

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

(LİSANS BİTİRME TEZİ)

ARDUINO-JAVA PROGRAMLAMA DİLİ
KULLANARAK HASSAS NEM ÖLÇME SİSTEMİNİN
OLUŞTURULMASI

Tez Yazarı : Cengiz PAR

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa Turhan ÇOBAN

Anabilim Dalı : Enerji Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 11.06.2018

İzmir, Bornova

2018

KABUL VE ONAY

Cengiz PAR tarafından Lisans tezi olarak sunulan “Arduino-Java Programlama Dili Kullanarak Hassas Nem Ölçme Sisteminin Oluşturulması” başlıklı bu çalışma EÜ Lisans Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği kapsamında tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 11.06.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza****Jüri Başkanı**

:

Raportör Üye

:

Üye

:

EGE ÜNİVERSİTESİ MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisans Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Lisans Tezi / Makina Projesi olarak sunduğum “ARDUINO-JAVA PROGRAMLAMA DİLİ KULLANARAK HASSAS NEM ÖLÇME SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

11 / 06 / 2018

İmzası

Adı-Soyadı

ÖZET**ARDUINO-JAVA PROGRAMLAMA DİLİ KULLANARAK HASSAS
NEM ÖLÇME SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI**

PAR, Cengiz

Lisans Bitirme Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa Turhan ÇOBAN

Günümüzde nem ölçümü, soğutma ve iklimlendirme alanında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bunun yanısıra nemin sıvı veya gaz formda olması farketmeksizin ürün kalitesini ciddi bir şekilde düşürmekte, endüstriyel ekipmanlara zarar verme ve işletme maliyetlerini yükseltme risklerini taşımasından dolayı nem ölçümünün gerekliliğinin anlaşılması önem taşımaktadır.

Nem ölçümü; çiy noktası ölçer, empedans, direnç sensörlü nem ölçerler, mekanik nem ölçerler, ıslak/kuru hazneli nem ölçerler, alüminyum/seramik oksit sensörler olmak üzere çeşitli yollarla yapılır. Bu projede en hassas nem ölçüm yöntemlerinden biri olan çiy noktası ölçer ile nem ölçüm cihazı prototipi geliştirilmiştir.

Çalışmamızda; nem kavramı, nem ölçüm sistemleri, nem kalibrasyon sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiş olup, Java programlama dili kullanılarak hazırlanmış bir bilgisayar programı ile haberleşerek yönetilen bir Arduino geliştirme kartı üzerinden kontrol edilen çiy noktası ölçer prototipi tasarlanıp geliştirilmiştir. Ölçülen gerçek veriler Java programı üzerinde işlenerek ortamın bağıl nemi hesaplanmış ve psikrometrik diyagram çizilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nem, Çiy Noktası Ölçer, Arduino-Java Programlama

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND PROTOTYPING OF A PRECISION HUMIDITY MEASUREMENT SYSTEM USING ARDUINO-JAVA PROGRAMMING LANGUAGE

PAR, Cengiz

Bachelor in Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa Turhan ÇOBAN

Nowadays, humidity measurement is used in cooling and air-conditioning. Furthermore, whether in gas or in liquid form of moisture reduces product quality and also it could damage industrial equipment and increases operating costs. Therefore, understanding necessary of moisture measurement is crucial.

Moisture measurement is done by dew point meter, electrical capacitance or resistance sensors, mechanical hygrometers, dry/wet bulb thermometers and metal oxide sensors methods. In this project, a prototype of dew point meter which is one of the most precise moisture measurement method is developed.

In this thesis; there are informations about the basics of humidity, humidity measurement systems and humidity calibration systems. Also, a prototype of dew point meter which is controlled by an Arduino prototyping board which is controlled and communicated by a program in Java program was build. Relative humidity is evaluated and psychometric diagram is plotted by Java program with real datas.

Keywords: Humidity, Dew Point Meter, Arduino-Java Programming

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlangıcından bitimine kadar her aşamada çalışmayı yönlendiren, özverili yardımlarını esirgemeyen hocam Doç. Dr. M. Turhan ÇOBAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Cengiz PAR

İZMİR, 11 / 06 / 2018

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1.Nem hakkında temel bilgiler	1
1.1. Nem İle İlgili Temel Bilgiler.....	1
1.2. Kuru Hava	1
1.2.1 Kuru havanın termodinamik özelliklerinin hesaplanması.....	1
1.3. Su Buharı.....	2
1.3.1. Su buharının termodinamik özellikleri.....	3
1.4. Nemli Hava	3
1.4.1. Özgül nem	3
1.4.2. Bağlı nem	4
1.4.3. Çiy noktası.....	5
1.4.4. Nemli havanın termodinamiksel özellikleri	6
1.5. Nem Ölçüm Sistemleri	8
1.5.1. Mekanik nem ölçer.....	8
1.5.2. Alüminyum seramik oksit sensörler.....	9
1.5.3. Empedans, direnç sensörlü nem ölçer	10
1.5.4. Psikrometre (ıslak/kuru hazneli nem ölçer)	10

İÇİNDEKİLER (devam)

SAYFA

1.5.5. Çiy noktası ölçer.....	11
1.5.6. Psikrometrik diyagram	13
1.6.Nem Ölçümünde Kullanılan Kalibrasyon Metodları	14
1.6.1. İki basınç yöntemi	14
1.6.2. İki sıcaklık yöntemi.....	14
1.6.3. İki akış yöntemi.....	15
1.6.4. Doymuş tuz eriyikleri.....	15
2.Sistemin Kurulumu	15
2.1. Kullanılacak Sistem Seçimi ve Çalışma Prensibi	15
2.2. Sistemin Tasarımı.....	16
2.2.1. Peltierler	16
2.2.1.1. Termoelektrik etki.....	16
2.2.1.2. Peltier etkisi.....	17
2.2.1.3. Seebeck etkisi.....	18
2.2.1.4. Thomson etkisi	18
2.2.1.5. Peltier yapısı.....	18
2.2.1.6. Peltier kimlikleri.....	19
2.2.1.7. Peltier Verimleri.....	19
2.2.2. Arduino.....	19
2.2.2.1. Arduino Mega	20
2.2.2.2. Arduino Due.....	20

İÇİNDEKİLER (devam)

SAYFA

2.2.3. Sensörler.....	21
2.2.3.1. Foto dirençler - LDR.....	21
2.2.3.2. Fotodiyotlar	23
2.2.3.3. Fototransistörler	23
2.2.3.4. DS18B20	23
2.2.3.5. LM35.....	24
2.2.3.6. Kızılötesi sıcaklık sensörleri	24
2.2.3.7. BME280	26
2.2.3.8. Termokupllar	27
2.2.3.9. Termistör	28
2.2.4. Voltaj regülatörü	28
2.2.4.1. LM2596.....	29
2.2.5. Röleler	30
2.2.6. Cihazın ölçüm sırasında sensörden alınan verilerin izlenmesi.....	31
2.2.7. Cihazın tasarımı.....	31
2.2.6.1. Kabin sisteminin tasarımı.....	32
2.2.6.2. 3D baskı ve gerçek kurulum.....	33
2.2.7. Açık devre şeması	34
2.3. Sistemde Kullanılan Yazılımların İncelenmesi.....	34
2.3.1. Arduino yazılımının incelenmesi	34
2.3.2. Java yazılımının incelenmesi	35

İÇİNDEKİLER (devam)

SAYFA

2.4.Maliyet Hesabı	36
2.4.1. Sistem kurulumu ve kullanılan malzeme maliyetleri	36
2.4.2. Sistemin maliyeti	36
3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	38
KAYNAKLAR DİZİNİ	39
EKLER	41
Ek 1. “dewpointmirror_mlx90615_final.ino”	
Ek 2. “main.java”	
Ek 3. “gui.java”	
Ek 4. LDR İle Çiy Noktası Tespiti	
Ek 5. Harcanan Maliyet	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil

Sayfa

1.1. ÇİY NOKTASI T-S DİYAGRAMI	5
1.2. MEKANİK NEM ÖLÇERİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ	9
1.3. ALÜMİNYUM OKSİT SENSÖRÜN ŞEMATİK GÖSTERİMİ	9
1.4. EMPEDANS SENSÖRÜN ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	10
1.5. PSİKROMETRENİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	11
1.6. ÇİY NOKTASI ÖLÇERİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	13
1.7. ÇİY NOKTASININ PSİKROMETRİK DİYAGRAM ÜZERİNDE GÖSTERİMİ.....	14
2.1. BARIN ISIL DAVRANIŞI.....	17
2.2. BARIN ELEKTRİKSEL DAVRANIŞI.....	17
2.3. PELTİERİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ	19
2.4. LDR DİRENCİ, SICAKLIK ÖLÇÜM İLİŞKİSİ.....	22
2.5. PROJEDE ÇİY NOKTASI SICAKLIĞI ÖLÇÜMÜ İÇİN KULLANILAN SENSÖR	25
2.6. SICAKLIĞIN LDR DİRENCİNE GÖRE DEĞİŞİMİ.....	26
2.7. PROJEDE ORTAM SICAKLIK VE BASINCINI ÖLÇEN SENSÖR.....	27
2.8. TERMOKUPL ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	27
2.9. ELEKTRO-MEKANİK VOLTAJ REGÜLATÖRÜNÜN ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	29
2.10. PROJEDE KULLANILAN VOLTAJ REGÜLATÖRÜ	29
2.11. RÖLENİN ŞEMATİK GÖSTERİMİ.....	30
2.12. PROJEDE KULLANILAN RÖLE MODÜLÜ	31
2.13. PARÇALARIN TASARIMIN İÇİNDE YERLEŞTİRİLME PLANI.....	32
2.14. ÖLÇÜMLERİN YAPILDIĞI TÜNEL KISMININ TASARIMI	32
2.15. CİHAZIN MONTAJLANMIŞ SON HALİ	33
2.16. CİHAZIN ELEKTRONİK AÇIK DEVRE ŞEMASI	34

ÇİZELGELER DİZİNİÇizelgelerSayfa

1.1.	Hava İçin Kullanılan Katsayılar [9].....	2
2.1.	Ürünün Üretim Maliyeti	37
3.1.	Cihazın Diğer Sensörle Karşılaştırılması.....	38

1. NEM HAKKINDA TEMEL BİLGİLER

Bu bölümde, projemizin çalışma mantığının anlaşılabilmesi için nem hakkında teorik bilgiler, nem ölçüm sistemleri ve kalibrasyon metotları hakkında temel bilgiler aktarılmıştır.

1.1. Nem İle İlgili Temel Bilgiler

Nem, havanın veya bir gazın içindeki su buharını belirtir. Su buharı atmosferde en çok bulunan gazlardan biridir. Nem, hava ve hava ile temas eden malzemelerin birçok özelliğini doğrudan etkiler. Örneğin yüksek nemlilik sıcak günlerin daha sıcak hissedilmesine neden olurken düşük nemlilik boğaz kuruluğu gibi sorunlara neden olmaktadır. Ayrıca, nem çeşitli üretim aşamalarında, depolamada ve test aşamalarında kritik bir öneme sahiptir.

1.2. Kuru Hava

Hava, nitrojen, oksijen ve küçük orandaki diğer gazların karışımından oluşmaktadır. Atmosferdeki hava su buharı içermektedir ve atmosferik hava olarak adlandırılmaktadır. Atmosferik havanın içerdiği su buharı nem olarak da adlandırılmaktadır. Buna karşın, hava eğer su buharı içermez ise buna kuru hava denmektedir. Havadaki nem, okyanuslardan, nehirlerden, göllerden hatta insan vücudunda bile oluşan buharlaşma ve yoğunlaşmalar sonucu değişebilir. [1]

1.2.1 Kuru havanın termodinamik özelliklerinin hesaplanması

Kuru hava için ideal gaz varsayımı yapılarak denklemler oluşturulabilmektedir. Çok düşük sıcaklıklar hariç genellikle doğru bir kabuldür. Çok soğuk uygulamalarda bu kabul hatalara sebep olmaktadır ancak bu sıcaklıklarda havayı neredeyse tamamen kuru kabul edilebilmektedir. Çoğu modelde havanın özgül ısısının sabit olduğu varsayımı yapılmaktadır. İdeal gaz varsayımına göre hava özgül ısısının sıcaklığın fonksiyonu olarak değişir ancak basınç ve yoğunluğa göre değişmediği varsayılır. Hava entalpi denklemine göre kuru hava özgül ısı denklemi:

$$C_{pi}(T) = A_i + B_i \cdot 10^{-3} \cdot T + C_i \cdot 10^5 / T^2 + D_i \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad T_{Li} \leq T \leq T_{Hi} \text{ KJ/kmol K}$$

şeklindedir. A_i , B_i , C_i , ve D_i denklemin T_{Li} ve T_{Hi} sıcaklık bölgesinde geçerli olan denklemin katsayılarıdır. Çeşitli sıcaklık aralıklarına göre çeşitli katsayılar tanımlanabilir. Bu katsayılar gerçek tablo değerlerinden eğri uydurma yöntemleri yardımıyla elde edilir. En küçük kareler yöntemi en yaygın eğri uydurma yöntemidir. Hava için kullanılan katsayılar çizelge 1.2.1.1. verilmiştir. [9]

Çizelge 1.1. Hava için kullanılan katsayılar [9]

A_i (kJ/kmolK)	B_i (kJ/kmolK ²)	C_i (kJ/kmol)	D_i (kJ/kmolK ²)	T_{Li} (K)	T_{Hi} (K)
29,047161	-0,433713	-0,000002	1,817719	298	300
27,207805	2,827698	0,659532	3,730159	300	700
23,152888	13,572045	1,771258	-3,861914	700	1200
32,626366	2,905654	-21,594929	-0,426172	1200	2000
34,281873	1,663946	-30,461673	-0,163194	2000	3000
40,909077	-0,889286	-166,788901	0,118143	3000	6000

Bu değerler Nelder-Mead tekniği kullanılmış ve tablo değerleri özgül ısı denkleminin integrasyonundan oluşan entalpi denkleminde alınmıştır. [9]

Entalpi denklemi ise:

$$h(T) = h_0 + \left(\sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} C_{pi}(T) dT \right) + \int_{T_{Li}}^T C_{pi}(T) dT$$

h_0 entalpi sabiti referans değer olarak alınan 298 K noktasındaki entalpi olup değeri $h_0=8636.3959339$ KJ/kmol olarak alınmıştır. Entropi denklemi ise:

$$s(T, P) = s_0 + \left(\sum_{i=1}^{N-1} \int_{T_{Li}}^{T_{Hi}} \frac{C_{pi}(T)}{T} dT \right) + \int_{T_{Li}}^T \frac{C_{pi}(T)}{T} dT + R \ln \frac{P}{P_0} \dots$$

1.3. Su Buharı

Su buharı, gaz fazındaki su anlamındadır. Su buharı, sıvı suyun buharlaşma ve kaynaması veya buzun süblimleşmesi ile oluşur. Atmosferik şatlar altında su buharı buharlaşma ile sürekli oluşmakta ve yoğunlaşma ile de azalmaktadır.

1.3.1. Su buharının termodinamik özellikleri

Su buharı için gerçek gaz kabulü yaptığımız zaman hal denklemi denen $P(T,v)$ şeklinde ifade edilen denklem sistemleriyle hesaplanabilirler. P basınç, T sıcaklık ve v özgül hacmi ifade etmektedir. Keenan, Keyes, Hill ve Moore denkleminde hal denklemi Helmholtz serbest enerjisi (Ψ) formunda verilmiştir. [9]

$$(T, \rho) = \Psi_0(T) + RT \ln(\rho) + \rho Q(\rho, \tau)$$

$$\Psi_0(T) = \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{\tau^{i-1}} + C_7 \ln T + C_8 \ln \frac{T}{\tau}$$

$$Q(\rho, \tau) = (\tau - \tau_c) * \sum_{j=1}^7 (\tau - \tau_{aj})^{j-2} \left[\sum_{i=1}^8 A_{ij} (\rho - \rho_{aj})^{i-1} + e^{E\rho} \sum_{i=1}^8 A_{ij} \rho^{i-9} \right]$$

Burada $=1000/T$ (K) sıcaklık, $R=4.6151$ (bar*cm³/gK) gaz sabiti, ρ yoğunluktur. A_{ij} , C_i ve $E=4,8$ denklem sabitleridir.

