



EGE ÜNİVERSİTESİ

LİSANS BİTİRME TEZİ

ARDUINO KULLANARAK METALLER İÇİN ISI İLETİM KATSAYISI ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Tez Yazarları : Arda SAVTAK

Recep ÖZCAN

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa Turhan Çoban

Sunuş Tarihi : 24.06.2019

Ege Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü

İzmir, Bornova
2019

EGE ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

Makina Mühendisliği Bölümü

(LİSANS BİTİRME TEZİ)

**ARDUINO KULLANARAK METALLER İÇİN ISI
İLETİM KATSAYISI ÖLÇÜM SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Tez Yazarları : Arda SAVTAK

Recep ÖZCAN

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa Turhan Çoban

Sunuş Tarihi : 24.06.2019

İzmir, Bornova

2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Arda SAVTAK ve Recep ÖZCAN tarafından lisans bitirme tezi olarak sunulan “Arduino Kullanarak Metaller İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Siteminin Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisans Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği kapsamında tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 11.06.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Mustafa Turhan Çoban

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI
EGE ÜNİVERSİTESİ MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

EÜ Lisans Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Lisans Tezi olarak sunduğum “Arduino Kullanarak Metaller İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Siteminin Geliştirilmesi” 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.

24 / 06 / 2019

İmzası

Adı-Soyadı

Arda SAVTAK

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI
EGE ÜNİVERSİTESİ MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

EÜ Lisans Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Lisans Tezi olarak sunduğum “Arduino Kullanarak Metaller İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Siteminin Geliştirilmesi” 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.

24 / 06 / 2019

İmzası

Adı-Soyadı

Recep ÖZCAN

ÖZET**ARDUINO KULLANARAK METALLER İÇİN ISI İLETİM
KATSAYISI ÖLÇÜM SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

SAVTAK, Arda
ÖZCAN, Recep

Lisans Bitirme Tezi, Makine Mühendisliği

Tez Danışmanı: Dr.Öğr. Mustafa Turhan ÇOBAN

Haziran 2019, 71 sayfa

Mühendislik tasarımlarında ısı inceleme yapılırken çeşitli durumlarda malzemelerin iletim yoluyla yaptığı ısı transferini bilmek gerekir. Bu çalışmada, iletim yoluyla ısı transferi davranışını bilmediğimiz numunelerin ısı iletim katsayısını hesaplayan bir cihaz üretilmiştir.

Cihaz tek yönlü sabit ısı akısı ısıtıcı ve soğutucuların simultane çalışmasıyla oluşturulmuştur. Isı iletkenliğini ölçmek istediğimiz numune, ısıtıcı ve soğutucunun arasına ısı transferi ancak iletim yoluyla gerçekleştirilebilecek şekilde yerleştirilmiştir. Numunenin sıcak ve soğuk bölgelerine iki adet K tipi termokupl yerleştirilmiştir. Böylelikle ısı iletim formülündeki ısı iletkenlik katsayısı harici her değişken elde edildiği için ısı iletkenlik katsayısı hesaplanabilir hale gelmiştir. Bu hesaplama termokupl sensörlerine ve su akış sensörüne bağlı Arduino aracılığıyla bilgisayarda EXCEL programında yapılmıştır. Hesaplamaların kalibrasyonu için bakır numune kullanılmıştır. Ölçüm tamamlandığında cihazın hata payı %x olmuştur. Deney düzeneğinin teorik simülasyonu da ANSYS programında hesaplanıp pratik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Isı Transfer Katsayıları, Arduino, Sensör, Excel, Isıtıcı, Soğutucu, Ölçüm Cihazı, Yalıtım

ABSTRACT

DEVELOPING A HEAT CONDUCTION COEFFICIENT MEASURING SYSTEM WITH USING ARDUINO

SAVTAK, Arda
ÖZCAN, Recep

Bachelor in Mechanical Engineering

Supervisor: Dr.Öğr. Mustafa Turhan ÇOBAN

June 2019, 71 pages

In the thermal engineering designs, it is necessary to know the conduction heat transfer of the materials in various situations. In this study, a device that can measure the heat conduction coefficient has producted.

The device had created by a simultaneous work with between the heater and cooler, and it provides through a one direction heat flux. The specimen that we would like to measure heat conduction had placed in the device for allowing only conduction heat transfer. Two K type Thermocouples had positioned at the hot and cold surfaces of the specimen. Thus, the all variable excluding heat transfer coefficient, which could be calculated by this way, variables had obtained in terms of the basic heat conduction equation. This equation had calculated by EXCEL which has a connection system with Arduino, had linked by thermocouple sensors and a water flow sensor. For calibrating the system, copper specimen had used. After completing the all measures, the error had became around %x. The finite element simulation of the system had analysed in Ansys and has compared with the experimental results.

Keywords: Heat Transfer Coefficients, Arduino, Sensors, Excel, Heater, Cooler, Measuring Instrument, Insulation

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince her türlü konuda desteğini bizden esirgemeyen ve tezimizde büyük emeği olan, tez konusunun belirlenmesi, kapsamının ayrıntılandırılması, tez süresi boyunca yapıcı öneri ve eleştirileri ile sonuçların yorumlanmasında, çok değerli katkı ve yönlendirmeleri için değerli tez danışman hocamız Doç. Dr. Mustafa Turhan Çoban'a sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Tez çalışma süresince ve sonuçlandırılmasında atölye çalışmalarımızda bulundukları katkılardan dolayı hocalarımız Öğr. Gör. Fatih Baba ve Dr. Öğr. Üyesi Serdar Karaoğlu'na, yapıcı eleştiri ve önerilerinden dolayı Dr. Öğr. Üyesi Özay Akdemir'e teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1.GİRİŞ.....	1
2. ISI İLETİM KATSAYISI, ISITMA VE SOĞUTMA	3
2.1. Isı İletkenliği Ölçüm Yöntemleri	6
2.1.2. Eksenel akış yöntemleri	7
2.1.3. Karşılaştırmalı kesme çubuk (ASTM E1225 Test Yöntemi).....	8
2.2. Rezistans ile Isıtma.....	9
2.2.1. Rezistansın çalışma prensibi	10
2.3. Sıvı Akışı ile Isı Transferi	13
2.3.1. Isı değiştiricileri.....	13
2.3.2. Boru ve Kanallarda Akış	14
2.3.3. Sabit ısı akısının sabit debili sıvı akışına geçmesi	16

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. SABİT DEBİLİ SIVI AKIŞI.....	17
3.1. Bernoulli Denklemi	17
3.2. Basıncın Derinlikle Değişimi (Hidrostatik Basınç Farkı)	19
3.3. Büyük bir Depo için Yüzey Hızı Koşulu	20
3.4. Kütleli Debi.....	20
3.5. Boru ve Bağlantı Elemanlarında Oluşan Basınç Kayıpları.....	22
3.5.1. Basınç kayıplarının nedenleri.....	22
3.5.2. Basınç kayıplarının en aza indirilmesi	23
3.5.3. Borularda akış kayıpları	24
3.5.4. Sürtünme faktörünün hesaplanması	24
3.5.5. Bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları	25
4. ARDUINO, SENSÖRLER VE YAZILIM	28
4.1. Mikro Denetleyiciler	28
4.2. Arduino.....	30
4.2.1. Arduino Uno özellikleri	31
4.2.2. Arduino ile hazırlanabilecek projeler	32

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3. Arduino IDE Yazılımı	33
4.4. Sensörler.....	35
4.4.1. Sensörlerin çalışma prensibi	35
4.4.2. Sensör çeşitleri	36
4.4.3. Termokupllar ve MAX6675 sensörü.....	37
4.4.4. Su akış sensörü	40
5. ÖLÇÜM SİSTEMİN ÜRETİMİ	42
5.1. Üretimde Kullanılan Malzemeler.....	42
5.1.1. Soğutma sistemi malzemeleri.....	42
5.1.2. Isıtma sistemi malzemeleri.....	42
5.1.2. Yalıtım malzemesi.....	42
5.1.3. Elektronik ölçüm için malzemeler	42
5.1.4. Numune malzemesi	42
5.1.5. Montaj malzemeleri.....	43
5.2. Soğutma Sisteminin Üretimi	44
5.2.1. Sabit debili su döngüsü sistemi	44

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.2. Soğutma bölümü	45
5.2.3. Pompa ve borular	47
5.3. Isıtma Sisteminin Üretimi	48
5.4. Sensörlerin Sisteme Eklenmesi	51
5.4.1. Termokupl problemlerinin konumlandırılması	51
5.4.2. Su akış sensörünün konumlandırılması	52
5.4.3. Su akış sensörünün kalibrasyonu	53
5.5. Mikro Denetleyiciden Gelen Verilerin Bilgisayara Aktarımı	55
5.5.1. Devre elemanlarının kurulumu	55
5.5.2. Arduino ve Excel programlama	55
5.5.3. Arduino IDE için yazılmış olan kod	56
5.5.4. Arduino ve Excel arasındaki seri port haberleşmesi	57
5.6. Bütün Parçaların Montajlanması	59
6. HESAPLAMALAR	61
6.1. Nist Su Tablosundan Veri Fonksiyonlarının Elde Edilmesi	62
6.2. Yoğunluk ve Entalpi Değerlerinin Anlık Olarak Elde Edilmesi....	66

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.3. Isıl Hesaplar.....	68
6.3.1. Suya verilen ısıнын hesabı.....	68
6.3.2. Rezistans hesabı	68
6.3.3. Isı iletkenlik katsayısı hesabı.....	68
KAYNAKLAR DİZİNİ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. İletimle ısı geçişinin, moleküler faaliyetlere bağlı olan enerji yayılımıyla ilişkisi.....	3
2.2. Kartezyen eksenlerde iletim çözümlemesi için dx, dy, dz, diferansiyel kontrol hacmi.....	4
2.3. Isı iletim katsayısı ölçülen parçada ısı akısı.....	6
2.4. Isı iletim katsayısı ölçülen parçada ısı akısı.....	8
2.5. Çeşitli tiplerde üretilmiş rezistanslar.....	9
2.6. Basit tipte bir ısı değiştiricisi.....	13
2.7. Yalıtılmamış bir boru veya kanaldan çevreye olan ısı geçişi önemli büyüklükte olabilir.....	15
2.8. Boru veya kanal akışında birden çok iş etkileşimi olabilir.....	15
3.1. Dengede bulunan dikdörtgen bir akışkan elemanın serbest cisim diyagramı.....	19
3.2. Ortalama hız V_{ort} , bir en kesitteki V_n hızlarının ortalama değeri olarak tanımlanır.....	21
3.3. Bağlantı elemanlarına göre ortalama K faktörü değerleri.....	26
4.1. Arduino Uno Mikro denetçi Kartı.....	30
4.2. Arduino Uno özellikleri.....	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.3. Arduino Uno’da bulunan Atmega328 mikro denetleyicinin pim isimlendirmeleri.....	31
4.4. Arduino Uno’nun görselleştirilmiş hali.....	32
4.5. Arduino yazılım geliştirme ortamı (IDE).....	33
4.6. Sensörlerin çalışma prensibi.....	35
4.7. Modern bir termokupl dijital termometre.....	37
4.8. İstenilen özelliklere göre termokupl çeşitleri.....	38
4.9. MAX6675 K tipi termokupl sensörü (a) Gerçek görüntüsü (b) Görselleştirilmiş biçimi.....	39
4.10. MAX6675 sensörünün mikro denetleyiciye bağlantı şeması.....	40
4.11. Su akış sensörü (a) Dıştan görünümü (b) İç kısmı.....	40
4.12. Arduino ile su akış sensörünün bağlantı şeması.....	41
5.1. Su döngüsü sisteminin şematik çizimi.....	44
5.2. El ile kıvrılmış bakır boru.....	45
5.3. Soğutma bölümü.....	46
5.4. a) Numuneye temas edecek bakır bölüm, b) Alüminyum numune.....	46
5.5. Dalgıç Pompa.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6. Voltaj regülatörü.....	48
5.7. Rezistans olarak kullanılan T tipi termokupl.....	49
5.8. Bakır ısıtma bölümü (a) Rezistans kablolarının geçtiği yüz, (b) Numuneye temas eden yüz.....	49
5.9. Rezistansın bakır kanalından geçirilmiş hali.....	50
5.10. Termokupl probu yerleştirilmiş olan boru.....	51
5.11. Termokupl telinin geçebilmesi için ısıtma ve soğutma bölümüne açılmış olan ince kanal.....	52
5.12. Debi ölçümü için kullanılan su akış sensörü.....	52
5.13. Musluk suyundan beslenen akış sensörü düzeneği.....	53
5.14. Musluktan alınan suyun ölçüm kabına doldurulması.....	53
5.15. Sensörden ve ölçme kabından elde edilen verilerin kıyaslanması.....	54
5.16. Kurulan sensör bağlantılarının tam devre şeması.....	55
5.17. PLX-DAQ Excel makro programı.....	58
5.18. Excel ile seri port haberleşmenin sonucu olarak sensörlerden okunan değerlerin sırayla veri tabanı olarak düşmesi (değerler temsilidir)	58
5.19. Montajda kullanılan taş yünü.....	59
5.20. İç elemanların yerleşimi.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.21. Tahta bloklu iskelet.....	60
6.1. Nist su tablosunun oluşturulmasında birimlerin seçimi.....	62
6.2. Su tablosu veri tipinin seçimi.....	63
6.3. Tablo verisi için basınç ve değer aralıklarının girilmesi.....	63
6.4. Elde edilen su tablosu.....	64
6.5. Eğri uydurmayla elde edilen fonksiyonlar (a) Yoğunluk fonksiyonu (b) Entalpi fonksiyonu.....	65
6.6. Excel'e girilmiş olan sıcaklık ve yoğunluk değişkenleri.....	66
6.7. Excel'e girilmiş olan sıcaklık ve entalpi değişkenleri.....	66
6.8. Entalpiler ile hesaplanan sistemdeki ısı akışı.....	68
6.9. Isı iletkenlik katsayısının bulunması (değerler temsilidir)	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Q	Isı
Q_x	Isı akısı
T	Sıcaklık
$^{\circ}C$	Santigrat
L	Uzunluk
K	Isı iletim katsayısı
W	İş
Ke	Kinetik enerji
Pe	Potansiyel enerji
$\dot{m}$	Kütleli debi
h	Entalpi
ρ	Yoğunluk
z	Yükseklik
V	Hız
g	Yerçekimi ivmesi
P	Basınç

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
γ	Özgöl ağırlık
C_p	Özgöl ısı
H_l	Basma kaybı
F	Boyutsuz sürtünme
E	Bağıl pürüzlülük
V	Gerilim
I	Akım
 <u>Kısaltmalar</u>	
RAM	Rastgele erişimli bellek
ROM	Sadece okunan bellek
BUS	Kontrol alan veri yolu
EPROM	Silinip programlanabilir salt okunur bellek
EEPROM	Elektrikle silinebilen programlanabilir bellek
IDE	Tümleşik geliştirme ortamı
GNU	Genel kamu lisansı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
ADC	Analog dijital dönüştürücü
SO	Modül seri çıkışı
CS	Çip seçme pimi
SCK	Seri saat
GND	Topraklama pimi
NIST	Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü

1. GİRİŞ

Çeşitli malzemelerin ısı iletkenlik katsayısının hesaplanması için yapılmış olan bu çalışmada temel ısı iletimi formülünün tek yönlü ısı akısı oluşturularak sistemde uygulanması sağlanmıştır. Isı kaynağı, T tipi termokupl telinin rezistans şeklinde kullanılmasıyla elde edilmiştir. Soğutma ise sabit debili su akışına sahip boru ile yapılmıştır. Boru akışı sabit sabit su seviyesine sahip olan su deposundan elde edilmiştir. Rezistans telleri ve soğutma boruları iki ayrı bakır silindirin içine yerleştirilmiştir. Bakır silindir parçalar, numunenin kalınlığı hariç numune parçayla aynı olarak tasarlanmıştır. Soğutucunun üzerinde numune, numunenin üzerinde rezistans olacak şekilde konumlandırılan sistemin ısı akısının tek yönlü olabilmesi için, sistemin yan yüzeylerinin ısı yalıtımı yapılmıştır. Böylece sabit ısı akısı rezistanstan soğutucu boruya geçmiş, bakır numunenin içinde tek yönlü ısı akısı oluşturulmuştur.

Oluşturulan ısı akısı, bakır su borusunun sisteme giriş ve çıkış sıcaklıklarının farkı ile ölçülmüştür. Isıtıcının ve soğutucunun numuneye temas eden yüzeylerine K tipi termokupl konulmasıyla ısı iletimi katsayısı ve parça kalınlığından doğan sıcaklık farkı ölçülmüştür.

Termokupl ölçüm verileri 4 adet MAX6675 K Termokupl sıcaklık sensörünün Arduino bağlantısı okunup Excelde PLX-DAQ makrosu ile port haberleşmesi kullanılarak hesaplamaları yapılmıştır.

Sistemin üretimi ve hesapları için gereken literatür bilgisi dört temel başlıkta sıralanabilir.

1) Isı transferi

İkinci aşama olarak sistemin ısı iletkenlik katsayısının hesabı için ısı transferi teorik bilgisi kullanılmıştır. Isıtıcı ve soğutucunun kısmında sabit ısı üreten ve soğutma sistemler üretilmiştir. Ayrıca yalıtım malzemeleri ile ilgili detaylı araştırma da yapılmıştır.

2) Akışkanlar mekaniği

Depodan sabit debili su çıkışı, pompalama, geri besleme, basınç kayıpları, boru çap değişimleri konusunda literatürden yararlanılmıştır.

