

46964

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİRİ HAREKETLİ DİĞERİ SABİT
İKİ YÜZEY ARASINDA
SÜRTÜNME SONUÇU OLUŞAN SICAKLIĞIN
ÖLÇÜM YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ**

Mak. Müh. Zeynep PARLAR

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atilla BOZACI

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
MANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

	SAYFA NO
SEMBOL LİSTESİ	iv
ÖZET	v
SUMMARY	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Sıcaklık Ölçekleri	1
2. SICAKLIK ÖLÇME YÖNTEMLERİ	6
2.1. Isıl Genişleme Prensibine Dayalı Yöntemler	6
2.1.1. Sıvı Genişlemeli Cam Termometreler	6
2.1.2. Bimetal Termometreler	8
2.1.3. Basınç Termometreleri	9
2.2. Metallerin Elektriksel Direncinin Sıcaklıkla Değişimi	
Esasına Dayalı Yöntemler	9
2.2.1. Elektrik Direnç Termometreleri	9
2.2.2. Termistörler.	12
3. TERMOCOUPLE (TERMOKOPUL) DEVRELERİ	15
3.1. Termokopul Kanunları	16
3.1.1. Orta Metal Kanunu	17
3.1.2. Orta Sıcaklık Kanunu	17
3.2. Termokopulla Sıcaklık Ölçüm Uygulamaları	18
3.3. Termokopul Standartları	19
3.4. Termokopulların Paralel ve Seri Bağlanması	25
3.5. Termokopul Konstrüksiyonları	25
4. DENEY DÜZENEĞİ	29
4.1. Deney Düzeneginin Özelliği ve Yapısı	29
4.2. Deney Şartları	31
4.3. Deney Sonuçları	32
5. SONUÇ	39
KAYNAKLAR	
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

Bu çalışmada akademik destek sağlayarak beni yönlendiren tez danışmanım sayın Prof.Dr. Atilla BOZACI 'a ilgisinden dolayı teşşekr ederim.

Deney düzeneğinin kurulmasında ve imalatının gerçekleştirilmesinde okul imkanlarını kullanmamıza izin veren Haydarpařa Endstrl Meslek Lisesi Müdürlüęü'ne ve Tesfiye Bölümü öğretmenlerinden sayın Yusuf ALTINOK ve sayın Ali EKEN'e ,g iletim kısmını yapan sayın Cahit GR'e yardımlarından dolayı teşşekr ederim.

SEMBOL LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birimi</u>
A	Sürtünme Alanı	(mm ²)
d	Kalınlık	(m)
E	Elektro Motor Kuvvet	(mV)
F	Ağırlık Kuvveti	(N)
F _N	Normal kuvvet	(N)
I	Akım	(Amp.)
P	Basınç	(N / mm ²)
R	Elektiksel Direnç	(Ω)
r	Yarı çap	(m)
Q	Isı miktarı	(J)
T	Sıcaklık	(C, K)
v	Kayma hızı	(m / sn)
α	Isıl genleşme katsayısı	(1 / K, 1 / C)
α	Seebeck katsayısı	
β	Termistör katsayısı	
σ	Thomson katsayısı	
π	Peltier katsayısı	

ÖZET

Biri hareketli diğeri sabit iki yüzey arasında sürtünme sonucu oluşan sıcaklığın hangi yollarla en etkili biçimde ölçülebileceğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Uygulamada karşılaşılabilecek problemlerin neler olabileceği ve bunlara nasıl çözüm getirilebileceği gözlemlenmek istenmiştir.

Bu amaçla geliştirilen deney düzeneğinde besleme geriliminin değişimiyle kayma hızı kontrol edilebilmektedir. Yükleme mekanik olarak yapıldığı için asılan yük değeri değiştirilerek yüzey basıncı kontrol edilebilmektedir. Düzeneğin konstrüksiyonu gereği hem hareketli yüzey hem de sabit yüzey değiştirilerek istenen malzeme yüzeylerinde ölçüm yapılabilmektedir.

Deneyisel bulgular elde edilmeden önce teknikte kullanılan sıcaklık ölçüm yöntemleri araştırılmıştır. Hangi fiziksel büyüklüklerin kullanılarak ne tür ölçüm yöntemleri geliştirildiği incelenmiştir. Bunun sonucunda potansiyel gerilim farkıyla ölçüm yapan termocouple devrelerinin en uygun yöntem olduğu görülmüştür.

Deneylerde değişik tipte termoeleman çiftleri kullanılarak her çiftin verdiği değişimler izlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca farklı şekillerde termocouple devreleri oluşturularak ne tür sonuçlar alınabileceği araştırılmıştır.

Deneyler sırasında kayma hızı ve yüzey basıncı değişken parametreler olarak alınmış ve belli periyotlarda sistemin verdiği cevaplar gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak kayma yolu ve basınca bağlı olarak yüzeydeki sıcaklık değişimleri farklı termoeleman çiftleri ile farklı biçimde elde edilebilmiştir. Belli bir kayma yolundan sonra sıcaklık değişimindeki artış azalmış , buna karşılık aşınma devam etmiştir. Basınç ve kayma yolu parametrelerinin sıcaklık artışı üzerindeki etkisi hemen hemen aynı oranda olmuştur.

SUMMARY

There are several methods can be used to measure the temperature between two mating surfaces, which one of them is fixed, while the other is rotating.

In this work, it was aimed to investigate the magnitude of the temperature arise due to friction between two surfaces and how to measured it most effectively.

It was wanted to observe which problems can be encountered in practice and how can be defeted them. To carry out this work a test ring was designed and developed suitable to aimed measurements. Sliding speed can be controlled by feed voltage variation, surface pressure can be altered by changing the weights on the loading arm . It was possible to measured the temperature both on the fixed surface and rotating surface made of different materials.

Before experimantal data were obtained , the methods of temperature measurement techniques, were investigated and compared ot and out which one of the measurement techniques was suitable to the physical properties. At the end , it was seen that most convenient thermocouple cycles for this kind of the measurements was potential voltage difference. In the experiments, different type of thermocouples were used and the differences between each couple was observed. Also by constructing different thermocouple cycles , the output voltages were investigeted for each.

During the experiment, sliding speed and sureface pressure were taken as changeable parameters in given periods and variation of the temperature has been determined.

Finally, the dependency of surface temperature to the sliding speed and surface pressure was discusted for different termocouples. After a certain sliding speed increasement in the temperature came to an end and variation of the temperanure was nearly constant. On the other hand, wear has been continued at the same rate. The effect of the pressure and sliding distance parameters on temperature increasement almost had the same tendency.

1. GİRİŞ

Pratikte çok kullanılan bir kavram olmasına rağmen, sıcaklığın tam bir tanımını vermek oldukça güçtür. Konu ile yakından ilgili olan kimseler bile, zaman zaman bir enerji şekli olan ısı ile bir termodinamik özellik olan sıcaklığı birbirine karıştırabilmektedirler.

Bir ısı olayı, termodinamik açıdan incelendiğinde çevresi ile ısı dengede bulunmayan bir sistemi değişikliğe zorlayan bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Böyle durumda sistem ile çevresi arasındaki özelliklerden biri farklı değerdedir. Bu sistem çevresi ile ısı dengeye geldiği zaman bu potansiyel görülmemekte, yani farklı olan bu özellik sistemde ve çevresinde aynı değeri almaktadır. İşte bu özelliğe sıcaklık adı verilmektedir.

Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan düşük sıcaklıktaki bir kaynağa doğru akar. İki farklı sıcaklıktaki cisim birbirleri ile temasa getirilirse, sıcak olan cisim soğurken, soğuk olan cisim ısınır sonunda iki cisim, termodinamik bakımdan denge durumuna ulaşır. Termodinamiğin sıfıncı kanunu sıcaklık ile ilişkili olup, "iki cisim üçüncü bir cisim ile ayrı ayrı ısı dengede iseler, bu iki cisim birbirleri ile ısı dengededir, yani eşit sıcaklıktadır." şeklinde verilmektedir. Cisimler arasında bir ısı dengesi yoksa sıcaklıkları farklıdır.

Cisimlerin sıcaklıklarının ölçülmesinde aşağıdaki termometrik özelliklerden yararlanılarak değişik sıcaklık ölçerler yapılabilir.

- a) Uzunluk değişimi,
- b) Hacim değişimi,
- c) Basınç değişimi,
- d) Elektrik direncinin değişiminden ötürü farklı tellin oluşturduğu elektrik devresindeki elektromotor kuvvetin değişimi.

Biz bu çalışmada yukarıda bahsedilen fiziksel etkilerin değişimini ölçmeye dayanan yöntemlerle ilgili bilgi verip özellikle termocouple devreleri üzerinde duracağız. Geliştirdiğimiz deney düzeneği ile bu prensibe dayanarak değişik malzeme çiftleriyle sıcaklık ölçümünü gerçekleştirmeye çalışacağız.

1.1 Sıcaklık Ölçerleri

Bir sıcaklık ölçerini tanımlayabilmek için bilinen sabit sıcaklık noktaları ile bu noktalar arasındaki farkın enterpolasyonunun nasıl tanımlanabileceğini bilmek gerekir.

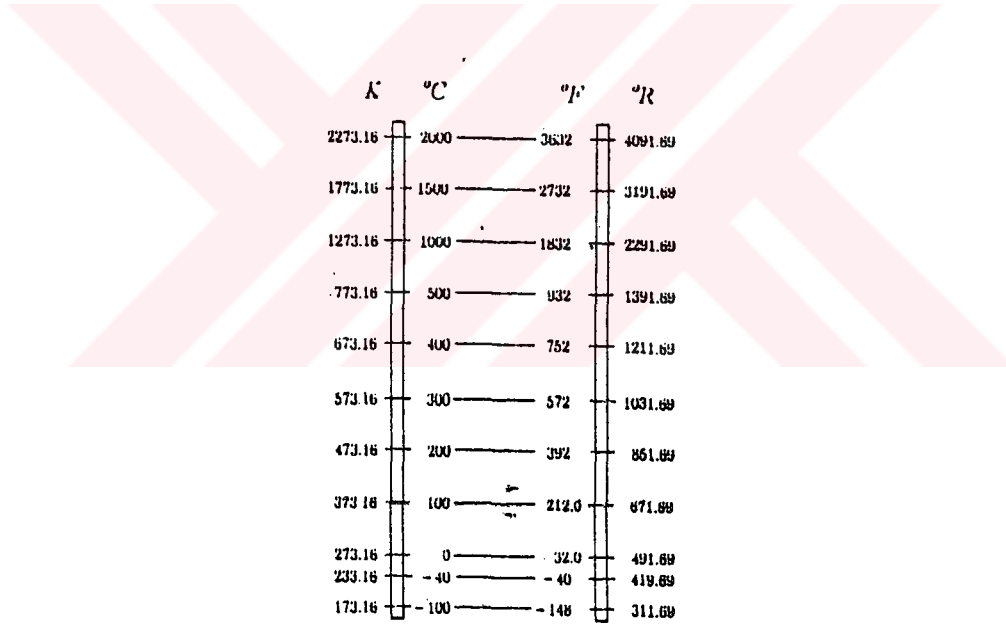
Sabit sıcaklık noktaları 1 atm. basınçtaki buzun ergime ve suyun kaynama noktaları esas alınarak belirlenmiştir. Celsius sıcaklık ölçeği için 1 atm basınçta buzun ergime sıcaklığı 0 °C ve suyun kaynama sıcaklığı 100 °C değerleri seçilmiş olup aradaki fark 100 eşit parçaya bölünmüştür. Fahrenheit sıcaklık ölçeğinde ise 1 atm basınçta buzun ergime sıcaklığı 32 °F ve suyun kaynama sıcaklığı 212 °F seçilmiş olup aradaki fark 180 eşit parçaya bölünmüştür. Celsius derecesi ile Fahrenheit derecesi arasında;

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

bağıntısı vardır. Mutlak Celsius sıcaklığı Kelvin, Mutlak Fahrenheit sıcaklığı ise Rankin olarak adlandırılır. Kelvin mutlak sıcaklığı ile Rankin mutlak sıcaklığı arasında

$$^{\circ}\text{R} = \frac{5}{9} \text{K}$$

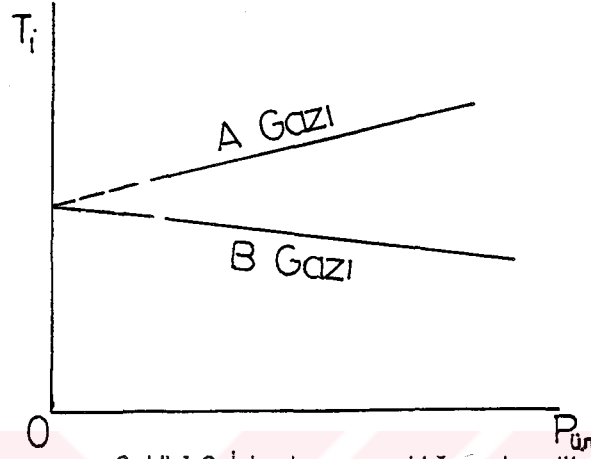
bağıntısı vardır. Şekil-1.1'de Celsius sıcaklık ölçeği ile Fahrenheit sıcaklık ölçeği arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1.1. Sıcaklık ölçekleri arasındaki ilişki.

Bunun dışında ideal gaz sıcaklık ölçeği geliştirilmiştir ki bu büyük laboratuvarlarda diğer sıcaklık ölçeklerinin kontrolü için kullanılır. İdeal gaz kanununa dayanılarak geliştirilmiştir. Ancak pratikte hiçbir gaz tam olarak ideal gaz davranışı göstermez. Bununla beraber gazın basıncının sıfıra yaklaşması halinde bütün gazlar için ideal gaz yaklaşımı geçerlidir. Bir gaz termometresi haznesine doldurulan gazın miktarı değiştirilerek bir seri deney yapıldığı varsayalım. Bu şekilde hem $P_{a,n}$, üçlü noktadaki gaz basıncı hem de her-

hangi bir sıcaklıktaki basınç değişecektir. Okunan T_i sıcaklığına göre, üçlü noktadaki basıncın değişimi Şekil-1.2.'deki gibi olacaktır. Bu eğri sıfır basınca doğru uzatıldığında, ideal gaz sıcaklığı elde edilir. Yani $P_{ü.n}$ basıncı, sıfır değerine doğru yaklaştığında gaz termometresinde okunan sıcaklık değeri, termometredeki gazın cinsine ve termometrenin yapısına bağlı değildir.



Pratikte gaz termometresinde kullanılan gazın gerçek olması pek çok güçlük yaratmaktadır. Bu güçlükleri azaltmak ve sıcaklığın basitçe ölçümünü sağlamak için uluslararası anlaşmalar ile bir sıcaklık ölçeği geliştirilmiştir değişik laboratuvarlarda gaz termometreleri ile ölçülmüş ve 1968 ile 1990 yıllarında Uluslararası Ağırlık ve Ölçme Komitesi tarafından Tablo-1.1.'de görüldüğü gibi Uluslararası Temel Pratik Sıcaklık Skalası olarak kabul edilmiştir. Ayrıca aynı komite Tablo-1.2.'de verilen Uluslararası İkinci Referans Sıcaklık Noktaları ile Tablo-1.3.'de verilen çeşitli sıcaklık aralıklarında kullanılması gereken Enterpolasyon Yöntemleri önermiştir.