1.4. Nemli Hava

Su buharı havada her zaman bir miktar bulunmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak taşıyabileceği su buharı miktarı değişebilmektedir. Sıcaklık arttıkça taşıyabileceği maksimum su buharı miktarı artmakta iken aynı şekilde sıcaklık düşürkçe de bu miktar azalma eğilimi göstermektedir. Çiy noktası, havanın taşıyabileceği maksimum su buharındaki sıcaklığı niceleyen kavramdır. [2]

1.4.1. Özgül nem

Kuru havanın birim kütlesinde bulunan su buharının kütlesi belirlenerek havadaki su buharı miktarı belirlenebilir. Bu değer mutlak veya özgül nem olarak adlandırılmaktadır ve ω ile gösterilmektedir.

1.4.2. Bağlı nem

Hava ısındıkça taşıyabileceği maksimum su buharından fazlasını taşımaya çalışır. Çiy noktası ise havanın ne kadar su buharı taşıyabileceğinin bir ölçüsüdür. Bağlı nem ise havanın belirli sıcaklıkta taşıyabileceği maksimum nem ile havanın içerdiği nemin oranıdır. [3]

Bağlı nem doğru olarak mol oranlarıyla tanımlanabilir.

$$\%RH = \frac{X_v}{X_w} * 100$$

X_v : T sıcaklığında ve P basıncında su buharı mol oranı

X_w : T sıcaklığında ve P basıncında hava su buharıyla doymuş olsaydı su buharı mol oranıdır.

Gaz için:

$$X = \frac{P_v}{P}$$

eşitliğidir.

P_v : Gazın sadece su buharı tarafından uygulanan kısmi basıncı

P : Gazın mutlak basıncı

Hava su buharı ile doydüğunda, P_v bilindiğinden $e_w(T)$ havanın suya göre doyma buhar basıncı olur.

$$X_w = \frac{e_w(T)}{P_c}$$

e_w : T sıcaklığında havanın suya göre doyma buhar basıncı

P_c : Ölçülen mutlak basınç

T_s sıcaklığında havanın suya göre doyma buhar basıncının doyma buhar basıncına oranından su buharı mol oranını elde edebiliriz.

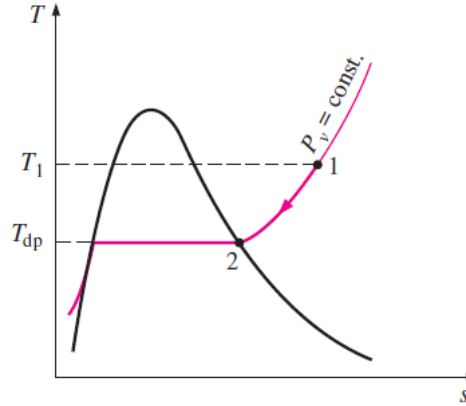
$$X_v = e_w(T_s) / P_s$$

$e_w(T_s)$: T_s sıcaklığında havanın suya göre doyma buhar basıncı

P_s : Doyma buhar basıncı

1.4.3. Çiy noktası

T_{dp} , hava sabit basınçta soğutulduğunda yoğunlaşmanın başladığı sıcaklık diye tanımlanır. Başka bir deyişle T_{dp} suyun aynı buhar basıncındaki doyma sıcaklığıdır. Hava sabit basınçta soğurken, buhar basıncı P_v de sabit kalır. Bu yüzden, havadaki buhar, doymuş buhar çizgisine gelinceye kadar sabit basınçta soğuma işlemi devam eder. Bu noktada ki sıcaklık çiy noktası sıcaklığıdır ve sıcaklığın daha da düşmesi durumunda, buharın bir bölümü yoğunlaşarak karışımdan ayrılır. Bunun sonucu olarak havadaki su buharı ve dolayısı ile P_v de azalır. Yoğunlaşma işlemi sırasında hava doymuş halde kalır ve bağıl nemin %100 olduğu doymuş buhar çizgisini izler. Doymuş havanın çiy noktası sıcaklığı ile kuru termometre sıcaklığı aynıdır. [1]



Şekil 1.1. Çiy noktası T-s diyagramı

İki basınç ilkesine göre nem kaynağında üretilen su buharı-hava karışımının su buharına doyduğu sıcaklık noktasıdır. P_c basıncındaki karışımın çiy noktası için kütlenin korunumu ilkesinden su buharının mol oranı X_{ws} ile ölçülen nemin mol oranı X_{wc} eşittir.

$$X_{ws} = X_{wc}$$

$$X_{ws} = f(P_s, T_s) e_w(T_s) / P_s$$

$$X_{wc} = \frac{f(P_c, T_d) * e_w(T_d)}{P_c}$$

$f(P, T)$: İdeal olmayan durumlar için düzeltme faktörüdür.

$e_w(T_s)$: T_s sıcaklığında suyun doyma su buhar basıncı

$e_w(T_d)$: T_d sıcaklığında suyun doyma su buhar basıncı

Sıcaklık birimi Kelvin ve basınç birimi Pascal'dır. Bu eşitlikte sıcaklıklar ve basınçlar ölçülerek çözüldüğünde T_d sıcaklığı elde edilir.

1.4.4. Nemli havanın termodinamiksel özellikleri

İki gaz birlikte bulunduklarında kısmi basınçları, toplam basıncı oluşturur.

$$P = P_{kuru\ hava} + P_{su\ buharı}$$

Toplam gaz kütlesi, gazların kütleleri toplamıdır.

$$m_{toplam} = m_{kuru\ hava} + m_{su\ buharı}$$

Özgül nem ise su buharı kütesinin, hava kütesine oranıdır.

$$w = \frac{m_{su\ buharı}}{m_{kuru\ hava}}$$

Karışımındaki her iki gazın da ideal olduğu varsayılırsa ve gazlar aynı hacmi kaplıyorsa:

$$P_{kuru\ hava} * V = m_{kuru\ hava} * \frac{R}{M_{kuru\ hava}} * T$$

$$P_{su\ buharı} * V = m_{su\ buharı} * \frac{R}{M_{su\ buharı}} * T$$

P: basınç, m kütle, T (K) sıcaklığıdır.

$$w = \frac{\frac{P_{su\ buharı} * V}{1} / \frac{P_{kuru\ hava}}{1}}{\frac{1}{M_{su\ buharı}} * T} = \frac{P_{su\ buharı}}{P_{kuru\ hava}} * \frac{M_{su\ buharı}}{M_{kuru\ hava}}$$

$$w = \frac{M_{su\ buharı}}{M_{kuru\ hava}} * \frac{P_{su\ buharı}}{P_{kuru\ hava}} = \frac{M_{su\ buharı}}{M_{kuru\ hava}} * \frac{P_{su\ buharı}}{P - P_{su\ buharı}}$$

Burada su buharının kısmi ve toplam basıncı biliniyor ise havadaki nem miktarı hesaplanabilir. Molar kütle oranları

$$\frac{M_{su\ buharı}}{M_{kuru\ hava}} = \frac{18,016}{28,964197} = 0,6220093$$

sayısına eşittir.

Bağıl nem, su buharı ile doymuş su buharı molar yüzdelerinin aynı sıcaklıktaki oranıdır.

$$\Phi = \frac{x_{su\ buharı}}{x_{doymuş\ su\ buharı}} = \frac{P_{su\ buharı}}{P_{doymuş\ su\ buharı}}$$

Aynı sıcaklıktaki su buharı kütlesi yüzdesi ile doymuş su buharı kütleli yüzdesi oranları doyma yüzdesidir.

$$\mu = \frac{m_{su\ buharı}}{m_{doymuş\ su\ buharı}} = \frac{w_{su\ buharı}}{w_{doymuş\ su\ buharı}}$$

Kuru hava ve su buharı entalpileri ile yaş hava entalpisi, entropileri ile de yaş hava entropisi hesaplanabilir.

$$H = m_{kuru\ hava} * h_{kuru\ hava} + m_{su\ buharı} * h_{su\ buharı}$$

$$h = \frac{H}{m_{kuru\ hava}} = h_{kuru\ hava} + \frac{m_{su\ buharı}}{m_{kuru\ hava}} * h_{su\ buharı} \\ = h_{kuru\ hava} + w * h_{su\ buharı}$$

$$S = m_{kuru\ hava} * S_{kuru\ hava} + m_{su\ buharı} * S_{su\ buharı}$$

$$s = \frac{S}{m_{kuru\ hava}} = S_{kuru\ hava} + \frac{m_{su\ buharı}}{m_{kuru\ hava}} * S_{su\ buharı} = S_{kuru\ hava} + w * S_{su\ buharı}$$

Adyabatik doyma sıcaklığı, havanın sonsuz uzunluktaki tamamen izole edilmiş su dolu bir kanaldan geçirilirken doyma noktasına ulaşır ve bu doyma sıcaklığına ulaşmış suyun sıcaklığında yaş havanın sıcaklığına adyabatik doyma sıcaklığı adı verilir. İdela bir kavram olup enerji dengesinden:

$$h + (w' - w) * h'_{su} = h'$$

ile hesaplanır. Giren havanın enerjisi ve buharlaşın suyun enerjisinin toplamı doymuş havanın enerjisi olduğu anlamına gelmektedir. H' : doymuş yaş havanın entalpisi, h'_{su} : kanalda bulunan ve bir kısmı sıvılaştıran havanın entalpisi ve w' : doymuş yaş havanın entalpisi. Bu denklemin çözümü bize T^* adyabatik doyma sıcaklığını verir. Adyabatik doyma sıcaklığı termodinamik yaş termometre sıcaklığı olarak da anılır. Termodinamik yaş termometre sıcaklığının yaş bir termometrede ölçülen sıcaklıktan farklı olduğunu burada belirtelim. Gerçek termometrenin okuduğu değer

ısı transferine bağılı olarak termodinamik yaşı termometre sıcaklığından sapacaktır. Yaşı havayla ilgili tanımlanması gereken son özellikte çış noktası sıcaklığıdır. Yaşı havanın basıncını değıştirmeden sıcaklığını düşürdüğümüzde aynı basınç altında yoğıuşmanın başladığı sıcaklık olarak tanımlıyabiliriz. Verilen kısmi basınç için su buharı yoğıuşma sıcaklığına eşittir. [8]

1.5. Nem Ölçüm Sistemleri

Nem, endüstriyel uygulamada sürekli ölçülmesi gereken önemli parametrelerden biridir. Kontrol altında tutulması da önem taşımaktadır. Nemin doğru ölçümü ve bu ölçümün prosedüre uygun olarak ölçülmemesi üretimde ve depolama esnasında zararlar meydana getirebilir. Bu parametrenin düzenli ölçüldüğü gibi, ölçülen bu değerlerin düzenli olarak bilgisayar ortamında kayıt altına alınması da gerekmektedir.

Nem uygulama ve amaca bağılı olarak, referans ölçüm cihazları, veri kaydediciler, sabit ölçüm teknolojisindeki cihazlar ve portatif kontrol amaçlı cihazlar ile ölçülebilir.

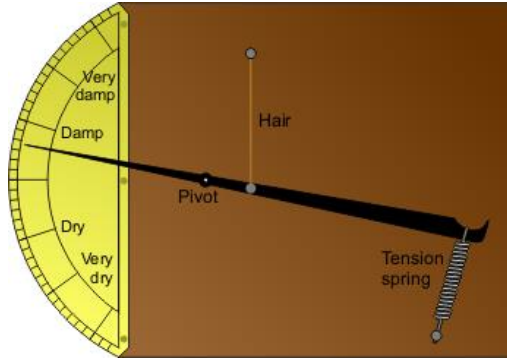
Nem sensörü ne kadar hassassa, klima ve havalandırma sistemlerinin işletim maliyetleri o kadar düşük olur. Uluslararası standartlara göre (ASHRAE Temel İlkeleri, DIN 1946 vb.) klima sistemleri %30...65 RH arası hava nemi seviyelerine sahip olmalıdır. Daha yüksek nem seviyeleri, nemi alınarak gerekli aralığa getirilmeli; daha düşük seviyeler ise nemlendirilmelidir. [4]

1.5.1. Mekanik nem ölçer

Mekanik nem ölçerler, nemin boydaki değışmelere sebep olduğı saç veya organik malzemeler aracılığıyla ölçümün yapıldığı sistemlerdir. Bu değışim grafik üzerindeki saat veya bataryalar ile kayıt yaparlar. En temel tipleri elektriksel güze ihtiyaç duymamaktadır.

Dezavantajları ise yavaş algılamaları, histerezis (gecikme) gözlenmesi ve taşınma esnasında kolay bozulabilmeleridir. Kalibrasyon gerekmektedir ve izlenebilirlik için uygun değıllerdir. Belirsizlikleri de %5 RH - %10 RH aralığındadır. [7]

Elektronik sensör tabanlı nem ölçerler günümüzde daha çok tercih edilmektedir ancak mekanik nem ölçerler, ucuz olmasından dolayı hala takip amaçlı kullanılmaktadır. [5]

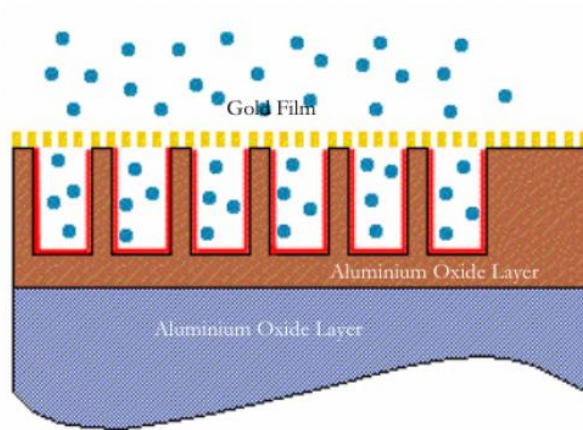


Şekil 1.2. Mekanik nem ölçerin şematik gösterimi

1.5.2. Alüminyum seramik oksit sensörler

Alüminyum oksit ince gözenekli bir hale getirebilmek için anot uç hale getirilmiş seramik destek üzerine bir alüminyum katman yerleştirilir. Alüminyum oksit, altından ince ve geçirgen bir tabaka olacak şekilde kaplanır. Altın ve alüminyum katmanlar sensör elektrotunu oluşturur.

Altın kısım nemi geçirir ve iletkenidir. Alüminyum oksit üzerindeki gözenekler, gaz akışısındaki nem miktarının oluşturduğu su buhar basınç değeri ile orantılı olacak şekilde gazın içindeki nemi soğururlar.