3) Arduino mikro denetleyici ve seri port haberleşmesi

Projede sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Sensör Arduino'ya bağlanmakla birlikte, bilgisayarda Excel üzerinden veritabanı kurulmuştur. Anlık veritabanı ile ısı transferi ve akışkanlar mekaniği hesaplamaları yapılmış ve ısı iletkenlik katsayısı bu metotla bulunmuştur.

4) Temel elektrik elektronik bilgisi

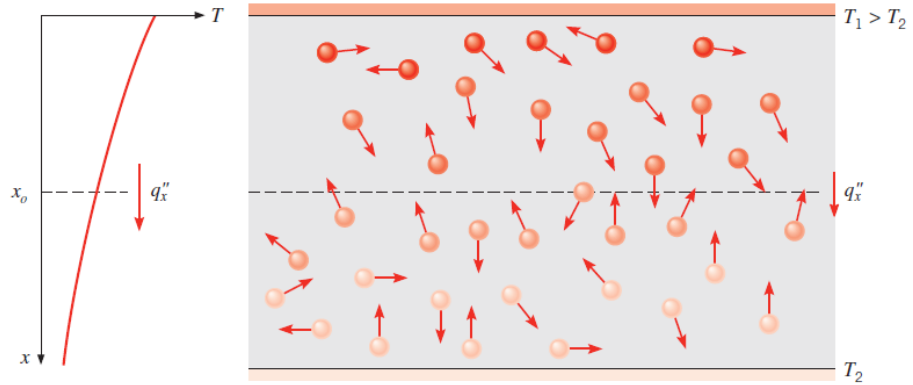
Voltaj regülatörünün T tipi termokupl kablosuna yapılan bağlantısı ile ısıtması için gereklidir. Ayrıca Arduino sensör bağlantılarında kullanılmaktadır.

Bir sonraki bölümlerde bu dört temel başlık ile ilgili temel literatür bilgisi verilmiştir. Devamında üretim aşamaları ve hesaplama sonuçları vardır.

2. ISI İLETİM KATSAYISI, ISITMA VE SOĞUTMA

İletim kelimesi, atomik ve moleküler faaliyetlerine bağlıdır ve ısı geçişinin bu türü olan ısı iletimi atomik ve moleküler düzeyde hareketle ilişkilidir. İletim, bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklardan daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler sonucunda enerjinin aktarılması olarak ifade edilir. (Incropera & DeWitt, 2011)

İletimin fiziksel mekanizması, bir gaz göz önüne alınarak ve termodinamik alt yapıdan bilinen düşünceler kullanılarak açıklanabilir. Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi İçinde sıcaklık farkı olan bir gaz göz önüne alınsın ve hiçbir kitlesel hareket olmadığı ve bu gazın, farklı sıcaklıklarda tutulan iki yüzey arasındaki hacmi kapladığı kabul edilsin.



Şekil 2.1. İletimle ısı geçişinin, moleküler faaliyetlere bağlı olan enerji yayılımıyla ilişkisi

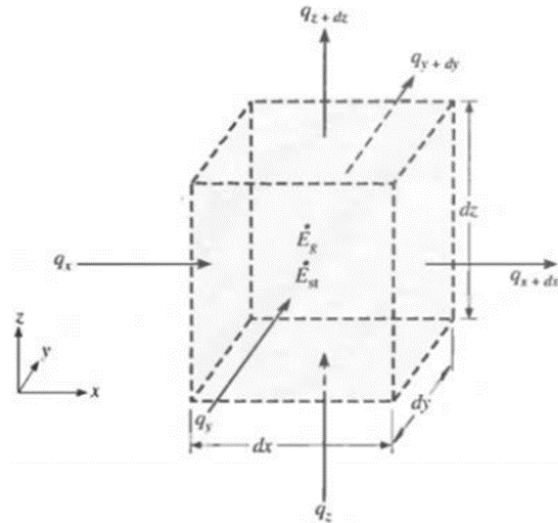
Herhangi bir noktadaki sıcaklık, o noktanın yakın çevresinde bulunan gaz moleküllerinin enerjisi ile ilişkilidir. Bu enerji, moleküllerin dönme ve titreşim hareketleriyle olduğu kadar, rastgele ötelenme hareketleri ile de ilişkilidir.

Daha yüksek enerjili moleküller, daha yüksek sıcaklıktadırlar ve komşu moleküller sürekli olarak çarpışırken, daha çok enerjili moleküllerden daha az enerjili moleküllere bir enerji aktarımı mutlaka gerçekleşir. Öyleyse, bir sıcaklık farkı olması durumunda, sıcaklığın azaldığı yönde iletim ile enerji aktarımı

gerçekleşmelidir. Bu aktarım, Şekil 2.1.'de açıkça görülmektedir. x_0 konumundaki hayali yüzey, sürekli bir biçimde, rastgele hareketlere bağlı olarak alttan ve üstten gelen moleküller tarafından geçilmektedir. Fakat, üstten gelen moleküller, alttan gelenlerden daha yüksek sıcaklığa sahiptirler ve bu durumda, artan x yönünde net bir enerji aktarımı gerçekleşmelidir. Rastgele moleküler hareket ile net enerji aktarımı, enerjinin yayılımı olarak ifade edilebilir. (Incropera & DeWitt, 2011)

Moleküller arasında daha az aralık olmasına ve moleküller arası etkileşimler daha kuvvetli ve daha sık olmasına rağmen, sıvılar için de durum hemen aynıdır. Benzer olarak, bir katı içindeki iletim de kafes titreşimleri şeklindeki atomik faaliyetlere bağlanabilir. Çağdaş anlayış, enerji aktarımını, atomik hareketlerin tahrik ettiği kafes dalgalarına yormaktadır. Bir elektrik yalıtkanında enerji aktarımı, tamamen bu kafes dalgaları yoluyla gerçekleşir. Bir iletkende ise, serbest elektronların ötelenme hareketine de bağlıdır.

Isı geçişi işlemlerini, uygun an denklemleri ile nicelemek mümkündür. Bu denklemler, birim zamanda aktarılan enerji miktarını hesaplamak için kullanılabilir. Isı iletimi için an denklemi, Fourier Yasası olarak bilinir.



Şekil 2.2. Kartezyen eksenlerde iletim çözümlemesi için dx , dy , dz , diferansiyel kontrol hacmi

Şekil 2.2'deki kontrol hacmi bir boyutlu düz duvar olarak ve $T(x)$ sıcaklık dağılımına sahip olarak ifade edilirse, an denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad 2.1$$

Isı akısı q : (W/m^2), ısı geçişi doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda, x doğrultusunda geçen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradiyanı dT/dx ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k , ısı iletim katsayısı (W/mK) olarak adlandırılan bir aktarım özeliğidir ve duvar malzemesi ile ilişkilidir. Eksi işareti, ısı geçişinin, sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşmesinin bir sonucudur. Şekil 1.37de gösterildiği gibi, sıcaklık dağılımının doğrusal Olduğu sürekli rejimde, sıcaklık gradiyanı

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad 2.2$$

Olarak ifade edilebilir ve ısı akısı da,

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad 2.3$$

Olarak yazılır. Bu denklem aynı zamanda ısı iletim katsayısının ölçümünü mümkün kılar.

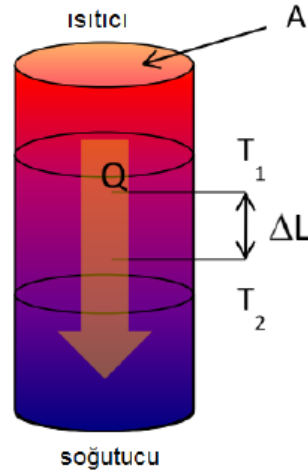
2.1. Isı İletkenliği Ölçüm Yöntemleri

Termal iletkenlik aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$k = q'' \frac{\Delta T}{\Delta L} \quad 2.4$$

Burada q'' , A kesitinden geçen ısı akısı, ΔT , ΔL kalınlığında oluşan sıcaklık farkını ifade eder.

Isıl iletkenlik ölçümü, bu nedenle, her zaman ısı akısı ve sıcaklık farkı ölçümünü içerir. Ölçüm zorluğu her zaman ısı akış ölçümü ile ilişkilidir. Isı akısı ölçümünün (örneğin, ısıtıcı içine giden elektrik güç ölçümü ile) doğrudan yapıldığı durumda, ölçüm mutlak olarak adlandırılır. (Şekil 3). Akı ölçümünün dolaylı olarak yapıldığı yerde (mukayese yolu ile), bu karşılaştırmalı yöntem olarak adlandırılır.



Şekil 2.3. Isı iletim katsayısı ölçülen parçada ısı akısı

Bu iki temel yönteme ek olarak, genellikle doğadaki geçici diğer ikincil yöntemler, aynı zamanda ısıl iletkenliği verebilir. (Sözbir, 2014)

Tüm durumlarda, numune sahip olduğu toplam ısı akısı (ve referanslar, karşılaştırmalı bir örnek olarak), tek eksenli olması gerekir. Bu nedenle, radyal doğrultuda ısı kayıpları veya ısı kazancı en aza indirilmelidir. Bu gibi basit çözümler örnek etrafında yalıtım malzemesi ile bir "koruma" kurulumu ile bir dereceye kadar gerçekleştirilebilir. Şayet numunenin koruması aynı sıcaklık farkı için kontrol edilirse, o zaman radyal ısı akışını en aza indirilecektir.

Belirli bir ölçüm sistemi ve konfigürasyonunda ısı iletkenliği, numune büyüklüğünden önemli şekilde etkilenir. Isı iletkenliği yüksek olduğunda, numuneler (örneğin silindir şeklinde), genellikle "uzun" seçilir. İletkenliği düşük olduğunda, numuneler (örneğin, levha veya disk şeklinde), genellikle "yassı" olarak seçilir.

Aşağıdaki bölüm, iletkenliği çok geniş bir yelpazede sergileyen bir katı malzemeler üzerinde 1500°C'ye kadar alt sıcaklıklarda başlıca iletkenlik ölçme yöntemlerini kapsar. Bu teknikler eksenel akış, radyal akış, korunan sıcak plaka ve sıcak tel yöntemidir.

2.1.2. Eksenel akış yöntemleri

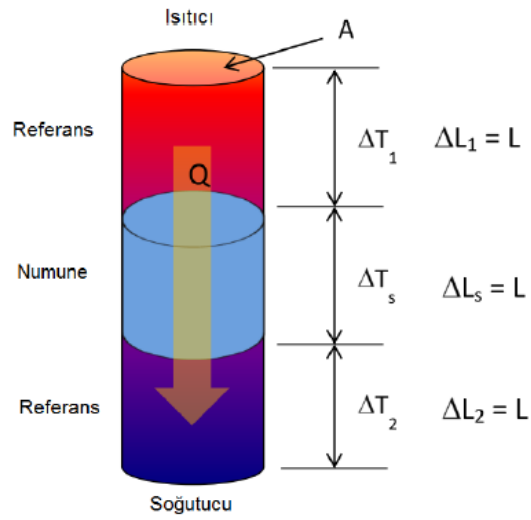
Eksenel akış yöntemleri uzun yıllardan bu yana yapılmaktadır ve literatürdeki en hassas ve güvenilir olandır. Bu, çok düşük sıcaklık derecelerinde tercih edilen bir yöntemdir.

En önemli ölçüm konusu radyal yöndeki kayıpların azaltılması olup özellikle ısıtıcının yerleştirildiği uç kısımda bu konu oldukça önemlidir. Bu kayıplar, düşük sıcaklıklarda çok azdır. Numunenin sıcaklığı oda sıcaklığının üstünde hareket ettikçe, ısı kayıplarının kontrolü daha zor hale gelir. Ancak uygulamada silindirik simetri ısı geçişi kullanılır.

Korunan ve korumasız çözümle ilave olarak, diğer kategoriler de ayrılır: Çoğunlukla alt ortamlarda mutlak eksenel ısı akışı kullanılır. Bu tür sistemler, ısıtıcı elektrik gücünü ayarlamak için çok hassas bir bilgi gerektirmektedir. Sonuç olarak, sıcak ısıtıcı yüzeyler kayıplarda önemli bir rol oynamaktadır. (Sözbir, 2014)

2.1.3. Karşılaştırmalı kesme çubuk (ASTM E1225 Test Yöntemi)

Bu belki de eksenel ısı iletkenliği test için en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu, ölçme ilkesinde termal sıcaklık gradyentleri bilinen bir örnek ve bilinmeyen bir örnek ile karşılaştırma yapılır. Daha çok, bilinmeyen (Şekil 4) elemanı ortadan kaldırmak için çok zor olan küçük ısı kayıpları için daha fazla hesapla, numune bilinen iki "referanslar" arasına sıkıştırılır. (Sözbir, 2014)



Şekil 2.4. Isı iletim katsayısı ölçülen parçada ısı akısı

K_R referans ısı iletkenliğidir. Buradan, bilinmeyen bir örneğin termal iletkenliği (K_S) aşağıdaki denklemden elde edilebilir:

$$\frac{Q}{A} = K_S \frac{\Delta T_s}{L} = K_R \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \frac{1}{L} \quad 2.5$$

2.2. Rezistans ile Isıtma

Rezistans ile ısıtma sabit ısı üretimi amacıyla kullanılır. Elektrikli ısıtıcılar, termosifonlar, tost makineleri, elektrik sobaları, saç kurutma makineleri, çamaşır kurutma makineleri, lehimleme cihazları, ütüler gibi eşyaların içindeki sabit ısı üretimi rezistanslar tarafından sağlanır.



Şekil 2.5. Çeşitli tiplerde üretilmiş rezistanslar.

İletkenlerin direnci daha düşük yalıtkanların direnci ise yüksektir. Bir elektrik veya elektronik devresinde, akımın seviyesini kontrol etmek için direnç adı verilen elemanları kullanılır. Direnç seviyesi akım azaltılarak veya arttırılarak kontrol edilebilir.

Rezistanslar, elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürmede kullanılan sabit dirençlerdir. İçlerinden elektrik akımı geçtiğinde ısınırlar. Sadece rezistans değil herhangi ince bir telin üzerinden bir akım geçirince de bu tel de ısınacaktır.

Isıtıcı oluşturmak istendiği zaman yüksek dirençli ve ısıtıldığında erimeyen malzemelere ihtiyaç duyulur. Bu malzemelere genel olarak rezistans adı verilir. (Woodford, 2018)

2.2.1. Rezistansın çalışma prensibi

Tipik bir rezistans genellikle bir bobin, şerit (düz veya oluklu) veya bir lamba filamanına benzer bir şekilde ısı veren bir tel şerittir. Elektrik akımı içinden geçtiğinde, kırmızı renkte yanar ve içinden geçen elektrik enerjisini her yöne yaydığı ısıya dönüştürür.

Rezistanslar genel olarak nikel bazlı veya demir bazlıdır. Nikel bazlı olanlar genellikle nikromdur. (yüzde 80 nikel ve yüzde 20 kromdan oluşan bir alaşım) Nikromun rezistanslar için en popüler malzeme olmasının çeşitli nedenleri vardır:

- 1- Yüksek bir erime noktasına sahiptir (yaklaşık 1400°C),
- 2- Yüksek sıcaklıklarda bile oksitlenmez
- 3- Isındığında çok genleşme yapmaz.

Çok farklı çeşitlerde rezistanslar vardır. Rezistansın içinde bazen nikrom olduğu gibi çıplak olarak kullanılır. Diğer zamanlarda daha sağlam ve dayanıklı hale getirilmek için seramik bir malzemeye gömülüdür (seramikler yüksek sıcaklıklarla başa çıkmak için idealdir). Bir rezistansın büyüklüğü ve şekli büyük ölçüde, içine sığması gereken cihazın boyutları ve ısı üretmesi gereken alan tarafından belirlenir. Saç kıvrırma kısıkaçları kısa, kıvrılmış elemanlara sahiptir; çünkü saçların etrafına dolanabilecek ince bir tüp üzerinde ısı üretmeleri gerekir. Elektrikli radyatörler uzun çubuk elemanlara sahiptir, çünkü odanın geniş bir alanına ısı yaymaları gerekir. Elektrikli sobalar doğru boyutta sarılmış rezistanslara sahiptir. (Çoğu durumda fırın elemanları metal, cam veya seramik plakalarla kaplıdır, böylece temizlenmesi daha kolaydır) (Woodford, 2018)

Bazı cihazlarda, rezistanslar çok daha belirgindir. Elektrikli bir ekmek kızartma makinesinde, makinenin duvarlarına yerleştirilmiş olan nikrom şeritlerini görmek kolaydır, çünkü kırmızı ve sıcak bir biçimde yanar. Elektrikli radyatörler parlayan kırmızı çubuklarla ısınırlar. Elektrikli konvektör ısıtıcıları genellikle elektrikli fanların önüne yerleştirilmiş eş merkezli, dairesel rezistanslara sahiptir. Bazı cihazlarda düşük sıcaklıklarda çalışan ve parlamayan görünür elemanlar vardır. Suyun kaynama noktası üzerinde çalışması gerekmeyen elektrikli su

ısıtıcıları buna iyi bir örnektir. Diğer cihazlarda, genellikle güvenlik nedeniyle, rezistanslar tamamen gizlenmiştir. Elektrikli termosifonların ve saç maşalarının rezistansları gizlemiş olduğundan elektrik çarpması riski yoktur.

