ÇOK KANALLI TERMAL MİKROSKOP

TAMER AKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

1997

ÇOK KANALLI TERMAL MİKROSKOP

Tamer AKAN

Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Fizik Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. M. Celalettin BAYKUL

Ocak, 1997

Tamer AKAN ' ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı " Çok Kanallı Termal Mikroskop " başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

... /... / 1997

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Celalettin Baykul

Üye : DOÇ. DR. ERTUĞRUL YÖRÜKOĞULLARI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih KÖSE

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu ' nun 3. / 2 / 1997 gün ve 97-2/28 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. M. Selami KILIÇKAYA

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
SUMMARY ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii

1. MALZEMELER, ÖZELLİKLERİ VE ARAŞTIRMA TEKNİKLERİ 1
1.1. Giriş 1
1.2. Malzemeler 2
1.2.1. Metaller 2
1.2.2. Polimerler 2
1.2.3. Seramikler 3
1.2.4. Komposit Malzemeler 4
1.2.5. Elektronik Malzemeler 6
1.3. Malzemelerin Özellikleri 6
1.3.1. Giriş 6
1.3.2. Elektriksel Özellikler 6
1.3.3. Termik Özellikler 14
1.3.3.1. Giriş 14
1.3.3.2. Katıların Isı Sığaları 14
1.3.4. Optik Özellikler 19
1.3.5. Manyetik Özellikler 22
1.3.6. Mekanik Özellikler 24

2. ISI TRANSFERİ VE SICAKLIK ÖLÇÜMÜ 27
2.1. Isı Transferi 27

İÇİNDEKİLER (devam)

2.1.1. Giriş....27
2.1.2. Isı İletimi....27
2.1.3. Konveksiyon (Isı Taşınımı)....39
2.1.4. Isıl Işıma....42
2.2. Sıcaklık Ölçümü....46
2.2.1. Giriş....46
2.2.2. Termoçiftler....46
2.2.3. Termoçift İçindeki Fiziksel Olaylar....48
2.2.3.1. Seeback Etkisi....48
2.2.3.2. Peltier Etkisi....50
2.2.3.3. Thomson Etkisi....52
2.2.4. Termoçift Metaller Ve Özellikleri....54
2.2.4.1. Bakır - Konstantan Termoçifti....55
2.2.4.2. Demir - Konstantan Termoçifti....55
2.2.4.3. Kromel - Alumel Termoçifti....56
2.2.4.4. Platin - Platinrhodyum Termoçifti....56
2.2.4.5. Kromel - Konstantan Termoçifti....56

3. GÖRÜNTÜ İŞLEM....57
3.1. Giriş....57
3.2. Dijital Görüntü İşleme....57
3.3. Görüntü İyileştirme....60
3.3.1. Uzaysal Domain....60
3.3.2. Frekans Domain....61
3.4. Görüntü Düzeltme....62
3.4.1. Neigbourhood Averaging (Komşuluk Ortalama)....62
3.4.2. Median Filter(Medyan Filtre)....63
3.4.3. k Closest Averaging(En Yakın k Ortalama)....64
3.4.4. Low Pass Filter(Alçak Frekans Filtre)....64

İÇİNDEKİLER (devam)

3.4.5. High Pass Filter(Yüksek Frekans Filtre).....64
3.5. Görüntü Onarma.....65

4. AYGIT VE DENEY.....66
4.1. Aygıt.....66
4.1.1. Numune.....67
4.1.2. Prop Sistemi.....68
4.1.3. Ölçüm Aygıtı.....71
4.1.4. Bilgisayar.....71
4.2. Deney.....71
5. SOFTWARE (YAZILIM).....73
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....87
KAYNAKLAR DİZİNİ.....89
EKLER
Ek 1: GrlMenu.h Başlık Dosyası
Ek 2: Picture.h Başlık Dosyası
Ek 3: En Küçük Kareler Metodu İle Grafik Çizimi
Ek 4: Termoçift'lerin Kalibrasyon Eğrileri
Ek 5: Gözlem, Soğuk Noktası Sabit Olamayan Termoçiftin Kalibrasyon Eğrisi

ÖZET

Günümüzün ilerleyen teknolojisinde yapılan bilimsel araştırmaların verimliliğinin arttırılması için, her geçen gün yeni bir aygıt gelişmiş teknolojiye katılmaktadır. Her yeni yapılan aygıt, bir öncekine göre daha pratiktir. Bu çalışmada, malzemelerin termal özellikleri kullanılarak " Çok-Kanallı Termal Mikroskop " olarak adlandırdığımız yeni bir aygıt yapıldı. Bu aygıt, prob sistemi ve ± z yönünde hareket edebilen, yükseklik ayarlamasının yapılabildiği mekanik kontrol sistemi, ölçümlerin yapıldığı ölçüm cihazları ve bilgisayardan oluşmaktadır.

Prob sistemi, malzemelerin termal özelliklerinden sıcaklık paremetresini ölçmekte ve elde edilen bu veriler, bilgisayarda tarafımızdan hazırlanan bir programda işlenerek, malzemenin yüzeyinin sıcaklık topografyası elde edilmektedir. Ayrıca malzemenin bazı fiziksel özelliklerini hesaplıyabilmektedir.

SUMMARY

In order to develop the efficieny of scientific investigations, a new equipment is included to the advanced technology, every day. Each new equipment is more practical, when it is compared with the previous one. In that dissertation, a novel experimental set up, we call it as " Multi - Channel Thermal Microscope ", has been designed and built. That instrument was developed from the idea of thermal properties of the materials. Thermal Microscope consists of a probe system, a manipulator which provides the motion of the probe system in the $\pm z$, direction some instruments and a computer.

The probe system measures the surface temperature of the material and obtained data are processed in the computer by using the software program which was improved by us. Eventually, the temperature topoghrapy of the surface of the material is obtained. However, some physical properties of the sample are calculated by the software program.

TEŞEKKÜR

" Çok Kanallı Termal Mikroskop " isimli aygıtın yapımını içeren bu deneysel çalışma, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde, Yrd. Doç. Dr. M. Celalettin BAYKUL' un danışmanlığında yürütülmüştür.

Bu çalışmada, fikirlerini ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Celalettin BAYKUL' a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmalarım sırasında, malzemelerimin hazırlanmasında yardımcı olan Anadolu Meslek Lisesi çalışanlarına ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Murat AYTEKİN'e ve Arş. Gör. Tufan GÜRAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tamer AKAN

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
1.1. Taneli Kompositler	4
1.2. Lifli Kompositler	5
1.3. Tabakalı Kompositler	5
1.4. Enerji Bantlarının Oluşması	8
1.5.1. Atomların Enerji Düzeylerinin Atomlararası Uzaklığa Göre Değişimi	8
1.5.2. Çok Sayıda Atomun Enerji Bantlarını Oluşturması	9
1.6. İletken, Yalıtkan ve Yarı iletken Bant Yapıları	9
1.7. İletkenlerin Bant Yapılarına Örnek	10
1.8. Potasyum Klorur'ün Bant Yapısı	11
1.9. Silisyum'un Bant Yapısı	13
1.10. Bazı İletken, Yalıtkan Ve Yarı iletkenlerde, Isı Sığasının Sıcaklıkla Değişimi	15
1.11. Kristal Örgü İyonlarının Termik Titreşim Hareketleri	16
1.12. Elektronun Yörünge Hareketinden İleri Gelen Manyetik Moment Ve Açısal Momentum	22
1.13. Mekanik Davranışlar	25
2.1. Isı Akım Yönü	29
2.2. Düzlem Levha	30
2.3. Isı Akımı Yönü	31
2.4. Yüzey Elemanları	32
2.5. Bazı Gazların Isı İletim Katsayılarının Sıcaklıkla Değişimi	34
2.6. Bazı Sıvıların Isı İletim Katsayılarının Sıcaklıkla Değişimi	35
2.7. Bazı Yalıtkan Malzemelerin Isı İletim Katsayılarının Sıcaklıkla Değişimi	36
2.8. Bazı Metallerin Isı İletim Katsayılarının Sıcaklıkla Değişimi	37
2.9. Yüzeyde Sıcaklık Dağılımı	39
2.10. Isı Transferi Rejimleri	45
2.11. Termoelektrik Devre	46
2.12. Elektron Akımı	48
2.13. Bakır - Demir Termoçifti	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

2.14. Seeback E.M.K - Sıcaklık Değişimi....50
2.15. Bizmut - Antimon - Bizmut Çubuğu....50
2.16. Peltier Etkisi....51
2.17. Elektromotor Kuvvetin Yönü....52
2.18. Thomson Açıklaması....53
2.19. Seeback Elektromotor Kuvvetlerinin Gösterimi....54
3.1. Bir Noktanın Koordinat Ekseninde Gösterimi....58
3.2. Fiziksel Ve Uygulama Ekranları....60
3.3. Dönüşümün Şematik Gösterimi....61
3.4. Neigbourhood Averaging....62
3.5. Median Filter....63
4.1. Çok Kanallı Termal Mikroskop'un Şematik Gösterimi....66
4.2. Mekanik Kontrol Sistemi....66
4.3. Numune....67
4.4. Silindir Hazırlama Kalıbı....68
4.5. Termal Prop Sistemi....68
4.6. Termoçift Kalibrasyon Düzeneği....69
4.7. Al Termoçift'i Kalibrasyon Eğrisi....70
4.8. Termal Mikroskoptan Alınan Görüntü....72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

1.1. Elmas Kristali İle Bazı Yarıiletkenlerin Bant Genişlikleri Ve Özdirençleri.....13
1.2. Bazı Katıların Debye Sıcaklıkları.....18
1.3. Bazı Katıların Fermi Enerjileri.....19
1.4. Manyetik Özellikler.....23
2.1. Çeşitli Maddeler İçin Isı İletim Katsayılarının Mertebeleri.....38
2.2. Yüzey Isı Transferi Katsayıları.....41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
E	Elastisite modülü
$\sigma_ç$	Çekme gerilmesi
ε	Şekil değiştirme oranı
r	Atomlararası uzaklık
k_B	Boltzmann sabiti
ρ	Özdirenç
C_v	Isı sığası
C_{ve}	Elektronik ısı sığası
R	Genel gaz sabiti
N_A	Avogadro sayısı
E_k	Kinetik enerji
E_p	Potansiyel enerji
E_i	İç enerji
ΔE	Enerji aralığı
c_v	Isınma ısısı
T	Sıcaklık
λ	Dalga boyu
n	Kırılma indisi
c	Işığın vakumdaki hızı
v	Işığın boşluktaki hızı
σ_I	Eleketriksel iletkenlik
ε_r	Dielektrik sabiti
μ_l	Yörünge manyetik momenti
μ_B	Bohr magnetonu
μ_s	Spin manyetik momenti
s	Spin kuantum sayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ(devam)

Simgeler	Açıklama
σ_T	Thomson katsayısı
f_m	Fonon frekansı
M	Mıknatıslanma
χ_m	Manyetik süseptibilite
μ	Manyetik geçirgenlik
G	Kayma modülü
τ	Kayma gerilmesi
γ	Kayma şekil değiştirmesi
β	Sıcaklık katsayısı
Q	Isı akımı
A	Yüzey alanı
k	Isı iletim katsayısı
L	Levha kalınlığı
h	Taşınım katsayısı
XRD	X ışını difraktometresi
IR	Infrared spektrometresi
NMR	Nükleer manyetik rezonans
UV	Ultraviyole spektrometresi
SEM	Tarayıcı elektron mikroskobu
TEM	Transmisyon elektron mikroskobu
AES	Auger elektron spektroskopisi
STM	Taramalı tünelleme mikroskobu
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
LEED	Düşük enerjili elektron difraksiyonu
BEEM	Balistik elektron emisyonu mikroskobu

1. MALZEMELER, ÖZELLİKLERİ VE ARAŞTIRMA TEKNİKLERİ

1.1. Giriş:

Uygarlığın başlamasıyla birlikte, enerji ve malzemeler insanlar tarafından yaşam standartlarını arttırmak için kullanılmıştır. Çevremiz farklı amaçlar için üretilmiş malzemelerle doludur. Kullandığımız araçların verimliliğini arttırmak, daha ekonomik ve kaliteli malzemeler elde edebilmek için, malzemeler üzerinde araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Malzemelerin fiziksel özellikleri, teorik ve deneysel olarak incelenmiş, fiziksel özellikleri ile malzemelerin karakteristik özellikleri arasında ilişkiler kurulmuş ve bu şekilde malzemelerin yapılarını inceleyen bir çok aygıt icat edilmiştir. Bunlara örnek olarak, XRD, IR, NMR, UV, SEM, TEM, AES, STM, AFM, LEED, BEEM ve diğerleri bugün ileri teknoloji sonucu, malzemeleri inceleme teknikleri olarak karşımızda bulunmaktadır.

Dünyada, bu araştırma tekniklerine her geçen gün, yapılan araştırmalar sonucu bir yenisi daha eklenmekte, son yapılan aygıtın bir öncekine göre, daha ucuz, daha pratik ve daha kolay kullanılır olması, araştırma ve çalışmaların can alıcı noktası olmaktadır.

Bu tekniklerin ortaya çıkması, diğer dallardaki araştırma geliştirme çalışmalarından elde edilen sonuçlarla, yakından ilgilidir. Örneğin, STM' in bulunmasında, elektronik, bilgisayar ve diğer konulardaki gelişmelerin büyük katkısı bulunmaktadır.

Fizik dalında yapılan araştırmalar, diğer bilim dallarındaki araştırmaların gelişmesinde dinamo vazifesi görmüş, diğer dallardaki çalışmalar sonucu ortaya çıkan ürünler, fizikteki bir diğer gelişmeyi ortaya çıkarabilmek için kullanılmıştır. Bu şekilde, dünyadaki teknolojik gelişmeler birbiri ardısıra devam etmektedir.

1.2. Malzemeler :

Malzemeler; metal, polimer, ve seramik olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Modern mühendislik teknolojisi için çok büyük önemi olan komposit ve elektronik malzemeler de bunlara ilave edilebilir. Bu sebeple malzemeleri beş ana grupta toplayabiliriz. Bunlar; Metaller, Polimerler, Seramikler, Komposit malzemeler ve Elektronik malzemelerdir. Bu malzemeleri ana başlıklar altında inceleyelim.

1.2.1. Metaller :

Metalik malzemeler, bir veya daha fazla metal elementlerin bileşiminden ve bazı metal olmayan elementleri de ihtiva edebilen inorganik maddelerdir. Örnek olarak, demir, bakır, alüminyum, nikel ve titanyum gibi metaller bunlara örnek verilebilir. Karbon, azot ve oksijen gibi metal olmayan meddeler de metalik malzemeler içinde bulunabilmektedir.

Metaller atomlarının düzenli olarak dizildikleri bir kristal yapısına sahiptirler ve genel olarak, ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptirler.

Metaller ve alaşımları genel olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Bunlar sırasıyla; dökme demir ve çelik gibi " demirin büyük bir yüzdesini ihtiva eden malzemeler " diğeri ise " içinde demir ihtiva etmeyen veya çok az bir miktarda ihtiva eden malzemeler " dir. Bunlara alüminyum, bakır, çinko, titanyum ve nikel örnek olarak verilebilir.

1.2.2. Polimerler :

Plastikler olarak da adlandırılan polimerler, genellikle metal olmayan elemanlardan oluşan kovalent bağlı malzemelerdir. Ana eleman karbon (C) olup, bunun yanında çoğunlukla Hidrojen (H), bazılarında Klor (Cl), Flor (F), Oksijen (O), Azot (N) ve Kükürt (S) bulunabilir.

Polimerlerin ısıl ve elektriksel iletkenlikleri çok düşüktür. Bu sebeple endüstride yalıtım malzemesi olarak kullanılır. Dayanıklıkları ve elastisite modülleri düşüktür. Lineer polimerler yumuşak olup, kolay şekil değiştirirler.

Polivinil klorür (PVC), melamin, polipropilen, polietilenler ve polyester, polimer malzemelere örnek olarak verilebilir.

1.2.3. Seramikler :

Seramikler genellikle metal ve metal olmayan elementlerin iyonsal bileşiklerinden oluşan inorganik malzemelerdir. Bazı seramiklerde kısmen iyonsal, kısmen kovalent bağ bulunabilir. Değişik türden eleman içeren karmaşık bileşiklerin yapıları ve özellikleri de çok farklıdır. Bazıları amorf, bazıları da kristal yapılıdırlar.

Çoğunlukla çok sert ve gevrektirler, çok yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklıdırlar. Isıl ve elektriksel yönden yalıtkandırlar. Metallerden hafif (~%40), sürtünme katsayıları düşük ve oksitlenmeye karşı dirençleri yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle uçak ve uzay endüstrisinde son yıllarda büyük ölçüde kullanılmaktadır. Piezoelektrik ve süperiletkenlik özelliklere sahip olduklarından, elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır.

Seramikler , " Geleneksel Seramikler " ve " İleri Teknoloji Seramikleri " olmak üzere iki ana grupta incelenebilirler. Geleneksel seramikler; Kil, kaolen ve feldispat gibi minerallerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilirler. Bileşenlerinde değişik türde silikatlar, alüminatlar ve metal oksitleri bulunur. Cam, tuğla, kiremit, aşındırma tuzları, porselen refrakterler ve beton gibi malzemeler bu gruba girerler.

İleri teknoloji seramikleri; Bu tür seramikler genellikle, arı bileşikler olup, başlıca oksitler, karbürler ve nitrürlerden oluşurlar. Al_2O_3, TiO_3, SiC, WC ve Si_3N_4 örnek olarak verilebilir.

Genellikle toz halindeki arı malzemeler yüksek sıcaklıkta preslenerek şekillendirilirler. Bu işlemde parçacıklar birbirine kaynar, sürekli, boşluksuz bir kristal yapıya dönüşürler. Ergime sıcaklıkları ~2000 °C ' nin üzerinde olduğundan, yüksek

sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklılık gerektiren yerlerde kullanılır. Örneğin, Al_2O_3 (Alümina), kesici takım, yapay kemik, entegre devre gibi değişik amaçlar için kullanılır. ZrO_2 (Zirkonya), soğutma ve yağlama gerektirmeyen motor parçalarının üretilmesi için uygun bir malzemedir. Örneğin, yaklaşık 5mm kalınlığındaki B_4C (Boron Karbür) kurşun geçirmez. Dolayısıyla kurşun geçirmeyen gömlek yapılır.

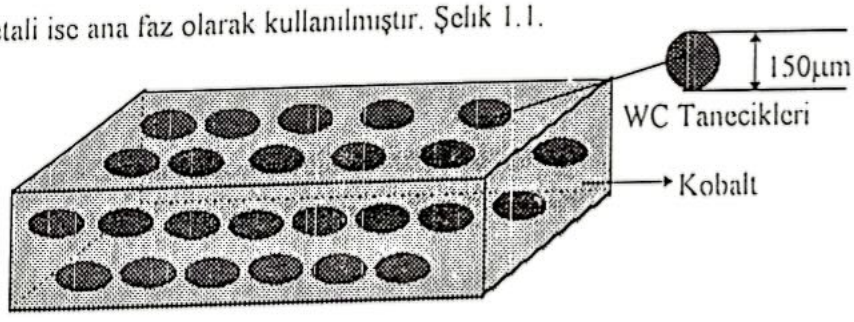
Seramiklerin uzay endüstrisindeki önemli bir uygulaması da uzay dolmuşunda kullanılan seramik tuğlalardır.

1.2.4. Komposit Malzemeler :

Komposit malzemeler, iki veya daha çok malzemenin kaynaşmasından oluşan malzemelerdir. Tüm komposit malzemeler, bir ana faz (matrix) ile buna uyumlu olan onun içinde dağılmış pekiştirici bir donatı fazından oluşurlar.

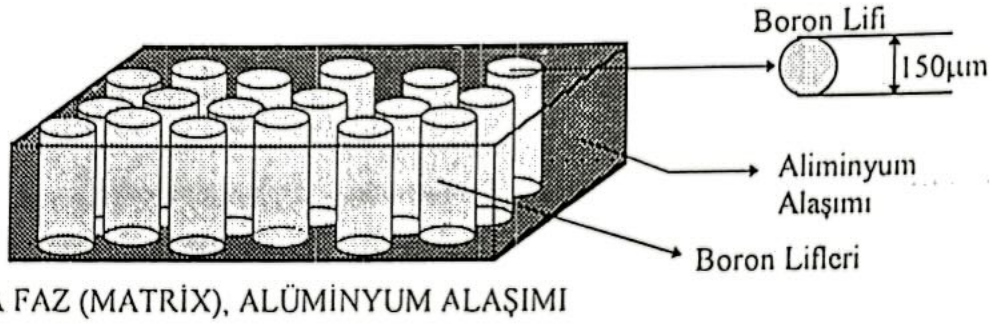
Komposit malzemeler, pekiştirici bileşeninin türüne ve düzenleme biçimine göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar, Taneli Kompositler, Lifli Kompositler ve Tabakalı Kompositlerdir.

Taneli kompositlere, WC (Tungsten Karbür)-Co (Kobalt) komposit malzemesi örnek olarak verilebilir. Burada WC (Tungsten Karbür) taneciklerı pekiştirici bileşen, Co (Kobalt) metali ise ana faz olarak kullanılmıştır. Şekil 1.1.



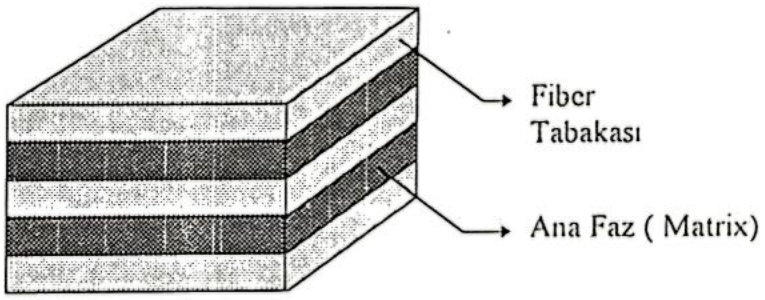
Şekil 1.1 : Taneli Kompositler

Lifli kompositlere ise B (Boron Lifleri) - Alüminyum alaşımı, komposit malzemesi örnek olarak verilebilir. Burada ana faz malzemesi Al (Alüminyum) alaşımı, B (Boron) lifleri pekiştirici malzeme olarak kullanılmıştır. Boron liflerinin çapı 150μm dir. Şekil 1.2.



Şekil 1.2 : Lifli Kompositler

Tabakalı kompositlerde ise pekiştirici bileşen malzeme ve ana faz (matrix) malzemeleri Şekil 1.3 'de görüldüğü gibi tabaka şeklinde oluşturulmuştur.



Şekil 1.3 : Tabakalı Kompositler

Elastisite modülü bir malzemede birim şekil değiştirme için uygulanacak gerilme olarak tanımlanır. Başka bir deyimle, malzemenin şekil değiştirmesine karşılık gösterdiği direnç şeklinde de ifade edilebilir. Buna göre Hook Yasası; $\sigma_ç = E\,\varepsilon$ ifadesi ile verilir.

Burada E; elastite modülü, $\sigma_ç$; çekme gerilmesi, ε ise şekil değiştirme oranıdır. Dolayısıyla elastite modülünün değeri, malzemenin mukavemeti hakkında bilgi verir. Örneğin; karbon liflerinin özgül elastite modülü, alüminyumdan beş kat daha fazladır. Bu üstünlüklerden dolayı polimer kompositler uçak ve uzay endüstrisinde alüminyum alaşımlarına tercih edilmektedir.

Genellikle liflerin ergime sıcaklığı matris elemanının sıcaklığından daha yüksektir. Uzun lifli kompositler yüksek sıcaklıkta matrisleri yumuşasa dahi yük taşımaya devam edebilirler.

1.2.5. Elektronik Malzemeler :

Elektronik malzemeler gelişmiş mühendislik teknolojisi için malzemelerin çok önemli bir çeşidini teşkil etmektedir. Bu malzemeler mikroelektronik devrelerin yapımında kullanılmaktadır. Mikroelektronik devreler, haberleşme uydularında, bilgisayarlarda, hesap makinelerinde ve elektronik eşyaların tümünde kullanım alanı bulmaktadır. Si (Silisyum) ve GaAs (Galyum Arsenik) elektronik malzemelere örnek olarak verilebilir. (K.Onaran, 1993)

1.3. Malzemelerin Özellikleri :

1.3.1. Giriş :

Malzemelerin özelliklerini Elektriksel, Mekanik, Isıl, Manyetik ve Optik olmak üzere beş grupta toplayabiliriz. Malzemelerin Isıl özellikleri bu çalışmanın ana konusu olmakla beraber, malzemelerin özelliklerini birbirinden tamamen ayrı olarak ifade etmek oldukça güçtür. Bu sebeple bu kısımda, malzemelerin bütün özelliklerine kısaca değineceğiz.

1.3.2. Elektriksel Özellikler :

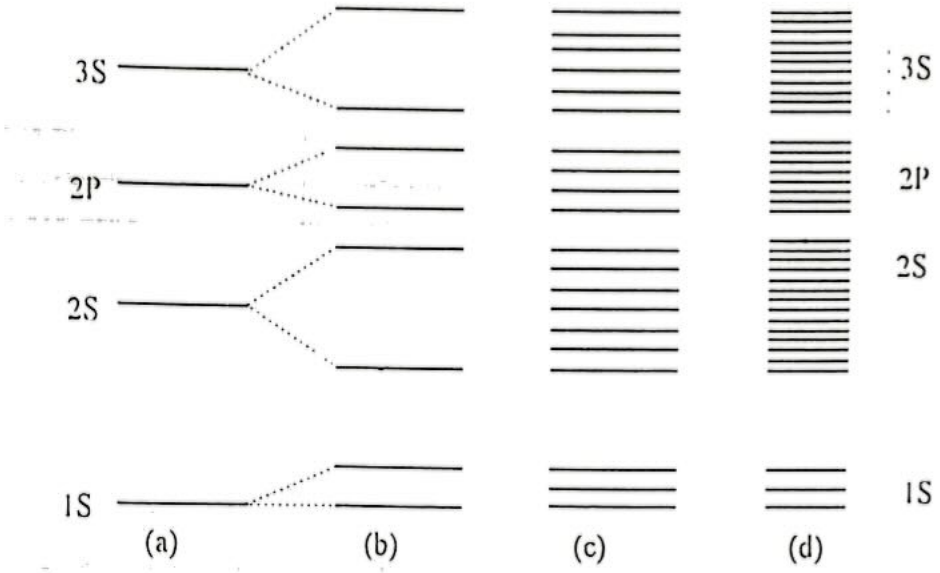
Katılar elektriksel özellikleri bakımından üç ana grupta toplanırlar. İletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletkenler.

Katı maddelerin elektriksel özellikleri, maddeden maddeye değişmekte, birbirlerinden çok farklı olabilmektedir. Örneğin, en iyi metalik iletkenin elektriksel iletkenliği, σ_i , en iyi metalik yalıtkanın elektriksel iletkenliğinden $\sim 10^{24}$ kez daha büyüktür. Elektriği az ileten veya hiç iletmeyen bazı katılar ise, içlerine çok az miktarda (milyonda bir oranda) yabancı atom katkılanması halinde, derhal iyi bir iletken durumuna dönüşebilirler. Böylesine farklı davranışlar, maddenin manyetik özellikleri içinde değişik örnekleri görülebileceği gibi, maddenin katı halini belirleyen unsurların nekadar çeşitli ve madde üzerinde ne kadar etkin olduklarını kanıtlar.

Katıların elektriksel özellikleri, Sommerfeld ve Bloch (1934)' ün ortaya koyduğu " Enerji Bantları Teorisi " ile açıklanabilir. Bu teoriyi ve getirdiği önemli bazı sonuçları anahatları ile inceleyelim.

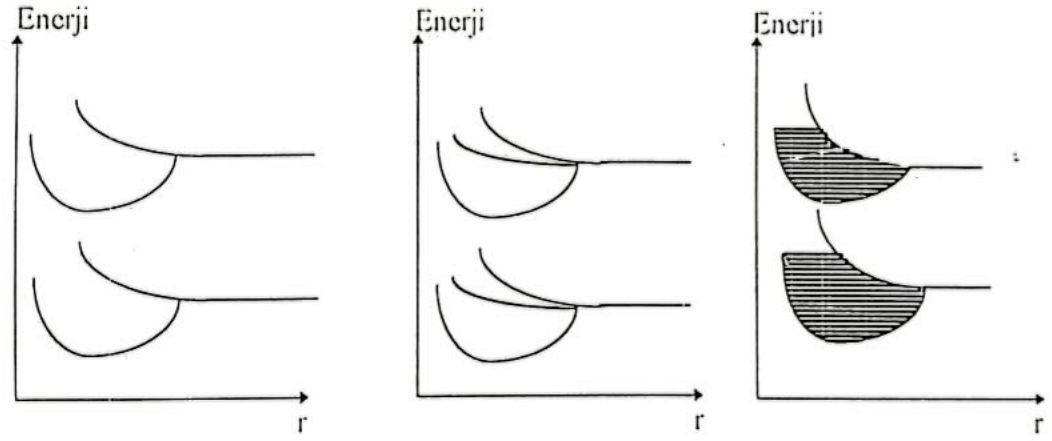
Madde, gaz durumunda iken, atomlar arasındaki uzaklıklar bağıl olarak oldukça büyük, buna karşılık atomlar arası karşılıklı etkileşmeler ise, yine bağıl olarak yok denilecek derecede zayıftır. Birbirinden bağımsız ve serbest bulunan her atom için, kuvantum koşullarına uygun olarak belirlenmiş belirli bir elektron düzeni ve elektronların barındıkları çeşitli enerji düzeyleri mevcuttur.

Katılarda ise durum oldukça farklıdır. Atomlararası uzaklığın azalması sonucu, karşılıklı bağ kuvvetlerinin etkinlik kazanması, maddeye özgü bir kristal yapı ve belirli bir simetrinin doğmasına yolaçmaktadır. Böylece, bir ortamdaki atomları birbirinden bağımsız (izole) biçimde düşünmek ve bunlara ait enerji düzeylerinden söz etmek, artık anlamsız olur. Bunun yerine, kristal örgü içindeki periyodik bir alanın etkisinde kalan elektronların; yine kuvantum koşulları ile belirli " enerji bantlarına " sahip olduklarını ve enerji değerlerine göre burada yerleştiklerini söylemek daha uygundur. Elektronların enerji bantları içindeki yerleri, Pauli ilkesinin uygunluğuna ilave olarak, elektronun sahip olduğu potansiyel enerji değerine göre de belirlenebilecektir. Kuvantum makaniği; her elektronun diğerlerinden farklı bir potansiyelde olduğunu ve farklı bir enerji düzeyine yerleştiğini kabul eder. Her enerji bantı, çok sayıda enerji düzeyini kapsamakta olup, düzeyler arasındaki uzaklıklar çok küçük, dolayısıyla bant içi yapısı bir anlamda sürekli kabul edilebilecek bir karakterdedir. Bir katı madde içindeki enerji bantı yapısının nasıl oluştuğu Şekil 1.4 ' te şematik olarak gösterilmiştir.