Şekil 1.3. Alüminyum oksit sensörün şematik gösterimi

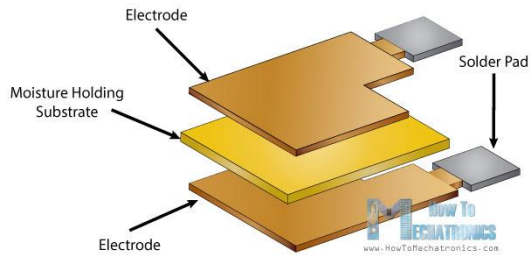
Soğurulan su molekülleri sensörün direncini değiştirir. Sensörün direnci ölçülür ve ölçülen bu değer bir nem değerine dönüştürülür. [6]

Yoğunlaşma toleransı iyidir ve ölçüm aralıkları geniştir. Dezavantajı ise çok düşük mutlak nem değerlerinde dengeye gelmesi yavaştır ve yüksek sıcaklık, basınç değerlerinde kayma eğilimindedirler ve yeniden kalibre edilmeleri gerekebilir. Aşındırıcı kimyasallardan da zarar görme riski taşımaktadırlar. Bu cihazlar genellikle mutlak nem ölçümlerinde kullanılmaktadırlar. Düşük nem değerlerinin ölçülmesinde ve kuru gazların kontrol edilmesinde ve izlenmelerinde de kullanılmaktadırlar. [7]

1.5.3. Empedans, direnç sensörlü nem ölçer

Bu nem ölçerler temel olarak havanın nemine göre su buharını absorbe eden elektronik parçalar üzerinden ölçüm yaparlar. Absorbe ettikleri su buharına göre elektriksel empedans, kapasitif veya rezistif, değişimini ölçerler. Genellikle kablo veya elektronik üniteye doğrudan bağlanıp ekran üzerine doğrudan değeri yansıtabilecek şekilde tasarlanırlar. [5]

Empedans sensörler bağıl neme çiy noktasından daha iyi yanıt verirler. Bu tip sensörler %100 bağıl nem değerinde zarar görmezler ancak kalibre edilmeleri gerekebilir. Yüksek bağıl nem değerlerinde doğruluğu iyidir. Ancak yoğunlaşmayı tolere etmeyip zarar görme riskleri vardır. Yoğunlaşmayı önleyici ek donanımlara gereksinim duyabilirler. Belirsizlikleri %2 ile %3 aralığındadır. [7]

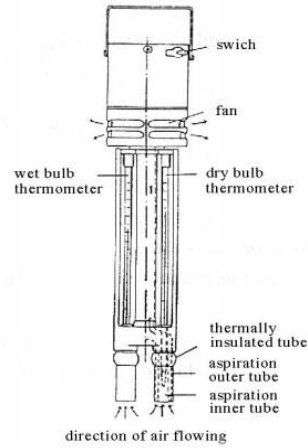


Şekil 1.4. Empedans sensörün şematik gösterimi

1.5.4. Psikrometre (ıslak/kuru hazneli nem ölçer)

Islak bir yüzeyde, suyun buharlaşmasından kaynaklı yüzeyin gizli ısını almasından dolayı ıslak termometre sıcaklığı daha düşüktür. Psikrometreler de kuru termometre sıcaklığı ile ıslak termometre sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak nemi ölçerler.

Yapısal olarak, aynı özelliklere sahip iki termometre içerir. Bu iki termometre de hava ile temas halinde duracak şekilde askıdadırlar. Bu termometrelerden biri kuru öteki ise ıslak termometre sıcaklığını ölçmektedir. Emilen ve emilmeyen havalı olmak üzere iki tiptedirler. Ayrıca hava akımını sağlayan bir pervane vardır. Bu termometre dışarıdan gelecek ısı etkilerinden ve nemden etkilenmeyecek şekilde korunmuştur.



Şekil 1.5. Psikrometrenin şematik gösterimi

Pervane çalıştırılarak ıslak termometre soğutulur. Bu soğuma işleminden sonra ıslak ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak nem ölçümü yapılır. [10]

Termometrenin ölçümleri suyun saflığı, fitil temizliği, pervane hızı, radyasyon etkisi, sıcaklık sensörlerinin doğruluğu, gazın yoğunluğu, akışkanlık ve ısı iletkenlik olmak üzere birçok parametreye bağlıdır ve pratik kullanımda doğru sonuç elde etmek için bakımların düzenli yapılması ve korunma kurallarına uyulması gibi gereksinimleri vardır. Sıcaklık ölçümleri açısından kısıtlı bir çalışma aralığına sahiptir. Doğruluğu orta düzeydir ve %2 RH - %5 RH arasında belirsizliğe sahiptir. [7]

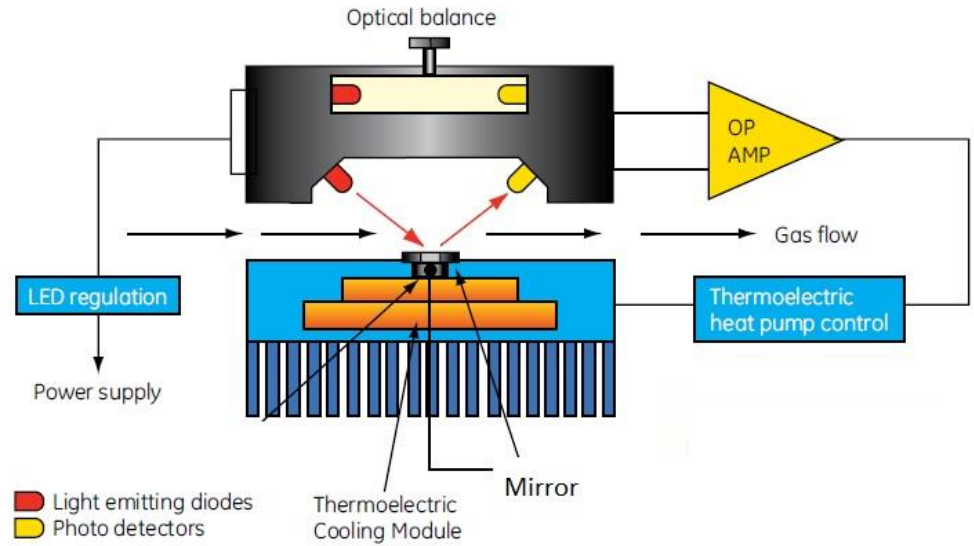
1.5.5. Çiy noktası ölçer

Çiy noktası ölçer, endüstride kullanıldığı gibi metroloji laboratuvarlarında ve standartlarda da kullanılmakta olup aynı zamanda hassasiyet, tekrarlanabilir ölçüm ve kontrolün gerektiği her yerde kullanılabilir. Yüksek hassasiyeti ve uzun süren stabilitesi sayesinde diğer nem ölçüm sistemlerine karşın birçok avantaja sahiptir. Data-logger sistemleriyle kolayca entegre olabilir ve bu sayede kronolojik olarak dataları kayıt edebilir.

Geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bazıları:

- Çevre test odaları
- Motor test hücreleri
- Steril odalar
- Klima ve ısı değiştirici testleri
- Metroloji laboratuvarları

Çiy noktası ölçerler en temel olarak, ayna yüzey üzerine ışık düşürülerek bu ışığı optiksel yöntemlerle detekte ederek yapılan ölçümler sonucunda çiy ve kırağı noktası sıcaklığı tespiti prensibine dayanır. Bunun için ışık cilalanmış metal yüzey veya ayna üzerine düşürülmektedir. Aynı zamanda hassas bir alıcı da bu ışığın yoğunluğunu düzenli olarak ölçmekte, izlemektedir. Bu yüzeyin sıcaklığı termoelektrik ısı pompası yani Peltier ile kontrol edilmektedir. Ayna yüzeyi temiz ve kuru iken yansıyan ışık yoğunluğu maksimumdur. Aksine yüzey soğutulurak suyun yoğunlaşması sağlandığında ise ışık dağılır ve yansıyan ışık yoğunluğu düşer. Ayna ışık sinyali geri besleme olarak kullanılarak yoğunlaşan tabakanın kalınlığı sabit oluncaya kadar ayna yüzeyi soğutulur. Sabit kalınlıktaki yoğunlaşmış tabaka aynayı çevreleyen gaz ile dengede olup gazın çiy veya kırağı noktası sıcaklığı hassas bir şekilde ölçülerek belirlenir.



Şekil 1.6. Çiy noktası ölçerin şematik gösterimi

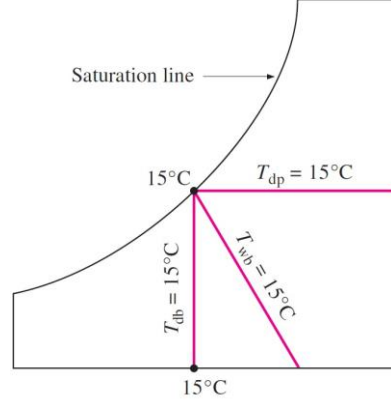
1.5.6. Psikrometrik diyagram

Belli bir basınçtaki atmosferik havanın hali, iki bağımsız şiddet özelliği ile kesin olarak belirlenebilir. İklimlendirme sistemlerinin tasarımında yaygın olarak kullanılır. 1 atm basınç için SI birim sisteminde hazırlanmış bir psikrometrik diyagram Ek 4’de verilmiştir.

Psikrometrik diyagramda, kuru termometre sıcaklıkları yatay eksen, özgül nemler dikey eksen yer almaktadır. P toplam basıncında, P_v buhar basıncı ile ω özgül nemi arasında birebir ilişki olduğundan, bazı diyagramlarda dikey eksen buhar basıncı da gösterilebilir. Psikrometrik diyagramın sol ucunda, bir doğru yerine doyma çizgisi adı verilen bir eğri vardır. Doymuş havanın tüm halleri bu eğri üzerinde yer alır. Bu nedenle bu eğri aynı zamanda %100 bağıl nem eğrisidir. Diğer sabit bağıl nem eğrilerinin şeklide genel olarak aynıdır.

Sabit yaş termometre sıcaklık çizgileri sağa doğru azalan bir görünüşe sahiptirler. Sabit özgül hacim (m^3/kg) çizgileri de benzer şekilde görünürler ancak daha diktirler. Sabit entalpi (kJ/kg kuru hava) çizgileri sabit yaş termometre çizgilerine hemen hemen paraleldir. Bu nedenle bazı diyagramlarda sabit yaş termometre çizgileri sabit entalpi çizgileri olarak kullanılır. [1]

Doymuş havanın kuru termometre, yaş termometre ve çiy noktası sıcaklıkları aynıdır. Bu nedenle atmosferik havanın çiy noktası sıcaklığı, psikrometrik diyagram üzerindeki herhangi bir nokta (hal) için, bulunulan noktadan doyma eğrisine yatay bir doğru çizerek ($\omega = \text{sabit}$ veya $P_v = \text{sabit}$ doğrusu) bulunabilir. Bu doğrunun doyma eğrisi ile kesiştiği nokta çiy noktası sıcaklığıdır. [1]



Şekil 1.7. Çiy noktasının psikrometrik diyagram üzerinde gösterimi

Psikrometrik diyagram iklimlendirme işlemlerinin şematik gösterimi için de yararlı bir araçtır.

1.6.Nem Ölçümünde Kullanılan Kalibrasyon Metodları

1.6.1. İki basınç yöntemi

Bu tip kaynaklarda, yüksek basınçtaki hava akımı, sabit bir sıcaklıkta doymun duruma getirilir ve sonra aynı sıcaklıkta fakat daha düşük basınçtaki, genellikle ortam basıncındaki nem odasına bırakılır. Doymunlaştırıcı ve nem odasındaki sıcaklık ve basınç ölçülerek bağıl nem hesaplanır. [7]

1.6.2. İki sıcaklık yöntemi

İki-sıcaklık yönteminde, belli sıcaklıktaki hava su buharı ile doymun duruma getirilir ve sonra havanın sıcaklığı belirlenen daha yüksek bir sıcaklığa yükseltilir. İki-sıcaklık yöntemi kullanılarak, çok düşük düzeylerde su buharı içeren gazların

üretilebilmesi için düşük sıcaklık kırıgı noktası ($-30\text{ }^{\circ}\text{C} - -100\text{ }^{\circ}\text{C}$) nem kaynakları yapılmaktadır. [7]

1.6.3. İki akış yöntemi

Bu yöntemde kuru hava iki kısma ayrılır yani iki ayrı gaz akışı vardır. Bir akışta kuru gaz, diğerinde ise suya veya buza göre doymuş duruma getirilmiş gaz taşınır. Bu iki akış nem odasında tekrar birleştirilir. Test odasındaki bağıl nem, iki gaz akışının bilinen akış oranları kullanılarak hesaplanabilir. Bu yöntem diğer yöntemlere oranla daha basit olduğu için bir çok kişi tarafından tercih edilmekte ve çeşitli üniversiteler veya laboratuvarlarda kullanılmaktadır. [7]

1.6.4. Doymuş tuz eriyikleri

Doymuş tuzlar, belli karakteristik bağıl nem değerlerini üretirler. Örneğin, potasyum sülfat 20°C 'de % 98 bağıl nem değeri üretirken, lityum klorür aynı sıcaklıkta % 11 bağıl nem değeri üretir. Bu değerler, tuzun kimyasal yapısına, tuz konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Bu metot uzun yıllardır kullanılmakta ve birçok kullanıcı tarafından uygulanmaktadır. Doymuş tuz solüsyonlarının bir özelliği de kararlı derişime sahip olmalarıdır. Böylece sabit bağıl nem üretirler. Kullanıma hazır, çeşitli sabit nokta bağıl nem kapsülleri ticari olarak satılmaktadır. Bazıları tekrar kullanıma uygundur. [7]

2. SİSTEMİN KURULUMU

Bu bölümde, sistem kurulurken kullanılan parçalar, mikro kontrolcü ve java programı incelenmiş, çizimler gösterilmiş, maliyet tablosu belirtilmiş ve uygulamanın birleştirildikten sonra ve test sırasında çıkan hatalar ve düzeltmeleri aktarılmıştır. Kullanılan parçalar, bu parçalara alternatif çözümler ve tercih sebepleri belirtilmiştir.

2.1. Kullanılacak Sistem Seçimi ve Çalışma Prensibi

Projede, metroloji laboratuvarlarında kullanılan, en hassas nem ölçme yöntemi olan çiy noktası ölçer sistemi geliştirilmesine karar verilmiştir. Bu çiy noktası ölçer sisteminin çalışma prensibi şu şekilde belirlenmiştir. Sıcak tarafı bir fan ve bir kanatçık yardımıyla soğutulan peltier, soğuk tarafı ile bir aynayı soğutacaktır. Bu ayna bir fan yardımıyla havanın çekildiği tünelde bulunmaktadır ve bir power LED

ile sürekli aydınlatılmaktadır. LED ile aynanın normaline göre simetrik olarak konumlandırılmış bir LDR sensör yardımıyla sürekli olarak ışık şiddeti izlenmektedir. Röle yardımıyla kumanda edilen bu peltier, soğutmaya başladıktan sonra ayna çiy noktasına geldiği anda ayna yüzeyindeki çillenme ışık şiddetini değiştirerek LDR direncini değiştirmeye başlayacaktır. Tam bu noktada ayna sıcaklığı bir sensör ile ölçülerek tespit edilir. Tünele girişte konumlanan bir diğer sensör ise sürekli olarak kabin basıncı ve sıcaklığını ölçmektedir. Bu sistem bir Arduino Mega kontrolcüsü ile yönetilmektedir. Bu kontrolcünün yazılımı bu prensibi yönetecek şekilde yazıldığı gibi aynı zamanda bilgisayarda çalışan bir java programı ile sürekli olarak haberleşmektedir. Bilgisayarda çalışan java programı Arduino kartı kontrol etmektedir. Java programından yollanan sinyallere göre Arduino programında yazılmış görevler yerine getirilerek ölçüm yapılır. Çiy noktası anında ayna sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve ortam basıncı bilgileri ölçülüp bilgisayardaki java programına yollanır. Bu veriler bir değişkene karşılık gelmektedir ve java programı hal denklemleri üzerinden bağıl nem hesaplamakta ve psikrometrik diyagram çizebilmektedir.

2.2. Sistemin Tasarımı

Bu bölümde sistemde kullanılacak parçalar hakkında bilgiler verilmiştir.

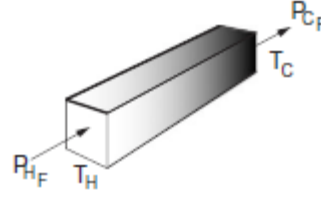
2.2.1. Peltierler

Isıyı termoelektrik etki ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Çiy noktası ölçerlerde aynayı çiy noktasına düşürebilmek amacıyla termoelektrik ısı pompaları yani peltierler kullanılmaktadır.