Bütün bunlar, rezistansların çok basit ve anlaşılır olmasını sağlar; ancak bu elemanlar tasarlanırken göz önünde bulundurması gereken birçok farklı faktör vardır. Konuyla ilgili mükemmel kitabında Thor Hegbom, gerilim, akım, elemanın uzunluğu ve çapı gibi parametreler de dahil olmak üzere tipik bir rezistansın performansını etkileyen yaklaşık 20-30 farklı faktörü listeler. Malzeme türü ve çalışma sıcaklığı da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Her farklı öge türü için hesaba katılması gereken özel faktörler vardır. Örneğin, yuvarlak telden yapılmış bir sarmal eleman ile telin çapı ve sarmalların şekli (çap, uzunluk, eğim, gerilme vb.) performansı kritik olarak etkileyenler arasındadır. Bir şerit elemanı ile şerit kalınlığı ve genişliği, yüzey alanı ve ağırlık, hepsi hesaba katılmalıdır.

Rezistanslar izole olarak çalışmadığından daha büyük bir cihaza nasıl sığacağını ve kullanım sırasında nasıl davranacağı düşünülmelidir. Örneğin, eleman cihazın içindeki yalıtkanlar tarafından nasıl desteklenecek? Ne kadar büyük ve kalın olmaları gerekecek ve bu yapılan cihazın boyutunu etkileyecek mi? Destek izolatörleri arasında "bol dökümlü" bir eleman varsa, ısınırken ne olacak? Çok fazla sarkar mı ve bu sarkma sorunlara neden olur mu? Bu olayı durdurmak için daha fazla izolatöre mi ihtiyaç var veya malzemenin boyutlarının mı değiştirmesi gerekiyor? Birden fazla rezistansın birbirine yakın olduğu bir elektrikli soba gibi bir şey tasarlanıyorsa, bu elemanlar bireysel olarak ve bir arada kullanıldığında ne olacak? Üzerine hava üfleyen bir rezistans tasarlanıyorsa (konvektör ısıtıcı veya saç kurutma makinesi gibi bir şeyde), elemanın aşırı ısınmasını durdurmak için yeterli hava akımı oluşturulabilir mi? Tüm bu faktörlerin etkili, ekonomik, dayanıklı ve güvenli bir ürün yapabilmesi için birbirlerine karşı dengelenmeleri gerekir.

Bir rezistansın gerçekten yüksek bir direnç sahip olması gerektiğini düşünülebilir ancak ısıyı üreten direnç değil eleman boyunca akan akımdır. (Woodford, 2018)

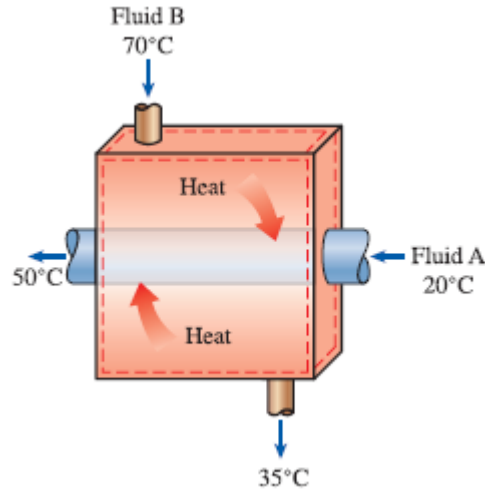
Rezistansın direnci mümkün olduğu kadar büyük yapıldığı zaman Ohm kanunu ($\text{voltaj} = \text{akım} \times \text{direnç}$ veya $V = IR$) elemandan akan akımın sonsuz küçük olması gerektiğini söyler. Çok büyük bir dirence sahip bir rezistans üzerinden akım akmaz dolayısıyla ısı üretilmez. Tam tersi küçük bir direnç kullanımında ise akım çok yükselir ve bir süre sonra kontrol edilemez hale gelip tüm devreyi mahveder. Bu nedenle bir rezistansta ihtiyaç duyulan, direnç ve akım arasındaki bir dengedir. Bu yüzden nikrom iyi bir seçimdir. Nikrom hem direnci hem de iletkenliği yüksek bir elementtir. (Woodford, 2018)

2.3. Sıvı Akışı ile Isı Transferi

Herhangi bir boru içi akışı herhangi bir farklı sıcaklıktaki bölgeye temas ettirildiğinde ısı soğuk bölgeye geçiş eğiliminde olur. Isı değiştiricileri bu prensipte çalışırlar. Bu bölümde ilk olarak ısı değiştiricilerinin teorik mantığı anlatılmıştır, sonrasında bir katının bu sistemde ısıtılması veya soğutması konusunda tekrar inceleme yapılmıştır.

2.3.1. Isı değiştiricileri

En basit ısı değiştiricisi Şekil 2.6'da gösterilen iç içe borulu veya gövde boru türü ısı değiştiricisidir. Bu tür bir ısı değiştiricisi çapları farklı, iç içe geçmiş borulardan oluşur. Akışkanlardan biri içteki boruda akarken, diğeri iki boru arasındaki boşlukta akar. Sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı geçişi, akışları birbirinden ayıran silindirik boru cidarından olur. Daha gelişmiş tasarımlarda, iç borunun yerini, gövde içinde dönüşler yapan bir boru demeti alır. Bu şekilde ısı geçiş yüzeyi ve buna bağlı olarak da ısı geçişi artırılmış olur. Daha önce incelenen karışma odaları bazen doğrudan temassız ısı değiştiricileri diye adlandırılır. (Çengel & Boles, Thermodynamics: An engineering approach, 2001)



Şekil 2.6. Basit tipte bir ısı değiştiricisi.

Bir ısı değıştiricisi için kütlenin korunumu ilkesi, sürekli akış durumunda, ısı değıştiricisine giren ve ısı değıştiricisinden çıkan akışların debilerinin toplamalarının eşit olmasını gerektirir. Bu sonuç şöyle de ifade edilebilir: Sürekli akış koşullarında, ısı değıştiricisinden geçen her iki akışanın kütle debileri ayrı ayrı sabittir.

Isı değıştiricilerinde genellikle iş etkileşimi yoktur ($w = 0$), her iki akış için kinetik ve potansiyel enerji değışimleri de ihmal edilebilir ($\Delta ke=0$, $\Delta pe=0$). Isı değıştiricileriyle ilgili geçişi, kontrol hacminin seçimine bağılı olarak farklı biçimlerde ifade edilebilir. Isı değıştiricileri, İki akışkanın değıştirici içinde birbirleriyle ısı alışverişinde bulunmalarını öngörür, değıştiricinin gövdesi genellikle çevre ortama ısı geçişini önlemek için yalıtılmıştır.

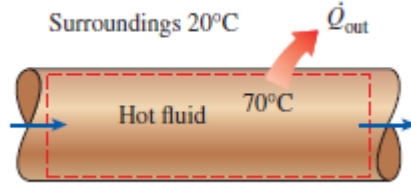
Isı değıştiricisinin tümü kontrol hacmi olarak seçilirse, Q sıfır olur, çünkü kontrol yüzeyi, yalıtılmış kabul edilen gövdenin dış yüzeyidir. Bu nedenle sınırlardan ısı geçişi yoktur veya çok azdır. Fakat kontrol hacmi akışkanlardan birini çevreleyecek şekilde seçilirse, sınırlardan ısı geçişi olacak ve Q sıfır olmayacaktır. Hatta bu durumda ısı geçişi, akışkanlar arasındaki ısı alışverişisi olacaktır. (Çengel & Boles, Thermodynamics: An engineering approach, 2001)

2.3.2. Boru ve Kanallarda Akış

Sıvıların veya gazların borularda veya kanallarda akışının mühendislik uygulamalarında büyük önemi vardır. Bir boru veya kanalda akış genellikle sürekli akış koşullarını sağlar, bu nedenle sürekli akışlı açık sistem olarak incelenebilir. Doğal olarak, akışı başlatma ve durdurma sırasında oluşan geçici koşullar kapsam dışındadır. Kontrol hacmi, çözümlemenin yapılacağı boru veya kanal bölümünün iç yüzeyleriyle çalışacak biçimde seçilebilir.

Boru veya kanallarda akış incelenirken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

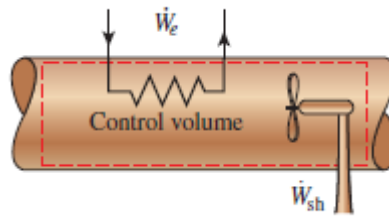
1) $\dot{Q} \neq 0$. Normal çalışma koşullarında, özellikle de boru veya kanalın uzun olmadığı durumunda, akışkanla çevre ortam arasındaki ısı geçişi azımsanmayacak ölçüde olabilir (Şekil 2.7). Akışkanla çevre ortam arasında ısı geçişinin olması bazen istenen hatta amaçlanan durumdur.



Şekil 2.7. Yalıtılmamış bir boru veya kanaldan çevreye olan ısı geçişi önemli büyüklükte olabilir.

Bir güç santralinde, kazan boruları içindeki su akışı, soğutucu akışkanın buzdolabı kanallarındaki akışı ve ısı değiştiricilerindeki akış örnek olarak verilebilir. Ban durumlarda ise, boru veya kanalda akan akışkanla çevre ortam arasında ısı geçişinin olmaması istenir. Bir fabrikada ısıl işlem için sıcak su veya buhar taşıyan borular örnek olarak verilebilir. Bu gibi durumlarda, özellikle, akışkanla çevre ortam arasındaki sıcaklık farkı büyük olduğu zaman boru veya kanallar yalıtılır. Yalıtılmış boru ve kanallarda ısı geçişi göz ardı edilebilir.

2) $\dot{W} \neq 0$. Kontrol hacmi içinde bir ısıtma elemanı (elektrik telleri), fan veya pompa (mil işi) bulunuyorsa, iş etkileşimleri göz önüne alınmalıdır (Şekil 2.8). Bunlardan fan işi genellikle küçüktür ve göz ardı edilebilir. Eğer kontrol hacminde yukarıda belirtilen elemanlardan hiçbiri yoksa, iş terimi sıfır alınabilir. (Çengel & Boles, Thermodynamics: An engineering approach, 2001)



Şekil 2.8. Boru veya kanal akışında birden çok iş etkileşimi olabilir.

3) $\Delta ke \cong 0$. Boru veya kanal akışında hızlar genellikle düşüktür ve kinetik enerji değişimleri önemsizdir. Bu kabul özellikle boru veya kanal kesit alanı sabit olduğu zaman ve ısıtma olmadığı zaman geçerlidir. Bununla birlikte, değişken alanına sahip kanallardaki kinetik enerji değişimleri önemli olabilir.

4) $\Delta pe \neq 0$ Boru ve kanallarda akışkanın yüksekliği önemli ölçüde değişebilir. Bu nedenle potansiyel enerji terimi önem kazanabilir. Bu durum özellikle, yalıtılmış boru ve kanallarda ısı geçişinin etkisi diğer enerji etkileşimlerini gölgelemediği zaman geçerlidir.

2.3.3. Sabit ısı akısının sabit debili sıvı akışına geçmesi

Bir giriş çıkışı bulunan sürekli akışlı açık borulu sisteme tek kaynaktan ısı girdisi söz konusuysa ve akış giriş çıkışı hariç geri kalan kısımlar yalıtımlıysa $\Delta ke = 0$, $\Delta pe = 0$, $\dot{W} = 0$ ve $\dot{Q} \neq 0$ durumu söz konusudur. Ayrıca bu akış sürekli dir. Enerjinin korunumundan sonuç olarak aşağıdaki formül elde edilir.

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad 2.6$$

Burada h_2 sıvının çıkış entalpisi, h_1 ise giriş entalpisidir. Eğer sıvıya ısı girdisi olursa burada $h_2 > h_1$ olur. Sonuç olarak çıkışta sıvı ısınmış olacaktır. Basit soğutma sistemleri bu mantık esas alınarak tasarlanabilir. (Çengel & Boles, Thermodynamics: An engineering approach, 2001)

3. SABİT DEBİLİ SIVI AKIŞI

Isı iletimi ölçme yöntemlerinde soğutma sistemine verilen sabit ısı akısını elde etmek elzemdir. Soğutma boruların içinden akan sıvı ile sağlanacaksa sistemdeki sıvının debisinin sabit olması gerekir. Bunun için sabit sıvı yüksekliği şartını sağlayan su depolarından elde edilen sabit debi elde etme yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemin teorik alt yapısı bu bölümde verilmiştir.

3.1. Bernoulli Denklemi

Bernoulli denklemi basınç, hız ve yükseklik arasındaki ilişkiyi temsil eden yaklaşık bir bağıntıdır. Bu denklem net sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilebilir olduğu daimi, sıkıştırılamaz akış bölgelerinde geçerlidir. Basitliğine rağmen bu denklemin akışkanlar mekaniğinde çok güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır.

Bernoulli denkleminin türetilmesinde temel kabul; viskoz etkilerin, atalet, yerçekimi ve basınç etkilerine oranla ihmal edilebilir derecede küçük olduğudur. Her akışkanın viskozitesi olduğundan ("viskoz olmayan" akış kan diye bir şey yoktur), bu yaklaşım uygulamada akışın tüm bölgelerinde geçerli olamaz. Diğer bir deyişle, akışkanın viskozitesi ne kadar küçük olursa olsun, Bernoulli denklemi akışın her yerinde uygulanamaz. Bununla birlikte bu yaklaşımın uygulamadaki akışların çoğunun belirli bölgeleri için makul olduğu görülür. Bu tür bölgelerden akışın viskoz olmayan bölgeleri olarak söz edilir. Ancak bunlar, akışın kendisinin viskoz olmadığı veya sürtünmesiz olduğu bölgeler değil, sadece net viskoz ve sürtünme kuvvetlerinin akışkan parçacıkları üzerine etkileyen diğer kuvvetlere oranla ihmal edilebilir düzeyde küçük olduğu bölgelerdir.

Sabit ve sıkıştırılamaz akışlarda Bernoulli denklemi sürtünme faktörleri hesaba katılmaksızın aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2 + \rho g z_2 \quad 3.1$$

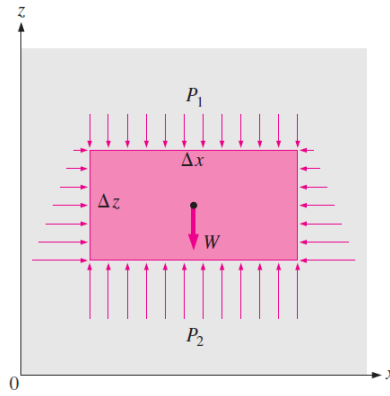
Bernoulli denklemi sadece viskoz olmayan akış bölgelerine uygulanan bir yaklaşım olduğundan, bu denklemi uygularken dikkatli olunmalıdır. Genelde katı cisimlerin çeperlerine çok yakın bölgelerdeki (sınır tabakalarda) ve cisimlerin

hemen aşağı akımındaki (akışın art izlerindeki) sşrtşnme etkileri daima 3nemlidir. Bu yşzden Bernoulli denklemi genellikle akış hareketinin basınç ve yerçekimi kuvvetlerinin etkisiyle y3nlendirildiği, sınır tabakaları ve art izleri dışında kalan akış b3lgelerinde kullanışlıdır. (Çengel & Cimbala, Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 2006)

3.2. Basıncın Derinlikle Değişimi (Hidrostatik Basınç Farkı)

Basıncın durgun bir akışkan içerisinde yatay yönde değişmemektedir. Bu durum; ince, yatay bir akışkan tabakası göz önüne alınarak ve herhangi bir yatay yönde kuvvet dengesi yazılarak kolayca gösterilebilir. Bununla birlikte bir çekim alanındaki düşey yön için aynı şey söylenemez. Bir akışkan içerisindeki basınç derinlikle artar. Bunun nedeni; derinlerdeki tabakaların üzerinde daha fazla miktarda akışkan bulunması ve derindeki bir tabaka üzerindeki bu "fazladan ağırlık" etkisinin, basınçta meydana gelen bir artışla dengelenmesidir.

Fazladan ağırlık etkisi kuvvet dengesi oluşturulduğunda şekildeki gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.1. Dengeye bulunan dikdörtgen bir akışkan elemanın serbest cisim diyagramı

Serbest cisim diyagramından elde edilen formülden basıncın derinlikle değişimi eşitliği elde edilir. (Çengel & Boles, Thermodynamics: An engineering approach, 2001)

$$\Delta P = P_2 - P_1 = -\rho g \Delta z = -\gamma_s \Delta z \quad 3.2$$

Bu ifadede $\gamma_s = \rho g$ akışkanın özgül ağırlığıdır. Eşitliğe göre yoğunluğu sabit bir akışkan içerisinde iki nokta arasındaki basınç farkı, bu iki nokta arasındaki düşey mesafe Δz ve akışkanın yoğunluğu ρ ile doğru orantılıdır. Eşitlikteki negatif işaret, statik haldeki bir akışkan içerisindeki basıncın derinlikle lineer olarak arttığını ifade etmektedir.

3.3. Büyük bir Depo için Yüzey Hızı Koşulu

Birçok Bernoulli ve daimi akış enerji problemi, büyük bir depodan sıvı akışını içerir. Çıkış, depo hacmine göre küçük ise deponun yüzeyi zar zor hareket eder. Bundan dolayı, bu problemler depo yüzeyinde sıfır hız kabul ederek çözümlenirler. Depo yüzeyindeki basınç atmosferik olarak kabul edilir. Bernoulli denklemi ile bir çözüm, ikinci bir denetim hacmi analizi gerektirmez, sadece verilen bir akım çizgisi boyunca iki noktanın, 1 ve 2, bir seçimini gerektirir. (White, 1999)

3.4. Kütlesel Debi

Bir en-kesitten birim zamanda geçen kütle miktarına kütlesel debi denir ve $\dot{m}$ ile gösterilir.

