbol{V_{MCU}}$: Sensörün İşlemci Üzerinde Oluşturduğu Gerilim
$\boldsymbol{V_{in}}$: Besleme Gerilimi
$\boldsymbol{R_{NTC}}$: NTC Sensör Üzerinde Oluşan Gerilim
$\boldsymbol{R_1}$: Sensör Ölçümünde Kullanılan Referans Direnç
$\boldsymbol{T_0}$: Sensörün Referans Sıcaklığı (25 °C)
$\boldsymbol{R_0}$: Sensörün T_0 Sıcaklığında Oluşturduğu Direnç (10 k ohm)
$\boldsymbol{T}$: Ölçülen Anlık Sıcaklık
$\boldsymbol{\beta}$: Sensörün Sıcaklık Eğri Karakteristiği Katsayısı
$\boldsymbol{m}$: MAF Örneklem Genişliği
$\boldsymbol{y}$: Anlık Ölçüm Değerleri
$\boldsymbol{x}$: Filtrelenmiş Ölçüm Değerleri
$\boldsymbol{V}$: Volt
$\boldsymbol{A}$: Amper

Kısaltmalar **Açıklama**

HVAC&R : Isıtma havalandırma iklimlendirme ve soğutma sistemleri
BACnet : Building Automation and Control Networks
MS/TP : Master-Slave Token Passing
ADC : Analog dijital çevirici
NTC : Negative tempetarute coefficient
MAF : Moving Average Filter
FIFO : First In First Out
ON : Termostat Açık Durumu
OFF : Termostat Kapalı Durumu

VAV : Variable Air Volume

FCU : Fan Coil Unit

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ODA TERMOSTATLARI İÇİN SICAKLIK ÖLÇÜM KARARLILIĞINI ARTIRAN BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

Yunus ARI

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman : Prof. Dr. Fırat KAÇAR

HVAC&R sistemleri kapalı ortam sıcaklığını ve hava kalitesini en düşük enerji tüketimi ile konfor şartlarında tutmayı amaçlamaktadır. HVAC&R sistemlerinde oda termostatları kullanıcı arayüzü olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında bir oda termostatının üzerinde bulundurduğu sensör aracılığı ile yaptığı ortam sıcaklığı ölçümünü etkileyen faktörler incelenecektir. Tez sonucunda oda termostatlarının sıcaklık ölçümünde, oluşan sapmaları en aza indirgeyerek, kararlılığı artıracak bir algoritma geliştirilmeye çalışılacaktır.

Çalışma boyunca optimal kullanım şartlarına uygun olarak montajlanmış ve konumlandırılmış oda termostatları ve referans sensörler üzerinden sıcaklık ölçümleri yapılarak ve elde edilen veriler doğrultusunda sapmalar incelenmiştir. Tespit edilen sapmalar doğrultusunda algoritma geliştirilerek en optimal sonuç elde edilene kadar testler tekrarlanmıştır.

Yapılan testler sonucunda oda termostatının yapısı gereği dahili sıcaklık sensörünün elektronik komponent ısınmalarından etkileniyor olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda yük altında çalışan bir termostatın incelemeler ile sıcaklık ölçümünde oluşan sapmanın termostat çalışma

süresine bağlı değişimi hesaplanmaya çalışılmıştır. Elde edilen verilen doğrultusunda oluşturulan denklem algoritmaya dahil edilerek zamana bağlı olarak ölçümlerde hata payı düzeltmesi yapılmıştır. Böylelikle termostatın elektronik olarak ısınma ve soğuma süreçleri algoritma üzerinde öngörülerek sıcaklık ölçümünde oluşan sapma en optimal şekilde ortadan kaldırılmıştır.

Mart 2024 , 73 sayfa.

Anahtar kelimeler: HVAC&R, Oda Termostatı, Sıcaklık, NTC10k

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

DEVELOPING AN ALGORITHM THAT INCREASES TEMPERATURE MEASUREMENT STABILITY FOR ROOM THERMOSTATS

Yunus ARI

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Electrical and Electronics Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Fırat KAÇAR

HVAC&R systems aim to keep the indoor temperature and air quality at comfortable conditions with the lowest energy consumption. Room thermostats are used as user interfaces in HVAC&R systems. In this thesis study, the factors affecting the ambient temperature measurement made by room thermostats through the internal sensor will be examined. As a result of the thesis, an algorithm will be tried to be developed for room thermostats that will increase the stability by minimizing the deviations in the temperature measurement.

Throughout the study, temperature measurements were made on room thermostats and reference sensors that were mounted and positioned by optimal usage conditions, and deviations were examined in line with the data obtained. The algorithm was developed in line with the detected deviations and the tests were repeated until the most optimal result was obtained.

As a result of the tests, it was determined that the internal temperature sensor is affected by electronic component heating due to the structure of the room thermostat. In this context, tried to calculate the variation in the deviation in temperature measurement depending on the

thermostat operating time by examining a thermostat operating under load. The equation created in line with the data obtained was included in the algorithm and the margin of error in the measurements was corrected depending on time. In this way, the electronic heating and cooling processes of the thermostat are predicted by the algorithm and the deviation in temperature measurement is eliminated most optimally.

March 2024, 73 pages.

Keywords: HVAC&R, Room Thermostat, Temperature, NTC10k

1. GİRİŞ

Isıtma havalandırma iklimlendirme ve soğutma sistemleri (HVAC&R) ortam şartlarını kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda şekillendiren ve bu çalışmasını sürdürürken minimum enerji tüketimini hedefleyen sistemlerdir. HVAC&R sistemlerinin yanlış kullanımda enerji tüketimi genellikle yüksektir. Günümüz şartlarında verimsiz enerji tüketiminin dünyaya ve ülkelere zararlarının büyük ölçüde olması nedeni ile HVAC&R sistemlerinde enerji verimliliğini artırmak için çeşitli bilimsel ve teknolojik çalışmalar yapılmaktadır [1].

Güncel akademik çalışmalar gösteriyor ki binalarda harcanan enerji, dünya genelindeki enerji tüketiminin %40'ını oluşturmakta ve harcanan bu enerjinin yarısından fazlası HVAC&R sistemlerince tüketilmektedir [2]. Bu durum sistemlerin maksimum verim ile işletilmesinin önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda çalışmasını sürdüren HVAC&R sistemleri, hatalı kullanıcı girdileri nedeni ile yüksek enerji tüketimine sebebiyet verebilmektedir.

HVAC&R sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması için sürüdürülen mekanik tasarım çalışmaların yanı sıra, sistem izleme ve otomatize kontrol amacı ile geliştirilen otomasyon sistemleri de kullanıcı kaynakları hataları ortadan kaldırarak enerji tüketimini azaltmaktadır. Farklı tip HVAC&R cihazları için özel olarak geliştirilen kontrol otomasyon kartları ön tanımlı senaryoları ile mekanik veya aç kapa kontrollü sistemlerde oluşan ihtiyaç dışı kullanımları ortadan kaldırmakta ve tüketimi azaltmaktadır.

Otomatize kontrol yapılmayan sistemlerde genellikle mekanik ve/veya termostatik anahtarlar ile cihaz kontrolü yapılmaktadır. Mekanik paneller ile kontrol edilen sistemler ortam koşullarından bağımsız olarak tamamen kullanıcı kararları ile yönetilmektedir. Bu tip sistem işletmesi konfor şartları dışında gereğinden fazla ısıtma veya soğutma ile sonuçlanabilmektedir. İhtiyaç dışı çalışan HVAC&R sistemleri konfor şartlarını sağlayamayarak kullanıcı deneyimini kötü etkilerken gereğinden fazla enerji tüketimine de sebebiyet vermektedir.

Manual kontrollü sistemlerde oluşabilecek durumlardan birine örnek olarak, aynı alan içerisinde çalışan iki farklı HVAC&R sisteminin farklı modlarda (ısıtma veya soğutma)

çalıştırılması gibi kullanıcı kaynaklı basit bir hatanın enerji tüketimine büyük ölçüde etkisi olacağı rahatlıkla söylenebilir. Aynı ortam içerisinde ters yönde şartlandırma yapmaya çalışan iki cihaz birbirlerine etkileri nedeni ile hiçbir zaman set değere ulaşamayacak ve sürekli enerji tüketimine sebebiyet verecektir. Bu tip enerji tüketimlerinin ortadan kaldırılması ve verimliliğin artırılması için otomatize sistemlerin HVAC&R sistemlerinde kullanılması elzemdir.

Enerji verimliliğini artırmaya yönelik yapılan otomasyon çalışmalarından en önemlisi haftalık programlardır. Literatürde yer alan çeşitli haftalık program senaryolarından temel tekniklerde genellikle iklimlendirme sistemi belirli zamanlarda kapatılarak enerji verimliliği artırılması amaçlanmaktadır. Daha ileri tekniklere sahip haftalık programlar incelendiğinde ise, sitemin tamamen kapatılmasındansa değişken zamanlarda sistemi farklı set sıcaklıkları ile kontrol ederek ortam sıcaklığını minimum enerji tüketimi ile konfor şartlarında tutmayı hedeflemektedir [3].

Yun ve Won [4] yaptıkları çalışmada bir ay süre ile kayda aldıkları ortam sıcaklığı verilerinden ve makine öğrenmesinden yararlanarak yeni bir HVAC&R kontrol stratejisi geliştirmeye çalışmışlardır. Geliştirilecek bu strateji ile HVAC&R sistemlerinde enerji verimliliğini artırmayı amaçlamışlardır. Literatürde bulunan bu ve benzeri çalışmalarda enerji tüketiminin azaltılması konusunun önemini ayrıca göstermektedir.

Minimum enerji tüketimi ile konfor şartlarını sağlamak amacıyla çalışmasını sürdüren HVAC&R sistemlerinin bunu sağlayabilmesi için, tüm gelişmiş senaryolardan önce, çalışmakta olduğu ortamın sıcaklığını gerçeğe en yakın şekilde ölçümlemesi gerekmektedir. Uygulamada çeşitli yöntemler ile ortam sıcaklığı ölçüm karakteristiği artırılmaya çalışılmaktadır. Shinoda ve diğ. [5] 2021 yılında yaptıkları çalışmada, ortam sıcaklığının doğru ölçümlenmesi için çeşitli sensörler kullanmışlardır. Ortam içerisinde en optimal noktadan sıcaklık ölçümünün yapılabilmesi için kablosuz sensör kullanımının tercih edilebileceğini göstermişlerdir. Kablosuz sensörler optimal pozisyon üzerinden ortam sıcaklığı ölçümünde her ne kadar başarılı olsalar da HVAC&R sistemi kurulan her projede kullanımları mümkün olmamaktadır. Kurulmakta olan sistemlerin birçoğunda otomasyon sistemine ayrılan bütçenin kısıtlı olması bu tip gelişmiş yapıların oluşturulmasının önüne geçmektedir. Bu tip projelerde hali hazırda bütçeye dahil edilmiş oda termostatları üzerinde bulunan sensörlerin kullanımı yangın olarak tercih edilmektedir.

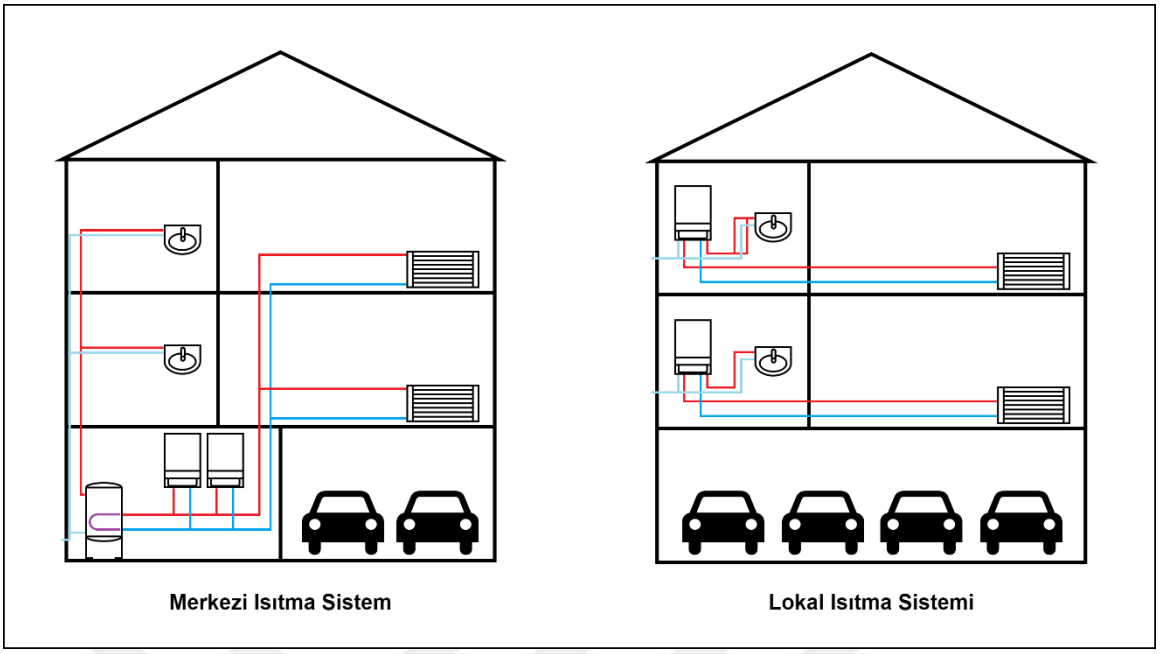
Oda termostatları kullanıcıların HVAC&R sistemleri üzerinde kontrol sağlamaları için geliştirilmiş arayüz cihazlarıdır. Farklı tip mekanik sistemlere özel olarak geliştirilmiş oda termostatı tipleri bulunmaktadır. Termostat tipleri arasındaki farklılıklar kontrol edilen mekanik cihazın ihtiyaçları doğrultusunda belirlenmiş donanım tasarımı ve ilgili sistemin kontrolü için hazırlanmış senaryo yazılımlarıdır.

Oda termostatı tiplerini örneklendirdiğimizde başlıca dört farklı modele değinebiliriz. Fan coil Termostatları oda sıcaklığını kullanıcının belirlediği set değere ulaştırmak için bir sulu serpantin ve bir fandan oluşan fan coil sisteminin ihtiyaç doğrultusunda devreye girmesi ve çıkmasını kontrol eder. Merkezi sistemden sağlanan şartlandırılmış su yardımı ile ortam ısıtma veya soğutmasında kullanılabilir [6]. Bir yerden ısıtma termostatı ortam sıcaklığını arttırarak kullanıcının belirlediği değere ulaştırmak için yerden ısıtma sistemine bağlı olan vananın konumunu kontrol eder. Mekanik kontrollü sistemlerin aksine ortam sıcaklığı doğrultusunda sistemi kontrol ederek enerji tüketimini azaltır [7]. Yer konvektörü kontrol termostatları tam duvar camlı binalarda dış ortam sıcaklığının kırılması amacıyla cam önüne yerleştirilmiş fan coil sistemine benzer mekaniğe sahip cihazların kullanıcı sıcaklık setine uygun kontrolünü sağlar [8]. Değişken hava hacimli sistemlerin kontrolünü sağlayan VAV termostatları, basınçlı hava kanalları ile ortama yönlendirilen şartlandırılmış havanın kullanıcı ihtiyacına uygun belirlenen basınçta damper yardımı ile odaya yönlendirilmesini kontrol eder. İhtiyaç paralelinde elektrikli ısıtıcı kontrolü sağlayarak ortam ısıtma da olanak sağlar [9].

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

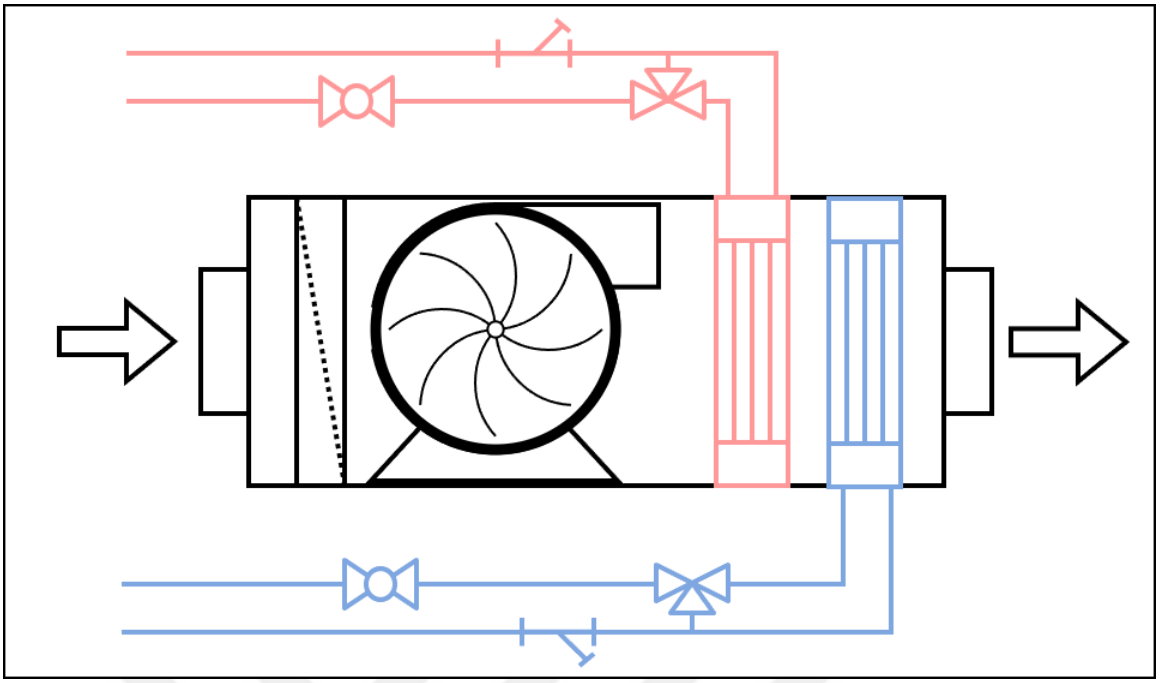
HVAC&R sistemlerinin tarihçesi ele alındığında ısıtma sistemlerinin ateşin icadına kadar dayandığı söylenebilir. Isıtma sistemlerinde uzun yıllarda ateş tabanlı farklı yöntemlerden yararlanılmıştır. İlk ticari fan kontrollü sıcak hava sistemleri 1860'larda ortaya konulmuştur. Havalandırma sistemlerinin ilk örneklerinin ise bacanın icadı öncesi kapalı alanlarda oluşan dumanın tahliyesi için tavan ve duvarlara açılan delikler ile yapıldığı görülmektedir. Temelde bir fan ve havalandırma kanalından oluşan havalandırma sistemleri günümüzde hala merkezi sistemler harici pek yaygın değildir. İklimlendirme sistemlerinin yaşam alanlarında kullanımı sanılanın aksine ilk yüzyıllarda Antik Yunan'a kadar dayanmaktadır. İlk mekanik iklimlendirme sistemi 1844 yılında Jhon Gorrie tarafında patentlenmiş olsa da modern iklimlendirme sistemlerinin gelişimi Dr. Willis Carrier'a atfedilmektedir. Son olarak soğutma sistemlerine baktığımızda genellikle gıdaları soğuk tutmak amacıyla kullanılan sistemleri içerdiği görülmektedir. Milattan önceki ilk örneklerinde donmuş göllerden toplanan buz yardımıyla gıdaların korunmaya çalıştığı görülmektedir. Clarence Birdseye tarafından 1922 yılında geliştirilen gıda dondurma süreci ile günümüzdeki dondurulmuş uzun ömürlü gıdaların temeli atılmıştır. [10]

HVAC&R sistemleri ihtiyaç duyulan işleme ve dağıtım tipine göre sınıflandırılabilirler. En temel sınıflandırmada HVAC&R sistemleri merkezi sistemler ve lokal sistemler olarak ikiye ayrılabilir. Merkezi sistemler ana ekipmanları tek konumda toplayarak tüm binayı bir bütün olarak yönetmeyi amaçlarken lokal sistemler bina içerisinde belirli bir alanı ihtiyaç doğrultusunda yönetmeyi amaçlar (Şekil 2-1). Merkezi sistemler yüksek ilk kurulum maliyetleri ve kurulum alanı ihtiyacı ile lokal sistemlere kıyasla dezavantajlı konumda iken, düşük işletme ve bakım maliyetleri ile ömrü boyunca daha yüksek fayda sağlamaktadır. [11]



Şekil 2-1 Merkezi ve Lokal Isıtma Sistemleri Örnek Şeması.