2.2.1.1. Termoelektrik etki

Uç noktalarda farklı sıcaklıklarda olan, kalan kenarları çok iyi yalıtılmış bir bar üzerinde sıcaklık farkı oluşturulur veya elektrik akımı verilir. Bu durumda ısıl güç:

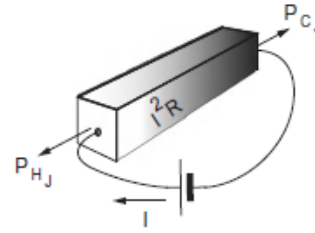
$$P_{HF}=P_{CF}= \Lambda \cdot (T_H - T_L).$$



Şekil 2.1. Barın ısı davranışı

Λ (W/K) ısı iletim katsayısı, T_H (K) yüksek sıcaklıklı uç sıcaklığı, T_L (K) düşük sıcaklıklı uç sıcaklığı, bara giren ısı güç P_{HF} (W), çıkan ısı güç ise P_{CF} (W) kabul edilir. Oluşan ısı iletken iki uca akma eğiliminde olduğundan oluşacak elektriksel güç:

$$P_{HJ} = P_{CJ} = 0.5 \cdot R \cdot I^2.$$



Şekil 2.2. Barın elektriksel davranışı

Burada elektriksel güç P_{HJ} ve P_{HF} (W) ters yönlü olduklarından P_{HJ} negatif olur. Bu denklemler birleştirildiğinde ise:

$$\begin{aligned} P_H &= \Lambda(T_H - T_C) - \frac{1}{2}RI^2, \\ P_C &= \Lambda(T_H - T_C) + \frac{1}{2}RI^2. \end{aligned}$$

Bu sayede termal iletkenliğini ve elektriksel direncini bildiğimiz bir sistemde, istediğimiz sıcaklıklara göre ne kadar ısı veya akım vermemiz gerektiğini hesaplayabiliriz.

Termoelektrik etki, Peltier, Seebeck etkisi ve Thomson etkisini kapsar.

2.2.1.2. Peltier etkisi

Farklı iki metalin birleşme noktalarına akım verilmesi sonucunda ısıtma veya soğutmaya sebep olması ilkesine dayanır. 1834 yılında Fransız Jean Charles A. Peltier tarafından keşfedilmiştir. Peltier katsayısı ile karakteristiği belirlenir. [11]

2.2.1.3. Seebeck etkisi

1821-3 Thomas Johann Seebeck tarafından bulunmuştur. İletken malzemenin iki tarafına sıcaklık farkı uygulandığı anda elektrik gerilimi elde edilmesi prensibine dayanır. Elde edilen gerilim, sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. [12]

$$V = \alpha \Delta T.$$

V: gerilim (Volt)

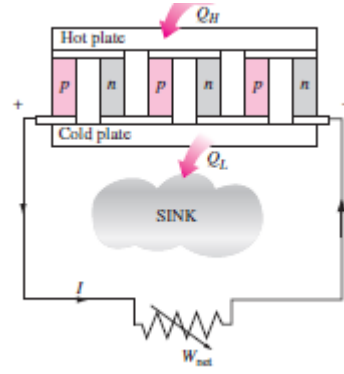
α : Seebeck katsayısı (V / °C)

2.2.1.4. Thomson etkisi

Sıcaklık farkı ile birlikte akım geçtiği zaman ısı iletken üzerine absorbe edilmesi veya üretilebilmesi ilkesidir. [12]

2.2.1.5. Peltier yapısı

Peltierler 2 yarı iletken barındırırlar. Bunlar n tipi ve p tipidir. Bu yarı iletkenler peltierin sahip olduğu iki paralel düzlemsel yüzey arasındadırlar. Doğru akım bu yarıiletkenler arasında akmaya başladığında sıcaklık farkı oluşturmaya başlarlar. Bu yüzeyler genellikle seramiktirler. [12]



Şekil 2.3. Peltierin şematik gösterimi

2.2.1.6. Peltier kimlikleri

Piyasa da her termoelektrik soğutucunun tanımlanması için belirli bir isimlendirmesi vardır. Bu isimlendirme genellikle “TE” ile başlar. Bunun ardından, “C” veya “S” harfleri gelir. “C” standart boyutu, “S” ise küçük boyutu niteler. Daha sonra, kademe sayısını niteleyen rakam gelir. Tireden sonra gelen 3 rakam peltierdeki hücre sayısını vermektedir. Sondaki 2 rakam ise peltierin kaç amper akım ile çalıştığını nitelendirmektedir.

Örneğin “TEC1-12706” isimli peltierde: “C” standart boy, “1” bir katman, “127” hücreyi ve “06” 6A akım ile çalışması gerektiğini nitelendirmektedir.

Bazen en sona “T” harfi gelebilmektedir. Bu da maximum çalışma sıcaklığını belirlemektedir. Örneğin “T125” gibi bir ekleme yapılmaktadır.

2.2.1.7. Peltier Verimleri

Peltierlerin soğutma ve ısıtma performans katsayıları (COP) çok düşük olup 0.3 – 0.7 arasındadır. Oysaki buhar sıkıştırmalı klasik soğutma makinalarında bu değer 2 – 4 arasındadır. [13]

2.2.2. Arduino

Arduino, kullanımı kolay, açık kaynak kodlu yazılım ve donanıma sahip bir mikrodenetleyici prototipleme platformudur. Açık kaynak ifadesi, yazılımın kaynak koduna ve donanım bilgilerine erişiminin serbest olması ve isteğe göre değiştirilebilmesi anlamındadır. Baskılı devresi, şematik tasarımı, PC üzerinde çalışan derleyicisi, kütüphaneleri ve tüm detayları ile internet ortamında paylaşılmaktadır. Arduino platformunda Atmega ailesinden mikrodenetleyiciler kullanılır. Arduino platformu, alt seviye mikroişlemci bilgisi gerektirmemesi ve zengin bir kütüphane desteği olması sebebiyle kolaylık sağlar. Arduino programlamada C/C++/ Java tabanlı bir dil kullanmaktadır.

Baş tasarımcılarının (Massimo Banzi ve David Cuartielles) İtalyan olmaları nedeniyle cihazın adı da doğal olarak İtalyancadan seçilmiş. Kelime “Sıkı arkadaş” anlamına gelen bir erkek ismidir. Wikipedia kaynağına göre Arduino'ya ilham veren Wiring platformu, Ivrea Tasarım Enstitüsü'nde Hernando Barragan tarafından geliştirilmiş. Ivrea'lı Arduin ise bu enstitünün bulunduğu kasabaya ait tarihi bir karakterdir.

Hem donanımı, hem de yazılımı açık kaynaklıdır, bu sebeple ucuzdur ve erişilebilirdir, deneysel amaçlı yapılacak işler için uygun fiyatlı geliştirme ortamı sunar. USB ve Bluetooth gibi evrensel iletişim haberleşme sistemlerini kullanabilir. İşlemci ile veri giriş çıkışları kolaylıkla sağlanabilir. Alt seviye mikroişlemci bilgisi gerektirmemektedir. [14]

2.2.2.1. Arduino Mega®

Atmega2560 işlemcisini kullanır. 54 adet dijital çıkışı ve bunlar içinde 14 PWM çıkışı vardır. USB-seri iletişim dönüştürücü olarak ATmega8U2 veya ATmega16U2 kullanır. Bu daha hızlı aktarıma olanak sağlar. Bellek olarak birçok modele kıyasla daha yüksektir, ATmega2560 ile 256k flash memory'ye sahiptir.

Projemizde Arduino Mega kullanılmaktadır. Göreceli daha düşük maliyeti, yeterli belleği ve çok sayıdaki GPIO pinleri ile tercih sebebi olmuştur.

2.2.2.2. Arduino Due®

Arduino Due Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 cpu'ya sahip 32bitlik mikro denetleyici geliştirme kartıdır. Bu Arduino modeli Atmel firmasının AVR serisi 8 bit mikro denetleyicileri yerine Cortex – M3 tabanlı ATSAM3x8E mikro denetleyicisi kullanılmaktadır. Yani Arduino'nun ARM tabanlı bir versiyonudur.

Bu mikro denetleyicinin üzerinde kullanıma hazır 54 adet dijital giriş/çıkış pini bulunmaktadır, 12 tanesini PWM çıkışıdır. 12 adet analog giriş, 4 UART, 84Mhz Kristal, USB OTG soketi, 2 DAC(digital to analog), 2 TWI, güç soketi, ICSP konektörü, JTAG konektörü, reset ve silme tuşları bulundurmaktadır. Arduino Due 3.3V ile çalışmaktadır.

Daha hassas sonuçları 12bit'lik analog okuma imkânı sayesinde elde etmek mümkündür. Diğer Arduino modellerinden daha gelişmiş özelliklere sahiptir. Göreceli olarak daha pahalıdır. Projemizde de aynı yazılıma çok ufak değişiklikler ile Arduino Due kartı adapte edilip daha hassas ölçümler yapmaya imkân tanımaktadır.

2.2.3. Sensörler

Çiy noktası ölçer projesinde, çiy noktası sıcaklığı tespiti için birçok sensör kullanılmaktadır. Bunun sebebi çiy noktası ölçerin çalışma prensibi olarak daha öncede belirtildiği gibi ayna üzerindeki ışık yoğunluğunun sürekli olarak izlenmesi, tünel yani kontrol hacminin basıncı, ortam sıcaklığı ve ayna üzerindeki sıcaklığın tespiti gerekmektedir. Bu değişkenlerin tespiti için bu sensörler ile ölçüm yapılmaktadır. Ayrıca çiy noktasında çillenme tespiti için LDR'nin direncindeki değişimi için ölçümler belirtilmiştir.

Üzerine düşen ışığa bağlı olarak üstünden geçen akımı değiştiren elemanlara optik sensörler (algılayıcılar) denir. Optik sensörler ışık miktarındaki değişimleri elektriksel işaretlere dönüştürürler.

Sıcaklık sensörleri ölçüm yapılan ortamdaki sıcaklık değişimini algılayan cihazlardır. Sıcaklık en çok ölçülen termodinamik büyüklüktür. Mekanik, elektronik, kimyasal bütün sistemler ısı enerjisinden etkilenmektedir. Sıcaklığın ölçülmesi bu yüzden büyük önem taşımaktadır.

Çiy noktası ölçer projesinde de nem ölçümü için ayna sıcaklığının ve ortam yani kabin sıcaklığının hassas bir şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Nemin, hal denklemlerinden hesaplanabilmesi için 3 temel değişkenin hesaplanması gerekir. Bu değişkenler: ayna sıcaklığı, kabin sıcaklığı ve kabin basıncıdır.

2.2.3.1. Foto dirençler - LDR

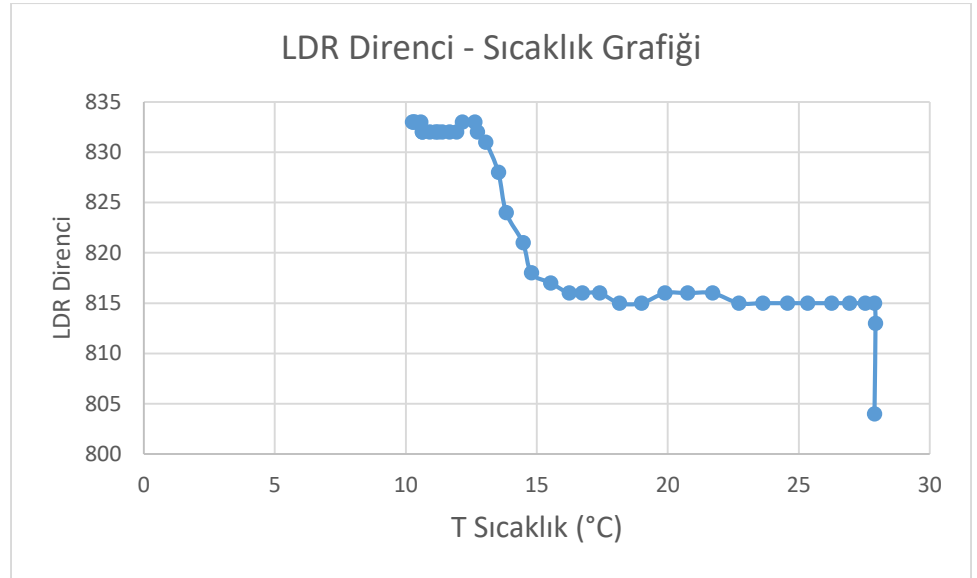
Çiy noktası ölçer projesinde, 11mm çapında 2 adet LDR kullanılmıştır. Bu LDR 'lerden biri referans olarak kullanılması hedeflenmiştir. Ancak iki LDR'nin de senkronize çalışması için LED regülatörü gerekmektedir ve LED regülatörü olmadığından referans LDR'si iptal edilmiştir. Diğer ve asıl LDR ise aynayı sürekli

olarak izlemektedir. Arduino MEGA'nın analog girişine bağlıdır. Ek 1.'de belirtilen Arduino yazılımında bağlantının yapıldığı pin ve oluşturulan cihazdaki LDR'nin nasıl çalıştığı adım adım görülmektedir.

LDR'nin çiy noktası sıcaklığını tespit ederken ışık şiddetindeki değişim deneyler sonucu belirlenmiştir. "11" ve "12", ölçüm başladıktan sonra maksimum ve minimum ışık şiddeti değerleridir. Tekrar eden deneyler sonucu 11 ve 12 arasındaki fark tespit edilmiş ve "11-12" ifadesinin ayna çillendiğinde oluşan farkı bu şekilde belirlenmiştir. Bu değişimin grafiklerinden bazıları aşağıda belirtilmektedir.

Işıқта az direnç, karanlıkta yüksek direnç gösteren devre elemanlarına LDR denir. Aydınlıkta LDR'lerin üzerinden geçen akım artar, karanlıkta ise azalır.

LDR'ler, CdS (kadmiyum sülfür), CdSe (kadmiyum selenür), selenyum, germanyum ve silisyum vb. gibi ışığa karşı çok duyarlı maddelerden üretilmektedir. LDR yapımında kullanılan madde, algılayıcının hassasiyetini ve algılama süresini belirlemekte, oluşturulan yarı iletken tabakanın şekli de algılayıcının duyarlılığını etkilemektedir. LDR'ye gelen ışığın odaklanmasını sağlamak için üst kısım cam ya da şeffaf plastikle kaplanmaktadır. [15]



Şekil 2.4. LDR direnci, sıcaklık ölçüm ilişkisi

2.2.3.2. Fotodiyotlar

Projede başlangıçta TSL2591 kullanılmıştır. Çiy noktası tespiti için belirli ışık şiddeti deneysel olarak tespit edilip, Arduino programlanmıştır. Ancak maliyetinin göreceli daha yüksek olması sebebiyle LDR ile değiştirilmiştir.

Foto diyotlar da bir tip optik sensördür. Diyot tek yönlü akım geçiren elemandır. Foto diyot ise ışığın etkisi ile tek yönlü akım geçişini sağlar. Üzerine ışık düştüğünde iletken olarak anot ucundan katod ucuna doğru akım geçirir. Fotodiyodlarda mercekli kısma gelen ışığa göre katotdan anota doğru akan düşük değerli akım değişir. Geçen akım, ışığın şiddetine bağlı olarak 100 mA-150 mA, gerilim ise 0,14-0,15 V arasında değişmekte olup çok küçüktür. Fotodiyotların çalışma hızı son derece yüksektir (yaklaşık 1 ns ile 0,2 ms). Bu hızlı davranışları ve boyutlarının küçük olması sayesinde fiber optik kabloyla veri iletiminde kullanılmaktadırlar. Bu elemanlar, hem bir gerilim üretici hem de ışık algılayıcı olarak kullanılabilir. Fotodiyodlar enfraruj ışınlarına karşı da duyarlıdır. Bunu sağlamak için, diyodun gövdesindeki alıcı kısmın merceği renkli cam ya da plastikten yapılarak normal ışınların etkide bulunması önlenir.

