

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**INFRARED ÖLÇÜMLEME İLE
ISI TRANSFERİ İNCELEMESİ**

142607

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fizikçi Esra SOLUK
(304.98.1.115)**

142607

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Ocak 2003**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A.Beril TUĞRUL

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet ARISOY

Doç.Dr. Filiz BAYTAŞ

03.02.2003

3/2/2003

28/1/2003

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DANIŞMANLIK MERKEZİ**

OCAK 2003

ÖNSÖZ

Hacimsel ve tahribatsız metotlar içinde yer alan ve nükleer bir teknik olan Infrared yöntemle ısı transferi incelemesi bu yüksek lisans tez çalışmasının amacını oluşturmuştur.

Bu yüksek lisans tez çalışması konusu, İ.T.Ü. Araştırma Fon Saymanlığı tarafından Lisans üstü Araştırma Projesi olarak kabul edilerek desteklenmiştir.

Çalışmalarım boyunca büyük bir anlayışla yardımlarını üzerimden esirgemeyen ve tecrübesi ile bana pek çok değer ve bilgi katan değerli hocam Sayın Prof. Dr. A.Beril TUĞRUL'a en içten dileklerimle teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca bu yüksek lisans çalışmasında yardım ve desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Hasbi YAVUZ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim. Araştırma Görevlisi Sayın Nilgün DOĞAN'a çalışmalarım sırasındaki yardım ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Gerek çalışmalarına yaptığı yardım gerekse manevi desteklerinden dolayı Tolga GÖK'e teşekkür ederim.

Manevi destek ve yardımlarını hiçbir konuda esirgemeyen TOKGÖZ Ailesine en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu yüksek lisans tez çalışmam esnasında da maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Aralık 2002

Esra SOLUK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. ISI TRANSFERİ	4
2.1. Isı Transferi ve Temel Kavramları	4
2.1.1. Isı Transferi	4
2.1.2. Isıl Işıma	5
2.2. Isı Transferi Çeşitleri	6
2.2.1. Isı İletimi (Kondüksiyon)	6
2.2.2. Isı Taşınımı (Konveksiyon)	8
2.2.3. Isıl Işınım (Radyasyon)	9
2.3 Bir Arada Isı Transferi	11
3. INFRARED VE INFRARED İLE ÖLÇÜMLEME	13
3.1. Infrared Radyasyon	13
3.2. Atmosferik Transmisyon	15
3.3. Sıcaklık Ölçümlemesi	16
3.3.1. Sıcaklık Ölçümlemede Kullanılan Bazı Aletler	17
3.3.1.1. Cam Termometreler	17
3.3.1.2. Termokupllar (Thermocouple)	18
3.3.1.3. Rezistans	18
3.3.1.4 Sıvı Kristaller	18
3.3.1.5 Radyasyon Ölçümlemeleri	
3.4. Infrared Görüntü Elde Etme Ve Kullanım Alanları	19
3.4.1. Termografi	19
3.4.1.1. Sivil Uygulamalar	19
3.4.1.2. Askeri Uygulamalar	20
3.5. Infrared Görüntü Almada Kullanılan Aletler	20
3.5.1. Infrared Kameralar	21
3.5.2. Infrared Görüntü Elde Etmede Kullanılan Detektörler	23
3.5.2.1. Termal Detektörler	24
3.5.2.2. Foton Detektörleri	26

	<u>Sayfa No</u>
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
4.1. Deneylerde Kullanılan Numunelerin Tanıtımı	32
4.2. Deneyde Kullanılan Elemanların Tanıtımı	32
4.2.1. Isıtıcı	32
4.2.2. Infrared Termometre	33
4.2.3. Kronometre	36
4.3. Deney Düzeneginin Tanıtımı	37
4.4. Deney Geometrisinin Belirlenmesi	37
4.5. Deneylerin Yapılışı	40
5. DENEY SONUÇLARI	44
5.1. Isıtıcıya İlişkin Yapılan Deneylerin Sonuçları	44
5.2. Numuneli Deneylerin Sonuçları	48
5.3. Deneylere İlişkin Grafikler	56
5.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi	61
5.5. Teorik Sonuçların Bulunması	63
5.6. Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılmalı Grafikleri	68
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	73
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

Ir	: Infrared
U.V	: Ultra Viyole
AC	: Alternative Current



TABLO LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 4.1	Malzemelerin Kimyasal Analizleri İle Bazı Fiziksel Özellikleri	31
Tablo 4.2	Oakton Infrared Termometre Teknik Özellikleri	36
Tablo 5.1	Izgara Noktalarına Ait Ortalama Sıcaklık Değerleri	45
Tablo 5.2	Paslanmaz Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	49
Tablo 5.3	Manganezli Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	50
Tablo 5.4	Kromlu Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	51
Tablo 5.5	Karbonlu Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	52
Tablo 5.6	Alüminyum İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	53
Tablo 5.7	Alüminyum Alaşımı İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	54
Tablo 5.8	Bakır İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	55
Tablo 5.9	Prinç İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri	56
Tablo 5.10.	Çalışılan Çelik Tipi Malzemeler İçin Hesaplamalar İle Elde Edilen Teorik Sonuçlar	63
Tablo 5.11.	Alüminyum, Alüminyum Alaşımı, Bakır ve Pirinç İçin Hesaplamalar İle Elde Edilen Teorik Sonuçlar	64
Tablo 5.12.	Çelik Tipleri İçin Hata Tablosu	65
Tablo 5.13.	Alüminyum, Alüminyum Alaşımı, Bakır ve Pirinç İçin Hata Tablosu	66
Tablo 5.14.	Numunelerin Sıcaklık Basamaklarındaki Hata Ortalamaları	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1.	Elektromanyetik Spektrum	13
Şekil 3.2.	Infrared Spektrum Bandı	14
Şekil 3.3.	1 km Boyunca Tipik Atmosferik Transmisyon	16
Şekil 3.4.	İnfrared Radyometre Dış Görünümü	22
Şekil 3.5.	Ray Üzerine Monte Edilmiş Geniş Yüzey Alanının İncelenmesi İçin TNDE Konfigürasyonu	22
Şekil 3.6.	Görüntü Alma İşleminde Yansıtıcı Kullanımı	23
Şekil 3.7.	İnfrared Detektörler İçin Cevap Alanları	24
Şekil 3.8.	Termal Detektör	24
Şekil 3.9.	Piroelektrik detektör	25
Şekil 3.10.	Fotokondüktif Detektör	27
Şekil 3.11.	p-n Junction Fotodiyot Şematik Gösterim	28
Şekil 4.1.	Deneyde Kullanılan Farklı Yapıdaki Malzemelerin Geometrik Şekli	30
Şekil 4.2.	Deneyde Kullanılan Numunelerin Fotoğrafı	32
Şekil 4.3.	Deneyde Kullanılan Isıtıcı	33
Şekil 4.4.	Oakton Infrared Termometrelerin Çalışma Prensipleri	34
Şekil 4.5.	Oakton Infrared Termometreler ile Sıcak Nokta Tespiti	34
Şekil 4.6.	Oakton Infrared Termometrenin Nominal Nokta Algılaması	35
Şekil 4.7.	Oakton Infrared Termometre	35
Şekil 4.8.	Deneyde Kullanılan Kronometre	36
Şekil 4.9.	Şematik Olarak Numunelerin Isıtıcı Üzerindeki Yerleşim Konumları	37
Şekil 4.10.	Şematik Olarak Isıtıcının Izgara Düzeni	38
Şekil 4.11.	Deney Geometrisinin Şematik Düzeni	39
Şekil 4.12.	Deney Geometrisinin Fotoğrafik Görünümü	40
Şekil 4.13.	Şematik Olarak Isıtıcının Izgara Düzeni	42
Şekil 4.14.	Numuneler Üzerinde Ölçüm Yapılan Noktalar	43
Şekil 5.1.	Izgara Noktalarının Sıcaklık Ortalamalarının Değerlendirilmesi	46
Şekil 5.2.	Izgara Noktalarının Bölgesel Sıcaklık Haritası	47
Şekil 5.3.	Paslanmaz Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	57
Şekil 5.4.	Manganezli Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	57
Şekil 5.5.	Kromlu Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	58
Şekil 5.6.	Karbonlu Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	58
Şekil 5.7.	Alüminyum İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	59
Şekil 5.8.	Alüminyum Alaşımı İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	59
Şekil 5.9.	Bakır İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	60
Şekil 5.10.	Pirinç Çeliği İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği	60