Merkezi HVAC&R sistemleri bir veya daha fazla ortamda işletme yapmak üzere kurulmaktadır. Bir merkezi ünitede ürettiği termal enerjiyi, hedef ortamda bulunan terminal ünitesine ulaştırarak bölgesel kontrolü sağlar. Üretilen termal enerji merkez noktadan ortama hava, su veya her ikisi ile taşınabilir. Hava temelli sistemlerde merkezi noktada şartlandırılan hava hedef ortama hava kanalları yardımı ile ulaştırılarak işletme sağlanır. Bu tip sistemlerde basınçlandırılmış hava ortam ihtiyaçları doğrultusunda damperler yardımı ile kanallar içerisinde yönlendirilir. Şartlar neden ile farklı hava akış hızları gereken bazı ortamlarda VAV sistemleri ile işletme sağlanır. Su temelli sistemlerde ise merkezi sistem tarafından ısıtılan veya soğutulan su borular yardımı ile mahallere ulaştırılır. Sadece ısıtma amacı ile kullanılan su temelli sistemlere yaygın olarak bilinen radyatör veya yerden ısıtma örnek verilebilir. Soğutma amacı da bulunan ortamlarda ise FCU sistemler su temelli olarak kullanılabilirler. [11]



Şekil 2-2 Sulu Isıtma Soğutma Serpantinli Fan Coil Şeması.

HVAC&R sistemlerinin elektronik kontrol cihazlarını kapsamlı olarak ele aldığımızda her ne kadar farklı amaçlar doğrultusunda özelleşmiş modeller ile karşılaşıyor olsak da bu sistemlerin temel amacı değişmemektedir. Yaptığımız incelemede karşımıza çıkan farklı tip termostat örneklerinde de görüldüğü üzere, her ne kadar giriş çıkış sayıları ve kullanım alanları değişiyor olsa da temelde oda termostatları da tüm HVAC&R sistemlerinde olduğu gibi ortam sıcaklığını kullanıcı konfor şartlarına getirmeyi ve bu süreçte minimum enerji harcamayı amaçlamaktadır [12]. Ortam sıcaklığının termostat tarafından yanlış ölçümlenmesi istenilen konfor şartlarını oluşturamamakla birlikte beklenenden enerji tüketiminin üzerinde çalışma sürdürmektedir.

Isıtma modunda ortam sıcaklığının olması gerekenin altında ölçülmesi durumunda sistem aşırı ısıtma yaparak hem konfor şartlarını bozacak hem de gereksiz enerji tüketimi oluşturacaktır. Benzer şekilde soğutma modunda çalışan bir cihaz olması gerekenin ortam sıcaklığının üzerinde bir değer algıladığında sistemi ihtiyaç duyulandan daha uzun süre çalıştıracak ve ortam şartlarını bozacaktır.

Bununla birlikte oda termostatlarında, aynı anda hem ısıtma hem de soğutma sağlayabilen sistemler ile kullanılmak üzere tasarlanan, bir otomatik mod bulunmaktadır. Bu otomatik mod ortam sıcaklığı ile hedef sıcaklık arasındaki farka dayalı olarak sistemi ısıtma veya soğutma modunda işletmektedir. Hatalı ölçülen bir ortam sıcaklık sensörü sistemi hatalı bir moda alarak ihtiyaç karşıtı bir iklimlendirmeye sebebiyet verebilir. İhtiyaç dışı çalışan bir sistem ortamı

konfor şartlarına getirme görevini yerine getirememek ile beraber planlanandan fazla enerji tüketimine de sebebiyet verecektir.

Oda termostatları ortam sıcaklığını bir harici sensör üzerinden okuyabildikleri gibi aynı zamanda üzerlerinde bağlı bulunan sıcaklık sensörlerinden de okuyabilmektedirler. Mekanik projelerin çoğunda kurulum karmaşasını ve maliyetini azaltmak için oda termostatı üzerinde dahili bulunan sıcaklık sensörünün kullanılması tercih edilmektedir. Dahili ortam sıcaklık sensörünün kullanımında ölçüm doğruluğunun artırılması amacı ile oda termostatı, yerden en az 50 en fazla 150 cm yükseklikte, direk ışık altında olmayan, sıcaklık kaynaklarına uzak ve içerisinde bulunduğu odanın ortalama sıcaklığını tespit edebileceği bir konuma montajlanması gerekmektedir [13] [14].

Ölçüm hassasiyetini artırmak için termostatı oda içerisinde doğru yerde konumlandırmak yeterli mi, sorusunu sorduğumuzda cevap hayır oluyor. Oda termostatının sıcaklık ölçümü üzerinde konuma ek olarak duvar etkisi diye isimlendirilen bir dış etken daha bulunmaktadır. Duvar etkisi, yüzey yakın yerlerde hareketi azalan havanın sıcaklık değişiminin ortamın tamamına kıyasla yavaş olması olarak özetlenebilir [5]. Tüm bu dış etkenlere ek olarak oda termostatının fiziksel tasarım özellikleri, kullanılan sensör kalitesi, donanımsan filtreler ve ölçüm algoritma yazılımları da ölçülen sıcaklık üzerinde etki göstermektedir. Kullanım alanları gereği küçük tasarımlara sahip olan ve bu alan içerisinde çeşitli elektronik komponent barındıran oda termostatları üzerinde kullanılacak dahili sensörün konum seçimi de sıcaklık ölçüm hassasiyetini ciddi oranda etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında bir fan coil termostatı üzerinde yerleştirilmiş olan sıcaklık sensörünün ölçüm hassasiyetini artırmak için yazılım algoritması geliştirilecektir. Standart sensör ölçümü kayda alınarak çalışmaya başlanacak ve testler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda algoritmaya ek filtre ve kontroller eklenerek oda termostatının referans sıcaklık aralığı içerisinde ölçüm yapması sağlanacaktır.

Fan coil içerisinde bulundurduğu fan ile ortamdan emdiği havayı merkezi sistemden gelen şartlandırılmış suyun geçtiği serpantin üzerinden geçirerek ortamda ısıtma veya soğutma imkânı sunan mekanik bir HVAC&R sistemidir. Fan coil üniteleri merkezi soğutma sistemlerinden gelen soğuk su ile veya merkezi ısıtma sistemlerinden gelen sıcak su ile işletme yapabilmektedir. Fan coil sistemlerinde ısıtma ve soğutma modları besleme suyu değiştirilerek kontrol edilmektedir. En basit hali ile içerisinde bir adet iki borulu serpantin bulunduran

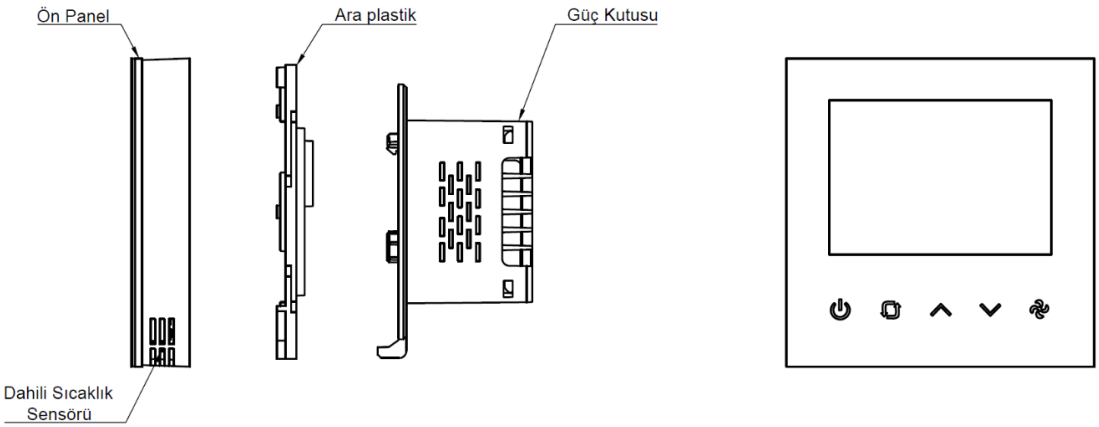
sistemlerde merkezi sistemden gelen su sıcaklığı işletme yapılabilecek modu belirtmektedir. Dört borulu fan coil sistemlerinde ise merkezi sistemden ayrı hatlar aracılığıyla gelen sıcak ve soğuk su farklı vanalar kontrolü ile serpantin içerisine alınmaktadır. Bu tip sistemlerde işletme modu kullanıcı tarafından tercih edilebilmektedir. Bununla birlikte bazı fan coil sistemlerinde sulu serpantin yerine ısıtıcı rezistans bağlantısı yapılarak elektrik kaynaklı ısıtma da yapılabilmektedir. Fan coil üniteleri pencere eşiklerinin altına, asma tavanların üstüne, duvarlara yerleştirilmiş dikey sütunlara vb. sığacak şekilde çeşitli konfigürasyonlarda tasarlanabilir. Fan coil oda termostatları genellikle oda sıcaklığını korumak için her ünitedeki boru vanasına veya fan kontrolörüne bağlanır. [15]

Çalışma sırasında kullanılacak olan Smallart marka T3045 Fan Coil Oda Termostatı, sıva üstünde 86x86 kare formunda ve 17 mm kalınlığında bir ön panele ve sıva altında 35mm derinlikli standart tip buatlara bağlantı destekleyen bir güç kutusuna sahiptir. 220V AC besleme ile çalışmaktadır. Dokunmatik tuş takımı ve segment ekran desteği ile kullanıcı kontrolüne olanak sağlamaktadır. Termostat ön panel elektronik devresini korumak ve güç kutulu ile izolasyon sağlamak amacı ile bir adet ara plastiğe sahiptir. [16]

T3045 Fan Coil Oda Termostatı bulundurduğu analog çıkış kanalı üzerinden bir adet elektronik kontrollü fanı oransal olarak, kullanıcının ekrandan seçtiği kademe doğrultusunda veya hedef sıcaklığa bağlı otomatik hesaplama ile yönetebilmektedir. Termostat üzerinde bulundurduğu 2 adet 5 amperlik röle yardımı ile fan coil sisteminde bulunan ısıtma ve soğutma vanalarına çıkış verebilmektedir. Sahip olduğu bu özellikleri ile bir fan coil cihazını tek başına ön tanımlı senaryoları ile kullanıcı girdileri doğrultusunda kontrol edebilmektedir. Üzerinde bulundurduğu 1 adet pasif giriş yardımı ile harici sensör ile sıcaklık ölçümüne olanak sağlamasına ek olarak pencere kontağı veya varlık kontağı girişi imkânı da sunmaktadır. Kurulu sistemin ihtiyacı doğrultusunda özelliği seçilen bu giriş sayesinde ortamda cam açıldığında işletmeyi durdurma veya ortamda insan bulunduğunda işletmeyi çalıştırma gibi enerji verimliliğini önemli oranda artıracak senaryoların kontrolünü sağlayabilmektedir.

Termostat sahip olduğu BACnet MS/TP haberleşmesi aracılığı ile merkezi otomasyon sistemlerine bağlanabilmekte ve uzaktan kontrol imkânı sunmaktadır. Böylelikle kurulu büyük sistemlerde tek noktadan izleme ve kontrol yardımıyla hatalı kullanıcı verisi girdilerinin önüne geçerek enerji tüketimini minimalize edebilmektedir.

Termostat üzerinde bulunan dahili sensör, kart üzerinde ölçüm alınabilecek en uygun noktalardan biri olan sağ alt köşeye havalandırma kanalları önüne yerleştirilmiştir. Elektronik sıcaklığı izole etmek amacı ile ara plastikte buluna korumalar ile sensör etrafı çevrelenmiştir. Dahili sıcaklık sensörü olarak NTC10K termistör tercih edilmiştir. Komponent açık delik (through hole) tipinde seçilmiş ve baskılı devreden uzaklaştırılarak havalandırma kanalları aracılığıyla cihaz dışına yönlendirilmiştir. (Şekil 2-3)



Şekil 2-3 Termostat Mekanik Tasarım

3. YÖNTEM

Tez çalışması süresince sıcaklık ölçüm karakteristiğinin belirlenmesi ve geliştirme sonuçlarının gözlemlenebilmesi için bir test düzeneği kurulmuştur. Termostat içerisinde sıcaklık sensörü değerinin ölçümü amacı ile yapılan elektronik devre tasarımına bağlı matematiksel denklemler doğrultusunda geliştirilen yazılım ile sensör ölçümlerinin yapılması amaçlanmıştır.

3.1. Test Düzeneği

Oda termostatının sıcaklık ölçüm karakteristiğini analiz etmek amacı ile bir test düzeneği hazırlanmıştır. Test düzeneğinde aynı yazılım ve donanıma sahip 18 adet T3045 Fan Coil termostatı kullanılmıştır. Düzenek üzerinde olağan kullanım şartlarının sağlanabilmesi adına termostatlar duvar benzeri plakalara montajlanmıştır. Test düzeneği ofis ortamında direk güneş almayan ve ısı kaynaklarından uzak bir konumda hazırlanmıştır. Termostatlar minimum 50 santimetre ile maksimum 150 santimetre arasında kalacak şekilde eşit aralıklarla 3 sıraya yerleştirilmiştir (Şekil 3-1).

Ortam sıcaklığın ölçülmesi ve referans alınabilmesi için birinci ve ikinci sıra arasına bir adet, ikinci ve üçüncü sıra arasına bir adet olmak üzere iki adet sıcaklık probu test düzeneğine dahil edilmiştir. Referans sıcaklık ölçümünde kullanılan problar Testo markasının 480 model çok fonksiyonlu ölçüm cihazına bağlıdır. Test süresince Tesco EasyClimate masa üstü yazılımı yardımı ile ölçüm cihazından 15 saniyelik periyodlarda sıcaklık verisi bilgisayara alınarak kaydedilmiştir. Kullanılan ölçü aletinin ve probların akredite laboratuvar tarafından hazırlanmış test süresince geçerliği bulunan kalibrasyon sertifikaları bulunmaktadır (Ek-1, Ek-2).

Test düzeneğinde kullanılan T3045 Fan Coil termostatları BACnet MS/TP haberleşme protokolü ile bina yönetim sistemlerine bağlantı imkânı sunmaktadır. BACnet MS/TP haberleşmesi RS485 fiziksel katmanı üzerinde çalışmakta olan bir haberleşme protokolüdür. İklimlendirme cihazının önceden belirlenmiş konfigürasyon ve bilgilendirme noktalarına bu haberleşme aracılığı ile erişim sağlanabilmektedir. Test düzeneğinde termostatlar daisy chain (papatya zinciri) bağlantı ile birbirlerine bağlanmıştır. Hat başına yerleştirilen Disteck Controls

firmasına ait EC-BOSS 6AX üst otomasyon cihazı ve Niagara N4 masa üstü yazılımı ile test süresince cihazlardan periyodik olarak sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

Çalışma süresince yapılan tüm testlerde 15 saniye periyot ile 18 termostat ve 2 referans probundan olmak üzere 20 farklı noktadan sıcaklık değeri ölçümlenmiştir. Elde edilen bu veri Excel programı yardımı ile görselleştirilmiştir. Oluşturulan grafikler incelenerek algoritma geliştirilmesi sağlanmıştır.

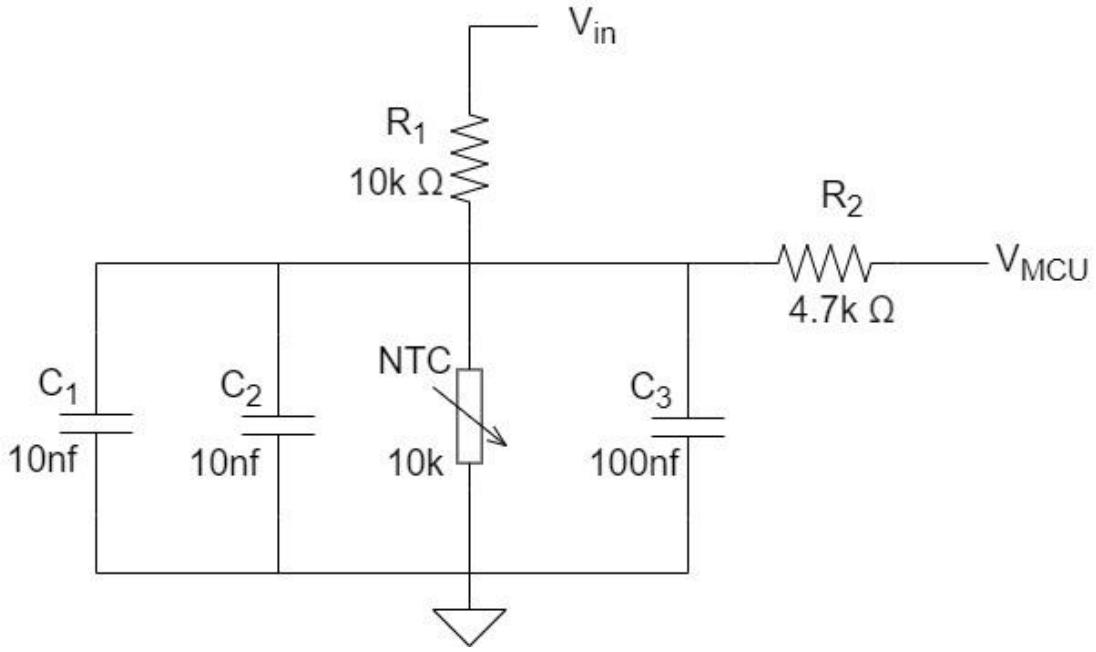


Şekil 3-1 Test Düzeneği

3.2. Termostat Sıcaklık Ölçüm Metodu

Testler süresince Smallart T3045.12 Fan Coil termostatı yazılımı referans olarak kullanılmıştır. Projenin haberleşme, fan coil yönetimi, ekran fonksiyonları gibi temel özelliklerinde herhangi bir değişiklik uygulanmamıştır. Geliştirilen algoritma yalnızca sıcaklık ölçüm fonksiyonu içerisinde değişiklik yapılarak uygulanmıştır. Termostat işlemcisinin sahip olduğu 12 Bir analog dijital çevirici (ADC) donanımı yardımı ile sensör verili alınarak geliştirilen algoritma yardımıyla işlenmiştir.

Termostat üzerinde bulunan sıcaklık ölçüm devresinde NTC tipi dahili sıcaklık sensörü kullanılmaktadır. 25°C'lik sıcaklık altında 10k ohm direnç değeri göstermekte olan NTC10k tipi sensör devre tasarımında tercih edilmiştir. NTC10k sensörünün bir ucu 10k ohm (Şekil 3-2 – R_1) direnç ile işlemci gerilimine bağlanırken, bir diğer ucu referansa bağlanarak bir gerilim bölücü devre oluşturulmuştur. NTC girişinde oluşabilecek gürültüleri sönümlemek için devre tasarımında kapasiteler yardımı ile RC filtre yapısı kurulmuştur. Devrede oluşabilecek anlık akım değişimlerinin işlemcide olumsuzluk oluşturmaması için akım sınırla amacı ile seri 4,7k ohm (Şekil 3-2 – R_2) direnç devreye eklenmiştir.