Akışkan genellikle borular ya da kanallardan geçerek bir kontrol hacminin içine doğru veya kontrol hacminden dışarı doğru akar. Bir borunun herhangi bir en-kesitindeki küçük bir δA_c diferansiyel alanından geçen diferansiyel kütlesel debi, δA_c alanı, akışkanın yoğunluğu ρ ve bu akış hızının bu alana dik bileşeni V_n ile orantılıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir. (Çengel & Boles, Thermodynamics: An engineering approach, 2001)

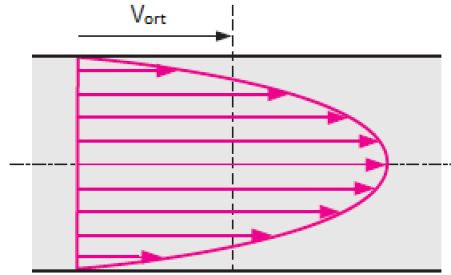
$$\delta \dot{m} = \rho V_n \delta A_c \quad 3.3$$

Bir kanal ya da borunun tüm en-kesit alanından geçen toplam kütlesel debi integral alınarak bulunur

$$\dot{m} = \int_{A_c} \rho V_n \delta A_c \text{ (kg/s)} \quad 3.4$$

Denklem 3.4 daima geçerli ve sonucu tanı olarak vermesine rağmen, integral işlemi nedeniyle mühendislik analizleri için pek kullanışlı değildir. Bunun yerine kütlesel debiyi borunun en-kesitindeki ortalama değerler cinsinden ifade etmek daha uygundur. Genel bir sıkıştırılabilir akışta p ve V borunun en-kesiti üzerinde değişir. Bununla birlikte birçok uygulamada p borunun en-kesiti üzerinde sabit kalır ve bu sayede p yoğunluğu Denklem 3.1'deki integralin dışına alınabilir. Öte yandan çeperdeki kaymazlık şartından ötürü, akış hızı borunun en-

kesiti üzerinde hiçbir zaman üniform değildir. Daha doğrusu hız çeperlerde sıfır değerinden borunun eksen çizgisinde veya eksen çizgisi yakınlarında maksimum değerine ulaşacak şekilde değişir. Borudan geçen akışkanın ortalama hızı V_{ort} , borunun tüm en-kesit alanı üzerindeki V_n hızlarının ortalama değeri olarak tanımlanır (Şekil 3.2):



Şekil 3.2. Ortalama hız V_{ort} , bir en kesitteki V_n hızlarının ortalama değeri olarak tanımlanır.

$$V_{ort} = \frac{1}{A_c} \int_{A_c} V_n \delta A_c \quad 3.5$$

Burada A_c akış yönüne dik yöndeki en-kesit alanıdır. Eğer V_{ort} hızı tüm en-kesitte aynı olsaydı, kütleli debi gerçek hız profilinin integralinden elde edilecek kütleli debi ile aynı olurdu. Böyle bir durumda sıkıştırılamaz akış ve ρ yoğunluğunun A_c en kesit alanı üzerinde yaklaşık olarak sabit kaldığı sıkıştırılabilir akış için Denklem 3.5 aşağıdaki hale gelir:

$$\dot{m} = \rho V_{ort} A_c \quad (\text{kg/s}) \quad 3.6$$

Bu denklem birim zamanda bir kontrol hacmine giren toplam kütlenin, birim zamanda bu kontrol hacmini terk eden toplam kütleye eşit olacağını ifade etmektedir.

3.5. Boru ve Bağlantı Elemanlarında Oluşan Basınç Kayıpları

3.5.1. Basınç kayıplarının nedenleri

Enerjinin korunumu prensibi gereğince bir borudaki veya kontrol hacmindeki ideal ve gerçek akışında enerji kayıplarının olmaması gerekir. İdeal bir sıvı akısı halinde enerji dönüşümleri sadece bunlar arasında oluşur;

1. Akış işi (basınç yüksekliği)
2. Kinetik enerji (hız yüksekliği)
3. Potansiyel enerji (potansiyel yükseklik)

Bütün enerji formlarının (biçimleri) hepsi kullanışlı olup kullanışlı bir enerji çıkışına dönüştürebilir veya sıvı akısında kullanılabilir (basınçlı tanklar içinde). Gerçek sıvılar olması durumunda, sıvı akısı durumunda moleküller arasında sürtünme oluşur. Bu sürtünme iki ana nedenden dolayı ortaya çıkmaktadır.

1. Akışın akıntı dışı doğası
2. Sıvı viskozitesi sonucu sıvı sürtünmesi

Moleküller arasında sıkıntı sonucu gerçek sıvılarda enerjinin dördüncü bir biçimi ortaya çıkar, sıvıların iç enerjisinin transfer olan bir enerji olarak isimlendirilir. Sonuç olarak bu enerji sonucu sıvı ısınır. Bu enerji transferi genellikle denetlenmediğinden “kayıp” olarak kabul edilir. Çünkü sıvıdaki sıcaklık artışı çok küçüktür ve hızla yüzeylerden dağılır. Örnek olarak 10m’lik basınç kaybı su sıcaklığında sadece 0,0230C yükselmeye yol açar.

3.5.2. Basınç kayıplarının en aza indirilmesi

Akış kayıpları faydalı enerjinin kaybı olduğundan, kayıpların en aza indirilmesi çok önemlidir. Buna rağmen borular, bağlantı elemanları ve tesisat üzerindeki akış kayıplarının en aza indirilmesi için oldukça büyük bir masraf yapılması kaçınılmaz olacaktır. İdeal alanı enerji kayıplarının düşürülmesi ve sıvı akış sisteminin fiyatının arttırılmasıdır. Maksat, birçok durumlarda (hatta büyük tesisatlarda bile) mühendislik tecrübelerine dayanan çok ekonomik sistem tasarım hesaplarına teşebbüs edilmez, geçmiş tecrübelerden yararlanarak pratik kurallardan yararlanır. Bununla birlikte en ekonomik olarak tasarlanan sistem tasarımına ödenecek harç bir miktar fazla olabilecek iken enerji maliyetinin artması kaçınılmazdır. Akış kayıpları şu yollarla azaltılabilir:

1. Akış hızını düşürmek. Çünkü basma kayıpları katmanlı (laminer) akışta hıza eşit olarak değişirken türbülanslı akışta hızın karesiyle orantılı değişir. Akış hızı bir sistemde hız düşürülerek veya verilen bir debi için boru çapı büyütülerek düşürülür. Bu durum aşağıdaki işlemlerle görülebilir;

$$Enerji = mgH = m \cdot 9.81 \cdot 10 = m \cdot 9.81 (J) \quad 3.7$$

$$Sıcaklık artışı = mc_p \Delta T \quad 3.8$$

$$Su \text{ için } c_p = 4.19 \text{ kJ/kgK} \quad 3.9$$

$$\Delta T = \frac{m \cdot 9.81}{m \cdot 4.19 \cdot 10^3} = 0.023 \text{ } ^\circ\text{C} \quad 3.10$$

2. Sıvının viskozitesinin düşürülmesi. Bu genelde pratik bir uygulama değildir. Ancak fuel-oil gibi viskozitesi çok yüksek olan sıvılarda onları ısıtmak akışkanlıklarını arttırır. Diğer bütün durumlarda basınç kayıplarının düşürülmesi ısıtma masraflarından ucuza gelecektir. (Ulus, 2013)

3. Girdap ve türbülansların en aza indirilmesi. Bu, boru ve elemanlarında keskin köselerden, ani kesit değişimlerinden pürüzlü iç yüzeylerden kaçınmak suretiyle dikkatli sistem tasarımıyla sağlanabilir. Buna rağmen, standart boru ve bağlantı elemanlarının kullanılması ekonomik olacaksa bunları basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçmek gerekir.

3.5.3. Borularda akış kayıpları

Borularda akış kayıplarını hesaplamak için en kullanışlı formüllerden biri Darcy-Weisbach denklemidir (Darcy eşitliği olarak da bilinir). (Ulus, 2013)

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad 3.10$$

Burada; H_L = basma kaybı (m akışkan akısı), L = borunun uzunluğu (m), u =ortalama anma akış hızı (m/s), g =yer çekimi ivmesi (m/s^2), f =boyutsuz sürtünme olarak tanımlanır.

3.5.4. Sürtünme faktörünün hesaplanması

Moody diyagramı çok geniş kullanıma sahiptir. Moody diyagramı aslında sürtünme faktörü (sol y ekseninde) ve Reynolds sayısının (x ekseninde) logaritmik ölçekte çizimidir. Sağ taraftaki y eksenini şu şekilde tanımlanan bağıl pürüzlülük değerini verir.

$$\text{Bağıl Pürüzlülük } (\varepsilon_R) = \frac{\text{mutlak pürüzlülük } (\varepsilon)}{\text{boru çapı}(d)} \quad 3.11$$

Mutlak pürüzlülük yüzeydeki girinti çıkıntıların ortalama yüksekliğidir ve borunun malzemesine ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tipik mutlak pürüzlülük değerleri Moody diyagramı içinde gösterilmiştir. Ekstrüzyonla üretilen (demir dışı) borular, cam ve plastik borular çok hassas yüzeye sahiptir ve tamamen sürtünmesiz olarak kabul edilebilir. En düşük sürtünme faktörü (verilen bir Reynolds sayısı ile) en aşağıdaki eğri “pürüzsüz boruları” göstermektedir. Reynolds sayısı 2000’in altında ise akış katmanlıdır (laminerdir). Katmanlı akışta sürtünme faktörü, pürüzlülüğünden bağımsız olarak sadece Reynolds sayısına bağlıdır. Bu, diyagramın sol tarafında aşağıya doğru düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Sadece katmanlı akış için;

$$f = \frac{64}{Re} \quad 3.12$$

f =sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının birbirine ters orantılı olduğu bu formülde açıkça görülmektedir.

3.5.5. Bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları

Bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları sıklıkla “ikincil kayıplar” olarak adlandırılırsa da yanlış kullanım olduğunda bağlantı elemanlarından kaynaklanan basma kayıpları boruların kendisinden kaynaklanan kayıpları geçebilir. Bağlantı elemanlarındaki kayıpların hesaplanmasında çeşitli yöntemler kullanılabilir, en yaygın ve geniş kullanım “K faktörü” yöntemidir. (Ulus, 2013)

$$H_L = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad 3.13$$

Burada; H_L = bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları, V = ortalama veya anma akış hızı (m/s), g = yer çekim ivmesi (m/s^2), K = boyutsuz bağlantı kayıp faktörüdür.

K değerinin bulunması için birçok tablo ve diyagramlar elde edilebilir ki o pratikte şunlara bağlıdır:

1. Bağlantı elemanının malzemesi ve üretim yöntemi
2. Bağlantı elemanının boyutu
3. Akışkanın karakteri

Buna rağmen K faktörünün hesabında yüksek hassasiyet gerektirmeyen durumlar için aşağıda verilmiş olan tabloda ortalama değerleri birçok durumlarda kullanılabilir.

BAĞLANTI ELEMANI		K FAKTÖRÜ
U dönüşü (kapalı)		2.2
Standart 45° dirsek		0.4
Standart 90° dirsek		0.9
Uzun radyüslü (geniş) 90° dirsek		0.6
Dişli birleştirme(ünyon)		0.05
T (akış hat boyunca)		0.4
T (akış yan taraftan)		1.8
Ani Genişleme		$(1-A_1/A_2)^2$
Ani Daralma (A_2/A_1)	0	0.5
	0.1	0.4
	0.3	0.45
	0.5	0.3
	0.7	0.2
	0.9	0.08
Yavaş Daralma		İhmal edilebilir
Yavaş Genişleme, açığa bağlı	>50°	1.0
	40°	0.9
	30°	0.7
	20°	0.4
	10°	0.15
Sürgülü (şiber) vana, (konumu),	tam açık	0.2
	¾ açık	0.9
	½ açık	5.0
	¼ açık	24
Stop (diskli) vana, (konumu),	tam açık	10.0
	¾ açık	11.0
	½ açık	12.5
	¼ açık	50.0
Klapeli valf, filtreli (mafsallı)		2.0
(kaldırmalı)		10.0
Çek valf (klape), (mafsallı)		2.5
(bilyalı)		4.0
(kaldırmalı)		15.0

Şekil 3.3. Bağlantı elemanlarına göre ortalama K faktörü değerleri (Ulus, 2013)

K faktörü için pratik bilgiler:

1. Ani duraklama ve genişlemelerde K faktörü giriş A1 yüzeyi ile çıkış A2 yüzeyi oranına bağlıdır. Ani genişleme durumunda K faktörünü belirlemek için basit bir formül verilmiştir. Ani daralma durumunda aynı formül kullanılmaz ve K değeri tablodan uygun olan oranına göre seçilir.

2. Şayet bir boru tank veya depoya bağlanıyorsa, A1/A2 oranı sıfır alınabilir. Bundan dolayı K=1 alınır. Bir tank veya depodan bir boruya girişte A2/A1 oranı sıfır alınabilir, böylece K=0,5 alınır.

3. Yavaş daralmalar için, gittikçe incelen veya iyi yuvarlatılmış geçişlerde basma kaybı ihmal edilebilir. Kademeli genişlemelerde K faktörü duvarın eğimine bağlıdır. Şayet açı 500 'yi aşarsa etkisi ani genişleme gibi olur ve $K=1$ alınabilir. Şayet açı çok keskin ise ve 100 'nin altında ise basma kayıpları ihmal edilebilir ve $K = 0$ alınabilir.

4. Vana için K faktörü (ve ayrıca basma kaybı) valfin açılma oranına bağlıdır. Valf tamamen kapalı olduğunda K faktörü sonsuz olduğunda valfle tamamen basma kaybı vardır (akış olmaz). Tam akış olan bir sistemde valf normal olarak tamamen açıktır. Buna rağmen, tasarım mühendisleri valfleri seçerken ayar emniyeti sağlamak üzere $\frac{1}{2}$ veya $\frac{3}{4}$ açık olarak dikkate alırlar. Bazı durumlarda kısma kontrolün önemli bir parçasıdır, sıvı akış sistemini tasarlarken düşük bir kısma gerekebilir.

5. Sabit boru çaplarında uygun boyutlu bağlantı elemanları kullanılabilir. u hızı bütün bağlantı elemanlarında sabit kabul edilir. Böylece toplam K faktörü bütün bağlantı elemanlarının K değerlerinin toplamı olarak alınabilir. (Ulus, 2013)

4. ARDUINO, SENSÖRLER VE YAZILIM

4.1. Mikro Denetleyiciler

Mikro denetleyiciler adından da anlaşılacağı üzere mikro denetleyiciler, mikro düzeyde denetleyici olarak tabir edilen programlayarak kontrol edilebildiğimiz aslında dijital bir bilgisayardır.

Bir mikro denetleyici, komple bir bilgisayarın (Merkezi işlem birimi, hafıza ve giriş-çıkışlar) tek bir bütünleşmiş devre üzerinde üretilmiş halidir. Kısıtlı miktarda olmakla birlikte yeterince hafıza birimlerine ve giriş – çıkış uçlarına sahip olmaları sayesinde tek başlarına çalışabildikleri gibi donanımı oluşturan diğer elektronik devrelerle irtibat kurabilir, uygulamanın gerektirdiği fonksiyonları gerçekleştirebilirler. Üzerinde analog-dijital çevirici gibi bütünleşmiş devreler barındırmaları sayesinde algılayıcılardan her türlü verinin toplanması ve işlenmesinde kullanılabilmektedirler. Ufak ve düşük maliyetli olmaları gömülü uygulamalarda tercih edilmelerini sağlamaktadır.

Günümüzde mikro işlemci ve mikro denetleyiciler üreten irili ufaklı pek çok firma bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak INTEL, MOTOROLA, AMD, PHILIPS, SIEMENS, TEXAS INS., DALLAS, ATMEL, MICROCHIP, HITACHI, MITSUBISHI, SGSTHOMSON, ANALOG DEVICES, NATIONAL gibi firmalar sayılabilir.

Arduino günümüzde en çok tercih edilen bir mikro denetleyicidir. Yüksek seviyeli C dili ile geliştirilen AVR mimarisi ile tasarlanmıştır. Açık kaynak kodlu olması, donanım ve yazılımına kolay bir şekilde ulaşılabilmesi ve pic diğer mikro denetleyiciler gibi çıplak olmayışı programlanabilmesinin bir parça kod ile sağlanması bunun nedenlerindendir. (Demir, 2016)

Bir mikro denetleyicide bulunması gereken özellikler şunlardır:

- Programlanabilir dijital paralel giriş/çıkış.
- Programlanabilir analog giriş/çıkış.
- Seri giriş/çıkış (senkron, asenkron ve cihaz denetimi).
- Motor veya servo kontrol için pals sinyali çıkışı.

- Harici giriş vasıtasıyla kesme.
- Timer vasıtası ile kesme.
- Harici bellek ara birimi.
- Harici bus arabirimi (PC ISA gibi).
- Dâhili bellek tipi (ROM, EPROM, EEPROM).
- Dâhili RAM seçeneği.
- Kayan nokta hesaplaması.

Bir mikro denetleyicide bir komutun işlenme süreci 4 aşamada gerçekleştirilir.

1. Alma (Fetch): Hafızaya yüklenmiş olan program komutlarını alır.
2. Kod Çözme (Decode): Yazmaçtaki komutları kod çözücü(decoder) yardımıyla çözer.
3. Uygulama (Execution): Çözülen komutları uygular ve bu işlemi sürekli tekrar eder.
4. İşlemi tamamlama (Complete Process): İşlemi tamamlama sürecidir. Bazı komutlarda işlem sonucunu W ya da file register'a yazma süreci olarak düşünülmüştür, bazı komutlarda ise bu süreç içerisinde işlem yapılmaz. (Demir, 2016)

4.2. Arduino

Arduino bir G/Ç kartı ve Processing/Wiring dilinin bir uygulamasını içeren geliştirme ortamından oluşan bir fiziksel programlama platformudur.