Şekil 5.11.	1. Sıcaklık Basamağı İçin Tüm Numunelere Ait Nokta-Sıcaklık Grafikleri	61
Şekil 5.12.	2.Sıcaklık Basamağı İçin Tüm Numunelere Ait Nokta-Sıcaklık Grafikleri	62
Şekil 5.13.	3.Sıcaklık Basamağı İçin Tüm Numunelere Ait Nokta-Sıcaklık Grafikleri	62
Şekil 5.14.	8 Farklı Numuneye Ait Ortalama Hata Grafiği	67
Şekil 5.15.	Paslanmaz Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerinin Karşılaştırmalı Grafiği	68
Şekil 5.16.	Manganezli Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerinin Karşılaştırmalı Grafiği	68
Şekil 5.17.	Kromlu Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerinin Karşılaştırmalı Grafiği	69
Şekil 5.18.	Karbonlu Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerinin Karşılaştırmalı Grafiği	70
Şekil 5.19.	Alüminyumun Deneysel ve Teorik Değerlerinin Karşılaştırmalı Grafiği	70
Şekil 5.20.	Alüminyum Alaşımının Deneysel ve Teorik Değerlerinin Karşılaştırmalı Grafiği	71
Şekil 5.21.	Bakırın Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği	71
Şekil 5.22.	Pirincin Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği	72

SEMBOL LİSTESİ

A	: Levha yüzey alanı
A_1	: Siyah yüzeyin alanı
A'	: Kesit alanı
c	: Işık hızı
D	: Ir Termometre ile sıcaklık ölçümü yapılacak cisim arasındaki mesafe
E	: Işınım neşretme gücü
E'	: Enerji aralığı
h	: Isı taşınım katsayısı
h	: Planck sabiti
h_1	: Kanat ucunda yüzey film katsayısı
k	: Isı iletim katsayısı
k'	: Boltzman sabiti
L	: Kanatçık uzunluğu
P	: Dalgaboyu dağılımı
P''	: Çevre
q''	: Isı akısı
S	: Ir Termometre ile sıcaklığı ölçümlenen cismin yüzey alanı
T	: Sıcaklık
T_a	: Akışkan sıcaklığı
T_{hava}	: Ortam sıcaklığı
T_{taban}	: Taban sıcaklığı
$T(x)$	: Kanatçığın x uzunluğundaki sıcaklığı
T_y	: Kanatçık yüzey sıcaklığı
T_1	: Siyah cismin yüzey sıcaklığı
T_2	: Isıl ışıınım yapan yüzeyin sıcaklığı
W	: Foton yayınım gücü
ΔT	: Sıcaklık farkı
Δx	: Levha kalınlığı
ε	: Emisyon katsayısı (ışıınım neşretme oranı)
λ	: Dalga boyu
λ_c	: Kesme dalga boyu
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti
ν_c	: Kesme frekansı

INFRARED ÖLÇÜMLEME İLE ISI TRANSFERİ İNCELEMESİ

ÖZET

Teknolojik gelişmelerle birlikte her alanda karşımıza çıkan kalite güvence faaliyetleri içinde yer alan tahribatsız muayene metotlarının ayrı ve önemli bir yeri bulunmaktadır. Nükleer teknikler içinde yer alan hacimsel bir teknik olması nedeniyle infrared ışınlarla geliştirilen tekniklerle çalışmak oldukça kullanışlı ve avantajları olan bir yöntemdir. Bu tekniğin pek çok alanda çeşitli amaçlara hizmet eden kullanım alanları mevcuttur.

Öte yandan yine pek çok farklı alanlarda pek çok uygulaması bulunan ısı transferi, nükleer çalışmalar içinde ve özellikle nükleer reaktörlerin soğutulmasında önemli bir yer tutmaktadır. Sıcaklık takibi ve görüntü alma gibi konularda infrared ışınlardan yararlanılmaktadır. Bugün gerek sivil gerekse askeri uygulamaları olan termografi yöntemi sıcaklık farkından hareketle gözle görülmeyen ısı ışımayı görüntü haline getirme esasına dayanır.

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışmasında, infrared ışınlar kullanılarak yapılan ölçümlerle ısı transferi incelemesi yapılmaya çalışılmıştır. Kondüksiyon çerçevesinde oluşturulan ısı transferinin infrared ölçümleme ile takibi ve değerlendirilmesinin yapılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmaların yanı sıra teorik olarak da hesaplamalar yapılmış ve aradaki farkların nedenleri üzerinde durulmuştur.

Yapılan çalışmalar bağlamında ileri bir nükleer teknik uygulaması olan infrared ölçümleme ile farklı malzemelerin, farklı ısıtma şartlarında ve farklı noktalarda ısı transferi incelemesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER BY INFRARED MEASUREMENTS

SUMMARY

Nondestructive testing methods which appears in every area and situated in quality safety activities have got distinctive and important role with the help of technological developments. Infrared techniques are useful and advanced because of volumetric techniques in nuclear research field. It has application area that serve for several and different purposes.

By the way, there are application of heat transfer in different areas. The heat transfer has large area in nuclear research such cool of nuclear reactors. Infrared rays are used subject such as temperature observation and form of image. Thermography that existed military and civilian applications, produce as an image help of thermal radiation.

In this MSc. Thesis, an experimental study has been observed heat transfer by using measurements with infrared rays. Heat transfer that is existed at conduction and convection limitation has been purposed observation and evaluation by using infrared measurements. Theoretical calculations have been attached additional experimental studying and dwell upon differences in between them.

In the respect of the study, experimental studies have been observed for different temperature different and different material by using infrared measurements. Temperature change researches have been also observed for different distance and different material.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Radyoaktivitenin keşfini takiben, atomun yapısı ve ışınlama gibi konular üzerinde bilgi sahibi olan bilim adamları, nükleer olaylardan yararlanarak farklı alanlarda kullanılacak nükleer teknikler geliştirmişlerdir. Böylece, yeni bir teknoloji olan “nükleer teknoloji”nin temelleri atılmıştır.

Gelişen teknoloji, endüstriyel üretimin modernleşmesini ve dolayısıyla rekabeti beraberinde getirmiştir. Bu rekabetteki vazgeçilmez unsurlar şüphesiz kalite temini ve kalite kontrol işlemleri olmaktadır. Üreticinin kalitesini ispatladığı ürünü ucuza mal etme, tüketicinin ise kaliteli ürüne makul fiyatlarla sahip olma isteği daha etkin ve tahripkar olmayan ekonomik teknolojiye olan ihtiyacı belirgin hale getirmektedir. Bu ihtiyacın sonucu olarak, 2. Dünya savaşı ve sonrasında, tahribatsız yöntemler, endüstrinin hizmetine girmiş ve yaygınlaşmıştır (Halmshaw, 1991).

Tahribatsız muayene metotları farklı teknik konulara hizmet vermektedir (Mix, 1987). Kalite güvence faaliyetleri içinde ise, nükleer teknikler içinde yer alan tahribatsız muayene metotlarının ayrı ve önemli bir yeri olmuştur. Tahribatsız muayene metotlarının amacı; malzeme yapısı ve fonksiyonunu bozmadan malzeme süreksizliklerini ve boyutlarını tayin etmektir.