Tablo 1.1. Uluslararası Temel Pratik Sıcaklık Skalası (1990)

Referans Noktası	Sıcaklık (°C)
Helium gazı (basıncı değiştirilerek)	- 270.15 ile - 268.15
Denge halinde hidrojenin üçlü noktası	-259.3467
Denge halinde hidrojenin 33.33 kPa basınçta kaynama noktası	- 256.15
Denge halindeki hidrojenin 1.0132 bar basınçta kaynama noktası	-252.85
Neonun üçlü noktası	-248.5969
Oksijenin üçlü noktası	-218.7916
Argonun üçlü noktası	-189.3442
Cıvanın üçlü noktası	-38.8344
Suyun üçlü noktası	0,01
Galyumun 1.0132 bar basınçta kaynama noktası	29,7646
İndiyumun 1.0132 bar basınçta katılma noktası	256.5985
Kalayın 1.0132 bar basınçta katılma noktası	231.928
Çinkonun bar basınçta katılma noktası	419.527
Alüminyumun 1.0132 bar basınçta katılma noktası	660.323
Gümüşün 1.0132 bar basınçta katılma noktası	961.783
Altının 1.0132 bar basınçta katılma noktası	1064.18
Bakırın 1.0132 bar basınçta katılma noktası	1084.62

Tablo 1.2. Uluslararası İkinci Referans Sıcaklık Noktaları (1968)

Referans Noktası	Sıcaklık (°C)
Normal hidrojenin denge noktası	-259.194
Normal hidrojenin kaynama noktası	-252.753
Neonun kaynama noktası	-210.002
Karbondioksitin sublimasyon noktası (normal)	-78.476
Suyun donma noktası	0
Penosobenzenin üçlü noktası	26.87
Benzoik asitin üçlü noktası	122.37
Bizmutun (Bi) katılma noktası	271.442
Kadmiyumun (Cd) katılma noktası	321.108
Kurşunun (Pb) katılma noktası	327.502
Cıvanın (Hg) kaynama noktası	356.66
Kükürtün (S) kaynama noktası	444.674
Antimuan (Sb) katılma noktası	630.74
Nikelin (Ni) katılma noktası	1455
Kobaltın (Co) katılma noktası	1494
Palladyumun (Pd) katılma noktası	1554
Platinin (Pt) katılma noktası	1772
Radyumun (Ra) katılma noktası	1963
İridiyumun (Ir) katılma noktası	2447
Vanadyumun (V) katılma noktası	3387

Tablo 1.3. Pratik Sıcaklık Skalasında Enterpolasyon Yöntemi

Sıcaklık Aralığı (°C)	Yöntem
- 259.34 ile 0	Platin direnç termometresi kullanarak dört referans noktası yardımıyla üçüncü dereceden bir polinomun katsayıları tayin edilir.
0 ile 630.74	Platin direnç termometresi kullanarak üç referans noktası yardımıyla ikinci dereceden bir polinomun katsayıları tayin edilir.
630.74 ile 1064.43	Standart platin-platin / radyum (% 10) termoelemanı kullanılarak antimonun, gümüş ve altının katılma noktaları referans alınarak ikinci dereceden polinomun katsayıları tayin edilir.
1064.43'ün yukarı	<p>Bu bölgede sıcaklık</p> $\frac{J_1}{J_{Au}} = \frac{\exp [C_2 / \lambda (T_{Au} + T_0)] - 1}{\exp [C_2 / \lambda (T + T_0)] - 1}$ <p>bağıntısı ile tanımlanır. Bu bağıntıda, J₁ = T sıcaklığında y dalga boyunda birim zamanda birim alanda yayılan ışınım enerjisi J_{Au} = T_{Au} altının katılma noktası sıcaklığında, birim zamanda alanda yayılan ışınım enerjisi C₂=1.438cm.K . T₀=2273.16 K anlamındadır.</p>

2. SICAKLIK ÖLÇME YÖNTEMLERİ

2.1. Isıl Genişleme Prensibine Dayalı Yöntemler

Pek çok malzeme sıcaklıktaki değişimle boyutsal bir değişim gösterir. Bu fiziksel olaya dayanılarak şu termometreler geliştirilmiştir.

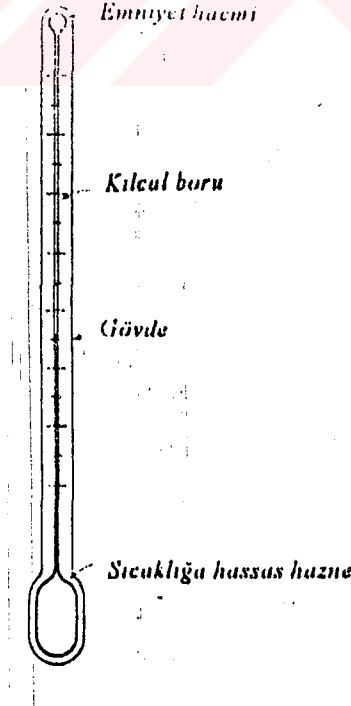
a: Sıvı genişlemeli cam termometreler.

b: Bimetal termometreler,

c: Basınç termometreleri.

2.1.1. Sıvı genişlemeli cam termometreler:

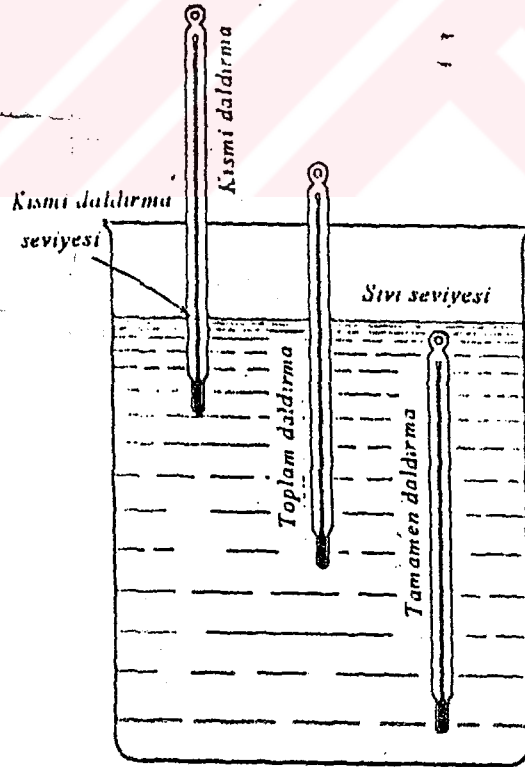
Sıvı genişlemeli cam termometreler sıcaklık ölçme aygıtlarının en yaygın olarak kullanılan tiplerinden biridir. Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi esas olarak bir hazne, bununla irtibatlı bir kılcal boru, bunların içinde genişleşebilen bir sıvı ve ölçekten ibarettir. Kılcal borunun üst kısmı kapatılmış olup, içerisine sıvının buharlaşmasını önlemek için azot gibi nötr bir gaz doldurulur. Hazne kısmı sıcaklığı ölçülecek ortam içine sokulunca sıcaklığın etkisi ile sıvı genişler ve kılcal boru içinde yükselir. Sıvının bu yükselme miktarı sıcaklık ölçmesi için kullanılır.



Şekil-2.1. Sıvı genişlemeli cam termometre

Cam termometreler içinde genellikle sıvı, toluen, etil alkol, kerosen, petrol eteri ve pentan gibi sıvılar kullanılır. Ancak en çok kullanılan sıvı cıvadır. Cıvanı camı ısılatmaması, saf olarak kolayca elde edilebilmesi ve atmosferik basınçta $-38,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+356,58\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları arasında sıvı fazda bulunması cıvanın en büyük üstünlükleridir. Ayrıca kılcal boru içine basınçlı bir nötr gaz doldurularak cıvanın buharlaşma sıcaklığını artırmak mümkündür. Cıvanın en büyük sakıncası diğer termometre sıvılarına göre hacimsel genişleme katsayısının küçük olmasıdır. Pratikte kullanılan diğer termometre sıvılarının hacimsel genişleme katsayılarının büyük olmasına rağmen, camı ısıtılmaları bir sakınca değildir ve okumalarda güçlükler yaratabilmektedir.

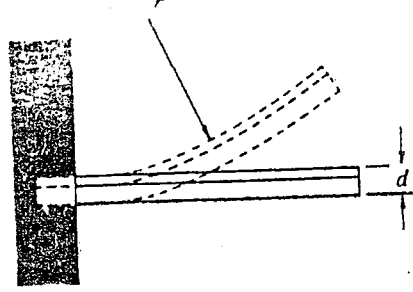
Şekil- 2.2.'de görüldüğü gibi, sıvı genişlemeli termometreler ile üç değişik biçimde ölçme yapılabilir. Termometrenin kısmi olarak sıcaklığı ölçülecek ortama sadece haznesinin sokulması durumunda, kılcal kısım başka bir sıcaklıktaki ortamda bulunur. Bu durumda termometrenin tamamı aynı sıcaklıkta değildir. Kılcal borudaki termometre sıvısına farklı sıcaklıklar etki ettiğinden, ölçülen sıcaklığın düzeltilmesi gerekir.



Şekil 2.2.: Termometreler ile üç değişik ölçme biçimi

2.1.2. Bimetal Termometreler:

Bu tip termometrelerin çalışma prensibi katı cisimlerin sıcaklığına doğrusal uzamalarına dayanır. Şekil-2.3'de birlikte bağlanmış farklı ısı genleşme katsayısına sahip iki farklı malzemeden yapılmış çubuk görülmektedir.



Şekil-23 Bimetalik çubuk

Değişik elemanlar farklı uzayacağından ortam sıcaklığı değişince sistem şekilde görüldüğü gibi bir kıvrım yapacaktır. Eskin ve Fritze verdiği hesaplama yöntemine göre bu kıvrımın yarıçapı r (m);

$$r = \frac{d (3(1+m)^2 + (1+mn) (m^2+1/mn))}{6(\alpha_2-\alpha_1) (T - T_0) (1+m)^2}$$

bağıntısı ile bulunabilmektedir. Bu bağıntıda;

d : Çubuğun toplam kalınlığı (m),

m : Küçük uzama katsayısına sahip elemanın kalınlığının büyük uzama katsayısına sahip elemanın kalınlığına oranı,

n : Küçük uzama katsayısına sahip elemanın elastisite modülünün büyük uzama katsayısına sahip elemanın elastisite modülüne oranı,

α_1 : Küçük ısı genleşme katsayısı (1/K),

α_2 : Büyük ısı genleşme katsayısı (1/K),

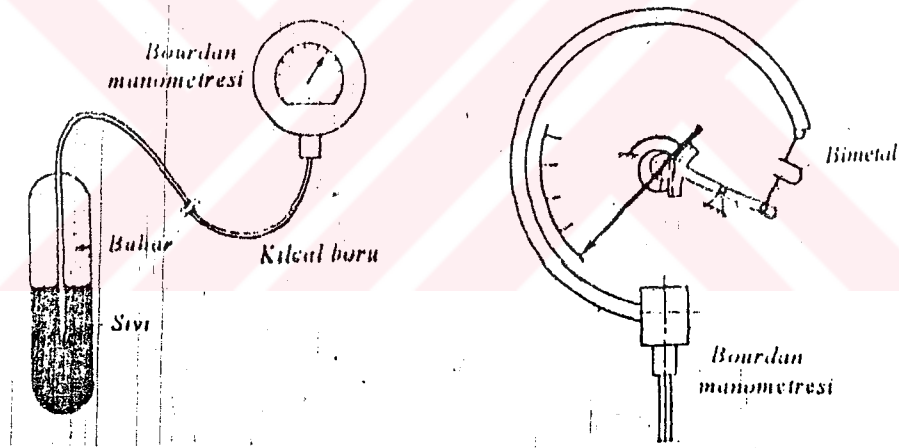
anlamlandırılır. Bimetal termometrelerde kullanılan bazı malzemelere ait uzama katsayıları ve elastisite modülleri Tablo-2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Bimetal Termometrelerde Kullanılan Bazı Matzemelerin Özellikleri

Malzeme cinsi	Isıl uzama katsıysı (1/K)	Elastisite modülü (GN/m ²)
İnvar	1,7x10 ⁶	147
Pirinç	20,2x10 ⁶	96,5
Monel 400	13,5x10 ⁶	179
İnkone1 702	12,5x10 ⁶	217
Paslanmaz çelik 316	16x10 ⁶	193

2.1.6.3 Basınç termometreleri:

Diğer sıcaklık ölçerlere göre ekonomik ve hassas olmaları nedeniyle endüstriyel sıcaklık ölçmelerinde basınç termometreleri çok kullanılır. Bu tip termometreler herhangi bir sıvı, gaz veya sıvı/buhar ile doldurulmuştur. Şekil-2.4'de görüldüğü gibi kapalı bir kap içinde bulunan bu akışkanların sıcaklıkla ısıl genleşmesinin oluşturduğu basıncın ölçülmesi prensibine dayanır. Bu nedenle bu tip termometrelere pratikte bazen akışkan genişlemeli termometreler de denir. Ölçme noktası ile okuma noktası arasındaki uzaklık 60 m değerine kadar çıkabilmektedir.



Şekil 2.4. Basınç termometre prensibi

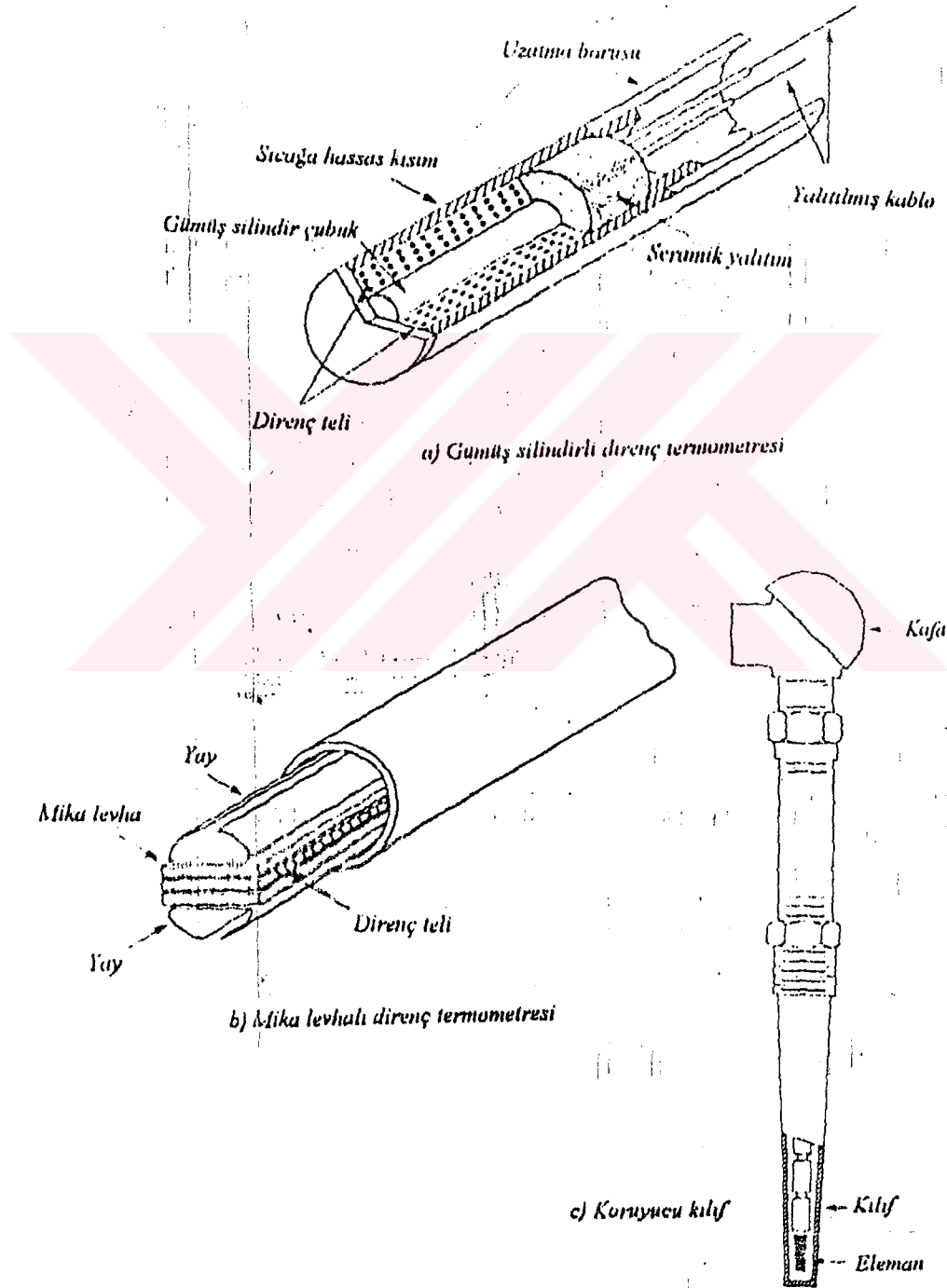
2.2. Metallerin Elektriksel Direncinin Sıcaklıkla Değişimi Esasına Dayalı Yöntemler.

Elektrik iletkenliğinin fiziksel yapısının bir sonucu olarak iletkenin ya da yarı iletkenin elektriksel direnci sıcaklıkla değişir. Sıcaklık ölçümü için kullanılan bu temel davranış prensibi yardımıyla iki temel direnç termometresi geliştirilmiştir. Bunlar elektrik direnç termometreleri ve termistorler olarak adlandırılır.