TSL2591, ışık yoğunluğunu dijital sinyal çıkışına dönüştüren çok yüksek hassasiyetli ışık-dijital dönüştürücüdür. I2C bağlantı arayüzüne sahiptir. Cihaz devresi geniş bant fotodiyota ve kızılötesi duyarlı fotodiyota sahiptir. İki farklı analog dijital dönüştürücü ile fotodiyotdaki akımları dijital çıktılarına dönüştürür. Bu dijital veriler ışık şiddetini lüks birimi ile vermektedir.

2.2.3.3. Fototransistörler

Base ucuna ışık düştüğünde C-E arasından akım geçişini sağlayan elemanlardır. Işık enerjisi (foton) gelebilmesi için base ucunun bulunduğu kısma mercek şeklinde cam yerleştirilmiştir. Fotodiyodlardan farklı olarak ışıkla üretilen akımı yükseltme yaparlar. Bu özellikleri sayesinde fotodiyodlardan çok üstündürler.

2.2.3.4. DS18B20

Çiy noktası ölçer projemizde DS18B20 ile denemler yapılmıştır. Ancak sensör, kılıfın ısı transferini negatif yönde etkilemesi kaynaklı geç tepki vermesinden dolayı çiy noktası sıcaklığından çok daha hatalı sonuçlar elde edilmiştir ve yapılan ölçümlerde kabul edilemez bağıl nem değerleri elde edilmiştir.

Tek hatlı dijital sıcaklık sensörüdür. -55 ile 125 °C arasında ölçü yapabilir. Endüstriyel sistemler ve tüketici ürünlerinde kullanılır. Su geçirmeyen kaplamalı modelleri mevcuttur. Sadece tek porta ihtiyaç duymaktadır. 9-12 bit arası kullanıcı

tanımlı hassasiyete sahiptir. 12-bit dönüşümde 750ms dönüştürme süresine sahiptir. -10 ile +85°C aralığında $\pm 0.5^\circ\text{C}$ hassasiyete sahiptirler.

2.2.3.5. LM35

Projede ayna sıcaklığını okumak için 3 farklı K tipi ve bir adet PT1000 termokupl'ı MAX6675, MAX31855 devrelerinin klonları ile okuma çalışmalarına rağmen Arduino'dan uygun değer alınamamıştır. Son olarak sipariş edilen MAX31865 ise ulaşmadığından deneme imkânı olmamıştır. Buradan da görüldüğü gibi belirli tipteki temokupla özel doğru okuyucu devre seçmek önem taşımaktadır.

LM35 serisi hassas sıcaklık sensörlerinde çıkış gerilimi sıcaklık ile lineer olarak değişmektedir. LM35 cihazının, Kelvin'de kalibre edilen lineer sıcaklık sensörleri üzerinde bir avantajı vardır, çünkü kullanıcının uygun santigrat ölçeklendirmesi elde etmek için çıkıştan büyük bir sabit voltaj çıkarması gerekmemektedir. LM35 cihazı, oda sıcaklığında $\pm 1/4^\circ\text{C}$ ve -55°C ila 150°C sıcaklık aralığındaki $\pm 3/4^\circ\text{C}$ 'de tipik doğrulukları sağlamak için harici bir kalibrasyon veya düzeltme gerektirmez. LM35 cihazı, beslemeden sadece 60 μA çekerken, hala havada 0,1 C'den daha az kendi kendine ısınmaya sahiptir. [16]

2.2.3.6. Kızılötesi sıcaklık sensörleri

Projenin son halinde, Melexis firmasının MLX90615 kodlu kızılötesi sıcaklık sensörünün kullanıldığı modül kullanılarak ayna sıcaklığı sürekli olarak izlenmektedir. Çiy noktası sıcaklığı da bu sensör ile tespit edilmektedir.

IR ısı sensörler gözle görülmeyen kızılötesi ışın enerjisini (ısıyı) kullanan ve görüntünün genel yapısını kızılötesi ışın enerjisine göre sıcaklığın belirlendiği görüntüleme sistemidir.

Kızılötesi ışın, bir prizmadan geçirilir. Bu ışınanın bir enerjisi vardır. Işınım enerjisi

$$q = \sigma * \varepsilon * T^4$$

Formülü ile belirtilir. Yirminci yüzyılın başlarında Planc, Boltzmann, Wien ve Kirchoff gibi önemli bilim adamları elektromanyetik spektrum faaliyetlerini belirlemiş ve kızılötesi enerji hakkında önemli bulgular elde etmişlerdir. Bu bulguların sonucunda siyah cisim tarafından yayılan ışığın dalga boyu ile enerjisi arasında bir bağlantı olduğu bulunmuştur. Mutlak sıfır noktasından (0 Kelvin) yüksek sıcaklığı olan objeler enerji saçmaktadır. Yayılan bu enerjinin büyüklüğü sıcaklık ile bağlantılıdır. Bu bilgi kızılötesi termometrelerin çalışma prensibinin temel noktasıdır. [17]

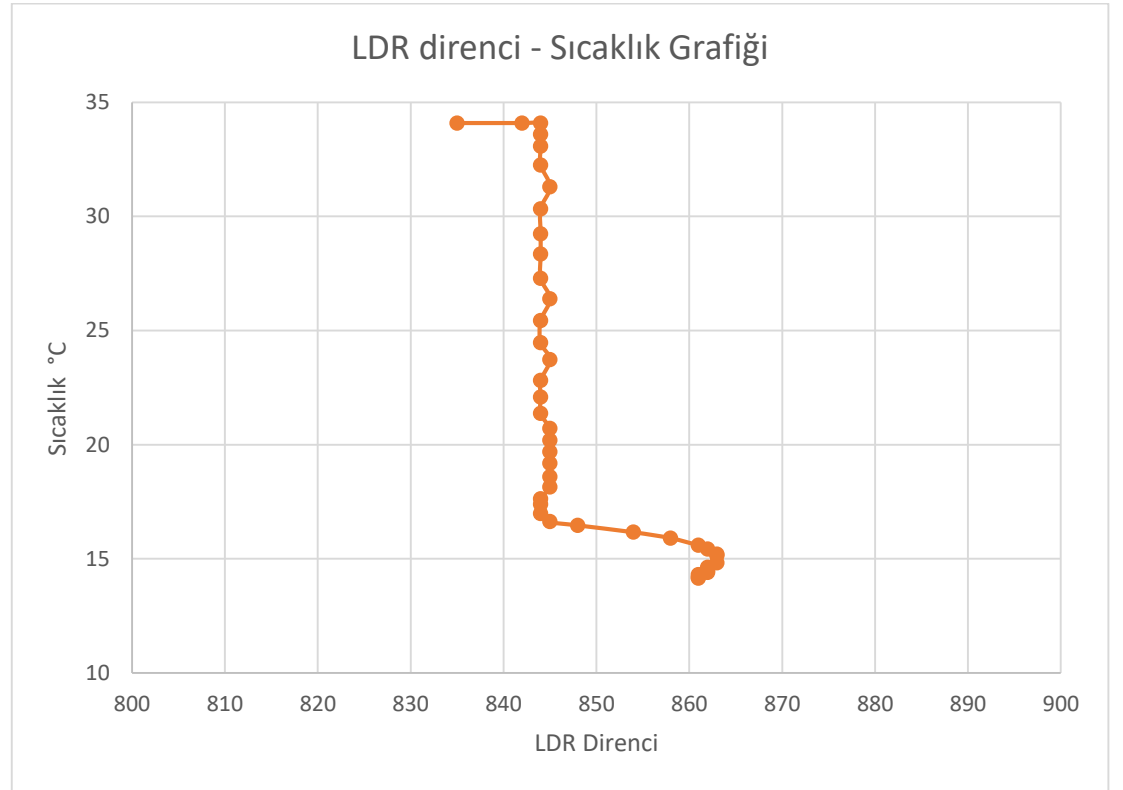
MLX90615 temas gerektirmeden sıcaklık ölçümü yapabilen bir kızılötesi sıcaklık sensörüdür. Hem obje sıcaklığı hem de ortam sıcaklığı ölçümü yapabilmektedir. TO-46 kılıfının içerisinde hassas kızılötesi termopil detektör çipini ve sinyal çipini içermektedir. Düşük gürültü yükselteci, 16-bit ADC (Analog digital converter) ve DSP ünitesi sayesinde yüksek hassasiyette ve çözünürlükte ölçüm yapabilmektedir. Bu termometre fabrika kalibrasyonludur ve $0,02^{\circ}\text{C}$ çözünürlüğe sahiptir. [18]



Şekil 2.5. Projede çiy noktası sıcaklığı ölçümü için kullanılan sensör

Kızılötesi sensörlerinde dikkat edilmesi gereken bir nokta ise Stefan-Boltzmann Yasası'ndaki emicilik değerinin ayarlanabilir olması gerekmektedir. Çünkü hatalı enerji ölçümü hatalı sıcaklık ölçümlerine neden olabilmektedir.

Projede kullanılan MLX90615 sıcaklık sensörü ile yapılan bir deney sırasında LDR sensörünün direncine göre ölçülen sıcaklık değerleri aşağıdaki grafikteki gibidir.

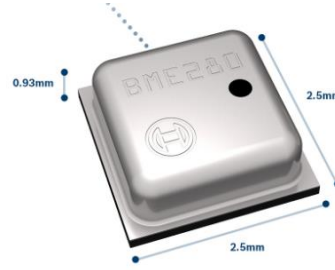


Şekil 2.6. Sıcaklığın LDR direncine göre değişimi

Burada, aynanın başlangıç sıcaklığı 35 derece olarak ölçülürken çiy noktasına ulaşıncaya kadar neredeyse sabit ışık şiddetinde sıcaklık düşmektedir ve ayna üzerinde çillenme başladığı anda ışık şiddetindeki azalma kaynaklı LDR direnci artmakta sıcaklık ise hal değişiminden kaynaklı neredeyse sabit kalmaktadır. Gaz ile denge konumuna gelindiği anda çiy noktası ölçümü yapılmaktadır ve bu noktadan sonra ise yine sabitlenen LDR direncine göre sıcaklık yeniden azalmaya başlamıştır. Bu sıcaklık ölçümü MLX90615 kızılötesi sıcaklık sensörü ile yapılmıştır.

2.2.3.7. BME280

BME280, Bosch firmasının özellikle mobil uygulamalar için geliştirdiği, düşük enerji tüketimine sahip çevresel ölçümler yapan sensördür. Bu sensör yüksek lineer karakteristiğe sahip, yüksek hassasiyetli basınç, nem ve sıcaklık ölçmektedir. Akıllı saatlerden, HVAC uygulamalarına kadar geniş bir kullanım alanı vardır.

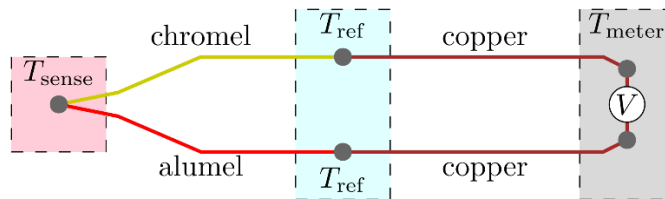


Şekil 2.7. Projede ortam sıcaklık ve basıncını ölçen sensör

Projede, ortam yani kabin basıncını ve sıcaklığını ölçmek amacıyla BME280 sensörü modülü kullanılmıştır. Bu modül ile I2C ve SPI bağlantıları yapılabilmektedir. I2C haberleşme protokolü kullanılmıştır. Hal denklemlerinde kullanılan basınç ve ortam sıcaklığı değişkenleri bu sensörün ölçümlerinden elde edilen datalar ile bağıl nem hesaplanmaktadır. [19]

2.2.3.8. Termokupllar

Termokupl iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturulan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Termokuplun sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır.



Şekil 2.8. Termokupl şematik gösterimi

Termokupllar (ısı çifti) endüstride sıcaklık ölçümlerinde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Termokupl aslında iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen genelde prosese çıplak olarak daldırılmazlar. Çeşitli mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal aşındırıcı özellikler göz önüne alınarak belli özel koruyucu kılıflar içinde kullanılırlar. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları

için birbirlerinden izolatör yardımıyla izole edilirler. İzolatörlerin seçiminde yine ortam şartlarının, sıcaklık limitlerinin önemi büyüktür. Gerek eleman tellerinin gerekse koruyucu tüplerin cinsleri termokuplların ömürlerine direkt etki etmektedir. [20]

Termokupllardan alınan sinyalleri okumak için okuyucu devreler gerekmektedir. Bu devrelerde sinyal yükseltme işlemi yaparlar. Her tipteki termokupl özel devreler bulunmaktadır.

2.2.3.9. Termistör

Sıcaklık ile direnci değişen elektronik malzemelere; term (sıcaklık), rezistör (direnc), kelimelerinin birleşimi olan termistör denir. Termistörler genellikle yarı iletken malzemelerden imal edilmektedir. Termistör yapımında çoğunlukla oksitlenmiş manganez, nikel, bakır veya kobaltın karışımı kullanılır. Termistörler ikiye ayrılır sıcaklıkla direnci artan termistöre PTC, sıcaklıkla direnci azalan elemana da NTC denir.

NTC'ler bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci azalan devre elemanıdır. NTC'ler - 30 C° ile +50 C° arasındaki sıcaklıklar da kararlı bir şekilde çalışırlar. 0.1 C°'ye kadar duyarlılıkta olanları vardır. Daha çok elektronik termometrelerde, arabaların radyatörlerin de, amplifikatörlerin çıkış güç katlarında, ısı denetimli havyalarda kullanılırlar. PTC'lere göre kullanım alanları daha fazladır.

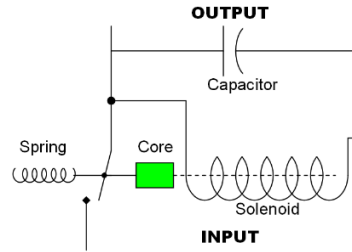
PTC'ler bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci artan devre elemanıdır. PTC'ler - 60 °C ile +150 °C arasındaki sıcaklıklar da kararlı bir şekilde çalışır. 0.1 °C' ye kadar duyarlılıkta olanları vardır. Daha çok elektrik motorlarını fazla ısınmaya karşı korumak için tasarlanan devrelerde kullanılır. Ayrıca ısı seviyesini belirli bir değer aralığındadır.

2.2.4. Voltaj regülatörü

Voltaj regülatörü akım ve sıcaklık parametrelerinden bağımsız olarak sabit bir gerilim elde etmek amacıyla kullanılır. Elektromekanik veya tamamen elektronik yapıda olabilirler. Alternatif veya doğru akım için ayrı tipleri vardır. Hassas elektronik cihazlar voltaj dalgalanmalarından etkilenmektedir ve voltaj regülatörleri voltajı sabit tutarak sağlıklı ve güvenli çalışma imkânı tanımaktadır.

Elektronik voltaj regülatörleri direnç, diyot serileri ile yapılmaktadır. Zener diyotlara örnek olarak gösterilebilir.

Elektro-mekanik voltaj regülatörleri, bir bobine enerji verildiğinde elektro manyetik alan yaratması prensibine dayanır. Enerjilenen bobin, çekirdeği çekerek yerçekimi ve yayın potansiyel enerjisini yenerek switch ile temas edilmesini sağlayarak anahtarlama yapar.



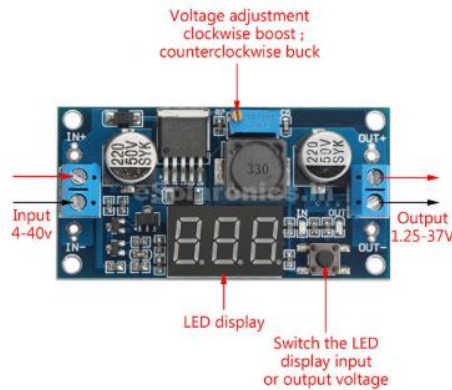
Şekil 2.9. Elektro-mekanik voltaj regülatörünün şematik gösterimi

2.2.4.1. LM2596

Projede gerilimi düzenlemek için ayarlanabilir LM2596 kullanılmıştır. Bu regülatör 12 V ve 5 A çıkış verebilen bir adaptörden beslenmektedir.