Çoğu kez, endüstrinin amacı süreksizlik tayini olmaktadır. Süreksizliklerin tip ve boyutları standartlarla kıyaslanmakta ve standardın müsaade ettiği sınırı aşan süreksizlikler “hata” olarak kabul edilmektedir. Böyle bir malzeme belirlendiğinde, ret edilmektedir.

Tahribatsız muayene yöntemlerinin malzemeye zarar vermiyor olması en önemli özelliği durumundadır. Bu yöntemler, tahribatlı yöntemlere göre daha hızlı olmaları, işletme anında ve sistem durdurulmadan uygulanabilir olmaları ve çoğu uygulamada sonuçların test anında alınması, bu yöntemlerin başlıca tercih sebepleridir (Bilge ve Tuğrul, 1990).

Tahribatsız muayene metotları üç ana grupta toplanabilir. Bunlar; yüzeysel metotlar, hacimsel metotlar ve birleşik yöntemlerdir. Bu teknik gruplarının her biri endüstriyel amaçlı olarak farklı alanlarda kullanılabilmektedirler.

Yüzeysel metotlar; malzemelerin yüzeyinde ve hemen yüzey altında bulunan hataların tespitinde uygulanmaktadır. Bunlar arasında; sıvı penetrant, manyetik parçacık ve girdap akımları yöntemleri sayılabilir.

Hacimsel metotlar ise, malzemede test bölgesinin tamamına nüfuz etmek suretiyle hataların algılanmasını sağlayan yöntemler olmaktadır. Hacimsel yöntemler arasında, radyografi, ultrasonik muayene, termografi sayılabilmektedir.

Yüzeysel ve hacimsel yöntemlerden ayrı olarak, birleşik yöntem olarak nitelenen yöntemlerden de sanayide sıkça yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerin en önemli yönü, parçanın tamamının aynı anda test edilebilmesidir. Bu tip yöntemler arasında da, kaçak testi ve akustik emisyon tekniği sayılabilir.

Yüzeysel, hacimsel ve birleşik metotlar arasında; sıvı penetrant, manyetik parçacık, girdap akımları, radyografi, ve ultrasonik test, tüm sektörler için beş ana yöntem olarak nitelenmektedirler (**Halmshaw, 1991**). Kullanımları ve kullanıcılarının vasıflandırılması standartlaştırılmıştır.

Yaygın olarak kullanılan bu teknikler, endüstride “rutin” teknikler olarak kullanılmaktadır. (**Tuncel, 1994**). Termografi, kaçak testi ve akustik emisyon ise henüz, tam olarak rutinleşmemiş (yarı rutin) ve sanayide kullanımı yaygınlaşmakta olan teknikler durumundadırlar.

Nükleer teknikler içinde hem hacimsel bir teknik olması hem de iyonizan olmaması nedeniyle infrared ışınlarla geliştirilen teknikler ayrı bir öneme sahiptir. Zira, hacimsel yöntemlerde amaç, malzeme iç yapısı hakkında bilgi sahibi olmak ancak bu esnada malzeme iç yapısında herhangi bir değişikliğe sebebiyet vermemektir (**Halmshaw, 1991**).

İnfrared ışınlar iyonlaştırıcı özelliğe sahip olmadığından hem malzeme hem de canlı açısından nükleer güvenlik sorunu oluşturmamaktadırlar (**Burnay ve diğ., 1988**). Bu bakımdan infrared ışınların kullanıldığı teknikler hayli kullanışlı teknikler olup, gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Bu Yüksek Lisans tezinde infrared ışınlar kullanılarak yapılan ölçümlerle ısı transferi incelemesi yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı malzemeler için kondüksiyon çerçevesinde oluşturulan ısı transferi olayının infrared ölçümleme ile takibi ve değerlendirilmesi hedeflenmektedir.



BÖLÜM 2

ISI TRANSFERİ

2.1. ISI TRANSFERİ VE TEMEL KAVRAMLARI

Enerjinin şekil değiştirmesi ve sistemlerin özellikleri arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim dalı “termodinamik” tir (Russell ve George, 1993). Geniş kapsamlı bir konu olan termodinamik, mühendislik bilimleri içinde de önemli bir yere sahiptir.

İş ve ısı bir enerji çeşididir ve enerjinin diğer şekillerine dönüşebilmektedir. Enerji yaratılamamakta ve yoktan var edilememektedir. Herhangi bir enerji dönüşümünde toplam enerji miktarı sabit kalır. Ayrıca, termodinamiğin birinci kanununa göre; “çevrim esnasındaki ısı alışverişi ile iş alışverişi (aynı birim sisteminde) birbirine eşittir, veya (farklı birimlerde) birbiri ile orantılıdır” şeklinde ifade edilebilmektedir (Öztürk ve Kılıç, 1998).

Bir çevrim için ısının ve işin eş değeri ilk defa 1840 yılında Robert Mayer tarafından ifade edilmiştir. 1843 yılında ise James Prescott Joule, yaptığı deneylerle bir sisteme iletilen iş ile sistemdeki sıcaklık artışı ölçülmüştür. Bu deneyin değişik şartlarda tekrarlanması durumlarında da, ısı ve işin eş değeri olduğunu göstermenin ve aralarındaki sabit bağlantı katsayısının bulunmasının mümkün olduğu gösterilmiştir (Sağ, 1987).

Bu gelişmeler sonrasında Helmholtz tüm sonuçları bir araya getirerek bir makale yayınlamış ve termodinamiğin birinci kanunu ortaya çıkarmıştır.

2.1.1. Isı Transferi

Aralarında sıcaklık farkı bulunan cisimlerin ısı teması sonucunda yüksek sıcaklıkta ki bir cisimden düşük sıcaklıktaki bir diğer cisme madde alışverişi olmaksızın veya olarak iletilen enerjiye “ısı” denir (Ayhan, 1992). Bu enerji geçişi ise “ısı transferi” olarak tanımlanmaktadır.

Bir maddenin dışarıdan ısı alması, madde elemanlarının kinetik enerjisinin artması anlamına gelmektedir. Bu artış sonucu maddeyi kapsayan sıcaklık seviyesi de yükselmektedir. İki sistem birbiri ile temas haline konulduklarında özelliklerinde hiçbir değişiklik olmaz ise bu iki sistem için aynı sıcaklıktadır denmektedir.

Meteorolojide; bulutlar içindeki türbülans akımlar, sis teşekkülü, jeolojide; jeo-termik enerji kaynaklarından yararlanma, biyolojide enzimlerin davranışı gibi konular ısı transferi prensipleri yönünden incelenmektedir. Nükleer reaktörlerde olduğu gibi sıcaklığın kontrol altında tutulduğu ortamlarda yine ısı transferi uygulamaları yapılmaktadır.

2.1.2. Isıl Işıma

Tüm cisimler sıcaklıklarına ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak belli oranda ve dalga boyunda ışın yaymaktadırlar. Cisim çevreye göre daha fazla ısı ışınım yayıyor ise “sıcak”, çevreden daha az ısı ışınım yayıyor ise “soğuk” olarak tanımlanmaktadır.

Üzerine gelen ışınımın tümünü absorbe eden cisimlere “siyah cisim” denmektedir. Bu durum ışınların tüm dalga boyları ve siyah cisim üzerine geliş açıları için geçerlidir (Siegel ve Howell, 1972). Siyah cisim, verilen bir sıcaklık değerinde teorik olarak mümkün olan maksimum ışınımı yayar. Cisimlerin kendi üzerine gelen ışınımı yutma oranı ya da olasılığı, “yutma katsayısı” olarak tanımlanmaktadır. İdeal bir cisim olan siyah cisim için bu katsayı “1” dir (Burnay ve diğ., 1988).