Arduino kartlarının donanımında bir adet Atmel AVR mikrodenetleyici (ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4 gibi) ve programlama ve diğer devrelere bağlantı için gerekli yan elemanlar bulunur. Her Arduino kartında en azından bir 5 voltluk regüle entegresi ve bir 16MHz kristal osilator (bazılarında seramik rezonatör) vardır. Arduino kartlarında programlama için harici bir programlayıcıya ihtiyaç duyulmaz, çünkü karttaki mikro denetleyiciye önceden bir bootloader programı yazılıdır.



Şekil 4.1. Arduino Uno Mikro denetçi Kartı

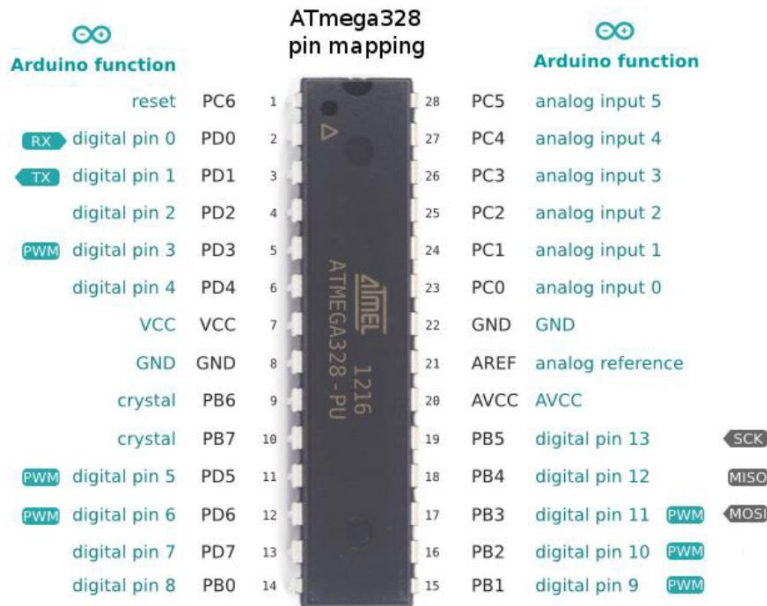
Arduino açık kaynak kodlu bir elektronik platformdur. Arduino işlemcileri Atmel firmasının ürünleridir. Arduino tek başına çalışan nesneler geliştirmek için kullanılabileceği gibi bilgisayar üzerinde çalışan yazılımlara da bağlanabilir. Hazır üretilmiş kartlar satın alınabilir veya kendileri üretmek isteyenler için donanım tasarımı ile ilgili bilgiler mevcuttur. Arduino geliştirme kartı üzerindeki mikroişlemci (AtmegaXX) Arduino programlama dili (wiring tabanlı) ile programlanır ve bu program Processing tabanlı Arduino Yazılım Geliştirme Ortamı (IDE) yardımı ile karta yüklenir.

4.2.1. Arduino Uno özellikleri

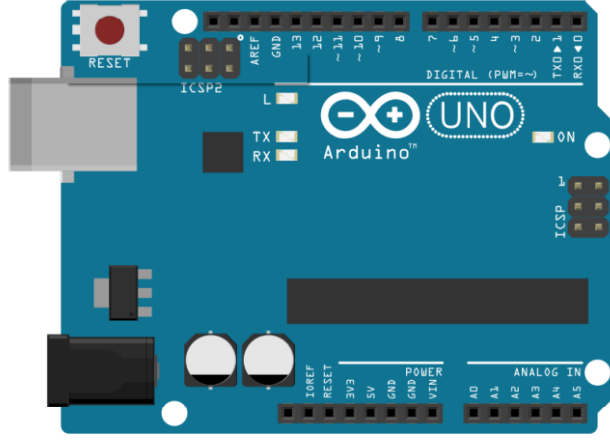
Arduino Uno Atmel Atmega 328P mikro denetleyicisine sahip bir borddur. USB bağlantı girişine, güç jak girişine, reset butonuna sahiptir. Bir mikro denetleyicide bulunması gereken her şeye sahiptir. (Demir, 2016)

Mikro denetleyici	Atmega328P
Çalışma gerilimi	5V
Giriş gerilimi (önerilen)	7-12V
Giriş gerilimi (limit)	6-20V
Dijital giriş/çıkış pini	14 adet
PWM giriş/çıkış pini	6 adet
Analog giriş pini	6 adet
Giriş/çıkış pim başına dc akım	20mA
3.3V için DC akım	50mA
Flash bellek	32 KB
Sram	2KB
EEPROM	1 KB
Saat Hızı	16 MHz
Uzunluk	68.6 mm
Genişlik	53.4 mm
Ağırlık	25 g

Şekil 4.2. Arduino Uno özellikleri.



Şekil 4.3. Arduino Uno'da bulunan Atmega328 mikro denetleyicinin pim isimlendirmeleri.



Şekil 4.4. Arduino Uno'nun görselleştirilmiş hali.

4.2.2. Arduino ile hazırlanabilecek projeler

Arduino kütüphaneleri ile kolaylıkla programlama yapılabilir. Analog ve digital sinyalleri alarak işlenebilir. Sensörlerden gelen sinyalleri kullanarak, çevresiyle etkileşim içerisinde olan robotlar ve sistemler tasarlanılabilir. Tasarlanan projeye özgü olarak dış dünyaya hareket, ses, ışık gibi tepkiler oluşturulabilir. (Taşdemir, 2013)

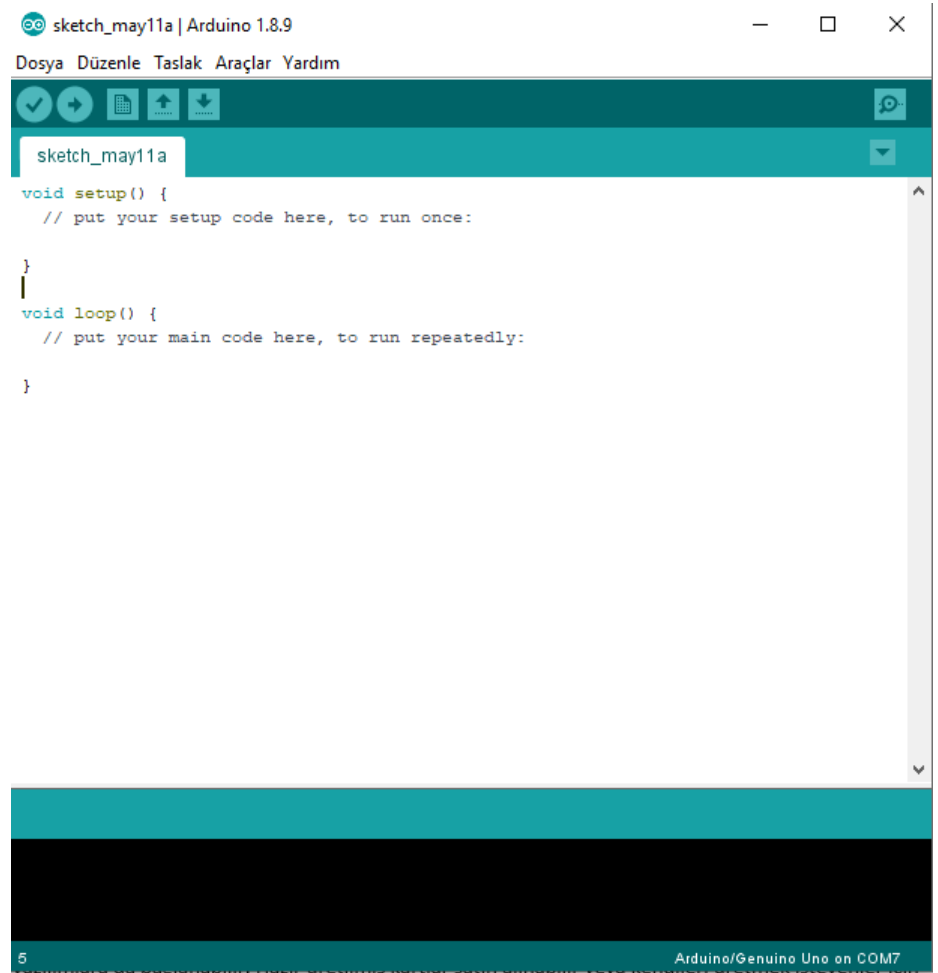
Sıfır programlama bilgisiyle Arduino ile projeler yapmak zordur. Ama aynı zamanda Arduino programlama öğrenmek için de güzel bir platformdur

Bunun yanı sıra Arduino'nun yetersiz kaldığı projeler de vardır. Arduino ile gerçek zamanlı sinyal işleme, kamera görüntüsü aktarma gibi ağır işleri yapılamaz (Arduino Due ile bu kısmen mümkün hale geldi). Üzerinde Android, WindowsCE, Linux gibi işletim sistemleri çalıştırılmaz. Bu tür çalışmalar yapmak için Rasperry Pi, Beagle Bone vs. gibi kartlara bakılabilir.

Arduino 'nun farklı ihtiyaçlara çözüm üretebilmek için tasarlanmış çeşitli kartları ve modülleri mevcuttur. Bu kart ve modüller kullanılarak projeler geliştirilebilir.

4.3. Arduino IDE Yazılımı

Arduino IDE (entegre edilmiş geliştirme ortamı), Java programlama diliyle yazılmış bir çapraz platform uygulamadır. Arduino IDE sayesinde Arduino programlarının yazılma ve karta yükleme işlemi gerçekleştirilir. Ayrıca Arduino IDE’de yazılmış programlarının Arduino harici devre kartlarına yazılması 3. Taraf uygulamalarının yardımıyla yapılabilir. (Bush, 2018)



Şekil 4.5. Arduino yazılım geliştirme ortamı (IDE).

IDE’nin kaynak kodu GNU (General Public License) versiyon 2 adı altında yayınlanmıştır (Maglie & Mellis, 2019). Arduino IDE C ve C++ dil desteğine sahiptir. Bu sayede kodlamanın özel kuralları bu programda sağlanabilir

(Purdum, 2015). Arduino IDE, birçok input ve output prosedürünü sağlayan Wiring Project isimli bir yazılım kütüphanesi vardır. Kullanıcılar tarafından yazılmış kodlar sadece iki adet temel fonksiyona dayalıdır, bunlardan biri kodun yapısını oluştur ve ana program döngüsü yaratır ki bu stub main () programına bağlanıp derlenmiştir (Castro, 2015).

Arduino IDE programın açılabilir kodunu metin dosyasını hexadecimal encoding biçimine dönüştürüp Arduino kartının yazılımının yükleme bölümüne gönderir. (Banzi & Shiloh, 2014)

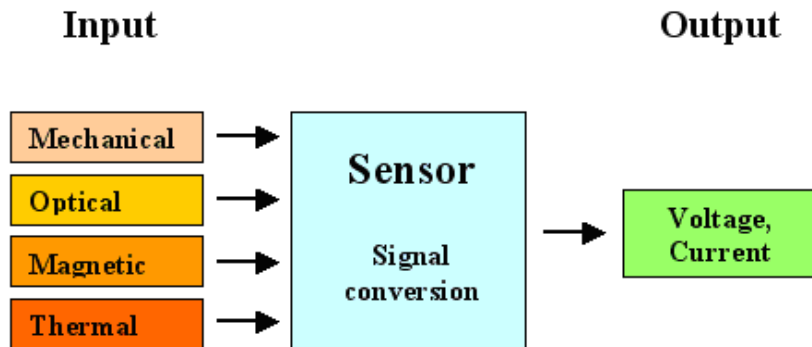
4.4. Sensörler

Mikro denetçilerle oluşturulan çeşitli projelerde ışık, sıcaklık, mesafe gibi fiziksel büyüklükleri elektrik sinyallerine dönüştürmek ve bu bilgileri işleyecek karar mekanizmaları kurabilmek için sensörleri kullanılır. (Semiz, 2017)

4.4.1. Sensörlerin çalışma prensibi

Sensörler analog ve dijital olmak üzere iki çeşittir. Analog sensörler, algıladıkları fiziksel büyüklüğe orantılı olarak değişen bir akım veya gerilim çıktısı verirler. Bu tipte sensörleri dijital çalışan kontrol kartlarımıza bağlayabilmek için analog-dijital çeviriciler (ADC) kullanılır. Analog-dijital çeviriciler mikro denetçiler içerisinde de yer alacağı gibi (örn. Arduino analog giriş pinleri), sayısının veya hassasiyetinin yetmemesi durumunda harici olarak da bağlanabilirler. Popüler bir tek kart bilgisayar olan Raspberry Pi ise maalesef dahili olarak analog-dijital çeviriciye sahip değildir. Dolayısıyla analog girişe ihtiyaç duyduğumuzda harici bir entegre kullanmamız gerekecektir.

Dijital sensörler ise genellikle I2C, SPI, OneWire vb bir haberleşme protokolü aracılığıyla bilgisayar (mikroişlemci) ile konuşurlar. Bunun yanı sıra, çoğu analog sensör bir op-amp ile kullanılarak belirli bir seviye üzerinde lojik 1 (genellikle 5V veya 3.3V) çıkışı verecek şekilde kullanılabilir. Böylelikle analog çıkışlı sensörler, Raspberry Pi gibi ADC'ye sahip olmayan kontrolcüler ile kullanılabilir. (Semiz, 2017)



Şekil 4.6. Sensörlerin çalışma prensibi.

Ayrıca sensörler aktif sensör ve pasif sensör olarak da ikiye ayrılırlar. Aktif sensörler, kendi sinyallerini ürettikten sonra bu sinyalin ortamdaki değişimini kontrol ederek algılama işlemini gerçekleştirirler. Ultrasonik ve kızılötesi sensörler bu gruba dahildir. Pasif sensörler ise ortamdan aldıkları sinyalleri kontrol ederek algılama işlemini gerçekleştirirler. LDR (ışığa duyarlı direnç), NTC/PTC (ısıya duyarlı dirençler), fototransistor (ışığa duyarlı transistor) bu gruba örnek olarak gösterilebilirler.

4.4.2. Sensör çeşitleri

Sensörler, giriş büyüklüklerine göre altıya ayrılırlar. Aşağıda en yaygın kullanılan sensör çeşitleri sıralanmıştır. (Semiz, 2017)

- Mekanik sensörler (Uzunluk, alan, miktar, kütsel akış, kuvvet, tork, basınç, hız, ivme, pozisyon, ses dalga boyu ve yoğunluğu)
- Termal sensörler (Isı akışı ve sıcaklık)
- Elektriksel sensörler (Voltaj, akım, direnç, endüktans, kapasitans, dielektrik katsayısı, polarizasyon, elektrik alanı, frekans)
- Manyetik sensörler (Alan yoğunluğu, akı yoğunluğu, manyetik moment, geçirgenlik)
- Işıma sensörleri (Yoğunluk, dalga boyu, polarizasyon, faz, yansıtma, gönderme)
- Kimyasal sensörler (Yoğunlaşma, içerik, oksidasyon/redaksiyon, reaksiyon hızı, pH miktarı)

Bu sensör çeşitleri kendi içlerinde de farklı şekillerde bulunurlar. Robotlarda ve sistemlerde en yaygın kullanılan sensörler ise aşağıdaki gibidir.

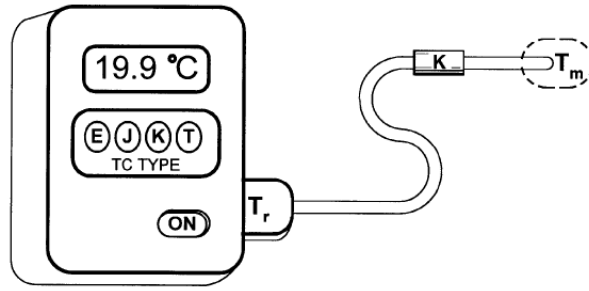
- Mesafe sensörleri (Ultrasonik, PIR, Kapasitif, Endüktif, Kızılötesi Optik...)
- Kuvvet/Ağırlık/Basınç sensörleri
- Eğim sensörleri (Flex, Lineer/Esnek Potansiyometre...)
- Manyetik sensörler (Hall effect, reed röle...)
- Sıcaklık/Nem/Su Seviyesi sensörleri (NTC, PTC, Yağmur Sensörü...)
- Ses sensörleri (Dinamik/Kapasitif/Şeritli/Kristal/Karbon Tozlu Mikrofon)
- Işık/rek sensörleri (LDR, RGB, UV, Fototransistör, Fotodiyot...)

Bir sonraki bölümde ölçüm cihazında kullanılan sıcaklık ve su akış ölçümü Sensörleri hakkında bilgi verilmiştir.

4.4.3. Termokupllar ve MAX6675 sensörü

Termokupllar basitliği ve kolay kullanılabilirliği sayesinde genellikle en çok kullanılan sensör tipleridir. Termokuplun çalışması birbirinden farklı herhangi iki iletken malzeme çiftinin (termoelementinin) arasında, seebeck efektinden dolayı oluşan voltajın sıcaklığa bağlı değişmesi metoduna dayanır (Eren, 1999).

Termoelektrikte Seebeck, Peltier ve Thomson efekti olmak üzere üç ana efekt vardır. Bunlar arasında sadece Seebeck efekti termal enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü ve dolayısıyla oluşan voltajın oluşumunu açıklar. Seebeck efekti bir araya getirilmiş iki iletken malzemenin birbirine temas ettiği termoelektriksel homojen bölgeden hesaplanır.