LM2596 serisi regülatörler 3A çıkış verip ve step-down özelliğine sahip yani voltaj düşümü yapabilmemize imkan veren monolitik tümleşik devrelerdir. Bu cihazlar 3,3 V, 5 V ve 12 V gerilimlerinde ve ayarlanabilir olan çeşitleri vardır.

Kullanımı çok basit olup dahili frekans telafisi sağlamakta ve sabit frekans osilatörü içermektedir. [21]

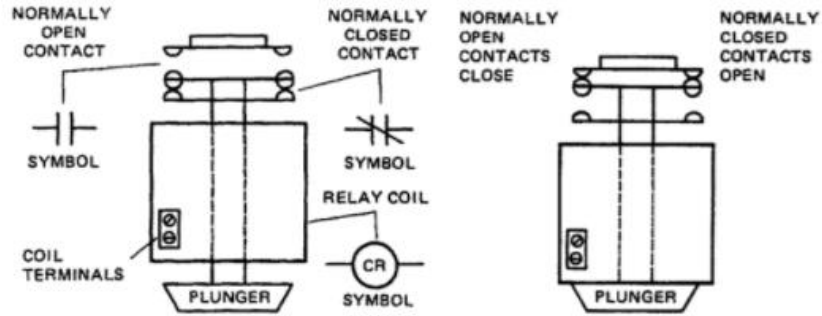


Şekil 2.10. Projede kullanılan voltaj regülatörü

2.2.5. Röleler

Projede, 4 kanallı röle modülü kullanılmıştır ancak 2 kanallı röle modülü yeterli olmaktadır. Bu modülde her bir röle dijital olarak kumanda edilebilmektedir. Bu röle ile fanlar ve peltier açıp kapatılmaktadır. Java programından, Arduino programına yollanan sinyaller aracılığıyla fanlar ve peltier kontrol edilmektedir.

Röleler, sabit ve hareketli kontakları olan elektromekanik cihazlardır. Hareketli kontaklar bir palete bağlıdır. Bu kontaklar Normalde Açık veya Normalde Kapalı olabilirler. Röle bobinine enerji verildiğinde palet hareket eder ve normalde açık kontaklar kapanırken normalde kapalı kontaklar ayrılarak açık konumuna gelirler.



Şekil 2.11. Rölenin şematik gösterimi

Röleler bu sayede mekanik olarak küçük akım ve gerilim değerleriyle yüksek alıcısı anahtarlayabilirler. Rölelerin dezavantajı ise mekanik bir sistem olmasından dolayı zaman içerisinde aşınma, oksitlenme gibi deforme edici etkilere maruz kalabilmesidir. Zaman rölesi, koruma rölesi, katı hal röleleri gibi çeşitleri vardır. Zaman rölesinde bobine enerji verildikten veya kesildikten sonra kontaklar konum değiştirilerek istenilen zamanda açılıp kapanmasına olanak verir. Katı hal röleleri ise hareketli parçaları olmayan, daha uzun ömürlü kontrol sinyali ile kumanda edilen elektronik elemanlardır. [22]



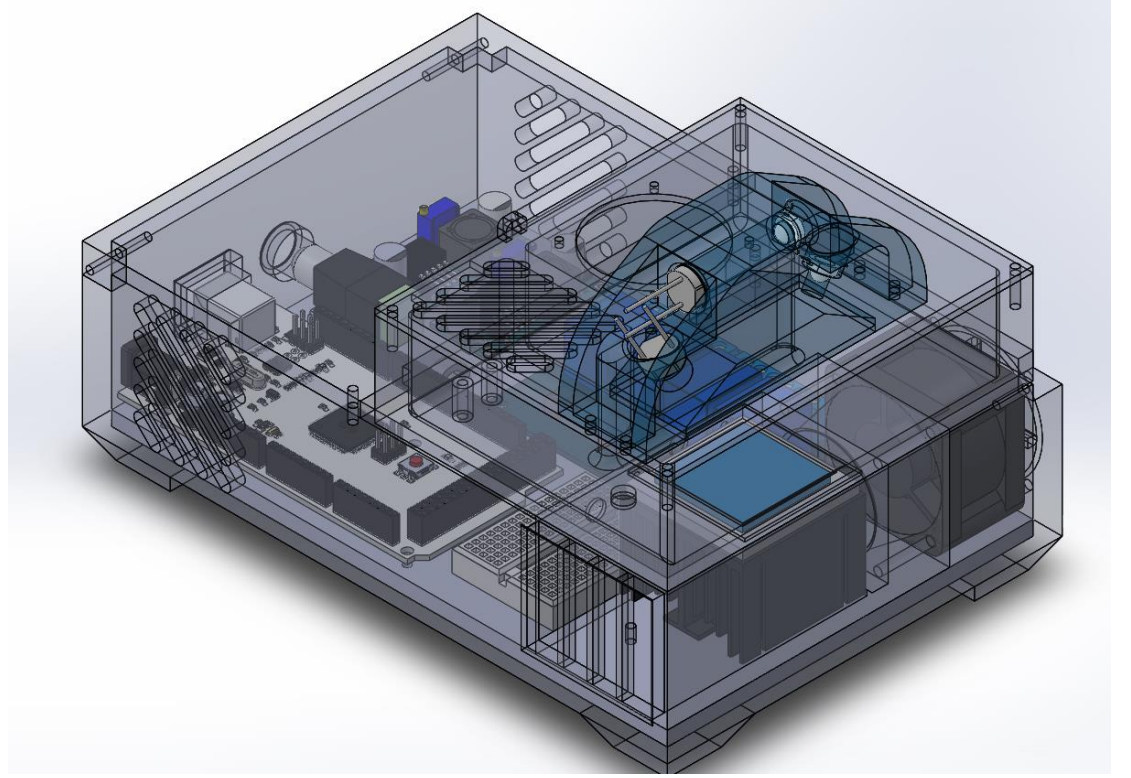
Şekil 2.12. Projede kullanılan röle modülü

2.2.6. Cihazın ölçüm sırasında sensörden alınan verilerin izlenmesi

Cihazın çalışma mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için ölçüm anından sensörlerden alınan veriler izlenmiştir. Bu ölçümlerden bazıları Ek3.1.de bulunmaktadır. Burada T: ayna sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) (MLX90615 ile ölçülmüştür), To: Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) (BME280 ile ölçülmüştür), ldrmir: ayna üzerindeki ışık şiddetine göre ölçülen LDR direncidir. Çillenmenin başlangıcı LDR direncinin ani olarak artmaya başladığı noktadır. Burada hal değişimi açıkça gözlenebilmektedir. Bu şekilde birden çok deneme yapılmış ve programda iyileştirmelere gidilmiştir.

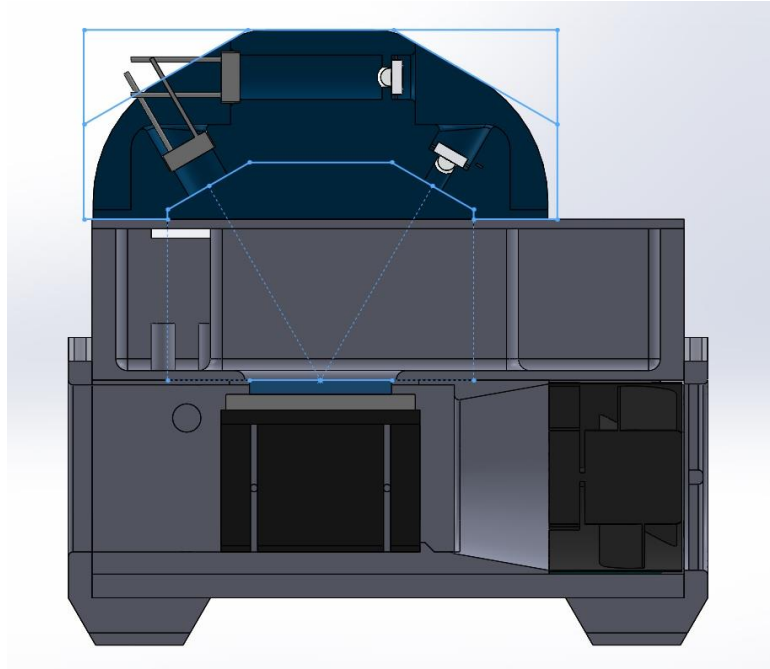
2.2.7. Cihazın tasarımı

Sistemin temel mekanizmasının sağlanabilmesi, taşınabilmesi, fanların daha verimli kullanılması ve dış ortam ışığından izolesi, bağlantı hatalarına karşın kasa modellenmiştir. Bu modellenen kasadan 3D baskı alınarak her bir parça ve çiy noktası ölçer düzeneği bu kasaya monte edilmiştir.



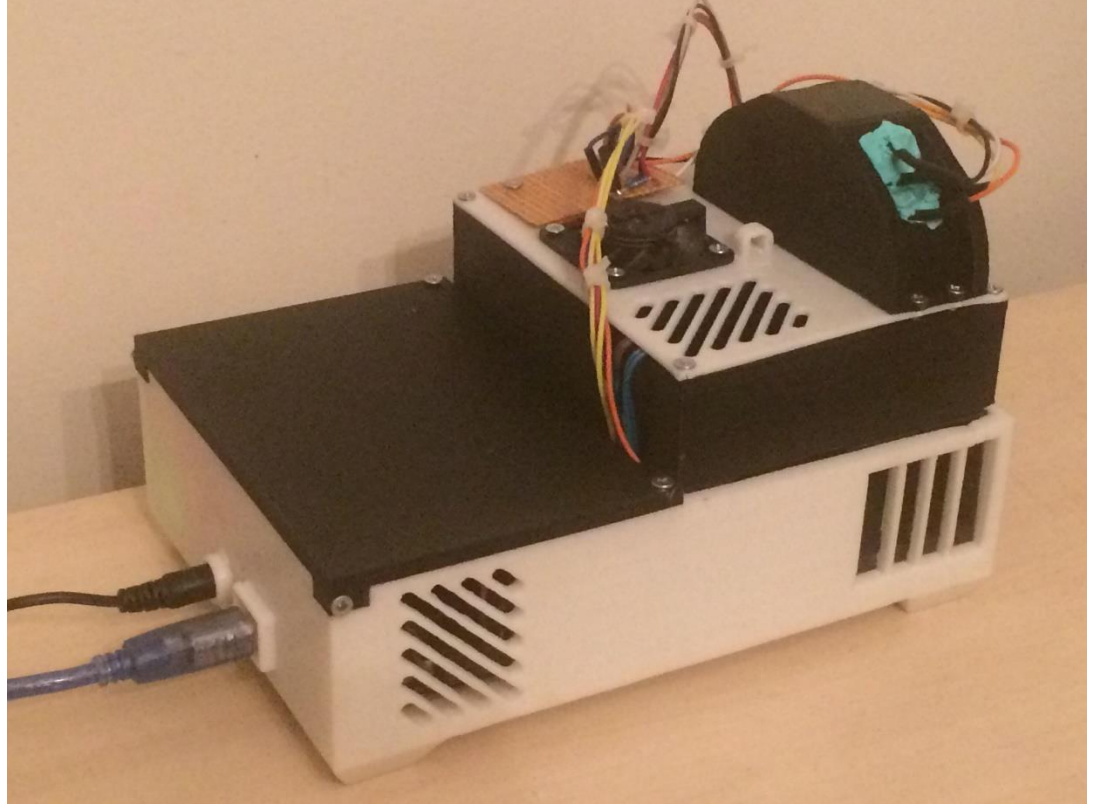
Şekil 2.13. Parçaların tasarımın içinde yerleştirilme planı

2.2.6.1. Kabin sisteminin tasarımı



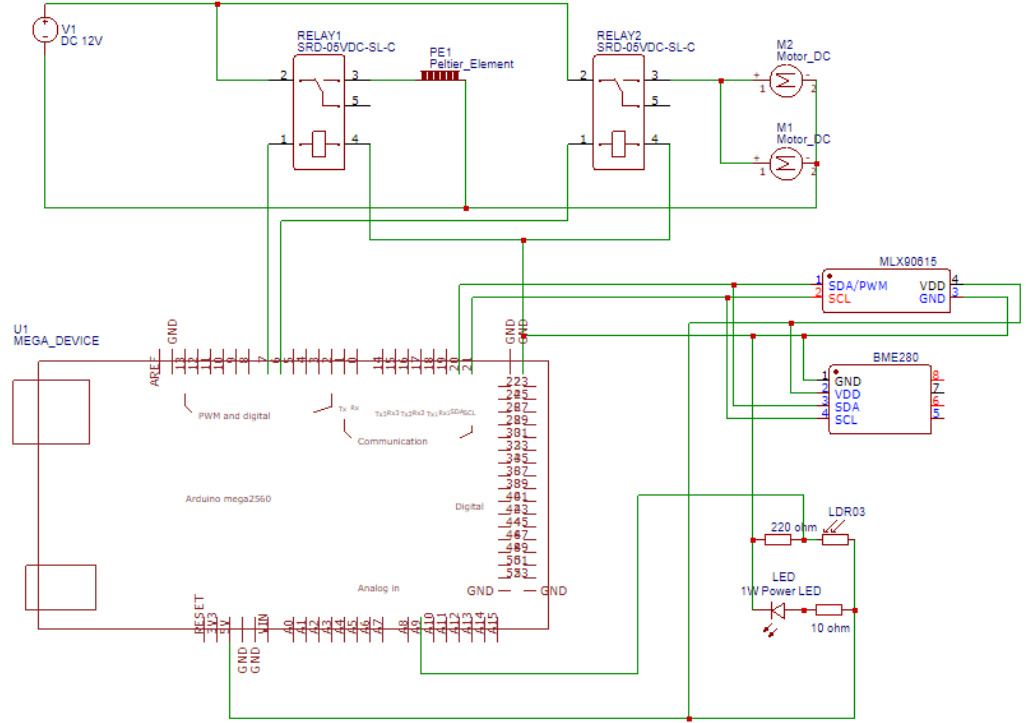
Şekil 2.14. Ölçümlerin yapıldığı tünel kısmının tasarımı

2.2.6.2. 3D baskı ve gerçek kurulum



Şekil 2.15. Cihazın montajlanmış son hali

2.2.7. Açık devre şeması



Şekil 2.16. Cihazın elektronik açık devre şeması

2.3. Sistemde Kullanılan Yazılımların İncelenmesi

Çiy noktası ölçer cihazı tasarlanırken bilgisayar ve Arduino sürekli olarak haberleşmektedir. Bunun için bilgisayarda java programı, Arduino için de embedded C dili kullanılarak yazılmış iki program karşılıklı çalışmaktadır.

2.3.1. Arduino yazılımının incelenmesi

Çiy noktası ölçer projesinin Arduino yazılımı Ek 1. de yer almaktadır. Bu program oluşturulurken bazı temel parametreler kullanılmaktadır. Bu parametrelerden bazıları hal denklemlerinde kullanılacak olan değişkenlerdir. Bunlar sırasıyla “t”, “to”, “po” dur. “t” ayna sıcaklığını nitelemektedir. MLX90615 sensörü ile ölçülen

değerlerdir. Arduino ile I²C haberleşme protokolü için SDA, SCL bağlantısı yapılmıştır. Aynı şekilde BME280 sensörü de I²C protokolü kullanmaktadır. BME280 sensörünün okuduğu değişkenler; “to” ortam sıcaklığı, “po” ortam basıncını nitelemektedir. Diğer parametreler ise sistemin kontrolü için kullanılmaktadır. “l” LDR’den okunan değeri nitelemektedir. Bu değerin değişiminden çiy noktası tespit edilmektedir. “l1”, okunan maksimum l değerini nitelemektedir ve bir filtreye yeni l değerini almaktadır. “l2” ise okunan minimum l değerini nitelemektedir ve hatalara karşı yine filtre ile en düşük l değerini tutmaktadır. Her bir sensörden okunan değer küçük metotlar halinde tanımlanıp çağırılmaktadır. Ana döngüde ise bu metotlar çağırılıp 10 ms zaman ile değerler okunmaktadır. Burada java programından gelen sinyaller sürekli olarak dinlenmektedir ve her bir sinyalin bir karşılığı tanımlanıp o sinyal geldiği anda java programına değeri yazdırmaktadır ve ardından yeni sinyal yollamaktadır. “l” değerindeki değişimden çiy noktası tespit edilip “6” sinyali yollanarak java programından talepte bulunmakta ve bunun üzerine veri iletişimi başlamakta.