Stefan-Boltzman Kanunu, “bir yüzeyin birim alandan birim zamanda yaydığı ışınım neşretme gücü yüzeyin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile orantılıdır” şeklinde tanımlanmaktadır (Öztürk ve Yavuz, 1995). Matematiksel olarak ise, Stefan-Boltzman Kanunu;

$$E = \sigma T^4 \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

- E : Işınım neşretme gücü (W / m²)
- σ : Stefan-Boltzman sabiti (5,669 x 10⁻⁸ W / m² K⁴)
- T : Mutlak sıcaklık (K)

olarak ifade edilmektedir.

Emisyon katsayısı (ışınım neşretme oranı) ϵ , gerçek bir yüzeyin ışıyım yayma gücünün aynı sıcaklıktaki siyah cismin ışıyım yayma gücüne oranı şeklinde ifade edilir. Dolayısı ile siyah cisim için $\epsilon = 1$ olmaktadır.

Yayıyım gücü ve dalga boyu dağılımını veren Planck Işıyım Kanunu ise ;

$$W(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} [\exp(hc / \lambda k' T) - 1]^{-1} \quad (W cm^{-1} \mu m^{-1}) \quad (2.2)$$

$$P(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} [\exp(hc / \lambda k' T) - 1]^{-1} \quad (foton.s^{-1} \mu m^{-1}) \quad (2.3)$$

Burada; W : foton yayıyım gücü, P : dalgaboyu dağılımı, λ : dalga boyu, T : sıcaklık, h : Planck sabiti, c : ışık hızı, k' : Boltzman sabiti olarak ifade edilmektedir (**Burnay ve diğ., 1988**).

Planck Işıyım Kanunu çerçevesinde sıcaklık arttıkça belli bir dalga boyundaki yayımlanan enerjinin arttığı, yine sıcaklık arttıkça maksimum yayıyımına karşı gelen dalga boyunun azaldığı görülmektedir.

2.2. ISI TRANSFERİ ÇEŞİTLERİ

Isı transferi, cisim yada ortamlar arası sıcaklık farkına bağılı olduğu kadar, ısı transferinin gerçekleştiğı yüzeylere, zamana ve termofiziksel özelliklerine de bağılıdır. Isı transferi üç farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar;

- a) Isı İletimi (Kondüksiyon)
- b) Isı Taşınımı (Konveksiyon)
- c) Isıl Işıyım (Radyasyon)

2.2.1. Isı İletimi (Kondüksiyon)

Birbirleri ile temas halinde olan parçacıklardan yüksek sıcaklıkta olandan düşük sıcaklıkta olanına doğru bir enerji transferi olmaktadır. Bu enerji transferi çeşidi ısı iletimi ile gerçekleşen ısı transferidir (**Poulikakos, 1994**).

Isının iletim yoluyla geçtiği ortamdaki sıcaklıkların zamanla değişmesi hali “değişken rejim”, zamandan bağımsız olması hali ise “sabit rejim” olarak adlandırılmaktadır. Isı iletimi ile enerji transferi, katılarda serbest elektronlar ve atomların titreşimi ile gerçekleşmektedir. Bir atom veya molekülün kinetik enerjisini komşu moleküle aktarması şeklinde gerçekleşen ısı transferi çeşidi olarak da tanımlanmaktadır.

Durgun gaz ve sıvılarda ısı, ısı iletimi yolu ile yayılır, yalnız burada atom veya moleküller bulunduğu sıcaklığa bağlı olarak enerjilerini öteleme, rotasyon ve titreşim yolu ile yaymaktadırlar. Saydam cisimlerde ise ısı, ısı iletimine ilave olarak ısı ışıma yolu ile de yayılır (Ayber, 1973). Genellikle sıvıların ısı iletkenlikleri katılarınkinden yüzde bir ile binde bir oranda daha küçüktürler. Sıcaklık ve basınca bağlı olarak ta değişiklik göstermektedirler.

Isı iletiminin temel kanunu “Fouirer Kanunu” dur. Fouirer Kanunu ise; “bir doğrultuda, bu doğrultuya dik birim alandan birim zamanda iletimle olan ısı transferi yani ısı akısı bu doğrultudaki sıcaklık gradyeni ile doğru orantılıdır” şeklindedir (Kakaç, 1972).

Buna göre; kalınlığı Δx olan bir homojen ve izotrop levha için, ısı akısı;

$$q'' \propto (\Delta T / \Delta x) \quad (2.4)$$

şeklindedir. Burada;

q'' : Isı akısı [W/ m²]

ΔT : Sıcaklık farkı [K]

Δx : Levha kalınlığı [m]

olarak ifade edilmektedir.

Denklem 2.4'deki orantı katsayısı maddenin mikroskobik yapısına bağlı bir özelliğidir ve ısı iletim katsayısı yada ısı iletkenlik olarak ifade edilmektedir. Isı iletim katsayısının birimi SI birim sisteminde W / m K dir.

Sıcaklık gradyeni ısı akısı ile ters işaretlidir. Buna göre Fourier Kanunu,

$$q'' = -k (\Delta T / \Delta x) \quad (2.5)$$

halini alır. Burada; k : Isıl iletkenlik kat sayısı [W / mK] olarak temsil edilmektedir.

Bir boyutlu, Δx kalınlığındaki ısı kaynaksız yüzeyleri, $T = T_1$ ve $T = T_2$ sıcaklıklarında sabit tutulan bir levhadan birim zamanda transfer edilen ısı enerjisi q olmak üzere,

$$q = q'' \cdot A \quad [W] \quad (2.6)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada; A : Levha yüzey alanını [m^2] temsil etmektedir.

Denklem (2.6), denklem (2.5) de yerine konulursa;

$$q = -k A (\Delta T / \Delta x) \quad (2.7)$$

şeklini almaktadır (**Hagen, 1999**).

2.2.2. Isı Taşınımı (Konveksiyon)

Genel olarak ısı taşınımı (konveksiyon), sıcaklıkları birbirinden farklı bir akışkan ve bu akışkan ile temas halinde olan bir yüzey arasında gerçekleşen ısı transferi çeşidi olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda ısı taşınımı, bir katı yüzeyi ile bir akışkan arasında söz konusudur. Birbirine göre biri hareketli biri hareketsiz akışkanlarda ısı taşınımı ile de ısı transferi meydana gelebilir.

Akışkanın yüzey üzerindeki hareketi fan ya da pompa gibi bir mekanik aletle sağlanıyorsa “zorlanmış taşınım” olarak adlandırılmaktadır. Akışkanın yoğunluk farkından dolayı harekete geçmesi ile gerçekleşen ısı taşınımı ise “doğal taşınım” olarak adlandırılmaktadır (**Hagen, 1999**). Isı taşınımı; sıcaklık farkına, akış hızına, geometriye ve akışkanın ısı özelliklerine bağlıdır.

Isı taşınımının kanunu, “Newton’un Soğuma Kanunu” kapsamındadır. Newton’un Soğuma Kanunu; “katı bir yüzeyle, onunla temas halinde olan hareketli bir akışkan arasındaki, birim alanda birim zamanda gerçekleşen ısı akısı sıcaklık farklarıyla doğru orantılıdır.” şeklindedir. Bu ifadeye göre;

$$q'' \propto (T_y - T_a) \quad (2.8)$$

olarak yazılmaktadır.

T_y : yüzey sıcaklığı, T_a : akışkan sıcaklığı olarak temsil edilmektedir.