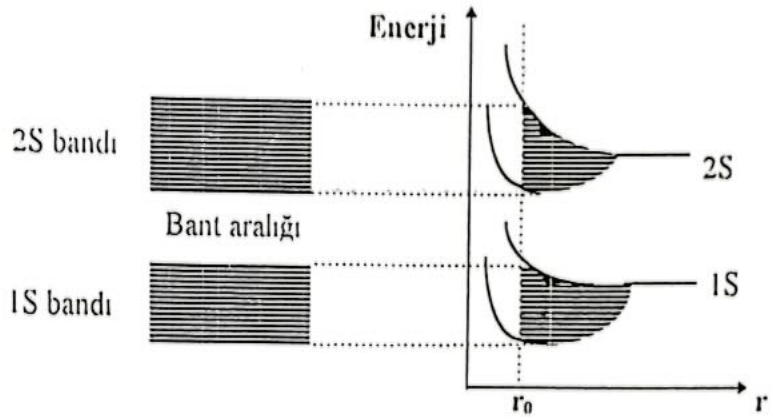


Şekil 1.4 : Enerji bantlarının oluşması. (a) Serbest atomlara ait enerji düzeyleri, (b) Atomların katı halde birbirlerine yaklaşıp, enerji düzeylerinin içiçe girmesi sonucunda ortaya çıkan enerji bantları.

Atomlararası uzaklığın değişmesine bağlı olarak bant yapısının oluşması Şekil 1.5.1 ve 1.5.2 ' de şematik olarak gösterilmiştir.

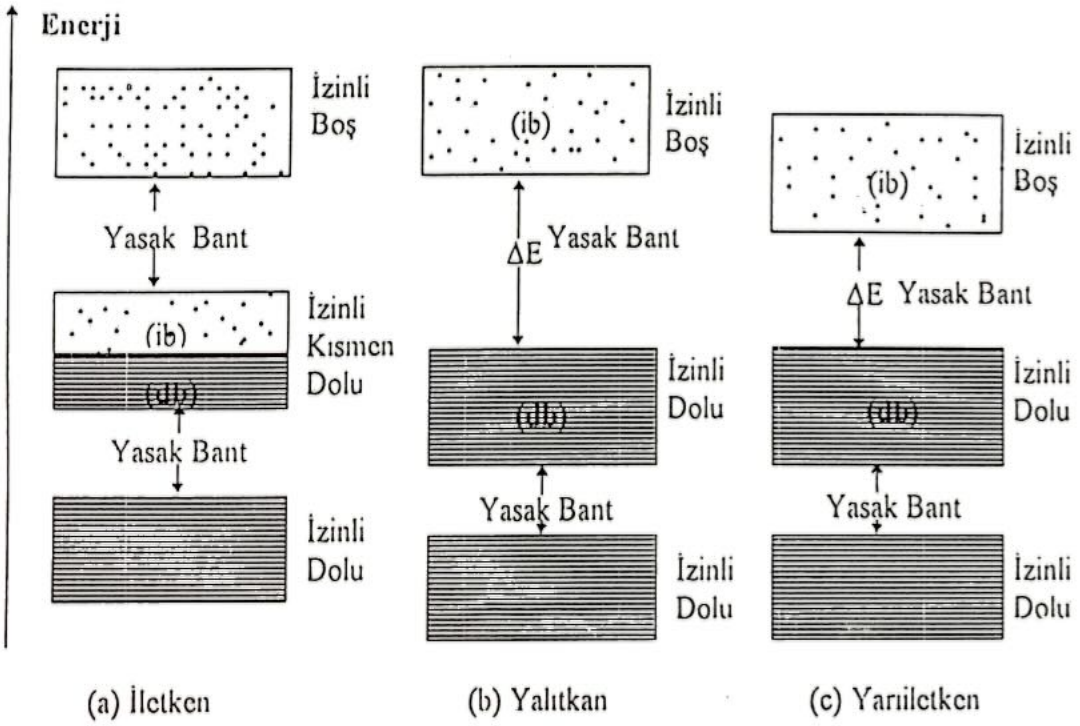


Şekil 1.5.1: Çok sayıda atom biraraya geldiğinde elektron enerji düzeylerinin atomlar arasındaki r uzaklığına göre değişimi. Atomlararası uzaklığın değişmesine bağlı olarak enerji düzeyleri aralarında gruplanıp enerji bantları oluşturur. (a) İki atomlu sistemde her enerji düzeyi ikiye ayrılır, (b) Üç atomlu sistemde her enerji düzeyi üçe ayrılır, (c) N sayıda atomlu sistemde enerji düzeyleri bant şeklinde genişler. Her bant içindeki N sayıda düzey, birbirine okadar yakındır ki sürekli dağılmış gibi düşünülür.



Şekil 1.5.2: Birbirinden uzakta N atom bir araya getirilerek oluşturulan katıda atomik enerji düzeyleri bantlar halinde genişler. Sol tarafta gösterilen katı enerji bantları sağdaki grafikte atomların r_0 denge konumundaki kesit alınarak elde edilir. (J.Taylor and C. Zafaritos,1996)

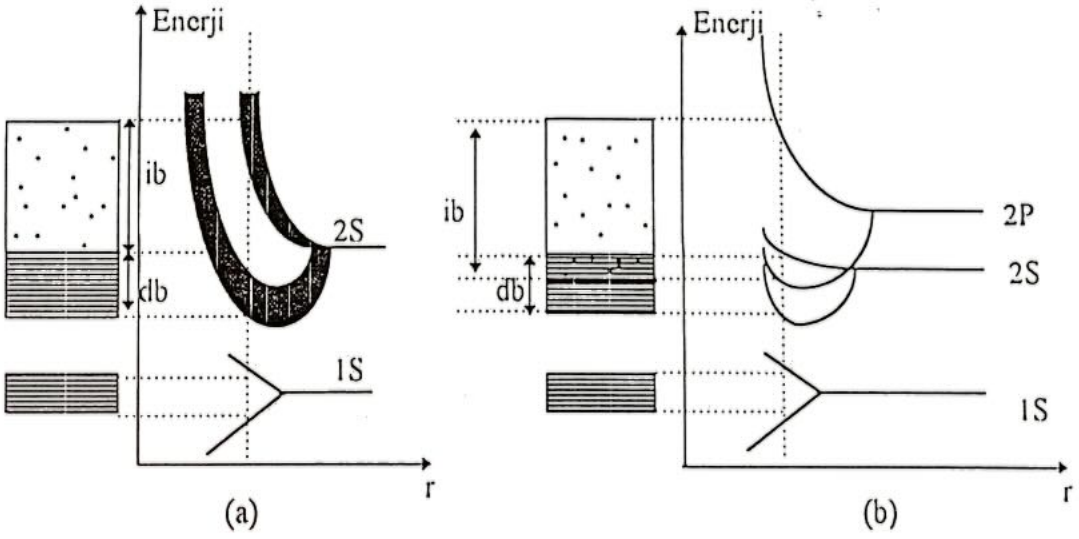
Katı bir cismin; iletken , yalıtkan veya yarıiletken niteliği taşımasına yolaçan fiziksel nedenler, o cisme ait enerji bantlarının yapısına bakılarak açıklanabilir. İletken, yalıtkan ve yarı iletkenlerin Şekil 1.6 ' da görülen genel bant yapılarına dayanarak aşağıdaki sonuçlara varmaktayız.



Şekil 1.6: İletken, Yalıtkan ve Yarıiletken bant yapıları. ib; iletkenlik bantı, db; değerlik bantını ifade etmektedir.

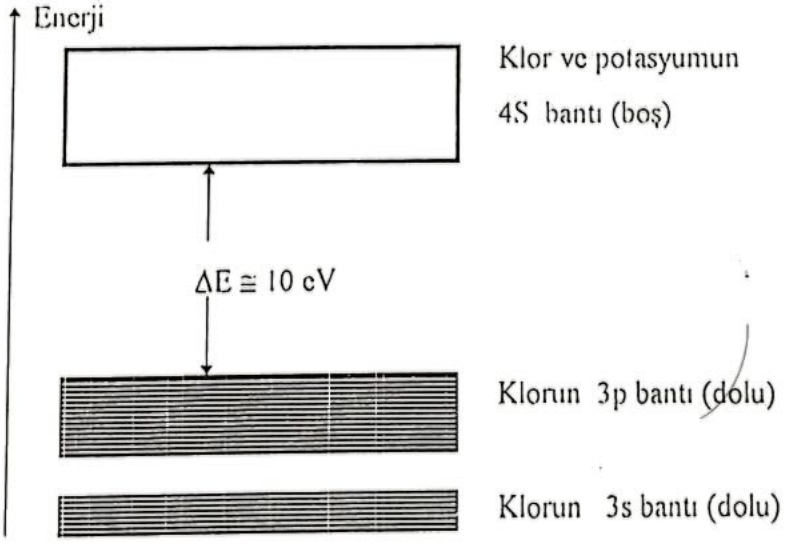
(i) İletkenlerde, elektronların bulundukları en üst enerji bantının kısmen dolu olması belirgin bir özellik taşır. Bu bantta, elektronlarla dolu olan kısma "değerlik bantı " (db), henüz boş olan kısma ise " iletkenlik bantı " (ib) denir. Madde üzerinde uygulanacak küçük bir elektrik alan, değerlik bantındaki elektronları iletkenlik bantına geçirmek için yeterli olmaktadır. Çünkü, bant içindeki enerji düzeyleri aralıkları $\sim 10^{-22}$ eV ve elektronları değerlik bantından iletkenlik bantına çıkarmak için dışarıdan verilmesi gereken enerji $\Delta E \cong 10^{-4} - 10^{-8}$ eV mertebesinde olup, aynı sıcaklıkta örgü atomlarının termik enerjilerinden daha küçük bir değerdedir ($\Delta E < k_B T$). Oda sıcaklığındaki termik enerji ortalama $k_B T \cong 0.025$ eV' tur. Periyodik cetvelin I. grubundaki lityum, sodyum, potasyum, rubidyum ve sezyum bu türden bant yapısına sahip iletkenlerdir.

Bazı katılar ; Şekil 1.6a ' da görülenden farklı olarak, Şekil 1.7 ' de örneği verilen türden bant yapısına sahip olabilirler. Değerlik ve iletkenlik bantlarının üst üste binmesi şeklinde karşımıza çıkan bu tür bir yapı, " hibrit bant " olarak adlandırılır. Periyodik cetvelin II. grubundaki berilyum, kadminyum, magnezyum, çinko .....gibi bazı katıların bant yapıları bu türden olup, bunlarda öncekiler gibi, iletkenlik özelliği taşıyan maddelerdir ve iletkenlik mekanizması yukarıda açıklandığı gibidir. İki ayrı tür iletkenlik arasında bir kıyaslama yapabilmek amacı ile, lityum ve berilyum kristallerine ait bant yapıları Şekil 1.7' de yanyana gösterilmektedir.



Şekil 1.7; İletkenlerin bant yapılarına ait örnek. (a) Lityumun, (b) Berilyumun enerji bantları. db: değerlik bantını, ib: iletkenlik bantını işaret etmektedir. Berilyumda, değerlik ve iletkenlik bantlarının üstüste binmesi ile hibrit bir yapı oluşmuştur.

(ii) Yalıtkanlarda (Şekil 1.6b), elektron barındıran en üst enerji bantı tamamen doludur. Değerlik bantı ile iletkenlik bantı arasındaki yasak bant genişliği oldukça büyük, $\Delta E \cong 7\text{-}12$ eV mertebesindedir. Örneğin, bir elmas kristalinde bir elektrona, bir kinetik enerji kazandırabilmek için en az 6 eV enerji sağlanmalı. Bir kristal içinde hareket eden bir elektron ortalama $\sim 10^{-8}$ metrede kristal örgüsü içinde çarpışmaya uğrar ve çarpışmada elektrik alandan kazandığı enerjinin çoğunu kaybeder. Bir elektronun 10^{-8} metrede 6 eV enerji kazanması 6×10^{8} V/m' lik bir elektrik alan gereklidir. (Çetin vd ,1989). $\Delta E >> k_B T$ olması nedeniyle, değerlik bantındaki elektronların iletkenlik bantına geçmeleri çok kolay mümkün olmadığından, bu tür bant yapısına sahip kristaller, elektriksel bakımdan yalıtkan (dielektrik) özellik taşırlar. İyonik bağlara sahip NaCl, KCl, Al_2O_3 gibi maddeler, katı hidrojen gibi metalik katılar ve elmas kristali, iyi birer yalıtkandırlar. Bu özellik, örneğin potasyum klorür (KCl)'ün Şekil 1.8' de verilen bant yapısı incelendiğinde açıkça görülebilir.



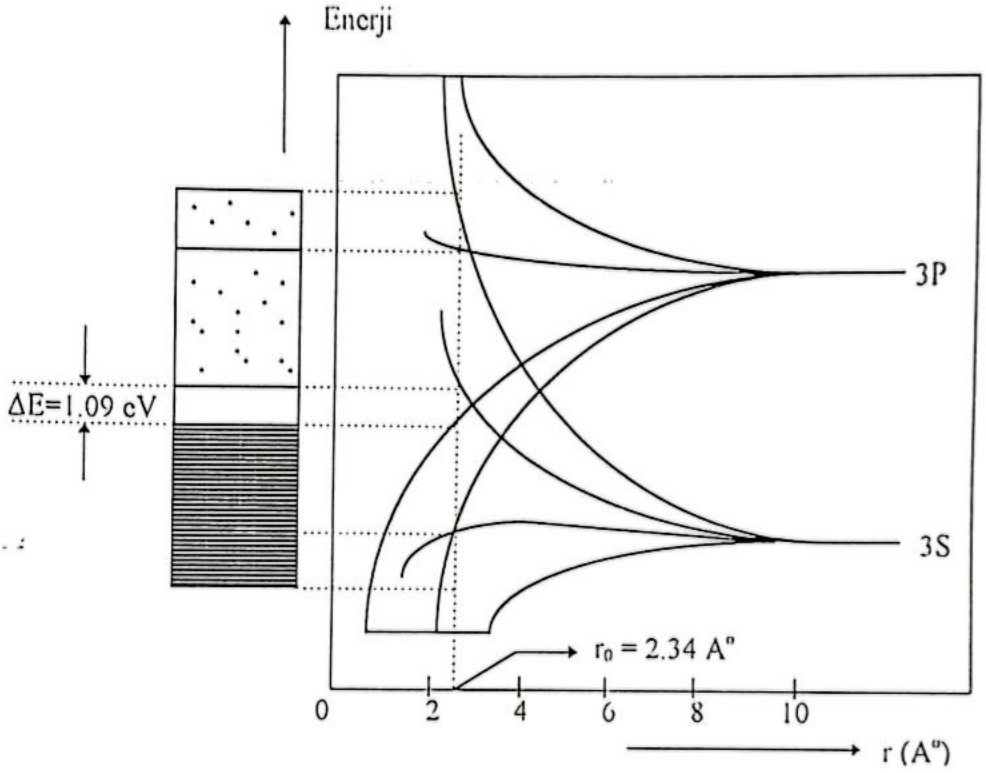
Şekil 1.8; İyi bir elektriksel yalıtkan olan potasyum klorürün enerji bantının yapısı. Değerlik ve iletkenlik bantları arasındaki yasak bant genişliği çok büyüktür.

(iii) Yarıiletkenlerin bant yapıları, esas olarak yalıtkanlara benzemesine rağmen, aralarında önemli bir fark vardır. Tamamen elektronlarla dolu bulunan değerlik bantı (valans bantı) ile boş durumdaki iletkenlik bantı arasında kalan yasak bantın genişliği, oda sıcaklığındaki elektronların ortalama termik enerjileri ile kıyaslanabilir ($\Delta E \sim k_B T$) bir düzeyde, ortalama $\Delta E \cong 1$ eV değerindedir. Örneğin; germanyum için $\Delta E = 0.72$ eV, silisyum için $\Delta E = 1.09$ eV, indiyum antimonit için $\Delta E = 0.17$ eV, galyum arsenit için ise $\Delta E = 1.43$ eV 'tur. Bu tür maddeler, üzerlerine yeter büyüklükte bir elektrik alan uygulanması, sıcaklığın yükselmesi, üzerine ışık düşürülmesi.....gibi durumlarda, valans bantındaki elektronların dışarıdan aldıkları enerjiyle, iletkenlik bandına geçmeleri sonucu iletkenlik özelliği kazanırlar. (Şekil 1.6c) Tipik bir yarıiletken olan silisyumun bant yapısında atomlar arası uzaklığa bağlı olarak meydana gelen değişim Şekil 1.9 ' da gösterilmektedir.

Örneğin, bir intrinsic (has) yarı iletkende valans bantından iletim bantına bir elektronu çıkarabilmek için ~ 1 eV civarında bir potansiyel farkı uygulanmalıdır. Ayrıca elektronu, valans bantının en üst düzeyinden sıcaklığı arttırarak iletim bantına çıkarabilmek için, $\Delta E \sim 1.6 \times 10^{-12}$ erg = 1eV = $k_B T$ olmak üzere $T \sim 1.6 \times 10^{-12}$ erg / 1.381×10^{-16} erg $^{\circ}K^{-1} = 1.158 \times 10^{4}$ $^{\circ}$ K $\cong$ 10000 $^{\circ}$ K civarında sıcaklık uygulanmalıdır.

Görünür ışık bölgesinin dalga boyları 4000 - 7000 Å' dur. $E = hc / \lambda$ 'dan, görünür ışığın enerjisi hesaplandığında, $E = 6.626 \times 10^{-27}$ 3.10^{10} / 5000×10^{-8} ~ 2 eV mertebesinde olduğu görülmektedir. Yarıiletkenlerde valans bantındaki elektron üzerine gelen fotonlar, elektronu iletim bantına uyaracak enerjiye sahiptirler, böylece yarıiletkenler, güneş pili olarak kullanılabilirler.

Bazı yarıiletkenlerle yalıtkan özellik gösteren elmasın oda sıcaklığındaki yasak enerji aralıkları, ΔE, Tablo 1.1' de verilmiştir. ΔE ' nin artması ile birlikte ρ' nun arttığı (σ_i , elektriksel iletkenlik katsayısının ise azalma gösterdiği) buradan açıkça görülebilir.



Şekil 1.9; Tipik bir yarıiletken olan silisyumun enerji bantı yapısının atomlararası uzaklığa, r, bağlı olarak gösterdiği değişiklik. Germanyumun da yapısı aynı olup, bu kristal için $r_0 = 2.34$ Å, $\Delta E = 0.72$ eV ' tur.

Madde		ΔE (eV)	ρ (ohm.cm)
Elmas	(yalıtkan)	5.2	10^{12}
Silisyum	(yarıiletken)	1.09	3.10^{5}
Germanyum	(yarıiletken)	0.72	$0.47.10^{2}$
Gri kalay	(yarıiletken)	0.08	2.10^{-4}

Tablo 1.1: İyi bir yalıtkan özellik taşıyan elmas kristali ile bazı tipik yarıiletkenlerin oda sıcaklığındaki yasak bant genişlikleri ve özdirençleri.

1.3.3. Termik Özellikler :

1.3.3.1. Giriş :

Katı maddelerde; elektriksel ve termik özellikler birlikte ele alınır. Elektriği iyi ileten maddeler aynı zamanda iyi bir ısı iletkenidir. Kristallerde, kristal örgüyü oluşturan atomların " fonon " adı verilen termik titreşim hareketleri ile maddenin elektriksel iletkenliği arasında yakın bir ilişkinin mevcut olduğunun görülmesi; elektriksel özellikleri açıklamak amacı ile kullandığımız temel fiziksel kavramların (örneğin; hız, enerji ve momentumun kuvantlaşmış bulunduğuna ilişkin yaptığımız kabuller, Fermi-Dirac dağılım ilkesi, Fermi enerjisi,... gibi kavramların) nasıl termik özellikler üzerine yansıdıklarını incelememizi gerektirir.

1.3.3.2. Katıların Isı Sığaları :

Tek atomlu ideal bir gaz molekülü için; ortalama kinetik enerji $E_k = 3/2\ k_B T$, sabit hacim altındaki ısı sığası $C_v = dE_k / dT = 3/2R$ şeklinde tanımlanır. Burada R, genel gaz sabiti, k_B Bolztmann sabiti ve N_A Avogadra sayısını göstermek üzere $R = k_B N_A$' dır. İki veya daha çok sayıda atomdan oluşan bir gaz molekülünde ise, moleküllerin ısı sığasını hesaplarken , dönme ve titreşim serbestlik derecelerinin C_v üzerindeki katkılarını hesaplamamız gerekmektedir. Buna karşılık, çok yüksek sıcaklıklar söz konusu olmadığı sürece, elektronların C_v üzerindeki katkıları, elektronik enerji düzeylerinin aralıkları çok büyük ($\Delta E >> k_B T$) olduğu için ihmal edilebilir bir değerde kalmaktadır.

Katılara gelince durum bir çok açıdan farklıdır: Maddeye ait atomlar bağımsız olmayıp, kristal örgü içindeki ortalama konumları sabit kalmakta, buna karşılık denge konumları etrafındaki sürekli titreşim hareketleri sonucunda kazandıkları kinetik ve potansiyel enerjiler periyodik olarak birbirine dönüşmektedir: $E_k = E_p = 3/2\ k_B T$. Titreşim hareketinin ortalama enerjisi $E = E_k + E_p = 3k_B T$' dir. Bir mol gram katı madde için, iç enerji $E_i = N_A E = N_A\ 3k_B T = 3RT$, buna karşılık gelen ısı sığası ise;

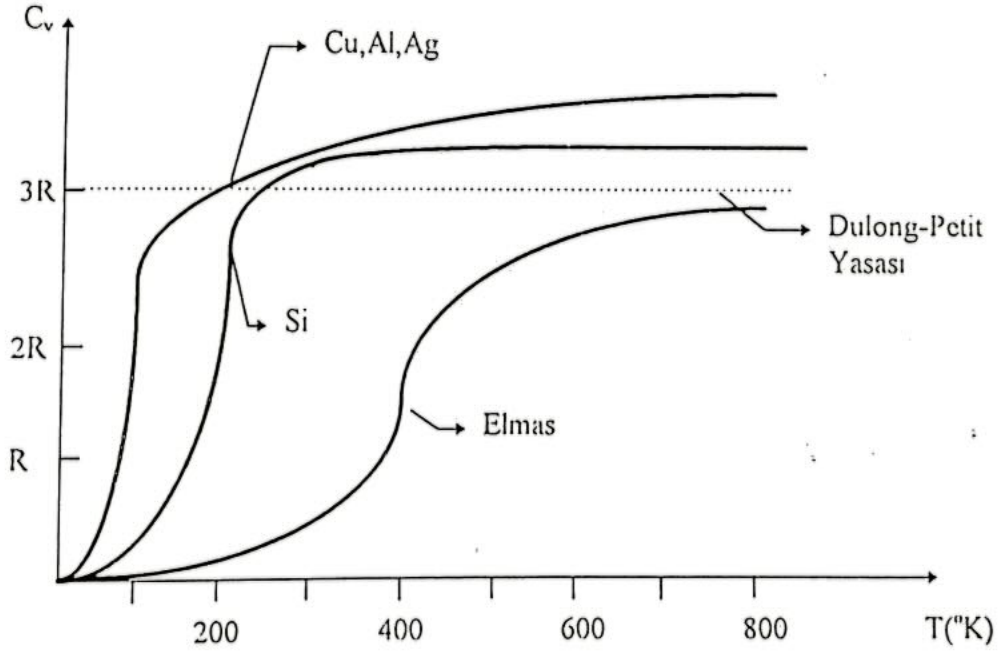
$$C_v = dE_i / dT = 3R \cong 6 \text{ cal / mol } ^\circ K \qquad (1.1)$$

olarak ifade edilir. Bu sonuç; P.L.DULONG-A.T.PETIT (1819) ' nin ortaya koydukları klasik teorinin bir ifadesi olup, " Dulong- Petit Yasası " olarak anılmaktadır. Mol kütlesi M olan bir katının ısınma ısısı $c_v = C_v / M = 3R / M = (3N_A k_B) / (N_A m) = 3k_B / m$ (m atom kütlesi), birim hacim başına ısı sığası ise,

$$C = C_v / V = 3N_A k_B / N_A v \qquad (1.2)$$

eşitlikleri ile tanımlanabilir. V katının bir mol gramının hacmini, v ise kristal örgünün birim hücresinin uzayda işgal ettiği hacmi göstermektedir.

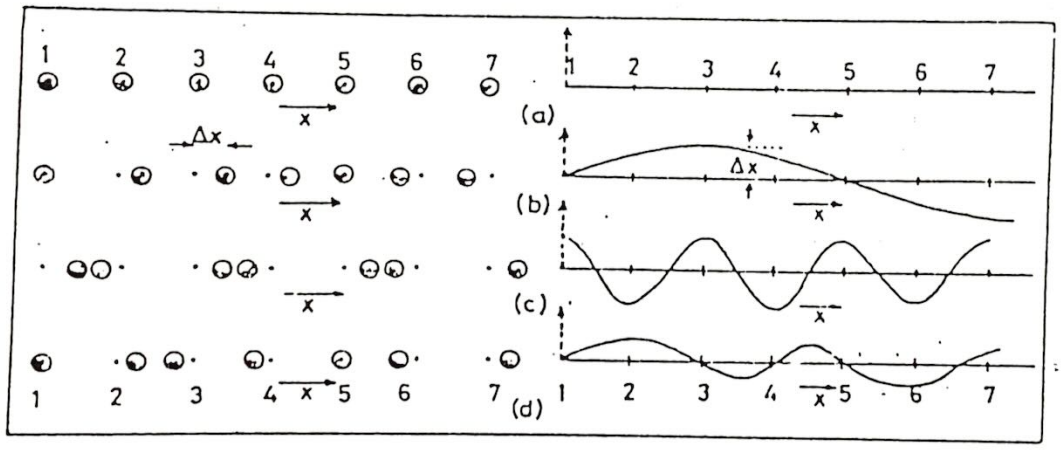
Bir kısım iletken, yalıtkan ve yarıiletkenlerin ısı sığalarının sıcaklıkla nasıl değiştiği Şekil-1.10' da görülmektedir.



Şekil 1.10: Bazı iletken, yalıtkan ve yarıiletkenlerde, ısı sığasının sıcaklıkla değişimi. Sürekli çizgiler deney sonuçlarını, kesikli çizgi ise teorik değeri belirtmektedir.

Şekilden açıkça anlaşıldığı gibi, özellikle yüksek sıcaklıklara çıkıldığı taktirde, deney verileri klasik teoriden (Dulong-Petit kanunundan) hesaplanan değerlere uygun görünmektedir. Buna karşılık, ısı sığasında sıcaklığın azalması ile ortaya çıkan azalma, klasik teoriyle açıklanmaz.

Klasik teorinin metallerin ısı sığalarının sıcaklıkla değişmesini açıklamakta yetersiz kaldığını gören EINSTEIN (1905), olayı kuvantum mekaniğinin getirdiği yeni kavramlar ışığında açıklamaya çalışmış, aynı görüşle yola çıkan, P.DEBYE (1912), konuyu başarı ile açıklayan bir teori ortaya koymuştur. Teori, anahatları ile şöyle özetlenebilir ; Kristal örgüyü oluşturan her iyon, denge konumu etrafında ve sıcaklığa göre değişen genliklerde, termik titreşim hareketi yapmaktadır. Herhangi bir iyonun yapmış olduğu hareket, komşu iyonların hareketlerini de etkilemekte, söz konusu etkilerin üstüste binmeleri sonucunda, katı madde içinde bir dalga hareketi doğmuş olmaktadır. İyonların periyodik yerdeğiştirme hareketlerinin birbirinden farklı fazlarda olmaları nedeni ile , ortamda oluşan farklı dalga boylarına sahip " boyuna dalga " ların nasıl meydana geldiğini Şekil 1.11' den şematik olarak görebiliriz.



Şekil 1.11 : Kristal örgü iyonlarının termik titreşim hareketleri ve buna bağlı olarak ortamda oluşan dalga hareketleri. İyonların herhangi bir andaki konumları ve buna karşı gelen dalga hareketi dört ayrı konum için şematik olarak gösterilmiştir.