Şekil 3-2 Sensör Ölçüm Devresi Tasarımı

$$V_{MCU} = V_{in} \frac{R_{NTC}}{R_1 + R_{NTC}} \quad (3\text{-}1)$$

$$\frac{V_{MCU}}{V_{in}} = \frac{R_{NTC}}{R_1 + R_{NTC}} \quad (3\text{-}2)$$

$$V_{MCU} * (R_1 + R_{NTC}) = R_{NTC} * V_{in} \quad (3\text{-}3)$$

$$V_{MCU} * R_1 + V_{MCU} * R_{NTC} = R_{NTC} * V_{in} \quad (3\text{-}4)$$

$$(V_{in} - V_{MCU}) * R_{NTC} = V_{MCU} * R_1 \quad (3\text{-}5)$$

$$R_{NTC} = \frac{V_{MCU} * R_1}{V_{in} - V_{MCU}} \quad (3\text{-}6)$$

Yapılan devre tasarımı üzerinde gerilim bölücü denklemi kurulmuştur. Denklem (3-1)'de NTC üzerinde oluşan direncin değeri R_{NTC} yalnız bırakılarak direnç üzerinden elde edilen gerilim değerine bağlı denklem (3-6) elde edilmiştir. NTC üzerinde oluşan gerilim işlemci üzerinde bulunan 12 Bit ADC çevre birimi yardımı ile ölçümlenmektedir. Gerilime bağlı direnç değerinin elde edildiği denklem (3-6) algoritmaya eklenecektir. ADC kanalından ölçümlenen gerilim değeri denklemde yerine konularak NTC sensörün aktif direnç değeri işlemci içerisinde hesaplanmaktadır. Elde edilen direnç değeri Steinhart–Hart denkleminin (3-7) beta (β) parametresi ile sadeleştirilmiş versiyonunda yerine konularak anlık sıcaklık değeri hesaplanmaktadır.

$$R_{NTC} = R_0 * e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (3\text{-}7)$$

$$R_{NTC} * R_0 = e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (3\text{-}8)$$

$$\ln(R_{NTC} * R_0) = \beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) \quad (3\text{-}9)$$

$$\frac{\ln(R_{NTC} * R_0)}{\beta} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \quad (3\text{-}10)$$

$$\frac{\ln(R_{NTC}*R_0)}{\beta} + \frac{1}{T_0} = \frac{1}{T} \tag{3-11}$$

$$T = \frac{1}{\frac{\ln(R_{NTC}*R_0)}{\beta} + \frac{1}{T_0}} \tag{3-12}$$

Bir termistörün beta değeri, cihazın direnci ile sıcaklık arasındaki ilişikliyi temsil etmektedir. Beta değeri termistörün dirence bağlı sıcaklık eğrisinin şeklini belirtmektedir. Termistör sıcaklığını hesaplanırken kullanılır. Beta değeri termistör üreticileri tarafından farklı sıcaklıklar altında belirli toleranslar ile hesaplanır ve ürün kataloğunda sunulur. Proje kapsamında testlerde kullanılacak olan termostatlarda "MF51-C 103 F 3950" parça kodlu termistör kullanılmaktadır. Üretici kataloğu doğrultusunda ürün kodu içeriğinde beta değeri 3950 olarak gösterilmektedir. Tez kapsamında geliştirilecek olan algoritmada, Steinhart–Hart denkleminde anlık sıcaklık değeri yalnız bırakılarak elde edilen denklemde (3-12) bu değer yerine konularak hesaplama yapılacaktır.

4. BULGULAR

Oluşturulan test düzeneği üzerinde çeşitli testler uygulanarak raporlanmıştır. Testler kapsamında elde edilen veriler ışığında algoritma iyileştirmeleri yapılarak ölçüm karakteristiğinin artırılması amaçlanmıştır. Her test sonucu iyileştirilen algoritma üzerinde testler tekrarlanarak hedef aralığa ulaşılıncaya kadar geliştirme süreci devam ettirilmiştir.

4.1. Test 1 Sensör Analog Ölçüm

Tez kapsamında gerçekleştirilen ilk test çalışmasında sistem karakteristiğinin ve bu doğrultuda oluşturulacak algoritmanın belirlenebilmesi için elektronik devre doğrultusunda belirlenen matematiksel ifadeler yazılıma aktarılarak sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

4.1.1. Algoritma

Mevcut termostat yazılımında bulunan sıcaklık ölçüm algoritması geliştirilmek üzere kaldırılmış ve yerine yeni algoritma yazılmaya başlanmıştır. Gerilim bölücü denkleminden (3-1) elde edilen sadeleşmiş direnç hesaplama denklemi (3-6) yazılıma uyarlanmıştır. Formülde yer alan V_{in} değeri işlemci çalışma gerilimi olan 3.3V ile eş değerdir. Bu gerilim değeri işlemci içerisinde 12 bit ADC hesaplamasının maksimum değeri olan 4096 ile eşleşir [17]. Sensör üzerinden ölçülen analog V_{MCU} değeri, işlemcinin analog dijital çevirici (Analog Digital Converter – ADC) kanalının çözünürlük aralığı olan 0-4096 (12 Bit) dijital değere çevrilir ve algoritma ile işlenir.

Kullanılan termostat yazılımı C programlama dili ile geliştirilmiştir. Tez kapsamında tasarlanacak algoritma da C programla dili kullanılarak geliştirilecektir. Kullanılan işlemcinin ADC kanalı üzerinden analog gerilim ölçümü işlemci üretici firmanın sağladığı kütüphaneler aracılığı ile sağlanmaktadır. Elde edilen dijital veri ilk test kapsamında herhangi bir ek işlem uygulanmaksızın Steinhart–Hart denkleminin sıcaklık değeri yalnız bırakılmış halinde (3-12) yerine konulmuştur.

```
int16_t TemperatureRegs;


if(ADCxConvertedVal >= 4096) {
      ADCxConvertedVal = 4090;
}


float Resistor = (10000.0 * ADCxConvertedVal) / (4096.0 - ADCxConvertedVal);
float Temperature = ( 1. / ( ( log( Resistor / 10000.0 ) / 3950.0 ) + ( 1. /
(273.15 + 25.000 ) ) ) ) - 273.15;


TemperatureRegs = ((int16_t) (Temperature * 10) );

return TemperatureRegs;
```

Geliştirilen algoritmada işlemci tarafından ölçülen gerilim değeri denklemde (3-6) yerine konularak ohm cinsinde sensör direnç değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan direnç değeri ve üretici tarafından sağlanan beta değeri denklemde (3-12) yerlerine konularak Kelvin cinsinden sıcaklık elde edilmiş ve Selsiyusa çevrilmiştir. Elde edilen virgüllü sıcaklık değerinin termostat yazılımında kullanılmak üzere virgülden sonraki birinci hanesi alınarak sisteme yönlendirilmesi sağlanmıştır.

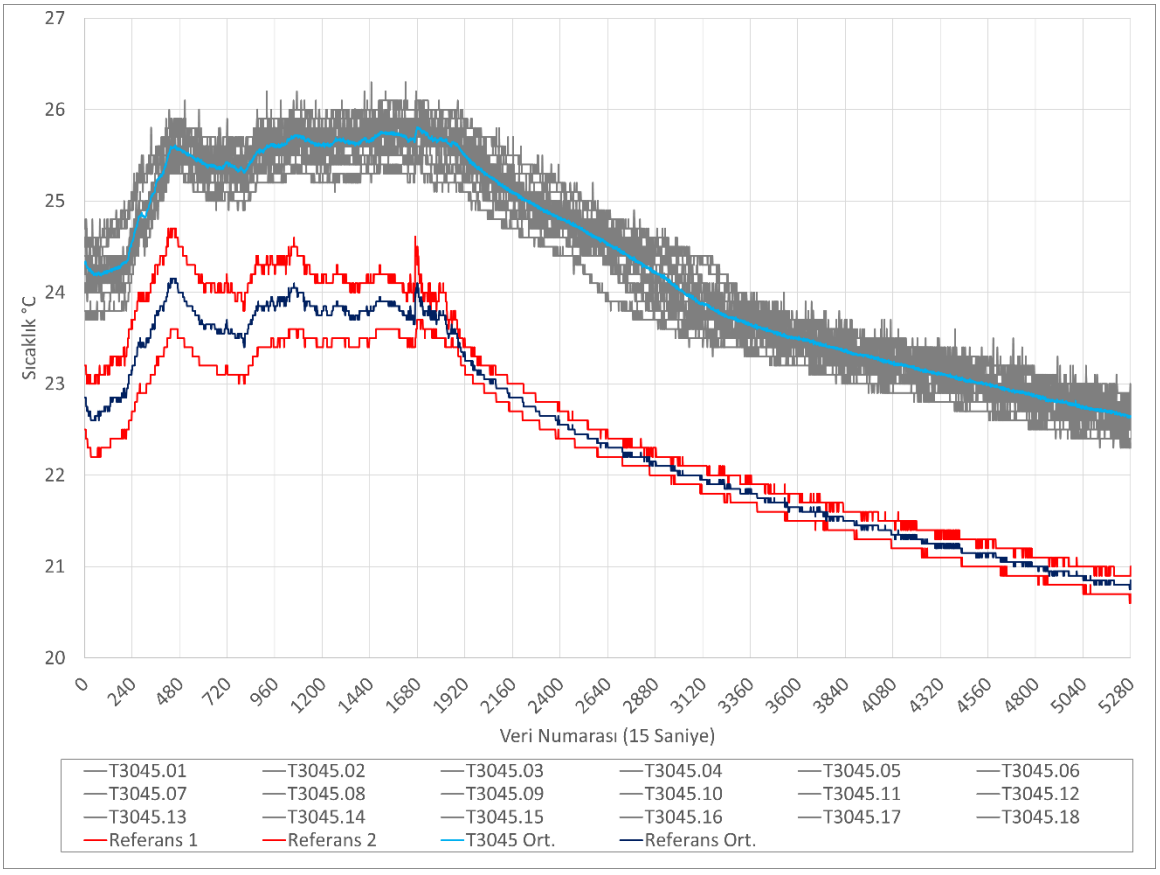
Algoritma çıktısında elde edilen bu sıcaklık değeri termostat algoritması içerisinde ısıtma soğutma modlarının kontrolünde kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu değer termostat ekranı veya haberleşme hattı üzerinden erişim sağlanmaktadır. Test kapsamında termostatın sahip olduğu BACnet haberleşme hattı üzerinden sensör değerleri periyodik olarak okunmuş ve kayda alınmıştır.

4.1.2. Sensör Analog Ölçüm Testi Çıktıları

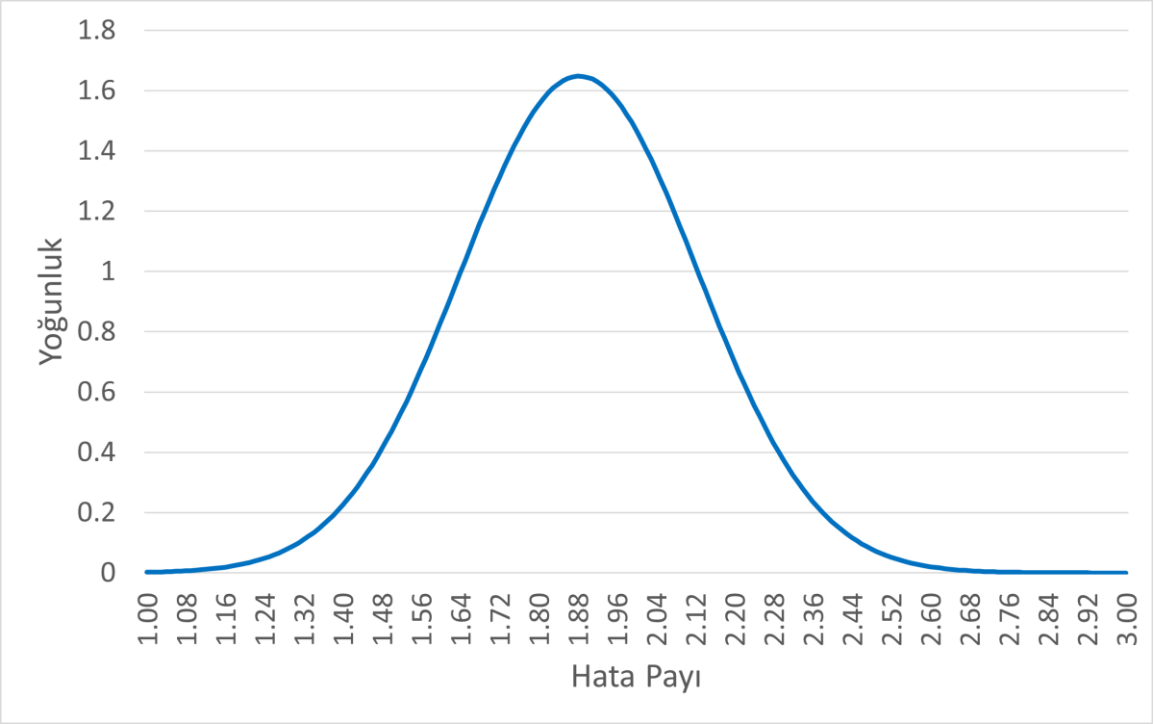
Tamamlanan test sürecinde, 22 saat boyunca 18 termostat ve 2 referans noktasından 15 saniye periyotla 5280 veri kayda alınmıştır. Temin edilen bu veri Microsoft Excel programı üzerinde işlenmiş ve görselleştirilmiştir. Grafik 1'de test kapsamında toplanan veri gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, lacivert çizgi referans sensör sıcaklıklarının ortalamasını, gri çizgiler kayda alının 18 termostat noktasının verilerini ve mavi çizgi ise termostatlardan elde edilen ölçümlerin ortalamasını göstermektedir.

Grafikte referans sensörler üzerinde oluşan sıcaklık değişimleri gün içerisinde ofis ortamının ısıtılması ve havalandırması esnasında oluşmaktadır. Test sabah saat 9:45 itibari ile başlamış ve ertesi gün sabah 7:45 itibari ile sonlandırılmıştır. Testin 7'nci saati sonunda alınan 1680'inci örnek itibariyle mesai saatinin tamamlanması ve ısıtma sisteminin kapatılması nedeni ile ortamın soğuma eğilimi gözlemlenmektedir.

Şekil 4-1 incelendiğinde, termostatlar üzerinden elde edilen sıcaklık verilerinin referans sensöre paralel ilerlediği fakat belirgin bir hata payına sahip olduğu görülmektedir. Test sonucu ortaya konulan bu hata payı sabit ölçüm hatası olarak isimlendirilebilir. Sabit ölçüm hatası; kullanılan elektronik devrede oluşan kayıplar ile ölçülen analog değerin sıcaklık değerine çevrilirken uygulanan matematiksel denklemde oluşan kayıpların, duvar etkisi nedeni ile oluşan hatalar ve termostat tasarımının normal çalışmasında sebep olduğu sapmaların toplamı olarak ifade edilebilir.

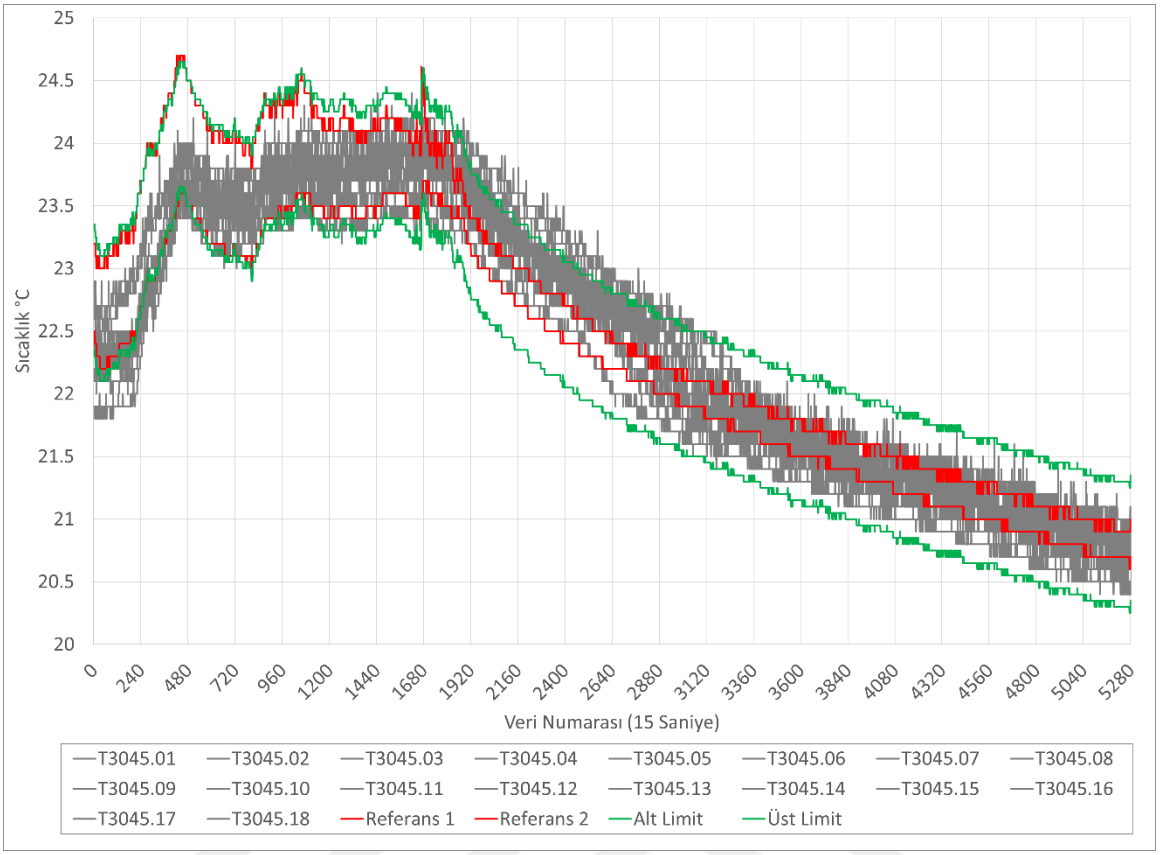


Şekil 4-1 Sensör Analog Ölçüm Testi Kapsamında Toplanan Veri Grafiği



Şekil 4-2 Termostat Ölçümleri ile Referans Ölçümler Arasındaki Hata Dağılımı

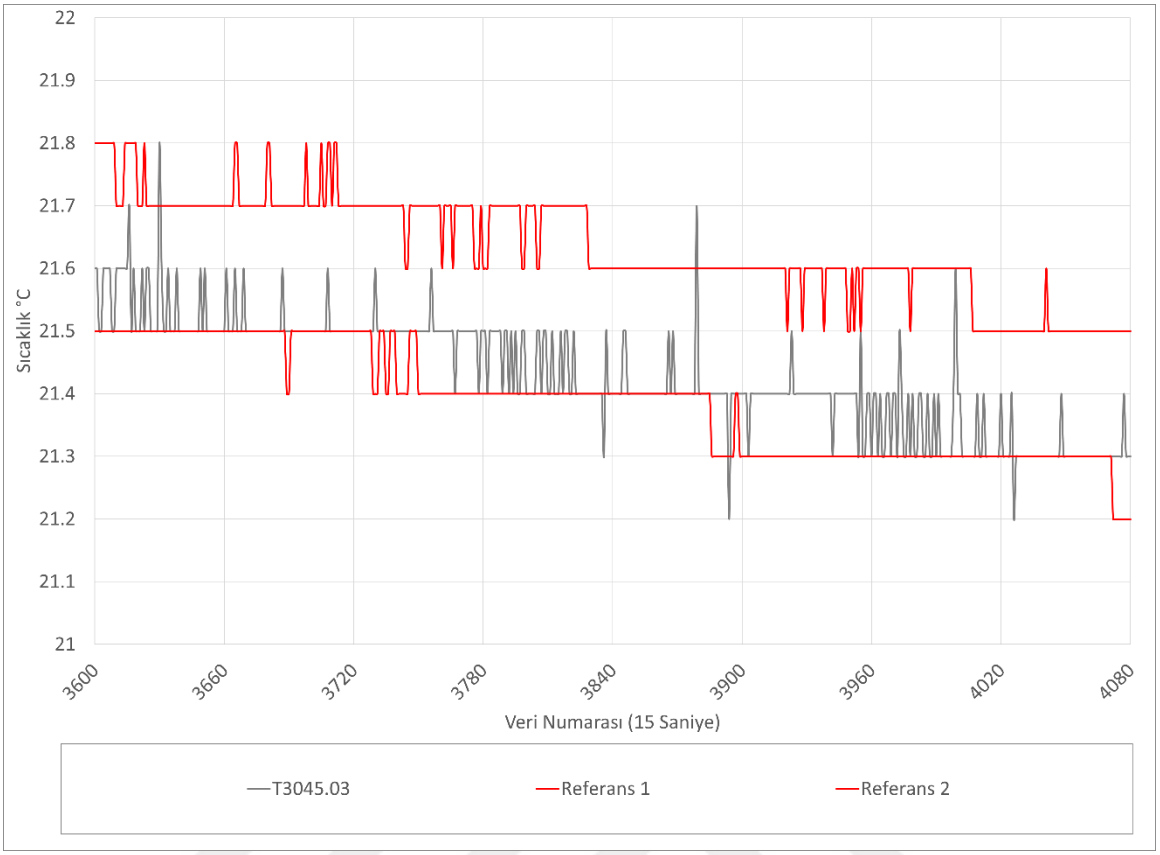
Test sonuçlarında gözlenen bu sabit hatanın hesaplanması ve algoritma yardımı ile giderilmesi için termostatlardan ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalaması ile referans sensörlerden ölçülen sıcaklık değerlerinin ortalamaları arasındaki hatanın normal dağılım eğrisi çıkarılmıştır. Şekil 4-2'deki grafik incelendiğinde eğrinin ortalama hatada yoğunlaşan bir sivri dağılım oluşturduğu görülmektedir. Bu kapsamda hata eğrisinin normal dağılım gösterdiği söylenebilir. Elde edilen bu veriler ışığında sabit ölçüm hatasının 1,9 °C olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 4-3 Sabit Ölçüm Hatası Düşülerek İyileştirilmiş Ölçüm Verileri

Hesaplanan sabit ölçüm hatası test kapsamında elde edilen veriden düşülerek grafik yeniden çizilmiştir (Şekil 4-3). Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, yeşil çizgiler iki referansın ortalamasının +-0,5 °C sınırlaması ile hesaplanan hedef alt-üst limiti ve gri çizgiler kayda alının 18 termostat noktasının verilerini göstermektedir.