Denklem 2.8'deki orantı katsayısı ısı taşınım katsayısı (h) olarak tanımlanmaktadır. Isı taşınım katsayısı, akışkanın ısı özelliklerine, akış şekline ve akış geometrisine bağlıdır. Isı taşınım katsayısının birimi, SI birim sisteminde $W / m^2 K$ dir.

Matematiksel olarak, Newton'un Soğuma Kanunu;

$$q'' = h (T_y - T_a) \quad (2.9)$$

şeklinde yazılmaktadır.

$$q'' \quad : \text{Isı akısı} \quad [W / m^2]$$

$$h \quad : \text{Isı taşınım katsayısı} \quad [W / m^2 K]$$

olarak ifade edilmektedir. Denklem 2.6'de 2.9'da yerine yazılırsa, birim zamandaki ısı enerjisi transferi;

$$q = h A (T_y - T_a) \quad (2.10)$$

şeklini almaktadır.

2.2.3. Isıl Işınım (Radyasyon)

Bütün cisimler sahip oldukları sıcaklıklarından dolayı ısı radyasyon, bir başka deyişle, ısı ışınım yaymaktadırlar. Aralarında, yaklaşık olarak 0.1-100 μm dalga boyu aralığında elektromanyetik dalgaları geçiren bir ortam bulunan veya hiçbir madde bulunmayan farklı iki sıcaklıktaki iki yüzey arasındaki ısı transferi ısı ışınımıyla meydana gelmektedir. Bu ısı ışınım maddesel ortam olmaksızın her yönde yayılmaktadır. Elektromanyetik dalgalar ile enerjinin bir yerden başka bir yere taşınmasına radyasyon ile ısı transferi denmektedir (Atagündüz, 1983).

Yüzeye gelen ışınların bir kısmı yüzey tarafından absorblanmaktadır. Absorblanma oranını, yüzeyin yutma (absorblanma) katsayısı belirlemektedir. Absorblanma katsayısı; dalga boyu, sıcaklık ve yüzey özelliklerine bağlı olup, üzerine düşen ışının şiddetinden bağımsız olmaktadır (Atagündüz, 1983).

Yüzeye gelen ışınların diğer bir kısmı, aynı yüzey tarafından yansıtılmaktadır. Yansıyan ışınların yüzeye gelen ışınlarla oranı, yansıma katsayısı olarak

tanımlanmaktadır. Yansıma katsayısı sıfır olan saydam veya yarı saydam yüzeylere gelen ışınlamaların bir kısmı ise maddeyi kat ederek geçmektedirler. Yüzeyi geçen ışınların yüzeye gelen ışınlara oranı ise yansıma katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

Cismin birim yüzey alanından birim zamanda ışınlım ile olan ısı transferi, Stefan-Boltzmann Kanunu çerçevesinde yüzey ve cismin sıcaklıklarının dördüncü kuvvetlerinin farkı ile orantılı olduğu ifade edilmektedir (**Hagen, 1999**).

Isı akısı;

$$q'' \propto \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.11)$$

birim zamandaki ışınlımla olan ısı transferi ise;

$$q = A_1 \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.12)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada;

T_1	: Siyah cismin yüzey sıcaklığı
A_1	: Siyah yüzeyin alanı
T_2	: Diğer yüzeyin sıcaklığı
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti
ε	: Yüzey emisyon katsayısı

olarak temsil edilmektedir.

Siyah bir yüzey, diğer bir siyah yüzey ile tamamen kuşatılmış ise bu durumdaki ısı transferi, $\varepsilon = 1$ olduğundan

$$q = A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.13)$$

şeklini almaktadır.

Isı transferi problemlerinin çözümlenmesinde; önce, uygun bir sistem yada kontrol hacmi seçilmekte, genel kanunlardan sonra özel kanunlar belirlenmekte ve böylece, problemi tanımlayan denklemler elde edilebilmektedir. Bu aşamalardan sonra, uygun başlangıç ve sınır koşulları seçilmesi gerekmektedir. Son olarak , denklem, belirlenen koşullar altında çözümlenmektedir.

2.3 BİR ARADA ISI TRANSFERİ

Isı transferinin üç ayrı şekli, uygulamada tek tek görülebildiği gibi, birlikte de görülebilmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında yapılan deneylerde hem iletim hem de taşınım ile ısı transferi söz konusudur. Birbiri ile çok iyi temas eden, ısı iletim katsayıları farklı olan yüzeyler arasında, yüzeyler çevresindeki akışkandan yüzeylere taşınım ile ısı transferi gerçekleşmektedir. Yüzeylerin kendi içinde ise iletimle ısı transferi meydana gelmektedir. Metal bir duvar yüzeyine homojen yapıda olan L uzunluğunda bir kanatçık eklendiğinde kanatçık üzerindeki sıcaklık değişimini veren denkleme ulaşmak için genel kanun “termodinamiğin birinci kanunu için an denklemi (Denklem 2.14)” dir.

$$\underbrace{\dot{Q}}_{\text{ısı gücü}} - \underbrace{\dot{W}}_{\text{işe dayalı güç}} = \underbrace{\frac{dE}{dt}}_{\text{toplamanin diferensiyel değişimi}} = \underbrace{\frac{dU}{dt}}_{\text{moleküler düzeyde duyulur iç enerji}} + \underbrace{\frac{d(KE)}{dt} + \frac{d(PE)}{dt}}_{\text{makroskopik yapıdaki kinetik ve potansiyel enerji}} \quad (2.14)$$

Sistem üzerindeki makroskopik yapıdaki kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilip sisteme giren ve çıkan ısıların farkı yani sistem üzerindeki net ısı alışverişi;

$\dot{q}_t$; kanat yüzeyinden akışkana taşınım ile olan ısı akısı, P: kanat çevresi olmak üzere;

$$\dot{q} = (\dot{q}_x - \dot{q}_{x+\Delta x}) - \dot{q}_t P \Delta x \quad (2.15)$$

şeklindedir.

Taylor serisi açılımı yardımı ile Denklem (2.15) Denklem (2.16) halini alır.

$$-\frac{dq_x}{dx} - \dot{q}_t P = 0 \quad (2.16)$$

Fourier ve Newton'un Soğuma Kanunları Denklem 2.16 da yerine yazılırsa; denlem

$$\frac{d}{dx} \left(kA \frac{dT}{dx} \right) - hP(T - T_\infty) = 0 \quad (2.17)$$

şeklini alır.

Başlangıç ve sınır koşulları;

$$x = 0' da \quad T = T_0 \quad (2.18)$$

$$x \rightarrow L' de \quad -k \left(\frac{dT}{dx} \right) \Big|_L = h(T_L - T_\infty) \quad (2.19)$$

olmak üzere sıcaklık dağılımı hiperbolik fonksiyonlar cinsinden Denklem (2.20) yardımı ile hesaplanmaktadır (**Kakaç ve Yener, 1973**).

$$T(x) - T_{hava} = (T_{taban} - T_{hava}) \left(\frac{\cosh[m(L-x)] + N \sinh[m(L-x)]}{\cosh mL + N \sinh mL} \right) \quad (2.20)$$

Burada;

$T(x)$: Kanatçığın x uzunluğundaki sıcaklığı

T_{hava} : Ortam sıcaklığı (20 °C)

T_{taban} : Taban sıcaklığı

L : Kanatçık uzunluğu [m]

olarak ifade edilmektedir. Denklem 2.20 deki m ve N olarak ifade edilen büyüklüklerin hesaplamaları denklem 2.21 ve denklem 2.22'de verilmiştir.