Ortamda oluşan dalgalar, tıpkı ses dalgalarına benzemekle beraber frekansları çok daha büyüktür. Söz konusu dalgalar, yayıldıkları ortamı oluşturan her örgü kafesindeki dalga bileşkesinin tüm ortam için karşımıza çıkan bir genel bileşke olarak düşünülebilir. Bu durumda, maddeye ait her iyonun herhangi bir anda içinde bulunduğu konumu, genel dalga karekteri biliniyorsa, teorik olarak belirlenebilecek demektir. Söz gelimi, komşu iyonların birbirleriyle 180° ' lik bir faz farkı altında titreşmeleri halinde (Şekil 1.11c),

dalgaboyu minimum bir değere sahip olmaktadır. Birbirinden bağımsız dalgaların sayısı, toplam iyon sayısının üç katına eşittir. Bu durumda, klasik teorinin verdiği sonuçlara uygun olarak, her dalga için 1/2 $k_B T$' ye eşit bir kinetik enerji ve yine 1/2 $k_B T$' ye eşit bir potansiyele sahip olunacak demektir. Dolayısıyla denklem (1.1) bağıntısı geçerlidir. Bu basit teori, yüksek sıcaklıklardaki ısı sığasının değerini açıklamakta başarılı olmasına karşın, oda sıcaklığı ve daha aşağı sıcaklık değerleri için denel sonuçları açıklamakta yine de yetersiz kalır. Bunun nedeni, sözü edilen dalgaların aynı elektromanyetik dalgalar gibi kuvantlaşmış olmasında yatar. Yani; gerek örgü iyonlarının titreşim hareketleri esnasındaki konumları ve gerekse ortamda oluşan boyuna dalgaların dalgaboyları, herhangi bir değeri değil, yalnızca belirli bazı değerleri alabilir. Kuvantılaştığı kabul edilen boyuna dalgaların enerjisi (akustik enerji), kısaca " fonon " adını alır. Çok alçak sıcaklıklarda; termik enerji, dalgaların çok büyük bir bölümünün fonon enerjisine kıyasla çok daha küçük ($k_B T << h\nu$) olduğundan, ortamda çok az sayıda fonon mevcuttur. Bu kadar az sayıdaki dalga belirli bir kuvantum enerjisine karşı gelir. Sıcaklık bir miktar yükseldiğinde, çok sayıdaki alçak frekans fononunun yanısıra, bir kaç da yüksek frekans fononu ortaya çıkar. Nihayet, termik enerjinin yeterince büyük ($k_B T > h\nu$) olduğu bir sıcaklık değerinde, katı içindeki fononların tümü, örneği Şekil 11c' de gösterilen türden yüksek frekans fononlarıdır. Ancak bu duruma erişilmesi halinde denklem (1.1) bağıntısı, doğru sonuç verebilir

Debye teorisi, toplam fonon enerjisinin sıcaklıkla değişimini matematiksel olarak ortaya koymakta, buna göre, herhangi bir katının ısı sığasının

$$C_v = 9\,R\left(\frac{T}{\theta}\right)^3 \int_0^{\theta/T} \frac{e^x\, x^4\, dx}{\left(e^x - 1\right)^2} \qquad (1.3)$$

ifadesi yardımıyla hesaplanabileceğini öngörmektedir. Burada θ, her katı için farklı bir değer alan bir parametre olup, kısaca " Debye sıcaklığı " adıyla anılmaktadır. En küçük dalgaboylu (dolayısıyla en büyük frekanslı) fononların frekansı f_m ile gösterilirse, θ,

$$\theta = h\, f_m / k_B = h\, v_s / \pi\, k_B\, d \qquad (1.4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, v_s katı için ses hızını, k_B Boltzmann sabitini, d ise kristal örgüdeki atomlararası uzaklığı (ağ sabitini) gösterir. Bazı katıların denklem (1.3)' den hesaplanan Debye sıcaklıkları Tablo 1.2'de görülmektedir. Elmas, bakır, alüminyum ve gümüş için verilen θ değerlerinin Şekil 11' deki denel verilere oldukça yakın olduğu görülmektedir. $T > \theta$ için klasik teori doğru sonuç vermekte, $T < \theta$ halinde ise başarısız kalmaktadır.

Madde	θ (°K)	Madde	θ (°K)
Gümüş (Ag)	215	Demir (Fe)	420
Alüminyum (Al)	390	Germanyum (Ge)	290
Altın (Au)	170	Potasyum (K)	100
Berilyum (Be)	1100	Sodyum (Na)	150
Elmas (C)	1860	Kurşun (Pb)	88
Bakır (Cu)	315	Silisyum (Si)	620

Tablo 1.2: Bazı katıların Debye sıcaklıkları

Debye teorisi, katıların ısı sığalarının hesaplanmasında, elektronların ısı sığasına katkılarını dikkate almamaktadır. Oysa, yukarıda gördüğümüz gibi klasik elektron gazı teorisine göre, kristaldeki her atom başına yaklaşık bir serbest elektron bulunduğu, her elektron başına düşen $3/2\ k_BT$ kadarlık bir kinetik enerjinin ise, katının ısı sığası üzerinde yadsınamayacak değerde bir katkısı olması gerektiği öngörülür. Yine klasik teoriye göre, metalik bir iletkenin ısı sığası, hiç serbest elektronu olmayan bir katınınkinden yaklaşık 1.5 kat daha büyük olmalıdır. Halbuki deney sonuçları bu tahmini doğrulamaz. Debye teorisi, madde içindeki serbest elektronların tümünün değil, yalnızca enerjileri E_F Fermi enerjisinden büyük olan çok az bir kısmının C_v üzerinde etkili olabildiğini ileri sürerek konuyu çözümlemektedir. Bu durumda, elektronik ısı sığasının teori ile öngörülen değeri,

$$C_{ve} = \frac{\pi^2}{3}\left(\frac{k_B T}{E_F}\right)\left(\frac{3}{2} R\right) \qquad (1.5)$$

bağıntısı ile verilir. Bazı katıların Fermi enerjileri Tablo 1.3 ' de verilmiştir. Buradan yararlanarak, örneğin bakır için elektronik ısı sığasının C_{ve} , değerini oda sıcaklığında hesaplayacak olursak,

$$C_{ve} = \left(\frac{\pi^2}{3}\right)\left(\frac{1.38\text{x}10^{-16}\text{x}300}{1.12\text{x}10^{-11}}\right)\left(\frac{3}{2} R\right) = 0.0185\ R \qquad (1.6)$$

elde ederiz ki, $C_v = 3R$ değeri ile kıyasladığımızda gerçekten çok küçük bir değerdir. O halde, katı bir maddenin ısı sığası üzerinde, o maddeye ait elektronlardan ileri gelen elektronik ısı sığasının değerini ihmal edebileceğiz demektir.

Madde	E_F (eV)	Madde	E_F (eV)
Gümüş (Ag)	5.51	Lityum (Li)	4.72
Altın (Au)	5.54	Berilyum(Be)	12.0
Alüminyum (Al)	11.8	Sodyum (Na)	3.12
Bakır (Cu)	7.04	Potasyum (K)	2.14
Çinko (Zn)	11.0	Kalsiyum (Ca)	3.0

Tablo 1.3: Bazı katıların Fermi enerjileri

1.3.4. Optik Özellikler :

Bir malzeme üzerine ışık gönderildiğinde , ışık ile malzeme arasındaki etkileşmenin sonucu olarak bir kaç işlem meydana gelir. Her malzeme, fotonlarla, katıyı oluşturan atomların, iyonların veya moleküllerin etkileşmesinden dolayı ışığın bir kısmını absorplar. Bir kısmı numunenin t kalınlığını geçebilir. Bu olay " ışığın transmisyonu (geçişi) " olarak adlandırılır. Bir kısmıda malzemenin yüzeyinden geri saçılır. Bu olaya da " yansıma " denir.

Görülen ışık, elektromagnetik dalga spektrumunun dalga boyu 0.4 - 0.75 μm arasındaki bölgeye rastlamaktadır. Işık hem dalga hemde parçacık özelliği gösteren fotonlardan meydana gelmiştir. Bir fotonun enerjisi $E = h\nu = h\,c / \lambda$ olarak ifade edilir. Burada h; planck sabiti ve değeri $h = 6.62 \times 10^{-27}$ erg.sn , c ışığın boş uzaydaki hızının büyüklüğü ve değeri $c = 2.997 \times 10^{8}$ m/sn dir. Eğer görünür ışık bölgesinden, ışığın dalga boyunu $\lambda = 0.5$ μm veya $\lambda = 5000$ Å olarak alırsak, bu dalga boyu için fotonun enerjisi $E \cong 2.5$ eV mertebesindedir.

Belirli bir λ dalga boyu için, yansıyan, absorplanan ve geçirilen ışığın fraksiyonları toplamı 1' dir.

$$R = \frac{\text{Yansıyan Enerji}}{\text{Gelen Enerji}}, \qquad A = \frac{\text{Absorbe Edilen Enerji}}{\text{Gelen Enerji}}, \qquad T = \frac{\text{Geçen Enerji}}{\text{Gelen Enerji}}$$

olmak üzere, $R + A + T = 1$

Kırılma İndisi ; Düzgün elektromanyetik dalgaların elektrik ve manyetik alan bileşenleri, birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna diktirler. Elektromanyetik dalgalar malzeme ile etkileştiğinde, dalganın elektrik vektörü malzemedeki yüklere kuvvet uyguluyacak, yükler ilk konumlarındaki yerlerini değiştirecek ve böylece bir dipol oluşturacaklardır.

Çekirdeğe sıkıca bağlı kor elektronları, çok zayıf olarak kutuplanacaklar, metalin serbest elektronları ve bir yarı iletkenin en dış kabuğundaki zayıfça bağlı olan elektronlar, kutuplanmaya çok daha fazla katkıda bulunacaklardır.

Elektromanyetik dalganın elektrik vektörü, titreşim yaptığından, indüklenen dipollerdeki yükler sürekli olarak alanın titreşimini takip edeceklerdir. Eğer, titreşim yapan dipoller tarafından ihmal edilebilen bir enerji kaybı olduğu düşünülürse, elektromanyetik dalga, aynı frekansta ışıma yapacaktır. Diğer bir deyişle, yüklerle elektromanyetik dalgaların etkileşmesi durumunda, herhangi bir enerji kaybına sebep olunmamış fakat transmisyon geciktirilmiştir.

Malzeme saydamlığı gösterecek; fakat geciktirme hareketi ışığın hızını yavaşlatacaktır. Bu durumda malzemenin kırılma indisi tanımlanmalıdır.

$$n = \frac{\text{Işığın vakumdaki hızı}}{\text{Işığın maddesel ortamdaki hızı}} = \frac{c}{v} \qquad (1.7)$$

olarak ifade edilir. Elektromanyetik dalga teorisinin bir sonucu olarak, manyetik olmayan malzemeler için, kırılma indisi, n, bağıl dielektrik sabiti, ε_r, cinsinden de;

$$n = (\varepsilon_r)^{1/2} \qquad (1.8)$$

olarak ifade edilir. Metallerde, R yansıtma oranı ile absorpsiyon katsayısı oldukça büyüktür. Kuvvetli absorpsiyon ve yansıtma özelliğine sahip metallerin tümü " opaktır " ve ışığı geçirmez.

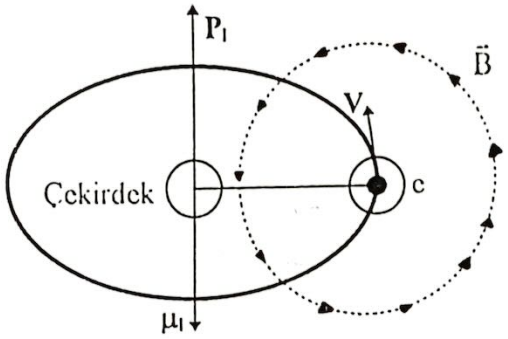
İyonik bağla bağlı seramik türü malzemelerde elektronlar ana atomlara kuvvetle bağlıdırlar. Dolu valans bandı ile boş iletim bandı arasında ~ 7 eV'luk enerji aralığı vardır. Bu malzemelerden görünür ışık fotonlarının enerjileri 1.7 - 3.5 eV olduğuna göre arı seramikler görünen ışık dalgalarına karşı saydamdırlar. Örneğin NaCl kristalinin enerji aralığı ~ 7 eV olduğunda ışık dalgaları etkilenmeden geçebilir, bu sebeple tuz kristali saydamdır.

Kovalent bağlı malzemelerle, iyonsal bağlıların optik özellikleri benzerdir. Bant yapısına bağlı olarak saydam veya opak olabilirler. Elmas ve SiO_2 enerji aralığı ~ 6 eV olduğundan kolaylıkla ışığın fotonlarını geçirirler. Yarıiletkenlerin enerji aralıkları ~ 3 eV olduğundan ışık fotonlarını absorbe ederler.

Kovalent bağlı polimerlerde enerji aralığı geniş olduğundan mor ötesine kadar olan bölgelerdeki ışımaları etkilenmeden geçirirler, dolayısıyla arı halde saydamdırlar. Yasak bölgede ek enerji düzeyi oluşturacak bir katkı maddesi katılırsa saydamlık önlenebilir, opaklık ve renklenme sağlanabilir.

1.3.5. Manyetik Özellikler :

Her elektron çekirdek etrafında r yarıçaplı bir yörünge üzerinde yapmış olduğu hareket sonucu, ait olduğu atoma bir manyetik moment kazandırır.



Şekil 1.12 : Elektronun yörünge hareketinden ileri gelen manyetik moment ve açısal momentumun vektörel konumu

Elektronun çekirdek etrafında oluşturduğu manyetik alan, böylece bir çubuk mıknatısın çevresinde oluşan manyetik alana benzer bir görünüm kazanır. Ortaya çıkan atomsal boyuttaki çubuk mıknatıs, çoğu kez bir "manyetik dipol moment" ile temsil edilir. Elektronun yörünge hareketinden dolayı magnetik momenti,

$$\mu_l = eP_l / 2mc \quad \text{veya} \quad \mu_l = l\, e\, h /2mc = l\, \mu_B \qquad (1.9)$$

ile ifade edilir. Burada $\mu_B = eh/2mc$ ile ifade edilen " Bohr Magnetonu " dur. Elektronun kendi ekseni etrafındaki dönmesi sonucu kazandığı manyetik moment, " spin manyetik moment " i olarak adlandırılır. Spin manyetik momenti,

$$\mu_S = 2\, e\, P_s / 2mc \quad \text{veya} \quad \mu_S = 2\, s\mu_B \qquad (1.10)$$

ile ifade edilir. Elektronun spin kuantum sayısı s =1/2 olduğundan $\mu_S = \mu_B$' ye eşittir.

Şimdi malzemeyi H şiddetindeki bir manyetik alan içersine koyduğumuzda, manyetik alan tarafından etkiyen bir kuvvet, onu kuvvet çizgileri doğrultusunu alacak şekilde zorlayacaktır. Malzemenin birim hacimdeki atom sayısı n ise, döndürme momentinin değeri, $M = n\, \mu_l / V$ 'dir. (Gündüz,1992)

Burada M, " mıknatıslanma şiddeti " veya " Magnetizasyon " olarak adlandırılır.

Mıknatıslanma ile manyetik alan vektörü arasında $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ ilişkisi vardır. Burada χ_m " manyetik suseptibilite " olarak adlandırılır ve boyutsuz bir niceliktir. μ manyetik geçirgenliği göstermek üzere, manyetik suseptibilite ve μ arasında

$$\chi_m = \mu - 1 \qquad (1.11)$$

ilişkisi bulunmaktadır. Malzemeler, manyetik davranışları bakımından beş ayrı grupta toplanır. Bunlar diamagnetik, paramagnetik, ferromagnetik, antiferromagnetik ve ferrimanyetiklerdir. Tablo 1.4. (Lowell vd, 1981)

Tip	Suseptibiletinin Değeri	χ'nın sıcaklığa Bağımlılığı	Örnekler
a) Diamanyetik	Küçük ve negatif $\sim 10^{-6}$	Bağımlı değil	Bazı Metaller Au, Ge
b)Paramanyetik	Küçük ve pozitif $\sim 10^{-6}$	$\chi = C/T$ (Curie Yasası) veya $\chi = C/T-\theta$ (Curie-Weiss Yasası)	İyonik Kristaller
	Küçük ve negatif	Bağımlı değil	Metallerdeki iletim elektronlarından dolayı Pauli Paramanyetizması

c) Ferromanyetik	Çok büyük ve pozitif	($\chi \rightarrow \infty$)	Demir, Kobalt, Nikel
d) Antiferromanyetik	Küçük ve pozitif	(χ azalır)	Tuzlar ve geçiş metallerin oksitleri, NiO, MnF_2
e) Ferrimanyetik	Büyük ve pozitif	($\chi \rightarrow \infty$)	Ferritler Fe_3O_4

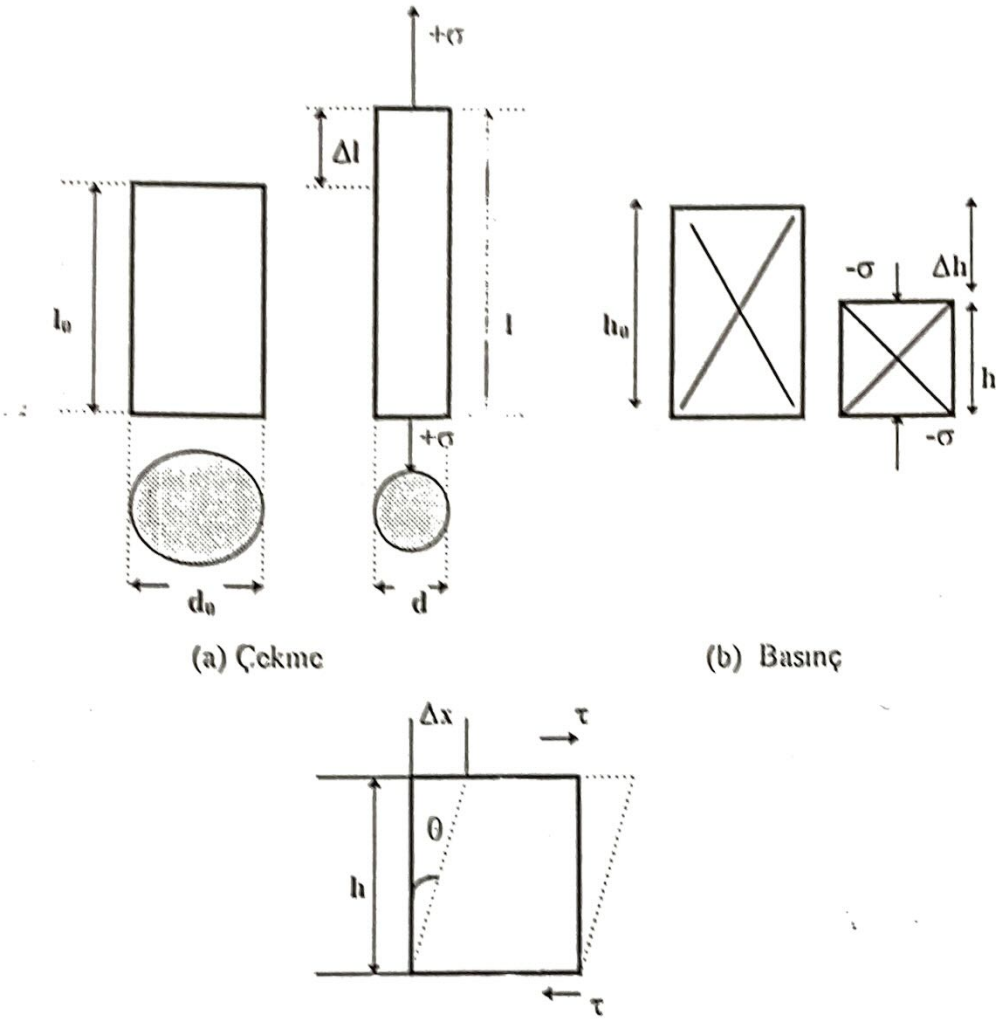
Tablo 1.4: Manyetik Özellikler

1.3.6. Mekanik Özellikler :

Malzemelerin , strength (şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç), rijitlik (sertlik) ve ductility (sünüklük) gibi mekanik özellikleri, onların üretimini ve mümkün pratik uygulamalarını belirlemede hayati önem taşımaktadır. Bunlardan herbirisi malzemenin mekanik kuvvetlere dayanıklılığı ile ilişkilidir. (Safoğlu, 1972)

Bir malzemenin uygulanan kuvvetlere karşı gösterdiği tepki mekanik davranış olarak tanımlanır. Bu davranış değişik tür zorlamalar altında oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri ölçerek ve gözleyerek saptanır. Cisimler artan dış zorlamalar altında önce şekil değiştirir sonra dayanımını yitirerek kırılır. Düşük gerilmeler altında şekil değiştirmeler elastik, yani tersinirdir. Gerilme elastik sınırı aşarsa kalıcı yani plastik şekil değiştirme oluşur. Elastik şekil değiştirmeye karşı direnç veya rijitlik malzemenin elastisite modülü ile belirlenir.

Mekanik davranış incelenirken uygulamada basit geometrik şekle sahip silindir veya prizma biçiminde deney parçaları kullanılır. Şekil 1.13' te görüldüğü gibi, parçaya etkiyen normal kuvvet, etkilediği alana bölünerek çekme gerilmesine $\sigma_ç$, $\sigma_ç$ = N/A, kayma kuvveti etkilediği alana bölünerek kayma gerilmesine τ, τ= T/A (N/mm^2) indirgenir.



Şekil 1.13: Mekanik Davranışlar

Gerilme etkisinde malzemelerin boyutları değişir. Boyutlardaki değişme, şekil değiştirme oranı ile belirtilir. Şekil 1.13a' da görüldüğü gibi, son boy l, ilk boy l_0 dan çıkartılır, ve ilk boya bölünür, sonuçlar yüzde olarak belirlenir, yani değiştirme oranı ε,

$\varepsilon = (\Delta l / l) \times 100$ ile ifade edilir.

Malzemeler düşük gerilmeler altında çoğunlukla lineer elastik davranış gösterirler. Lineer elastik davranışta şekil değiştirmeler tersinir olup gerilmelerle orantılıdır.

Bu davranış Hooke kuralı $\sigma = \varepsilon E$ ile ifade edilir. Burada E elastite modülüdür ve birim uzama için uygulanması gereken gerilme olarak tanımlanır. Lineer elastik malzemelerde τ kayma gerilmesi ile kayma şekil değiştirmesi γ, orantılıdır ($\tau \propto \sigma$) ve orantı katsayısı da kayma modülü G, olarak tanımlanır. Buna göre kayma gerilmesi $\tau = G\gamma$ (N/mm^2) olarak ifade edilir.

Malzemelerin elastiklik, süneklik, mukavemet ve tokluk gibi önemli mekanik özelliklerinin yanında bir diğer özellikte sertliktir. Sertlik bir malzemenin yüzeyine batırılmak istenen sert bir cisme karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır.

Belirli koşullarda yüzeyde oluşturulan kalıcı veya plastik izin büyüklüğüne göre belirlenir. Sertlik deneyi yüzeyde küçük bir iz oluşturduğundan tahribatsız bir deneydir fakat sertlik sayıları tasarım hesaplarında kullanılamaz. Bununla beraber çok kolay ve çabuk uygulandığından karşılaştırma ve kalite kontrolü amacı ile kullanılır. (Onaran, 1993)

2. ISI TRANSFERİ VE SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

2.1. Isı Transferi

2.1.1. Giriş: Isı transferi üç ayrı şekilde oluşmaktadır. Bunlar; Isı İletimi, Konveksiyon (ısı taşınımı) ve Işıma' dır.

2.1.2. Isı İletimi:

Kristallerde enerji iletimini incelerken, örgü titreşimlerinin, parçacık yada fonon özelliği uygun bir model ortaya koyabilmemize yardımcı olur. Böyle bir enerjinin iletimi, fononların oluşumuna veya yok olmasına yol açar. Isısal iletim olayı, fononların saçılımı ile kolayca açıklanabilir. Burada saçılım diğer fononlar, örgü bozuklukları yada elektronlar tarafından gerçekleştirilebilir.

Kristallerde ısı enerjisi iletiminin fononlarla olabildiği gibi, fotonların, serbest elektronların, elektron-boşluk çiftlerinin yada eksiton'ların hareketi ile ortaya çıkabileceğini de düşünmeliyiz. Metallerde , ısı iletimine en büyük katkı elektronik özellikli olan bileşenlerden gelir. Buna karşılık, metal olmayan katılarda hemen bütün ısı iletimi fononlar sayesinde gerçekleşir.

Isı iletimi, bir ortam (katı, sıvı, gaz) içerisinde bulunan bölgeler arasında veya doğrudan doğruya fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, atom ve moleküllerin farkedilebilir bir yer değiştirmesi olmaksızın bunların doğrudan teması sonucu meydana gelen ısı yayınımı işlemidir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre, ısı yüksek sıcaklıkta bulunan bir bölgeden düşük sıcaklıktaki bir bölgeye akar. Kinetik teoriye göre bir maddenin sıcaklığı, bu maddeyi meydana getiren moleküllerin veya atomların ortalama kinetik enerjileri ile orantılıdır. Kinetik enerjinin fazla olması, iç enerjinin fazla olması demektir. Bir bölgede moleküllerin ortalama kinetik enerjisi, sıcaklık farkından dolayı bitişik bölgedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjilerinden fazla ise, enerjileri fazla olan moleküller bu enerjilerini komşu olan moleküllere iletirler. Bu enerji transferi, akışkanlarda moleküllerin elastik çarpışmaları, metallerde, serbest elektronların yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklık bölgelerine yayınımı ile olur. Katılarda

enerji transferi, elektron yayılımına ilaveten, maddenin yapısını meydana getiren kristal örgünün titreşimleri ile de komşu bölgelere iletilir. Fakat bu son halde enerji transferi miktarı azdır. Bu sebepten elektriği iyi iletenler aynı zamanda iyi ısı iletkendirler.

Katı cisimler içerisinde ısı transferi genel olarak ısı iletimi ile olur. Fakat çok az katı cisimler ile bazı gazlar ve sıvılar içerisinden ısı enerjisi, ışıma ilede transfer edilir ve bir kısmı ortam içerisinde soğurulur. Yani böyle bir ortamda ısı transferi, ısı iletimi ve ışıma ile olmaktadır.

Isı iletiminde genel olarak ısı transferi sıcaklığa ve sıcaklık basamağına bağlıdır. Sıcaklık en genel durumda yere ve zamana göre değişir.

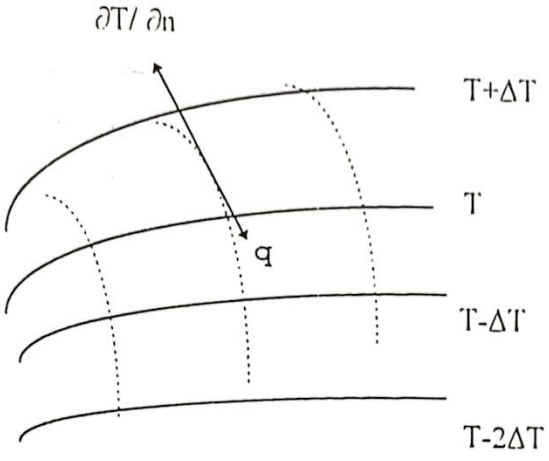
$$T(\vec{r}, t)$$

veya (2.1)

$$T(x,y,z,t)$$

Denklem (2.1) ifadesi uzayda sıcaklık alanının matematiksel ifadesidir. Eğer sıcaklık alanı zamanın fonksiyonu değilse, sürekli rejimden bahsedilir.

Uzayda eşit sıcaklık noktalarının birleştirilmesi ile meydana gelen yüzeylere " eşsıcaklık (izotermal) yüzeyleri " denir. Bir nokta değişik iki sıcaklıkta bulunamıyacağından, eşsıcaklık yüzeyleri birbirini kesemezler. Bunlar ya kendi üzerlerine kapanırlar veya sistemin sınırlarında son bulurlar. Şekil 2.1' de eşsıcaklık düzlemlerinden bir grup görülmektedir. Bir sistem içerisinde sıcaklık basamağı en fazla eşsıcaklık düzlemine dik yöndedir.



Şekil 2.1: Isı akım yönü

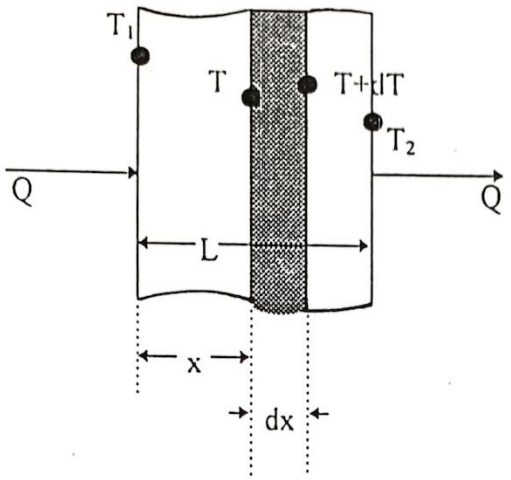
Buna göre sıcaklık basamağı,

$$\lim_{\Delta n \to 0} \left(\frac{\Delta T}{\Delta n} \right) = \frac{\partial T}{\partial n} \tag{2.2}$$

olarak tarif edilir. Sıcaklık skaler bir miktardır. Sıcaklık basamağı ise eş sıcaklık düzlemine dik bir vektördür. Sıcaklığın artan yönünde bu vektör pozitiftir. Sıcaklık basamağının negatif değerine sıcaklık düşümü denir. Sıcaklık alanını, sıcaklık basamağını, bu şekilde kısaca tanımladıktan sonra sıcaklık basamağı ile ısı akımı arasındaki ilişkiyi kuralım. Bunun için üniform yüzey sıcaklıkları T_1 ve T_2 olan sonlu kalınlıkta, sonsuz bir levha düşünelim, Şekil 2.2. Kalınlığı L, yüzey alanı A olan bu levha üzerinde farklı T_1 ve T_2 sıcaklık değerinde yapılan deneyler, eğer T_1 - T_2 sıcaklık farkı levha özelliklerini değiştirecek büyüklükte değil ise, birim zamanda iletilen ısı miktarının,

$$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L} \tag{2.3}$$

ifadesi ile hesaplanabileceğini göstermiştir. Burada; Q, birim zamanda ısı akımı, A, ısı akımına dik yüzey alanı, k, sabit orantı katsayısı (malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı), L ise levhanın kalınlığıdır.



Şekil 2.2: Düzlem Levha

Denklem (2.3) ifadesinde, sıcaklık değişiminden sonra yeterli zamanın geçtiğini, ve levha içerisinde sıcaklığın zamanla sabit kaldığını (sürekli rejim) kabul ediyoruz. Gerçekte k sabit olmayıp, sıcaklığın, bir dereceye kadar da basıncın fonksiyonudur. Denklem (2.3) ifadesi homojen izotropik (k, herhangi bir nokta etrafında bütün yönlerde aynı) ortam için " Fourier ısı iletimi kanunu " adını alır. Bu ifade L kalınlığının hareketsiz bir ortamdan meydana gelmiş olması halinde akışkanlar için de uygulanır ; yalnız ışıma ihmal ediliyor.