Şekil 4.7. Modern bir termokupl dijital termometre (Eren, 1999).

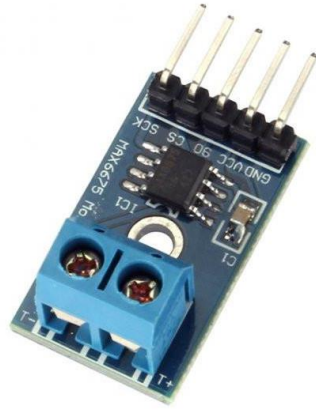
Bazı alaşım kombinasyonları endüstri standartları olarak popüler hale gelmiştir. Kombinasyonun seçimi maliyet, bulunabilirlik, uygunluk, erime noktası, kimyasal özellikler, stabilite ve çıktıya göre belirlenir. Yapılacak uygulamaya göre türleri belirlenir. Genellikle sıcaklık aralığına ve ihtiyaç duyulan hassasiyete göre seçilirler. Hassasiyetleri düşük olan termokupllar (B, R ve S tipleri) uygun şekilde daha düşük çözünürlüklere sahiptir. Diğer seçim kriterleri, termokupl malzemenin kimyasal etkisizliğini ve manyetik olup olmadığını içerir. Standart termokupl tipleri aşağıda pozitif elektrot ile listelenmiştir.

K	K türü (kromal { %90 nikel ve %10 krom } —alümel { %95 nikel, %2 mangan, %2 alüminyum ve %1 silikon }), en genel amaçlı termokupldur. Algılaması yaklaşık olarak 41 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 'dir. Maliyetleri düşüktür ve probalar -200°C ile $+1250^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılır.
E	E türü (kromal-konstantan { %55bakır ve %45 nikel }), algılaması 68 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu yüzden kriyojenikte kullanılır. Ayrıca manyetik değildir. -50 ile 740°C arasında kullanılır. Kablo renk standardı, mor (+) ve kırmızı (-).
J	J türü (demir-konstantan), sıcaklık değer aralığı çok kısıtlıdır. Fakat algılaması yaklaşık 55 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 'dir. Demirin üst sıcaklık sınırını belirleyen Curie sıcaklığı (770°C), demirin karakteristiğinde ani değişime neden olur.
N	N türü (nikrosil { %14,4 krom, %1,4 silikon ve %0,1 magnezyum } -nisil { nikel ve %4,4 silikon }) termokupllar, -270°C ile 1300°C arasında kullanılır. Algılamaları 900°C 'de yaklaşık 39 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 'dir.
B, R ve S platin türleri	B, R ve S türü termokupllarında her bir iletkende platin veya bir platin-rodyum alaşımı kullanılır. Diğer türlerden daha düşük algılamaya sahiptir ve yaklaşık 10 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 'dir.
T	T türü (bakır –konstantan) termokupllar, -200 ile 350°C arasında kullanılır. Algılaması yaklaşık 43 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 'dir.
C	C türü (%5 volfram– tungsten %26 renyum) termokupllar, 0°C ile 2320°C arasında kullanılır. Bunlar, çok yüksek sıcaklıklardaki etüvler için uygundur. 260°C sıcaklık üzerindeki oksijenli ortamlarda asla kullanılmamalıdır.
M	M türü termokupllarda her bir kabloda nikel alaşım kullanılır. Pozitif uçta (kabloda), %18 molibden bulunurken; negatif uçta %0,8 kobalt bulunur. Aynen C türünde olduğu gibi bunlar da etüvlerde kullanılır. Üst sıcaklık sınırı 1400°C 'dir.
Kromel-altın/demir	Kromel-altın/demir termokupllarda pozitif kablo kromel ve negatif kablo çok küçük bölümü (atom yüzdesi 0,03-0,15) demir olan altından yapılır. Kriyojenik uygulamalarında kullanılır. Her iki kablonun algılaması ve sıcaklığı kullanılan demirin yoğunluğuna bağlıdır. Normalde düşük sıcaklıkta algılaması yaklaşık 15 $\mu\text{V}/\text{K}$ 'dir ve en düşük kullanım sıcaklıkları 1.2 ve 4.2 K arasındadır.

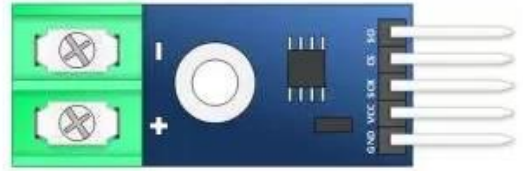
Şekil 4.8. İstenilen özelliklere göre termokupl çeşitleri. (Buschow, 2001)

Termokuplların voltaj değişimini ölçmesi için sensörlerin gerekliliği açıktır. Bu sensörlerden biri de MAX6675 sensörüdür. MAX6675 sensörü K tipi termokupl kabloları içindir.

Bu sensör, mikro denetleyici kartlar ile oldukça hassas sıcaklık ölçümü yapmaya olanak tanır. MAX6675 termokupl güçlendirici modülü ve K-tipi termokupldan oluşmaktadır. Soğuk nokta kompanzasyonuna sahiptir ($-20 \sim +80$ °C) ve 0.25 °C hassasiyete sahiptir (Keleş, 2017).



(a)

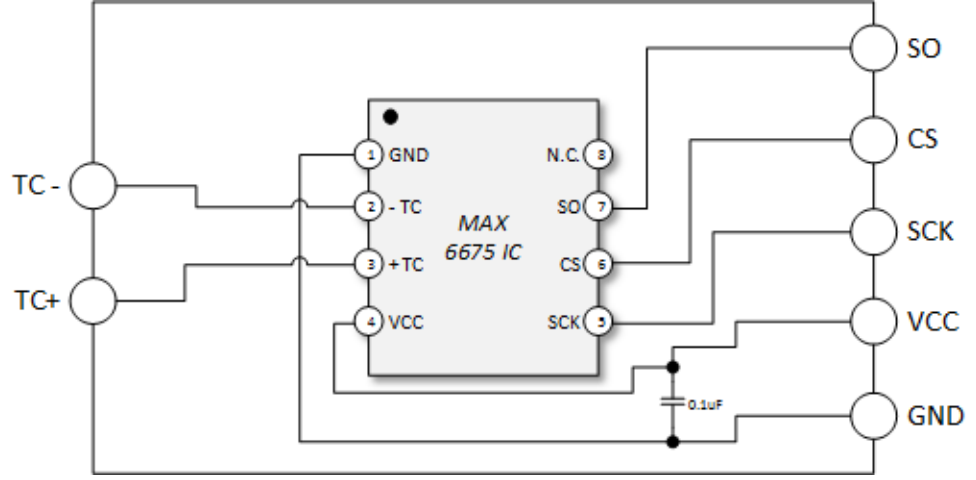


(b)

Şekil 4.9. MAX6675 K tipi termokupl sensörü (a) Gerçek görüntüsü (b) Görselleştirilmiş biçimi.

MAX6675 sensörünün pinlerinin görevleri aşağıda sıralanmıştır (Maxim Integrated Products, 2002).

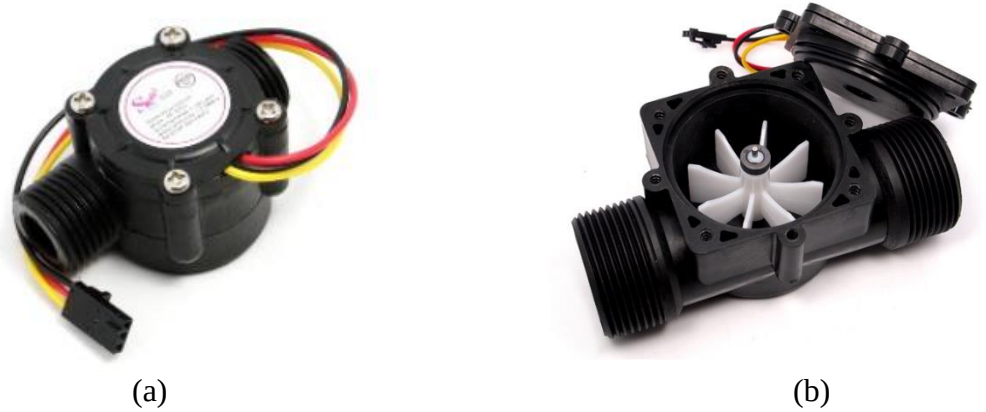
- SO: Modül seri çıkışı, Arduino çıkış değerlerini bu kısımdan okur.
- CS: Çip seçme pimi.
- SCK: Seri saat, Arduino'dan gelen verilerin girişini sağlar.
- GND: Topraklama pimi.
- – (veya eksi): K tipi termokupldan gelen eksi kutuplu tel girişi
- + (veya artı): K tipi termokupldan gelen artı kutuplu tel girişi.



Şekil 4.10. MAX6675 sensörünün mikro denetleyiciye bağlantı şeması (Maxim Integrated Products, 2002).

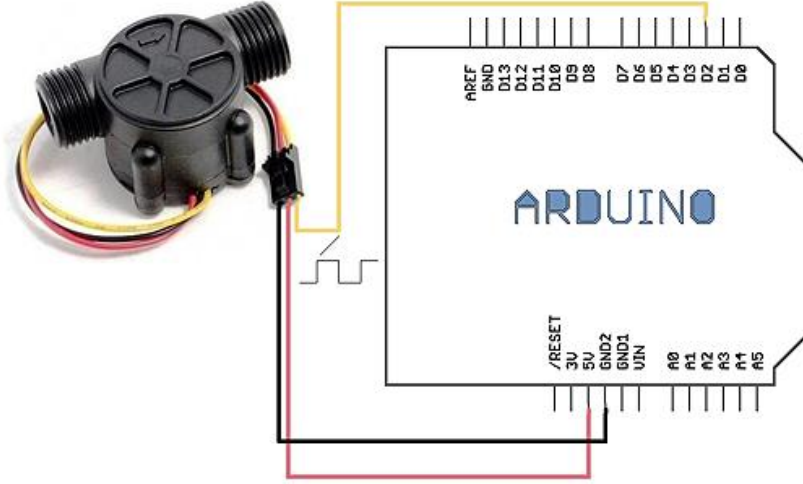
4.4.4. Su akış sensörü

Su akış ve hidrolik basınç sensörü, içerisinde bulunan pervane sayesinde dönen pervanenin tur sayısı çıkışını veren bir sensördür. Pervane dönüş sayısı sensör içerisinde yer alan hall-effect manyetik sensörler ile ölçülmektedir. Dijital çıkışlı olduğu için Arduino başta olmak üzere birçok mikro denetleyici platformu ile kullanılabilir. Bir kahve makinesi ya da bahçe sulama sisteminde akan sıvı miktarını ölçmek için rahatlıkla tercih edilebilir (Haoyu Electronics, 2014).



Şekil 4.11. Su akış sensörü (a) Dıştan görünümü (b) İç kısmı.

Su akış sensörünün Arduino ile bağlantısı basittir. Voltaj ve Toprak girişleri sensörün sırasıyla kırmızı ve siyah olan kısımlarına bağlanır. Sensörün kablusunun sarı kısmını ise Arduino dijital pim girişine bağlanır.



Şekil 4.12. Arduino ile su akış sensörünün bağlantı şeması (Hareendran, 2015).

5. ÖLÇÜM SİSTEMİN ÜRETİMİ

5.1. Üretimde Kullanılan Malzemeler

Isı iletim katsayısı ölçüm sisteminin üretimde kullanılan alt sistemlerin ve ara elemanların yapısında bulunan malzemeler aşağıdaki alt bölümlerde listelenmiştir.

5.1.1. Soğutma sistemi malzemeleri

- ¼ inç bakır boru
- ½ inç plastik boru
- ¼- ½ inç redüksiyon
- 12 Litrelik plastik su deposu
- ½ Küresel vana
- 1 adet 10mm yüksekliğinde ve 80 mm çapında bakır silindir
- 12V dalgıç pompa

5.1.2. Isıtma sistemi malzemeleri

- 1 adet T tipi termokupl kablosu
- Voltaj regülatörü
- 1 adet 10mm yüksekliğinde ve 80 mm çapında bakır silindir

5.1.2. Yalıtım malzemesi

- Taş yünü

5.1.3. Elektronik ölçüm için malzemeler

- Arduino Uno
- 4 adet MAX6675 Arduino sensörü
- 1 adet breadboard ve jumper kablolar
- 4 adet K tipi termokupl kablosu
- Breadboard ve jumper kablolar
- ½ inç su akış sensörü

5.1.4. Numune malzemesi

- 5mm yüksekliğinde 80mm çapında silindirik metalik bir numune.
(Ölçümler için referans olarak bakır malzeme kullanılmıştır.

5.1.5. Montaj malzemeleri

- Cıvata
- Vida
- Somun
- 2 adet MDF tahta blok
- Üç boyutlu yazıcı ile yazdırılabilir PLA malzeme
- Sıcak silikon

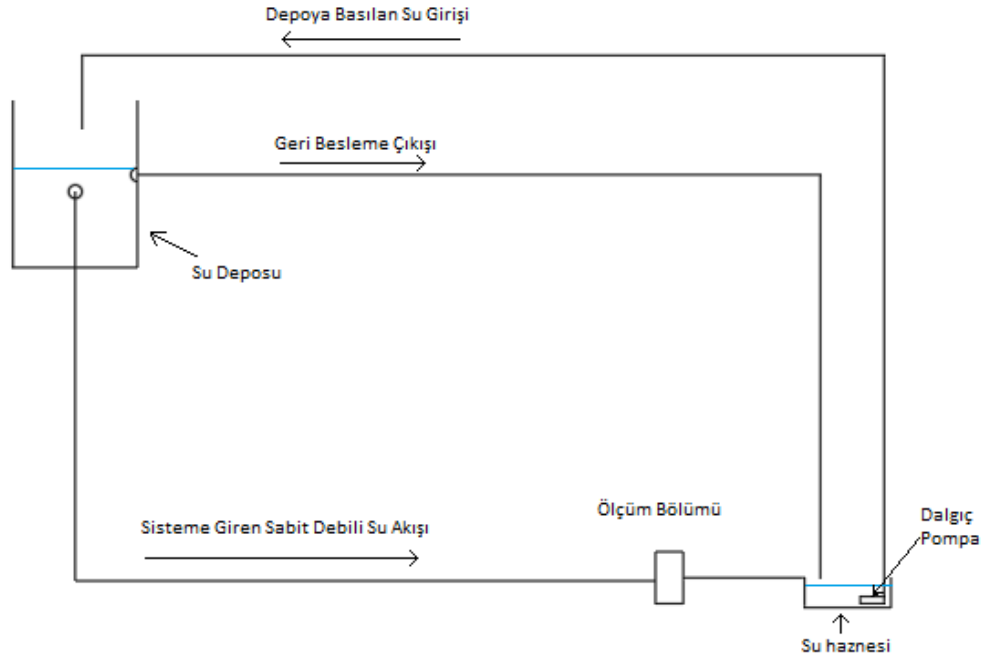
5.2. Soğutma Sisteminin Üretimi

Soğutma sistemi iki ana bölüm ele alınarak tasarlanmıştır. İlki sabit su debisi elde edilecek bir su döngüsü sistemi. Burada, geçen su soğutma sistemine girip çıkmıştır. Suyun sıcaklığı soğutmadan dolayı bir miktar artmış olsa da su devri daim yapacağından ve dış ortama temasta bulunacağından su döngüsünün sıcaklığı değişmiyor olarak kabul edilmiştir.

İkinci bölüm ise bakır silindirin içine boru kanalı açılıp boru kanalı geçirilmiş ve tek taraf hariç geri kalan kısımları yalıtılmış soğutma sistemi üzerinedir.

5.2.1. Sabit debili su döngüsü sistemi

Bu sistem su deposunun sıvı yüksekliğini sabit bırakmayı amaçlamıştır ve bunu sağlamıştır. Aşağıdaki şematik çizimde görüldüğü üzere döngü 3 adet su borusu, 2 adet su deposu ve 1 adet pompa kullanmıştır.



Şekil 5.1. Su döngüsü sisteminin şematik çizimi.

5.2.2. Soğutma bölümü

Soğutma bölümünün üretiminde 10mm yüksekliğinde ve 80mm çapında olan bakır silindirin içine ½ inç çapında bakır boru geçirilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 5.2. El ile kıvrılmış bakır boru.

Bunun için ilk olarak açılacak kanalın tasarımı yapılmıştır. Kullanılan soğutma borusunun dış çapı ¼ inçtir. Metrik olarak 6.35mm'ye karşılık gelir. Dikey üniversal frezeyle açılan kanal ölçümlere uygun olacak şekilde açılmıştır.

Üretimde el ile hareketi sağlanan üniversal freze kullanıldığı için radyüs geçişlerinde zorluklar yaşanmıştır. İşlem tamamlandıktan sonra kanalın tesfiyesi yapılmıştır. Bakır borunun uygun olarak geçileceği anlaşıldıktan sonra yerleştirecek bakır borunun kıvrırma işlemi yapılmıştır. Boru kıvrırma işlemi el ile yapılmıştır. Yerleştirme işleminden sonra soğutma bölümünün montaja hazır olan hali şekil 5.4'deki gibidir.

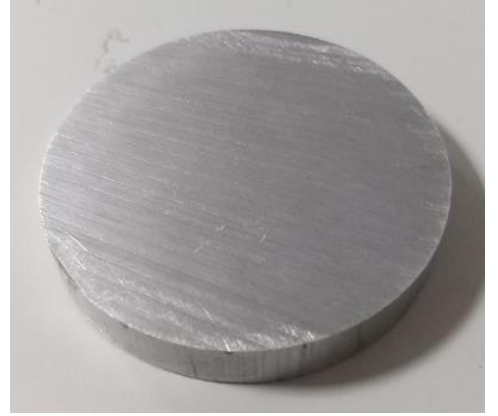


Şekil 5.3. Soğutma bölümü.