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA}} \quad (2.21)$$

$$N = \frac{h_l}{mk} \quad (2.22)$$

h : Havanın taşınım katsayısı (20 W/m²k) (**Öztürk ve Yavuz, 1995**)

h_l : Kanat ucunda yüzey film katsayısı (25 W/m²k) (**Öztürk ve Yavuz, 1995**)

P : Çevre [m]

A' : Kesit alanı [m²]

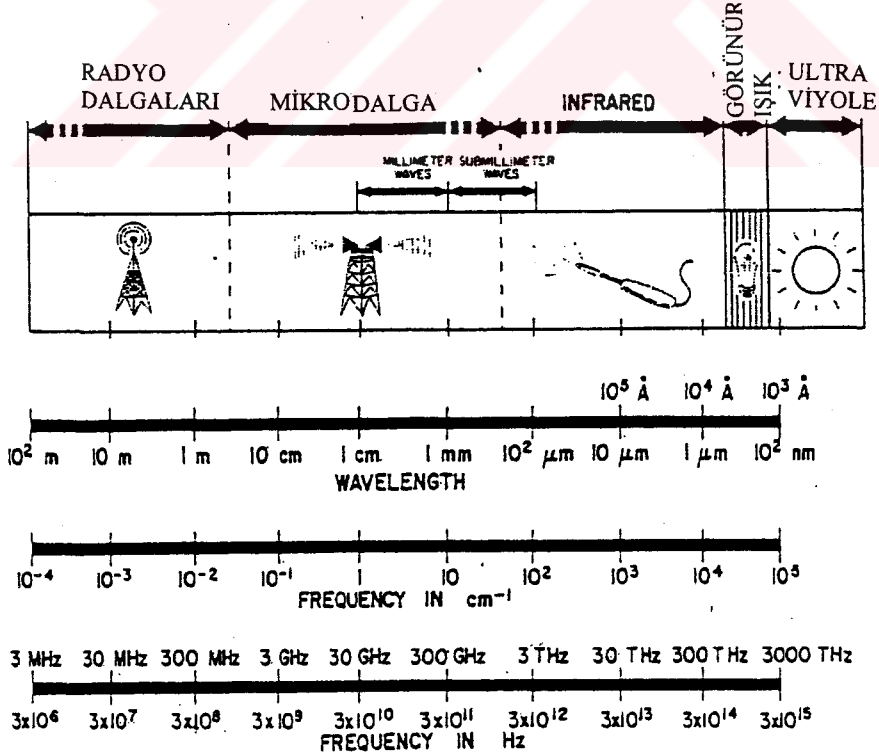
k : Isı iletim katsayısı [W/mk]

BÖLÜM 3

INFRARED VE INFRARED İLE ÖLÇÜMLEME

3.1. INFRARED RADYASYON

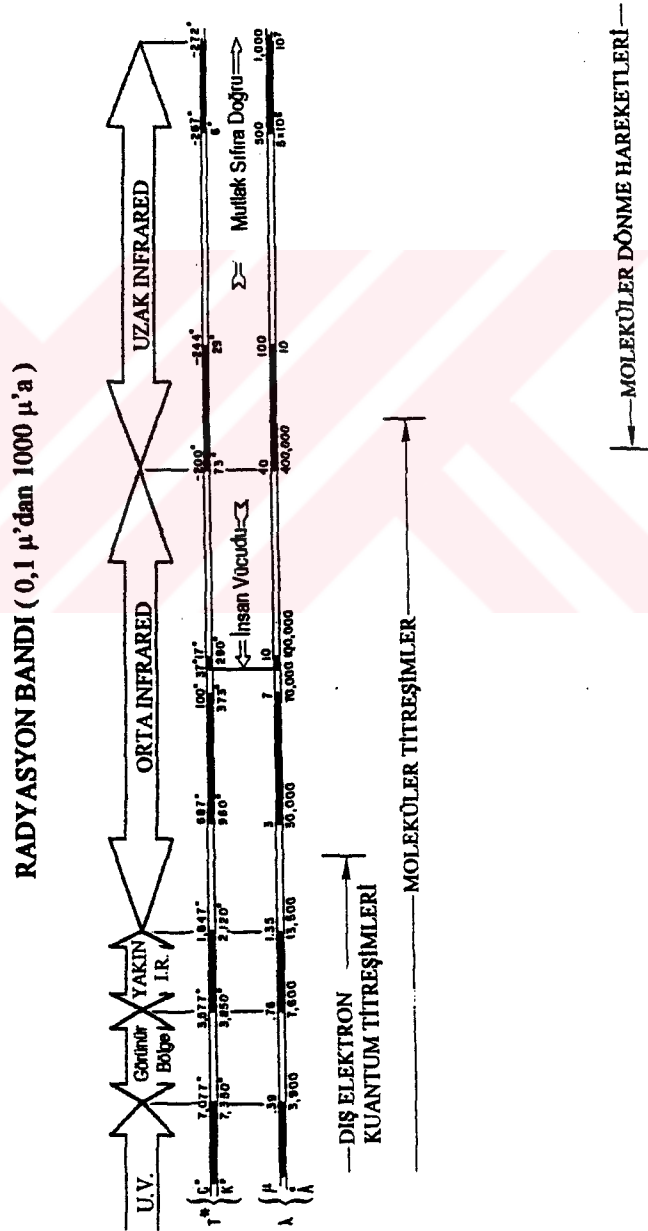
Nükleer teknik uygulamalarında elektromanyetik radyasyon ailesine mensup farklı ışın türleri kullanılmaktadır. Bu farklı radyasyon tipleri kullanılarak malzeme yapısı hakkında, o radyasyon tipinin özelliklerine bağlı olarak bilgi sahibi olunabilmektedir (Gardner ve Ely, 1967). Şekil 3.1’de elektromanyetik radyasyon ailesi spektrumu görülmektedir.



Şekil 3.1 Elektromanyetik Spektrum (Arams,1973)

Elektromanyetik spektrumun X ışınına kadar olan bölgesinde yüzey teknikleri uygulanabilmektedir. Söz konusu spektrumun infrared bölgesinden itibaren de fotoğraf filmi üzerine görüntü alınabilmektedir.

Infrared (kızıl ötesi) radyasyon, elektromanyetik radyasyon ailesi içinde yer alan bir ışıdır ve termal ışıdır olarak da adlandırılmaktadır (Maldague, 1993). Şekil 3.2'de elektromanyetik radyasyon ailesi dalga boyu skalasında, infrared spektrum bandı şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2 Infrared Spektrum Bandı (Vanzetti, 1972)

Infrared ışınlarla çalışmanın başlıca avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Çalışma koşullarında aydınlatma için dış bir kaynak gerektirmemektedir. Bu nedenle gece ve gündüz kullanıma uygundur.
- Sıcak ve soğuk noktaların yada farklı ısı yayılımı yapan alanların tespitinde ısı ışımayı görüntü haline getirmek mümkün olmaktadır.
- Termal ışınlar duman yada sis tabakası içine görünür ışıktan daha kolay nüfuz edebilmektedirler. Bu nedenle çıplak gözle görülmekte güçlük çekilen cisimlerin tespiti için kullanılabilir.
- Alınacak cevap fonksiyonu tümüyle gerçekleri yansıtmaktadır (Burnay ve diğ., 1988).