Şekil 2.2' de gösterilen dx kalınlığındaki diferansiyel elemanın yüzey sıcaklıkları T ve T+dT ise Fourier ısı iletimi kanunu;

$$dQ_n = -k\, dA \frac{dT}{dx} \qquad (2.4)$$

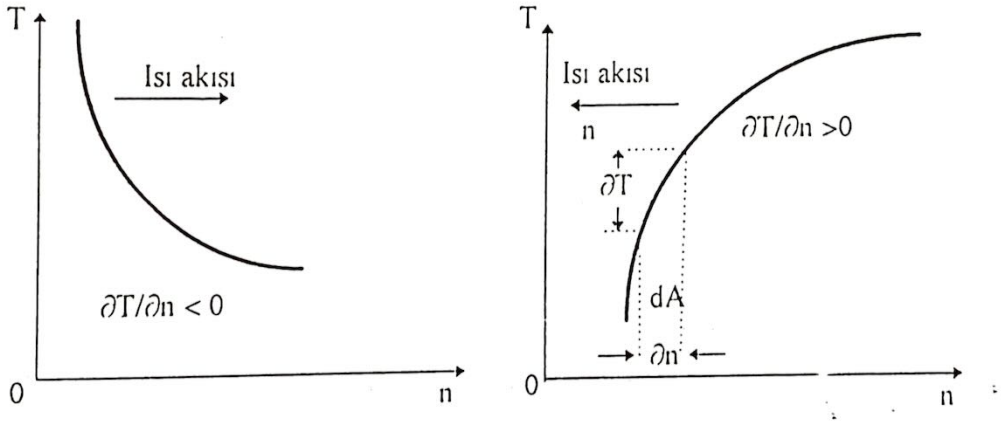
ve Şekil 2.3 ' de gösterildiği gibi herhangi bir n istikameti için,

$$Q_n = -k\, A \frac{\partial T}{\partial n} \qquad (2.5)$$

olarak ifade edilir.

Isı akımı sıcaklığın azaldığı yönde olduğu için, $\partial T/\partial n$ negatif iken, ısı akımı +n yönündedir. Dolayısıyla denklem (2.4) ifadesine (-) ilave etmekle artan n yönünde pozitif ısı akımı elde edilmektedir. Isı akımı bir vektördür. Bu bakımdan sayısal değeri ve yönü ile belirlenir. Şekil 2.1 ' de görüldüğü gibi, ısı akısı vektörü yönü ile çakışan eğriler ısı akısı eğrileridir. Isı akısı eğrileri, eş sıcaklık eğrilerini keser ve kesim noktalarında eş sıcaklık eğrilerine diktir. Ortam izotropik ve heterojen ise denklem (2.4) ifadesi yine uygulanır. Çünkü dx gibi çok ince bir kalınlıkta yerel olarak homojen varsayılabilir.

Denklem (2.5) ifadesi Fourier ısı iletimi kanununun genel diferansiyel şeklidir. Bu denklem sıcaklık dağılımına bağlı değildir. (Şekil 2.3.)



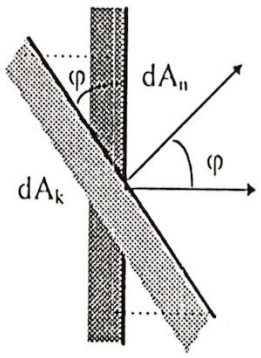
Şekil 2.3: Isı akımı yönü

Denklem (2.5) denklemi yalnız -n yönündeki ısı akımı için doğrudur ve akışkanlar için de uygulanır.

Sıcaklık sürekli rejim olayıdır ve denklem (2.5) sürekli rejimde doğrudur. Fakat zamana bağlı ısı transferinde de denklem (2.5) 'in uygulanabilir, olduğunu varsayıyoruz. Denklem (2.5), dA_n yüzey elemanı için,

$$dQ_n = -k\, dA_n \frac{\partial T}{\partial n} \qquad (2.6)$$

olarak ifade edilir. (Şekil 2.4.)



Şekil 2.4: Yüzey elemanları

Eşsıcaklık düzlemi ile φ açısı yapan dA_k yüzey elemanından akan ısı miktarı ise,

$$dQ_k = dQ_n \cos\varphi = -k dA_n \frac{\partial T}{\partial n} \cos\varphi \qquad (2.7)$$

olarak hesaplanır. O halde q_k (= $dQ_k / dA_n \cos\varphi$) ısı akısı, q_n (= dQ/dA_n) ısı akısı vektörünün bir bileşenidir. Buna göre (x, y, z) kartezyen koordinat sisteminde ısı akısının x, y ve z yönlerindeki bileşenleri,

$$q_x = -k\frac{\partial T}{\partial x} \qquad q_y = -k\frac{\partial T}{\partial y} \qquad q_z = -k\frac{\partial T}{\partial z} \qquad (2.8)$$

olur. Bu açıklamalardan, ısı akımı miktarının bulunması, sıcaklık dağılımının bilinmesine bağlıdır. Ayrıca denklem (2.5) ifadesi bir kanundan ziyade ısı iletimi katsayısının bir tanımıdır :

$$k = -\frac{(Q_n / A)}{\frac{\partial T}{\partial n}} \qquad (2.9)$$

k, ısı iletim katsayısı, malzemenin fiziki bir özelliği olup ısı iletme kabiliyetini gösterir. k'nın boyutu denklem (2.9) ifadesinden bulunur: Eğer ısı akımı kcal/h veya W(Watt), yüzey alanı m^2, sıcaklık basamağı °C/m veya °K/m olarak ifade edilirse,

$$[k] = \frac{kcal}{m^2 h^{\circ}C/m} = kcal/mh^{\circ}C \quad veya \quad Watt/m^{\circ}K$$

bulunur. SI (System International) birim sisteminde k için J/ms°K veya W/m°K kullanılmaktadır. O halde ısı iletim katsayısının değeri, birim zamanda, birim yüzeyinden, birim uzunlukta 1°C sıcaklık düşümü halinde ısı akımı miktarına eşittir. Isı iletim katsayısı her madde için farklı olup, maddenin yapısına, nemliliğe ve sıcaklığa bağlıdır. Örneğin saf bakır için yaklaşık 340 kcal/mh °C iken kağıt için 0.112 kcal/mh°C, 80 kg /m^3 yoğunluğunda ve 30 °C sıcaklığında pamuk yünü için 0.036 kcal/mh°C ' dir.

Bazı gazların ısı iletim katsayıları Şekil 2.5 'te, bazı sıvıların ısı iletim katsayıları Şekil 2.6 'da, bazı yalıtkan malzemelerin ısı iletim katsayıları Şekil 2.7 'de, bazı metallerin ısı iletim katsayılarıda Şekil 2.8 'de verilmektedir. (Kakaç,1982)

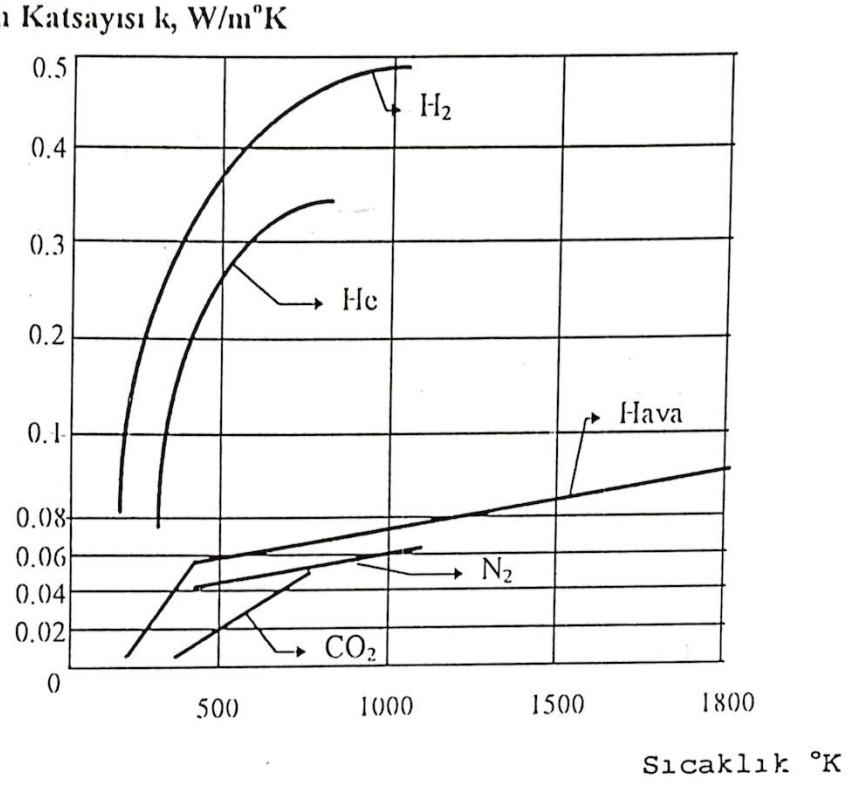
Maddenin sıcaklığı, ısı transferi esnasında değiştiğinden, ısı iletim katsayısının sıcaklığa bağlılığının tayini ayrıca önemlidir. Deneyler, malzemelerin ısı iletim katsayılarının küçük sıcaklık farkları için sıcaklıkla lineer olarak değiştiğini göstermektedir :

$$k = k_0 (1 + \beta t) \qquad (2.10)$$

Burada k_0 : ısı iletim katsayısının 0 °C referans sıcaklığındaki değeri, β : deneysel olarak tayin edilen sıcaklık katsayısıdır.

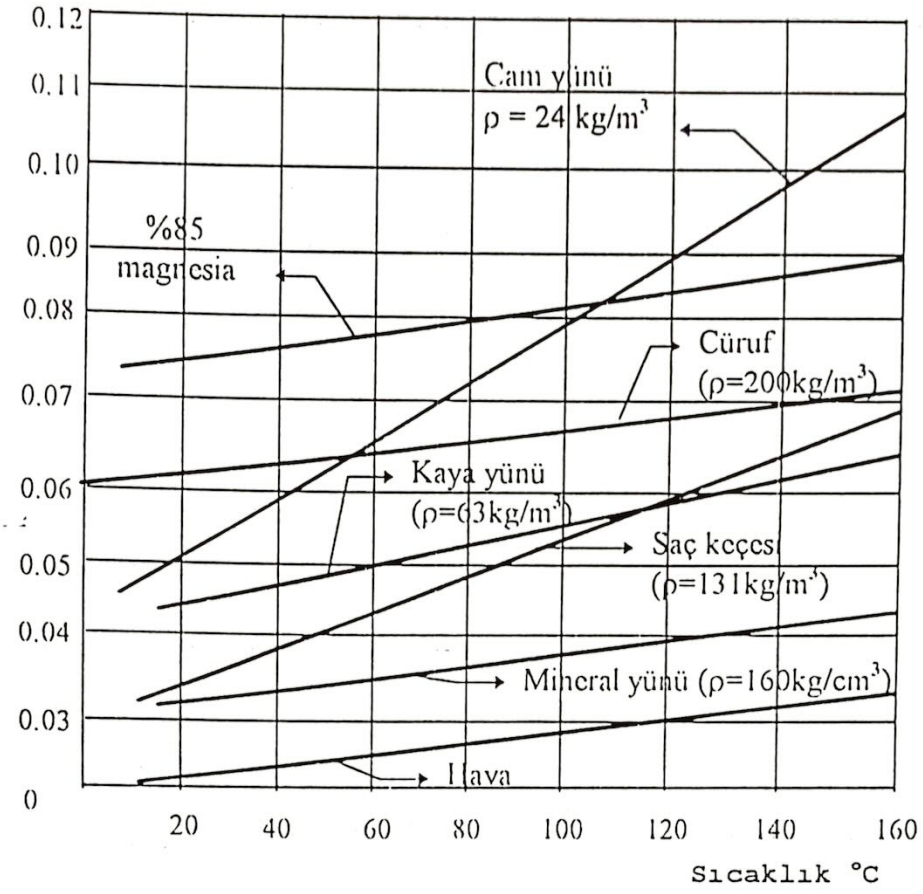
Pratikte ortalama k değeri kullanılır ve genel olarak sınır sıcaklıklarının aritmetik ortalamasında tarif edilir. β değeri, bir çok yalıtkan maddeleri için pozitif, iyi iletkenler, yani metaller için negatif değerlere sahiptir. Alüminyum ve prinç bir istisna teşkil eder. Sıcaklık artması ile gaz moleküllerinin hareketi artar. Dolayısıyla enerjiyi daha fazla iletirler. Yani gazların ısı iletim katsayısı sıcaklık ile artar, pratik olarak basınca bağlı değildir.

Fakat çok yüksek (2000 atm'den fazla) ve çok alçak (20 mmHg ' dan az) basınçlar istisna teşkil eder. Deneyler gösteriyorki ısı iletim katsayısı mutlak sıcaklığın karekökü ile orantılıdır. Bazı gazların ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi Şekil 2.5 ' de verilmektedir.



Şekil 2.5: Bazı gazların ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi

Sıvılarda ısı iletimi mekanizması gazlardakine benzer. Yalnız moleküller daha sıkı temas halinde olduklarından ve moleküler kuvvetler elastik çarpıma ile enerji transferi üzerinde kuvvetli bir şekilde tesir ettiklerinden durum daha karışıktır. Bazı sıvıların ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi Şekil 2.6 ' da görülmektedir. Genellikle sıvılar için , k, sıcaklıkla azalır. (Su hariç.)

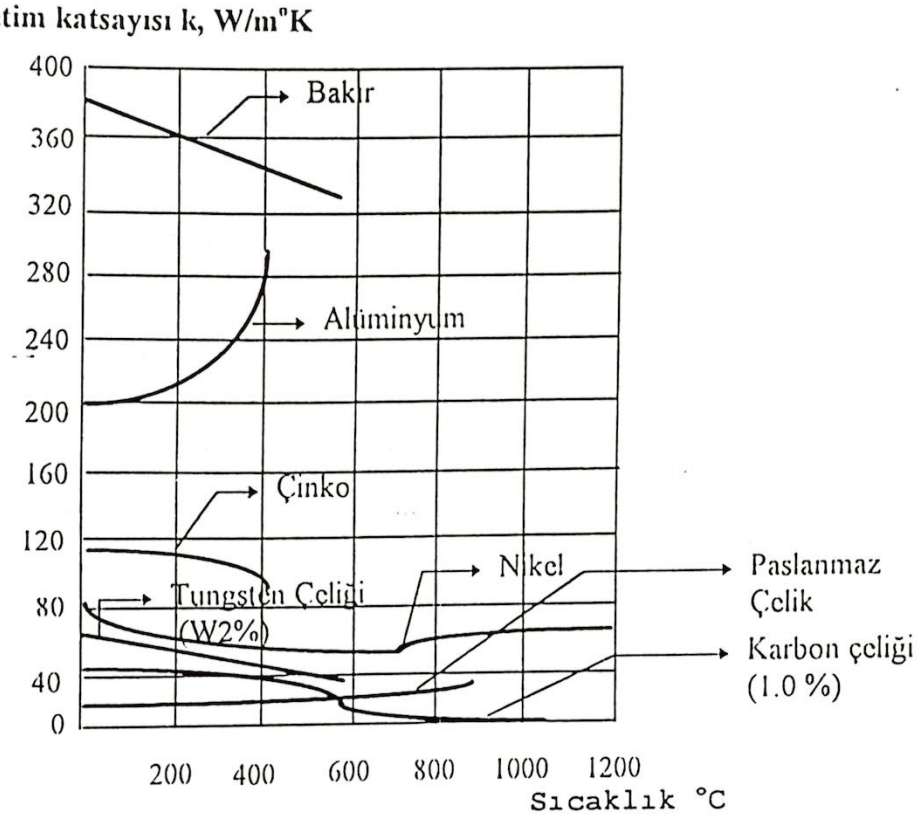


Şekil 2.7: Bazı yalıtkan malzemelerin ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi.

Malzemenin yoğunluğu arttığı zaman k değeri de artar. Bununla beraber malzemenin iç yapısına , içerisinde bulunan gözeneklere ve nem derecesine bağlıdır. Nemli bir malzemenin ısı iletim katsayısı kuru malzemenin ve suyun ayrı ayrı ısı iletim katsayılarından fazla olabilir. Örneğin kuru tuğlanın k=0.3 kcal/mh°C, suyun k=0.5 kcal/mh°C değerine karşılık nemli tuğla için k = 0.9 kcal/mh°C bulunmuştur. Bu olay ısı iletim katsayısının hesaplanmasında bir çok etkenin önemli bir şekilde dikkate alınması gerektiğini açıklar.

Isı iletim katsayısı k = 0.2 kcal /mh°C den daha düşük olan malzemeler ısı yalıtkanı olarak kullanılmaktadır.

Bazı metallerin ısı iletim katsayıları Şekil 2.8 'de verilmektedir. Şekilden, ısıl iletkenlik açısından en iyi bakır, daha sonra alüminyum olduğu görülür. Genellikle metallerin ısı iletim katsayıları sıcaklıkla azalır.



Şekil 2.8 : Bazı metallerin ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi

Saf bir metalin ısı iletim katsayısı , eğer içerisine başka bir bileşen ilave edilirse kuvvetle azalır. Örneğin 20 °C de konstantan'ın (% 60 bakır + % 40 nikel) ısıl iletim katsayısı 22.7 W/m°K olduğu halde yalnız başlarına bakırın 336 W/m°K, nikelin 69 W/m°K, çeliğin içerisinde %5 karbon bulunursa k = 54 w/m°K, % 1 karbon bulunursa, k= 43 W/m°K, % 1.5 karbon bulunursa k = 36 W/m°K bulunmuştur. Bu gibi durumlarda ısı iletim katsayısının deneylerle tayini tek çıkar yoldur.

Isı iletim katsayılarının mertebeleri çeşitli maddeler için Tablo 2.1' de verilmiştir.

Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/m °K)
Gazlar	0.002 - 0.2
Yağlar	0.1 - 1.0
Su	0.5- 0.7
Sıvı metaller	10 - 100
Katılar (metal olmayan)	0.03 - 3.0
Katılar (alaşımlar)	20 - 200
Saf metaller	40 - 400

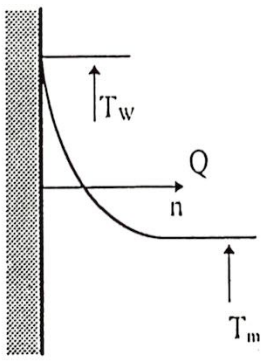
Tablo 2.1 : Çeşitli maddeler için Isı iletim katsayılarının mertebeleri (1kcal/mh°C veya = 1.163 W/m°K)

2.1.3. Konveksiyon (Isı Taşınımı):

Konveksiyon, akışkan hareketi ile enerji taşınımı işlemidir. Ortam bir sıvı veya gaz ise, akışkan hareketi ile ısı enerjisi bir bölgeden diğer bir bölgeye sıcaklık farkından dolayı transfer edilecektir. Isı transferinin en önemli konusu konveksiyondur. Isı değiştirgeçlerinde akışkanlar, katı cisimler (yüzeyler) ile birbirlerinden ayrılmış olduklarından, konveksiyon, bir yüzey ile akışkan arasındaki enerji taşınımında en önemli ısı transferi mekanizmasıdır. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi yüzey sıcaklığı T_w yüzey ile temasta bulunan akışkanın ortalama sıcaklığı T_m ise yüzey ile akışkan arasında birim zamanda ısı transferi ;

$$Q_n = h\, A\, (T_w - T_m) \qquad (2.11)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada, **h:** yüzey ısı transferi katsayısı (film katsayısı), T_m**:** bir kanal içerisindeki akışta akışkanın ortalama sıcaklığı veya bir yüzey üzerindeki akışta yüzeyden uzaktaki sıcaklık, **A:** sınır yüzey alanıdır.



Şekil 2.9 : Yüzeyde sıcaklık dağılımı

Yüzeyde akışkan hızı sıfır olduğundan yüzey ile akışkan arasındaki ısı transferi mekanizması daima ısı iletimi, bazen de ışımadır. Yüzeyden akışkana iletilen ısı, akışkan hareketi ile taşınmaktadır.

Eğer akışkan hareketi uygulanan basınç farklarından meydana geliyorsa, (örneğin ısıtılan bir borudan pompa ile akışkan devredilmesi gibi) " zorlanmış konveksiyon " dan , akışkan hareketi yoğunluk farklarından ve yer çekimi gibi tesirlerden oluyorsa (örneğin, bir sobanın veya radyatörün etrafını ısıtması gibi) " doğal konveksiyon " dan bahsedilir.

Denklem (2.11) ifadesi literatürde Newton'un soğuma yasası olarak bilinirse de bu bir yasadan ziyada orantı katsayısı olan h'ın tarifidir. Denklem (2.4) ve (2.11) ifadeleri birleştirilirse,

$$h = \frac{Q_n / A}{T_w - T_m} = \frac{-k\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_w}{T_w - T_m} \qquad (2.12)$$

yazılır. Denklem (2.12) ifadesinden anlaşılacağı gibi akışkan içerisinde veya katı cisim içerisinde sıcaklık dağılımı bilinirse Fourier ısı iletimi yasasından, yüzeyden ısı akısı hesaplanabilir. Kullanılan sıcaklık dağılımına göre, k akışkanın veya katı cismin ısı iletim katsayısıdır.

Eğer ısı akımı kcal/h, veya W (Watt), yüzey alanı m^2, sıcaklık basamağı °C/m, sıcaklık farkı °C veya °K olarak ifade edilirse (2.12) ifadesinden h'ın boyutu olarak,

$$[\,h\,] = \frac{kcal / hm^2}{{}^{\circ}C} = kcal / m^2 h {}^{\circ}C \quad \text{veya} \quad W/m^2 {}^{\circ}K$$

bulunur. SI birim sisteminde h'ın birimi olarak $W/m^2 {}^{\circ}K$ kullanılır.

Yüzey ile akışkan arasındaki konveksiyon oldukça karışık bir olay olduğundan, h'ın deneysel veya matematiksel yöntemlerle tayini oldukça güçtür. Pratikte en önemli problem, h'ın tayinidir. h, yüzey geometrisine, akım şartlarına, akışkanın fiziki özelliklerine, akışkan ile yüzey arasındaki sıcaklık farkına, geometriye ve giriş şartlarına

bağlıdır. Bu sebeplerden, yüzey ısı transferi katsayısı yüzey üzerinde noktadan noktaya değişir. Bu bakımdan yüzey ısı transferi katsayısının ortalama değeri ile yerel değerini birbirinden ayırt etmek gerekir. Yerel değeri ;

$$h_x = \frac{(Q/A)_x}{T_{wx} - T_{mx}} \tag{2.13}$$

olarak tarif edilir. Burada x- indisi yerel değeri göstermektedir. Ortalama yüzey ısı transferi katsayısı h ise bir L uzunluğu için,

$$h = \frac{1}{L}\int_0^L h_x \, dx \tag{2.14}$$

olarak tarif edilir. Pratikte önemli olan h_x'in ortalama değeridir. Çeşitli durumlarda ortalama yüzey ısı transferi katsayısının mertebeleri Tablo 2.2' de verilmektedir.

$$1 kcal/m^2h^oC = 1.163\ W/m^2{}^oK$$

Akışkan	Doğal Konveksiyon ($W/m^2{}^oK$)	Zorlanmış Konveksiyon ($W/m^2{}^oK$)
Gazlar	5-30	30-300
Yağlar	5-100	50-3000
Su (tek faz)	30-300	300-10000
Sıvı metaller	50-500	500-20000
Su kaynaması	2000-20000	3000-100000

Tablo 2.2. Yüzey ısı katsayılarının mertebeleri

2.1.4. Isıl Işıma :

Bir cismi meydana getiren elemanter tanecciklerin ısıl hareketi, elektromanyetik ışıma şeklinde enerji yayınlamalarına sebep olur. Sıcaklığın artması, tanaciklerin hareketini ve dolayısıyla ışıma şiddetini arttırır. Bu şekilde maddenin sıcaklığı neticesi yayınlanan ısıl ışıma, aslında radyo dalgaları, ışık, X- ışınları ile aynı tipte olup, yalnız dalga boyları farklıdır. Bazı cisimler bu ışıma enerjisini soğurur, bazıları yansıtır, bazıları da içlerinden daha serbestçe geçmelerine izin verirler. Yalnız mükemmel bir boşluktan serbestçe geçerler. Bu enerji dalgaları soğurgan başka bir ortamla karşılaştıklarında enerjilerini bu ortama transfer ederek, bu ortamın ısıl hareketini arttırırlar. Böylece ısı enerjisi; yayınlanan sistemden, ışımayı soğuran sisteme transfer edilmiş olur. Sistemlerden birinin sıcaklığı azalırken diğerinin sıcaklığı artar. Bütün cisimler sürekli olarak ısıl ışıma yaparlar. Yayınlanma yeğinliği, yüzey sıcaklığına ve yüzeyin cinsine bağlıdır. Böylece yüksek sıcaklıktaki bir sistemden alçak sıcaklıktaki bir sisteme, bu iki sistem uzayda birbirleri ile temas durumunda olmaksızın meydana gelen ısı akımı işlemine " ışıma ile ısı transferi " denir. Bu iki sistem arasında boşluk dahi olsa ısı transferi meydana gelir. Işıma terimi, genel olarak bütün elektromanyetik dalga olayı için kullanılır. Düşük sıcaklıklarda ışıma ile ısı transferi ihmal edilebilir.

İdeal bir radyatörden (kara cisim) toplam ısıl ışımayı veren eşitlik 1879 'da Stefan tarafından ampirik olarak verilmiş ve 1884' de Boltzman tarafından termodinamiğin birinci kanunundan hareket edilerek teorik olarak elde edilmiştir;

$$Q_r = A\ \sigma\ T^4 \qquad (2.13)$$

Bu ifade " Stefan - Boltzman ısıl ışıma yasası " adını alır.

Burada, Q_r : saatte ışıma yolu ile A yüzeyinden yayılan ısı, T: yüzeyin mutlak sıcaklığı (^oK), σ : Stefan - Boltzman sabiti (4.96×10^{-8} kcal/m^2 h K^4 veya 5.67×10^{-8} W/m^2 $^oK^4$)

Bu kara cismin yayınlama gücü, $E_b = \sigma T^4$ olarak tarif edilir. Kara cisimler arasında net ısı transferini veren ifade ;

$$Q_r = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) = A_2 F_{21} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \qquad (2.14)$$

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$$

Burada, A_1 ve A_2 cisimlerin yüzey alanları, F_{12} ve F_{21} geometrik biçim katsayıları olup iki cismin birbirlerini ne derecede görebildiğine bağlıdır. F' in değeri eşitliklere veya cisimlerin boyutlarına ve durumlarına bağlı olarak grafikler halinde verilmiştir.

Tamamen kapalı bir sistem içerisinde yayılan veya soğurgan yüzeyler arasında doğrudan doğruya ışıma ile ısı transferine ilaveten bir de dolaylı ışıma mevcuttur. Bu duruma karşılık gelen ve bütün yüzeyleri kara cisim olan sistemde ışıma ile net toplam ısı transferi:

$$Q_r = \sigma A_1 F'_{12} (T_1^4 - T_2^4) \qquad (2.15)$$

F'_{12} katsayısı çeşitli geometrik durumlar için mevcut olup, genellikle F_{12} den daha büyüktür. Her yüzey için bütün F' lerin toplamı 1 dir. A_1 için,

$$F_{11} + F_{12} + F_{13} + \ldots\ldots\ldots\ldots + F_{1n} = 1$$

ve A_2 için,

$$F_{21} + F_{22} + F_{23} + \ldots\ldots\ldots\ldots + F_{2n} = 1$$

yazılabilir. Düz ve konveks yüzeyler kendilerini göremezler; dolayısıyla $F_{11} = F_{22} = 0$

Gri yüzeylerde (yayınlama katsayıları kara cisimden az) net ışıma siyah yüzeylere nazaran daha azdır. Bu durumda ışıma ile net ısı transferi ifadesi Hottel tarafından geliştirilmiş ve aşağıda verilen genel ifade elde edilmiştir.

$$Q_r = \sigma A_1 f_{12} (T_1^4 - T_2^4) \qquad (2.16)$$

Burada f_{12};

$$\frac{1}{f_{12}} = \frac{1}{F'_{12}} = \frac{1}{\varepsilon_1} - 1 + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) \qquad (2.17)$$

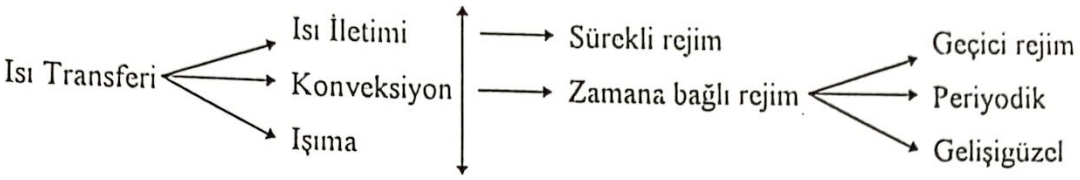
olarak tarif edilir. Yayınlanma katsayısı ε, bir cismin yayınlanma gücünün aynı sıcaklıktaki kara cismin yayınlanma gücüne oranıdır ve cismin soğurganlık katsayısına eşittir.

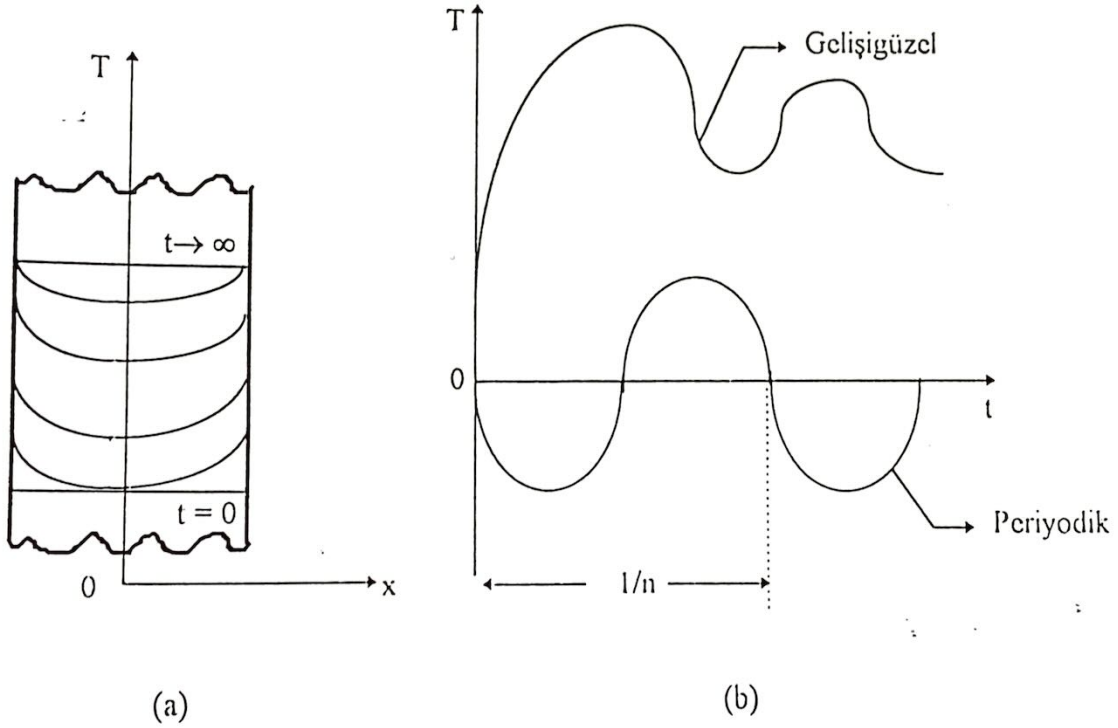
Bir yanma odasında örneğin , kazanlarda, toplam ısı transferinin hesabı oldukça karışık ve zordur. Zira, yüzeyler arasında ışımayı, gaz ile yüzeyler arasında konveksiyonu ve gazlar içerisinde bulunan su buharı ve karbondioksit gibi çok atomlu gazların ışımasını içerir.