Şekil 5.4’de görünen bakır borulu yüzey ve yan yüzeyler montajda tamamen yalıtılacaktır. Yalıtım olarak da taş yünü kullanılacaktır. Arkasında kalan yüzeyde numune teması olacaktır ve yüzeyde termokupl telinin geçmesi için açılmış ince tel kanalı da vardır.



(a)



(b)

Şekil 5.4. a) Numuneye temas edecek bakır bölüm, b) Alüminyum numune.

Sonuç olarak sabit debili su döngüsü bakır borudan geçecektir ve bu sistem, sabit ısı akışının suya geçişini sağlayacaktır.

5.2.3. Pompa ve borular

Su döngüsünü sağlamak için soğutucudan çıkan borunun döküldüğü su haznesine dalgıç pompa konulmuştur. Kullanılan pompa şekildeki gibidir.



Şekil 5.5. Dalgıç Pompa

Bakıra ve musluğa plastik borular bağlanmıştır. Borular birbirlerine bağlandığı için borular arasında çap daralmaları ve genişlemeleri olmuştur.

5.3. Isıtma Sisteminin Üretimi

Tasarlanan ısıtmanın çalışma mantığı soğutma sistemine benzerdir. Gerilim voltaj regülatöründen verilmiştir. Çünkü rezistans telini ısıtmak için hem yüksek enerjiye hem de sabit gerilime ihtiyaç vardır. Yüksek enerjinin sabit olarak sağlanması akü ile sağlanabilirdi. Ancak okul tarafından voltaj regülatörü proje için sağlanabildiği için voltaj regülatörü kullanıldı.

Voltaj regülatörü şehir içindeki voltaj dengesizliğini önlemekle birlikte akım ve gerilimi ayarlama olanağı da sunar. T tipi termokupl'un iki ucundan gerilim uygulandığında istenilen ısı çıkışı $P=IV$ formülüyle kolaylıkla hesaplanmaktadır.



Şekil 5.6. Voltaj regülatörü

Sistemde kullanılan rezistans teli aslında T tipi termokupldur. T tipi termokupl, bakır ve konstantan tel çiftinden oluşur. Gerilim konstantan olan kısımdan uygulanmıştır. Sabit ısı akısının elde edilmesi bu sayede gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7. Rezistans olarak kullanılan T tipi termokupl.

Soğutma kısmında kullanılan, 10mm yükseklik ve 80 mm çapı olan bakır silindir parçanın aynısından ısıtma kısmında da kullanılmıştır. Parçanın içi bu sefer köşeli salyangoz biçimindedir ve dikey işlem universal freze ile açılmıştır. Açılmış olan bölümden rezistans teli geçirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.8. Bakır ısıtma bölümü (a) Rezistans kablolarının geçtiği yüz, (b) Numuneye temas eden yüz.

Rezistans T tipi termokupl kablodan oluşmaktadır. Kablonun bakır ve konstantan olan çiftinin konstantan bölümüne gerilim uygulanmıştır.



Şekil 5.9. Rezistansın bakır kanalından geçirilmiş hali.

Isıtma sisteminin genel görünüşü bu şekildedir. Düz yüzeye numune yerleştirilecektir. Kablo bulunan yüzey ve yanal yüzey ise taş yünü ile yalıtılacaktır.

5.4. Sensörlerin Sisteme Eklenmesi

Sistemde elde edilmesi gereken anlık bilgiler iki türdür, sıcaklık ve su akış debisi. Sıcaklık için MAX6675 K tipi termokupl sensörü, debi için ise debi sensörü kullanılmıştır.

5.4.1. Termokupl probleminin konumlandırılması

Termokupl sensörlerine bağlı olan 4 adet termokupl teli vardır. İki tanesinin prob kısmı soğutma bölümünün giriş ve çıkışındaki plastik borunun içine yerleştirilmiştir.



Şekil 5.10. Termokupl probu yerleştirilmiş olan boru.

Geri kalan iki termokupl probu numunenin üst ve alt kısımlarının sıcaklıklarını ölçebilmek için yerleştirilecektir. Problemin yüksekliğinden doğacak yüzey düzgünsüzlüğünü gidermek için ısıtma ve soğutma bakır yüzeyleri termokupl telinin geçebileceği şekilde kazınmıştır.



Şekil 5.11. Termokupl telinin geçebilmesi için ısıtma ve soğutma bölümüne açılmış olan ince kanal.

5.4.2. Su akış sensörünün konumlandırılması

Su akış sensörü, debi ölçümlerinde basınç kayıplarından doğacak olan hesaplamaları kolaylaştırılmak için sisteme eklenmiştir. Suyun debisi suya giren ısı miktarını hesaplamak için kullanılmıştır. Kullanılan sensörün boru iç çapı $\frac{1}{2}$ inçtir.



Şekil 5.12. Debi ölçümü için kullanılan su akış sensörü.

Su akış sensörü, soğutma parçasının çıkışındaki plastik su borusuna bağlanmıştır.

5.4.3. Su akış sensörünün kalibrasyonu

Su akış sensöründen elde edilen verilerin güvenilirliği için sensörün sisteme eklenilmesinden önce bir ölçüm deneyi yapılmıştır. Deneyde sensör su musluğunun altına bağlanmıştır ve musluk açılmıştır.



Şekil 5.13. Musluk suyundan beslenen akış sensörü düzeneği.

Sensörden elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır. Sensörden gelen ortalama değer 67.5 mL/s olmuştur. Bu verilerin doğruluğunu ispatlamak için musluğun akış hızını değiştirmeksizin 600mL'lik ölçüm kabına musluk suyu doldurulmuştur. 4 adet dolum videosu çekilmiştir.



Şekil 5.14. Musluktan alınan suyun ölçüm kabına doldurulması.

Sonrasında bütün videolar sırasıyla izlenip zaman tutularak hacimsel debi kayıtları alınmıştır. Tutulan kayıtlar ile sensörün ölçtüğü değerler Excel programında kıyaslanmıştır.

Video Kalibrasyon		
6.14	600	97.71987
1.39	100	71.94245
2.63	100	38.02281
2.51	200	79.68127
2.5	200	80
1.26	100	79.36508
2.71	200	73.80074
1.25	100	80
3.63	300	82.64463
2.76	200	72.46377
3.95	300	75.94937
3.76	300	79.78723
2.63	200	76.04563
4.27	300	70.25761
3.83	300	78.32898
3.69	300	81.30081
2.24	200	89.28571
2.84	200	70.42254
Ortalama		76.50103 mL/s
Sensör Değeri		67.5 mL/s
Hata Oranı		0.117659

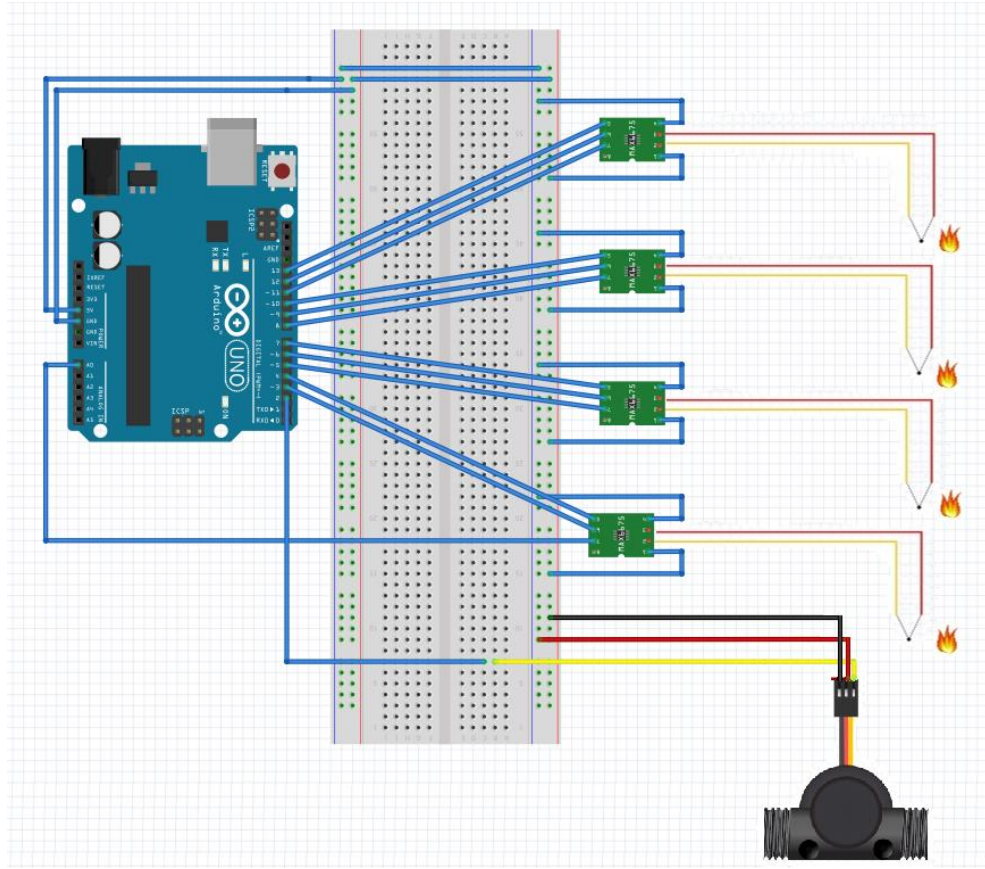
Şekil 5.15. Sensörden ve ölçme kabından elde edilen verilerin kıyaslanması.

Bu deneydeki çeşme suyundan akan suyun şartları stabil olmadığından aslında çeşme suyu kalibrasyon için geçersiz bir ölçüm cihazıdır. Ayrıca not edilen değerler göz ve kronometre ile yapıldığı için güvenilirliği azdır. Ancak yine de elde edilen değerler debi sensörünün düzgün çalıştığı konusunda referans olmuştur.

5.5. Mikro Denetleyiciden Gelen Verilerin Bilgisayara Aktarımı

5.5.1. Devre elemanlarının kurulumu

Sensörler ve Arduino Uno arasındaki bağlantılar breadboard ve jumper kablolar aracılığıyla yapılmıştır. 5V ve toprak pimlerinin yanında 13 dijital pim ve 1 analog pim kullanılmıştır. Kurulan devre şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.16. Kurulan sensör bağlantılarının tam devre şeması.

5.5.2. Arduino ve Excel programlama

Arduino'ya kod yüklenmesi Arduino IDE yazılımı aracılığıyla yapılmıştır. Yazılan koddaki amaç, 5 sensörden gelen verileri aynı anda seri monitörde okutmanın yanı sıra, gelen verileri seri port haberleşmesi ile Excel programına aktarabilmektir. Excel programına aktarım, Parallax şirketinin Visual Studio ile oluşturduğu ve adı PLX-DAQ olan Excel makrosu ile sağlanmıştır. Bu makroyu

düzgün çalıştırabilmek için Arduino IDE programına girilen kodun da uygun olması gerekmektedir.

Sonraki iki bölümün ilkinde Arduino IDE için yazdığımız kod tanıtılmıştır. İkincisinde ise Excel ile olan bağlantı daha iyi açıklanıp gösterilmiştir. Ölçüm sisteminin hesaplamaları görüleceği üzere Excel’de yapılmıştır.

5.5.3. Arduino IDE için yazılmış olan kod

```
#include "max6675.h" // Termokupl sensörünün kütüphanesi
eklenmiştir.

int k1SO = 14; // Modül seri çıkışı tanımlanmıştır.
int k1CS = 3;  // Çip seçme pimi tanımlanmıştır.
int k1CLK = 4; // Seri saat pimi tanımlanmıştır.

int k2SO = 5;
int k2CS = 6;
int k2CLK = 7;

int k3SO = 8;
int k3CS = 9;
int k3CLK = 10;

int k4SO = 11;
int k4CS = 12;
int k4CLK = 13;

// Her bir sensörün kütüphanesi ve 3 pim girilmiştir.
MAX6675 k1(k1CLK, k1CS, k1SO);
MAX6675 k2(k2CLK, k2CS, k2SO);
MAX6675 k3(k3CLK, k3CS, k3SO);
MAX6675 k4(k4CLK, k4CS, k4SO);

// Aşağıdaki kodlar akış sensörü ile ilgilidir.
int flowPin = 2; // Sensörün giriş pimi tanımlanmıştır.
double flowRate; // Hesaplamak istediğimiz su akış değeri .
volatile int count; // Bu tamsayının geçici tanımlanması yapılır,
her güncelleme prosesinde tekrardan güncellenir.

void Flow()
{
    count++;
}

void setup() {
    Serial.begin(9600); // Seri iletişim için Arduino Uno'nun sahip
    olduğu seri bit aktarım değeri tanımlanmıştır.
    Serial.println("CLEARDATA"); // Excel aktarımında Excele eskiden
    aktarılmış olan veri tabanını siler.
    Serial.println("LABEL,T1,T2,T3,T4,M"); // Excelde her veri
    tabanı güncelleştirilmesinde her sütuna alt alta girilen sensör
    ölçüm değerlerini aktarmaya yarar.
    Serial.println("RESETTIMER");

    // Aşağıdaki kodlar akış sensöründen gelen sinyalleri dönüştürmek
    içindir
```

```

    pinMode(flowPin, INPUT); //Akış sensörü pimini giriş olarak
    tanımlar.
    attachInterrupt(0, Flow, RISING); // Akış fonksiyonu
    çalıştığında Arduino Uno'daki pim 2'nin verilerini 0'dan itibaren
    kesme moduna ayarlar.
}

void loop() {

    // Temel sensör okuma kodları double olarak tanımlanır.
    double t1 = (k1.readCelsius());
    double t2 = (k2.readCelsius());
    double t3 = (k3.readCelsius());
    double t4 = (k4.readCelsius());

    // Akış sensörü için 1 saniye içinde gelen sensör verilerini
    saymak için count ve interrupts kodları kullanılmıştır.
    count = 0;
    interrupts();
    delay (1000);
    noInterrupts();

    flowRate = (count * 2.25); //Her bir sensör sinyalinin su akış
    sensörüne göre 2.25 mL'ye denk gelir. Sayma işlemi 1 saniye
    aralıklarla olduğu da bilindiğine göre koddaki matematiksel işlem
    bir saniye içinde girilen veriyi toplamayı sağlar ve bu da seri
    monitörde mL/s cinsinden bir sonuç verecektir.

    Serial.println(((String) "DATA," + t1 + "," + t2 + "," + t3 + ","
    + t4 + "," + flowRate )); // seri çıktıda string olarak DATA
    ifadesi ve virgüller PLX-DAQ programının verileri Excel'e
    yazdırmasını sağlıyor.

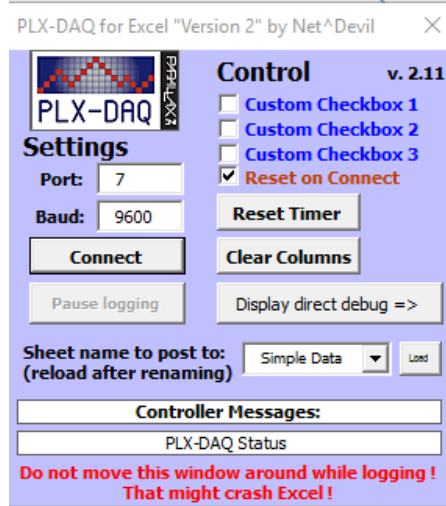
}

```

Yukarıdaki yazdığımız kod sayesinde sensörlerden elde edilen veriler Excel'e PLX-DAQ programı aracılığıyla sağlıklı bir şekilde aktarılmaya hazırdır.

5.5.4. Arduino ve Excel arasındaki seri port haberleşmesi

Arduino IDE üzerinden yazılan kodlar PLX-DAQ Excel makrosuna uygun ifadede yazılmıştır. PLX-DAQ Excel makro programının ara yüzü şekildeki gibidir.



Şekil 5.17. PLX-DAQ Excel makro programı.

Bu programın çalışabilmesi için Arduino'nun içine IDE kodlarının hali hazırda yüklenmiş olması gerekmektedir. Port seçimi ve seri bit aktarım değeri doğru uygun şekilde girildikten sonra Excel'de sensörden okunan değerler sırayla belirmeye başlar.

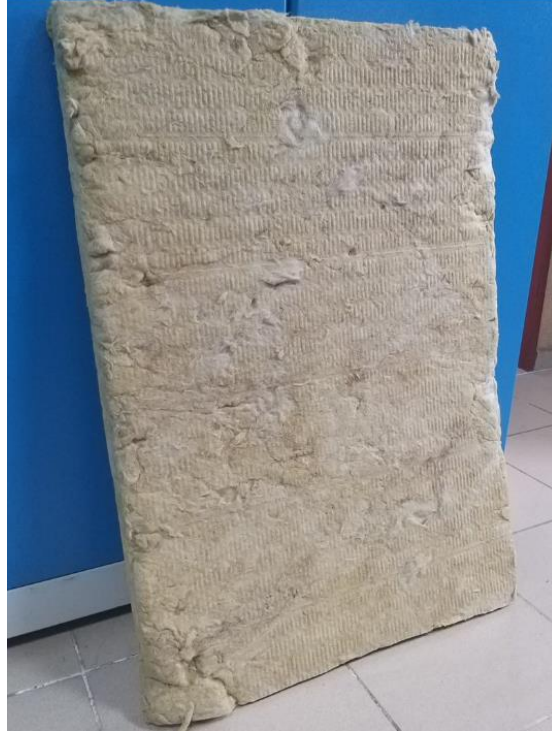
1	T1	T2	T3	T4	M
2	32	27.5	29.75	NAN	9
3	32.25	27.5	29.75	NAN	11.25
4	33	28	29.75	NAN	15.75
5	33	27.5	29.5	NAN	9
6	32.5	28	29.25	NAN	4.5
7	33.25	27.5	28.75	NAN	4.5
8	33.25	27.75	29.25	NAN	22.5

Şekil 5.18. Excel ile seri port haberleşmenin sonucu olarak sensörlerden okunan değerlerin sırayla veri tabanı olarak düşmesi (değerler temsilidir).