Sabit ölçüm hatasının giderilmesi ile elde edilen yeni grafik incelendiğinde sensör ölçümlerinin çoğunlukla referans ölçümlere yakın ve hedeflenen sınırlar içerisinde olduğu fakat zaman zaman sınırların dışına da çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte referans noktalarına kıyasla termostat sensörlerinin sıcaklık ölçümlerinde anlık sıcaklık değişimlerin daha sık yaşandığı tespit edilmiştir (Şekil 4-4). ADC ölçümlerinde gürültü oluşmasının çeşitli sebepleri bulunmaktadır. Tasarlanan devre üzerinde oluşan gürültü sinyal ölçümünü etkileyebileceği gibi, ölçüm yapılan ADC kanalının çözünürlüğü de gürültünün dijital sinyal üzerinde gözlemlenmesini etkiler.



Şekil 4-4 Sensör Analog Ölçüm Testi Bir Noktanın 2 Saatlik Ölçüm Grafiği.

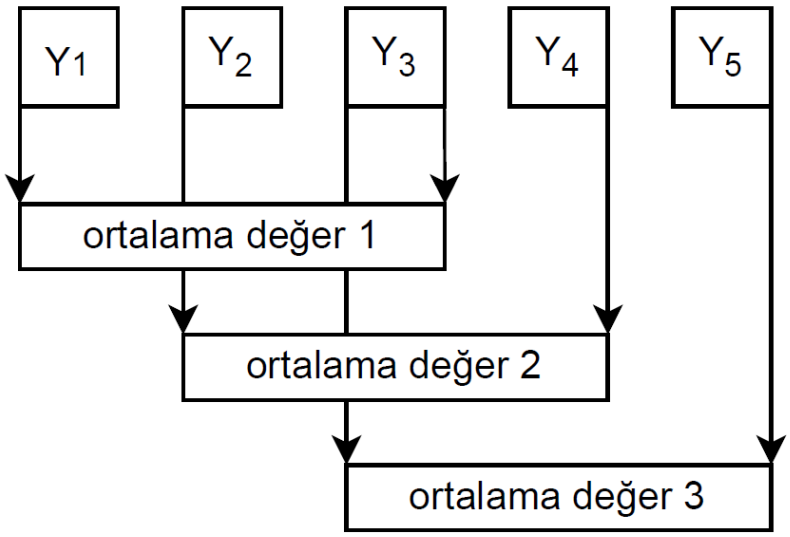
Sinyaldeki gürültü ve ölçüm çözünürlüğüne ek olarak yapılmakta olan hesaplamalarda oluşan kayıplar da Şekil 4-4'de gözlemlenen dalgalanmaların oluşmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu referans sensörlerde 0,1 °C'lik değişim çevresinde kısa süre gözlemlendiği ve sıcaklığın sabit kaldığı süreçlerde tekrarlanmadı görülmektedir. Fakat termostatlardan alınan ölçümlerde sabit sıcaklık esnasında dahi +-0,3°C sıçramalar tespit edilmiştir. Bu durumun ölçüm kararlığını etkileyecek olması nedeniyle algoritmanın anlık değişimleri azaltacak ve sabit ölçüm hatasının giderilmesini sağlayacak şekilde geliştirilmesi ardından testin tekrarlanmasına karar verilmiştir.

4.2. Test 2 Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi

Test 1 bulguları doğrultusunda yazılım algoritmasının anlık salınımları engelleyecek şekilde değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda algoritmaya birçok uygulamada gürültü giderme amacı ile kullanılan hareketli ortalama filtresi (MAF) eklenmesine karar verilmiştir.

4.2.1. Algoritma

MAF'daki genel fikir, belirli bir veri serisinde sabit bir örneklem genişliğinde ortalama alınarak gerçek değerin elde edilmesidir. Veri serisine yeni değer eklendiğinde en eski değer eksiltilerek örneklem genişliği daima sabit tutulur (Şekil 4-5). MAF genellikle zamana bağlı veri serilerinde kısa zamanlı değişiklikleri yumuşatmak ve uzun zamanlı değişiklikleri ortaya çıkarmak için kullanılır [18].



Şekil 4-5 MAF Çalışma Prensibi.

MAF yapısını matematiksel olarak ele aldığımızda y okunan değerler kümesi m filtrenin örneklem genişliği ve x hesaplanan değer olmak üzere aşağıdaki denklem (4-1) yazılabilir.

$$x_n = \frac{1}{m}\sum_{k=o}^{m-1} y[n-k] \tag{4-1}$$

Matematiksel ifadenin yazılım algoritmasına uygulanmasında ADC kanalı üzerinden ölçümlenen gerilim değerleri bir dizi üzerinde toplanmıştır. Dizinin ilk değeri daima güncel ölçüm değerini tutması kaydı ile ilk giren ilk çıkar (FIFO) metodu kullanılarak değer güncellemesi yapılmıştır. Böylelikle belirlenen örneklem genişliği kadar değerin hafızada tutulması, fazlasının saklanmaması sağlanmıştır.

```
int16_t TemperatureRegs
uint32_t Sum = 0;
float Average = 0;
float DefaultError = 1.9;

for(uint8_t i = NUM_OF_BUFFER - 1; i > 0; i--) {
    FilterBuffer[i] = FilterBuffer[i - 1];
    Sum += FilterBuffer[i];
}

FilterBuffer[0] = ADCxConvertedVal;
Sum += FilterBuffer[ADCxParams.ConvertChannel][0];

Average = (float)Sum / NUM_OF_BUFFER;

if (Avg >= 4096) {
    Avg = 4090;
}

float Resistor = (10000.0 * Avg) / (4096.0 - Avg);
float Temperature = ( 1. / ( ( log( Resistor / 10000.0 ) / 3950.0 ) + ( 1. /
(273.15 + 25.000 ) ) ) ) - 273.15;

TemperatureRegs = ((int16_t) ( (Temperature - DefaultError) * 10) );

return TemperatureRegs;
```

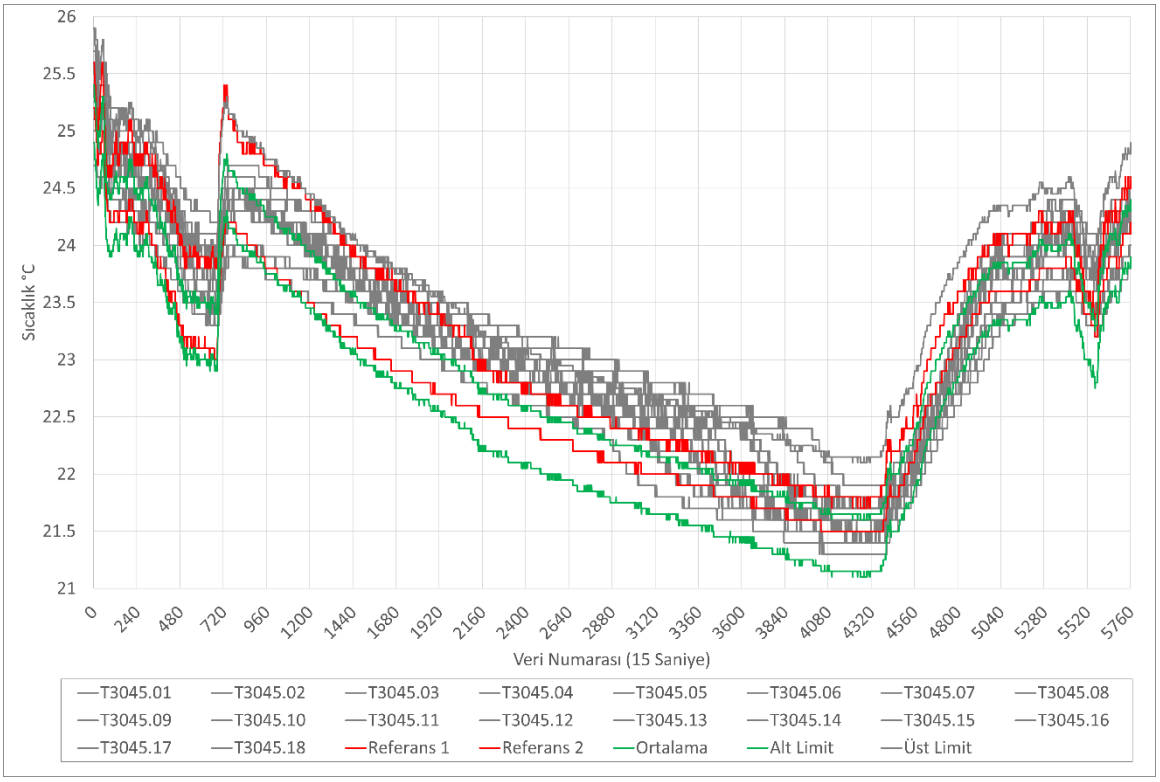
Geliştirilen algoritma ile her 100 milisaniyede bir ADC değeri kayda alınmakta ve son kayda alınan 30 değer için MAF uygulanarak sıcaklık hesaplaması yapılmaktadır. Yapılan bu çalışma ile ADC değerlerindeki anlık dalgalanmalar sönümlenmiştir. Hesaplamaların tamamlanması sonucu elde edilen sıcaklık değerinden sabit ölçüm hatası düşülerek termostat üzerinde doğruluk artırılmıştır. Tasarlanan algoritma Şekil 3-1'de hazırlanan test düzeneğinde değişiklik yapılmaksızın uygulanarak çalışma kayıt altına alınmıştır.

4.2.2. Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi Testi Çıktıları

Tamamlanan test sürecinde, 24 saat boyunca 18 termostat ve 2 referans noktasından 15 saniye periyotla 5760 veri kayda alınmıştır. Temin edilen bu veri Microsoft Excel programı üzerinde işlenmiş ve görselleştirilmiştir. Şekil 4-6'de test kapsamında toplanan veri gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, yeşil çizgiler iki referansın ortalamasının +-0,5 °C sınırlaması ile hesaplanan hedef alt-üst limiti ve gri çizgiler kayda alının 18 termostat noktasının verilerini göstermektedir.

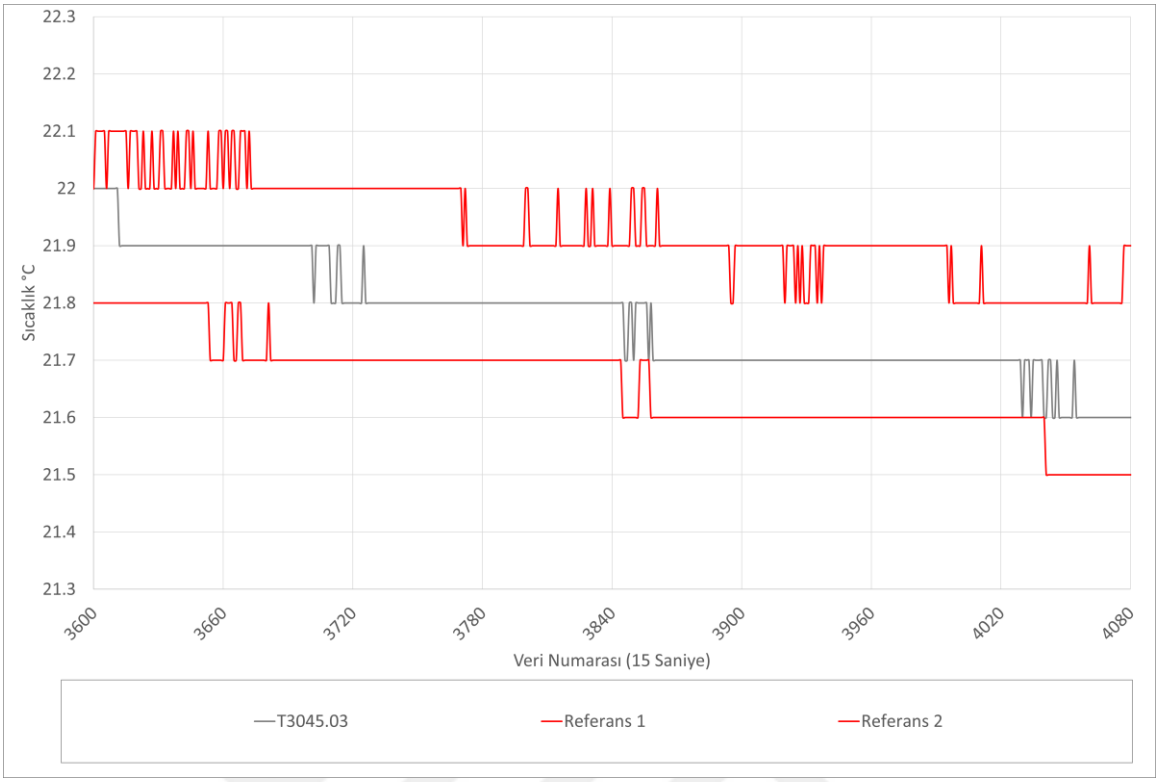
Grafikte oluşan sıcaklık değişimleri gün içerisinde ofis ortamının ısıtılması ve havalandırması esnasında oluşmaktadır. Test saat 14:30 itibari ile başlamış ve ertesi gün aynı saatte sonlandırılmıştır. Testin ilk 3 saatinde havalandırma amaçlı camların açık olması nedeniyle ortamın zamanla soğudu gözlemlenmektedir. Mesai bitimi ile birlikte havalandırma amaçlı açılan camların kapatılması fakat ısıtma sisteminin bir süre daha aktif kalması nedeni ile

720’nci örnek çevresinde kısa süreli bir ısınma gözlenmiştir. Akabinde ısıtma sisteminin de kapanmasını takiben ortam gece boyunca soğuma eğilimi göstermiştir. Sabah saatlerinde ısıtma sisteminin tekrar devreye girmesi ile ortam sıcaklığının yükselişe geçtiği görülmektedir.



Şekil 4-6 Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi Testi Kapsamında Toplanan Veri Grafiği.

Test 2 sonucunda elde edilen Şekil 4-6 ve Şekil 4-7 incelendiğinde sensör ölçümlerindeki yoğun salınımın azaldığı gözlemlenmektedir. İlk test esnasında tespit edilen maksimum 0,3 °C’lik salınımların bu algoritma ile daraldığı görülmektedir.



Şekil 4-7 Yazılımsal Filtre ile Sensör Ölçümünün İyileştirilmesi Testi Bir Noktanın 2 Saatlik Ölçüm Grafiği.

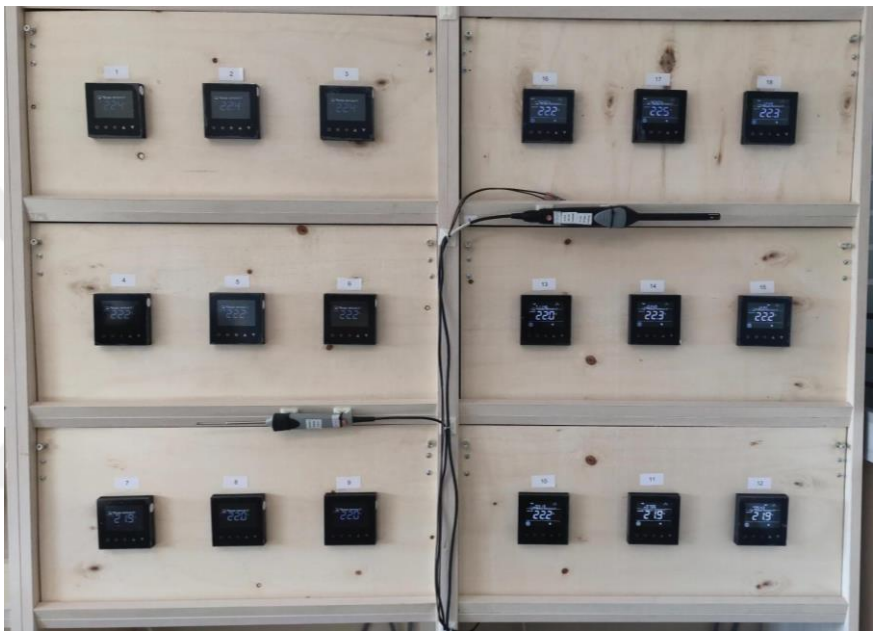
Test 2 kapsamında yapılan çalışmanın gürültü üzerinde bir sönümleme oluşturmuş olmasına rağmen yapılan ölçümlerin zaman zaman planlanan alt üst limit aralığının dışına çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumun kök nedeninin tespit edilebilmesi amacı ile farklı testler gerçekleştirilmesi planlanmıştır. İlk olarak termostat yazılımlarında bulunan "ON" – "OFF" durumlarına bağlı olarak değişen giriş çıkış durumlarının sıcaklık ölçümüne bir etkisi olup olmadığı belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda test düzeneğine bağlı 18 termostatın ilk 9 adedi yazılımsal olarak OFF konuma alınarak test tekrarlanmıştır.

4.3. Test 3 Termostat ON – OFF Durumunun Sensör Ölçümüne Etkisi

Termostatın farklı çalışma durumlarının sensör ölçümüne etkisinin tespiti amacı ile yeni bir test gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Algoritma

Test kapsamında herhangi bir yazılımsal algoritma eklemesi yapılmamıştır. Termostatların "ON" – "OFF" durumlarına bağlı ölçüm değişimlerinin tespiti için test düzeneğinde değişikliğe gidilmiştir. Test düzeneğine bağlı ilk 9 termostat "OFF" konumuna alınmıştır (Şekil 5).



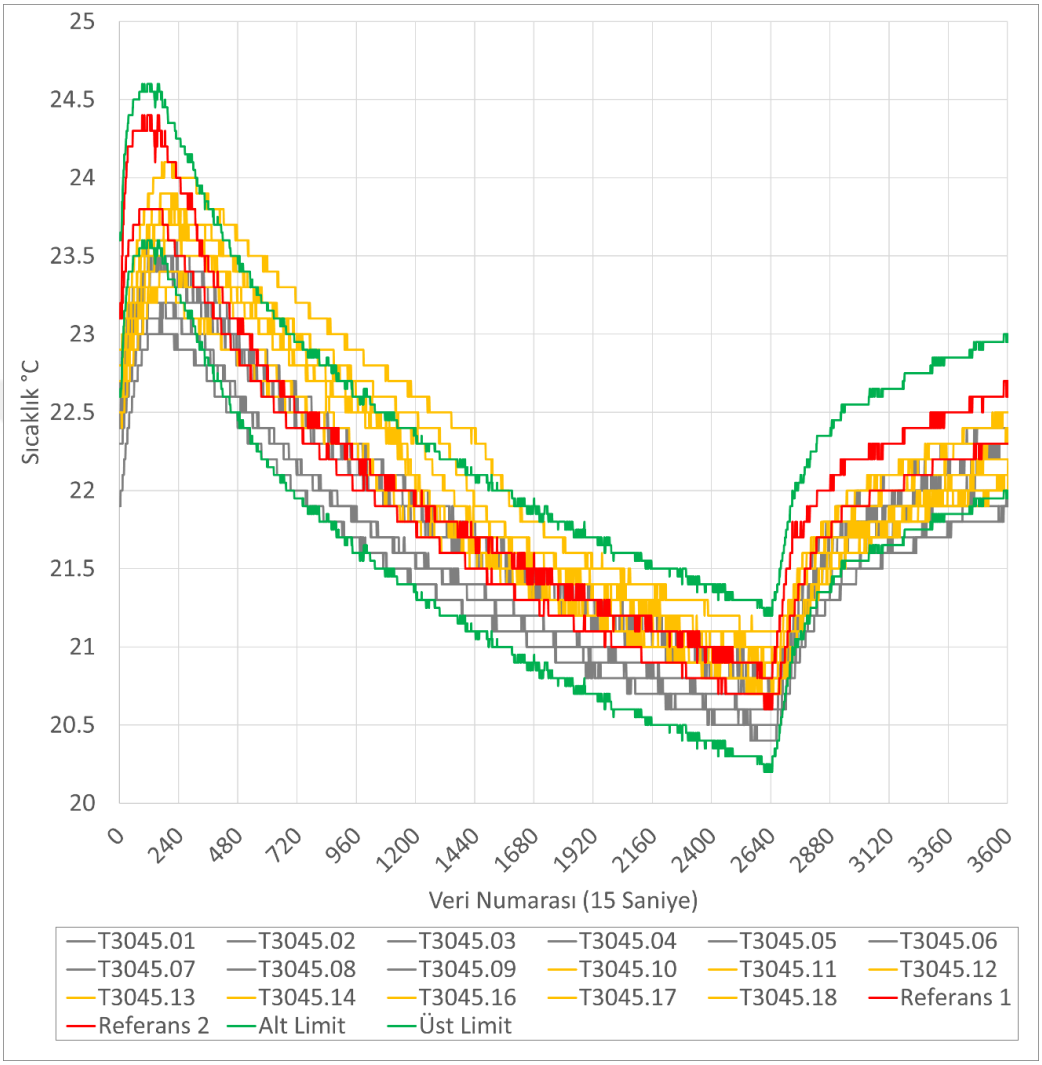
Şekil 4-8 Test 3 Düzeneği ON-OFF Termostat Durumları.