2.2.1. Elektrik direnç termometreleri:

Bu termometreler bazı elemanların elektrik dirençlerinin sıcaklıkla değişimi prensibine dayanır. Bu termometrelerin konstrüksiyonunda tellerin elektrik dirençlerinin sıcaklıktan başka mekanik zorlanmalarla da değişebileceği düşünülmemelidir. Bu nedenle

dirençlerin sarılması sırasında burulma ve mekanik gerilmelerin oluşmamasına dikkat etmek gereklidir. Ayrıca sıcaklık etkisiyle teldeki uzayıp kısalmalar, telde mekanik zorlanmalar yaratmayacak şekilde sarılmalıdır. Bu tip direnç termometreleri çıplak olarak doğrudan sıcaklık ölçmelerinde kullanılabilirdiği gibi pratikte bu elemanları korozif etkilerden, mekanik darbelerden korumak için bir kılıf içine yerleştirmek gereklidir. Şekil-2.5.'de bu tip termometrelere ait konstrüksiyon örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.5. Elektrik Direnç termometre tipleri ve koruyucu kılıf

Sıcaklık ölçmesinde kullanılan tipik bazı direnç malzemeleri Tablo-2.2.'de verilmiştir. Kullanılan direncin sıcaklıkla değişim katsayısı α , dar bir sıcaklık aralığında direncin sıcaklıkla doğrusal değiştiği varsayımı altında yaklaşık olarak;

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 (T_2 - T_1)}$$

yazılabilir. Bu bağıntıda R_1 , R_2 değerleri T_1 ve T_2 sıcaklıklarına karşı gelen elektrik dirençleridir. Sıcaklık aralığının büyük olması durumunda direncin sıcaklıkla değişimi ikinci dereceden bir polinom olarak alınır.

$$R = R_0 (1 + aT + bT^2)$$

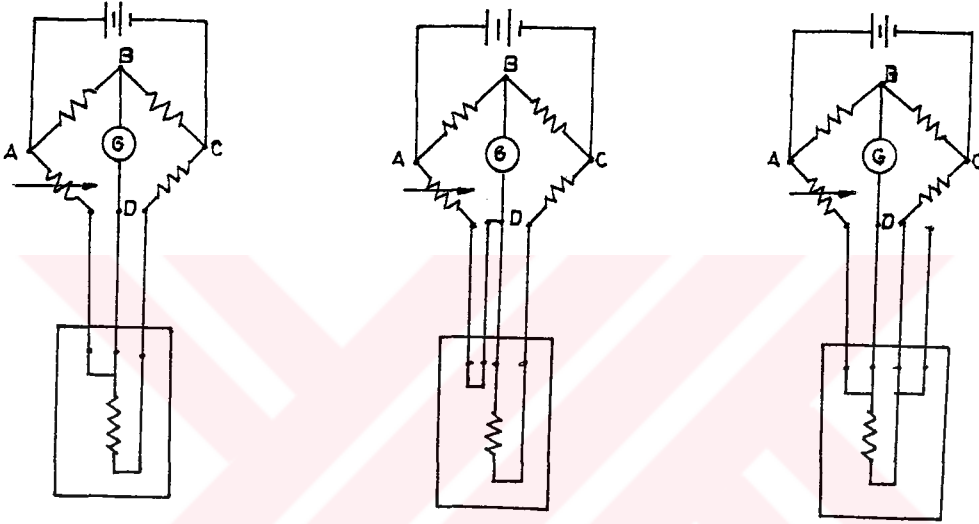
Bu polinomda R_0 ve R dirençleri T_0 ve T sıcaklıklarına karşı gelen değerler a ve b ise deneylerden bulunması gereken katsayıları göstermektedir. Daha hassas incelemelerde ise bu ifade üçüncü dereceden bir polinom alınabilir.

Tablo 2.2. Elektrik direnç termometrelerinde kullanılan malzemelerin sıcaklıkla değişim katsayıları ve özgül dirençleri

Malzeme	α (1/°C)	ρ ($\mu\Omega$ cm)
Nikel	0,0067	6,85
Demir alaşım	0,002 ile 0,006	10
Tungsten	0,0048	5,65
Alüminyum	0,0045	2,65
Bakır	0,0043	1,67
Kalay	0,0042	20,6
Gümüş	0,0041	1,59
Altın	0,004	2,35
Platin	0,00392	10,5
Cıva	0,00099	98,4
Manganin	$\pm 0,00002$	44
Karbon	- 0,0007	1400
Elektrolitiz	- 0,02 ile -0,09	Değişken
Yarı iletken (termistör)	-0,068 ile +0,14	10^9

Bu termometrelerdeki elektrik direncinin ölçülmesi için değişik birkaç devre kullanılabilir. Pratikte Wheastone köprüsü, direnç ölçmesi için en çok kullanılan devredir. Bu tip devrelerde direnç termometresinin bağlantı noktalarına özellikle dikkat etmek gerekir. Uzatma kablolarının oluşturabileceği ilave direnç değişimleri, termometre elemanının direncine etki etmemelidir.

Ortamdan ve uzatma kablolarından oluşabilecek etkileri en aza indiren elektrik devrelerine ait üç örnek şekil 2.6'da verilmiştir. Devrelerdeki AD ve DC kolları aynı uzunlukta olduğundan ortam şartlarının etkisi ihmal edilebilir. En basit düzenleme Şekil-2.6.a'da verilmiş olup, bu devrenin orta bacağından bir akım geçmemesi bu düzenlemenin üstünlüğüdür. Şekil-2.6'b de ise iki bacak ilave edilmiş olup, bu düzenleme iki direnç termometresi arasındaki sıcaklık farkının ölçülmesinde yararlıdır. Şekil-2.6c de verilen dört bacaklı düzenleme, (a) düzenlemesine ilave bir bacak konularak elde edilir. Bu ilave bacak yardımı ile bağlantı tellerinin dirençlerinin eşitliği kontrol edilir.



a) Siemen Düzenlemesi

b) Callender düzenlemesi

c) Dörtbacaklı düzenleme

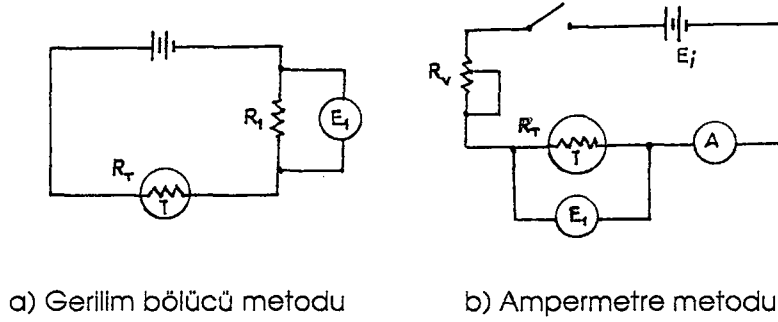
Şekil-2.6: Elektrik direnç termometrelerinde bağlantı uçlarının etkisini azaltan düzenlemeler.

2.2.2. Termistörler

Yarı iletken malzemeden yapılan termistörlerin elektrik direnci birçok metal malzemenin aksine sıcaklıkla azalır. Sıcaklık arttıkça termistörün direnci azaldığı için aralarındaki ilişki üstel bir fonksiyon olarak verilir.

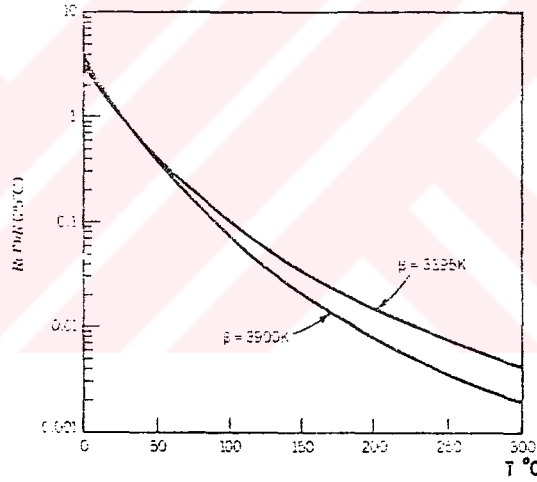
$$R=R_0 \exp (\beta (1/T-1/T_0))$$

Bu fonksiyonda R (Ω), T (K) sıcaklığındaki direnç, R_0 , (Ω), T_0 . (K) referans sıcaklığındaki direnç, β (K) ise deneysel olarak bulunması gereken bir sabittir. Termistör malzemesinin cinsine ve sıcaklığına bağlı olarak β katsayısı 3500 ile 4600 K arasında değişmektedir. Şekil-2.7'de ise β değerlerinin tayini için değişik elektrik devreleri görülmektedir.



Şekil-2.7. Termistörler için β değerinin tespiti

Şekil-2.8'de ise yaygın olarak kullanılan iki termistor malzemesi için sıcaklıkla direncin değişimi görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 25 °C'de her iki malzemede aynı dirence sahiptir.



Şekil-2.8: Termistor direncinin sıcaklıkla değişimi.

Uygun kalibrasyon yapıldığında termistorler ile 0,01 °C hassasiyet ile sıcaklık ölçmesi yapmak mümkündür. Bunların en önemli üstünlüklerinden birisi de elektrik devrelerinde sıcaklık kompanzatorü olarak kullanılmasıdır. Bir elektrik devresinde sıcaklığın artması ile direncindeki artma, sıcaklıkla negatif direnç karakteristiğine sahip termistörler ile kolayca dengelenebilir.

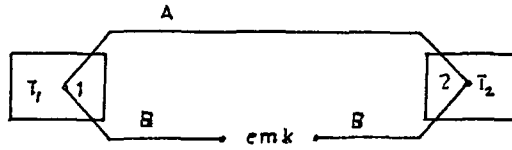
Termistörlerin dirençlerinin sıcaklıkla değişimlerinin doğrusal olmamaları ise en büyük sakıncalarıdır. Bu sakınca günümüzde uygun bilgisayar programları ile kolayca yok edilebilmekte ve doğrudan direnç ölçmesinden alınan bilgelerin değerlendirilmesi ile sıcaklık tespiti yapılabilmektedir. Diğer taraftan, bunlar yarı iletken malzemeden yapılmış olmaları nedeniyle 300 °C sıcaklığın yukarısında kullanılmaları sakıncalıdır. Yüksek sıcaklıklar için özel önlemler alınmalıdır.

Direnç termometrelerinde çeşitli problemler yaratan bağlantı ve uzatma kablolarının direnci, termistör dirençlerinin izafi olarak çok büyük olmaları nedeniyle termistörler ile yapılan ölçmelerde olumsuz etki yapmaz. Bu nedenle termistörler ile direnç ölçmesinde şekil 2.6.'de verilen dört bacaklı devrelerin kullanılmasına gerek yoktur. Ayrıca devredeki akımın çok küçük olması nedeniyle bu elemanların iç ısınmaları çok küçüktür.



3. TERMOCOUPLE (TERMOKOPUL) DEVRELERİ

Elektriksel sıcaklık ölçme yöntemlerinden günümüzde en çok kullanılan termokopullardır. Bir termokopul devresi en az bir noktadan elektriksel olarak birbirine bağlı iki farklı iletken malzemeden oluşmaktadır. Şekil-3.1'de bir termokopul devresi görülmektedir. Burada 1 nolu birleşme noktasındaki sıcaklık T_1 , 2 nolu birleşme noktasındaki sıcaklık ise T_2 olarak gösterilmiştir. Şayet T_1 ve T_2 sıcaklıkları birbirine eşit değilse elektrik devresinin



Şekil-3.1. Termokopul devresi

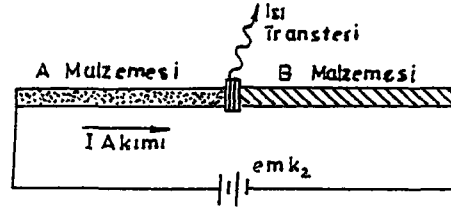
uçları arasında bir potansiyel (emk) oluşur. Bu potansiyelin büyüklüğü sıcaklıklar arasındaki farka bağlıdır. Diğer bir deyişle bu sıcaklıkların fonksiyonu olarak bu devrede bir elektromotor kuvvet (emk) oluşur.

Bu olay ilk defa Thomas Johann seebeck tarafından 1821 yılında ortaya çıkarılmış olup Seebeck etkisi olarak adlandırılmaktadır. T_1 ve T_2 birleşme noktası sıcaklıkları ve emk arasındaki ilişkiyi Seebeck şu şekilde tanımlamıştır.

$$\alpha_{AB} = \left[\frac{\partial (\text{emk})}{\partial T} \right] \text{ açık devre}$$

Burada α_{AB} , A ve B gibi iki farklı malzemeden elde edilmiş termokopul için Seebeck katsayısını göstermektedir.

1834 yılında Peltier konu üzerinde incelemeler yapmıştır. İki farklı malzemeden yapılmış metal tellerin oluşturduğu elektrik devresine dışarıdan bir akım verildiğinde bu tellerin bağlantı noktalarında Joule ısınma etkisinden farklı şekilde akımın yönüne bağlı olarak ya ilave bir ısınma ya da soğuma ortaya çıkmaktadır. Bu olaya Peltier etkisi adı verilir. (Şekil-3.2.)



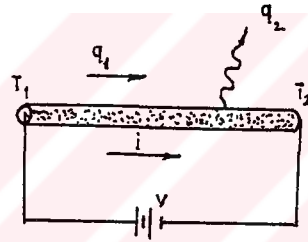
Şekil-3.2. İki farklı malzemenin birleşme noktasına dışarıdan bir akımın uygulanması

Isı ve akım arasında ilişki;

$$Q_{\pi} = \pi_{AB} I$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada π_{AB} peltre katsayısı olarak adlandırılır.

Elektrik devresinde Seebeck etkisi ve Peltier etkisinin dışında üçüncü bir olay daha oluşmaktadır. (Şekil-3.3.)



Şekil-3.3. Isı ve akımın aynı anda devreye uygulanması

Herhangi bir elektrik devresindeki bir telin üzerinde, tel boyunca bir sıcaklık gradyanı varsa bu telde bir emk oluşur. Bu olaya da Thomson etkisi adı verilir. Thomson etkisi 1854 yılında Thomson (Lord Kelvin) tarafından açıklanmıştır. Thomson katsayısı σ ise

$$Q_{\sigma} = \sigma I (T_1 - T_2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

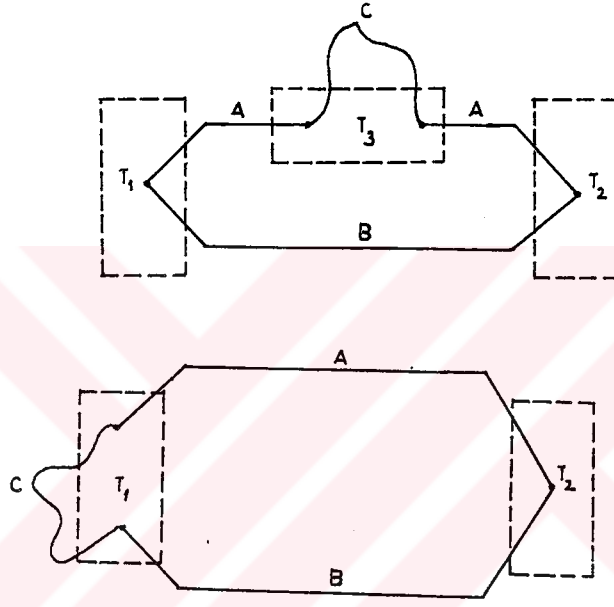
1887 yılında Le Chatelier ilk defa termoelektrik yöntemi (termokopul) kullanarak, sıcaklık ölçmeleri yapmıştır. Daha sonraki yıllarda ölçme cihazlarındaki hassasiyetler ve kullanılan metal malzemelerin saflığı arttıkça, termokopullar endüstrideki ve laboratuvarlardaki sıcaklık ölçmelerinin temel elemanları olmuştur.

3.1. Termokopul Kanunları

Bir termoelektrik devresi için orta metal ve orta sıcaklık kanunları olarak adlandırılan iki kanunda oldukça önemlidir.

3.1.1. Orta Metal Kanunu

Şekil-3.4.'de gösterildiği gibi A ve B tellerinden oluşan bir termoelektrik devresine C malzemesinden yapılmış üçüncü bir tel bağlandığında, bu üçüncü telin bağlantı yerleri birbirleri ile aynı sıcaklıkta ise devrede oluşan emk değerinin, iki telin bulunduğu devredeki emk değeri ile aynı olduğu gösterilebilir. Bu kanun özellikle termoelektrik devrelerin üçüncü bir tel ile uzatılmasında ya da bu devrenin bir cihaz ile ölçülmesi durumları için uygulanabilir.