Açıklamış olduğumuz bu üç çeşit ısı transferi mekanizması ayrı ayrı veya birlikte cereyan edebilir. Bazen biri diğerine kıyasla ihmal edilebilir.

Isı transferi sürekli rejim halinde veya zamana bağlı olabilir. Bir sistem içerisinde sıcaklık zamanla sabit kalıyorsa yani T(t)= C ise iç enerji değişimi sıfırdır ve sürekli rejim ısı transferinden bahsedilir. Eğer sistem içerisinde herhangi bir noktada sıcaklık zamanın fonksiyonu ise, T(t), ısı transferi zamana bağlıdır denir. Zamana bağlı ısı transferinde eğer yeterli derecede bekletildikten sonra sistem sürekli rejim haline gelebiliyorsa geçici rejim ısı transferi (Şekil 2.10a), zamana bağlı ısı transferinde, herhangi bir noktadaki sıcaklık periyodik olarak değişiyorsa periyodik rejim ısı transferi , zamanın gelişigüzel bir

fonksiyonu ise kısaca zamana bağlı ısı transferi olarak adlandırılır. (Şekil 2.10b). Bu durumlar şematik olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir ;





Şekil 2.10: Isı transferi rejimleri

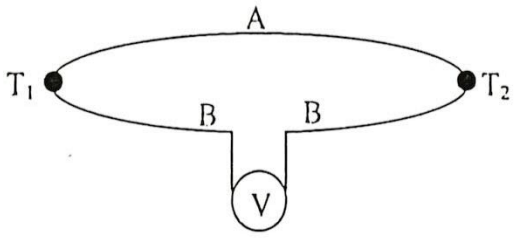
Şekil 2.10' da görüldüğü gibi $T=T_i$ başlangıç sıcaklığında bulunan bir demir levhayı, T_∞ sıcaklığında bir fırına astığımızı düşünelim. Levha zamanla ısınacak ve levha içerisinde sıcaklık zamanla artacaktır. Çok uzun bir zaman beklersek, levhanın sıcaklığı fırın sıcaklığına eşit olacaktırr. Bu son durum sürekli rejimdir, başlangıç durumu ile bu son durum arasına geçici rejim denir. Aynı levhanın T_i sıcaklığında bir akışkan içerisinde soğutulması da geçici bir rejime örnektir. İçten yanmalı bir motorun duvarlarının ısınıp soğuması periyodik rejimde ısı transferidir.

2.2. Sıcaklık Ölçümü :

2.2.1. Giriş: Madde içerisindeki ısı enerjisinin miktarının belirtilmesi açısından enerji ölçümleri gerekmektedir. Isı enerjisinin belirlenmesi için kullanılan parametre sıcaklıktır. Sıcaklık ölçmede kullanılan elemanlar şunlardır.

i. Sıvı-gaz termometreler (-50 °C - +150 °C)
ii. Bimetalik termometreler (-70 °C - +500 °C)
iii- Elektrikli termometereler (-180°C - +800 °C)
iv- Termistör (-50 °C - +280 °C)
v- Optik pyrometreler (-300°C - +2300°C)
vi- Infrared termometreler (-50 °C - +2400°C)
vii- Termoçiftler (-50 °C - +1500°C)

2.2.2. Termoçiftler :



Şekil 2.11: Termoelektrik devre

Şekil 2.11' de görüldüğü gibi birbirinden farklı iki metal T_1 ve T_2 sıcaklıklarında tutulursa, kapalı devreden bir akım geçtiği ve bu akımında " Elektromotor kuvveti " doğurduğu gözlenir. Temoçiftler ; sıcaklıkla doğru orantılı olarak direnci değişen, voltaj üretebilen, korozyona karşı yüksek dayanım gücü gösteren elemanlardır. A ve B termoçift tellerinin kısa ve ince metal alaşımlarından yapılması tercih edilir. Çünkü oluşturduğu akımın yeterince etkili olması, direncin küçük olması buna karşılık gerekir. (Callen, 1963)

Termoçiftin bir ucu sabit bir sıcaklıkta, diğer ucu değişik sıcaklıkta tutulursa Şekil 2.14 ' deki gibi bir eğri elde edilir. Bu eğrinin parabolük olduğu ve $E = aT + bT^2 +$ ..... denklemine karşı geldiği açıktır. a ve b sabitleri, termoçifti oluşturan metal çiftlenimlerinin özelliklerinden gelir. Bu denklemin sıcaklığa göre türevi alınırsa termoçiftin hassasiyeti bulunur.

$$0 = a + 2bT + \ldots..$$

E'nin maksimum ve minimum değerleri için, bu denklem 0' a eşitlenir. Buradan T'nin alacağı maksimum değer bulunur. Bu değer ;

$$a + bT_N = 0$$

buradan

$$T_N = -\frac{a}{2b} \qquad (2.18)$$

bulunur. T_N sıcaklığına " Nötral sıcaklık " denir.

Elektromotor kuvvetinin maksimum değerinde, Nötral sıcaklık - a / 2b değerini alır. Maksimum değerden sonra elektromotor kuvveti de 0' a doğru azalma gösterir ve $aT+bT^2 = 0$ ile verilen sıcaklığa da " Inversion (Dönüşüm) sıcaklığı " denir.

$$T(a-bT) = 0$$

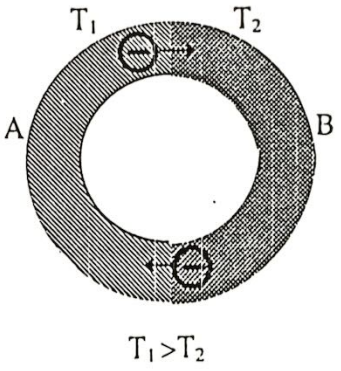
buradan dönüşüm sıcaklığı,

$$T_i = -\frac{a}{b} \qquad (2.19)$$

olur. Dönüşüm sıcaklığı ile Nötral sıcaklığı arasında $T_i = 2\,T_N$ ilişkisi vardır.

2.2.3. Termoçift İçindeki Fiziksel Olaylar :

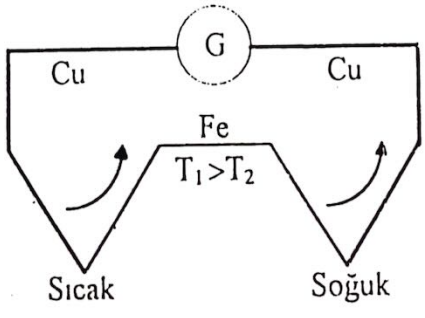
2.2.3.1. Seeback etkisi :



Şekil 2.12: Elektron akımı

Şekil 2.12' de birbirlerine temas haline olan iki ayrı metal gözükmektedir. Eğer $T_1 > T_2$ termoelektrik prensibine göre A metalinden B metaline, B metalinden A metaline doğru, halka boyunca elektron akımı oluşacak bu akıma ters yönde elektrik akımı, oluşan elektrik akımıda elektromanyetik kuvveti doğurur, oluşan elektromotor kuvvet etkisine ise " Seeback Etkisi " denir.

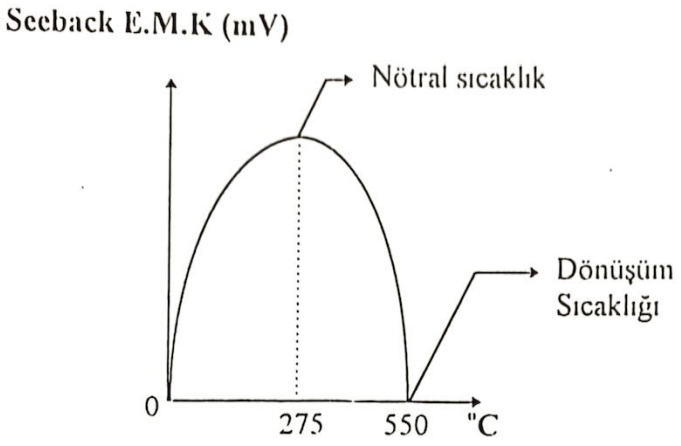
1822 de Berlin'li Thomas Johann Seeback bu olayı şu şekilde açıklamıştır. İki malzeme, aralarında bir elektrolit bulunmadan kapalı bir devre oluştururlar ve temas noktaları farklı sıcaklıklarda tutulursa devrede akım oluşturur. Termoelektrik çift ismi verilen böyle bir düzenek Şekil 2.13'de görülmekredir. (Cengel and Boles, 1994)



Şekil 2.13 : Bakır- Demir termoçifti

Şekil 2.13' de termoçift için seçilen malzemeler bakır ve demirdir. Soğuk değme noktası $T_2 = 0$ °C' de tutularak, diğer değme noktası ısıtılırsa, devredeki G galvanometresi sıcak değme noktasındaki bakırdan demire doğru geçen bir akım gösterir. Bu akımın elde edilmesi Seeback elektromotor kuvvetinin varlığını gösterir. Termoelektrik motor kuvvetleri çok küçüktür. Temas noktalarındaki sıcaklık farkı 1°C olduğu zaman bakır-demir çifti 16×10^{-6} volt mertebesinde bir elektromotor kuvveti oluşturur. Uçları birbirinin aynı sıcaklıkta bulunan üçüncü bir malzemenin devreye girmesi , elektromotor kuvvete etki etmez. Buda termoelektrik çift devresine, galvanometre, voltmetre veya potansiyometre gibi ölçü aletlerinin elektromotor kuvveti değiştirmeden girmelerini sağlar.

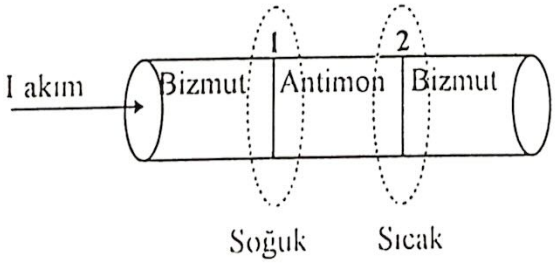
Seeback Elektromotor Kuvvetinin Sıcaklıkla Değişimi; Bakır-Demir termoçiftinin bir değme noktası yavaş yavaş ısıtılırsa akım ve dolayısıyla elektromotor kuvvetinin yaklaşık olarak 275 °C' de maksimum değerini alacak şekilde çoğaldığı görülür. Sıcaklık 275 °C' den daha büyük değerlere çıkarılırsa elektromotor kuvvet küçülerek 550 °C' den sıfır değerini alır. 550 °C' den yüksek sıcaklıklarda elektromotor kuvvetinin yönü değişir ve akım sıcak temas noktasından yani demirden bakıra doğru geçmeye başlar. Şekil 2.14' Seeback elektromotor kuvvetinin iki değme noktasının sıcaklık farklarına göre değişimi görülmektedir. Malzeme çiftlerinin çoğu için bu eğri bir paraboldür. Eğrinin max değeri aldığı sıcaklığa nötür nokta ve elektromotor kuvvetinin yön değiştirdiği noktaya dönüşüm noktası ismi verilir. Bakır-Demir termoçiftinde bu noktalar sırası ile 275 °C ve 550 °C 'dir.



Şekil 2.14: Bakır -Demir termoçift'i E.M.K. - Sıcaklık değişimi

2.2.3.2. Peltier Etkisi :

Seeback olayında gözlenen bu iki metal çiftleniminden bir akım geçirilirse, bu ısıyı akım yönüne uygun olarak, ya absorplayacak yada açığa çıkaracaktır. Eğer dışarıdan verilen akım, Seeback etkisiyle oluşan akımla aynı yönde ise ısı açığa çıkacak, tersi durumda ise ısı absorplanacaktır.

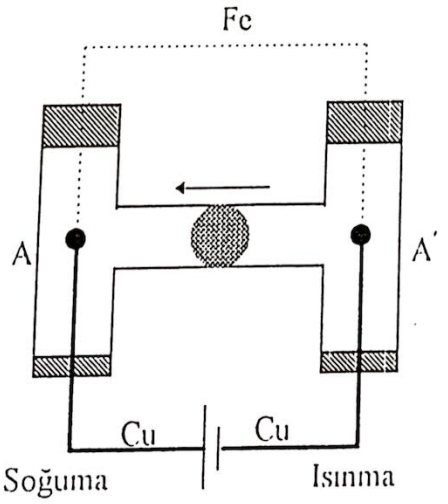


Şekil 2.15: Bizmut-Antimon-Bizmut çubuğu

Bizmut - Antimon - Bizmut'tan oluşan çubuğun eklem yerleri farklı sıcaklıklarda tutulursa Seeback etkisiyle bir akım oluşur. Eğer Bizmut'tan Antimon'a doğru bir akım uygulanırsa Eklem 1'de termoelektrik akımın dışarıdan uygulanan akımla ters yönde olması sebebiyle sıcaklığın absorplanması, Eklem 2'de hem elektrik akımının hem de

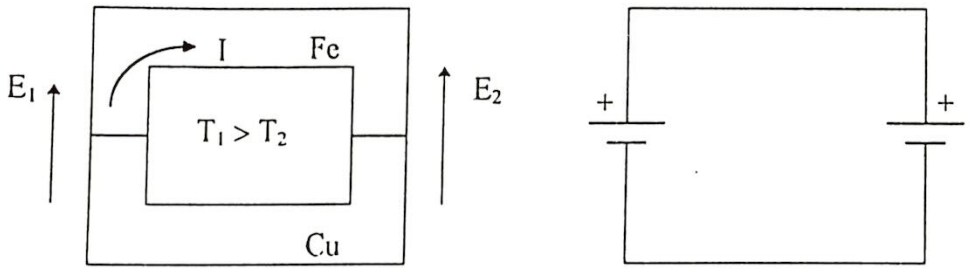
termoelektrik akımın aynı yönde olmasından ısı açığa çıkar. Bu olaya " Peltier Etkisi " denir. Peltier birbirinin aynı olmayan iki malzemeden akım geçirildiği zaman, enerjinin bir temas noktasında absorplanıp diğerinde serbest hale geçtiğini ifade etmiştir.

Bu ısınma ve soğuma Şekil 2.16 ' da görülmektedir. Bir bakır-demir termoelektrik çifti, Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, bir H tüpü içinde birbirine lehimlenmiştir. Kapiler tüp içindeki bir damla yağ A ve A' temas noktalarını birbirinden ayırmaktadır. Bakırdan demire doğru bir akım geçirildiği zaman A lehim noktası soğumakta A' noktası ısınmakta ve A' civarında hava basıncı A dakinden büyük olmaktadır. Bu sebeple yağ damlası A ya doğru hareket eder. Akımın yönü değiştirilirse damla A'nın ısınıp A' ' nün soğuduğunu göstermek üzere A' ye doğru hareket eder. Bu olaya " Peltier etkisi " denir ve bu deneyle olayın tersinir olduğu anlaşılır. Aynı akım bir yönde geçerken absorplanan ısı, aksi yönde geçerken verilen ısıya eşittir. Meydana gelen ısının akımın birinci kuvveti ile orantılı olduğu bulunmuştur.



Şekil 2.16: Peltier etkisi

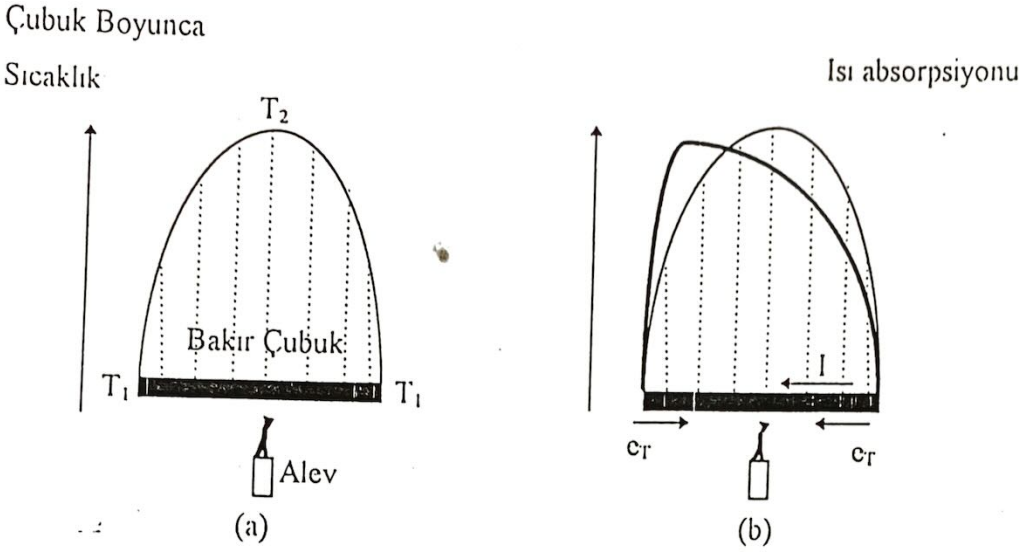
Akım bakırdan demire doğru geçtiği zaman A nın enerji absorplaması lehim noktasında Bakır ' dan Demir' e doğru bir E_1 elektromotor kuvveti olduğunu gösterir. A'' de enerji verilmesi A'' de Bakır' dan Demir' e doğru bir E_2 elektromotor kuvvetinin olduğunu gösterir. Akım E_1 yönünde geçerse, yani elektrik alanı yönünde olursa akım üzerine iş yapılır ısı absorplanır ve lehim noktası soğur. Akım E_2 boyunca geçerse, akım iş yaparak ısı meydana getirir ve bu lehim noktasını ısıtır. Bunun bataryalarla benzerliği Şekil 2.17' de görülmektedir. E_1 ve E_2' nin değerleri kullanılan malzemelere ve lehim noktalarının mutlak sıcaklıklarına bağlıdır. Eğer bir lehim noktası diğerinden daha sıcaksa, örneğin ikiside 550 °C ' den aşağıda bulunan bakır-demir termoçiftinde E_1 , E_2' den büyük olup akım Şekil 2.17' deki yönde geçer.



Şekil 2.17: Elektromotor kuvvetinin yönü

2.2.3.3. Thomson Etkisi :

Gerçekte eklem yapısının olması elektromotor kuvvetin doğması için bir sebep değildir. Bir iletken boyunca sıcaklık gradyentinin olması Seeback etkisini oluşturduğu gibi, bu iletkene akım uygulandığında ısı absorplanması ve ısı açığa çıkması söz konusudur. Bu olay ilk kez Thomson tarafından gözlenmiş ve " Thomson Etkisi " adı verilmiştir. 1854' te William Thomson termoelektrik çifte sadece lehim noktalarındaki Peltier elektromotor kuvveti enerji kaynağını teşkil ederse, Seeback elektromotor kuvvetinin sıcaklığın birinci kuvvetine bağlı olması gerektiğini göstermiştir. Şekil 2.18.



Şekil 2.18: Thomson açıklaması

Thomson bundan sonra termoelektrik çiftte diğer bir elektromotor kuvvet kaynağı daha bulunduğunu ve bunun malzemeler arasındaki sıcaklık farkına bağlı olduğunu (sıcaklık gradyenti) söylemiştir. Bu elektromotor kuvvetin varlığı şu şekilde açıklanabilir; Bir bakır çubuk ortasından T_2 sıcaklığına kadar ısıtılır ve uçları T_1 alçak sıcaklığında tutulursa çubuk üzerinde Şekil 2.18a' da görülen, simetrik sıcaklık gradyenti oluşur. Her noktadaki ordinatın değeri çubuğun bu noktadaki sıcaklığının bir ölçüsüdür. Bu çubuktan bir I akımı geçirilirse, çubuk üzerindeki sıcaklık dağılımı bir miktar değişecek ve Şekil 2.18b' deki gibi olacaktır.

Bu sonucu, çubuk üzerinde bir e_T alektromotor kuvveti meydana gelmiştir şeklinde izah edebiliriz. Çubuğun bir ucunda akımın yönü e_T ile aynı olup enerji absorplanmakta, diğerinde ise enerji verilmektedir.

Deney ve teori,
$$e_T = \int_{T_2}^{T_1} \sigma_T \, dT \qquad (2.20)$$

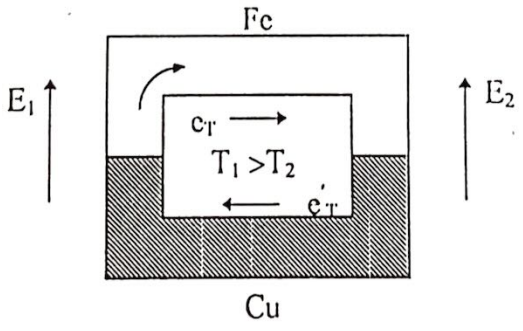
olduğunu göstermektedir. Burada e_T, sıcaklıkları T_1 °K ve T_2 °K olan iki nokta arasındaki, birim sıcaklık farkına isabet eden elektromotor kuvvettir. σ_T faktörüne, Thomson katsayısı denir ve değeri birkaç $\mu(V/^oK)$ mertebesindedir.

Thomson elektromotor kuvvetleri bir noktada kalmayıp, çubuk üzerinde sıcaklık gradyanı olan bütün noktalara dağılmıştır. e_T' nin değeri malzemeye ve malzeme üzerindeki sıcaklık gradyentine bağlıdır.

Bu analizlerden E Seeback elektromotor kuvvetinin, dört elektromotor kuvvetinin toplamı olduğu anlaşılmaktadır. Bunlar lehim noktalarındaki E_1 ve E_2 Peltier elektromotor kuvvetleri ile malzemelerin birindeki e_T, ve diğer malzemedeki e_T' Thomson elektromotor kuvvetleridir. O halde Seeback elektromotor kuvveti;

$$E = E_1 + E_2 + e_T + e_T' \qquad (2.21)$$

olur. Bu elektromotor kuvvetler Şekil 2.19' da görülmektedir. 550 °C' den alçak olan T_1 sıcaklığı için akımda bu şekil üzerinde gösterilmekredir.



Şekil 2.19: Seeback elektromotor kuvvetlerinin gösterimi

2.2.4. Termoçift Metaller Ve Özellikleri :

Termoelektirik çiftlerin elektromotor kuvvetleri çok küçük (mV mertebesinde) olduğundan elektrik enerji kaynağı olarak kullanılmaları faydalı değildir. Bunlar pratikte sıcaklık, sıcaklık farkı ve radyo tertiplerindeki yüksek frekanslı alternatif akım ölçülerinde

kullanılırlar. Termoelektrik çiftler çok ince tellerden yapıldıklarından değme noktasının ısı kapasitesi çok küçük yapılabilir. Bu tertipler ısı muhtevaları çok az olan sistemlerin sıcaklıklarını ölçmede kullanılabilir.

Metallerin bir çok kombinasyonları termoçiftlerin iyileştirilmesi için yapılır. Bütün tellerin kombinazosyanları Sıcaklık-E.M.K arasındaki linerliği oluşturur. Sıcaklığın her değişmesine karşı gelen E.M.K'nın değişmesiyle metal alaşımlarının iyileştirilmesine gidilmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklığa, basınca, korozyona dayanıklılık gibi özelliklere de sahip olmasından dolayı onbinlerce metal bileşiğinin olmasına rağmen termoçift özelliği gösterebilen beş çeşit metal alaşımı vardır. Ayrıca termoçiftlerin dış yüzeylerinin Magnezyum Oksit tozu ile kaplanmasıyla mekanik ve ölçme teknik avantajları arttırılarak, nükleer santraller ve büyük kimya tesislerinde kullanılabilme olanağı bulunmaktadır. Bu tür termoçiftlere " Mental Termoçiftler " denilmekte ve avantajları, çok uzun olabilmesi, bükülebilmesi, zor ve erişilmesi güç yerlere getirilebilmesi, yüksek vibrasyona dayanıklılık gösterebilmesi, oksijen ve zararlı gazlara karşı korunumlu olması, yüksek ömürlü olması, diğer termoçiftlerin dış çaplarına göre 10 kat ince olmasından dolayı algılama gücünün yüksek olmasıdır.

2.2.4.1. Bakır - Konstantan Termoçiftleri (Tip-T)

Konstantan (CuNi), Bakır-Nikel alaşımına verilen addır. Bu alaşımın %55 Bakır, %45 Nikel'dir. Cu/CuNi termoçift'inin, diğer termoçiftlere göre en büyük üstünlüğü, çok düşük sıcaklıkları ölçmede kullanılabilmesidir. Ayrıca korozyona karşı dayanım özelliği göstermesidir. Ölçme aralığı -210 °C ile +1200 °C dir. (GoodFellow, 1994)

2.2.4.2. Demir - Konstantan Termoçiftleri (Tip-J)

Fe/CuNi termoçiftleri atmosfer şartlarında kullanıma uygundur. 538 °C ' nin üzerindeki sıcaklıklarda oksitlenme oranları artar. Ölçme aralığı -210 °C ile +1200 °C arasındadır.

2.2.4.3. Kromel - Alumel Termoçiftleri (Tip-K)

NiCr / NiAl termoçiftleri, sanayii tipi termoçiftlerdir. Serbest oksijenin fazla olarak bulunduğu oksidasyonlu atmosferik yerlerde kullanılmak için geliştirilmiştir. Oksijenli ortamlarda bu tip termoçiftlerin termoelektrik karakterleri değişmeye meyillidir. En ekonomik kullanım şartları 1140 °C'nin üzerindedir. Çalışma aralıkları -270 °C ile +1320 °C dir.

Kromel-Alumel ve Demir-Konstantan termoçiftlerinin fırın sıcaklığını gösterme ve kontrolünü sağlama gibi uygulama olanakları vardır. Korozyona karşı çok dayanıklıdırlar.

2.2.4.4. Platin - Platinrhodyum (Tip-S)

Bu tip termoçiftler %10 ve %13 'lük rhodyum 'un katılmasıyla oluşurlar, fiziksel olarak pek farklı değillerdir. Daha ziyade yüksek sıcaklıkların ölçülmesine kullanılır. Oksitlenmeye ve korozyona karşı yüksek dayanım gücü gösterirler. Çalışma aralığı -50 °C ile +1770 °C dir.

2.2.4.5. Kromel - Konstantan (Tip-E)

NiCr / CuNi termoçiftleri, Cu-CuNi termoçiftler ile benzer özellikler gösterirler. Çalışma aralığı -270 °C ile +1000 °C

3. GÖRÜNTÜ İŞLEME

3.1.Giriş:

Görüntü işlem, iki boyutlu bir görüntünün bilgisayar yardımıyla incelenmesidir. İki önemli uygulama alanı sebebiyle, günümüzde çok önemli bir yer edinmiştir.

i- Resimleme,
ii- Bilimsel verilerin incelenmesi.

Görüntü işleme uzay teknolojisinin başlaması ile çok daha önemli bir yer edinmiştir. Uzayda çekilen veya elektron mikroskobu ile alınan görüntülerin daha net ve anlaşılır hale getirilmesi, görüntü işlem yöntemleriyle yapılabilir. Ayrıca otomatik parmak izi tanımlama, X-ışınları ile kan örneklerinin incelenmesi gibi görüntü algılamanın var olduğu her yerde görüntü işleme yöntemleri uygulanmaktadır.

3.2.Dijital Görüntü İşleme :

Dijital görüntü, bilgisayar ortamında bir görüntünün tanımlanmasıdır. Analog görüntü daha ziyade scene (manzara)' lerin herhangi bir ortamda oluşturulmasıdır. Görüntü bir scene' in 2 boyutlu bir fonksiyonla tanımlanmasıdır ve genellikle resim olarak adlandırılır. Görüntü, scene radyometrik bilgilerinin bir sensör yardımıyla görüntüye dönüştürülmesi ile elde edilir.

Görüntü, bir görüntü fonksiyonu ile ifade edilir.

$$f(x, y) \quad \text{veya} \quad f(x_1, x_2) \tag{3.1}$$

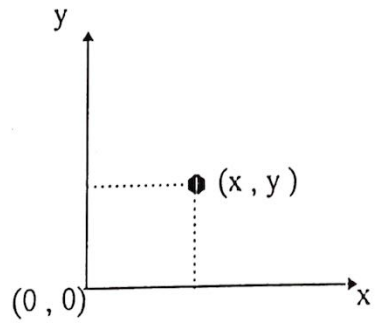
Burada görüntü fonksiyonunun bağımsız değişken argümanları (x,y veya x_1,x_2) görüntü düzlemindeki sensörün fiziksel yerleşimlerine göre uzaysal koordinatlardır. f ise şiddettir.

Hareket eden görüntüler için görüntü fonksiyonu ise $f(x, y, t)$ ile gösterilir. Burada t, zaman' dır.

Bir görüntü, tarayıcılar, uydu tasarımları, TV kameralar ve görüntü tüpleri ile elde edilebilir.

Dijital görüntüleme işlemleri bilgisayarlar ile yapılır. Bilgisayarla bir nesne görüntüsünün çizilebilmesi ve bu görüntü üzerinde çeşitli matematiksel dönüşümlerin uygulanabilmesi için nesnenin tanımlanması gerekir. Bu nesnenin tanımlanması, seçilen uygun bir koordinat sistemine göre noktalar ve bunları birleştiren doğrularla yapılır. Nesne üzerinde herhangi bir dönüşümün gerçekleştirilebilmesi doğrudan bu noktalar kullanılarak yapılır. Örneğin, nesnenin büyüklüğünün değiştirilmesi, bir yerden başka bir yere taşınması, nesnenin döndürülmesi, bir tarafa doğru gerdirilmesi gibi dönüşümlerin yerine getirilmesi, nesneyi tanımlayan noktaların herbirine bu dönüşüm işlemlerinin ayrı ayrı uygulanmasıyla yapılır.

Noktalar sıfır boyutlu olup, uzayda bir yeri belirtir. Bu noktalar kullanılarak doğruların ve doğrular kullanılarak da çeşitli nesnelerin çizimini yapmak mümkündür. Noktalar iki boyutlu veya üç boyutlu bir koordinat sisteminde gösterilebilir.