4.3.2. Termostat ON – OFF Durumunun Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Çıktıları

Tamamlanan test sürecinde, 15 saat boyunca 17 termostat ve 2 referans noktasından 15 saniye periyotla 3600 veri kayda alınmıştır. 15 numaralı termostattan yaşanan haberleşme problemi nedeni ile bu test kapsamında veri temini sağlanamamıştır. Temin edilen veri Microsoft Excel programı üzerinde işlenmiş ve görselleştirilmiştir. Şekil 4-9'da test kapsamında toplanan veri gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, yeşil çizgiler iki referansın ortalamasının +-0,5 °C sınırlaması ile hesaplanan hedef alt-üst limiti göstermektedir. Turuncu çizgiler ON konumundaki 8 termostattan ve gri çizgiler OFF konumdaki 9 termostattan kayda alının verilerini göstermektedir.

Grafikte oluşan sıcaklık değişimleri gün içerisinde ofis ortamının ısıtılması ve havalandırması esnasında oluşmaktadır. Teste saat 16:55 itibari ile başlanmış ve ertesi gün 8:00 itibariyle

sonlandırılmıştır. Test başlangıcından kısa süre sonra mesainin tamamlanması ile ısıtma sisteminin kapanması nedeniyle ortam gece soğumasına başlamıştır. Sabah ısıtma sisteminin tekrar devreye girmesi nedeniyle ortam sıcaklığının ani artış gösterdiği gözlemlenmektedir.



Şekil 4-9 Termostat ON – OFF Durumunun Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Kapsamında Toplanan Veri.

Tamamlanan test sonuçları incelendiğinde (Şekil 4-9) yük bağlı olmaksızın teste alınan termostatların "ON" – "OFF" durumunun sıcaklık ölçümlerinde belirli bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Test sonuçları önceki gerçekleştirilen iki test ile benzerlik göstermektedir. Aralık dışı ölçümün kök neden tespiti için cihazların bir kısmı yük altına alınarak ölçümlerin tekrarlanmasına karar verilmiştir. Bu doğrultudan "ON" pozisyonda çalışmasını sürdüren son 9 termostatın role çıkışlarına 220V 0,8A'lik yük bağlantısı yapılmıştır. Yapılan bu ekleme ile test tekrarlanmıştır.

4.4. Test 4 Yük Bağlantısının Sensör Ölçümüne Etkisi

Termostatın yük altında çalışma durumunun sensör ölçümüne etkisinin tespiti amacı ile yeni bir test gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. Algoritma

Test kapsamında herhangi bir yazılımsal algoritma eklemesi yapılmamıştır. Termostatların "ON" – "OFF" durumlarına ek olarak yük bağlantısının yapılmış olmasının sıcaklık ölçümüne etkisi hesaplanması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda test düzeneğine bağlı son 9 termostat "ON" konumunda iken 220V 0,8A yük bağlantısı yapılmıştır. (Şekil 4-10). Test sırasında tüketilen enerjinin azaltılması ve termostatlar üzerine eşdeğer yük uygulanmasının garanti edilmesi adına yük kablosu termostatlar arasında seri olarak bağlanmıştır. Termostatlar üzerinde çıkış olarak kullanılan rölelerin kontak dirençleri çok düşük seviyelerde olması yapılan bağlantının sistemin olağan çalışmasından farkı bulunmadığı kabul edilmiştir.

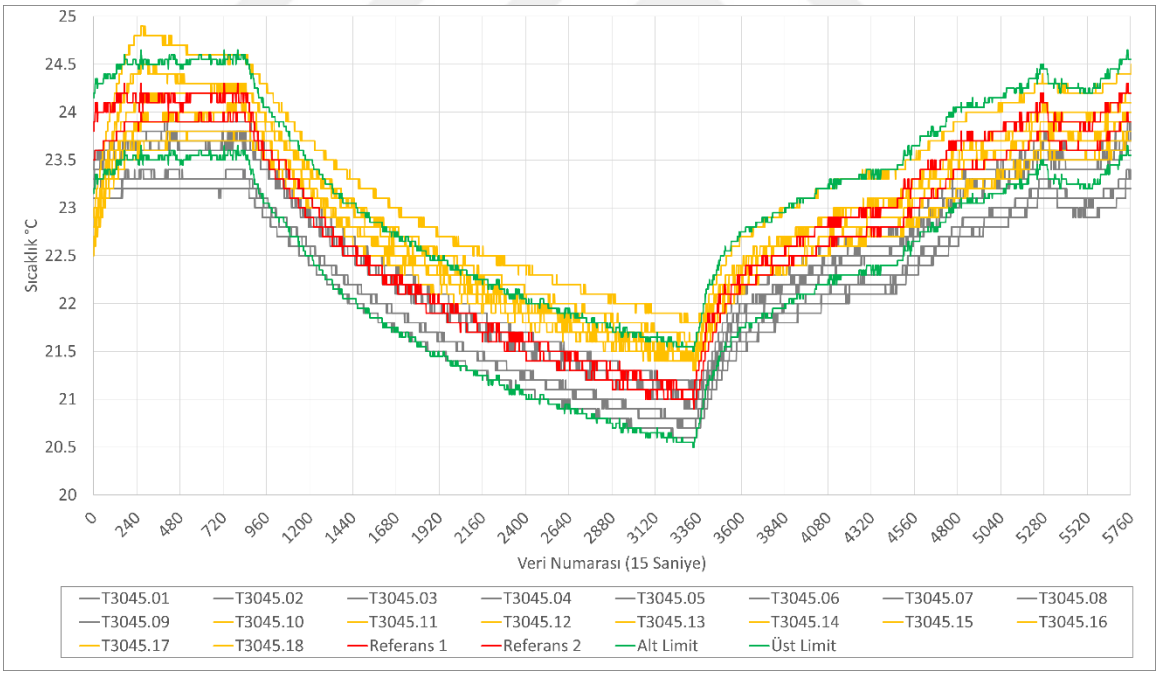


Şekil 4-10 Test 4 Düzeneğinde Yük Altında Termostatlar.

4.4.2. Yük Bağlantısının Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Çıktıları

Tamamlanan test sürecinde, 24 saat boyunca 18 termostat ve 2 referans noktasından 15 saniye periyotla 5760 veri kayda alınmıştır. Temin edilen bu veri Microsoft Excel programı üzerinde işlenmiş ve görselleştirilmiştir. Şekil 4-11'da test kapsamında toplanan veri gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, yeşil çizgiler iki referansın ortalamasının +-0,5 °C sınırlaması ile hesaplanan hedef alt-üst limiti göstermektedir. Turuncu çizgiler OFF konumundaki 9 termostattan ve gri çizgiler ON konumda ve yük altındaki 9 termostattan kayda alının verilerini göstermektedir.

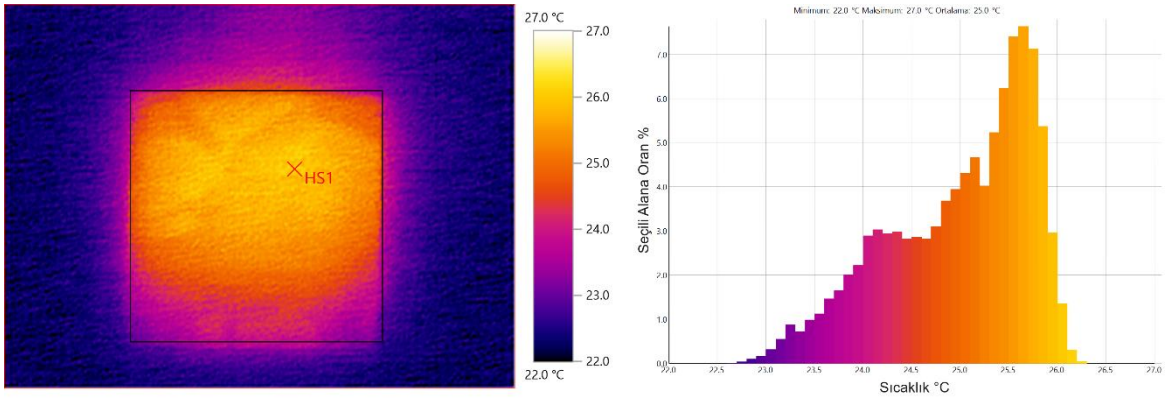
Grafikte oluşan sıcaklık değişimleri gün içerisinde ofis ortamının ısıtılması ve havalandırması esnasında oluşmaktadır. Test saat 14:00 itibari ile başlanmış ve ertesi gün aynı saatte sonlandırılmıştır. Grafikte ısıtma sisteminin kapanış ve açılış anlarında ani sıcaklık değişimleri gözlenmektedir.



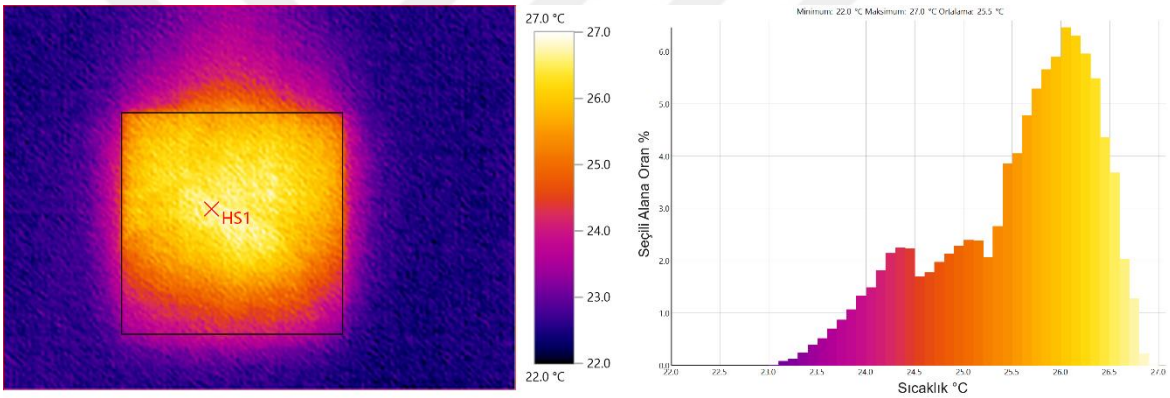
Şekil 4-11 Yük Bağlantısının Sensör Ölçümüne Etkisi Testi Kapsamında Toplanan Veri.

Test sonucu elde edilen veriler incelendiğinde termostatın normal çalışma şartlarından olan yük altında çalışma durumunda sıcaklık ölçümünün yukarı yönlü hareket ettiği tespit edilmiştir. Bu değişimin kaynağının tespit edilebilmesi için test esnasında kullanılan termostatlardan ikisi

termal olarak incelemeye alınmıştır. Test öncesi yapılan termal ölçümlerde eşdeğer sıcaklıkta bulunan termostatların, bir buçuk saatlik çalışma sonucundaki ısıl farklılığı incelenmiştir.



Şekil 4-12 Termostat 3 Test 4 Sonunda Isınma Grafiği.



Şekil 4-13 Termostat 6 Test 4 Sonunda Isınma Grafiği.

Termal grafik incelemesinde konumsal hatayı en aza indirgemek adına birbirine en yakın konumda olan Termostat 3 ve 16 kayda alınmıştır (Şekil 4-12 ve Şekil 4-13). Termostatların ısıl dağılımı incelendiğinde, yük altında çalışmakta olan 16 numaralı termostat yük takılı olmayan termostata kıyaslandığında maksimum sıcaklıkta 0,6 °C ve ortalama sıcaklıkta 0,5 °C fark oluşturduğu gözlemlenmiştir. Termostat yüzeyinde oluşan bu sıcaklık değişiminin sensör ölçümlerine etkisi Şekil 4-11'da açıkça gözükmektedir.

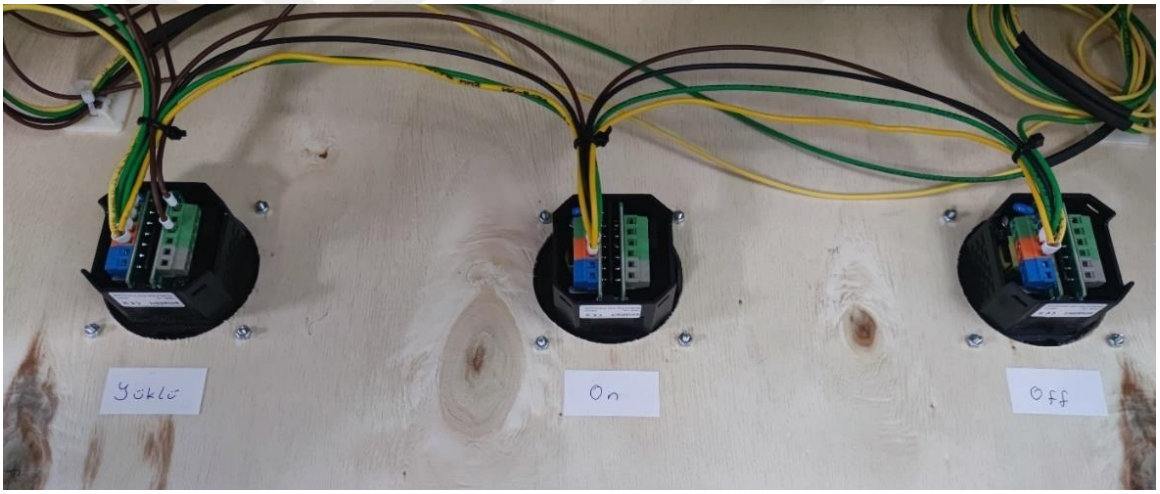
Termostatların ön panelinde yapılan termal ölçümler ile belirlenen sıcaklık farklılığının, termostat güç kutusunda bulunan komponentlerin çalışma süreçlerinde yaydıkları ısıdan kaynaklandığı öngörülmektedir. Bu kapsamda termostatın üç farklı durumda güç kutusu sıcaklık değişimlerinin ölçülmesi ve değişimin kayıt altına alınması için yeni bir test planlanmıştır.

4.5. Test 5 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri

Test 3 ve test 4 kapsamında tespit edilen farklılıkların kaynağının tespiti amacı ile termal ölçüme dayalı bir test planlanmıştır.

4.5.1. Algoritma

Test kapsamında herhangi bir yazılımsal algoritma eklemesi yapılmamıştır. Termostatların üç farklı durumunun gözlemlenmesi ve sıcaklık değişimine etkisinin hesaplanması amaçlanmıştır. Test düzeneğine aynı sırada bulunan son 3 termostat kullanılmıştır. İlk termostata 220V 2,2A'lık yük bağlantısı yapılmış ve "ON" konuma alınmıştır. Kalan iki termostata herhangi bir yük bağlantısı yapılmamış fakat ikinci termostat "ON" konuma, üçüncü termostat ise "OFF" konuma alınmıştır (Şekil 4-14). Termostatlar 1 saat süre ile çalıştırılmış ve her 15 dakikada bir termal görüntü alınarak ısı değişimi takip edilmiştir.



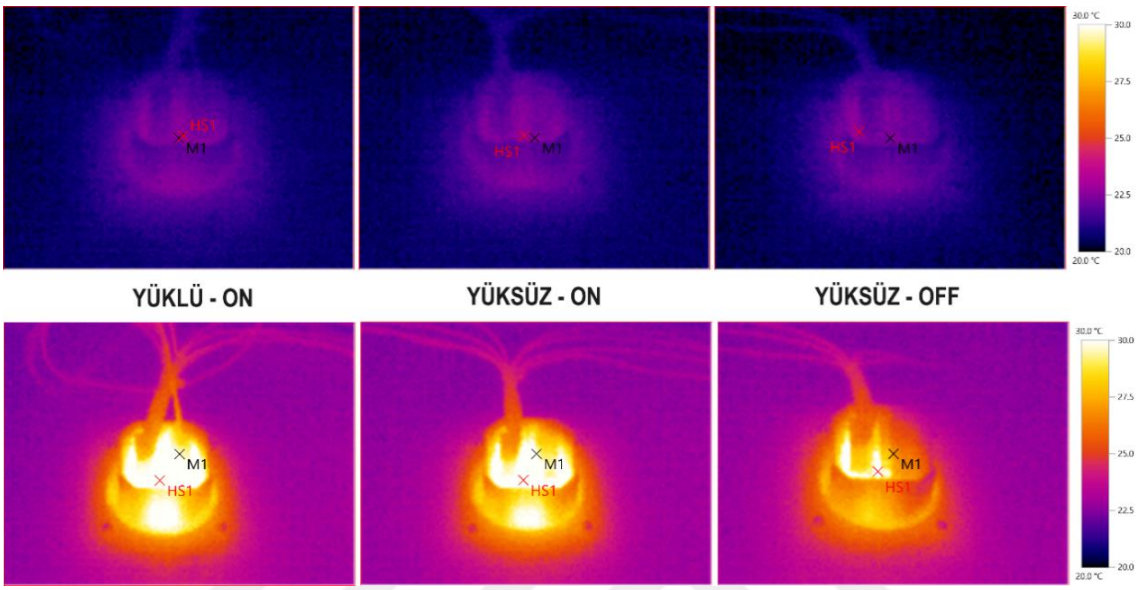
Şekil 4-14 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Düzeneğinde Termostat Bağlantıları.

Test boyunca ısınmanın yoğunlaştığı komponentlerin tespiti amacı ile güç kutusunun arka plastik kapağı bu test özel olarak açılmıştır.

4.5.2. Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Çıktıları

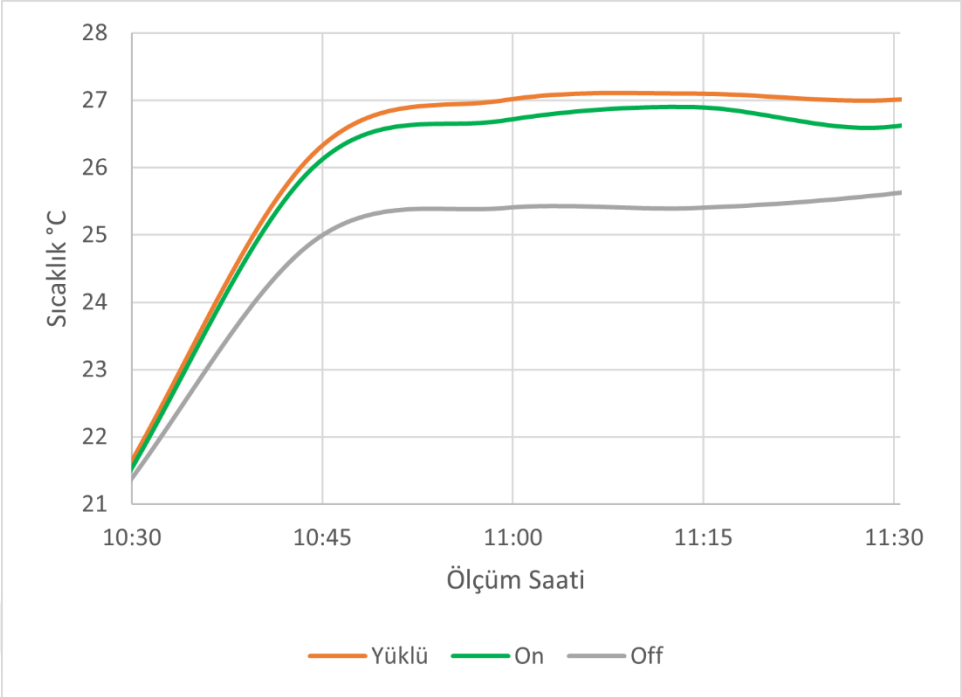
Tamamlanan test sürecinde, 1 saat boyunca 3 termostattan 15 dakika periyot ile 5 termal görüntü alınmıştır. Temin edilen termal görüntüler Testo IRSoft yazılımı yardımı ile incelenmiştir. Elde edilen görsellerde termostat güç kutusunun test başlangıcı ve bitişi arasında oluşan sıcaklık değişimi Şekil 4-15'de açıkça görülmektedir. Görseller incelendiğinde termostatın her üç durumunda da 220V regülatör devresinde bir miktar ısınma olduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra yük altında olmasına bağlı olmaksızın termostatın "ON"

pozisyonunda çıkış veren rölelerin ciddi oranda ısındığı ve güç kutusu bölgesine bu ısının yayıldığı görülmektedir. Testo IRSoft yazılımı üzerinden termal görüntüler işlenerek termostat güç kutularının ortalama sıcaklıkları hesaplanmış ve Excel programı yardımıyla görselleştirilmiştir.