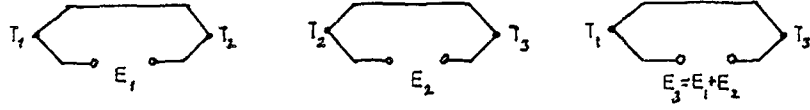
Şekil-3.4. Orta metal kanunu

3.1.2 Orta Sıcaklık Kanunu

Aynı bir termoelektrik devresinin uçlarına farklı sıcaklıklar etki ettirilsin. Bu uçlara T_1 ve T_2 sıcaklıkları etki ettiğinde oluşan emk E_1 , T_2 ve T_3 sıcaklıkları etki ettiğinde oluşan emk E_2 ise orta sıcaklık konununa göre bu devrenin uçlarına T_1 ve T_3 sıcaklıkları etki ettiğinde oluşan emk,

$$E_3 = E_1 + E_2$$

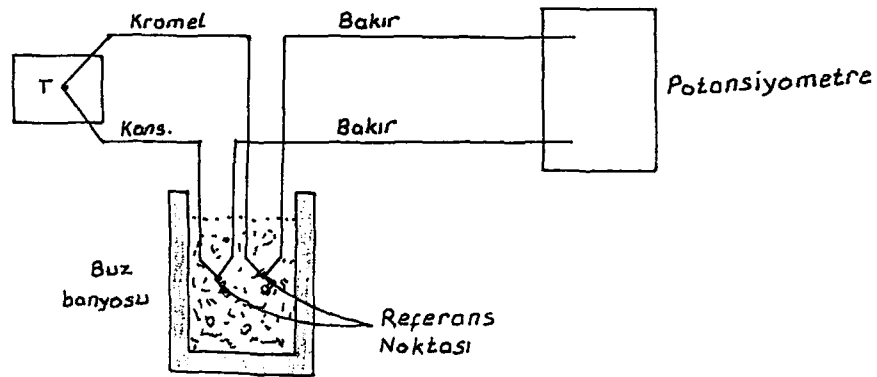
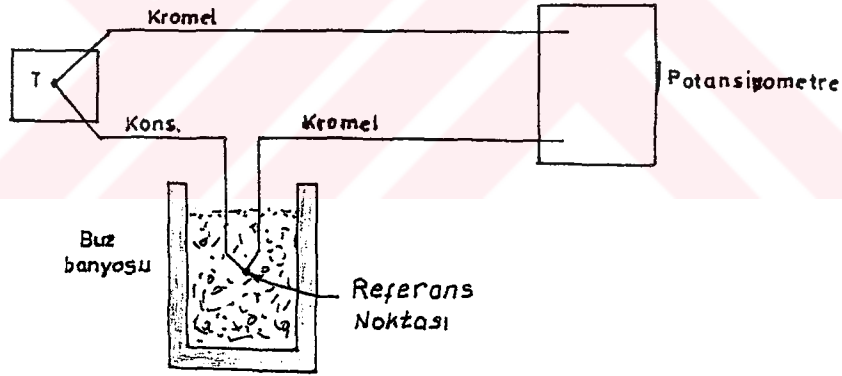
olacaktır. Bu kanun da özellikle $0\text{ }^\circ\text{C}$ değerinden farklı referans, sıcaklıklarında, standart termoeleman tablolarının kullanışı için yararlıdır. (Şekil-3.5.)



Şekil-3.5. Orta sıcaklık kanunu

3.2. Termokopulla Sıcaklık Ölçüm Uygulamaları:

Şekil-3.1.'de verilen termokopul devresi T_1 ve T_2 sıcaklıkları arasındaki farkı ölçmektedir. Bu ilişkiden yararlanılarak uçlardan birinde sıcaklık belli değerde tutulursa diğer uçtaki sıcaklık malzemelerin termoelektrik özelliklerinden yararlanılarak bulunabilir. Sabit sıcaklıkta tutulan uç referans noktası diğer uç ise ölçüm noktası olarak adlandırılır. Özellikle laboratuvarlarda termoeleman ile yapılan ölçmelerde referans noktası, sıcaklığı 0 °C değerindeki atmosferik basınçta erimekte olan sap, demineralize su buzunun içine daldırılır. Son yıllarda bu konudaki imalatçı firmalar tarafından geliştirilmiş olan $\pm 0,1$ °C hassasiyetli, 0 °C sıcaklığa sahip elektronik soğutma hücreleri (elektronik buz hücresi) de sıkça kullanılmaya başlanmıştır.

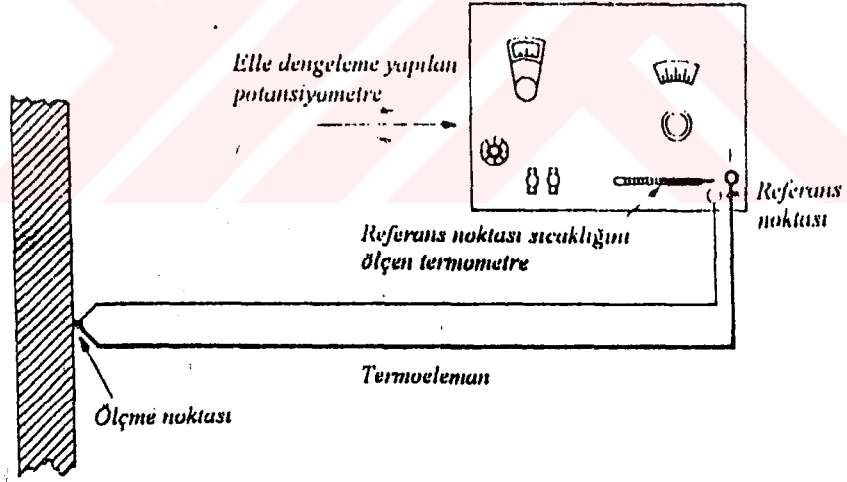


Şekil-3.6: Termokopul devresi

Şekil-3.6.'da termokopulla sıcaklık ölçüm sistemi görülmektedir. Burada Kromel-konstantan termokopul çifti, referans sıcaklığını oluşturan bir buz banyosu, bakır uzatma teli ve devrenin çıkış gerilimini ölçmek için bir potansiyometre kullanılmıştır. Orta metal kanunu gereği ne potansiyometre ne de uzatma teli devrede oluşacak emk değerini değiştirmemektedir.

Termokopul malzemeleri genellikle pahalı olduklarından bir ölçme devresinde kullanılan termokopul telinin mümkün olduğu kadar kısa olması istenir. Ucuz olması nedeniyle uzatma teli olarak bakır tel çok tercih edilir.

Termokopul devresinde oluşan emk bir galvanometre, millivoltmetre veya potansiyometre ile ölçülür. Ölçme sırasında devrede bir elektrik akımının olmaması ve devrenin dirençlerinden etkilenmemesi nedeniyle elle veya otomatik olarak dengelenmiş potansiyometreler en uygun gerilim ölçme cihazlarıdır. Şekil-3.7'de potansiyometre ile ölçme yapan basit bir termokopul devresi görülmektedir. Bu devrede termokopulun potansiyometreye bağlandığı yer, referans noktası sıcaklığı olarak ilave bir termometre ile ölçülür. Referans noktasındaki sıcaklık ve orta sıcaklık kanunu yardımı ile ölçme noktasındaki sıcaklık tespit edilebilir.



Şekil-3.7: Referans ucun potansiyometre üzerinde bulunduğu şematik termokopul devresi

3.3. Termokopul Standartları

Çeşitli metaller kullanılarak hazırlanmış olan termokopul çiftlerinde değişik sıcaklıklarda oluşan emk, standart termoeleman tabloları veya eğrileri haline getirilmiştir. Pratikte kullanılan termokopul çiftleri ve genel özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Pratikte kullanılan termoeleman çiftleri ve genel özellikleri.

Tip	Sembol Renk Kodu	Sıcaklık aralığı (°C)	Özellikleri
Bakır Konstantan	(T) Mavi/Kırmızı	-185 ile + 370	Ucuz, çıkış gerilimi yüksek, bakır 370 °C üzerinde korozyon olur.
Kromel Konstantan	(E) Mor/Kırmızı	0 ile 550	Çıkış gerilimi yüksek, iyi kararlılık
Demir- Konstantan	(J) Beyaz/Kırmızı	0 ile 800	Ucuz, çıkış gerilimi yüksek, demir 800 °C'de korozyon olur.
Kromel-Alümel	(K) Sarı/Kırmızı	300 ile 1.100 (sürekli) 1.250 (geçici)	Oksidasyona karşı direnci fazla, kullanma ile emk değerinde düşme görülebilir.
Platin - Platin/ Radyom	(R), (S) Siyah / Kırmızı (B) Gri / Kırmızı	700 ile 1.480 (sürekli) 1.500 (geçici)	Pahalı, çıkış gerilimi düşük, yük- sek sıcaklıklar için uygun, çok kararlı, korozyona karşı dayanık- lı, 630,74 ile 1.064,43 °C arasında uluslararası sıcaklık ölçeği.
Tungsten - Remyon	(C), (G), (D) Renkil Benekli Beyaz / Kırmızı	1.900 yukarısı	Yüksek sıcaklıklar için uygun, yaygın kullanılmaz.

Not: - Konstantan = % 60 Bakır, % 40 Nikel
Kromel = % 10 Krom, % 90 Nikel
Alümel = %2 Alüminyum, % 90 Nikel, % 8 Silikon ve Mangenez

Şekil-3.8'de ise yaygın olarak kullanılan birkaç termokopul malzemesinin emk değeri ile sıcaklık arasındaki ilişki görülmektedir. Referans sıcaklığı 0 °C dir. Burada eğrinin eğimi termokopul devresinin statik duyarlılığını göstermektedir. Bir termokopul tipinin seçiminde ölçüm yapılacak ortamın yapısı ve ulaşabilecek sıcaklık değeri göz önüne alınmalıdır.

NIST (The National Institute of Standards and Technology) bu malzeme çiftleri için beklenen maksimum hata sınırlarına göre ölçülen emk değeri ile ortam sıcaklığını tanımlayan standart tablolar geliştirmiştir. Buna örnek olarak Tablo 3.2. genellikle J tipi termokopullar olarak adlandırılan demir/konstantan çifti için standart emk değerleri ve karışık gelen sıcaklıklar görülmektedir.

Tablo 3.2. J tipi termokopullar için standart emk değerleri (referans noktası sıcaklığı -0C)

Deg °C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-210	-8.096									
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868
-180	-7.402	-7.429	-7.455	-7.482	-7.508	-7.533	-7.559	-7.584	-7.609	-7.634
-170	-7.122	-7.151	-7.180	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.375
-160	-6.821	-6.852	-6.883	-6.914	-6.944	-6.974	-7.004	-7.034	-7.064	-7.093
-150	-6.499	-6.532	-6.565	-6.598	-6.630	-6.663	-6.695	-6.727	-6.758	-6.790
-140	-6.159	-6.194	-6.228	-6.263	-6.297	-6.331	-6.365	-6.399	-6.433	-6.466
-130	-5.801	-5.837	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.053	-6.089	-6.124
-120	-5.426	-5.464	-5.502	-5.540	-5.578	-5.615	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764
-110	-5.036	-5.076	-5.115	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.349	-5.388
-100	-4.632	-4.673	-4.714	-4.755	-4.795	-4.836	-4.876	-4.916	-4.956	-4.996
-90	-4.215	-4.257	-4.299	-4.341	-4.383	-4.425	-4.467	-4.508	-4.550	-4.591
-80	-3.785	-3.829	-3.872	-3.915	-3.958	-4.001	-4.044	-4.087	-4.130	-4.172
-70	-3.344	-3.389	-3.433	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742
-60	-2.892	-2.938	-2.984	-3.029	-3.074	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.299
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.570	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847
-40	-1.960	2.008	-2.055	-2.102	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.384
-30	-1.481	1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.141	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.748	-0.798	-0.847	-0.896	-0.945
0	0	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451

Deg C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.743	2.796	2.849	2.902	2.956	3.009	3.062
60	3.115	3.168	3.221	3.275	3.328	3.381	3.435	3.488	3.542	3.595
70	3.649	3.702	3.756	3.809	3.863	3.917	3.971	4.024	4.078	4.132
80	4.186	4.239	4.293	4.347	4.401	4.455	4.509	4.563	4.617	4.671
90	4.725	4.780	4.834	4.888	4.942	4.996	5.050	5.105	5.159	5.213
100	5.268	5.322	5.376	5.431	5.485	5.540	5.594	5.649	5.703	5.758
110	5.812	5.867	5.921	5.976	6.031	6.085	6.140	6.195	6.249	6.304
120	6.359	6.414	6.468	6.523	6.578	6.633	6.688	6.742	6.797	6.852
130	6.907	6.962	7.017	7.072	7.127	7.182	7.237	7.292	7.347	7.402
140	7.457	7.512	7.567	7.622	7.677	7.732	7.787	7.843	7.898	7.953
150	8.008	8.063	8.118	8.174	8.229	8.284	8.339	8.394	8.450	8.505
160	8.560	8.616	8.671	8.726	8.781	8.837	8.892	8.947	9.003	9.058
170	9.113	9.169	9.224	9.279	9.335	9.390	9.446	9.501	9.556	9.612
180	9.667	9.723	9.778	9.834	9.889	9.944	10.000	10.055	10.111	10.166
190	10.222	10.277	10.333	10.388	10.444	10.499	10.555	10.610	10.666	10.721
200	10.777	10.832	10.888	10.943	10.999	11.054	11.110	11.165	11.221	11.276
210	11.332	11.387	11.443	11.498	11.554	11.609	11.665	11.720	11.776	11.831
220	11.887	11.943	11.998	12.054	12.109	12.165	12.220	12.276	12.331	12.387
230	12.442	12.498	12.553	12.609	12.664	12.720	12.776	12.831	12.887	12.942
240	12.998	13.053	13.109	13.164	13.220	13.275	13.331	13.386	13.442	13.497
250	13.553	13.609	13.664	13.719	13.775	13.830	13.886	13.941	13.997	14.052
260	14.108	14.163	14.219	14.274	14.330	14.385	14.441	14.496	14.552	14.607
270	14.663	14.718	14.774	14.829	14.885	14.940	14.995	15.051	15.106	15.162
280	15.716	15.217	15.273	15.328	15.383	15.439	15.494	15.550	15.605	15.716
290	15.771	15.827	15.882	15.938	15.993	16.048	16.104	16.159	16.214	16.270
300	16.325	16.380	16.436	16.491	16.547	16.602	16.657	16.713	16.768	16.823
310	16.879	16.934	16.989	17.044	17.100	17.155	17.210	17.266	17.321	17.376
320	17.432	17.487	17.542	17.597	17.653	17.708	17.763	17.818	17.874	17.929
330	17.984	18.039	18.095	18.150	18.205	18.260	18.316	18.371	18.426	18.481
340	18.537	18.592	18.647	18.702	18.757	18.813	18.868	18.923	18.978	19.033
350	19.089	19.144	19.199	19.254	19.309	19.364	19.420	19.475	19.530	19.585
360	19.640	19.695	19.751	19.806	19.861	19.916	19.971	20.026	20.081	20.137
370	20.192	20.247	20.302	20.357	20.412	20.467	20.523	20.578	20.633	20.688
380	20.743	20.798	20.853	20.909	20.964	21.019	21.074	21.129	21.184	21.239

Tablo 3.2. 'nin devamı

Deg C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
390	21.295	21.350	21.405	21.460	21.515	21.570	21.625	21.680	21.736	21.791
400	21.846	21.901	21.956	22.011	22.066	22.122	22.177	22.232	22.287	22.342
410	22.397	22.453	22.508	22.563	22.618	22.673	22.728	22.784	22.839	22.894
420	22.949	23.004	23.060	23.115	23.170	23.225	23.280	23.336	23.391	23.446
430	23.501	23.556	23.612	23.667	23.722	23.777	23.833	23.888	22.943	23.999
440	25.054	24.109	24.164	24.220	24.275	24.330	24.386	24.441	24.496	24.552
450	24.607	24.662	24.718	24.773	24.829	24.884	24.939	24.995	25.050	25.106
460	25.161	25.217	25.272	25.327	25.383	25.438	25.494	25.549	25.605	25.661
470	25.716	25.772	25.827	25.883	25.938	25.994	26.050	26.105	26.161	26.216
480	26.272	26.328	26.383	26.439	26.495	26.551	26.606	26.662	26.718	26.774
490	26.829	26.885	26.941	26.997	27.053	27.109	27.165	27.220	27.276	27.332
500	27.388	27.444	27.500	27.556	27.612	27.668	27.724	27.780	27.836	27.893
510	27.949	28.005	28.061	28.117	28.173	28.230	28.286	28.342	28.398	28.455
520	28.511	28.567	28.624	28.680	28.736	28.793	28.849	28.906	28.962	29.019
530	29.075	29.132	29.188	29.245	29.301	29.358	29.415	29.471	29.528	29.585
540	29.642	29.698	29.755	29.812	29.869	29.926	29.983	30.039	30.096	30.153
550	30.210	30.267	30.324	30.381	30.439	30.496	30.553	30.610	30.667	30.724
560	30.782	30.839	30.896	30.954	31.011	31.068	31.126	31.183	31.241	31.298
570	31.356	31.413	31.471	31.528	31.586	31.644	31.702	31.759	31.817	31.875
580	31.933	31.991	32.048	32.106	31.164	32.222	32.280	32.338	32.399	32.455
590	32.513	32.571	32.629	32.687	31.746	32.804	32.862	32.921	31.979	33.038
600	33.096	33.155	33.213	33.272	33.330	33.389	33.448	33.506	33.565	33.624
610	33.683	33.742	33.800	33.859	33.918	33.977	34.036	34.095	34.155	34.214
620	34.273	34.332	34.391	34.451	34.510	34.569	34.629	34.688	34.748	34.807
630	34.867	34.926	34.986	35.046	35.105	35.165	35.225	35.285	35.344	35.404
640	35.464	35.524	35.584	35.644	35.704	35.764	35.825	35.885	35.945	36.005
650	36.056	36.126	36.186	36.247	36.307	36.368	36.428	36.489	36.549	36.610
660	36.671	36.732	36.792	36.853	36.914	36.975	37.036	37.097	37.158	37.219
670	37.280	37.341	37.402	37.463	37.525	37.586	37.647	37.709	37.770	37.831
680	37.893	37.954	38.016	38.078	38.139	38.201	38.262	38.324	38.386	38.448
690	38.510	38.572	38.633	38.695	38.757	38.819	38.882	38.944	39.006	39.068
700	39.130	39.192	39.255	39.317	39.379	39.442	39.504	39.567	39.629	39.692
710	39.754	39.817	39.880	39.942	40.005	40.068	40.131	10.193	40.256	40.319
720	40.382	40.445	40.508	40.571	40.634	40.697	40.760	40.823	40.886	40.950
730	41.013	41.076	41.139	41.203	41.266	41.329	41.393	41.456	41.520	41.583
740	41.647	41.710	41.774	41.837	41.901	41.965	42.028	42.092	42.156	42.219
750	42.283	42.347	42.411	42.475	42.538	42.602	42.666	42.730	42.794	42.858
760	42.922	42.986	43.050	43.114	43.178	43.242	43.306	43.370	43.434	43.498

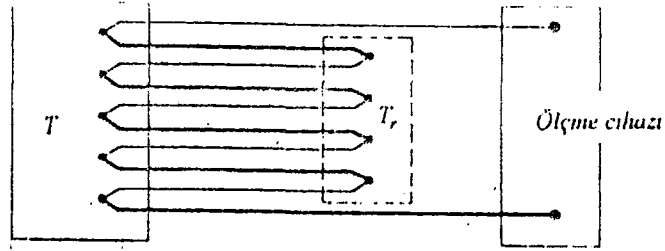
Tablo 3.3'de ise pratikte en çok kullanılan termoeleman çiftleri için referans noktası sıcaklığının 0 °C olması durumunda değişik sıcaklıklarda oluşan emk değerleri toplu olarak görülmektedir.