3.2 ATMOSFERİK TRANSMİSYON

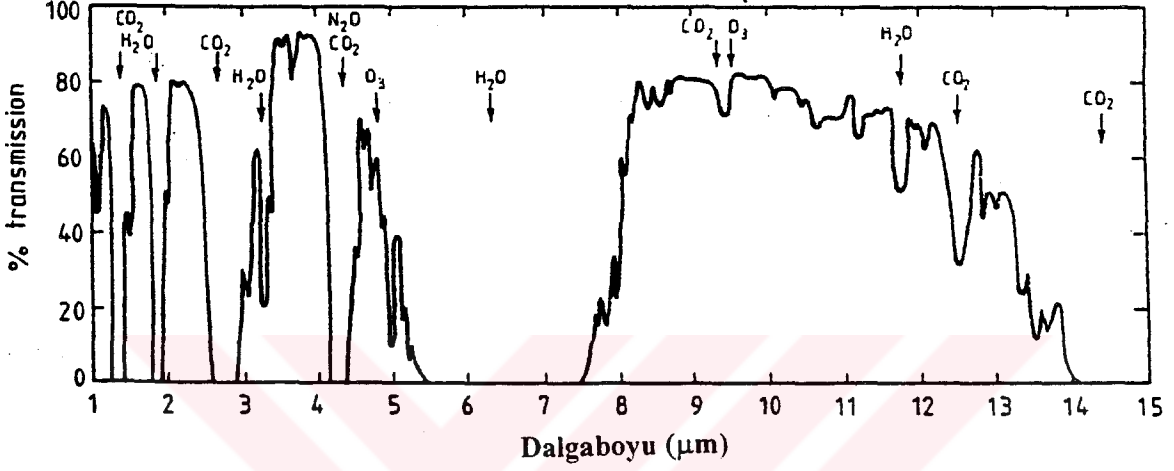
Radyasyonun atmosferden geçmesi esnasında saçılma ve absorpsiyon işlemlerine maruz kalması söz konusudur. Saçılma, radyasyon demetinin yayılma yönünü değiştiren bir olaydır. Bu değişimin sonucu olarak radyasyonun atmosferdeki diğer partiküller tarafından tekrar saçılması ve absorpsiyonu mümkün olmaktadır.

Parçacıkların, radyasyon dalga boyuna oranla küçük olmaları halinde; bu parçacıkların saçılması, Rayleigh saçılma kanununa göre λ^{-4} ile orantılıdır. Parçacıkların daha büyük olması halinde ise saçılma, dalga boyundan bağımsız olmaktadır. Atmosferdeki gaz moleküllerinin sebep olduğu saçılma, 2 μm 'den daha büyük dalga boyları için ihmal edilebilmektedir. (Burnay ve diğ., 1988).

Duman ve sis parçacıkları infrared dalga boyuna oranla daha küçüktür. Bu yüzden infrared radyasyon, görünür radyasyona göre duman ve sis arasında saçılmaya uğramamaktadır. Bunun sonucu olarak ta bu ortamlarda görünür radyasyona nazaran daha fazla nüfuz edebilmektedir. Dolayısı ile duman ve sis içinde bir termal görüntüleyici ile oldukça iyi sonuçlar alınabilmektedir. Yağmur ve aerosoller için ise daha büyük dalga boyları söz konusu olduğundan infrared radyasyon için saçılmaya sebep olmaktadır.

Spektrumun infrared bölgesinde, gaz moleküllerinin sebep olduğu absorpsiyon daha büyük bir zayıflatma meydana getirir. Şekil 3.3. de 1 km boyunca tipik atmosferik iletim görülmektedir

Su buharı ve karbondioksit tarafından olan güçlü absorpsiyonlar, atmosferik transmisyonu 3-5 μm ve 8-13 μm olmak üzere iki aralıkta sınırlandırmaktadır.



Şekil 3.3. 1 km Boyunca Tipik Atmosferik Transmisyon

Absorpsiyon bakımından ozon (O_3), diazotmonoksit (N_2O), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) atmosferin daha az önemli olan bileşenleridir. Oksijen ve azotun ise atmosferik transmisyona bir etkisi yoktur (Burnay ve diğ., 1988).

Çevre sıcaklığından hayli farklı cisimler için ölçüm, nispeten kolay olmaktadır. Buna karşın, cisimler çevre sıcaklığı dolayında ise, daha hassas ölçümleme gereksinimi bulunmaktadır. Duman, sis gibi bir ortam içinde transmisyon söz konusu olduğunda da yüksek performanslı termal görüntüleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda kullanılan dalga boyu aralığı 8-13 μm olmaktadır.

3.3 SICAKLIK ÖLÇÜMLEMESİ

Termal görüntüleyiciler, yüzey sıcaklığını kalitatif olarak mükemmel bir şekilde belirlemeye olanak sağlarken kesin sıcaklık ölçümlerinde aynı sonuç alınamamaktadır. Bir cisimden alınan radyasyon, o cismin sıcaklığı, emisyon

katsayısı, cismi çevreleyen maddelerin termal yansıma özellikleri ve atmosferik transmisyon gibi bazı faktörlere bağlı olmaktadır.

Ölçüm alanı içinde bir standart kullanılarak sıcaklık ölçümünü belli bir sınırdan tutmak mümkün olabilmektedir. Ölçümler, ısı değerleri kontrol edilmiş bir çevrede yapılmalı ve eğer gerekli ise cisimlerin çevreleri ile ısı dengeye ulaşması için gerekli süre verilmelidir.

Bir cismin sıcaklığını, hava şartları da etkilemektedir. Güneş ışınları cismin sıcaklığını artırırken, rüzgar sıcaklığını düşürebilmektedir. Yağmur ise, gerek iletim gerekse buharlaşma yolu ile cismin sıcaklığında değişimlere sebep olmaktadır. Aynı zamanda yağmur, yüzey üzerinde bir film tabakası etkisi yaparak emissiviteyi değiştirebilmektedir (Burnay ve diğ., 1988). Bunlara ek olarak cisim hareket halinde ise, yer, hava yada diğer bir yüzeyle olan sürtünme, cismin yüzey sıcaklığını etkileyen faktörler arasında yer alacaktır.

3.3.1. Sıcaklık Ölçümlemede Kullanılan Bazı Aletler

Sıcaklık ölçümlemede yaygın olarak kullanılan aletlere cam termometreler, termal rezistanslar, termokupllar, rezistanslar ve radyasyon takibinin yapıldığı cihazlar örnek verilebilir.

3.3.1.1. Cam Termometreler

Cam termometreler sıvının bulunduğu ve hassas uç vazifesi gören hazne ile genişleyen akışkanın yükseldiği ve sıcaklık okumasının yapıldığı cam borudan ibarettir. İlk olarak 1661’de Galilei tarafından şarap sıvılı termometre yapılmıştır (Dağsöz, 1971).

Cam termometrelerin çalışma prensibi, cam içersindeki sıvının sıcaklık değişiminden dolayı genişmesi ve yoğunlaşması esasına dayanmaktadır. Cam termometrelerde sıvı olarak genellikle civa ve alkol kullanılmaktadır. Ölçüm aralığı -200°C ile 600°C dir. Optimal olarak doğruluğu 0.03°C dir (Burnay ve diğ., 1988).

Kullanımları oldukça yaygın olan cam termometrelerin ekonomik olmaları önemli bir avantajlarıdır. Ancak nokta ölçümlerinde ve temas gerektiren ölçümlerde civanın yüksek toksit özelliği dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.3.1.2. Termokupllar (Thermocouple)

Termokupl ilk olarak 1821 yılında Seebeck Tarafından icat edilmiştir. 80'li yılların başlarında, Amerika marketlerinde termokuplların, sıcaklık sensörleri arasında %4'lik bir yer teşkil ettiği görülmektedir (Burnay ve diğ., 1988). Farklı iki materyalden yapılmış iki iletken tel arasında, sıcaklık farkı ile orantılı olarak bir elektromotor kuvvet meydana gelmektedir. Çalışma prensipleri, oluşan bu elektromotor kuvvetin ölçülenmesine dayanmaktadır.