Arduino yazılımında çiy noktası tespiti için 5 adet ölçüm sırasıyla kayıt altına alınmaktadır. Deneyler sonucu çiy noktası tespiti için “(l1-l5)>2” kabulü yapılmıştır. Buna ilişkin deney sonuçları Ek 4’te belirtilmiştir. Burada “l1” en son yapılan ölçüm, “l5” ise kaydı alınan son ışık ölçümüdür.

2.3.2. Java yazılımının incelenmesi

Programın java yazılımı 3 kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım “main.java” olarak adlandırılmaktadır. İkinci kısım ise “gui.java”dır. “main.java” kısmı bilgisayar üzerinde çalışan programın yönetim kısmıdır. Diğer java sınıfları burada çağırılmaktadır. Ayrıca Arduino ile haberleşecek sinyaller buradan kontrol edilir. Gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Döngü 1 saniyelik beklemlerle tekrar eder. Yine Arduino’dan gelen sinyaller buradan diğer sınıflara gönderilir. “gui.java” sınıfında ise java programının grafik arayüzü yazılmıştır. Burada butonlar oluşturularak her biri sinyalleri kontrol etmektedir. Üçüncü kısım ise enerji denklemlerinin çözümlendiği “psTEN.java”dır. Tüm ölçümler yapıldığında bu sınıf çağırılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Psikrometrik diyagram da bu sınıf sayesinde çizilmektedir. “psTEN.java” yazılımı hakkında detaylı bilgi Doç. Dr. M. Turhan ÇOBAN’ın “NEMLİ HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN MODELLENMESİ” adlı makalesinde bulunmaktadır.

2.4.Maliyet Hesabı

2.4.1. Sistem kurulumu ve kullanılan malzeme maliyetleri

Sistem kurulurken en iyi sonuçları almak için farklı birçok sensör ile önceden belirtildiği üzere denemeler yapılmıştır. Her bir parça belirli meblağ tuttuğundan bu denemeler için kullanılan farklı sensörler için harcanan maliyet Ek 5.'de belirtilmiştir. İşçilik maliyeti yoktur, klon ve orijinal parçaların fiyatlarını içermektedir.

2.4.2. Sistemin maliyeti

Sistemin maliyeti, sistemde kullanılan tüm parçaların birim maliyetlerinin toplam tutarı olarak hesaplanmıştır. İşçilik bedeli yoktur. Parçaların birçoğunun, piyasada birçok klonu bulunmaktadır. Maliyet tablosu orijinal üretici tarafından satılan fiyatlar üzerinden yuvarlanarak hesaplanmıştır.

Burada en yüksek maliyeti kasa ile kontrolcü kart tutmaktadır. Kasa 3D yazıcıdan baskı ile üretilmiştir. Ancak 3D baskı maliyetleri çok yüksek olmaktadır ve kasa üretim maliyeti düşürülebilir.

Çizelge 2.1. Ürünün üretim maliyeti

MALİYET		
Ürün İsmi	Adet	Fiyat
Arduino Mega/Due	1	245,00 ₺
BME280	1	95,00 ₺
MLX90615	1	75,00 ₺
LM2596	1	21,00 ₺
Röle	1	8,00 ₺
LDR 11mm	1	5,00 ₺
Power LED	1	3,00 ₺
Fan1	1	25,00 ₺
Fan2	1	15,00 ₺
Kasa	1	200,00 ₺
Breadboard	1	3,00 ₺
Heatsink	1	15,00 ₺
Ayna	1	1,00 ₺
Pertinaks Kart	1	5,00 ₺
Adaptör	1	23,00 ₺
Yapıştırıcı		7,00 ₺
Direnç		1,00 ₺
Vida		3,00 ₺
Kablo		5,00 ₺
TOPLAM		755,00 ₺

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, hassas bir nem ölçme yöntemi olan çiy noktası ölçer dizaynı yapılmış, elektronik devresi kurulmuş, yazılımları yazılmıştır. Sistem bir bütün haline getirilip çalışır hale getirilmiştir. Farklı sensörler ile ölçümler karşılaştırılmıştır.

Daha hassas ölçüm yapabilmek için yapılması gereken iyileştirmeler şunlardır:

- Hava tüneli daha iyi yalıtılabilir. Toz girişi engellenerek ayna yüzeyine yapışan tozların etkisi azaltılabilir. Ayrıca ısı yalıtımı artırılarak da dış etki azaltılabilir.
- Çiy noktasının tespit edildiği ayna yerine parlatılmış yüzeyli rodyum veya platin kullanılabilir. Bu daha iyi ısı iletkenliği sağlayacak ve termokupl ile ölçüm yapmaya uygun bir tasarım ile daha hassas sıcaklık ölçümü yapılabilecektir.
- LED regülatörü kullanarak, çiy noktası ölçerin optik balans kısmı aktif edilerek dalgalanma etkileri minimuma indirilebilir. Ayrıca LDR'ler ile OPAMP devresi kurularak ışık değişimi daha hassas izlenebilir.
- Daha hassas sensörler kullanarak daha hassas ölçümler yapılabilir.

Deneyler yapılırken referans alınan sistem ile yaklaşık olarak %2 fark bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. Cihazın diğer sensörle karşılaştırılması

ÖLÇÜM	Çiy Noktası Ölçer (%RH)	Sensör (%RH)	HATA (%)
1	40,8	42,8	4,6728972
2	49,62	50,94	2,5912839
3	49,7	51,43	3,3637955
4	48,93	51,67	5,3028837
5	50,99	49,99	2,0004001
6	38,08	38,28	0,522466
7	46,62	48,37	3,617945
8	44,74	46,23	3,2230154
9	61,83	58,99	4,8143753
10	40,9	40,3	1,4888337

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Çengel, A. YUNUS, MICHAEL A. BOLES, 2002, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, İstanbul, ISBN:975-8431-91-9
- [2]<https://archive.is/20130416080406/http://www.wwrf.org/humidity101.htm#selection-5067.11-5067.156>, 2018
- [3]<https://archive.is/20130416080406/http://www.wwrf.org/humidity101.htm>, 2018
- [4] http://www.emo.org.tr/ekler/9a80bb4f9333fb3_ek.pdf, 2018
- [5] Bell, S., 2011, A beginner's guide to humidity measurement, National Physical Laboratory, 29 p.
- [6] <https://www.systechillinois.com/en/support/technologies/aluminium-oxide-moisture-sensor>, 2018
- [7] ÇOBAN, M. TURHAN, Nem ölçümlerinde kullanılan Cihazlar Ve Kalibrasyonları
- [8] ÇOBAN, M. TURHAN, Nem ve nem ölçümlerinde kullanılan temel tanımlar
- [9] ÇOBAN, M. TURHAN, Nemli havanın havanın termodinamik özelliklerinin modellenmesi
- [10] <https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/ric/Our%20activities/International/CP3-Humidity.pdf>, 2018
- [11] <http://www.thermoelectrics.caltech.edu/thermoelectrics/history.html>
- [12] <http://www.thermoelectrics.caltech.edu/thermoelectrics/history.html>
- [13] <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Termoelektrik.pdf>
- [14] <http://kisi.deu.edu.tr/asli.ergun/arduinoileprogramlama.pdf>
- [15] <http://web.itu.edu.tr/~petricli/fotoelektronik.pdf>
- [16] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [17] <http://www.bilgiustam.com/kizilotesi-termometre-nedir-nasil-alisir/>, 2018
- [18] <https://cdn.hackaday.io/files/1069174574336928/MLX90615-Datasheet-Melexis.pdf>
- [19] https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme280

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [20] <http://www.elimko.com.tr/files/termoGenelBilgi.pdf>
- [21] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- [22] Rexford, Kenneth B.; Giuliani, Peter R. (2002). Electrical control for machines (6th ed.). Cengage Learning. p. 58. ISBN 978-0-7668-6198-5.

EKLER

Ek 1. “dewpointmirror_mlx90615_final.ino”

```

1.  /*   Yazar: Cengiz PAR
2.      AMAÇ: Bu program çiy noktası ölçer sistemini elektronik olarak kontrol
           etmek ve alınan değerleri
3.           bilgisayar ile haberleştirerek java programında kullanmak amacıy
           la yazılmıştır.
4.      TARİH: 22.05.2018
5.  */
6.
7.  //KÜTÜPHANELER
8.  #include <Wire.h>
9.  #include <stdint.h>           //BME280
10. #include "SparkFunBME280.h"  //BME280
11. #include <mlx90615.h>        //MLX90615
12.
13. //BME 280 ORTAM
14. BME280 bme;
15.
16. //MLX 90615 AYNA
17. MLX90615 mlx = MLX90615();
18.
19. //RÖLELER
20. #define RELAYf 6    //Fanlar
21. #define RELAYp 7    //Peltier
22.
23. //IŞIK SENSÖRÜ
24. float refldr = A8;
25. float mirldr = A9; //Ayna üzerindeki ışık yoğunluğuna bağlı LDR direnci
26.
27.
28. int signal = 0;           //1:Ölçme Komutu, 2:to ortam sıcaklığı dat
                             ası alır 3:po ortam basıncı datası alır
29.                             //4:t ayna sıcaklığı datası
                             alır 5:soğutma modunu açar 6:çiy noktası
30. float t, p, to, po, rt, lr, l; //Değişkenler
31. float l1, l2, l3, l4, l5;
32. float t1, t2, t3, t4, t5, t6;
33.
34.
35. void setup()
36. {
37.   Serial.begin(115200);
38.
39.   //      RÖLELER
40.   pinMode(RELAYp, OUTPUT);
41.   pinMode(RELAYf, OUTPUT);
42.
43.   digitalWrite(RELAYf, HIGH); //Fanlar direk kapalı konuma gelir
44.   digitalWrite(RELAYp, HIGH); //Peltier direk kapalı konuma gelir
45.

```

```

46. // BME280
47. bme.settings.commInterface = I2C_MODE;
48. bme.settings.I2CAddress = 0x76;
49. bme.settings.runMode = 3; //Normal mode
50. bme.settings.tStandby = 0;
51. bme.settings.filter = 0;
52. bme.settings.tempOverSample = 1;
53. bme.settings.pressOverSample = 1;
54. bme.begin();
55.
56. // MLX90615
57. mlx.begin();
58. //mlx.get_id();
59.
60. //LDR
61. light();
62. l1=1;l2=0;l3=0;l4=0;l5=0;
63. t1=t;t2=0;t3=0;t4=0;t5=0;
64. }
65.
66.
67. // IŞIK SENSÖRÜ
68. void light() {
69.   lr = analogRead(refldr);
70.   l = analogRead(mirlldr);
71. }
72.
73.
74. // BME280 ORTAM
75. void BME280() {
76.   to = bme.readTempC(); //ayna sıcaklığı
77.   po = bme.readFloatPressure(); //kabin basınca (Pa)
78.   rt = bme.readFloatHumidity(); //kontrol için %
79. }
80.
81.
82. // MLX90615
83. void temp() {
84.   t = mlx.get_object_temp(); //ortam sıcaklığı
85. }
86.
87.
88. void dryer() { // SOĞUTMA MODU
89.   digitalWrite(RELAYp, HIGH); //Peltier kapalı
90.   digitalWrite(RELAYf, LOW); //Fanlar açık
91. }
92.
93.
94. void run() { // ÖLÇÜM MODU
95.   digitalWrite(RELAYf, LOW); //Fanlar açık
96.   digitalWrite(RELAYp, LOW); //Peltier açık
97. }
98.
99.
100. void pause() { // DURAKLATMA MODU
101.   digitalWrite(RELAYf, HIGH); //Fanlar direk kapalı konuma gelir
102.   digitalWrite(RELAYp, HIGH); //Peltier direk kapalı konuma gelir
103. }
104.
105.

```

```

106. void loop() {
107.     delay(200);
108.     temp();
109.     BME280();
110.     light();
111.     l1=l;t1=t;
112.
113.     if (Serial.available() > 0) {
114.         signal = Serial.read();
115.
116.         if (signal == 1) {
117.             run();
118.             if ( t<=to && (l1 - l5) > 2 && (l1 - l5) < 30 && (l1-
119. 12)<=5 && signal == 1) {
120.                 Serial.print(signal = 6);           //6:Çiy noktasına ulaşıldığ
121.                 ı sinyali yollar
122.             }
123.             else {
124.                 Serial.print(signal = 1);
125.             }
126.         }
127.         else if (signal == 2) {
128.             Serial.print(to);           //2:Ortam sıcaklığı sinyali gelin
129.             ce datayı gönderir
130.         }
131.         else if (signal == 3) {
132.             Serial.print(po);           //3:Ortam basıncı sinyali gelince
133.             datayı gönderir
134.         }
135.         else if (signal == 4) {
136.             Serial.print(t5);           //4:Ayna sıcaklığı sinyali ge
137.             lince datayı gönderir
138.             l1=l2=l3=l4=l5=t1=t2=t3=t4=t5=0;
139.         }
140.         else if (signal == 5) {
141.             dryer();           //5:Soğutma modu sinyali geli
142.             nce soğutma modunu bařladır
143.             l1 = 0;
144.             l2 = 1;
145.         }
146.         else {
147.             if(t>=(to+3)){dryer();}
148.             else{pause(); }           //0:Sistemi durdurur
149.             signal = 0;
150.         }
151.     }
152.     l5=l4;l4=l3;l3=l2;l2=l1;
153.     t5=t4;t4=t3;t3=t2;t2=t1;
154. }

```

Ek 2. “main.java”

```

1. package dewpoint;
2.
3. import java.io.IOException;
4. import java.io.InputStream;
5. import java.io.OutputStream;
6.
7. import gnu.io.CommPortIdentifier;
8. import gnu.io.SerialPort;
9.
10. public class main implements Runnable {
11.
12.     String s2="[\\x00-\\x20]*[+-
13.     ]?((((\\p{Digit}+)(\\.)?(\\p{Digit}+)?)([eE][+-
14.     ]?(\\p{Digit}+)?)|\\.((\\p{Digit}+))([eE][+-
15.     ]?(\\p{Digit}+)?)|((0[xX](\\p{XDigit}+)(\\.)?|(0[xX](\\p{XDigit}+)?(\\.)(
16.     \\p{XDigit}+)))pP][+-]?(\\p{Digit}+))([fFdD]?)[\\x00-
17.     \\x20]*";
18.     private static final long serialVersionUID = 8257386587L;
19.     public Thread readThread;           // zaman içinde çalışma de?i?keni
20.
21.     public CommPortIdentifier portId;    // seri ba?lantı kanal? numarası
22.     public SerialPort serialPort;       // seri kanal
23.     public OutputStream outputStream;   // çıktı kanal?
24.     public InputStream inputStream;     // girdi kanal?
25.     public int sleep1;                  // readThread bekleme zaman? milis
26.     aniye
27.     public gui g;                       //gui arayüz çağırma
28.     public static double to, po, t;
29.     public double T1;
30.
31.     public main(String s)
32.     {
33.         portId=portId(s);               //Giriceğimiz port n
34.         umerası
35.         System.out.println("portID is read");           //Hazır bildirimi
36.         try {
37.             serialPort = (SerialPort)
38.             portId.open(s, 2000);
39.         }
40.         catch (gnu.io.PortInUseException e) {}
41.
42.         try {
43.             outputStream = serialPort.getOutputStream();
44.             inputStream = serialPort.getInputStream();
45.         }
46.         catch (IOException e) {}
47.
48.         try {
49.             serialPort.setSerialPortParams(115200,      //baudrate
50.             SerialPort.DATABITS_8,
51.             SerialPort.STOPBITS_1,
52.             SerialPort.PARITY_NONE);
53.         }
54.         catch (gnu.io.UnsupportedCommOperationException e) {}
55.
56.         graph();
57.     }
58.
59.
60.
61.
62.