Tablo 3.3. Pratikte en çok kullanılan termoeleman çiftlerinde, referans noktası sıcaklığının 0 °C olması durumunda değişik sıcaklıklarda oluşan emk (milivolt)

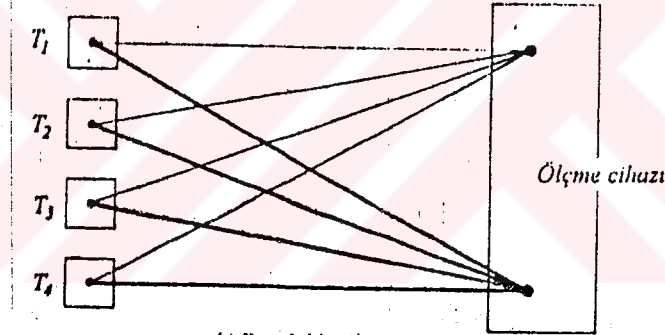
Sıcaklık °C	Bakır- Konstantan (T)	Kronel- Konsatantan (E)	Demir Konstantan (J)	Krdonel Alümel (K)	Platin Platin, %10Rodyum (S)	Platin Platin, %13 Rod. (K)	Platin Rodyum/ Platin, (B)
-270	-6.258	-9.835		-6.458			
-250	-6.181	-9.719		-6.404			
-200	-3.603	-8.824	-7.890	-5.891			
-150	-4.648	-7.279	-6.499	-4.912			
-100	-3.378	-5.237	-4.632	-3.533			
-50	-1.819	-2.787	-2.431	-1.889			
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.789	1.192	1.019	0.798	0.113	0.111	-0.003
50	2.035	3.047	2.585	2.022	0.299	0.296	0.002
100	4.277	6.317	5.268	4.095	0.645	0.647	0.033
150	6.702	9.787	8.008	6.137	1.029	1.041	0.092
200	9.286	13.419	10.777	8.137	1.440	1.468	0.178
250	12.011	17.178	13.553	10.151	1.873	1.923	0.291
300	14.860	21.033	16.325	12.207	2.323	2.400	0.431
350	17.816	24.961	19.089	14.292	2.786	2.896	0.596
400	20.869	28.943	21.846	16.395	3.260	3.407	0.786
450		32.960	24.607	18.513	3.743	3.933	1.002
500		36.999	27.388	20.640	4.234	4.471	1.241
550		41.045	30.210	22.772	4.732	5.021	1.505
600		45.085	33.096	24.902	5.237	5.582	1.791
650		49.109	36.066	27.022	5.751	6.155	3.100
700		53.110	39.130	29.128	6.274	6.741	2.430
750		27.083	42.283	31.210	6.805	7.339	2.782
800		61.022		33.277	7.345	7.949	3.154
850		64.924		35.314	7.892	8.570	3.546
900		68.783		39.310	8.448	9.203	3.957
950		72.593		41.269	9.012	9.848	4.386
1000		76.358		43.202	9.585	10.503	4.833
1050				45.108	10.165	11.170	5.297
1100				46.985	10.754	11.846	5.777
1150				48.828	11.348	12.532	6.273
1200				50.633	11.947	13.224	6.783
1250				52.398	12.550	13.922	7.308
1300				54.125	15.155	14.624	7.845
1350					13.761	15.329	8.952
1400					14.368	16.045	9.519
1450					14.971	16.741	10.094
1500					13.576	17.445	10.674
1550					16.176	18.146	11.257
1600					16.771	18.842	11.842
1650					17.160	19.533	12.426
1700					17.942	20.215	13.008
1750					18.504	20.878	13.585
1800							

3.4. Termokopulların Paralel ve Seri Bağlanması

Termokopulların ölçme hassasiyetlerini arttırmak için Şekil-3.9'da gösterildiği gibi bu elemanlar ile elektriksel olarak seri veya paralel devreler yapılabilir. Termokopulların seri şekilde bağlanmasına termopil denilmektedir. Bu durumda sistemde n adet aynı tip termokopul kullanılmış ise sistemde oluşan toplam emk bir termokopulun n katı olur. (Şekil-3.9'a) Böylece sistemin hassasiyeti artırılabilir ve nispeten ucuz emk ölçen cihazlar ile hassas ölçmeler yapma imkanı doğar. Termopil bağlantısında uç noktalarının elektriksel olarak birbirinden ayrı olmasına dikkat etmek gerekir.



a) Seri bağlama (termopil)



b) Paralel bağlama

Şekil-3.9. Termokopulların Paralel ve seri bağlanması

Termokopulların paralel bağlanması ile belirli sayıda noktaların ortalama sıcaklığı belirlenebilir. Örnek olarak Şekil 19-b'de görüldüğü gibi dört noktadaki sıcaklıklar T_1 , T_2 , T_3 , ve T_4 ise bu noktada oluşan emk değerleri birbirinden farklı değerlerde olmasına rağmen paralel düzenleme ile bu dört noktadaki sıcaklığın ortalaması ölçülebilir.

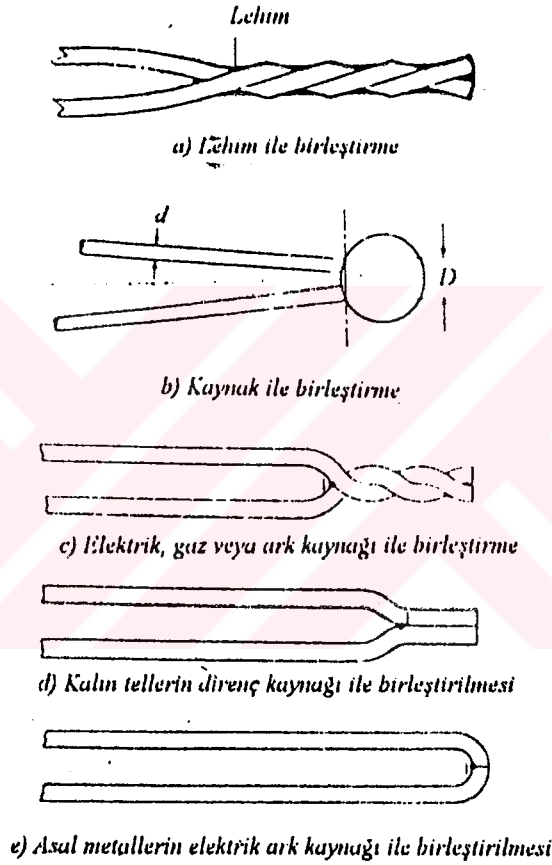
3.5. Termokopul Konstrüksiyonları

İki farklı maddeden yapılan termoeleman telleri birbirlerine değişik şekillerde birleştirilebilir. Pratikte kullanılan belli başlı yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

a. Teller bükülerek iyi temas edecek şekilde sıkılarak birleştirilir. Teller bu haliyle kullanılabilir gibi istenirse üçüncü bir metal kullanılarak kaynak, lehim veya cıva ile birbirlerine iyice temas ettirilir. (Şekil-3.10)

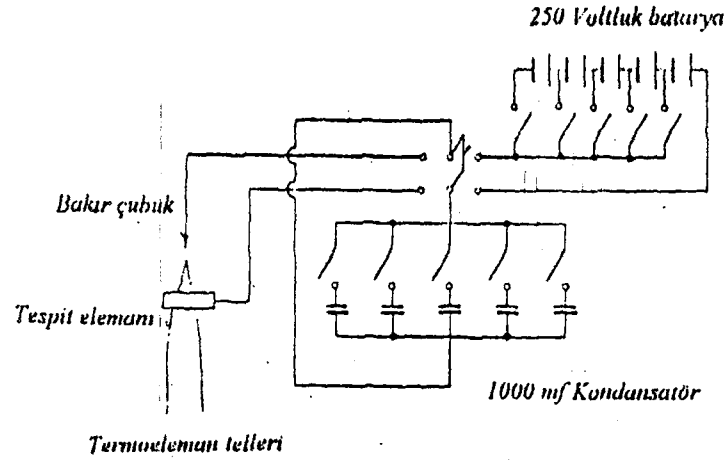
b. Şekil-3.10'da görüldüğü gibi, tellerin uçları yanyana getirilip kaynakla

damla şekline getirilerek küresel şekilde veya teller alın altına getirilerek birleştirme yapılabilir. Bu birleştirmede üçüncü bir metal kullanılmaz. Bu cins birleştirmeler oksijen alevi ile yapılabilirdiği gibi elektrik arkı ile de yapılabilir. Özellikle küçük çaplı termoelemanların elektrik arkı kaynağında kondansatör boşalmasından yararlanılabilir. Bu gaye için hazırlanmış



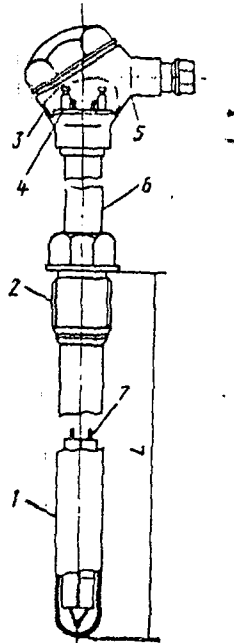
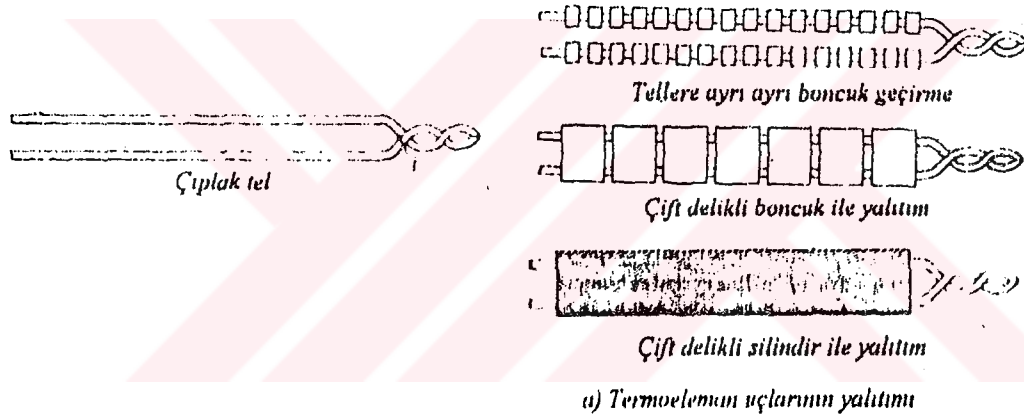
Şekil-3.10 Termkopul Konstrüksiyonları

bir kaynak cihazı elektrik devresi şeması şekil 3.11 de görülmektedir. Kondansatörler doldurulduktan sonra batarya devresinden ayrılır. Dolu kondansatörün bir kolu daha önceden bükülerek hazırlanmış termokopul tellerine diğer kolu ise bakır elektroda bağlanır. Bakır elektrod yavaşça termokopulun ucuna yaklaştırılarak kondansatörün bir elektrik arkı yaparak boşalması sağlanır. Pratik olarak 0,25 mm çapındaki bir termokopul teli için 135 voltluk bir gerilim ve 1000 m_f değerinde bir kondansatör grubu yeterlidir.



Şekil 3.11 Kondansatör boşalması ile kaynak yapma tekniğinin elektrik devresi

Düşük sıcaklıklarda teller çıplak olarak kullanılabilirken yüksek sıcaklıklarda bu teller seramik, aspest, porselen gibi malzemeler ile korunmalı ve birbirlerine temas etmesi önlenmelidir. (Şekil-3. 12)



- 1 Porselen veya metalden yapılmış kılıf
- 2 Sabit veya sökülebilir boru elemanı
- 3 Bağlantıların yapıldığı kafa
- 4 Bağlantı uçları
- 5 Uzatma kablosunun geçtiği kısım
- 6 Termoeleman kısmının uzatılabildiği boru
- 7 Termoeleman telleri

b) Kılıf içine yerleştirilmiş bir termoeleman

Şekil-3-12 Termokopul tellerinin yalıtım teknikleri

Termokopul devrelerinde kullanılan tellerin çapları ve uç noktasının büyüklüğü birçok durumda önem kazanır. Ömür açısından yüksek sıcaklıkların ölçülmesinde kalın tel kullanılması uygundur. Fakat tel çapının büyümesi, oluşturulan uç noktasının çapını ve termokopulun zaman sabitini arttıracığı için zamana bağlı hızlı ölçmeler için uygun değildir. Bu nedenle tel çapının tespitinde ömür ve zaman sabiti gözönünde tutulmalıdır. Damla şeklinde yapılan uç noktasının çapı yaklaşık olarak kullanılan tellerin çaplarının iki buçuk katıdır.



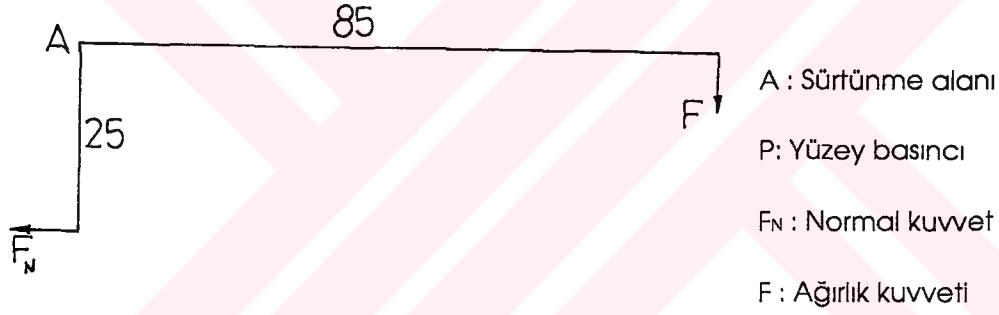
4. DENEY DÜZENEGİ

4.1. Deney Düzeneginin Özellikleri ve yapısı

İzafi kayma sonucu sürtünen iki yüzey arasında oluşan sıcaklığın ölçülebilmesi amacıyla bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Düzeneğin montaj resmi E.1'de görülmektedir.

Prencip olarak, numune belli bir basınçla disk yüzeyine bastırılmaktadır. Bu sırada disk belirli devir sayısında döndürülerek bir izafi kayma oluşturulmaktadır. Sürtünme sonucu ara yüzeyde oluşan sıcaklık termokopul yardımıyla ölçülmektedir. Hareketli yüzeyde yani disk yüzeyinde ölçüm yapabilmek bir fırça-bilezik sistemi gerektirmektedir.