Şekil 4-15 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Başlangıcı ve Bitişi Güç Kutusu Termal Görüntüleri.

Şekil 4-16'deki grafik incelendiğinde termostatlara ilk güç verilmesinin ardından geçen 15 dakika içerisinde belirgin ölçüde ısınma gerçekleştirdikleri, testin ilk yarım saatinin ardından belirgin sıcaklık değişimi olmadığı saptanmıştır. Maksimum sıcaklık seviyesine ulaşan termostatlar kıyaslandığında; "ON" konumda çalışmakta olan yüklü ve yüksüz termostatlar benzer bir eğri göstererek "OFF" konumdaki termostattan yaklaşık 1,5 °C daha çok ısınmıştır.



Şekil 4-16 Termostat Durumlarının Elektronik Isınmaya Etkileri Testi Kapsamında Toplanan Güç Kutusu Ortalama Sıcaklığı.

Güç kutusunda oluşan bu ısıl değişimin sensör ölçümüne etkisinin tespiti amacı ile test düzeneğinde değişiklikler yapılarak testin tekrarlanmasına karar verilmiştir.

4.6. Test 6 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri

Termal ölçümler ile ortaya konulan ısınma farklılıklarının sensör ölçümüne etkisinin tespit edilebilmesi amacı ile yeni bir test düzenlenmiştir.

4.6.1. Algoritma

Test kapsamında herhangi bir yazılımsal algoritma eklemesi yapılmamıştır. Termostatların "ON" – "OFF" durumu değişimi ile yük bağlantısı durumunun etkilerinin ölçülebileceği şekilde test düzeneği güncellenmiştir. Bu doğrultuda test düzeneğindeki her sıranın ilk termostatı olan 1, 4, 7, 10, 13 ve 16 numaralı termostatlara 220V 2,2A yük bağlantısı yapılmıştır. Test sırasında tüketilen enerjinin azaltılması ve termostatlar üzerine eşdeğer yük uygulanmasının garanti edilmesi adına yük kablosu termostatlar arasında seri olarak bağlanmıştır. Termostatlar üzerinde çıkış olarak kullanılan rölelerin kontak dirençleri çok düşük seviyelerde olması yapılan bağlantının sistemin olağan çalışmasından farkı bulunmadığı kabul edilmiştir

Test kapsamında düzenekteki her sıranın ilk iki termostatı olan yüklü 1, 4, 7, 10, 13 ve 16 numaralı termostatlar ile yüksüz 2, 5, 8, 11, 14 ve 17 numaralı termostatların "ON" – "OFF" durumları 2 saatlik periyotta değiştirilmiştir. Bu işlem için termostatlarda bulunan "StartStop" haberleşme noktası, sıcaklık ölçümlerinde kullanılan ve termostatlara haberleşme hattı üzerinden bağlı olan, Disteck Controls firmasına ait EC-BOSS 6AX üst otomasyon cihazı yardımı ile güncellenmiştir. Test düzeneğindeki her sıranın sonunda bulunan 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 numaralı termostatlar test süresince "OFF" konumda tutularak ölçüme alınmıştır.

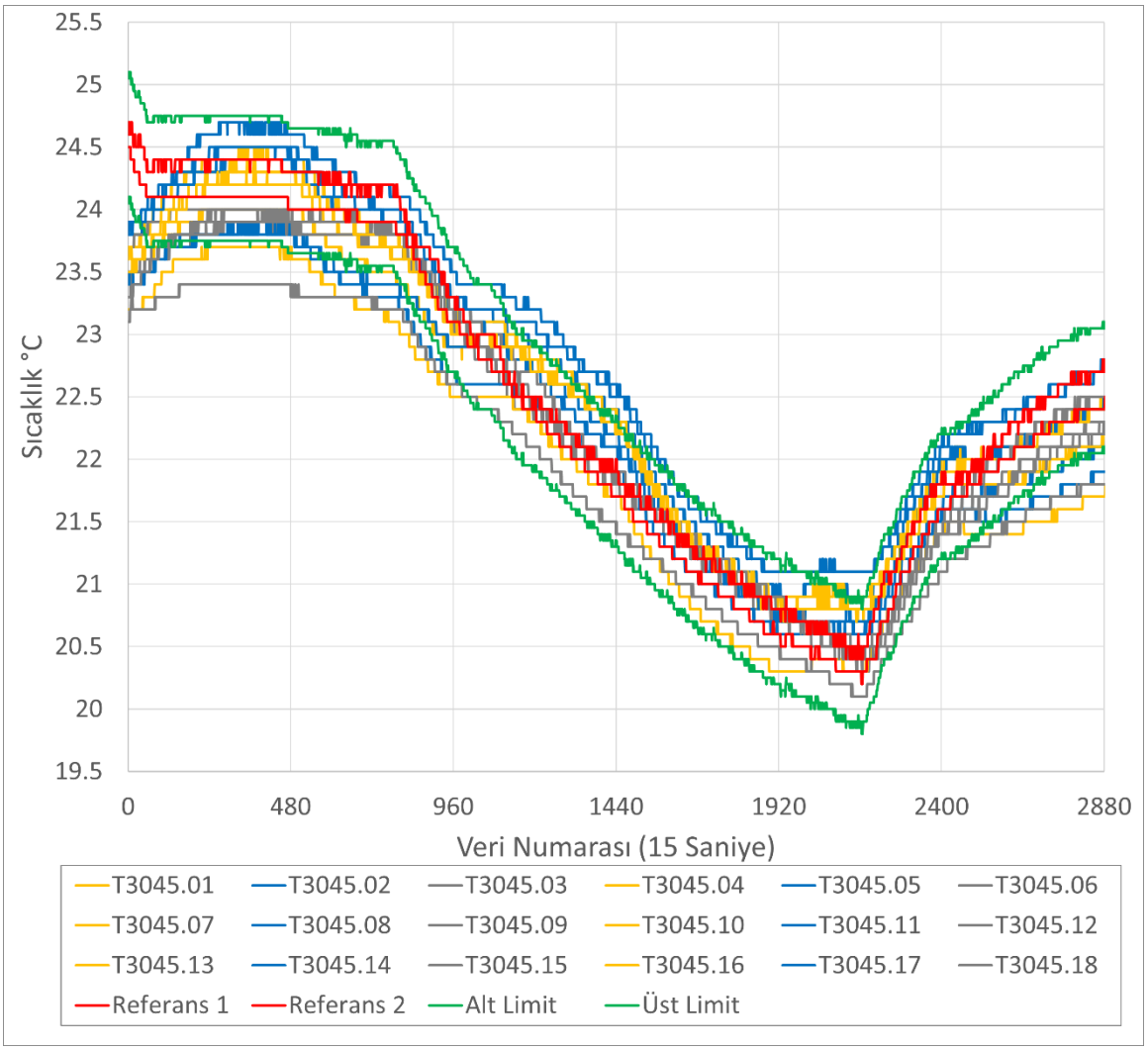
Her bir durum için seçilen 6 termostatın test düzeneğine homojen şekilde dağılmış olmasına özen gösterilmiştir. Böylelikle elde edilen sıcaklık ölçümleri kıyaslanırken konuma bağlı hata payının en aza indirgeneceği ön görülmüştür.

4.6.2. Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Çıktıları

Tamamlanan test sürecinde, 12 saat boyunca 18 termostat ve 2 referans noktasından 15 saniye periyotla 2880 veri kayda alınmıştır. Temin edilen bu veri Microsoft Excel programı üzerinde işlenmiş ve görselleştirilmiştir. Şekil 4-17'de test kapsamında toplanan veri gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, yeşil çizgiler iki referansın ortalamasının +-0,5 °C sınırlaması ile hesaplanan hedef alt-üst limiti göstermektedir. Turuncu çizgiler yük bağlı olan ve "ON" – "OFF" durum değişikliği uygulanan 6 termostatın verilerini göstermektedir. Mavi çizgiler yük bağlı olmaksızın "ON" – "OFF" durum değişikliği

uygulanan 6 termostattan kayda alının verileri göstermektedir. Gri çizgiler test süresince OFF pozisyonda olan 6 termostattan edinilen verileri içermektedir. Grafiği zaman ekseninde bölen çizgiler 12 termostatın "StartStop" durumlarını (Sırasıyla: ON–OFF–ON–OFF–ON–OFF) belirtmekten 2 saatlik periyottu göstermektedir.

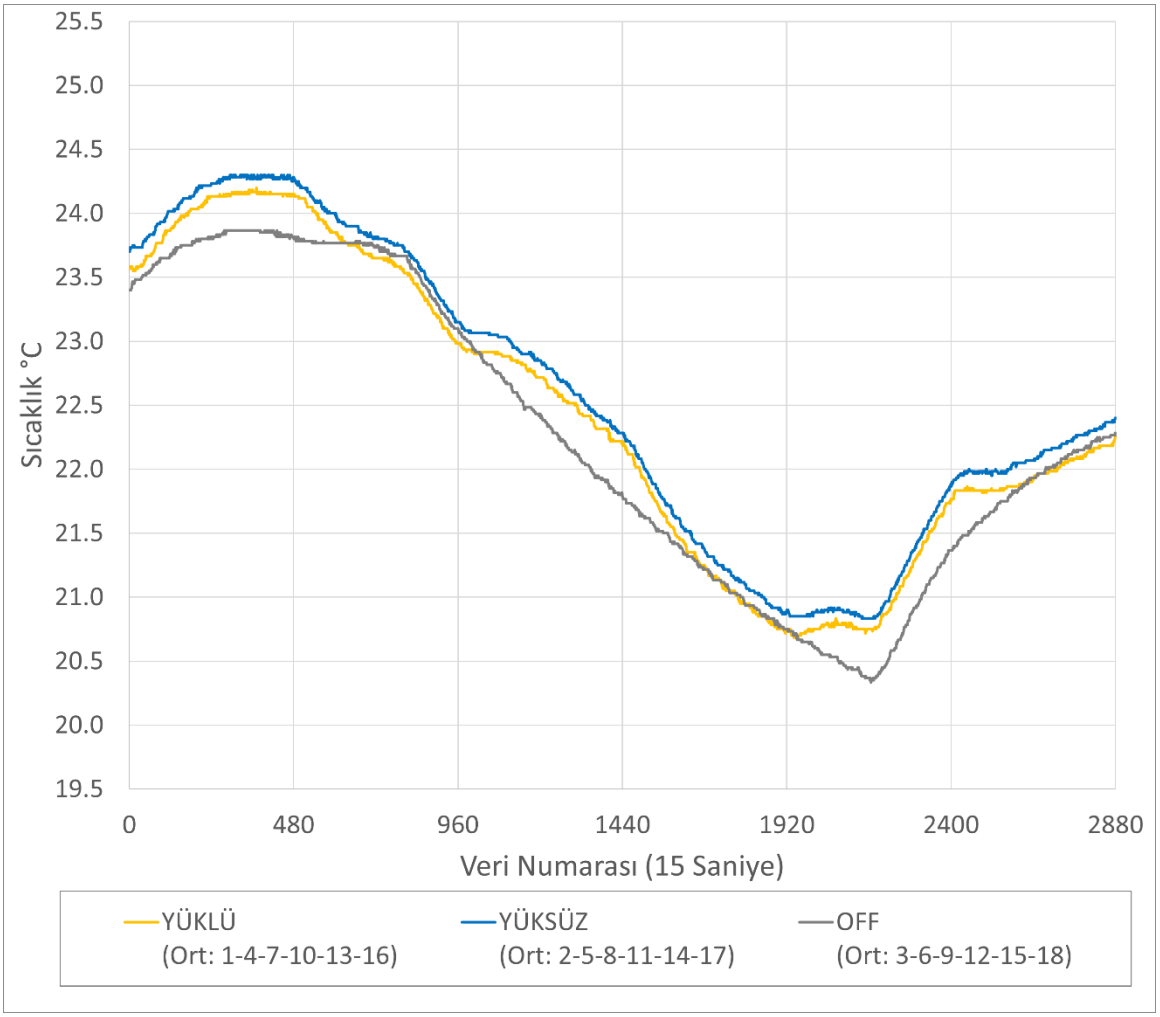
Grafikte oluşan sıcaklık değişimleri gün içerisinde ofis ortamının ısıtılması ve havalandırması esnasında oluşmaktadır. Test saat 18:00 itibari ile başlanmış ve ertesi gün sabah saat 6:00'da sonlandırılmıştır. Grafikte ısıtma sisteminin kapanış ve açılış anlarında ani sıcaklık değişimleri gözlenmektedir.



Şekil 4-17 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Kapsamında Toplanan Veri.

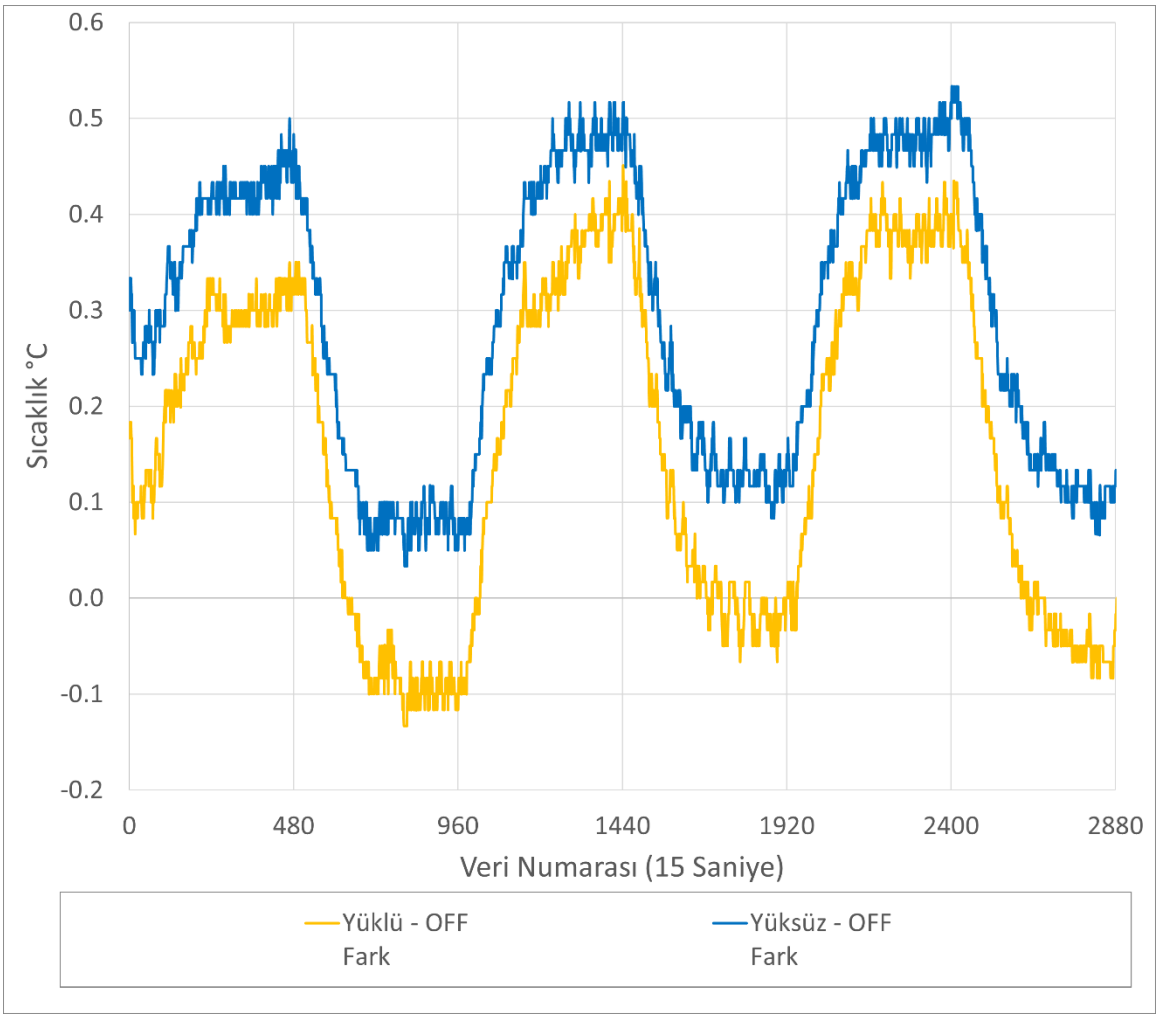
Test kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde periyodik olarak "ON" konuma alınan cihazların grafikte üst bölgelere geçtiği görülmekte fakat sıcaklık farkları tam olarak gözlemlenememektedir. Sağlıklı bir analiz yapılabilmesi adına aynı konumda olan

termostatların sıcaklık ölçüm verilerinin ortalaması alınarak grafik yeniden çizilmiştir (Şekil 4-18). Grafikte renklendirme ve eksenler bir önceki grafik ile aynı şekilde kullanılmıştır. Grafikte termostatlar arası kıyaslama yapabilmek adına referans sıcaklıklara yer verilmemiştir.



Şekil 4-18 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Sıcaklık Ölçümlerinin Ortalaması.

Sıcaklık ortalaması grafiği incelendiğinde üç farklı pozisyondaki termostatların sıcaklık değişimleri net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Yüklü ve yüksüz termostatların "OFF" durumdan "ON" duruma geçişte röle açılmasına bağlı olarak sıcaklık ölçümünde pozitif hata oluştuğu görülmektedir. Grafikte ortam sıcaklığının olağan değişiminden kaynaklanan bir azalış ve artış eğilimi bulunmaktadır. Bu eğilim grafik üzerindeki hata payının yorumlanmasını güçleştirmektedir. Bu eğilimi elemine etmek amacı ile test boyunca "OFF" konumda bulunan termostatların yapmış olduğu sıcaklık ölçümü taban kabul edilerek diğer iki grubun ölçüm hatası grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4-19).



Şekil 4-19 Termostat Durumlarının Sensör Ölçümüne Etkileri Testi Sıcaklık Ölçüm Ortalamalarının OFF Duruma Göre Farkı.