```

```

53.
54. //seri iletişim kanalı açılması
55. public CommPortIdentifier portId(String s){
56.     portId = PortChooser.select_port(null);
57.     try {
58.         serialPort = (SerialPort)
59.             portId.open(s, 2000);
60.     }
61.     catch (gnu.io.PortInUseException e) {}
62.     return portId;
63. }
64.
65. public void start(){
66.     readThread = new Thread(this);
67.     readThread.start();
68. }
69.
70.
71.
72.
73. public void readdata() {
74.     try{
75.         byte[] readBuffer = new byte[30];
76.         long[] readBuffer1 = new long[30];
77.         byte numBytes = (byte)inputStream.read(readBuffer);
78.         String s= new String(readBuffer);
79.         s=s.trim();
80.         double T1old=0;
81.         if(s.matches(s2)) {
82.             T1=Double.parseDouble(s);
83.             T1old=T1;
84.         }
85.         else{T1=T1old;}
86.         for(int i=0;i<numBytes;i++){ readBuffer1[i]=readBuffer[i]&0xFF;
87.     }
88.     catch (IOException e) {}
89. }
90.
91.
92.
93.
94. public void run(){
95.     while(true){
96.         try{
97.
98.             System.out.println(g.signal);
99.
100.             try {
101.                 if(g.signal==1){ //Sin
yal=1 i yolladık biz burada ayrı ayrı sinyaller yollayıp her bir değeri tek
tek çekerek işleme koyacağız
102.                     outputStream.write((int) g.signal);
103.                     //d1.jtf.setText("Fan ve Peltier Çalışıyor");
104.                     //Thread.sleep(1000);
105.                     //OKUMA
106.                     readdata();
107.                     g.signal=T1;//read //daha değer değişmeden 0
geldiğinden 2. kere basmayı gerektiriyor

```



```

108.         }
109.         else if(g.signal==6) {
110.
111.             //to Oratam Sıcaklığı (oC)
112.             outputStream.write(2);
113.             Thread.sleep(100);
114.             readdata();
115.             to = (double) T1;
116.             Thread.sleep(500);
117.
118.
119.             //po Oratam Basıncı (Pa)
120.             outputStream.write(3);
121.             Thread.sleep(500);
122.             readdata();
123.             po = (double) T1*0.00001;//bar
124.             Thread.sleep(500);
125.
126.             //t Ayna Sıcaklığı (oC)
127.             outputStream.write(4);
128.             Thread.sleep(500);
129.             readdata();
130.             t = (double) T1;
131.             Thread.sleep(500);
132.
133.             while(to>50 || to<t) {
134.                 outputStream.write(2);
135.                 Thread.sleep(100);
136.                 readdata();
137.                 to = (double) T1;
138.                 Thread.sleep(500);
139.             }
140.
141.             while(po<0.8 || po>1.25) {
142.                 outputStream.write(3);
143.                 Thread.sleep(500);
144.                 readdata();
145.                 po = (double) T1*0.00001;//bar
146.                 Thread.sleep(500);
147.             }
148.
149.             g.signal=0;
150.             outputStream.write((int) g.signal);
151.             Thread.sleep(500);
152.
153.             //rh wetair.java hesaplama
154.             wetair wa=new wetair();
155.             double a[]=wa.property("tdb_tdew",to,t,po*0.000
156.                 01); //v1: dry bulb temperature, v2:wet bulb temperature, P:pressure
157.
158.             gui.rh=Double.toString(a[6]*100); //rh wetair
159.             gui.to=Double.toString(to)+" C";
160.             gui.t=Double.toString(t)+" C";
161.             gui.po=Double.toString(po)+" bar";
162.             g.dispose();
163.             psTEN.open();
164.             graph();
165.         }
166.         else{

```

```

167.                                     outputStream.write((int) g.signal); //diğer k
      omutlar için: kurutma
168.                                     }
169.                                     }
170.                                     catch (IOException e) {}
171.                                     Thread.sleep(1000);
172.                                     }
173.      catch (InterruptedException e) {System.out.println("Interru
      ptedException 1");}
174.      }
175.  }
176.
177.
178.
179.      public void graph(){
180.          g=new gui();
181.      }
182.
183.
184.
185.      public static void main(String args[]) {
186.          main m=new main("ARDUINO");
187.          m.start();
188.      }
189.  }

```

Ek 3. “gui.java”

```

1.  package dewpoint;
2.
3.
4.  import java.awt.Color;
5.  import java.awt.Dimension;
6.  import java.awt.event.ActionEvent;
7.  import java.awt.event.ActionListener;
8.  import java.awt.event.WindowAdapter;
9.  import java.awt.event.WindowEvent;
10.
11. import javax.swing.JApplet;
12. import javax.swing.JButton;
13. import javax.swing.JFrame;
14. import javax.swing.JPanel;
15. import javax.swing.JTable;
16.
17.
18.
19. public class gui extends JFrame implements ActionListener{
20.     static JFrame f;
21.     JButton b1,b2,b3,b4;
22.     public double signal=0;
23.     public static String rh="-";
24.     public static String t="-";
25.     public static String to="-";

```

```

26.     public static String po="-";
27.     public static double r; //her bir %RH niteler
28.
29.     public gui(){
30.
31.         //1. Buton
32.         b1=new JButton("ÖLÇ");//create button
33.         b1.setBounds(10,50,150, 50); //sol 2 koordinatlar, sağ 2 boyutlar
34.
35.         add(b1);//adding button on frame
36.         b1.addActionListener(this);
37.
38.         //2. Buton
39.         b2=new JButton("SOĞUT");//create button
40.         b2.setBounds(10,110,150, 50); //sol 2 koordinatlar, sağ 2 boyutlar
41.
42.         add(b2);//adding button on frame
43.         b2.addActionListener(this);
44.
45.         //3. Buton
46.         b3=new JButton("DURDUR");//create button
47.         b3.setBounds(10,170,150, 50); //sol 2 koordinatlar, sağ 2 boyutlar
48.
49.         add(b3);//adding button on frame
50.         b3.addActionListener(this);
51.         /*
52.         //4. Buton
53.         b4=new JButton("Psikrometrik Diyagram");//create button
54.         b4.setBounds(10,230,150, 50); //sol 2 koordinatlar, sağ 2 boyutlar
55.
56.         add(b4);//adding button on frame
57.         b4.addActionListener(this);*/
58.
59.         //Data değerleri
60.         String data[][]= {{ "%RH",rh }, {"Tdewpoint",t},{ "Tenv",to},{ "Penv",po}}; //
61.         //6 yerine RH değeri gelir,8 yerine sıcaklık
62.         String column[]= {"",""};
63.         JTable t1=new JTable(data,column);
64.         t1.setCellSelectionEnabled(false);
65.         t1.setBounds(10, 300, 150, 63);
66.         add(t1);
67.         /*
68.         //Psikrometrik bölümü Grafik (800*600 px2)
69.         JPanel psk=new JPanel();
70.         psk.setBounds(200,50,800,600);
71.         psk.setBackground(Color.white);
72.         add(psk);
73.
74.         */
75.
76.         //setSize(1024,768); //pencere boyutları
77.         setSize(200,500); //pencere boyutları
78.         setLayout(null);
79.         setVisible(true);
80.     }
81.
82.     public void actionPerformed( ActionEvent e)

```

```

81.  {  if(e.getSource()==b1)  //ölç
82.      {  signal=1;
83.      System.out.println(signal);
84.          /* if(signal==1) {signal=0;}
85.          else {signal=1;}*/
86.      }
87.
88.      if(e.getSource()==b2)  //kurutma
89.      {  signal=5;
90.      System.out.println(signal);
91.          /*if(signal==5) {signal=0;}
92.          else {signal=5;}*/
93.      }
94.
95.      if(e.getSource()==b3)  //durdurma
96.      {  signal=0;
97.      System.out.println(signal);
98.          /*if(signal==5) {signal=0;}
99.          else {signal=5;}*/
100.      }
101.
102.          /*if(e.getSource()==b4)  //durdurma
103.          {  psTEN.open();
104.          }*/
105.      }
106.
107.
108.
109.
110.
111.  }

```

Ek 4. LDR İle Çiy Noktası Tespiti

Çiy noktasını yakalamak için ölçülen sensör değerlerinin kısaltılmış hali olup çiy noktasının yakalandığı bölgeye odaklanılmıştır.

Ölçüm 1 DELAY 200									
T (oC)	To (oC)	ldrmir	RH	I1	I2	I3	I4	I5	I1- I5
18,35	26,74	839	54,56	839	839	839	839	840	-1
18,15	26,74	840	54,06	840	839	839	839	839	1
17,95	26,74	839	54,88	839	840	839	839	839	0
17,95	26,74	840	54,02	840	839	840	839	839	1

17,79	26,73	839	54,02	839	840	839	840	839	0
17,69	26,73	840	54,04	840	839	840	839	840	0
17,59	26,73	839	54,01	839	840	839	840	839	0
17,29	26,73	840	53,71	840	839	840	839	840	0
17,19	26,73	840	54,02	840	840	839	840	839	1
17,13	26,72	840	53,85	840	840	840	839	840	0
17,03	26,73	840	53,97	840	840	840	840	839	1
16,99	26,72	840	53,96	840	840	840	840	840	0
16,93	26,72	841	53,99	841	840	840	840	840	1
16,77	26,73	841	53,94	841	841	840	840	840	1
16,73	26,73	842	53,72	842	841	841	840	840	2
16,57	26,73	842	53,92	842	842	841	841	840	2
16,47	26,73	843	54,05	843	842	842	841	841	2
16,27	26,72	844	53,92	844	843	842	842	841	3
16,11	26,72	845	53,92	845	844	843	842	842	3
16,17	26,71	845	54,12	845	845	844	843	842	3
16,11	26,72	846	53,93	846	845	845	844	843	3
16,01	26,72	847	54,06	847	846	845	845	844	3
15,85	26,72	848	53,92	848	847	846	845	845	3
15,63	26,71	849	53,92	849	848	847	846	845	4
15,53	26,71	850	53,91	850	849	848	847	846	4
15,59	26,71	850	53,93	850	850	849	848	847	3
15,53	26,71	851	54,29	851	850	850	849	848	3
15,37	26,7	852	53,94	852	851	850	850	849	3
15,37	26,7	852	53,87	852	852	851	850	850	2
15,05	26,69	852	53,95	852	852	852	851	850	2
15,11	26,7	853	53,98	853	852	852	852	851	2
15,21	26,69	853	54,27	853	853	852	852	852	1
14,99	26,7	853	54,01	853	853	853	852	852	1
14,79	26,71	853	53,48	853	853	853	853	852	1
14,73	26,7	853	54,01	853	853	853	853	853	0
14,79	26,69	853	54	853	853	853	853	853	0
14,67	26,68	853	54	853	853	853	853	853	0
14,67	26,68	853	54	853	853	853	853	853	0
14,63	26,69	853	53,69	853	853	853	853	853	0

14,47	26,69	854	54,03	854	853	853	853	853	1
14,15	26,68	853	54,22	853	854	853	853	853	0
14,25	26,69	854	54,04	854	853	854	853	853	1
14,03	26,68	853	54,04	853	854	853	854	853	0
13,99	26,69	853	53,77	853	853	854	853	854	-1
14,03	26,68	853	54,02	853	853	853	854	853	0

Ölçüm 2

DELAY 200								
T (oC)	To (oC)	ldrmir	RH	I1	I2	I3	I4	I5
18,09	26,62	850	54,05	850	850	850	850	850
18,05	26,63	850	53,86	850	850	850	850	850
17,89	26,62	851	54,08	851	850	850	850	850
17,73	26,61	850	53,87	850	851	850	850	850
17,63	26,62	850	53,88	850	850	851	850	850
17,59	26,62	850	53,78	850	850	850	851	850
17,23	26,6	850	53,89	850	850	850	850	851
17,29	26,61	850	53,66	850	850	850	850	850
17,13	26,61	850	53,9	850	850	850	850	850
17,03	26,61	851	53,92	851	850	850	850	850
16,77	26,6	851	53,92	851	851	850	850	850
16,67	26,58	852	53,91	852	851	851	850	850
16,67	26,6	852	53,77	852	852	851	851	850
16,63	26,6	853	53,92	853	852	852	851	851
16,53	26,6	854	53,9	854	853	852	852	851
16,11	26,6	854	53,9	854	854	853	852	852
16,11	26,61	856	53,92	856	854	854	853	852
16,11	26,6	857	53,63	857	856	854	854	853
16,01	26,59	858	53,91	858	857	856	854	854
15,79	26,59	859	53,89	859	858	857	856	854
15,85	26,59	860	53,91	860	859	858	857	856
15,63	26,58	861	53,95	861	860	859	858	857
15,47	26,58	862	53,71	862	861	860	859	858
15,43	26,58	863	53,94	863	862	861	860	859
15,43	26,59	863	54	863	863	862	861	860

15,27	26,58	864	53,94	864	863	863	862	861
15,15	26,58	864	53,95	864	864	863	863	862
14,95	26,58	864	53,45	864	864	864	863	863
14,95	26,58	865	53,93	865	864	864	864	863
14,83	26,58	865	53,92	865	865	864	864	864
14,79	26,58	865	53,96	865	865	865	864	864
14,73	26,57	865	53,93	865	865	865	865	864
14,63	26,58	865	53,76	865	865	865	865	865
14,51	26,56	865	53,92	865	865	865	865	865
14,41	26,57	865	54,21	865	865	865	865	865
14,41	26,58	865	53,95	865	865	865	865	865
14,19	26,57	865	53,96	865	865	865	865	865
14,09	26,57	865	54,02	865	865	865	865	865
13,99	26,57	865	53,96	865	865	865	865	865
13,71	26,57	865	53,73	865	865	865	865	865
13,87	26,57	864	53,94	864	865	865	865	865
13,83	26,56	864	53,94	864	864	865	865	865
13,77	26,56	865	53,93	865	864	864	865	865
13,53	26,56	865	53,94	865	865	864	864	865
14,03	26,68	853	54,02	853	853	853	854	853

Ek 5. Harcanan Maliyet

HARACANAN MALİYET		
Ürün İsmi	Adet	Fiyat
BME280 (Klon)	1	15,00 ₺
BMP280 (Klon)	1	5,00 ₺
TLC271	1	2,75 ₺
DHT11	1	5,00 ₺
TSL2591	1	32,00 ₺
LM2596	3	21,00 ₺
TEC1-12705	1	8,00 ₺
TEC1-12706	1	26,00 ₺
Kablo		10,00 ₺
Ayna	3	3,00 ₺
MEGA (Klon)	1	45,00 ₺
OLED	1	20,00 ₺

Adaptör	1	23,00 ₺
Röle	1	13,00 ₺
Breadboard	1	2,00 ₺
DS18B20	1	8,00 ₺
LDR 11mm	3	7,50 ₺
Power Led	4	6,00 ₺
Fan1	1	25,00 ₺
Fan2	1	13,00 ₺
HeatSink	1	15,00 ₺
Pertinaks Kart	1	5,00 ₺
Direnç	400	9,00 ₺
Termal Macun	1	7,50 ₺
Vida		3,00 ₺
Barrel Jack	2	2,00 ₺
Kasa	1	200,00 ₺
PT-1000	2	20,00 ₺
K-Tipi Termokupl	1	15,00 ₺
Max31855	1	20,00 ₺
Yapıştırıcı	1	7,00 ₺
Max31865	1	20,00 ₺
MLX90615 (Klon)	1	45,00 ₺
TOPLAM		658,75 ₺