Sistemde gerekli bastırma kuvveti mekanik yükleme ile sağlanmaktadır. Montaj resminden görüleceği üzere 15 numara ile gösterilen pimle, taşıyıcı ayağa mafsalı olarak yataklanmış olan yükleme kolunda, numune eksenine ile mafsal mesafesi ve asılan yük ile mafsal mesafesi bilindiği için denge denklemlerinden uygulanan kuvvet hesaplanabilmektedir. Asılan yük değerini değiştirerek baskı kuvvetini ayarlamak mümkündür. Buna göre basınç ile asılan yük arasındaki ilişki şu şekildedir;



$$F_N = P \cdot A$$

$$F = 25/85 F_N = 25/85 A \cdot P$$

$$F = 4,07 P$$

Uygulanmak istenen basınca karşılık gelen ağırlık kuvveti değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Yüzey basıncı değişimleri

Yüzey Basıncı P (N/mm ²)	0.5	0.8	1
Ağırlık Kuvveti F (gr)	208	332	415

Numune tutucu, yükleme koluna mafsalı olarak bağlanmıştır. Böylece serbestlik derecesi artırılarak numunenin sürekli olarak disk yüzeyinde paralel kalması ve bastırma kuvvetinin de dik gelmesi sağlanmaktadır. Numune ile numune tutucu arasında yalıtkan bir ara malzeme konularak numune izole edilmiş ve sıcaklığın ölçülebilmesi için gerekli termokopul kanalları açılmıştır.

Numune tutucunun bağlandığı kol, sürtünme kuvvetinin etkisiyle herhangi bir deformasyon göstermemesi amacıyla mümkün olduğunca rijit yapılmıştır. Sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısının tespiti bu çalışmanın amacının dışında tutulduğu için bu büyüklüklerin ölçülebileceği bir konstriksiyon düşünülmemiştir.

Deney diskisi çelik olup st 50 malzemeden imal edilmiştir. Disk bir flanş üzerinden sökülebilir bir birleştirme ile mile bağlanarak farklı özellikteki disklerin kullanılabilmesine olanak sağlanmaktadır. Flanş ile diskin temas yüzeyleri arasında yalıtkan malzemeler konularak disk izole edilmiştir. Sürtünme yüzeyi çapı 50 mm olarak alınmıştır. Sisteme ait tüm elemanların detay resimleri E.1'de montaj resmiyle birlikte verilmiştir.

Sistemde 30 W gücünde 2500 d/dk hızında bir DC motor kullanılmıştır. Motor hızı bir redüksiyon kademesi ile düşürülmektedir. Böylece hız 0... 130 d/dk arasında ayarlanabilmektedir E.2'de verilen elektronik devre şeması ile hız ayarını yapmak mümkündür. Şemadan da görüleceği üzere kullanılan bir potansiyometre yardımıyla motorun besleme potansiyeli değiştirilerek devir sayısı ayarlanmaktadır. Hangi besleme gerilimine karşılık hangi devir sayısının elde edildiği optik okuyuculu dijital bir takometre ile kontrol edilmiştir. Buna göre tablo 4.2'de besleme gerilimi ve karşılık gelen devir sayıları görülmektedir.

Tablo 4.2. Disk devir sayısı değişimi

Besleme Gerilimi (V)	21	24	28
Devir Sayısı (d/d)	59	105	121

Deneylere başlamadan önce düzenek başta çalıştırılarak sistemin çalışması kontrol edilmiştir.

4.2. Deney Şartları

Deneyler yaklaşık 20 °C ortam sıcaklığı ve % 60 nem oranındaki laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde numune olarak pirinç, alüminyum ve çelik kullanılmıştır. Termokopul devresi için yine üç değişik tipte tel seçilmiştir. Bunların özellikleri ve tipleri Tablo 4.3'de görülmektedir.

Tablo 4.3. Kullanılan Termokopul Özellikleri

	DIN 43710	Sıcaklık aralığı
Cu - Const	T	- 200 + 300 °C
Fe - Const	J	- 200 + 800 °C
NiCr - Ni	K	-200 + 1.200 °C

Deneyler her yüzey çifti için farklı kayma hızı ve basınç kademesinde yapılmış olup aynı işlemler her termokopul tipi için tekrarlanmıştır. Tablo 4.4.'de kayma hızı ve basınç değişim aralıkları görülmektedir.

Tablo 4.4 Kayma hızı ve Basınç değişim aralıkları

Yüzey Basıncı P (N/mm ²)	0.5	0.8	0.5	0.8	1	0.5	0.8	1
Kayma Hızı V (m/sn)	0.154	0.154	0.275	0.275	0.275	0.317	0.317	0.317

Deneylerde zaman periyotlarını ayarlamak için bir kronometre ve termokopul devresinde oluşan emk değerlerini mV olarak ölçebilmek için bir milivometre kullanılmıştır.

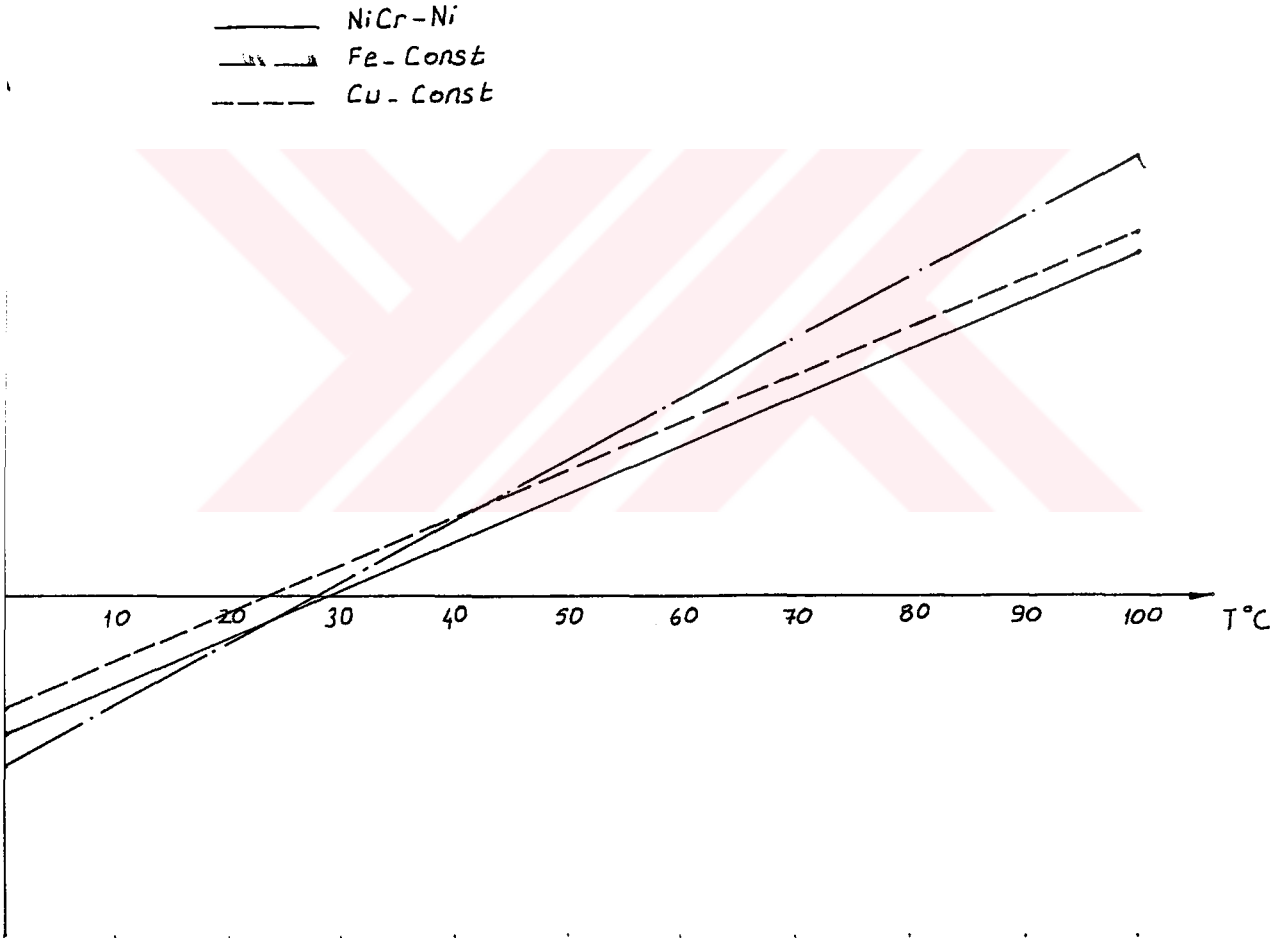
Deneye başlamadan önce her defasında disk yüzeyi zımparalanıp bir pamukla temizlenerek disk yüzeyinin teknik olarak kuru olmasına çalışılmıştır.

Her basınç ve hız kademesi için yarım saat süreyle gözlenen mV değerleri tablolar halinde kaydedilmiştir. Her deney şartı değişiminde ortalama 15 dk disk ve numune yüzeyinin soğuması beklenilmiştir.

4.3. Deney Sonuçları

Deneyler sırasında pirinç-çelik yüzey çifti karşılaştırma yapmak ve kalibrasyon eğrisi çıkarmak amacıyla referans noktası oda sıcaklığı alınarak yapılmıştır. Diğer alüminyum-çelik ve çelik-çelik yüzey çiftlerinde ise referans noktası 0 °C olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo halinde toplu olarak verilmektedir. Tablolarda bazı ara değerler atılarak kısaltmalar yapılmıştır.

Referans noktası oda sıcaklığı için kullanılan termokopul çiftlerine ait kalibrasyon eğrileri Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Referans Noktası Odası sıcaklığı için Kalibrasyon Eğrileri

Tablo 4.5. Pirinç-Çelik Yüzey Çifti İçin Deney Sonuçları
(Referans Noktası Oda Sıcaklığı)

Yüzey Çifti	Basınç [n/mm ²]	Kayma hızı (m/sn)	Kayma yolu (m)	Fe-const emk (mv)	Nier-Ni emk (mv),	Cu-const emk (mv)	Ortalama sıcaklık (°C)
Pirinç + Çelik	0.5	0.154	0.0	0.0	0.0	0.0	25
			9.24	0.1/0.2	0.2	0.1	29
			27.72	0.2/0.1	0.2	0.2	31
			55.44	0.2	0.2	0.2	31
			92.4	0.3	0.2	0.3	33
			277.2	0.4	0.3	0.4	34
Pirinç + Çelik	0.8	0.154	0.0	0.0	0.0	0.0	25
			9.24	0.2/0.3	0.1	0.3	31
			27.72	0.3	0.2	0.4	34
			55.44	0.3/0.4	0.2/0.3	0.4/0.5	35
			92.4	0.4	0.3	0.5	36
			277.2	0.5	0.3	0.5	37
Pirinç + Çelik	0.5	0.275	0.0	0.0	0.0	0.0	25
			16.5	0.3	0.2/0.3	0.3	33
			49.5	0.4	0.3	0.4	34
			99.0	0.5	0.3	0.4	35
			165.0	0.5	0.3	0.4/0.5	36
			495.0	0.6	0.4	0.5	36
Pirinç + Çelik	0.8	0.275	0.0	0.1	0.1	0.1	29
			16.5	0.5	0.2/0.3	0.5	36
			49.5	0.6	0.3/0.4	0.5/0.6	37
			99.0	0.6	0.4	0.6	39
			165.0	0.7	0.4/0.5	0.6/0.7	41
			495.0	0.7/0.8	0.5	0.7/0.8	41.5
Pirinç + Çelik	1	0.275	0.0	0.1	0.1/0.0	0.1	29
			16.5	0.5	0.4	0.4	36
			49.5	0.5/0.6	0.5	0.5	38
			99.0	0.6	0.5	0.5	39
			165.0	0.6/0.7	0.6	0.5/0.6	41
			495.0	0.7	0.6	0.6	42
Pirinç + Çelik	0.5	0.317	0.0	0.1	0.0	0.1	26
			19.02	0.5	0.2	0.6	37
			57.06	0.6	0.2/0.3	0.6	38
			114.12	0.6	0.3	0.7	39
			19.2	0.6	0.4/0.3	0.7	40
			570.6	0.7	0.4	0.7	40
Pirinç + Çelik	0.8	0.317	0.0	0.1	0.0	0.1	26
			19.02	0.6	0.3	0.6	38
			57.06	0.7	0.4	0.6	40
			114.12	0.8	0.5	0.7	42
			190.2	0.8/0.9	0.5	0.7	42
			570.6	0.9	0.6	0.8	44
Pirinç + Çelik	1	0.317	0.0	0.1	0.0	0.1	26
			19.02	0.7	0.1	0.6	37
			57.06	0.8	0.1/0.2	0.6/0.7	39
			114.12	0.9	0.3	0.7	41
			190.2	0.9	0.4/0.5	0.8/0.9	43
			570.6	1.0	0.7	1.0	47

Tablo 4.6 Alüminyum-Çelik Yüze Çifti için Deney Sonuçları
(Referans Noktası Sıcaklığı 0 °C)

Yüzey Çifti	Basınç [n/mm ²]	Kayma hızı (m/sn)	Kayma yolu (m)	Fe-const emk (mv)	Nier-Ni emk (mv),	Cu-const emk (mv)	Ortalama sıcaklık (°C)
AL. + Çelik	0.5	0.154	0.0	1.1	0.1	0.9	22
			9.24	1.3	0.3	1.1	26
			27.72	1.3	0.3/0.4	1.2/1.1	27.5
			55.44	13./1.4	0.3/0.4	1.2/1.1	28
			92.4	1.4	0.4	1.2	28.5
			277.2	1.5	0.4/0.5	1.3	30.5
AL. + Çelik	0.8	0.154	0.0	1.0	0.1	1.0	22.5
			9.24	1.3	0.4	1.1	26.5
			27.72	1.4	0.5	1.1/1.2	27
			55.44	1.4	0.5	1.3	29.5
			92.4	1.4	0.5	1.3/1.4	30
			277.2	1.5	0.6	1.4/1.5	32.5
AL. + Çelik	0.5	0.275	0.0	1.0	0.1	1.0	22.5
			9.24	1.3	0.2	1.2/1.3	28
			27.72	1.4	0.3/0.4	1.3	29.5
			55.44	1.4/1.5	0.4	1.3	30
			92.4	1.6/1.5	0.5	1.3	31.5
			277.2	1.6	0.5	1.4/1.5	33
AL. + Çelik	0.8	0.275	0.0	1.0	0.2	1.1	23
			9.24	1.3	0.4	1.2	27
			27.72	1.3/1.4	0.5	1.2/1.3	29
			55.44	1.4	0.6/0.5	1.3	29.5
			92.4	1.5	0.6/0.5	1.4	31.5
			277.2	1.8	0.6	1.5	35
AL. + Çelik	1	0.275	0.0	1.2	0.2	1.1	25
			9.24	1.6	0.5	1.2/1.3	31
			27.72	1.7/1.8	0.5/0.6	1.3	33
			55.44	1.8	0.6	1.4	33.5
			92.4	1.9/2.0	0.6/0.7	1.4	37
			277.2	2.1	0.7	1.5	38
AL. + Çelik	0.5	0.317	0.0	1.1	0.1	0.9	22
			9.24	1.4/1.5	0.3	1.2	29
			27.72	1.4/1.5	0.4	1.2/1.3	29.5
			55.44	1.6/1.7	0.4	1.3	32
			92.4	1.7	0.5	1.4	33
			277.2	1.8/1.9	0.5	1.6	38
AL. + Çelik	0.8	0.317	0.0	1.1	0.1	1.0	23
			9.24	1.7	0.3/0.4	1.3	33
			27.72	1.7	0.4	1.4	33.5
			55.44	1.7/1.8	0.4/0.5	1.5	35
			92.4	1.7/1.8	0.5	1.6	37
			277.2	2.0	0.7	1.8	41.5
AL. + Çelik	1	0.317	0.0	1.1	0.1	1.0	22
			9.24	1.4	0.5	1.5	31
			27.72	1.7	0.6/0.7	1.7	37.5
			55.44	1.9	0.7	1.7/1.8	40.5
			92.4	1.9/2.0	0.7/0.8	1.8/1.9	41
			277.2	2.2	1.0/1.1	1.9	45

Tablo 4.7 Çelik-Çelik Yüzey Çifti için Deney Sonuçları
(Referans Noktası Sıcaklığı 0 °C)