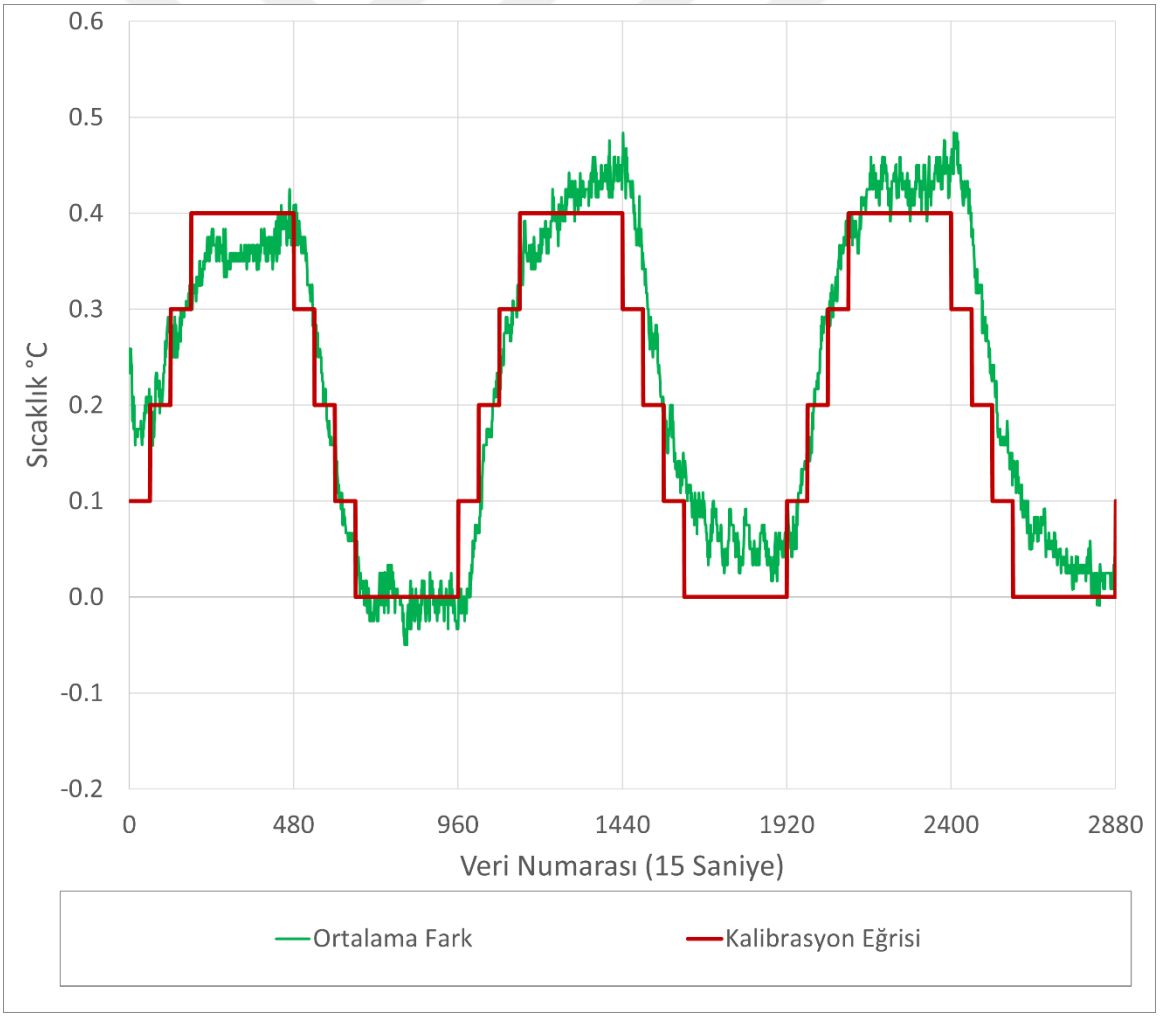
Elde edilen grafik incelendiğinde termostatın "ON" – "OFF" konumu arasındaki sıcaklık ölçüm farkı net olarak görülmektedir. Bu ölçüm hatasının ON pozisyonda iken çıkış veren rölelerin oluşturduğu ısıl yükün sensör üzerine etkisinden kaynaklandığı yapılan testlerde açıkça görülmüştür. Grafik yakından incelendiğinde termostatların ON konuma geçişi takiben belirli ve sabit bir sürede maksimum hata payına ulaştıkları ve aynı şekilde OFF konuma geçiş sonrasında benzer bir süre zarfında minimum hataya ulaştıkları gözlemlenmiştir. Bu kapsamda termostatların ON pozisyonda röleye çıkış vermelerinden kaynaklı oluşan hata payının giderilmesi için algoritma eklenmesine ve eklenen algoritma sonrasında testin aynı test düzeneği üzerinde tekrarlanmasına karar verilmiştir.

4.7. Test 7 Termostat Durumu Kaynaklı Ölçüm Hatasının Giderilmesi

Termostat durumlarının sensör ölçümüne etkileri testi sonucunda elde edilen verilerde sensör ölçümlerinde zaman ve duruma bağlı periyodik sapmalar olduğu açıkça görülmüştür. Bu sapmaların giderilebilmesi için sensör ölçüm algoritmasına zamana bağlı bir kalibrasyon noktası eklenmesine karar verilmiştir.

4.7.1. Algoritma

Termostat durumlarının sensör ölçümüne etkileri testi kapsamında toplanan veriler doğrultusunda elde edilen ortalama hataların OFF durumuna göre farkı grafiğinin ortalaması alınmıştır. Alınan ortalama yardımı ile algoritmaya eklenmesi planlana kalibrasyon noktasını temsil eden bir kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Termostat sensör ölçüm çözünürlüğü olan 0,1 °C değerine uygun olarak hata payı basamak yapısında bir eğriye çevrilmiştir.



Şekil 4-20 Kalibrasyon Eğrisi Grafiği.

Şekil 4-20'de yer alan kalibrasyon eğrisi incelendiğinde cihazın "ON" konuma geçişini takiben her 15 dakika da bir ölçüm hatası 0,1 °C artış göstermiştir. Hata maksimum 0,4 °C'ye yükselmiştir. Maksimum hata payına ulaşılmasının ardından hata payında kayda geçen ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir. Bu durum kalibrasyon noktasının maksimumda 0,4 °C değer almasının yeterli olacağını göstermektedir. Grafikte gösterildiği üzere kalibrasyon noktası cihaz röle çıkışı verdiğin anda 0,1 °C artış gösterecektir. Kalibrasyon değeri 0,4 °C'den küçük olduğu sürece, cihazın röle çıkış vereye devam ettiği her 15 dakikada bir 0,1 °C artış gösterecektir.

Grafikte cihazın "OFF" konuma geçişi takiben hata payının artış eğrisine paralel şekilde hata payının azaldığı görülmektedir. Azalan hata payı belirli süre sonunda sıfıra inmektedir. Bu doğrultuda kalibrasyon değeri 0 °C'den büyük olduğu ve cihazın röle çıkış vermediği sürece her 15 dakikada bir 0,1 °C azalış gösterecektir. Elde edilen verilen sonucunda oluşturulan algoritma C yazılım diline uyarlanarak bir kalibrasyon fonksiyonu elde edilmiştir. Fonksiyon cihaz çıkışlarını anlık olarak kontrol etmekte ve çıkışların pozisyonu doğrultusunda kalibrasyon eğrisine uygun değer üretmektedir.

```
static uint8_t InputCalibration(void) {
    static uint8_t  Calibration = 0;
    static int8_t   Position = -1;
    static Etimer_t PeriodTimer;


    if( (ValveOut1 || ValveOut2) && Position != 1) {


        if(Calibration < 4) {
            Calibration++;
        }


        StartTimer(&PeriodTimer, SYSTIMER_MINUTE);
        Position = 1;
    }
    else if(!ValveOut1 && ! ValveOut2 && Position != 0) {


        if(Calibration > 0) {
            Calibration--;
        }


        StartTimer(&PeriodTimer, SYSTIMER_MINUTE);
        Position = 0;
    }
    else if(!IsTimerExpired(&PeriodTimer, 15) ) {
        Position = -1;
    }


    return Calibration;
}
```

Tasarlanan fonksiyonda sistemin vana çıkış değerlerini tutan parametreler yardımı ile durum kontrolü sağlanmıştır. 15 dakikalık periyodun tespiti için proje özelinde halihazırda geliştirilmiş olan ve işlemci zamanlayıcısını referans olarak kullanan Timer kütüphanesi fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Tasarlanan fonksiyon ile elde edilen kalibrasyon değeri, mevcut sensör ölçüm algoritmasında son aşamada hesaplanan sıcaklık değerinden düşülerek minimum hata payı ile ölçüm yapılması amaçlanmıştır.

```
int16_t TemperatureRegs
uint32_t Sum = 0;
float Average = 0;
float DefaultError = 1.9;

for(uint8_t i = NUM_OF_BUFFER - 1; i > 0; i--) {
    FilterBuffer[i] = FilterBuffer[i - 1];
    Sum += FilterBuffer[i];
}

FilterBuffer[0] = ADCxConvertedVal;
Sum += FilterBuffer[ADCxParams.ConvertChannel][0];

Average = (float)Sum / NUM_OF_BUFFER;

if (Avg >= 4096) {
    Avg = 4090;
}

float Resistor = (10000.0 * Avg) / (4096.0 - Avg);
float Temperature = ( 1. / ( ( log( Resistor / 10000.0 ) / 3950.0 ) + ( 1. /
(273.15 + 25.000 ) ) ) ) - 273.15;

TemperatureRegs =

((int16_t) ( (Temperature - DefaultError) * 10) ) - InputCalibration();

return TemperatureRegs;
```

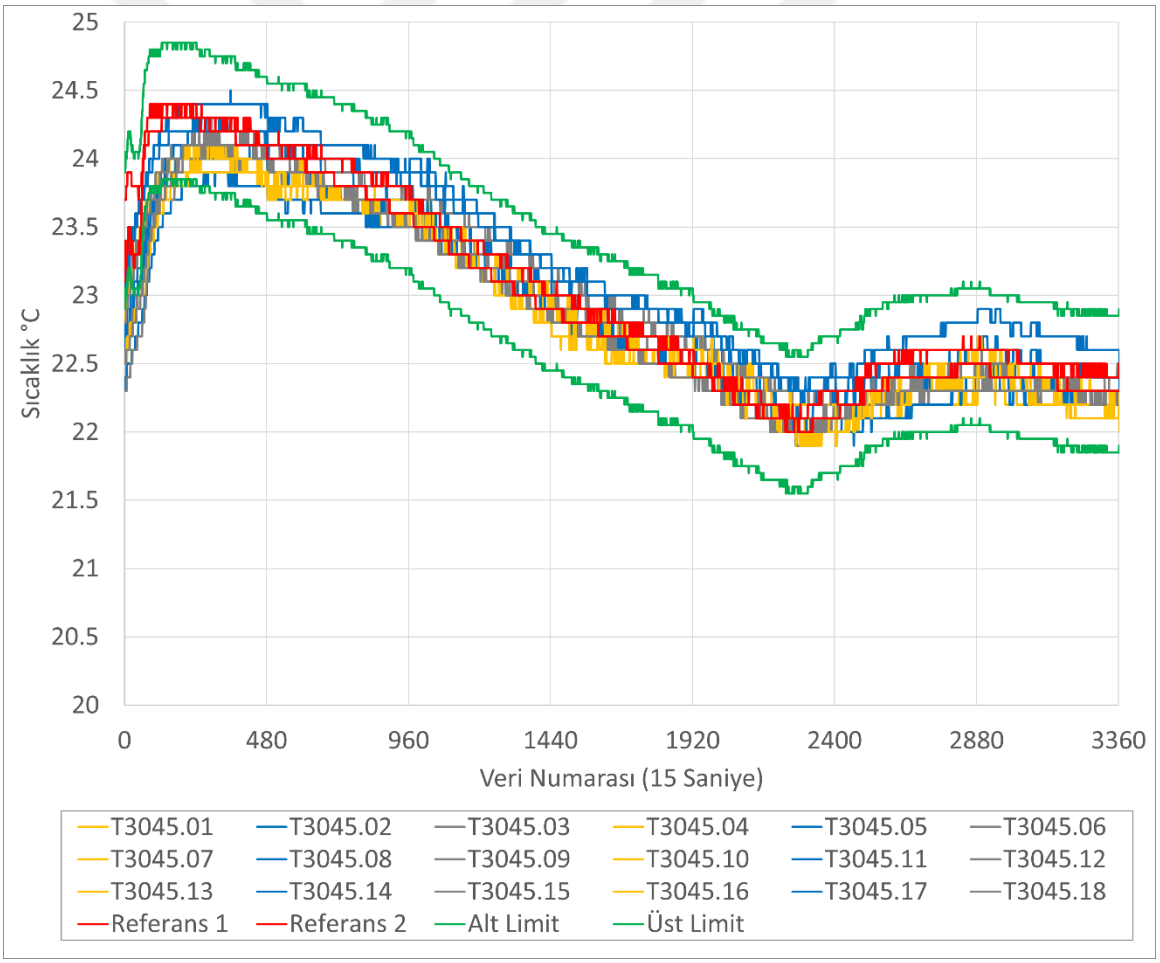
Test kapsamında yapılan algoritma değişikliği test düzeneğindeki termostatlara uygulanmıştır. Termostatların “ON” – “OFF” durumu değişimi nedeni ile oluşan hata payının giderilip giderilmediğinin tayini amacı ile son testte (4.6) kullanılan test kurgusunda bir değişiklik yapılmaksızın testin tekrarlanmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda 6 adet termostat test boyunca “OFF” konumda tutularak, 6 termostat yük bağlı olarak ve 6 termostat yük bağlı olmaksızın 2 saatlik periyotlarda “ON” – “OFF” durumu değiştirilerek ölçüm alınacaktır.

4.7.2. Termostat Durumu Kaynaklı Ölçüm Hatasının Giderilmesi Testi Çıktıları

Tamamlanan test sürecinde, 14 saat boyunca 18 termostat ve 2 referans noktasından 15 saniye periyotla 3360 veri kayda alınmıştır. Temin edilen bu veri Microsoft Excel programı üzerinde işlenmiş ve görselleştirilmiştir. Şekil 4-21’de test kapsamında toplanan veri gösterilmektedir. Grafikte kırmızı ile gösterilen değerler referans sensör problarının sıcaklığını, yeşil çizgiler iki

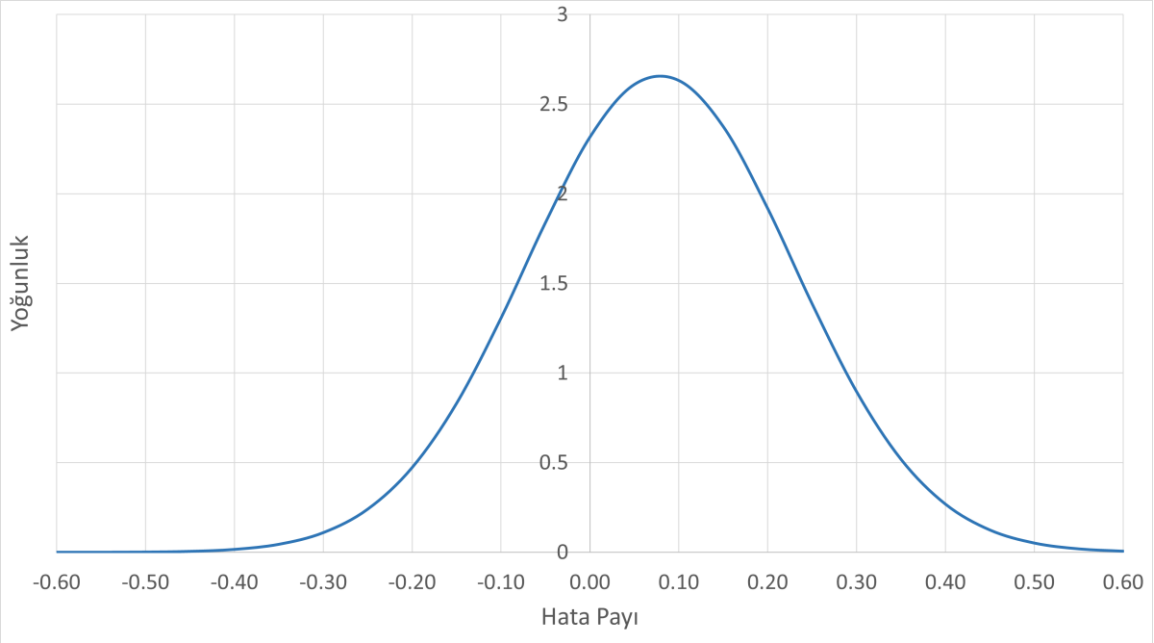
referansın ortalamasının +-0,5 °C sınırlaması ile hesaplanan hedef alt-üst limiti göstermektedir. Turuncu çizgiler yük bağlı olan ve “ON” – “OFF” durum değişikliği uygulanan 6 termostatın verilerini göstermektedir. Mavi çizgiler yük bağlı olmaksızın “ON” – “OFF” durum değişikliği uygulanan 6 termostattan kayda alının verileri göstermektedir. Gri çizgiler test süresince OFF pozisyonda olan 6 termostattan edinilen verileri içermektedir. Grafiği zaman ekseninde bölen çizgiler 12 termostatın “StartStop” durumlarını (Sırasıyla: ON–OFF–ON–OFF–ON–OFF) belirtmekten 2 saatlik periyottu göstermektedir.

Grafikte oluşan sıcaklık değişimleri gün içerisinde ofis ortamının ısıtılması ve havalandırması esnasında oluşmaktadır. Test saat 17:30 itibari ile başlanmış ve ertesi gün sabah saat 7:30’da sonlandırılmıştır. Grafikte ısıtma sisteminin kapanış ve açılış anlarında ani sıcaklık değişimleri gözlenmektedir.



Şekil 4-21 Termostat Durumu Kaynaklı Ölçüm Hatasının Giderilmesi Testi Kapsamında Toplanan Veri.

Elde edilen veriler incelendiğinde termostatların test sürecinin başlangıcını takiben stabil duruma gelmesi ile birlikte referans sıcaklık sensörleri paralelinde ölçüm gerçekleştirdikleri görülmektedir. Termostat ölçümleri ortalamasının referans sensör ölçüm ortalaması ile arasındaki farkın normal dağılım grafiği incelendiğinde hata payının +-0,5°C aralıkta, 0,07 °C'de yoğunlaşan bir eğri oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4-22).



Şekil 4-22 Kalibre Edilmiş Termostat Ölçümleri ile Referans Ölçümler Arasındaki Hata Dağılımı

Test sonuçları incelendiğinde oluşturulan kalibrasyon algoritması ile hedeflenen ölçüm kararlığının elde edildiği saptanmaktadır. Bu sonuç ile test sürecinin ve algoritma geliştirmesinin tamamlanması uygun görülmüştür.

5. TARTIŞMA

Yapılan bu tez çalışmasında bir oda termostatının sıcaklık ölçümünün hangi faktörlerden etkilendiği testler ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Mevcut bilgi birikimi incelendiğinde bir oda termostatının ortam sıcaklığını en optimal şekilde ölçümleyebilmesi için direk güneş ve ısı kaynaklarından uzak, yerden en az 50 cm en fazla 150 cm yüksekliğe konumlandırılması gerektiği bilinmektedir. Peki bir termostatın oda içerisinde en optimal pozisyona konumlandırılmış olması ortam sıcaklığı ölçümünün mükemmel olacağı anlamına mı gelmektedir?

Yapılan testler bize gösteriyor ki her ne kadar oda termostatının konumunu doğru seçmiş ve sistemi buna uygun olarak kurgulamış olsak da sensör ölçümlerinde sapmaya sebebiyet verecek bir etmeni hala yanımızda taşımaktayız. Aktif olarak bir HVAC&R cihazını kontrol etmekte olan bir oda termostatı üzerinden geçen akım termostatı sensör ölçümlerini saptırmaya yetecek kadar ısıtabilmektedir.

Peki bu akımı termostat üzerinden geçirmediğimiz bir kurgu olmaz mıydı? Elbette bu tip örneklerin de HVAC&R cihazlarında yaygınca kullanıldığı görülmektedir. De las Morenas ve diğ. [19] tarafından yapılan çalışma incelendiğinde IoT teknolojilerinin bina otomasyonunda kullanılması ile kurulan bir dağınık kontrol sisteminde, sensörler ile aktüatörlerin farklı alanlarda konumlandırılması termostatlar üzerinden akım geçirilmeksizin kontrol mekanizmalarının sağlanabileceğini göstermektedir. Bu durum her ne kadar ele aldığımız mevcut problem için bir çözüm sunuyor olsa da kurulum maliyetlerinin yüksek olması, otomasyon tasarımının karmaşık olması ile ilk kurulum ve bakım çalışmaları için nitelikli ekipler gerektiriyor olması nedeniyle dahili kontrol çıkışlı termostatlar kadar yaygın kullanım alanı oluşturamamaktadır.

Ortam sıcaklık ölçümünü daha kararlı yapmak için tek olanağımız ölçüm algoritmasını geliştirmek miydi sorusunu soracak olursak cevabımız hayır olacaktır. Ruff'ın [20] fan coil termostatı analizi çalışmasında yer verdiği gibi oda sıcaklığının en optimal ölçümü için dönüş havası kanalına bir sensör bağlanması mevcut sorunun üstesinden gelecek ideal bir çözüm olabilir. Kanal içerisine yapılacak olan sensör bağlantısının çevresel etkenlerde minimum

oranda etkilenecek olması ve dönüş havası kanalında ortamdan emilen havanın ortalama olarak ortam sıcaklığını temsil edebilecek olması, bu sensör ile yapılacak olan ölçümün kararlılığının yüksek olmasına olanak sağlayacaktır. Her ne kadar çalışmada kullanmış olduğumuz fan coil termostatının da bir harici sensör bağlantısı bulunuyor olsa da her saha ortamında dönüş havası kanalına harici sensör bağlamak maalesef uygun olmamaktadır. Dönüş kanalına bağlanacak olan harici bir sensör kendi maliyetine ek olarak beraberinde ekstra kablolama işçiliği ve kablo maliyeti getirmektedir. Bununla birlikte direnç temelli olarak ölçüm yapılan sıcaklık sensörlerinde kullanılan kabloların uzunluğu kablo direncini artırmakta ve ölçümlerde sapmalara neden olmaktadır. Buna ek olarak bazı mekanik sistemlerde dönüş kanalına sensör bağlantı imkânı olmayabilir. Tüm bu olumsuzluklar kurulan otomasyon sistemlerinde dahili sensör kullanımını artırmaktadır. Bu nedenle de dahili sensör ile maksimum kararlıkta ölçüm yapmak oda termostatları için önem arz etmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgularda sensör ölçümü üzerinde dış etkenlerin aktif etkisi olduğu net bir şekilde gözlemlenmiştir. Termostatın olağan çalışması esnasında üzerinden geçen akımın elektronik komponentler üzerinde oluşturduğu ısının, uygulama alanı gereği yeterli oranda bertaraf edilemediği test kayıtların açıkça ortaya konulmuştur. Bertaraf edilemeyen bu ısınmanın, kompakt yapıdaki termostatın en uzak noktasına yerleştirilmiş olan sıcaklık sensörüne dahi ulaştığı ve sapmalara neden olduğu saptanmıştır. Termostatın aktif çıkış verme durumunda ısınması ile birlikte, çıkış vermediği durumda ortam sıcaklığına gerilediği ve bu nedenle sensör ölçümündeki sapmanın zaman zaman pozitif yönde seyretmesine karşılık hiç gözlemlenmediği durumlar da olmuştur.