Şekil 3.1: Bir noktanın koordinat ekseninde gösterimi

Matematiksel olarak bir nokta, matris formunda gösterilebilir. Noktaların matris şeklinde tanımlanması, dönüşüm işlemlerinin iyi anlaşılması ve yazımını sağlar. Nokta matris olarak iki şekilde gösterilebilir.

i- bir satırlı ve iki sütunlu bir matris olarak

$$P=[\,x,\ y\,],$$

ii- iki satırlı ve bir sütunlu bir matris olarak

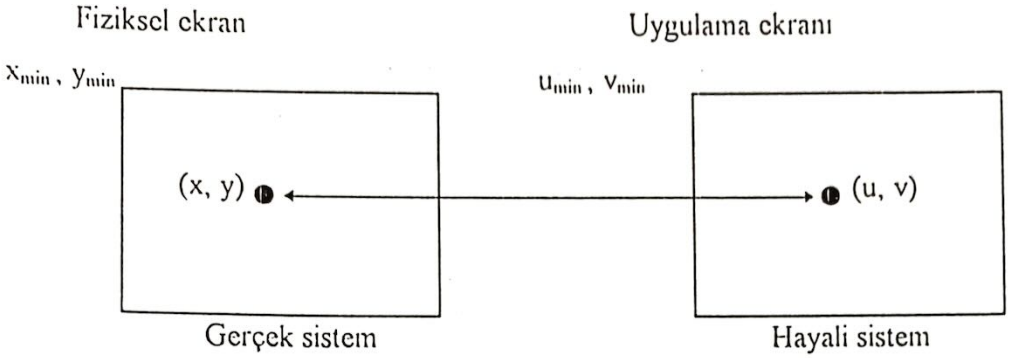
$$P=\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Üç boyutta ise $P=[\,x,\ y,\ z\,]$ veya $P=\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ şeklindedir.

Bilgisayar ekranında (fiziksel ekran) bu noktalar piksel olarak tanımlanır. Fiziksel ekranın koordinat sistemi sol üst köşesi orjin (0,0) olmak üzere x ekseni sağa doğru ve y ekseni aşağı doğrudur.

Fiziksel ekranın piksel sayısı olarak, boyutları yetersizdir. Örneğin Hercules grafik adaptörü için tüm çizim 720x348 piksellik bir çizim alanı ile sınırlıdır. Yapılan çizimler bu ekran sınırlarını aştığı vakit, aşan kısımlar ekranda görülmeyecektir. Bu problemin çözülmesi, çizim koordinatlarının 1'den küçük bir katsayı ile çarpılarak belli bir oranda küçültülmesiyle veya ekran boyutlarının relatif olarak daha büyük ölçeklerde tanımlanmasıyla gerçekleştirilir.

Uygulama koordinat sistemi piksel sayısına göre belirli boyutlara sahip fiziksel grafik ekranın daha büyük veya daha küçük ölçeklerde tanımlandığı hayali bir kartezyen koordinat sistemidir.



Şekil 3.2: Fiziksel ve Uygulama Ekranın gösterimi

Bir nesneye uygulanabilecek dört temel dönüşüm işlemi vardır. Bunlar; konum değiştirme, ölçeklendirme, meyillendirme ve döndürmedir.(Erdun, 1993)

3.3.Görüntü İyileştirme:

Elde edilen görüntüler net ve anlaşılır olmayabilir. Örneğin uydudan çekilen resimler flu (net olmayan) olabilir veya bir mikroskoptan alınan görüntüler tam anlaşılır olmayabilir. Ayrıca elde edilen görüntüler çok fazla gürültülü veya görüntüler üzerinde tahribatlar meydana gelebilir. Görüntü iyileştirme, düzeltme ve onarma işlemleri ile daha net resimler elde edilir. Görüntü iyileştirme işlemleri gerçek görüntüyü değiştirmez.

Görüntü iyileştirme işlemleri iki bölümde ele alınır.

i- Uzaysal Domain ,

ii- Frekans Domain.

3.3.1. Uzaysal Domain :

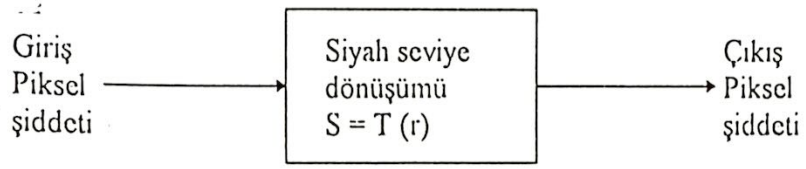
Burada görüntü düzleminin kendisi alınır ve pikseller üzerinde doğrudan iyileştirme yapılır. Elimizde bulunan görüntü f (x, y) ile gösterilirse,

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \qquad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada T, her piksele teker teker uygulanan dönüşüm fonksiyonudur. S; elde edilen görüntünün parlaklık seviyesi, r; giriş görüntülerinin parlaklık seviyeleri olarak tanımlanırsa,

$$S = T(r) \qquad (3.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bu dönüşüm şematik olarak aşağıdaki gibidir ;



Şekil 3.3. Dönüşümün şematik gösterimi

3.3.2. Frekans Domain :

Burada görüntünün Fourier transformu alınır ve iyileştirme işlemleri yapılır. Görüntü transform edilerek, frekans boyutunda elde edilir.

f (x, y) ; Elimizdeki görüntü

h (x, y) ; Görüntüye uygulanan fonksiyon

g (x, y) ; Dönüşüm fonksiyonu uygulandıktan sonra elde edilen görüntü olmak üzere,

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \qquad (3.4)$$

Convulation teoremi yazılır. Bu fonksiyonların fourier transformları F(u ,v), H(u ,v) , G(u ,v) olmak üzere

$$f(x)*g(x) \Leftrightarrow F(u)G(u)$$
$$f(x)g(x) \Leftrightarrow F(u)*G(u)$$

teoremleri yazılır. Uygulama koordinat sisteminde, H(u,v) uygulanan fonsiyon olmak üzere;

$$G(u, v) = H(u, v)\, F(u, v) \qquad (3.4)$$

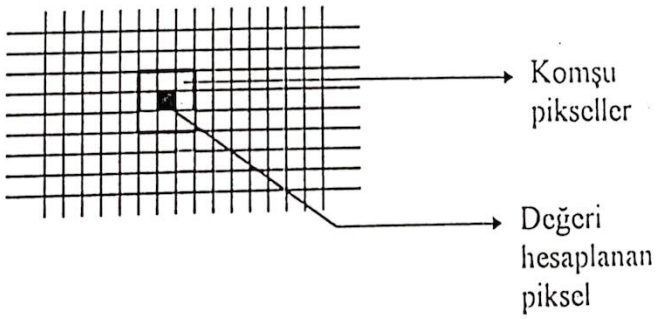
yazılırsa, G(u,v)' nin ters Fourier'i, g(x,y)' yi verir.

$$g(x, y) = \mathcal{F}^{-1}[H(u,v)\, F(u,v)] \qquad (3.5)$$

3.4. Image Smoothing (Görüntü Düzeltme) :

Görüntü düzeltme işlemleri 5 farklı yöntemle yapılabilir. Bunlar aşağıda sırasıyla kısaca anlatılmıştır.

3.4.1. Neigbourhood Averaging (Komşuluk Ortalama) :



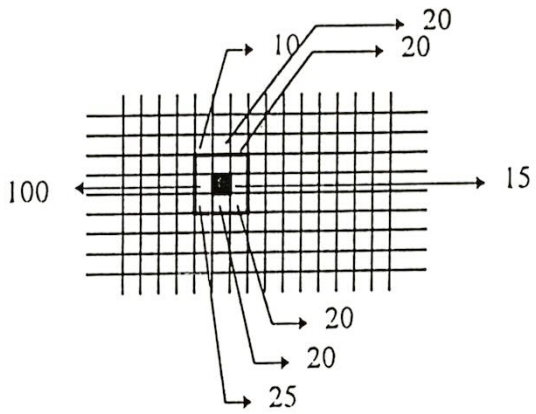
Şekil 3.4. Neigbourhood Averaging

Şekil 3.4'de koyu olarak gösterilen pikselin 8 komşusu vardır. Komşu piksellerin değerlerinin ortalaması bu piksele atanır. Görüntü taranıp tüm piksellere aynı işlem yapılarak, bütün piksellerin komşuları ile ortalama bir değere sahip olması sağlanır.

Oluşan yeni görüntü, $$g(x, y) = \frac{1}{M}\sum_{n,m} f(n,m) \qquad (3.6)$$

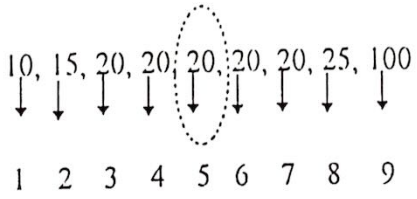
olarak elde edilir. Burada, g (x, y); filtrelenmiş görüntü fonksiyonunu, f(n,m) ise pikselin komşularını simgeleyen matris fonksiyonudur.

3.4.2. Median Filter (Medyan Filtre) :



Şekil 3.5 : Median Filter

Şekil 3.5'de koyu olarak gösterilen pikselin değeri 20 dir. Diğer piksellerin değeri şekilde gösterilmiştir. Koyu olarak gösterilen pikselin değeri, diğer komşu piksellerin değerlerinin küçükten büyüğe doğru sıralanıp, en ortadaki değerin seçilmesiyle bulunur. Buradaki komşu değerler sıralanırsa, aşağıdaki durum elde edilir.



Görüldüğü gibi ortalama değer 20 dir. Bu değer, şekilde koyu olarak gösterilen piksele atanır. Bu işlem görüntünün tüm piksellerine uygulanırsa, böylece piksellerin birbirlerine göre çok farklı değerlerde olması engellenir. Örneğin değeri 100 olan piksel

diğer piksellere göre daha parlaktır. Bu işlemin sonunda bu pikselin değeri yaklaşık 25 olur. Böylece görüntüdeki bu parlak nokta veya noktalar yok edilmiş olur.

3.4.3. k Closest Averaging (En Yakın k Ortalama):

Yukarıdaki işlemin benzeridir. Burada yalnızca seçilen k kadar pikselin orta değeri atanır. Örneğin piksel değeri 22 olan pikselin komşu piksel değerleri, 17, 25, 10, 13, 22, 30, 22, 40 ise ve k = 5 seçilirse ($1 \leq k \leq 8$) pikselin değeri , sıralama işlemi yapıldıktan sonra seçilen 5 değerin orta değerinin alınmasıyla bulunur.

10, 13, 17, 22, 22, 25, 30, 40

Bu pikselin değeri ; (13+17+22+22+25)/5 = 19.8

Görüntü tüm pikseller için aynı şekilde taranarak düzeltilir. Burada , k seçimi için bir sınırlama yoktur.

3.4.4. Low Pass Filter (Alçak Frekans Filtre):

Görüntünün Fourier transformu alınarak frekans domainine geçilir. Ve seçilen bir frekansın üstündeki değerler atılarak veya kesilerek filtreleme işlemi yapılır.

$$G(u,v) = H(u,v)\,F(u,v)$$

uygulanan fonksiyon,

$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & D(u,v) \leq D_0 \\ 0 & D(u,v) > D_0 \end{cases} \qquad (3.7)$$

Burada D_0 katot frekansıdır.

3.4.5. High Pass Filter (Yüksek Frekans Filtre):

Görüntüde yüksek frekanslar kenarlara karşılık gelir. Bunlar keskinleştirilip görüntü daha belirgin hale getirilebilir. Bu filtreleme metodunda alçak frekanslar kesilerek yüksek frekansların belirginleştirilmesi yapılır. Uygulanan fonksiyon,

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & D(u,v) \le D_0 \\ 1 & D(u,v) \rangle D_0 \end{cases} \qquad (3.8)$$

şeklindedir.

3.5.Görüntü Onarma :

Görüntü onarma tekniklerinde bozunma sebepleri bilindiği için, iyileştirme işlemlerinden farklı işlemler yapılmaktadır. Burada bozunma modellenerek yine görüntü fonksiyonuna çeşitli fonksiyonlar uygulanarak onarım işlemleri yapılmaktadır.

$f(x, y)$; elimizdeki görüntü fonksiyonu,

$\eta(x, y)$; gürültü fonksiyonu olmak üzere,

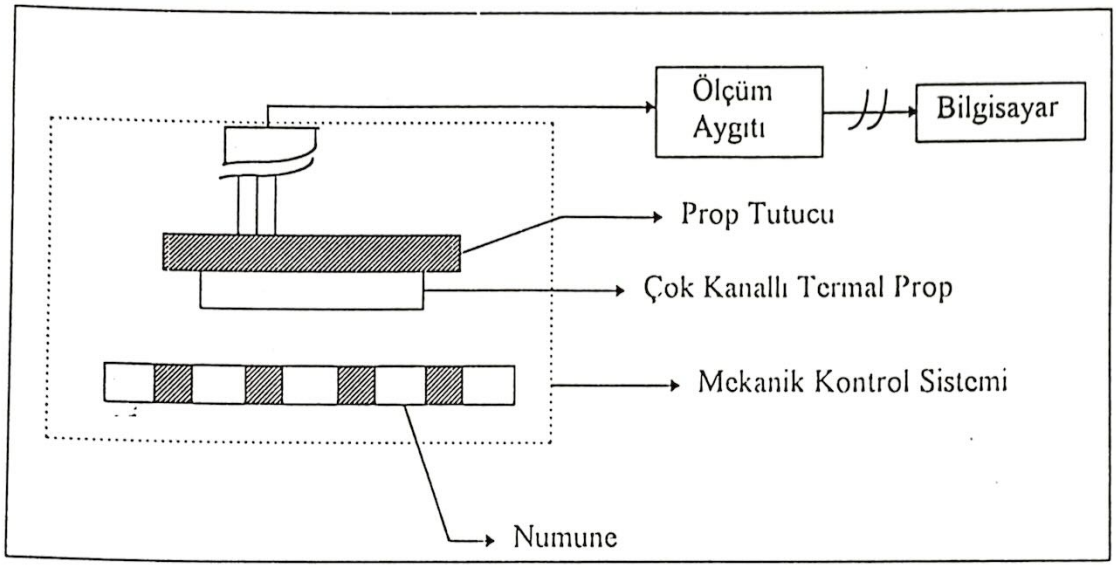
$g(x, y)$; gürültülü görüntü fonksiyonu,

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y) \qquad (3.9)$$

şeklinde yazılır. (Pratt, 1991)

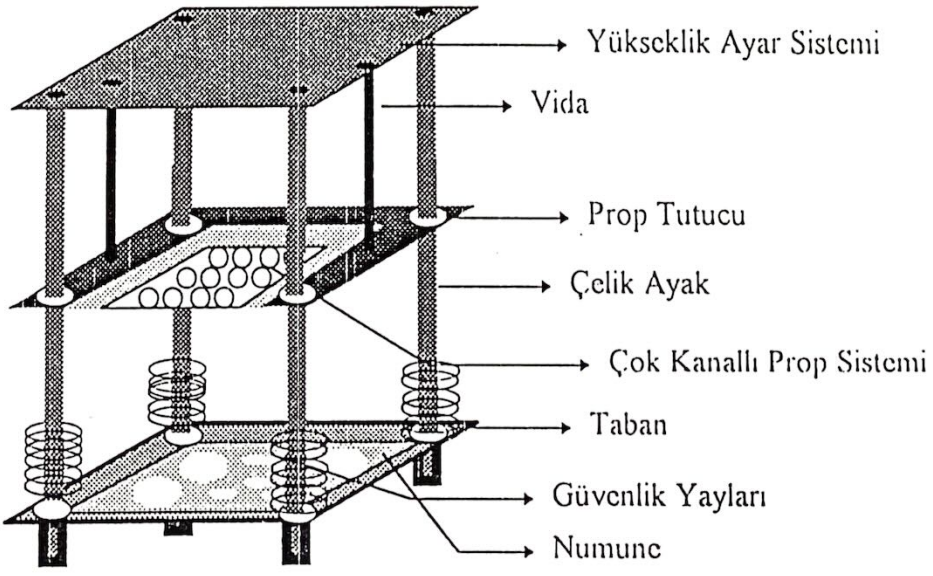
4. AYGIT VE DENEY

4.1. Aygıt :



Şekil 4.1 : Çok Kanallı Termal Mikroskop'un Şematik Gösterimi

Çok Kanallı Termal Mikroskop'un şematik diyagramı Şekil 4.1'de gösterildiği gibidir. Çok Kanallı Termal Mikroskop 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla, numune, çok kanallı termal prop sistemi, ölçüm aygıtları ve bilgisayardır. Numune, prop sistemi ve prop tutucu Mekanik Kontrol Sistemi'nin içine yerleştirilmiştir. (Şekil 4.2)

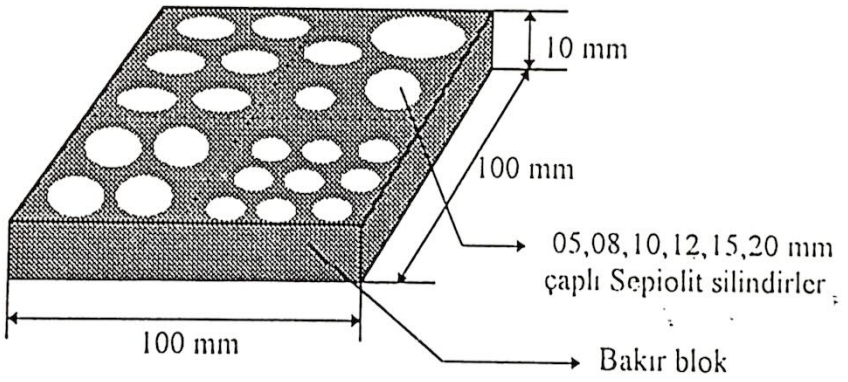


Şekil 4.2 : Mekanik kontrol Sistemi

Mekanik kontrol sistemi Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi 127x152x13 mm^3 boyutlarında alüminyum taban, 10 mm çapında, 100mm yüksekliğinde çelik çubuklar, prop sistemi ve yükseklik ayar sisteminden oluşmaktadır. Prop tutucu 4 silindir çubuk üzerinde ±z yönünde yükseklik ayar sistemi ile hareket edebilmektedir. Yükseklik ayar sistemi 127x152x1 mm^3 ebatlarında çelik plaka ve yükseklik ayarının yapılmasını sağlayan vidalardan oluşmaktadır. Bu vidalar yardımı ile prop sistemi ayarlanarak numune üzerine güvenli kontak yapılır. Taban ile prop tutucu arasına yerleştirilen yaylar ise numuneye prop sisteminin ani inişlerini engellemek için yapılmıştır. Bu şekilde uçları çok hassas olan termoçiftler korunmuş olur.

Mekanik kontrol sisteminin içinde bulunan numune, çok kanallı prop sistemi ve prop tutucu aşağıda detayları ile açıklanmaktadır.

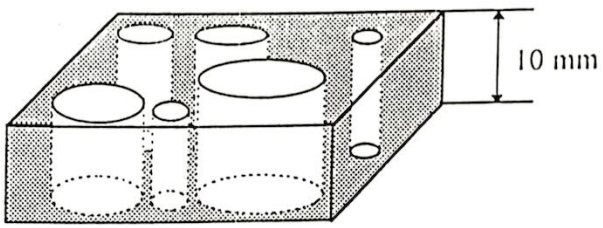
4.1.1. Numune:



Şekil 4.3 : Numune

Numune, Şekil 4.3 ' te görüldüğü gibi 100x100x10 mm^3 boyutlarında bakır blok ve 05, 08, 10, 12, 15, 20 mm çaplarında sepiolit silindirlerden oluşmaktadır. Numune şu şekilde hazırlanmıştır. Bakır blok üzerine 05, 08, 10, 12, 15, 20 mm çaplarında bir matkap ile delikler açılarak, yine bu çaplarda hazırlanan sepiolit silindirler bu deliklere yerleştirilmek üzere hazırlandı. Sepiolit silindirler bakır numune üzerindeki boşluklara yerleştirilebilmek için öncelikle bu çaplara yakın yontuldu. Bu silindirler içindeki nemin atılması için Nüve marka etüv içinde 110 °C sıcaklıkta 1 saat tutuldu.

Sepiolit malzeme tip şeklinde oyulduktan ve içindeki nemin atılması için fırında 1 saat tutulduktan sonra bakır blok üzerindeki boşluklara, üzerine basınç uygulayarak sokuldu. Bu sırada bakır blok dışında kalan kısımlar keski makinesi ile kesildi. Bakır blok ile sepiolit silindirlerin yüzeyde tam kontaktının sağlanması için zımpara ile iyice zımparalandı. Bu şekilde numune termal mikroskoptan yüzey görüntüsü alınmak üzere hazırlandı.

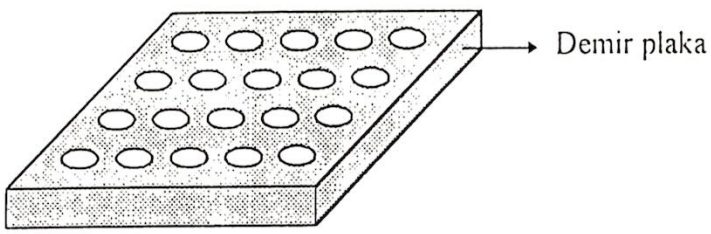


Şekil 4.4: Seramik silindirlerin hazırlandığı demir kalıp.

Şekil 4.4 ' te ileriki çalışmalarda bakır blok içine yerleştirilmesini düşündüğümüz yumuşak malzemelerin hazırlanması için kullanacağımız kalıp gösterilmektedir. Bu kalıplar bakır blok üzerindeki boşluklarla aynı çaplarda hazırlanmıştır. Bu sebeple buradan çıkarılan silindirler kolayca bakır blok içine yerleştirilebilir.

4.1.2. Prop Sistemi :

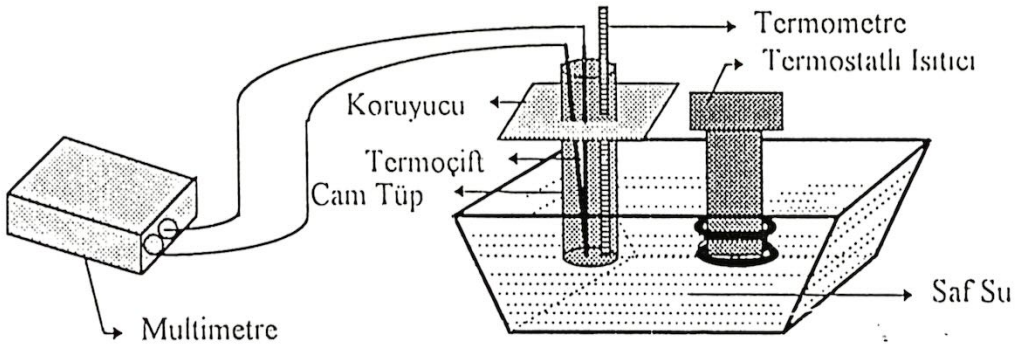
Çok Kanallı Termal Mikroskop'un en önemli kısmı prop sistemidir. Prop sistemi numune yüzeyinin sıcaklığını ölçmek için kullanılır. Termal prop sistemi 6x5 matriksinde 30 adet termoçiftten oluşmaktadır.



Şekil 4.5 : Termal Prop Sistemi

Termal prop sistemi bir prop tutucu içine yerleştirilmiştir. Bunu yapmaktaki amacımız, prop sisteminde meydana gelebilecek herhangi bir arızaya heran müdahale edebilmektir. Aksi taktirde prop sisteminin arızalanması veya değiştirilip başka bir prop sisteminin kullanılmasına olanak sağlanmamış olurdu. Şekil 4.2 'de mekanik kontrol sisteminde prop sisteminin prop tutucu içine nasıl yerleştiği gösterilmektedir.

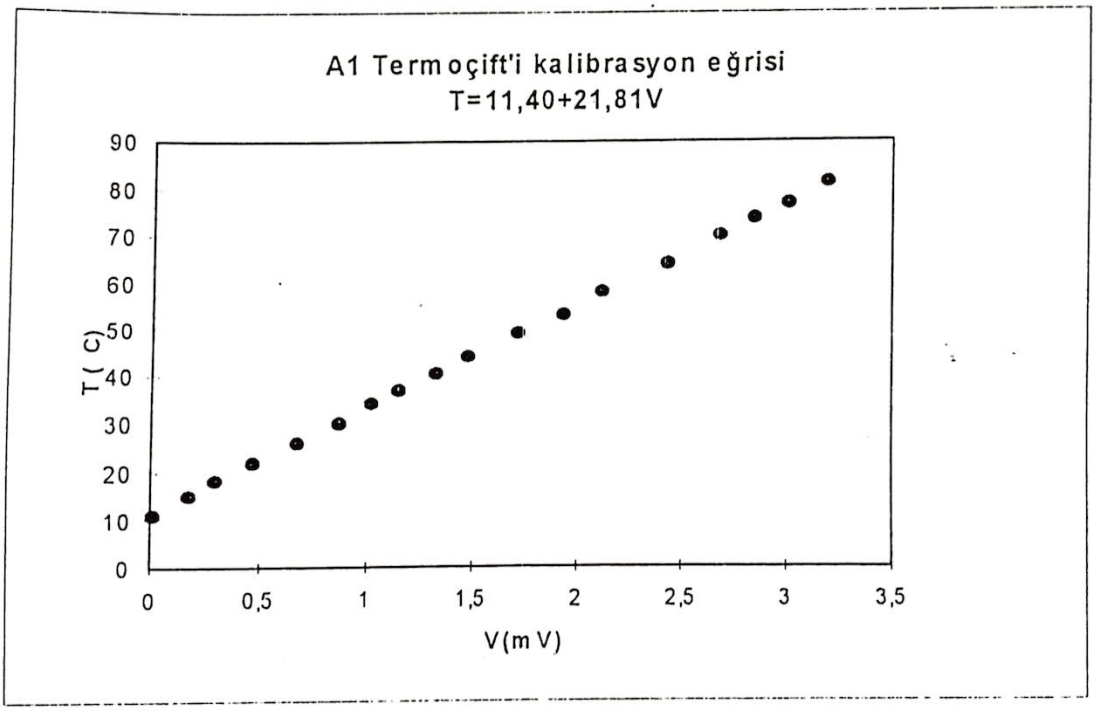
Termoçift olarak kullandığımız malzeme Demir-Konstantan'dır. Bu termoçift'ler 0,2mm çapında demir ve konstantan tellerinin punto kaynağı ile kaynatılmasıyla elde edilmiştir. Bu termoçift'ler izole edilmek için ithal yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Demir Konstantan -210 °C ile +1200 °C arasında sıcaklığı ölçebilmektedir. Termoçiftler demir plaka içinde matkapla açılan deliklere yerleştirilmeden önce herbiri tek tek kalibre edilmiştir. Termoçift' lerin kalibrasyonunda Şekil 4.6' da gösterilen düzenek kullanılmıştır.



Şekil 4.6 : Termoçift'lerin Kalibrasyon Düzeneği

Termoçift' lerin kalibrasyonunda Lauda Pywe(1.6 kW) marka termostatlı ısıtıcı kullanıldı. Bu cihaz içinde bulunan saf suyu istenilen sıcaklıkta tutabilmektedir. Kabın içinde bulunan saf su içine bir cam tüp yerleştirildi. Bu cam tüp içine termoçift ve bir termometre konuldu. Cam tüpün üst kısmı koruyucu bir plaka ile kapatıldı. Bu, termoçift'in soğuk noktalarında, suyun buharlaşması ile sıcaklık değişikliğine sebep olmamak için yapıldı. Termostatlı ısıtıcı ile saf suyun sıcaklığı belli bir sıcaklığa getirildi. Bu sırada cam tüp içinde bulunan termometreden termoçift'in sıcak değme noktasının sıcaklığı ve multimetreden, bu sıcaklık farkının Seeback elektromotor kuvveti yani

sıcaklığı ve multimetreden, bu sıcaklık farkının Seeback elektromotor kuvveti yani potansiyel farkı ölçüldü. Değişik sıcaklıklarda aynı işlem tekrarlanarak A1, A2, A3, A4, A5, B1,B2,..... şeklinde isimlendirdiğimiz tüm termoçiftler kalibre edildi. Kalibrasyonu tamamlanan termoçiftlerin, herbirinin Sıcaklık- Potansiyel farkı grafikleri çizildi. Her bir termoçift'in kalibrasyon eğrilerinin eğimleri ve başlangıç sıcaklıkları " En Küçük Kareler Metodu " ile hesaplanarak bulundu. Bu işlemleri Qbasic'te yapılan bir programımız otomatik olarak yapmaktadır. Bu program Ek 3' te verilmiştir. A1 termoçift'inin kalibrasyon eğrisi ile denklemi Şekil 4.7' de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : A1 termoçift'inin kalibrasyon eğrisi

Diğer termoçiftlerin kalibrasyon eğrileri Ek 4'te verilmektedir. Kalibrasyonu tamamlanan termoçift'ler demir levhanın içine yerleştirilerek Termal Prop Sistemi oluşturulmuştur.

4.1.3. Ölçüm Aygıtı :

Ölçüm aygıtı olarak Thurlby 1503 marka iki dijit μV mertebesinde ölçüm yapabilen dijital multimetreler kullanıldı.

4.1.4. Bilgisayar :

Termal prop sisteminden alınan potansiyel farkları, ölçüm aygıtında ölçülerek bilgisayara aktarılır. Bilgisayarda bizim tarafımızdan yapılan ve beşinci bölümde detaylı bir şekilde açıklanan program bu verileri görüntü haline dönüştürmektedir. Bu şekilde bir numunenin sıcaklık topografyası bilgisayar ortamında elde edilmektedir.

4.2. Deney :

Bu deneyin amacı ve termal mikroskop'un çalışma prensibi, malzeme yüzeyinin sıcaklık topografyasını bilgisayarda görüntülüyebilmektir.