Yüzey Çifti	Basınç [n/mm ²]	Kayma hızı (m/sn)	Kayma yolu (m)	Fe-const emk (mv)	Nier-Ni emk (mv),	Cu-const emk (mv)	Ortalama sıcaklık (°C)
Çelik + Çelik	0.5	0.154	0.0	1.0	0.0	0.8	21.5
			9.24	1.3	0.2	1.0	25
			27.72	1.3	0.2	1.0	25
			55.44	1.3/1.4	0.2/0.3	1.0/1.1	26.5
			92.4	1.4	0.3	1.1	27.5
277.2	1.5	0.3/0.4	1.2	29.5			
Çelik + Çelik	0.8	0.154	0.0	1.1	0.1	0.8	22
			9.24	1.3	0.3/0.4	1.0/0.9	25
			27.72	1.3	0.4	1.0	25
			55.44	1.3	0.4	1.1	26
			92.4	1.3/1.4	0.4	1.2	28.5
277.2	1.5	0.4	1.3	31			
Çelik + Çelik	0.5	0.275	0.0	1.0	0.1	0.8	21.5
			9.24	1.1	0.3	1.0	23
			27.72	1.1/1.2	0.3/0.4	1.0/1.1	24
			55.44	1.2	0.4	1.0/1.1	24
			92.4	1.2/1.3	0.4	1.1	26
277.2	1.4	0.5	1.1	27			
Çelik + Çelik	0.8	0.275	0.0	1.0	0.1	0.9	22
			9.24	1.5	0.3/0.4	1.1	28
			27.72	1.5	0.4	1.1/1.2	28.5
			55.44	1.5/1.6	0.4/0.5	1.2	30.5
			92.4	1.6	0.5	1.2	30.5
277.2	1.7	0.6	1.3	33			
Çelik + Çelik	1	0.275	0.0	1.0	0.1	0.9	22
			9.24	1.5/1.6	0.5	1.2	30
			27.72	1.6	0.5	1.2/1.3	31.5
			55.44	1.6	0.5/0.6	1.3	31.5
			92.4	1.7	0.6	1.3	32.5
277.2	1.7	0.6	1.4	33.5			
Çelik + Çelik	0.5	0.317	0.0	1.2	0.0	0.9	23
			9.24	1.8	0.3	1.2	29.5
			27.72	1.5/1.6	0.3/0.4	1.2/1.3	30.5
			55.44	1.6	0.4	1.3	31.5
			92.4	1.6	0.4	1.3	31.5
277.2	1.7/1.8	0.5	1.4	35			
Çelik + Çelik	0.8	0.317	0.0	1.2	0.1	1.0	24
			9.24	1.6	0.4	1.3	31.5
			27.72	1.6/1.7	0.4/0.5	1.3	32.5
			55.44	1.7	0.5	1.4	34
			92.4	1.7	0.5	1.4	34
277.2	1.8	0.6	1.6	37			
Çelik + Çelik	1	0.317	0.0	1.2	0.1/0.2	1.1	24
			9.24	1.7	0.5	1.4/1.5	34
			27.72	1.7/1.8	0.5	1.5	35
			55.44	1.8	0.5/0.6	1.5/1.6	37
			92.4	1.8/1.9	0.6	1.6	38
277.2	1.9/2.0	0.7	1.7	40			

Tablo 4.8 Tüm Yüzey Çiftleri için Ortalama Sıcaklık Değerlerinin karşılaştırılması

Basınç [N/mm ²]	Kayma hızı [m/sn]	Kayma yolu [m]	Pirinç-Çelik	Alüminyum Çelik	Disk-Numune termoeleman
0.5	0.154	0.0	25	22	21.5
		9.24	29	26	25
		27.72	31	27.5	25
		55.44	31	28	26.5
		92.4	33	28.5	27.5
		277.2	34	30.5	29.5
0.8	0.154	0.0	25	22.5	22
		9.24	31	26.5	25
		27.72	34	27	25
		55.44	35	29.5	26
		92.4	36	30	28.5
		277.2	37	32.5	31
0.5	0.275	0.0	25	22.5	21.5
		9.24	33	28	23
		27.72	34	29.5	24
		55.44	35	30	24
		92.4	36	31.5	26
		277.2	36	33	27
0.8	0.275	0.0	29	23	22
		9.24	36	27	28
		27.72	37	29	28.5
		55.44	39	29.5	30.5
		92.4	41	31.5	30.5
		277.2	41.5	35	33
1	0.275	0.0	29	25	22
		9.24	36	31	30
		27.72	38	33	31.5
		55.44	39	33.5	31.5
		92.4	41	37	32.5
		277.2	42	38	33.5
0.5	0.317	0.0	26	22	23
		9.24	37	29	29.5
		27.72	38	29.5	30.5
		55.44	39	32	31.5
		92.4	40	33	31.5
		277.2	40	38	35
0.8	0.317	0.0	26	23	24
		9.24	28	33	31.5
		27.72	40	33.5	32.5
		55.44	42	35	34
		92.4	42	37	34
		277.2	44	41.5	37
1	0.317	0.0	26	22	24
		9.24	37	31	34
		27.72	39	37.5	35
		155.44	41	40.5	37
		92.4	43	41	38
		277.2	47	45	40

Tablo 4.9 Diskin Termoeleman ve Disk ile Numunenin Termoeleman Olarak Düşünülmesi Durumundaki Deney Sonuçları (Referans noktası oda sıcaklığı)

Yüzey çifti	Basınç [N/mm ²]	Kayma hızı [m/sn]	Kayma yolu [m]	Disk termoeleman	Disk-Numune termoeleman
AL. + Çelik	1	0.317	0.0	0.0	0.0
			19.02	0.5 / 0.6 / 0.7	0.1 / 0.2 / 0.3
			57.06	0.6 / 0.7 / 0.8	0.1 / 0.3 / 0.4
			114.12	0.7 / 0.8 / 0.9	0.2 / 0.3
			190.2	0.8 / 0.9 / 1.1	0.2 / 0.4
			285.3	0.9 / 1.0 / 1.1	0.4 / 0.5 / 0.6
			380.4	1.0 / 1.0	4 / 0.6 / 0.71
			475.5	1.0 / 1.1	0.3 / 0.5 / 0.8
570.6	1.0 / 1.1	0.5 / 0.7 / 0.9			
Pirinç + Çelik	1	0.317	0.0	0.1	0.0
			19.02	0.4	0.1 / 0.2
			57.06	0.5 / 0.6	0.1 / 0.2
			114.12	0.7 / 0.8	0.1 / 0.2
			190.2	0.7 / 0.8	0.1 / 0.2
			285.3	0.8	0.1 / 0.2
			380.4	0.8 / 0.9	0.1 / 0.2
			475.5	0.8 / 0.9 / 1.0	0.1 / 0.2
570.6	0.8 / 0.9	0.1 / 0.2			
Çelik + Çelik	1	0.317	0.0	0.0	0.0
			19.02	0.3 / 0.4 / 0.5	0.0 / 0.1
			57.06	0.5 / 0.6 / 0.7	0.0 / 0.1
			114.12	1.4 / 1.5	0.0 / 0.1
			190.2	1.5 / 1.6 / 1.7	0.0 / 0.1
			285.3	1.8 / 1.9	0.0 / 0.1
			380.4	1.8 / 1.9	0.0 / 0.1
			475.5	1.8 / 1.9	0.0 / 0.1
570.2	1.8 / 1.9 / 2.0	0.0 / 0.1			

Bu sonuçlar termokopul devresinin sabit yüzeyde yani numune yüzeyinde oluşturulması ile elde edilmişlerdir. Değerler incelendiğinde Fe-Const termokopul çiftinin daha duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sıcaklık artışı ilk 15 dk da olmakta bundan sonraki sürede sıcaklıkta düşük yükselişler olup aşınmanın devam ettiği görülmektedir. Özellikle çelik-çelik yüzey çiftinde aşınma çok fazla olmakta ve yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

Tablo-4.9'da verilen değerler diskin ve disk ile numunenin ayrı ayrı termoeleman olarak düşünülmesi ile elde edilmişlerdir. Burada sıcaklıktan çok bir değişimin algılanabilmesi amaçlandığı için deney şartları için maksimum değerler seçilmiştir.

Diskin termoeleman olarak düşünülmesinde disk Fe kabul edilip numuneye de const. tel yerleştirilerek Fe-const çifti oluşturulması amaçlanmıştır. Orta metal kanunu gereği disk yüzeyine bir Cu tel değdirilerek termokopul devresi tamamlanmıştır. Bu şekilde yapılan deneylerde tablodan da görüleceği gibi bir değişim elde edilebilmiştir. Ancak değerler sürekli değişken olup sabit bir değer yakalanamamıştır. Bunu, Cu tellin sistemdeki titreşimlerden, disk yüzeyine sürtünmesinden ve yüzey pürüzlülüğünün değişkenliğinden etkilendiği şeklinde düşünebiliriz. Bu yaklaşımla eğer gerekli kompanzasyonlar yapılabilir ve değişimin nedenleri daha detaylı incelenebilirse bir sıcaklık değişimi ölçülebilir.

Aynı şekilde disk ve numunenin birlikte bir termoeleman oluşturulması düşünülürken ortametal kanunu gereği devre Cu tellerle tamamlanmıştır. Çelik-çelik ve prinç-çelik yüzey çiftlerinin termoeleman oluşturmadığı ısınma olduğu halde bir değişim elde edilmemesinden anlaşılmıştır. Alüminyum-Çelik yüzey çifti bir termoeleman oluşturmuş ve değişimler vermiştir. Ancak burada da gerçek ısı değişimi alabilmek için kompanzasyon yapmak gereklidir.

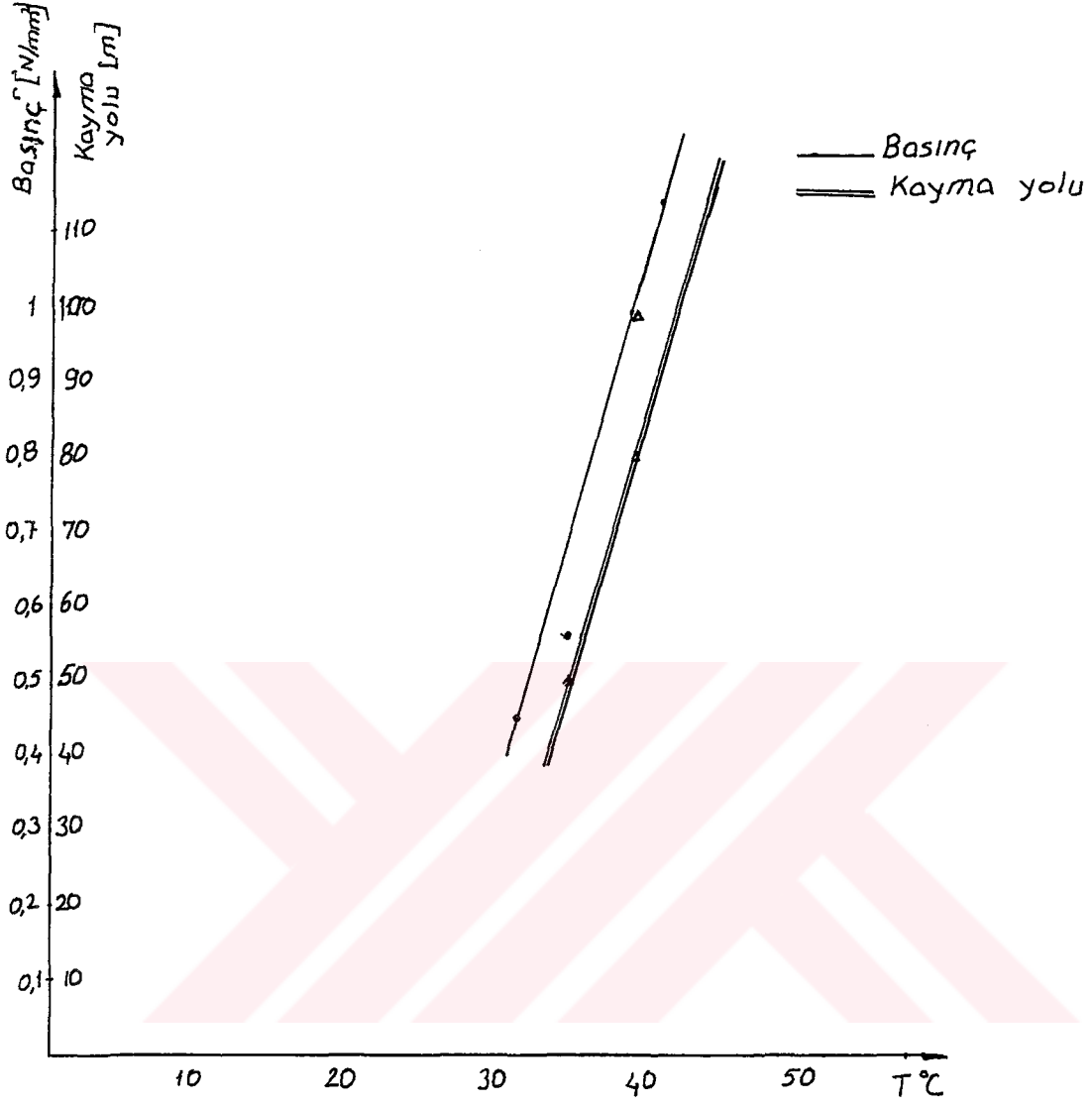
5.SONUÇ

Deneyler sırasında kullanılan termoeleman çiftlerine ait şekil-4.7`de verilen kalibrasyon eğrileri ile tablo 4.5,tablo 4.6 ve tablo 4.7`de verilen deney sonuçları incelendiğinde Fe-Cons. çiftinin daha duyarlı olduğu görülmüştür. Yapılan deneylerde düşük hız ve basınç değerlerinde kalındığı için Cu-Cons. çiftide Fe-Cons. çiftine yakın duyarlılık göstermiştir.Ancak NiCr-Ni çifti yüksek sıcaklık değişimleri için daha uygun bir termokopul olduğundan bizim ulaştığımız sıcaklıklarda daha düşük bir duyarlılık göstermiştir.

Bu termoeleman çiftlerinin dışında diskin bir termoeleman ve disk ile numunenin bir termoeleman olarak kullanılmasında düşünülmüştür.Elde edilen sonuçlardan bakır telin sistemdeki titreşimlerden ,kendi iç direnç değişimlerinden ve aşınma sonucu yüzey pürüzlülüğünde oluşan değişimlerden etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu şekilde yüzeyde oluşan ortalama sıcaklığı ölçebilmek için tam olarak ölçüm değerlerini etkileyen parametrelerin belirlenip gerekli kompanzasyon yapılmalıdır.

Sistemde değişken parametreler olarak kullanılan kayma yolu ve basınç değerlerine karşı sıcaklığın gösterdiği duyarlılık Şekil-5.1`de görülmektedir.Eğrilerin eğiminden de anlaşılacağı üzere kayma yolu ve yüzey basıncının sıcaklık üzerindeki etkisi birbirine yakın olmaktadır..

Belli kayma yolundan sonra sıcaklık değişiminde büyük bir artış olmamakta ancak aşınma devam etmektedir. Özellikle çelik-çelik malzeme çiftinde aşınmanın çok fazla olduğu görülmüştür. Aşınmaya bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki sürekli değişim nedeni ile sıcaklık değeri belli bir seviyenin üzerine çıkamamaktadır. Ayrıca çelik numune disk yüzeyi üzerinde derin aşınma izleri meydana getirmektedir. Bunu önlemek için disk yüzeyinin sertleştirme işlemine tabi tutulması son derece yararlı olacaktır.Deneylerde bir yazıcı kullanılarak sıcaklık değişimlerindeki ani sıçramalarıda izlemek mümkün olabilir.