Tüm bu bulgular ışığında geliştirilen algoritma sayesinde termostatın çalışma süresine bağlı olarak pozitif yönde artış gösteren sapmanın tahmin edilebilmesi sağlanmıştır. Böylelikle termostatın aktif çıkış verdiği durumlarda sıcaklık sensörünün pozitif sapması negatif kalibrasyon katsayısı ile nötrlenirken, senaryo gereği çıkışı kapatılan termostatın soğuma eğilimine uygun olarak çıkış üzerine uygulan negatif kalibrasyon katsayısının azaltılması ile negatif bir sapma oluşmasının önüne geçilmiştir.

Yapılan bu kalibrasyon ile birlikte termostatın dahili sensör sıcaklığı yardımı ile ortamı konfor şartlarına daha kararlı şekilde ulaştırması sağlanmıştır. Böylelikle hatalı işletme kaynaklı oluşabilecek yüksek enerji tüketimlerinin önüne geçilmiştir. Tasarlanan bu algoritma ile bildikte çalışacak olan termostatların kalibre edilmemiş haline kıyasla daha düşük enerji tüketim performansı sunması öngörülmektedir. Enerji ihtiyacının giderek artığı günümüz teknolojisinde bina otomasyon sistemlerinin uygun işletmeleri ile enerji tüketiminin azaltılması büyük önem taşımaktadır. Böylelikle işletme maliyetleri ciddi oranda azaltılabilmektedir.

Gelecekte yapılacak tasarımlarda sensör karakteristiğini artıracak algoritmalarda kullanılmak üzere, termostatın iç ortam sıcaklığının takibini sağlayabilen bir sensörün donanıma dahil edilmesi, zamana bağlı olarak gerçeklenen algoritmanın termostat iç sıcaklığına bağlı olarak geliştirilmesine olanak sağlanabilir. Böylelikle sapmaya sebebiyet veren ısıl kaynak anlık

olarak takip edilebilir ve çıkış verme süresinden bağımsız olarak mevcut durum paralelinde sapmaları önleyecek bir negatif kalibrasyon katsayısı hesaplanabilir.

Çalışma boyunca mevcut mekanik tasarımı tamamlanmış bir termostatın üzerindeki sensör ile yapılan ölçümlerdeki elektronik ısınma kaynaklı sapmaları sönümlemek için algoritma geliştirmiştir. Böylelikle mekanik yönden tasarımı tamamlanmış ve üretime geçmiş bir termostat üzerinde oluşan hatanın yazılım ile giderilebileceği gösterilmiştir. Seri üretim aşamasında geçmiş bir termostata tasarım değişikliği ile bu tip bir sorunun giderilmeye çalışılması ciddi plastik kalıp ve tasarım maliyetleri getireceği için ve hali hazırda üretilmiş olan ürünler üzerinde çözüm oluşturmayacağı için tercih edilmemiştir. Gelecekte yapılacak olan tasarımlarda yazılımsal çözümler öncesinde mekaniksel tasarımda sıcaklık sensörünün elektronik ısınmalardan en az etkileneceği şekilde konumlandırılması ve gerekli durumlarda ekstra havalandırma kanalları ile termostatın olağan ısısının bertaraf edilmesi tavsiye edilir. Yapılan bu tez çalışmasında, tüm mekanik düzenleme ve önlemlere rağmen testler sırasında kullanılmış olan termostatta olduğu gibi ısının bertaraf edilemediği tespit ediliyor ise, yazılımsal algoritma ile sensör ölçümlerinde oluşan sapmaların giderilebileceği örnekler ve bulgular çerçevesinde gösterilmeye çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

[1] Yang, K.-S., Shyu, J.-C. and Lee, M.-T., 2022 Emerging Technologies in Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration (HVAC&R) Systems, *ASHRAE 135-2020*, 10(7):1410.

[2] Zamora-Martínez, F., Romeu, P., Botella-Rocamora, P. ve Pardo, J., 2014, On-line learning of indoor temperature forecasting models towardsenergy efficiency, *Energy & Buildings*, 83, 162-172.

[3] Haniff, M. F., Selamat, H., Yusof, R., Buyamin, S., ve Ismail, F. S., 2013, Review of HVAC scheduling techniques for buildings towards energy-efficient and cost-effective operations, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 94-103.

[4] Yun, J. ve Won, K.-H., 2012, Building Environment Analysis based on Temperature and Humidity for Smart Energy Systems, *Sensors 2012*, 10, 13458-13470.

[5] Shinoda, J., Mylonas, A., Kazanci, O. B., Tanabe S.-i. ve Olesen, B. W., 2021, Differences in temperature measurement by commercial room temperature sensors: Effects of room cooling system, loads, sensor type and position, *Energy & Buildings*, 231.

[6] Hernandez, F. F., Atienza-Marquez, A., Suarez, J. M. P., Cantalejo, J. A. B. Ve Muriano, M. C. G., 2022, Analysis of a HVAC zoning control system with an air-to-water heat pump and a ducted fan coil unit in residential buildings, *Applied Thermal Engineering*, 215.

[7] Kull, T. M., Thalfeldt, M. ve Kurnitski, J., 2019, Optimal PI control parameters for accurate underfloor heating temperature control, *E3S Web of Conferences*, 2019 Bucharest, Romania.

[8] Yakimchuk, O., 2020, Fan-assisted Trench Heating in Extreme Outdoor Temperatures, *Indoor Environmental Quality Performance Approaches*, 2020 Athens, Greece.

[9] Lu, D. B. ve Wasinger, D. M., 2020, Energy savings of retrofitting residential buildings with variable air volume systems across different climates, *Journal of Building Engineering*, 30.

[10] Stanfield, C. And Skaves, D., 2021, *Introcuction to Heating, Vantilation, Air Conditioning and Refirigeration*, Fundamentals of HVACR, 4th edition.

[11] Seyam, S., 2018, *Types of HVAC Systems*, HVAC System.

[12] Ghahramani, A., Galicia, P., Lehrer, D., Varghese, Z., Wang, Z. ve Pandit, Y., 2020, Artificial Intelligence for Efficient Thermal Comfort Systems: Requirements, Current Applications and Future Directions, *Frontiers in Built Environment*, 6.

[13] Ghanta, N., Kongoletos, J. ve Glicksman, L., 2021, Comfort control and improved thermostat location in conference rooms and academic working spaces, *Building and Environment*, 205.

[14] Madsen, T. L., Schmidt, T. P. ve Helk U., 1990, How important is the location of the room thermostat, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

[15] American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 2008, *ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-conditioning Systems and Equipment*, ASHRAE.

[16] Smallart, 2023, *T3045.12 Teknik Katalog*, https://gesteknik.com/wp-content/uploads/2023/05/T3045.12-BACnet-Teknik-Katalog-v1.5-TR.pdf, [Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2024].

[17] STMicroelectronics, 2021, *RM0008 Reference manual*, https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0008-stm32f101xx-stm32f102xx-stm32f103xx-stm32f105xx-and-stm32f107xx-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf [Ziyaret Tarihi: 3 Ocak 2024].

[18] Thinh, D. T., Quan, N. B. H. ve Maneetien, N., 2018, Implementation of Moving Average Filter on STM32F4 for Vibration Sensor Application, *4th International Conference on Green Technology and Sustainable Development*, 23-24 November 2018 Vietnam.

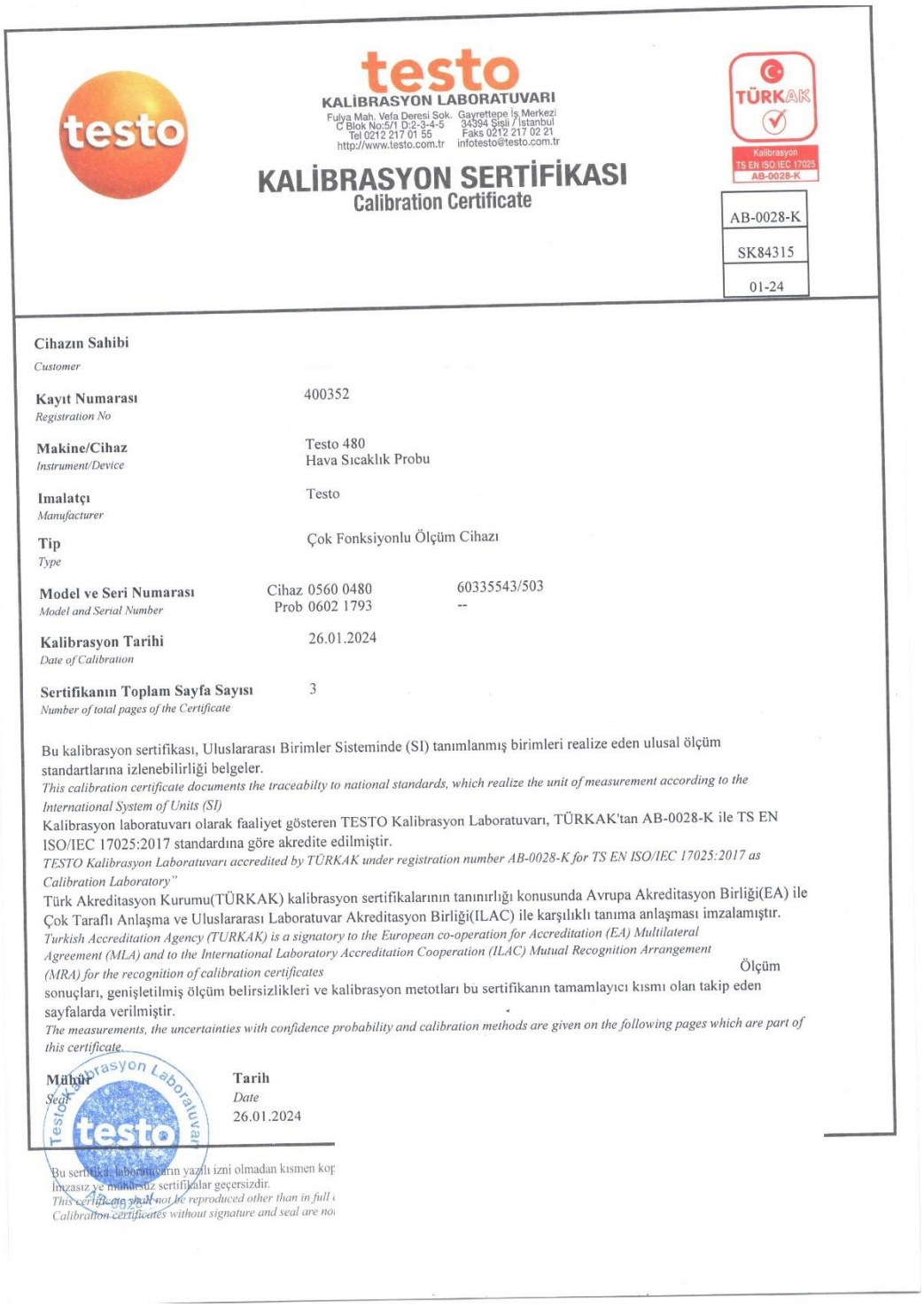
[19] de las Morenas, J., da Silva, C. M., Barbosa, J. ve Leitao, P., 2019, Low Cost Integration of IoT Technologies for Building Automation, *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 14-17 October 2019 Lisbon, Portugal.

[20] Ruff, S., 2013, *Analysis of Thermostat Design for Vertical Fan Coil Units Within Modern Window-Wall Condominium Suites*, Master's Research Paper, Ryerson University.

[21] Arghand, T., Trüschel, A., Dalenbäck, J.-O. ve Javed, S., 2018, Dynamic Thermal Performance and Controllability of Fan Coil Systems, *Cold Climate HVAC*, 12-15 March 2018 Kiruna – Sweden.

EKLER

EK 1. Testo Ölçü Aleti ve Probları 2023 – 2024 Kalibrasyon Sertifikaları ilk Sayfaları



testo
KALİBRASYON LABORATUVARI
Fulya Mah. Vefa Deresi Sok. C Blok No:5/1 D:2-3-4-5 Tel 0212 217 01 55 http://www.testo.com.tr
Gayrettepe İş Merkezi 34394 Şişli / İstanbul Faks 0212 217 02 21 infotesto@testo.com.tr

TÜRKAK Kalibrasyon TS EN ISO/IEC 17025 AB-0028-K

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

AB-0028-K
SK84315
01-24

Cihazın Sahibi
Customer

Kayıt Numarası
Registration No 400352

Makine/Cihaz
Instrument/Device Testo 480
Hava Sıcaklık Probu

İmalatçı
Manufacturer Testo

Tip
Type Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı

Model ve Seri Numarası
Model and Serial Number Cihaz 0560 0480 60335543/503
Prob 0602 1793 --

Kalibrasyon Tarihi
Date of Calibration 26.01.2024

Sertifikanın Toplam Sayfa Sayısı
Number of total pages of the Certificate 3

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.
This calibration certificate documents the traceabilty to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI)
Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı, TÜRKAK'tan AB-0028-K ile TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardına göre akredite edilmiştir.
TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı accredited by TÜRKAK under registration number AB-0028-K for TS EN ISO/IEC 17025:2017 as Calibration Laboratory"
Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği(ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır.
Turkish Accreditation Agency (TURKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates
Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.
The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür
Seal

Tarih
Date
26.01.2024

Testo Kalibrasyon Laboratuvarı
testo

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kop
İmzasız ve mührsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full
Calibration certificates without signature and seal are no

testo

testo
KALİBRASYON LABORATUVARI
Fulya Mah. Vefa Deresi Sok. C Blok No:5/1 D:2-3-4-5 Tel 0212 217 01 55 http://www.testo.com.tr
Gayrettepe İş Merkezi 34394 Şişli / İstanbul Faks 0212 217 02 21 infotesto@testo.com.tr

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

TÜRKAK
Kalibrasyon
TS EN ISO/IEC 17025
AB-0028-K

AB-0028-K
SK84314
01-24

Cihazın Sahibi
Customer

Kayıt Numarası
Registration No

Makine/Cihaz *Instrument/Device*	Testo 480 Sıcaklık ve Nem Probu (Sıcaklık Sensörü)	
Imalatçı *Manufacturer*	Testo	
Tip *Type*	Çok Fonksiyonlu Ölçüm Cihazı	
Model ve Seri Numarası *Model and Serial Number*	Cihaz 0560 0480 Prob 0636 9743	60335543/503 02903392/503
Kalibrasyon Tarihi *Date of Calibration*	26.01.2024	
Sertifikanın Toplam Sayfa Sayısı *Number of total pages of the Certificate*	3	

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.
This calibration certificate documents the traceabilty to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI)
Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı, TÜRKAK'tan AB-0028-K ile TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardına göre akredite edilmiştir.
TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı accredited by TÜRKAK under registration number AB-0028-K for TS EN ISO/IEC 17025:2017 as Calibration Laboratory"
Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği(ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır.
Turkish Accreditation Agency (TURKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates
Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.
The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür
Seal

Testo Kalibrasyon Laboratuvarı
testo

Tarih
Date
26.01.2024

Bu sertifika laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyal
İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full exc
Calibration Certificates without signature and seal are not va

testo

testo
KALİBRASYON LABORATUVARI
Fulya Mah. Vefa Deresi Sok. C Blok No:5/1 D:2-3-4-5 Tel 0212 217 01 55 http://www.testo.com.tr
Gayrettepe İş Merkezi 34394 Şişli / İstanbul Faks 0212 217 02 21 infotesto@testo.com.tr

TÜRKAK Kalibrasyon TS EN ISO/IEC 17025 AB-0028-K

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

AB-0028-K
SK69105
01-23

Cihazın Sahibi
Customer

Kayıt Numarası
Registration No

Makine/Cihaz — Testo 480
Instrument/Device

İmalatçı — Sıcaklık ve Nem Sensörü
Manufacturer

Tip — Testo
Type

Model ve Seri Numarası — Sıcaklık ve Nem Ölçüm Cihazı
Model and Serial Number

Cihaz 0560 0480 60335543/503
Prob 0636 9743 02903392/503

Kalibrasyon Tarihi — 16.01.2023
Date of Calibration

Sertifikanın Toplam Sayfa Sayısı — 3
Number of total pages of the Certificate

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.
This calibration certificate documents the traceabilty to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI)

Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı, TÜRKAK'tan AB-0028-K ile TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardına göre akredite edilmiştir.
TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı accredited by TÜRKAK under registration number AB-0028-K for TS EN ISO/IEC 17025:2017 as Calibration Laboratory"

Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği(ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır.
Turkish Accreditation Agency (TURKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.
The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür
Seal

Türk Akreditasyon Kurumu TÜRKAK AB-0028-K

Tarih
Date
16.01.2023

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

testo
KALİBRASYON LABORATUVARI
Fulya Mah. Vefa Deresi Sok. C Blok No:5/1 D:2-3-4-5 Tel 0212 217 01 55 http://www.testo.com.tr
Gayrettepe İş Merkezi 34394 Şişli / İstanbul Faks 0212 217 02 21 infotesto@testo.com.tr

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

TÜRKAK Kalibrasyon TS EN ISO/IEC 17025 AB-0028-K

AB-0028-K
SK69106
01-23

Cihazın Sahibi
Customer

Kayıt Numarası
Registration No

Makine/Cihaz *Instrument/Device*	Testo 480	
	Sıcaklık ve Nem Sensörü	
İmalatçı *Manufacturer*	Testo	
Tip *Type*	Sıcaklık ve Nem Ölçüm Cihazı	
Model ve Seri Numarası *Model and Serial Number*	Cihaz 0560 0480	60335543/503
	Prob 0602 1793	--
Kalibrasyon Tarihi *Date of Calibration*	16.01.2023	
Sertifikanın Toplam Sayfa Sayısı *Number of total pages of the Certificate*	3	

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.
This calibration certificate documents the traceabilty to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI)

Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı, TÜRKAK'tan AB-0028-K ile TS EN ISO/IEC 17025:2017 standardına göre akredite edilmiştir.
TESTO Kalibrasyon Laboratuvarı accredited by TÜRKAK under registration number AB-0028-K for TS EN ISO/IEC 17025:2017 as Calibration Laboratory"

Türk Akreditasyon Kurumu(TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği(EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği(ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır.
Turkish Accreditation Agency (TURKAK) is a signatory to the European co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.
The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür *Seal*

Türk Akreditasyon Kurumu TÜRKAK AB-0028-K

Tarih *Date*
16.01.2023

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

EK 2. Testo Ölçü Aleti ve Probları Kalibrasyon Etiketleri







İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Yunus ARI

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%6	%2	%5
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%4
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
3	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
4	acikerisim.nigde.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
5	Submitted to SUNY, Binghamton Öğrenci Ödevi	<%1
6	1library.co İnternet Kaynağı	<%1
7	docplayer.org İnternet Kaynağı	<%1
8	dep.manas.edu.kg İnternet Kaynağı	<%1
9	esnam.eu İnternet Kaynağı	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Yunus ARI

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Yunus ARI

PATENT HAKKI İZNİ

Aşağıda patent adı ve numarası verilen buluş ile ilgili materyallerin "Oda Termostatları için Sıcaklık Ölçüm Kararlılığını Artıran Bir Algoritma Geliştirilmesi" başlıklı yüksek lisans çalışmasında kullanılmasına izin verilmiştir.

GES-TEKNİK
KLİMA KONTROL VE OTOMASYON
SİS. SAN. TİC. A.Ş.

Patent Adı	Patent Numarası
FAN COIL ÜNİTELERİ İÇİN BİR TERMOSTAT YAPILANMASI	2018-GE-274562

ÖZGEÇMİŞ