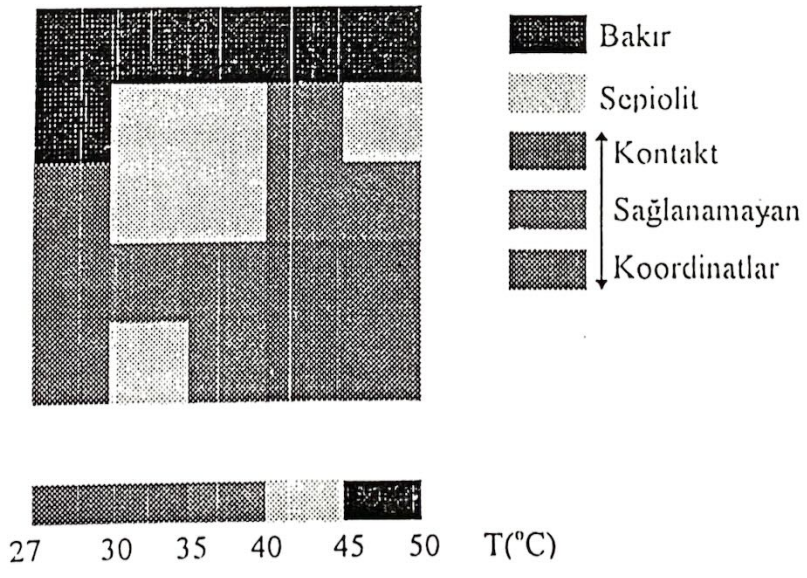
Mekanik kontrol sisteminin yükseklik ayar sistemi üzerindeki vidalar prop sistemini hareket ettirebilmektedir. Silindir çubuklar üzerine yerleştirilen yaylar, bu hareket sırasında prop sisteminin ani bir şekilde numune üzerine düşmesini engeller. Bu şekilde vida yavaş yavaş çevrilerek prop sisteminin adım adım numune üzerine güvenli bir şekilde kontaktı sağlanır. Ayrıca güvenli kontaktın sağlanması için ayna ve mikroskop kullanılır.

Numune ile prop sistemi kontakt durumuna getirildikten sonra, bakır blok'un bir ucundan buhar üreteci yardımıyla ısı transferi yapıldı. Isı transferinin yapıldığı noktada ve bakır blok'un diğer kısmında bulunan termoçiftlerin aynı sıcaklığı göstermesi beklenildi. Böylece sıcaklık homojenliği (sürekli rejim) sağlandı. Sıcaklık homojenliği sağlandıktan sonra termal proplardan ölçüm aygıtı ile numune yüzeyindeki farklı koordinatların sıcaklıkları ölçüldü. Kullandığımız her bir termoçift'in kalibrasyonu yapıldı. Bu sebeple verilerin karıştırılmaması için, termoçift'ler numune üzerinden alınan matris ile uyumlu

bir şekilde yerleştirildi. Alınan veriler Tablo 4.1 de verilmiştir. Bu veriler bilgisayarda tarafımızdan hazırlanan programa verilerek işlendi. Numune yüzeyindeki farklı malzemelerin görüntüsü bilgisayarda elde edildi. Şekil 4.8'de bakır blok T= 55°C sıcaklığında ve 6.5 °C oda sıcaklığında 2x2 cm^2 alan üzerinden termal mikroskoptan alınan sıcaklık topografyası görülmektedir.

Kolon Sayısı	A(°C)	B(°C)	C(°C)	D(°C)	E(°C)
1	49	46	47	47	49
2	46	43	43	37	44
3	30	43	42	39	36
4	29	37	38	30	30
5	28	42	35	30	27

Tablo 4.1: Sepiolit - bakır numune üzerinden Termal mikroskoptan ile alınan veriler.



Şekil 4.8 : Sepiolit ve bakır'dan oluşan numunenin termal mikroskoptan alınan görüntüsü

5. Turbo C Programlama Dilinde Hazırlanan Görüntü İşlem Programının Tamamı:

```
#include<stdio.h>
#include<graphics.h>
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>
#include"grfmenu.h"
#include<dos.h>
#include "picture.h"

char *Menu1[20];
char *Menu2[20];
char *Menu3[20];
char *Menu4[20];
char *Menu5[20];

int gradapter,grmod,err;
int i, j, secim1, secim2, secim3, secim4, secim5;
unsigned char secim;

void acil()
{
int i;
cleardevice();
do{
for(i=0;i<500;i++)
{
putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
```

```
    putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
    putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
    putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
    putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
    putpixel(random(getmaxx()),random(getmaxy()),random(15));
    }
    settextstyle(4,0,5);
    setcolor(WHITE);
    outtextxy(random(getmaxx()),random(getmaxy()),"M.C.BAYKUL");
    outtextxy(random(getmaxx()),random(getmaxy()),"T.AKAN");
    delay(500);
    cleardevice();
    }while(!kbhit());
    }

    void tarama()
    {
    int i,j,s=0;
    int k[100];
    cleardevice();
    setlinestyle(0,0,3);
    setcolor(1);
    setfillstyle(SOLID_FILL,1);
    rectangle(0,0,getmaxx(),25); /* menu seceneklerinin*/
                                 /* yazilacagi bolge dikdortgen*/
                                 /* icine aliniyor*/
floodfill(10,10,1);
rectangle(0,25,getmaxx(),getmaxy());
setbkcolor(3);
setcolor(14);
settextstyle(2,0,7);
```

```
outtextxy(1,15," osya arama pektrum arametre iltre");
setcolor(13);
settextstyle(2,0,7);
outtextxy(1,15," D T S P F ");
cleardevice ();
setbkcolor(0);
for(j=100;j<110;j++){
for(i=100;i<110;i++){
k[s]=getch();
putpixel(i,j,k[s]);
s++;
}
}
}

void dosya() /*--------------------*/
{
char dosyaismi[10];
int Hatakodu,x1,y1;
int Esctusu;
setcolor(9);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,6);
secim1=graphicsmenu(1,25,0,Menu1);
switch(secim1)
{
case 1: {
        removelastmenu();
        cleardevice();
        setlinestyle(0,0,3);
        setcolor(1);
        setfillstyle(SOLID_FILL,1);
```

```
rectangle(0,0,getmaxx(),25);
floodfill(10,10,1);
rectangle(0,25,getmaxx(),getmaxy());
setbkcolor(3);
setcolor(14);
settextstyle(2,0,7);
outtextxy(1,15," osya arama pektrum arametre iltre");
setcolor(13);
settextstyle(2,0,7);
outtextxy(1,15," D T S P F ");
setviewport(150,200,500,250,1);
rectangle(0,0,350,50);
floodfill(10,10,13);
setcolor(14);
outtextxy(6,22,"Acilacak dosya ismini giriniz");
getch();
clearviewport();
setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
scanf("%s",dosyaismi);
Hatakodu=loadpicture(dosyaismi,100,100,COPY_PUT);
if(Hatakodu==grError)
{
setviewport(150,200,500,250,1);
rectangle(0,0,350,50);
floodfill(10,10,13);
setcolor(14);
outtextxy(6,22,"DOSYA ACILAMIYOR");
getch();
clearviewport();
setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
```

```
            }
      else
            {
            x1=100;y1=100;
            Esctusu=movepicture(&x1,&y1,320,320,8,ENTER);
            if(Esctusu==grError)
            {
            outtextxy(10,400,"move\'da hata");
            getch();
            }
            }
            break;
            }

      case 2: {
            removelastmenu();
            break;
            }

      case 3: {
            removelastmenu();
            settextstyle(2,0,7);
            setcolor(13);
            setviewport(150,300,500,350,1);
            rectangle(0,0,350,50);
            floodfill(10,10,13);
            setcolor(14);
            outtextxy(50,30," DOSYA ISMINI GIRINIZ ");
            getch();
            clearviewport();
            setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
```

```
            scanf("%s",dosyaismi);
            Hatakodu=savepicture(dosyaismi,10,30,220,235);
            if(Hatakodu==grError)
            {
            outtext("Savepicture\'da hata");
            getch();
            }
else
            {
            settextstyle(2,0,7);
            setcolor(13);
            setviewport(150,300,500,350,1);
            rectangle(0,0,350,50);
            floodfill(10,10,13);
            setcolor(14);
            outtextxy(50,30," RESIM KAYIT EDILDI");
            getch();
            clearviewport();
            setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
            }
            break;
            }
            }
            }


void tara() /*--------------------*/
{
setcolor(9);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,6);
secim2=graphicsmenu(100,25,0,Menu2);
```

```
switch(secim2)
{

case 1: {
        removelastmenu();
        tarama();
        getch();
        break;
        }

case 2: {
        removelastmenu();
        system("win");
        getch();
        break;
        }
        }
        }

void spek()  /*------------------*/
{
removelastmenu();
setcolor(9);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,6);
secim3=graphicsmenu(210,25,0,Menu3);
switch(secim3)
{

case 1: {
        removelastmenu();
        line(300,50,300,200);
```

```
        line(300,200,450,200);
        line (300,100,400,200);
        getch();
        break;
        }
case 2: {
        removelastmenu();
        circle(300,300,50);
        getch();
        break;
        }
        }
        }

 void para() /*----------------*/
{
removelastmenu();
setcolor(9);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,6);
secim4=graphicsmenu(340,25,0,Menu4);
switch(secim4)
{

case 1: {
        removelastmenu();
        break;
        }

case 2: {
        removelastmenu();
```

```
        break;
        }
        }
        }

void flt()
{
setcolor(9);
settextstyle(SMALL_FONT,HORIZ_DIR,6);
secim5=graphicsmenu(500,25,0,Menu5);
switch(secim5)
{

case 1: {
        getch();
        break;
        }

case 2: {
        getch();
        break;
        }

case 3: {
        getch();
        break;
        }
        }
        }
```

```
void menu() /*------------------*/
{
char k1;
Menu1[1]="Open  ";
Menu1[2]="New   ";
Menu1[3]="Save  ";
Menu1[4]="Print ";
Menu1[5]="Quit  ";
Menu1[6]=NULL;
Menu2[1]="Tcouple";
Menu2[2]="Prob  ";
Menu2[3]="Quit  ";
Menu2[4]=NULL;
Menu3[1]="dT/dX  ";
Menu3[2]="d2T/dX2 ";
Menu3[3]=NULL;
Menu4[1]="Delay  ";
Menu4[2]="Koord. ";
Menu4[3]=NULL;
Menu5[1]="Lp flt ";
Menu5[2]="Hp flt ";
Menu5[3]="Th flt ";
Menu5[4]=NULL;

cleardevice();
setlinestyle(0,0,3);
setcolor(1);
setfillstyle(SOLID_FILL,1);
rectangle(0,0,getmaxx(),25);/* menu secenceklerinin*/
                            /*   yazilacagi bolge dikdortgen icine aliniyor*/
floodfill(10,10,1);
```

```
rectangle(0,25,getmaxx(),getmaxy());
setbkcolor(3);
setcolor(14);
settextstyle(2,0,7);
outtextxy(1,1," osya arama pektrum arametre iltre");
setcolor(13);
settextstyle(2,0,7);
outtextxy(1,1," D T S P F ");
secim=0;
while(secim!='c')
{
k1=getch();
switch(k1)
{

case 'd':{
        dosya();
        removelastmenu();
        break;
        }

case 't': {
        tara();
        getch();
        removelastmenu();
        break;
        }

case 's': {
        spek();
        getch();
```

```
            removelastmenu();
            break;
            }

      case 'p':{
            para();
            getch();
            removelastmenu();
            break;
            }

      case 'f': {
            flt();
            getch();
            removelastmenu();
            break;
            }

      case 'c':{
            cleardevice();
            closegraph();
            exit(1);
            }
            }
            }
            }

void main() /*-----------------*/
{
 int i,j,x,y,color;
  struct viewporttype vp;
```

```
 int height,width;
 int MaxColors;
 struct palettetype palette;
gradapter=DETECT; /* grafik modu aciliyor*/
initgraph(&gradapter,&grmod,"c:\\tc\\bgi");
err=graphresult();
if(err!=grOk)
{
printf("hata=%s\n",grapherrormsg(err));
getch();
exit(1);
} /* grafik modu acilamazsa program calismiyacak*/
 MaxColors=getmaxcolor();
 getpalette(&palette);
 getviewsettings(&vp);
 width=(vp.right -vp.left)/15;
 height=(vp.bottom -vp.top)/10;
 x=y=0;
 color=1;
 for(j=0;j<10;++j)
{
for(i=0;i<15;++i)
 {
 setfillstyle(SOLID_FILL,color++);
 bar(x,y,x+width,y+height) ;
 x+=width+1;
 color=1+(color % (MaxColors -2));
 }
 x=0;
 y+=height+1;
 }
```

```
while(!kbhit())
{
setpalette(1+random(MaxColors-2),random(65));
}
setallpalette(&palette);
getch();
setlinestyle(0,0,3);
setfillstyle(SOLID_FILL,4);
setcolor(4);
rectangle(210,190,420,300);
floodfill(220,200,4);
setcolor(14);
settextstyle(4,0,4);
outtextxy(220,220,"SİFRE GİRİNİZ...");
rectangle(210,190,420,300);
if(strcmpi(getpass(""),"TERMAL"))
{
cleardevice();
closegraph();
exit(1);
}
else
{
cleardevice();
acil();
menu();
closegraph();
}
} /*------main sonu--------*/
```

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan deney sonunda Çok-Kanallı Terrmal Mikroskop'tan alınan sıcaklık topografyası Şekil 4.8' de gösterilmiştir. Numune üzerindeki farklı malzemelerin gösterilmesi açısından bu görüntü mikroskop'un çalıştığını teyid etmektedir. Fakat görüntü üzerindeki farklı kontrastlar deney hatalarını göstermektedir. Numune ile prop sisteminin homojen olarak kontaktının sağlanamaması bu sonuçları doğurmuştur. Numune ile prop sisteminin tam kontaktının sağlandığı bölgelerde, sıcaklık topografyasından da görüldüğü gibi başarılı bir kontrast elde edilmiştir. Bazı bölgeler de ise bu kontakt tam olarak sağlanamamıştır. Çok kanallı termal mikroskop'un bu konuda geliştirilmesi için daha ileri düzeyde çalışmalar yapılacaktır.

Deney sırasında buhar üreteci ile bakır bloka ısı aktarımı yapılırken sürekli rejimin sağlanmasında güçlükler çekildi. Isı aktarımı yapılırken sürekli rejimin daha kontrollü bir şekilde yapılabilmesi için ek bir düzeneğe gerek duyulduğu gözlenmiştir. Bundan sonraki aşamada termal mikroskop'un numune üzerinden kontrast alıp görüntülüyebilmesi özelliği dışında, lokal olarak sıcaklık parametresini ölçüp, numunenin bazı fiziksel özellikleri aynı anda elde edilebilecektir.

Çok kanallı termal mikroskoptan alınan sıcaklık topografyasından görüldüğü gibi, image processing (görüntü işlem) yöntemlerinin bu aygıtın çalışmasında nekadar ehemmiyet taşıdığı görülmektedir. Numune ile prop sistemi arasında kontakt sağlanamayan bölgelerden alınan sonuçlar görüntüye uygulanacak filtreleme işlemleri ile yok edilebilir.

Çok kanallı termal mikroskop'un geçici rejim, gelişigüzel rejim veya periyodik rejim gibi zamana bağlı rejimlerdede çalışabilmesi için bir ara devresine gerek duyulmaktadır. Böylece sürekli rejimin sağlanması için beklenilmesine gerek kalmayacaktır.

Prop sisteminin oluşturulmasında kullanılan termoçiftlerin kalibrasyonunda bir kaç önemli nokta gözlenmiştir. Termoçiftlerin $T= T_0 + \beta V$ eğrisindeki T_0 değerinin ortam sıcaklığı ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında termoçiftlerin kalibrasyonunda soğuk değme noktalarının sıcaklıklarının sabit tutulması gerektiği gözlenmiştir. Soğuk değme noktalarının sabit sıcaklıkta tutulmadığı taktirde kalibrasyon eğrisi Ek 5. 'teki gibidir. Buradan da görüldüğü gibi $T \propto V$ olmamaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Bizzak, D.J., Chyu, M.K., 1995, Use of a laser-induced fluorrescence thermal imaging system for local jet impingement heat transfer measurement, Carnegie Mellon Univ., vol.38, no.2, p.267-74

Callen, H., 1963, Thermodynamics, University of Pennsylvania, 299p.

Cengel, Y., Boles, M., 1994, University of Nevada, North Carolina State University, 611p.

Çetin, M., Yıldırım, H., Gülsün, Z., 1989, Çağdaş Fiziğin Kavramları, 329s

Çoban, M., 1993, Turbo C++ Programlama Dili, Türkmen Kitapevi, 214s.

Demiralp, F., 1993, C++ ile Nesneye Dayalı Programlama, 345s

Erdun, H., 1993, Turbo ve Borland C ve Pascal ile Grafik, Beta basım yayım dağıtım A.Ş. 249s.

GoodFellow, 1994, Cambridge Limited,312s

Gündüz, E., 1992, Modern Fiziğe Giriş, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, 389s

Gustavsson, M., Karavacki, E., Gustafsson, S., 1994, Thermal Conductivity,

Hammiche, A., Pollock, H.M., Song, M., 1996, Sub-Surface imaging by scaning therrmal microscopy, Lancester Univ., vol.7, no.2, p.142-50

Kakaç, S., 1982, Isı İletimi, O.D.T.Ü.14s,

Lowell, M.C., Avery, A.J., Vernon, M.W., 1981, Physical Properties of Materials, 300p.

Majumdar, A., Lai, J., Chandrachood, M., Nokabeppu, O., Wu, Y., Shi, Z., 1995, Thermal imaging by atomic force microscopy using thermocouple cantilever probes, California Univ., vol.66, no.6, p.3584-92

Nokabeppu, O., Chandrachood, M., Majumdar, A., 1994, Scanning Thermal İmaging Microscopy Using Composite Cantilever Probes, California Univ., vol.66, no.6, p.694-6

Onaran, K., 1993, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, 247s.

Özel, G., 1981, Turbo C, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş, 233s

Pratt, W., 1991, Mountain View, California, 250p

Safoğlu, R., 1972, Malzeme Bilimine Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2-3s

Stopka, M., Hadjiiski, L., Oesterschulze, E., Kassing, R., 1995, Surface Investigations by Scanning Thermal Microscopy, Kassel Univ, vol.13, no.6, p.2153-6

Taylor, J., Zafaritos, C., 1996, Modern Fizik, Colorado Üniversitesi, 392s

William, S., 1980, Principles of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill Publishing Company

White, G., Torrington, G., 1995, Crack detection and measurement using laser pulse heating and thermal microscopy, QUEST Integrated Inc., vol.53,

EKLER

EK 1; GrfMenu.h Başlık Dosyası :

```
/* ********************************************************** */
/*   Grafik Menu Olusturma Baslik Dosyasi  ( GrfMenu.H )      */
/* ********************************************************** */


        #include<stdio.h>
        #include<stdlib.h>
        #include<string.h>
        //include<dos.h>
        #include<conio.h>
        //include<graphics.h>

        #define MAX_MENU_NUM 20   /* Kullanılabilen menu adeti     */
        #define ESC         27
        #define ENTER       13

        int MENU_GLOB_NO=-1;     /*      Menu sira sayaci         */

        /*graphicsmenu ve removelastmenu tarafindan kullanilan diziler */

          void *Pbox [MAX_MENU_NUM];
          unsigned Sbox [MAX_MENU_NUM];
          int Xb[MAX_MENU_NUM];
          int Yb[MAX_MENU_NUM];

       int itemheight();
       int itemwidth(char *);
```

```
int graphicsmenu(int,int,int,char *m[]);
void removelastmenu();

/*-------------------------------------------------------*/

int graphicsmenu(int x,int y,int depth3d,char *m[])
{
  void *Pitem;
  unsigned int Sitem;
  int H,L;
  int i,n;
  int leftmarg,topmarg;
  int xx,yy;
  char k1,k2;
  int itemno,olditemno;

/*    menude kullanilacak secenek sayisinin (n) bulunmasi    */

  n=0;
  do
  {
  if(strcmp(m[n+1],NULL)!=0) n++;
  }while(strcmp(m[n+1],NULL)!=0);

/*    menudeki secenek isim kutularinin yuksekllik (H)
      ve genisligi (L)                                       */

  H=itemheight();
  L=itemwidth(m[1]);
  for(i=2;i<=n;i++)
  {
```

```
        if(L<itemwidth(m[i])) L=itemwidth(m[i]);
       };

/*  Ekrana basilacak menu alaninin  removelastmenu tarafindan
    kullanilmak uzere bellekte saklanmasi                  */

       ++MENU_GLOB_NO;

       Xb[MENU_GLOB_NO]=x;

       Yb[MENU_GLOB_NO]=y-depth3d;

       Sbox[MENU_GLOB_NO]=imagesize(Xb[MENU_GLOB_NO],
          Yb[MENU_GLOB_NO],x+L+depth3d,y+(n*H)+depth3d);

       if(Sbox[MENU_GLOB_NO]==0xFFFF)    /* hata durumu */
       {
        printf("%c%c",7,7);
        --MENU_GLOB_NO;
        return grError;
       };

       Pbox[MENU_GLOB_NO]=malloc(Sbox[MENU_GLOB_NO]);

       getimage(Xb[MENU_GLOB_NO],Yb[MENU_GLOB_NO],
        x+L+depth3d,y+(n*H)+depth3d,Pbox[MENU_GLOB_NO]);

/*     Menu etrafinda ve icine cercevenin cizilmesi          */

       setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
       setfillstyle(EMPTY_FILL,getbkcolor());
```

```
        bar3d(x,y,(x+L),(y+n*H),depth3d,1);

        for(i=1;i<=(n-1);i++)
        {
         line(x,y+i*H,x+L,y+i*H);
        }

/*      ilk secenek kutusunun parlak hale getirilmesi          */

        setfillstyle(SOLID_FILL,getcolor());
        bar(x+3,y+3,(x+L)-2,(y+H)-2);

        Sitem=imagesize(x+2,y+2,(x+L)-2,(y+H)-2);

        if(Sitem==0xFFFF)  /* hata durumu */
        {
         printf("%c%c",7,7);
         --MENU_GLOB_NO;
         return grError;
        }
        Pitem=malloc(Sitem);
        getimage(x+2,y+2,(x+L)-2,(y+H)-2,Pitem);

        setwritemode(XOR_PUT);
        rectangle(x+2,y+2,(x+L)-2,(y+H)-2);
        setwritemode(COPY_PUT);

        putimage(x+1,y+1,Pitem,XOR_PUT);

/*      Menu icine secenek isimlerinin yazilmasi               */
```

```
settextjustify(LEFT_TEXT,BOTTOM_TEXT);

leftmarg=(L/12.0); if(leftmarg<2)leftmarg=2;
topmarg=(H/13.0); if(topmarg<1) topmarg=1;

for(i=1;i<=n;i++)
  outtextxy(x+leftmarg,y+H*(i)-topmarg,m[i]);

/*          Menunun olusturulmasi                */

fflush(stdin);
itemno=1;
olditemno=itemno;
do
{
 putimage(x+2,y+(olditemno-1)*H+2,Pitem,XOR_PUT);
 k1=0; k2=0;
 k1=getch(); if(k1==0) k2=getch();

switch(k2)
{
 case 72: /* yukari yon tusu */
          --itemno;
          if(itemno<1) itemno=n;
          break;

 case 80: /* asagi yon tusu*/
          ++itemno;
          if(itemno>n) itemno=1;
          break;
}
```

```
        putimage(x+2,y+(olditemno-1)*H+2,Pitem,XOR_PUT);
        olditemno=itemno;

        }while((k1!=ESC)&&(k1!=ENTER));

        putimage(x+2,y+(olditemno-1)*H+2,Pitem,XOR_PUT);
        free(Pitem);

/*      Cikis degeri olarak ESc basildi ise 0
          ENTER a basilarak secim yapildi ise secenek
          numarasi gonderilir.
          Eger hata olduysa -11(grerror) gonderilir        */

        if(k1==ESC) return 0;
        else
        return itemno;
        }

/*-------------------------------------------------------------*/

        int itemheight()
        {
         int h;
         h=textheight("H");
         return (h+(int)(h*0.40));
        }
/*-------------------------------------------------------------*/

        int itemwidth(char*item)
        {
```

```
        int l;
        l=textwidth(item);
        return(l+(int)(l*0.20));
       }
/*-------------------------------------------------------*/

       void removelastmenu()
       {
        putimage (Xb[MENU_GLOB_NO],Yb[MENU_GLOB_NO],
        Pbox[MENU_GLOB_NO],COPY_PUT);
        free(Pbox[MENU_GLOB_NO]);
        --MENU_GLOB_NO;
       }

/* ********************************************************** */
```

EK 2; Picture.h Başlık Dosyası :

```
/* ********************************************************** */
/*                PICTURE.H Baslik Dosyasi                    */
/* ********************************************************** */

        #include <stdio.h>
        #include <conio.h>
        #include <stdlib.h>
        #include <graphics.h>

        #define ESC   27
        #define ENTER 13
        #define TRUE  1
        #define FALSE 0

        long filesize(FILE *f);

/*-------------------------------------------------------------*/

        int savepicture(char *dosyaismi,int x1,
                int y1,int x2, int y2)
        {
         unsigned int s; /* ekrandaki resmin pixel olarak boyutu     */
         void *p;        /* resmin saklandigi bellek icin pointer    */
         FILE *f;        /* resmi dosyaya yazmak icin kullanilan
                            dosya degiskeni                          */


/*              Bellek tahsisi                  */
```

```
s=imagesize(x1,y1,x2,y2); /* resmin byte olarak boyutunun
                             belirlenmesi                */

if(s==0xFFFF)       /*  boyutu 64kBdan buyukse s=0xFFFF dir  */
{
 printf("%c %c",7,7); /* hatali durum uyarisi               */
 return grError;
}

p=malloc(s);  /*   resim icin hafizada bellek ayrilmasi      */

getimage(x1,y1,x2,y2,p); /* ayrilan bellege resmin aktarilmasi */


/*          Dosyaya aktarma                    */

if ( NULL !=(f=fopen(dosyaismi,"wb")))
{
 fwrite(p,s,1,f);  /* bellekteki resim bilgilerinin dosyaya
                      aktarilmasi                          */

 fclose(f);
}
else                              /* hatali durum varsa      */
{
 printf("%c%c",7,7);
 return grError;
}

/*  Hafizada resim icin ayrilan bellegin iptal edilmesi     */
```

```
free(p);
return grOk;
}

/*-------------------------------------------------------------*/

int loadpicture(char * dosyaismi,
                int x,int y,int basmamodu)
{
 int sizex,sizey;   /*    resmin genisligi ve yuksekligi   */
 long int s=0L;     /*    resmin byte olarak uzunlugu      */
 void *p;           /*    resmin bellekteki adresi         */
 int *sz;
 FILE *f;

 if ( NULL !=(f=fopen(dosyaismi,"rb")))
 {
  s=filesize(f);
  if ( (s>65535U) || (s==0U))
  {
   printf("%c%c",7,7);                    /*    hatali durum uyarisi   */
   return grError;
  }
 p=malloc(s);            /* resim icin hafizada bellek tahsisi  */
 fread(p,s,1,f);         /* Dosyanin resim i‡in bellekte ayrilan
                            alana aktarilmasi                    */

 fclose(f);

 /*  Resim boyutlarinin ogrenilmesi :
     Bellek bolgesindeki ilk 2 baytinda resmin yatay uzunluk
```

```
        değeri, sonraki 2 baytinda resmin düscy uzunluk degeri
        bulunur                                                 */


    sz= (int*) p;
    sizex=*sz;              /*      genisligi                   */
    sizey=*(sz+1);          /*      yuksekligi                  */

    if((sizex<=(getmaxx()-x)) && (sizey<=(getmaxy()-y)))
    {
     putimage(x,y,p,basmamodu);         /* Bellekteki resmin verilen
                                        basmamodu'na gore ekrana
                                        basilmasi               */
    }
    else
    {
     printf("%c%c",7,7);  /* eger  kranin boyutu ekranda verilen
                             alana  igmiyorsa zil sesi verilir  */
     free(p);
     return grError;
    }
    free(p);        /* resim icin a;  lan bellegin iptali      */
    return grOk;
    }
    else return grError;
    }
/*-------------------------------------- ----------------*/

    int savescreen (char *dosyaismi)
    {
     return savepicture(dosyaismi,0,0,getmaxx(),getmaxy());
```

```
        }
/*-------------------------------------------------------*/

        int loadscreen(char *dosyaismi,unsigned int basmamodu)
        {
          return loadpicture (dosyaismi,0,0,basmamodu);
        }
/*-------------------------------------------------------*/

        int movepicture(int *x1,int *y1,
                        int x2, int y2,
                        int adim,char cikistusu)
    {

        int x,y,xx,yy;
        void *p;
        unsigned int s;
        char k1,k2;
        struct viewporttype winbilgi;
        int scrx,scry;

        s=imagesize(*x1,*y1,x2,y2);
        if(s==0xFFFF)
        {
          printf("%c%c",7,7); return grError;
        }
        p=malloc(s);
        getimage(*x1,*y1,x2,y2,p); /* resmin bellege alinmasi  */

/*          resmin ekrandan silinmesi                */
        xx= *x1;  yy= *y1;
```

```
        x = *x1;   y = *y1;

        getviewsettings(&winbilgi);
/*              Grafik pencere boyutlarinin bulunmasi                */

/*                      Pencere genisligi                            */
        scrx=winbilgi.right - winbilgi.left;

/*                      Pencere yuksekligi                           */
        scry=winbilgi.bottom -winbilgi.top;

/*                      Hareketlendirme                              */
        putimage(xx,yy,p,XOR_PUT);      /* resmin silinmesi    */
        putimage(xx,yy,p,XOR_PUT);

        do
        {
         k1=0;  k2=0;

         k1=getch();
         if (k1==0) k2=getch();
/* Imlec hareketi icin adim miktari kontrolu                         */

        switch(k1)
        {

         case '+':  adim++;
                    if(adim>20) adim=20;
                    break;
         case '-':  adim--;
                    if(adim<1) adim=1;
```

```
                    break;
            case '1': case '2':
            case '3': case '4':
            case '5': case '6':
            case '7': case '8':
            case '9': adim =k1-48;
};
/*      Imlec hareket tus kontrolu                              */

        switch(k2)
        {
                /* sag yon tusu */
         case 77:
                 x+=adim;
                 if(x>scrx) x=scrx;
                 break;

                /* sol yon tusu */
        case 75:
                 x-=adim;
                 if(x<0) x=0;
                 break;

                /* yukari yon tusu*/
        case 72 :
                 y-=adim;
                 if(y<0) y=0;
                 break;

           /* asagi yon tusu */
        case 80:
```

```
            y+=adim;
            if(y>scry) y=scry;
            break;

    /* Home tusu, sola-yukari */
  case 71:
            x-=adim;
            y-=adim;
            if(x<0) x=0,
            if(y<0) y=0,
            break;

    /* End tusu, sola asagi*/
  case 79:
            x-=adim;
            y+=adim;
            if(x<0) x=0,
            if(y>scry) y=scry;
            break;

  /* PgUp tusu, saga-yukari*/
  case 73:
            x+=adim;
            y-=adim;
            if(x>scrx) x=scrx;
            if(y<0) y=0,
            break;

  /* PgDn tusu, saga-asagi */
  case 81:
            x+=adim;
```

```
                y+=adim;
                if(x>scrx) x=scrx;
                if(y>scry) y=scry;
            };

            putimage(x,y,p,XOR_PUT);
            putimage(xx,yy,p,XOR_PUT);

             xx = x;
             yy = y;

            }while( (k1!=ESC) && (k1!=cikistusu));

             /* resim icin ayrilan bellegin silinmesi*/
            free(p);

 /* resmin sol üst kosesinin ekranda kaldigi
   koordinatlarin ana programa gonderilmesi*/
            *x1 = x;
            *y1 = y;

            if(k1==ESC) return TRUE;
            else        return FALSE;
            }
/*-------------------------------------------------------------*/

           long filesize(FILE *fl)
           {
            long eskipos,uzunluk;
            eskipos=ftell(fl);
            fseek(fl,0L,SEEK_END);
```

```
    uzunluk=ftell(fl);
    fseek(fl,eskipos,SEEK_SET);
    return uzunluk;
   }

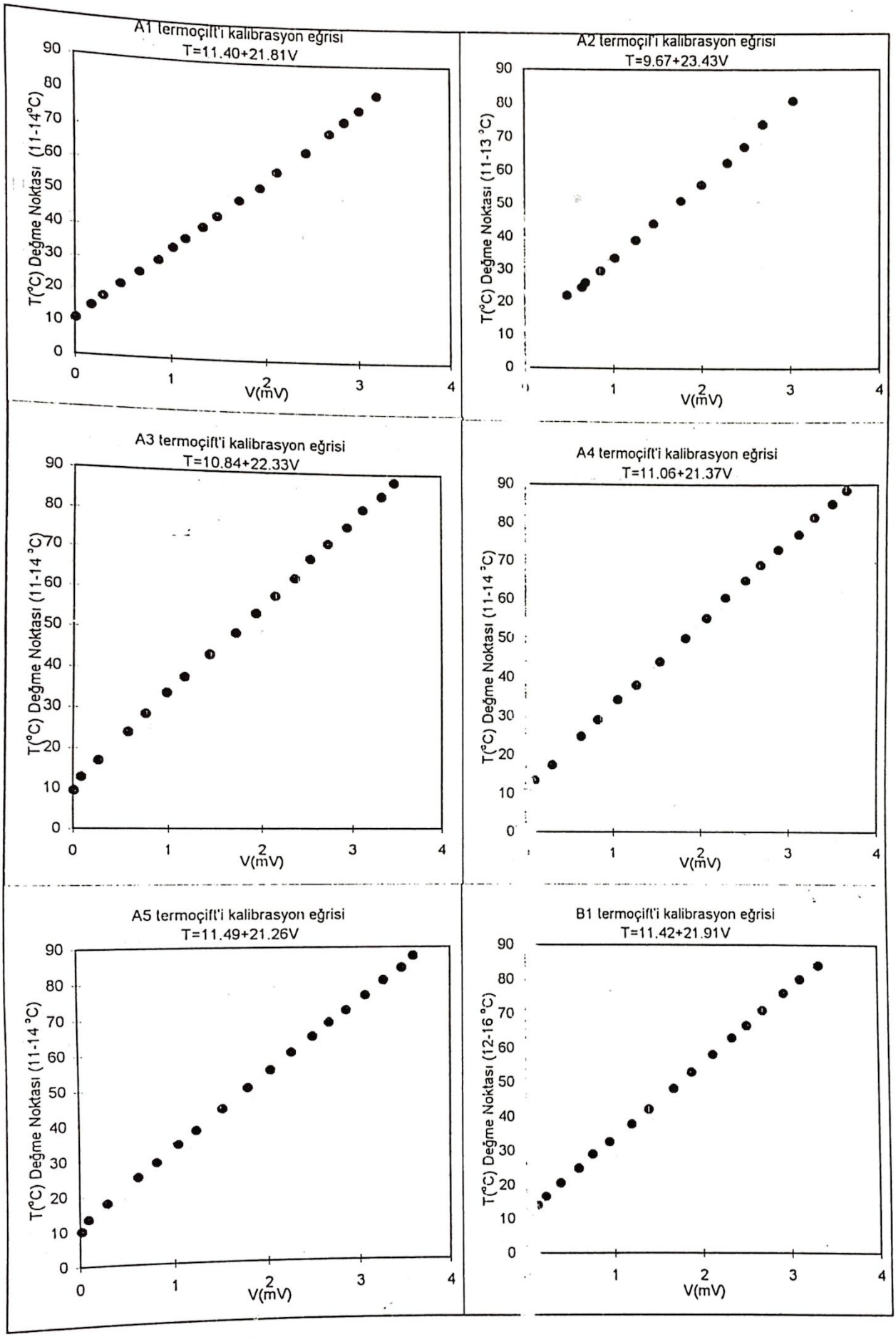

/* ********************************** ******************************** */
```