Şekil-5.1. Sıcaklığın, kayma yolu ve basınç ile değişimi

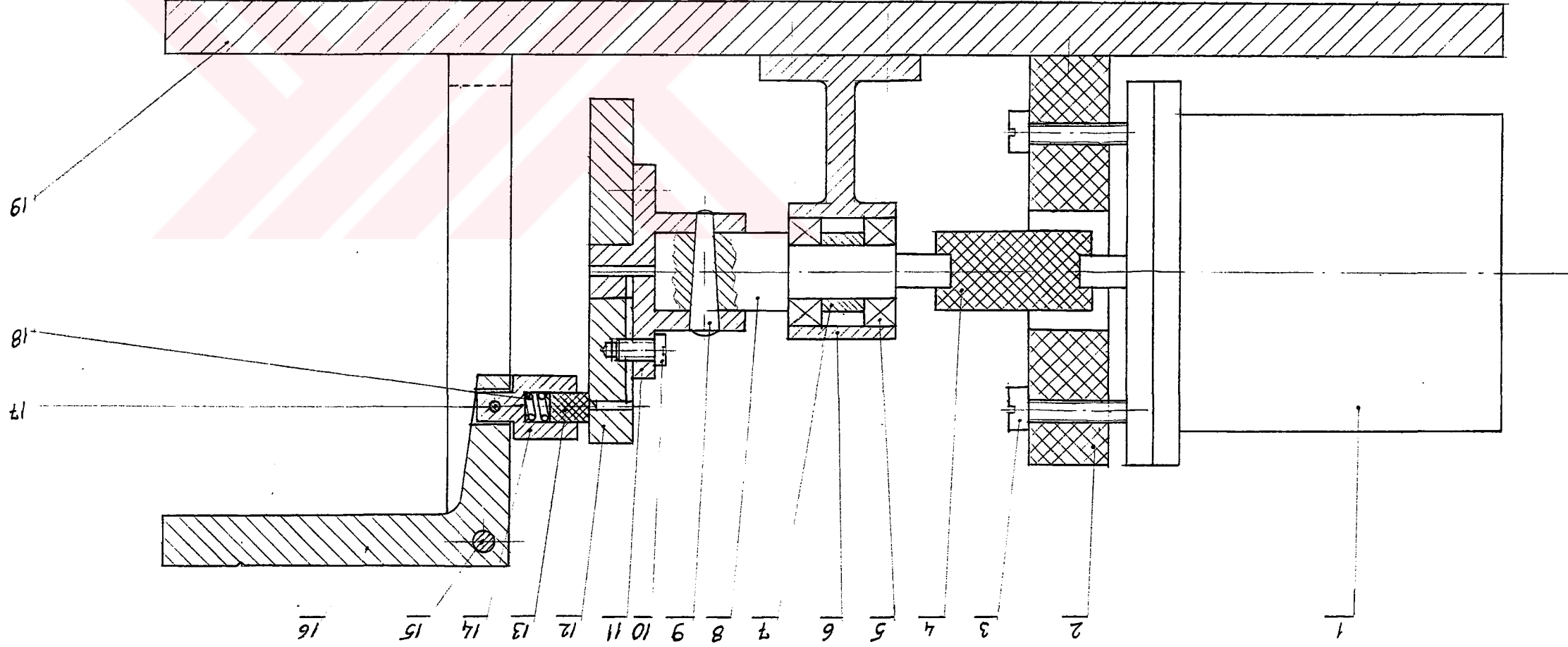
KAYNAKLAR

1. Benedict, R.P.. Fundamentals of Temperature, pressure and Flow Measurements, 3d ed, wiley, NewYork, 1984
2. Dinç, O.S.. Analysis of Thermoelectric Signals in Sliding Metallic Contacts, ASME Journall of tribology, 1990
3. Dinç, O.S.., The Measurement of Surface Temperature in dry or Lubricaated Sliding, ASME Journall of Tribology, 1992
4. Holman, J.P.., Experimental Methods for Engineers, McGraw-hil, 1984
5. McGee.T.D..,Principples and Methods of Temperature Measurement, Wiley-Interscience, NewYork, 1988.
6. Prof. Osman F. GENCELİ, Ölçme Tekniđi, İstanbul, 1995

EKLER

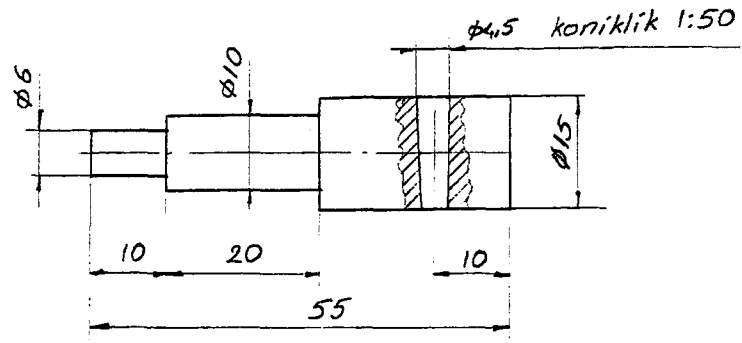


Sıra no	Parça adı	Sayı	Resim no	Malzeme	Acıklama
1	IBM Redüktrüv motor 24V	1			Hozir
2	Tasıyıcı Tokoz	1		Ahşap	
3	Torna vida başlı civata M4x25	4			Hozir
4	Elastik Kavrama	1		Plastik	Hozir
5	Bilyalı yatak	2			Hozir
6	yatak	1			Hozir
7	Burg	1		Sarı	Hozir
8	Mil	1	1.061	Sarı	Hozir
9	Konik pim $\phi 3 \times 22$	1			Hozir
10	Torna vida başlı civata M4x8	3			Hozir
11	Flanş	1	1.002		
12	Disk	1	1.003	5750	
13	Numune	1			
14	Numune tıtuucu	1	1.004	5737	Hozir
15	Silindirik pim $\phi 4 \times 25$	1			
16	Yükleme kalı	1	1.005	5737	
17	Silindirik pim $\phi 2 \times 10$	1			
18	Yay	1			
19	Tasıyıcı ayak	2	1.006	5737	
20	Tablo	1		Ahşap	

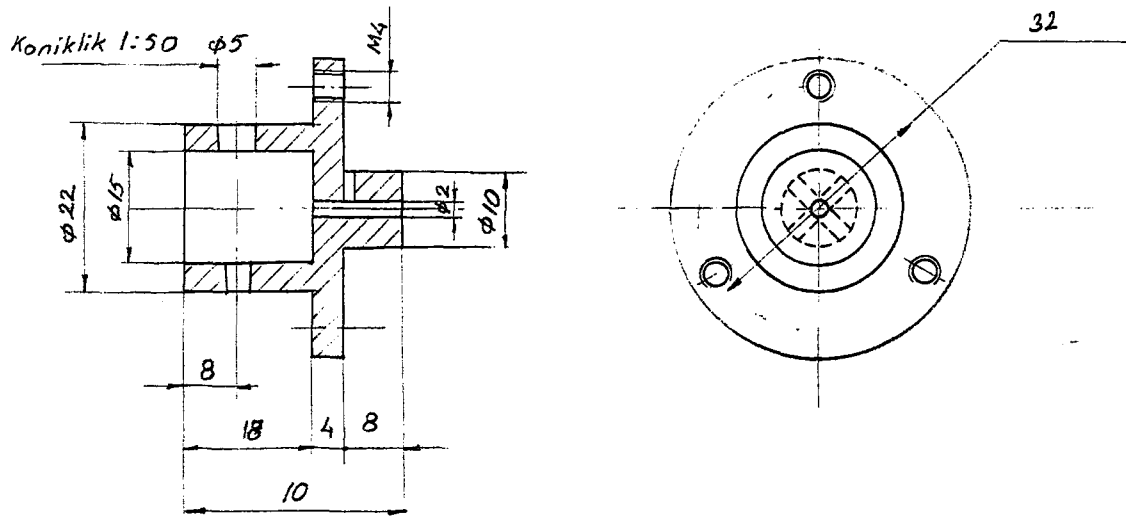


Dislek 1:1
 Kontrol
 Çizen
 Müh. Zeynep PARLAR
 Prof. Atilla BOZACI
 Ad-Soyad
 Tarih
 Y.T.Ü
 Makina Fakültesi
 Resim no
 0

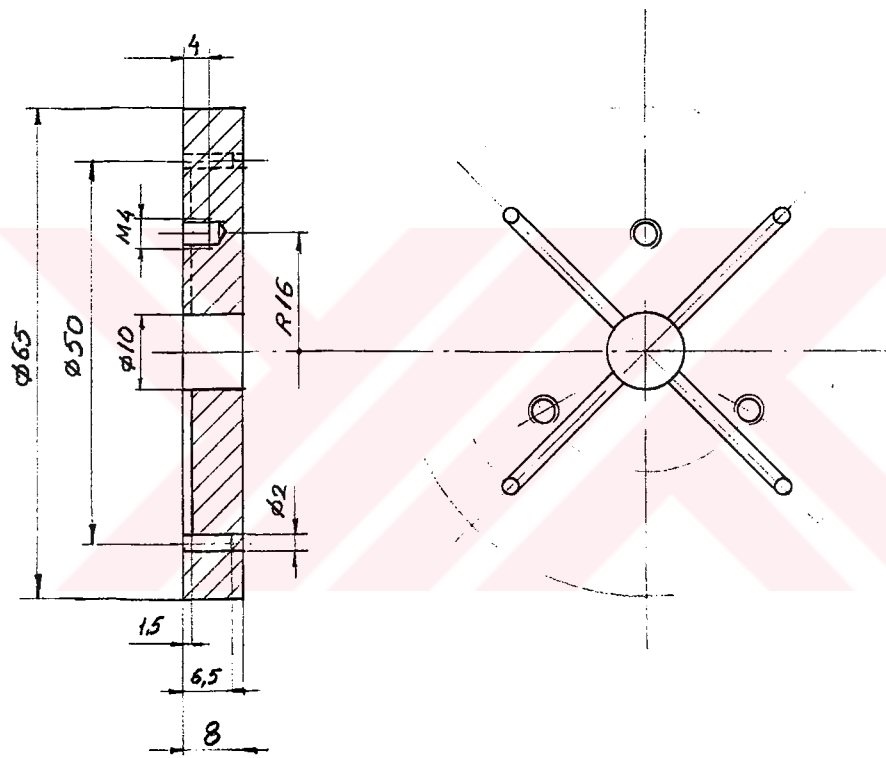
Sınıtım Deneği Duzenği



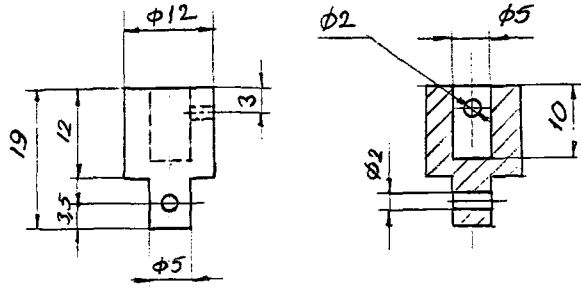
Sarı	1:1	1	MİL	1.001
Malzeme	ölçek	adet	Parça adı	Resim no



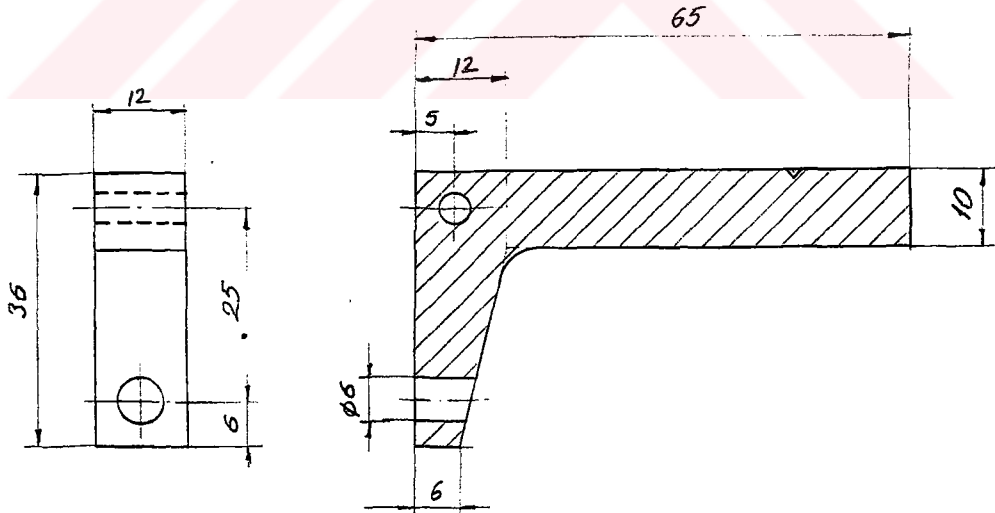
	1:1	1	Flanş	1.002
--	-----	---	-------	-------



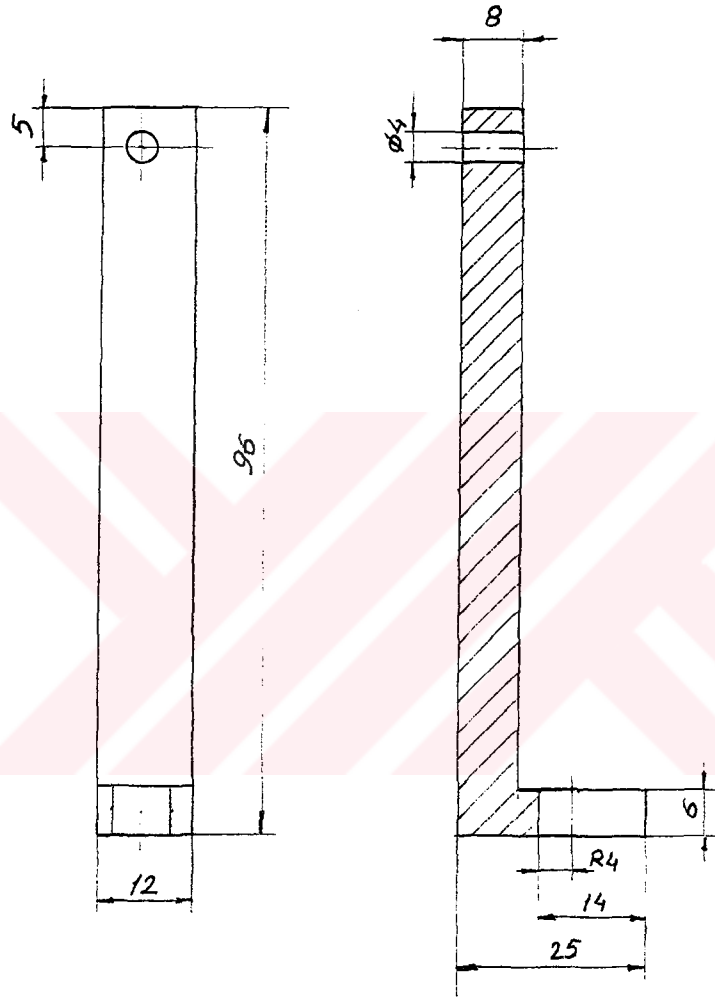
st50	1:1	1	Disk	1.003
------	-----	---	------	-------



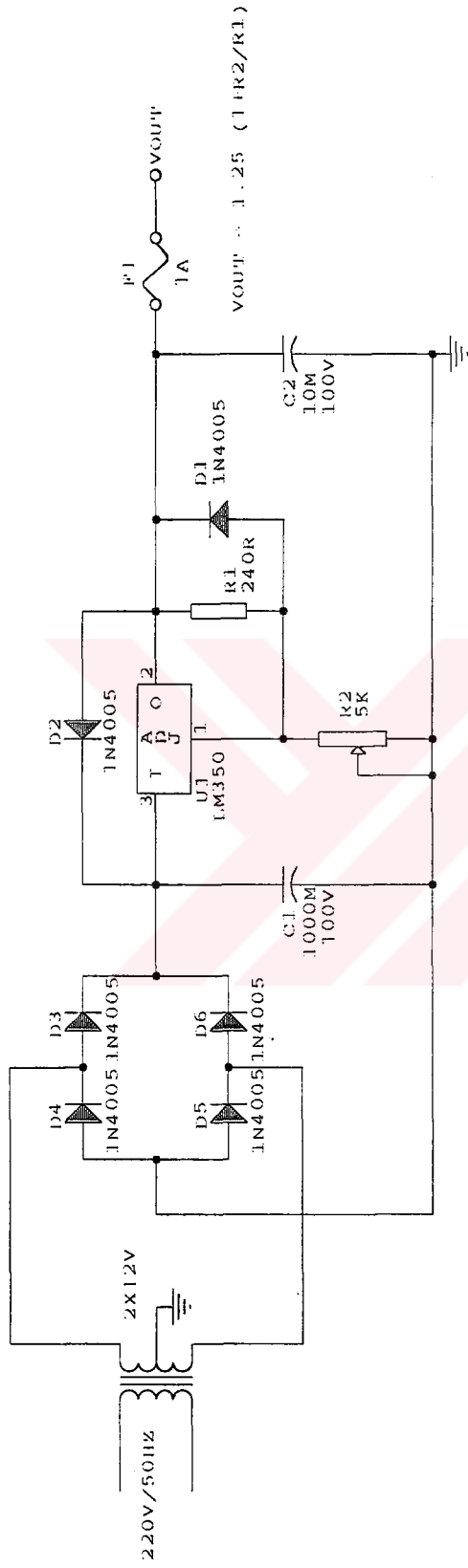
szt 37	1:1	1	Numune Tutucu	1.004
malzeme	ölçek	adet	Parça adı	Resim no



szt 37	1:1	1	Yükleme Kolu	1.005
--------	-----	---	--------------	-------



st 37	1:1	2	Taşıyıcı ayak	1.006
Malzeme	ölçek	adet	Parça adı	Resim no



Item Quantity Reference

Item	Quantity	Reference	Part
1	1	C1	1000µ 100V
2	1	C2	10µ 100V
3	6	D1, D2, D3, D4, D5, D6	1N4005
4	1	F1	1A
5	1	R1	240R
6	1	R2	5K
7	1	U1	TRANSFORMER
8	1	U1	LM350

TEKSEKÖĞRETİM KURUMU
DENEY ANLASHYON MERKEZİ

TITLE	
POWER CARD	
Size	Document Number
A	
Date:	June 5, 1995 Sheet 1 of 1

ŞEYNEP PAZILAR

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Zeynep PARLAR

Doğum yeri : Malatya

Doğum Tarihi :19-02-1969

Öğrenim Durumu

1993-...	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina-Konstrüksiyon Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başlangıç
1986-1990	İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi-Makina Bölümü
1983-1986	Zeytinburnu Endüstri Meslek Lisesi Makina Ressamlığı Bölümü (Okul birinciliği ile mezuniyet)
Yabancı Dil	İngilizce