Elde edilen 5 veri, denge durumuna geldiği zaman veri tabanındaki her değişkenin son 20 verisinin ortalaması alınarak sistemdeki anlık durgun değerleri elde edilmiştir ve yapılması gereken bütün hesaplar Excel'de yapılmıştır. Isı iletkenlik katsayısı bu şekilde hesaplanmıştır.

5.6. Bütün Parçaların Montajlanması

Soğutma bölümü, su döngüsü sistemi, rezistans ve sensör kurulumu yapıldıktan sonra sistemin her bölümü düzgün bir şekilde monte edildi. Montaj için ve sistemdeki ısı kayıplarının önlenmesi için gereken en önemli parça yalıtım malzemesidir.



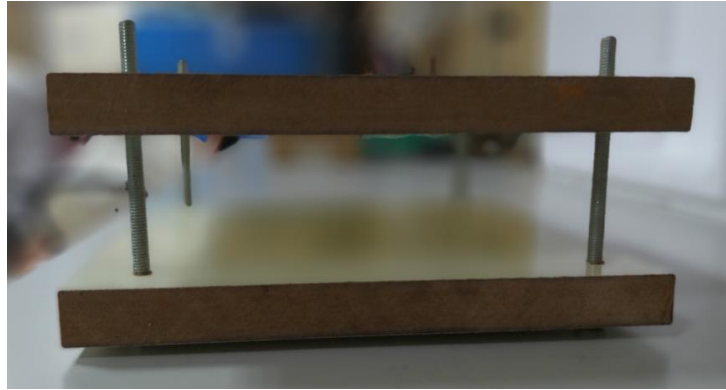
Şekil 5.19. Montajda kullanılan taş yünü

Düzenegın iskeleti iki tahta bloğa bağlanmış somun ve cıvatadır. İskeletin içine yerleştirilmiş olan soğutucu, ısıtıcı ve numunenin yerleştirilmesi aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.20. İç elemanların yerleşimi

İskelet iç elemanları ve yalıtım malzemesini sabit tutmayı sağlamaktadır. İskelet aynı zamanda iç elemanların birbirine daha sıkı temas etmesini sağlar. Bu sayede ısı iletimi daha düzgün gerçekleşmiş olur.



Şekil 5.21. Tahta bloklu iskelet

6. HESAPLAMALAR

Hesaplamalar yapılırken sensörden gelen veriler ve ısı iletkenlik katsayısı temel belirleyicilerimiz olsa da incelenmesi gereken bazı değişkenler vardır. Bunlardan biri, debi sensöründen gelen mL/s birimini kg/s cinsine çevirmektir. Soğutmanın yapıldığı bölgedeki ortalama yoğunluk ve boru kesit alanı kullanılarak bu değer hesaplanır. Ancak sabit basınçta suyun yoğunluğu sıcaklığının bir fonksiyonudur. Ortalama sıcaklık sensörlerin giriş ve çıkışındaki sıcaklığın ortalamasıyla bulunur. Yoğunluk değerinin elde edilebilmesi için suyun deneyin yapıldığı bölgedeki sıcaklık tablosundan bakılması gerekir.

Suyun giriş ve çıkış entalpisi de ısı iletkenlik katsayısının hesaplanmasında kritiktir. Bu değerler de aynı şekilde suyun sabit basınçta sıcaklık-entalpi tablosu ile bulunur.

Bu tablolar Nist sitesinden alınmış, Excel'e aktarılmış ve eğri uydurma ile fonksiyonları çıkarılmıştır. Bir sonraki bölümde bu işlemler Excel üzerinden anlatılmıştır.

6.1. Nist Su Tablosundan Veri Fonksiyonlarının Elde Edilmesi

Öncelikle Nist tablolarının önemini anlatmak gerekirse Nist(National Insitute of Standards and Technology) dünyaca güvenilir bir ölçüm enstitüsüdür. Web sitesinden alınan kimyasal değerler güvenilirdir ve bu site kullanıcılara esnek bir veritabanı sunar(<https://www.nist.gov/>).

Ölçümümüzün gerekli değerleri ölçümün yapıldığı yer olan İzmir'in açık hava basıncındaki suyun 0-100 °C arasındaki entalpi ve yoğunluk değeridir.

Tablo değerleri için Nist enstitüsünün oluşturmuş olduğu tablo programı kullanılmıştır (<https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>).

Web sitesinden tabloların elde edilmesi için istenen birim cinsleri seçilir.

1. Please select the species of interest:

Water

2. Please choose the units you wish to use:

Temperature
☐ Kelvin ☒ Celsius ☐ Fahrenheit ☐ Rankine
Pressure
☐ MPa ☐ bar ☒ atm. ☐ torr ☐ psia
Density
☐ mol/l ☐ mol/m ³ ☐ g/ml ☒ kg/m ³ ☐ lb-mole/ft ³ ☐ lbm/ft ³
Energy
☐ kJ/mol ☒ kJ/kg ☐ kcal/mol ☐ Btu/lb-mole ☐ kcal/g ☐ Btu/lbm
Velocity
☒ m/s ☐ ft/s ☐ mph
Viscosity
☐ μPa*s ☒ Pa*s ☐ cP ☐ lbm/ft*s
Surface tension*
☒ N/m ☐ dyn/cm ☐ lb/ft ☐ lb/in

Şekil 6.1. Nist su tablosunun oluşturulmasında birimlerin seçimi.

Sonrasında veri tipi seçilir ve devam edilir.

3. Choose the desired type of data:

Data type

- ☐ Isothermal properties
- ☒ Isobaric properties
- ☐ Isochoric properties
- ☐ Saturation properties — temperature increments
- ☐ Saturation properties — pressure increments

4. Please select the desired standard state convention:

Standard state convention

- ☒ Default for fluid
- ☐ Normal B.P. convention
- ☐ ASHRAE convention
- ☐ IIR convention

5. **Press to Continue**

Şekil 6.2. Su tablosu veri tipinin seçimi.

Devamında basınç olarak İzmir'in açık hava basıncı ve tablonun değer aralıkları girilir ve veri tablosu elde edilir.

1. Enter pressure in selected units:

(Acceptable range: 0.0 to 9869.2327 atm)

2. Enter temperature range and increment in selected units:

T_{Low}^*
 T_{High} (max value: 1001.9 C)
 $T_{Increment}$

* The minimum temperature limit is the highest of the following values:

- ☐ 0.01 C
- ☐ The temperature at which a density of 73.96 mol/l is reached.

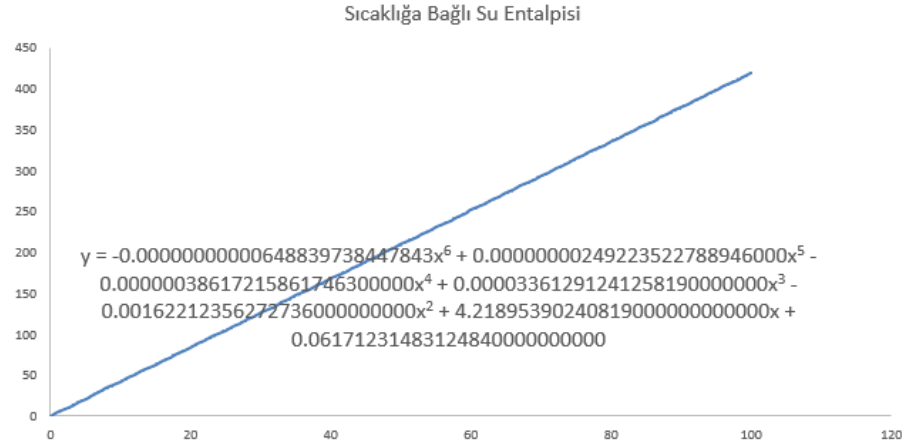
3. Check here if you want to use the interactive display (requires JavaScript and HTML 5 canvas capable browser) ☒

4. Number of digits to be displayed in tables (does not effect accuracy of computations):

5. **Press for Data**

Şekil 6.3. Tablo verisi için basınç ve değer aralıklarının girilmesi.

Elde edilen tablo Excel sayfasına kopyalanır ve istenen fonksiyonu elde etmek için eğri uydurma işlemi yapılır.



(b)

Şekil 6.5. Eğri uydurmayla elde edilen fonksiyonlar (a) Yoğunluk fonksiyonu (b) Entalpi fonksiyonu.

6.2. Yoğunluk ve Entalpi Değerlerinin Anlık Olarak Elde Edilmesi

Yoğunluk fonksiyonunda amacımız borudan geçen suyun ortalama yoğunluğu olduğu için boru giriş ve çıkış sensöründen okunan değerlerinin ortalaması, fonksiyonun X değişkeni yerine yerleştirilir ve ortalama yoğunluk bulunur.

T2ort C	27.11447368 C
T1ort C	29.83684211 C
Borudan Geçen Suyun Yoğunluğu	999.842632856 kg/m3

Şekil 6.6. Excel'e girilmiş olan sıcaklık ve yoğunluk değişkenleri.

C53=T2 ve C54= T1 olduğuna göre yoğunluğun tam değeri Nist su tablosundan alınan fonksiyon ile elde edilir.

$$= -9.14968253072634E-12*((C53+C54)/2)^6 + 3.85597501493477E-09*((C53+C54)/2)^5 - 7.16760397383944E-07*((C53+C54)/2)^4 + 0.0000819031526736235*((C53+C54)/2)^3 - 0.00877526962290362*((C53+C54)/2)^2 + 0.0662007843846882*((C53+C54)/2) + 999.842632856117$$

Aynı şekilde entalpi değerleri de elde edilir.

T2ort C	27.11447368 C
T1ort C	29.83684211 C
h2	113.7591207 kJ/kg
h1	125.1390253 kJ/kg

Şekil 6.7. Excel'e girilmiş olan sıcaklık ve entalpi değişkenleri.

C53=T2 ve C54= T1 olduğuna göre entalpilerin tam değerleri:

$$\begin{aligned}
 h_2 = & -6.48839738447843E-12 * C53^6 + 2.49223522788946E-09 * C53^5 - \\
 & 3.86172158617463E-07 * C53^4 + 0.0000336129124125819 * C53^3 - \\
 & 0.00162212356272736 * C53^2 + 4.21895390240819 * C53 + \\
 & 0.0617123148312484
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_1 = & -6.48839738447843E-12 * C54^6 + 2.49223522788946E-09 * C54^5 - \\
 & 3.86172158617463E-07 * C54^4 + 0.0000336129124125819 * C54^3 - \\
 & 0.00162212356272736 * C54^2 + 4.21895390240819 * C54 + \\
 & 0.0617123148312484
 \end{aligned}$$

Hesaplamalar için suyun sıcaklığına göre değişen gerekli bütün bilinmeyen değerler yukarıda gösterilen şekilde Excel'e anlık olarak işlenmiştir.

6.3. Isıl Hesaplar

Bu sistemdeki ısı hesaplarında tek eksenli ısı akısı söz konusu olduğu için üretilen ısı ve soğutmanın emdiği ısı miktarı eşittir. Bu yüzden ısı iletkenlik katsayısı hesaplamada kullandığımız ısı formülünden elde edilen ısı miktarı da bu iki değere eşittir. Yanal alan için yalıtım malzemesi kullanılsa da bir miktar ısı kaybı mutlaka olur. Ancak sistemin yanal alanı azdır ve bu yüzden ısı geçişi de ihmal edilebilir bir seviyede olacaktır. Sistemin üstü ve altı da yalıtımlıdır. Burada rezistans bölgesindeki ısı kayıpları önemlidir ve hesaplamalardaki hata payı büyük ölçüde buradan kaynaklanır.

6.3.1. Suya verilen ısının hesabı

Suyun giriş ve çıkış entalpileri sensörlerden gelen su sıcaklığı girdileri dolayısıyla hesaplandıktan sonra sistemin içinden tek yönlü geçişi sağlanan ısı geçişi bulunmuştur.

T2ort	27.11447368 C
T1ort	29.83684211 C
h2	113.7591207 kJ/kg
h1	125.1390253 kJ/kg
Q	-0.107696075 W

Şekil 6.8. Entalpiler ile hesaplanan sistemdeki ısı akışı (değerler temsildir).

6.3.2. Rezistans hesabı

Rezistans hesabı $P=I.V$ formülüne dayalıdır. Voltaj regülatöründe direnç teline verilen akım ve gerilim net olarak görülmektedir. Uygulanan güç ısı cinsinde alınır ve bu alınan ısı sistemin içinden tek yönlü ısı geçişine eşittir.

6.3.3. Isı iletkenlik katsayısı hesabı

Isı iletkenlik katsayısı hesabında voltajdan elde edilen ısıdan ziyade soğutucudan ölçülen ısı ele alınmıştır. Çünkü ölçümü daha detaylı yapılmıştır. Q miktarı basit ısı iletim formülüne eklenmiş, numunenin kalınlığı ölçülmüş ve dört adet termokupl verileri aynı anda işlenmiştir.

Sensörlerden gelen anlık veri akışının Excel'e işlenmesi ve Excel üzerine yazılan formüller ile bilinmeyen değerlerin çıkarılması sonucunda alüminyum numunenin ısı iletim katsayısı belirli bir hata oranıyla hesaplanmıştır.

T2ort	32	C
T1ort	30	C
h2	134.1803384	kJ/kg
h1	125.8209986	kJ/kg
Q	0.079050196	W
Numune Sıcak Bölge Sıcaklığı	28.36184211	C
Numune Soğuk Bölge Sıcaklığı	27.56	C
Numune Kalınlığı	0.01	m
Numune Alanı	0.005026548	m ²
Isı İletkenlik Katsayısı	196.1300943	W/mK
Hata Oranı %	4.32678325	

Şekil 6.9. Isı iletim katsayısının bulunması (değerler temsilidir).

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arduino Project.** (26, Mart 2019). *Arduino Software Release Notes*. Arduino:
<https://www.arduino.cc/en/Main/ReleaseNotes> adresinden alındı
- Banzi, M., & Shiloh, M.** (2014). *Getting started with Arduino*. Sebastopol: Maker Media.
- Buschow, K. J.** (2001). *Encyclopedia of materials; science and technology*. Elsevier.
- Bush, S.** (2018, Mayıs 18). *Updated: Arduino announces FPGA board*. ElectronicsWeekly:
<https://www.electronicsworld.com/news/products/bus-systems-sbcs/arduino-announced-fpga-board-new-atmega-uno-wi-fi-2018-05/>
 adresinden alındı
- Castro, J. R.** (2015). *Building a home security system with Arduino : design, build, and maintain a home security system with Arduino Uno*. Birmingham: Packt Publishing.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A.** (2001). *Thermodynamics: An engineering approach*. Boston: McGraw-Hill.
- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M.** (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Demir, U.** (2016). *Arduino Programlama Kitabı: Bir parça kod!*
- Eren, H.** (1999). *Measurements, Sensors and Electric Portable Instruments Paperback*. Prentice Hall PTR.
- Haoyu Electronics.** (2014, Temmuz 28). *G1/2" Water Flow sensor*. Hotmcu:
http://www.hotmcu.com/wiki/G1/2%22_Water_Flow_sensor#Usage_Example
 adresinden alındı
- Hareendran, T. K.** (2015, 14 Ağustos). *Working with Water Flow Sensors & Arduino*. Electro Schematics:
<https://www.electroschematics.com/12145/working-with-water-flow-sensors-arduino/> adresinden alındı
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P.** (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc.
- Keleş, E.** (2017, Kasım 12). *Arduino ile Max6675 K Tipi Termokupl Kullanımı*. Roboturka: <http://roboturka.com/arduino/arduino-ile-max6675-k-tipi-termokupl-kullanimi/> adresinden alındı

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Maglie, C., & Mellis, D. A.** (2019, Mayıs 18). *The Arduino Source Code*. GitHub repository: <https://github.com/arduino/Arduino> adresinden alındı
- Maxim Integrated Products.** (2002). *Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)*. California, Sunnyvale, USA.
- Purdum, J. J.** (2015). *Beginning C for Arduino : learn C programming for the Arduino*. New York: Apress.
- Semiz, T. Y.** (2017, Ekim 4). *Sensör Nedir? Ne İşe Yarar?* Robotistan Blog: <https://maker.robotistan.com/robot-kontrolculeri-sensorler/> adresinden alındı
- Sözbir, N.** (2014). *Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi Deneyi*. Sakarya.
- Şevket, Y.** (2016). *Arduino Temel Bilgiler*.
- Taşdemir, C.** (2013, Şubat 4). *Arduino nedir ve ne değildir?* Arduino Türkiye: <http://arduinoturkiye.com/arduino-nedir-ve-ne-degildir/> adresinden alındı
- Ulus, Ş.** (2013). *Mekatronik Laboratuvarı-I Basınç Kayıpları Deneyi*. Kayseri.
- White, F. M.** (1999). *Fluid Mechanics*. Boston: WCB/McGraw-Hill.
- Woodford, C.** (2018, Temmuz 29). *www.explainthatstuff.com*. Heating elements: <https://www.explainthatstuff.com/heating-elements.html> adresinden alındı