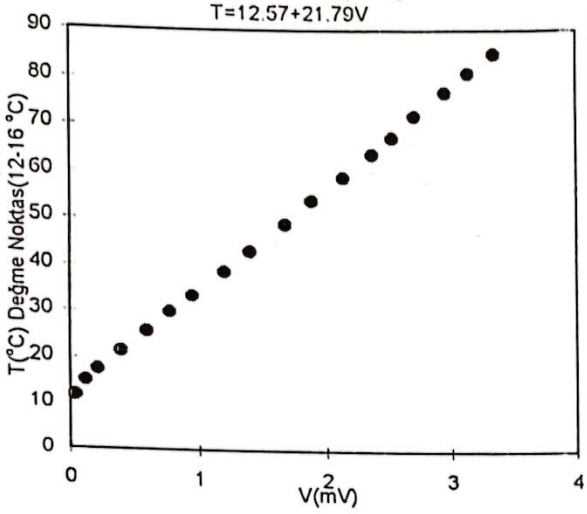
EK3: En Küçük Kareler Metodu İle Termoçiftlerin Kalibrasyon Eğrisini Elde Eden Program:

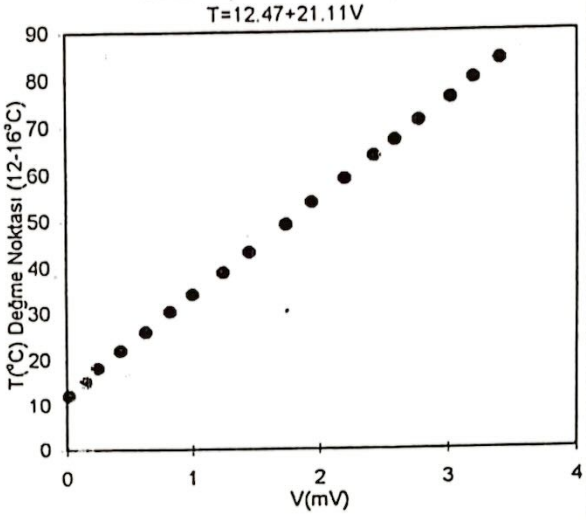
```
100 DIM T(30)
110 DIM V(30)
115 INPUT "VER˜ ADED˜"; N
120 FOR I = 1 TO N
125 PRINT I; "DEGER˜ G˜R/ T(I),V(I)"; : INPUT T(I), V(I)
130 NEXT I
135 TT = 0: AT = 0: BT = 0: T2T = 0: A2T = 0: B2T = 0: D = 1
140 PRINT "****************************************"
145 PRINT
150 PRINT "T(I)", "V(I)"
155 PRINT "=====", "====="
160 FOR I = 1 TO N
  PRINT T(I), V(I)
  NEXT I
  PRINT "****************************************"
  FOR I = 1 TO N
  TT = TT + D * T(I)
  AT = AT + D * D
  BT = BT + V(I)
  NEXT I
  Y1 = TT
  X1 = AT
  X2 = BT
  FOR I = 1 TO N
  T2T = T2T + V(I) * T(I)
  A2T = A2T + V(I) * D
  B2T = B2T + V(I) * V(I)
  NEXT I
  Y2 = T2T
```

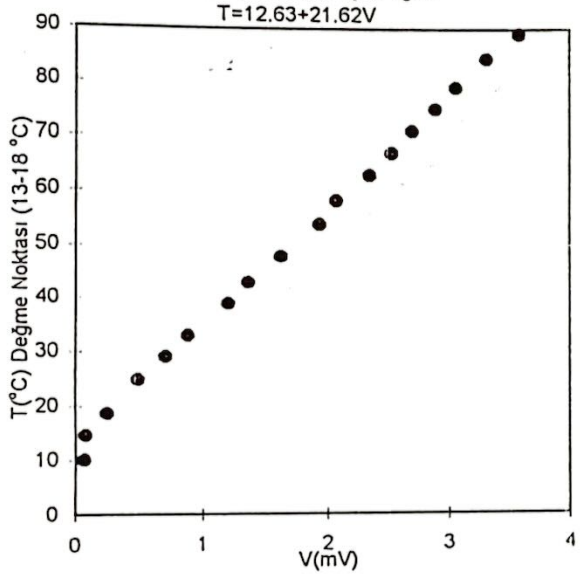
```
X3 = A2T
X4 = B2T
PRINT "*****************************************"
PRINT
PRINT "Y1="; Y1
PRINT "X1="; X1
PRINT "X2="; X2
PRINT "Y2="; Y2
PRINT "X3="; X3
PRINT "X4 ="; X4
PRINT
PRINT "*****************************************"
PRINT
A1 = (X2 * Y2) - (Y1 * X4)
A2 = (X3 * X2) - (X1 * X4)
A = A1 / A2
B1 = Y1 - (A * X1)
B = B1 / X2
PRINT "A KATSAYISI="; A
PRINT
PRINT "B KATSAYISI="; B
PRINT
PRINT "*****************************************"
PRINT
PRINT "T="; A; "I-"; B; "V"
```

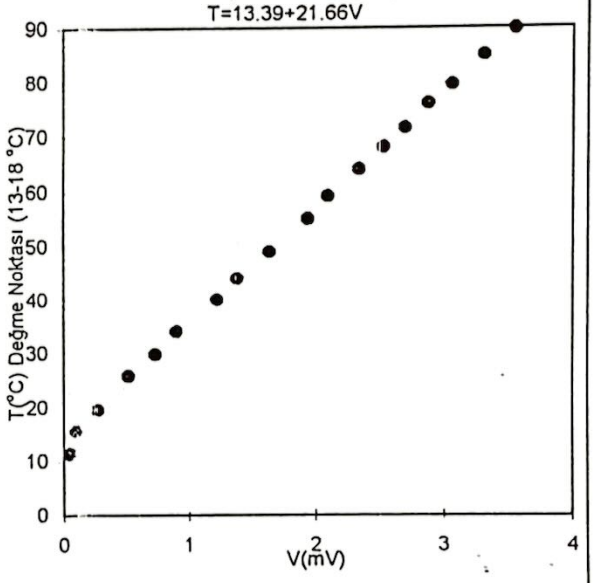
Ek4 Kalibrasyon Eğrileri

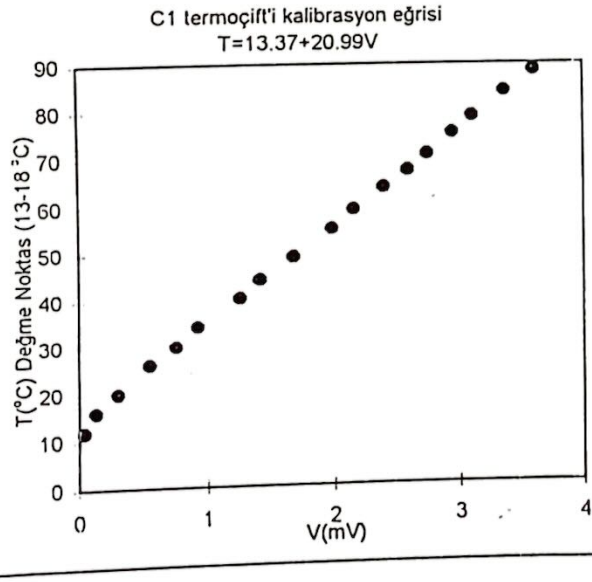


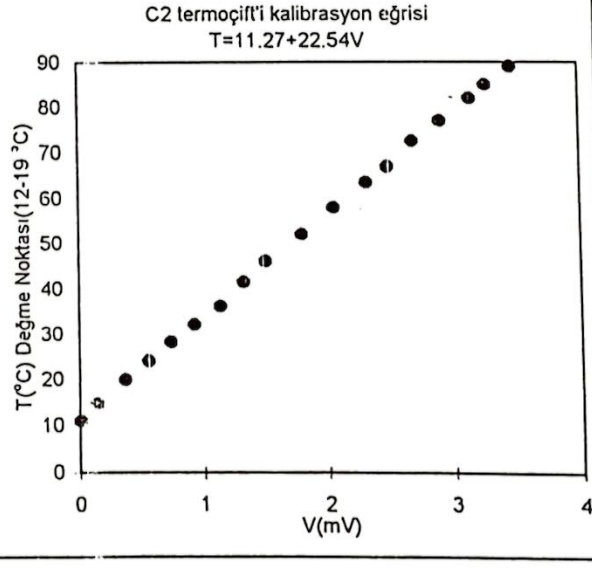

B2 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.57+21.79V
T(°C) Değme Noktas(12-16 °C)
V(mV)

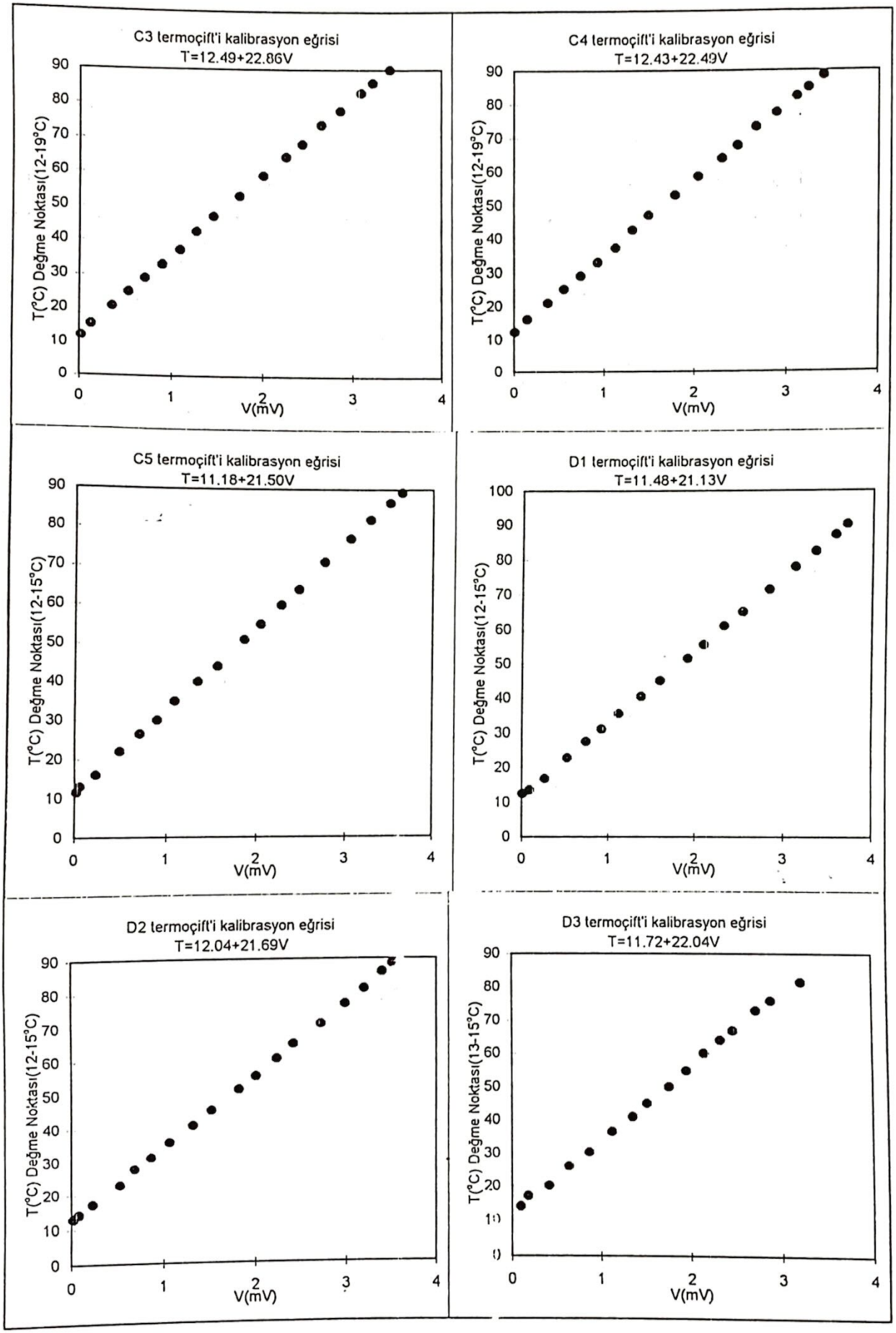

B3 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.47+21.11V
T(°C) Değme Noktası (12-16°C)
V(mV)

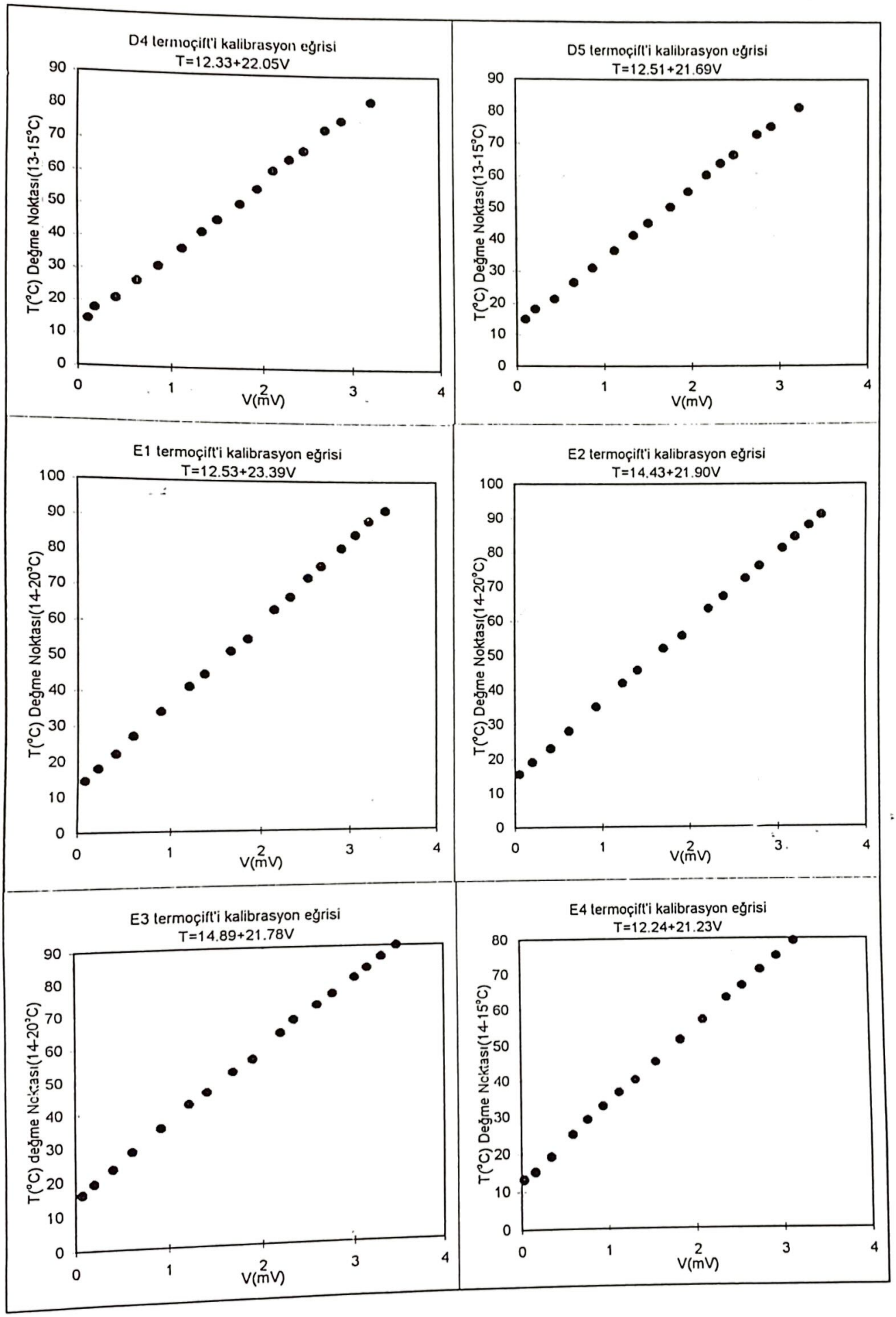

B4 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.63+21.62V
T(°C) Değme Noktası (13-18 °C)
V(mV)

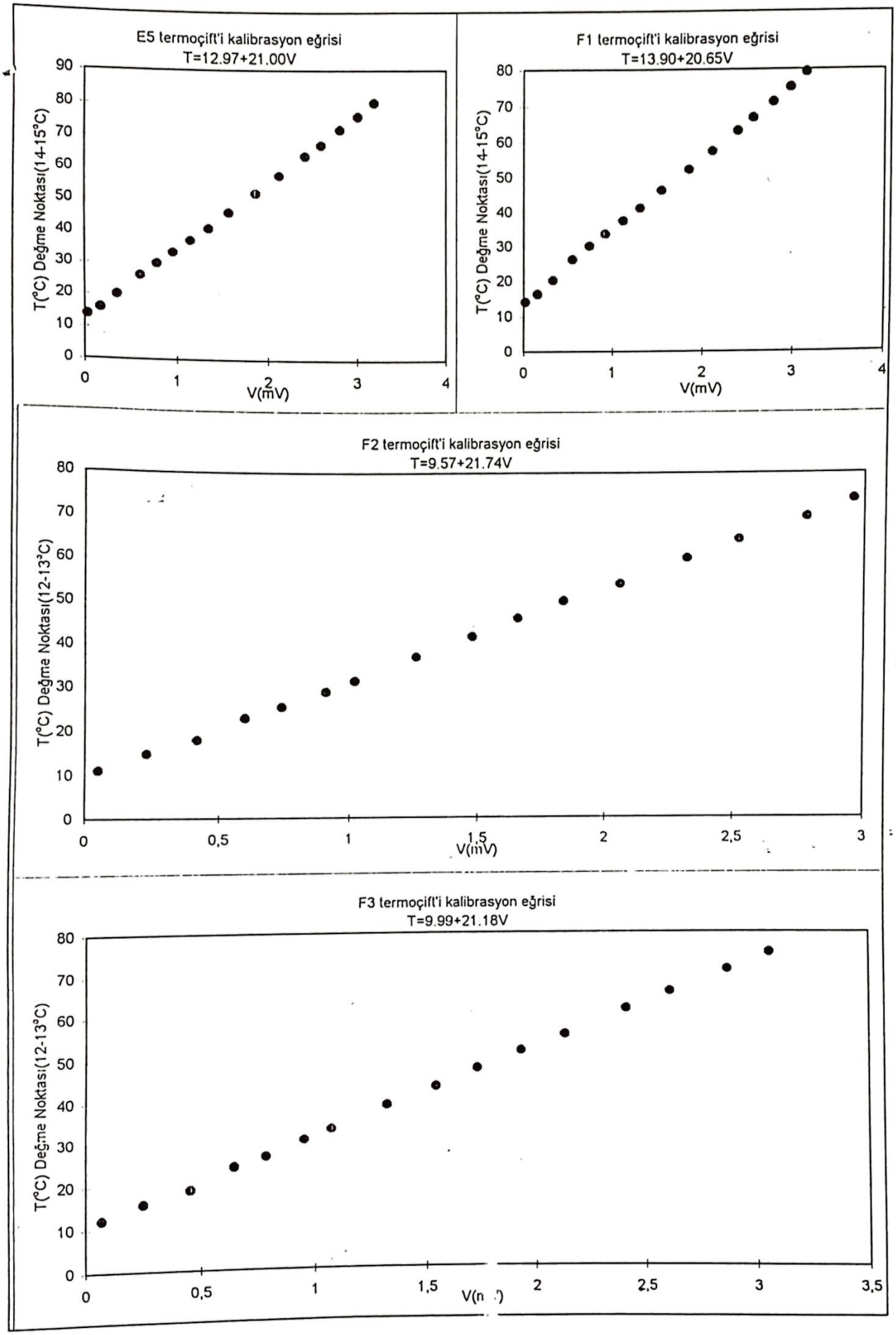

B5 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=13.39+21.66V
T(°C) Değme Noktası (13-18 °C)
V(mV)


C1 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=13.37+20.99V
T(°C) Değme Noktas (13-18 °C)
V(mV)

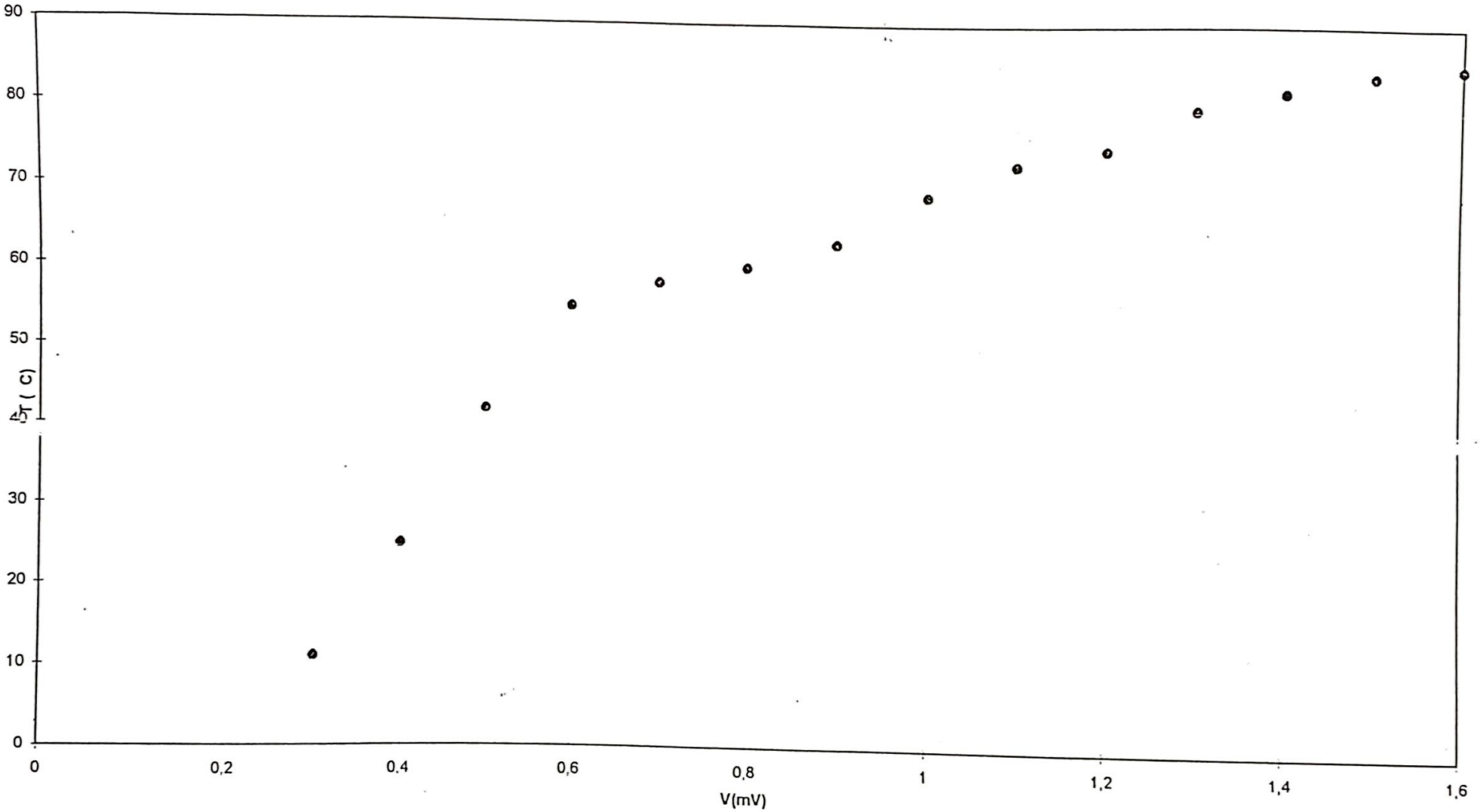

C2 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=11.27+22.54V
T(°C) Değme Noktası(12-19 °C)
V(mV)


C3 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.49+22.86V
T(°C) Değme Noktası(12-19°C)
V(mV)
C4 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.43+22.49V
T(°C) Değme Noktası(12-19°C)
V(mV)
C5 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=11.18+21.50V
T(°C) Değme Noktası(12-15°C)
V(mV)
D1 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=11.48+21.13V
T(°C) Değme Noktası(12-15°C)
V(mV)
D2 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.04+21.69V
T(°C) Değme Noktası(12-15°C)
V(mV)
D3 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=11.72+22.04V
T(°C) Değme Noktası(13-15°C)
V(mV)


D4 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.33+22.05V
T(°C) Değme Noktası(13-15°C)
V(mV)
D5 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.51+21.69V
T(°C) Değme Noktası(13-15°C)
V(mV)
E1 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.53+23.39V
T(°C) Değme Noktası(14-20°C)
V(mV)
E2 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=14.43+21.90V
T(°C) Değme Noktası(14-20°C)
V(mV)
E3 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=14.89+21.78V
T(°C) değme Noktası(14-20°C)
V(mV)
E4 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.24+21.23V
T(°C) Değme Noktası(14-15°C)
V(mV)


E5 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=12.97+21.00V
T(°C) Değme Noktası(14-15°C)
V(mV)
F1 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=13.90+20.65V
T(°C) Değme Noktası(14-15°C)
V(mV)
F2 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=9.57+21.74V
T(°C) Değme Noktası(12-13°C)
V(mV)
F3 termoçift'i kalibrasyon eğrisi
T=9.99+21.18V
T(°C) Değme Noktası(12-13°C)

Ek5: Sıcaklık koruması yapılmadığı taktirde termoçift'in kalibrasyon eğrisi



Değme Noktası Sıcaklığı Sabit Değil