Çalışma aralığı ise mutlak sıfır noktasından 2750 °C'ye kadardır. Üretilen elektrik sinyallerinin küçük olması ölçümlerde 0,5 °C'den daha iyi bir doğruluk elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

3.3.1.3. Rezistans

1871 yılında Siemens tarafından icat edilmiştir. 1988 yılında Amerikan ölçüm cihazları marketlerinin, %25'lik kısmını rezistansların teşkil ettiği belirtilmektedir (Burnay ve diğ., 1988). Rezistansların çalışma prensibi, sıcaklık değişiminin iletken direnci üzerinde sebep olduğu değişimin takibi esasına dayanmaktadır. Doğruluk derecesinin yüksek olması başlıca avantajları olarak gösterilmektedir. Nokta ve temas ölçümlerinde kırılğan olması, platin kullanılması durumunda ise pahalı olması ise dezavantajları olarak sıralanmaktadır.

3.3.1.4. Sıvı Kristaller

Sıvı kristallerin çalışma prensibi, kolesterol esterlerin sıcaklık etkisiyle yönlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Beyaz ışıkla aydınlatıldığı zaman, kırmızı ile menekşe rengi arasında olan renkli ışıklar yansıtmaktadır. Bileşenlerine bağlı olarak 0,01 °C rezolusyonla sonuç elde edilebilmektedir.

Başlıca avantajları ekonomik olmaları, küçük sıcaklık değişimlerine duyarlı olmaları ve yüzey ölçümlerinin yapılabilirliği olarak gösterilmektedir. Dezavantajları olarak ise temas gerektiren bir ölçüm olması, ölçüm öncesi yüzey hazırlığı ve ölçüm sonrası ise yüzey temizliği gerektirmesi olarak sıralanmaktadır.

3.3.1.5. Radyasyon Ölçümleri

Çalışma prensipleri yayılan enerjinin uzaktan ölçülenmesi esasına dayanmaktadır. Ölçüm cihazı ve ölçülen cisim arasında ısı denge sağlanması gerekli

değildir. Ayrıca temas gerektiren bir ölçümleme tipi olmaması da bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.4. INFRARED GÖRÜNTÜ ELDE ETME VE KULLANIM ALANLARI

Infrared görüntüleme, çıplak gözle görülmeyen ısı radyasyonu gözle görünür bir taslak haline getirme tekniğidir (Maldague, 1993). Termal görüntü alanındaki gelişmeler özellikle 80'li yılların sonuna doğru hız kazanmıştır. Termal görüntü teknikleri diğer ticari sistemler içinde yerini almaya başlamış ve uygulamaları geniş bir alana yayılmıştır. Ancak uygulamaların daha yaygınlaştırılması ve belli bir uygulama disiplini içine oturması için yine de zamana ihtiyaç duyulmaktadır.

3.4.1. Termografi

Termografi, çıplak gözle görülmeyen ısı ışınımını bir görüntü haline getirerek tanımlama işlemidir. Günümüzde geçerliliğini ispatlamış ve uygulanmakta olan termografi kullanım alanları endüstri, tıp, sivil ve askeri amaçlı olanlardır.

3.4.1.1. Sivil Uygulamalar

Sivil uygulamalar dahilindeki termografinin en önemli uygulamalarından biri, yangın söndürme ve kurtarma çalışmalarına yardımcı eleman olarak kullanılmasıdır. Burada, olası bir yangın durumunda duman içindeki görüş yeteneğini artırma amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca yine termografi ile yangın kurtarma çalışmalarında kalıntılar altında kalmış bedenlerin konumu, çevreleriyle olan sıcaklık farkından hareketle tespit edilebilmektedir. Bu şekilde kullanılan termal görüntüleyiciler genelde özel olarak dizayn edilmişlerdir. Geniş bir görüş alanına sahip olması, gaz maskesi kullanımının görüntülemeyi engelleyici olmaması, tutuşabilecek ortamlarda kullanılabilir olması, su ve sarsıntıya karşı dayanıklı olması ve eldiven kullanırken kontrol işlemlerinin yapılabilir olması gibi spesifik karakterlere sahip olması gerekmektedir (Burnay ve diğ., 1988).

Bu konudaki diğer bir uygulama ise orman yangınlarının erken tespitine yöneliktir. Termal görüntü almada kullanılacak infrared kamera alana hakim bir kuleye monte edilmekte ve ani sıcaklık yükselişleri böylece tespit edilebilmektedir.

Termal görüntüleyiciler, hem gece hem de gündüz olmak üzere tüm gün boyunca gözlem amaçlı kullanılabilirler. Termografi ile gözlenen hedefler; gemiler,

kara ve hava taşıtları, insanlar ve hayvanlar gibi gerçek ısı jeneratörleridir. Bu tip hedeflerin elde edilen termal görüntüleri radarla kıyaslandığında oldukça yüksek rezölasyona sahiptirler (Burnay ve diğ., 1988).

Termal görüntüleri doğal kamuflaj teknikleri etkilememektedir. Örneğin; ormanlık bir alan içinde gizlenen insan veya taşıtlar termografi ile net olarak gözlenebilmektedirler.

Bir diğer uygulama ise, özellikle sert hava koşullarında hava taşıtlarının yer üstündeki hareketlerinin izlenmesi için kullanımıdır. Bu amaçla, hava alanlarına termal görüntüleyicilere bağlı uzaktan kumanda sistemleri kurulmuştur. Benzer bir sistem sınırlı ve işlek kanallarda gemi geçişlerinin izlenmesi amaçlı olarak da kullanılmaktadır (Burnay ve diğ., 1988).

3.4.1.2. Askeri Uygulamalar

Askeri olarak infrared görüntü sistemlerinden yararlanma fikri ilk kez ikinci dünya savaşında ortaya atılmıştır. Buradaki ana düşünce, gece ve sis gibi görüş derecesi az olan koşullarda potansiyel hedefi tespit etmeye yatkın bir görüntü sistemine sahip olmaktır. Bu sistemlerde, mekanik sürtünme ve yanma olaylarında ısı kaybından kaçış mümkün olmayacağı için ısı direkt olarak bir canlının hareketini gösteren büyük bir delil olarak kabul edilmektedir.

90'lı yıllarda yapılan infrared araştırmalar ile özel şartlardaki hedeflerin belirlenmesine olanak sağlayacak görüntü çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Infrared gözlemlene teknikleri ile uzun bir süre önce havalanmış bir hava taşıtını, sebep olacağı sıcaklık farkından dolayı tespit etme çalışmalarına gidilmiş ve başarılı olunmuştur. Bu teknik 1991 yılında Körfez Savaşı'nda uygulanmıştır (Burnay ve diğ., 1988).

3.5. INFRARED GÖRÜNTÜ ALMADA KULLANILAN ALETLER

Infrared görüntü alma amacıyla geliştirilmiş farlı elemanlar söz konusudur. Bunlar arasında; infrared kamera, infrared radyometre ve farklı tipteki dedektörler sayılabilir.

3.5.1 Infrared Kameralar

Termal görüntüler infrared kamera olarak adlandırılan görüntüleyiciler tarafından elde edilmektedir. Görüntü alımında nitelikli bir analiz için, infrared radyometre kullanımı gerekli olmaktadır. Bu tip bir ölçücü, ile sıradan bir infrared kamera arasında fark bulunmaktadır. Radyometre için infrared sinyal, görüntü işlemleri boyunca detektör elementlerinin üreteceği iç sıcaklığı göz önüne alan kalibre edilmiş sıcaklıktır. Bu kalibrasyon sinyali uygun işlemler sonucu tekrar mutlak sıcaklığa ulaşmayı sağlamaktadır (Maldague, 1993).

Böyle bir ölçüm aleti içinde görüntü, prizma veya aynaların eş zamanlı hareketi ile elektro mekanik olarak taranmış olmaktadır. Saniyede otuz kare resim tarayan standart bir video sinyalini bu tip bir kamera içine yerleştirmek için kameranın oldukça yüksek bir tarama hızına sahip olması gerekmektedir. Ancak tarama hızının yüksek tutulması, gürültü seviyesinin de yükseleceği anlamına geleceğinden tercih edilen bir yöntem değildir.

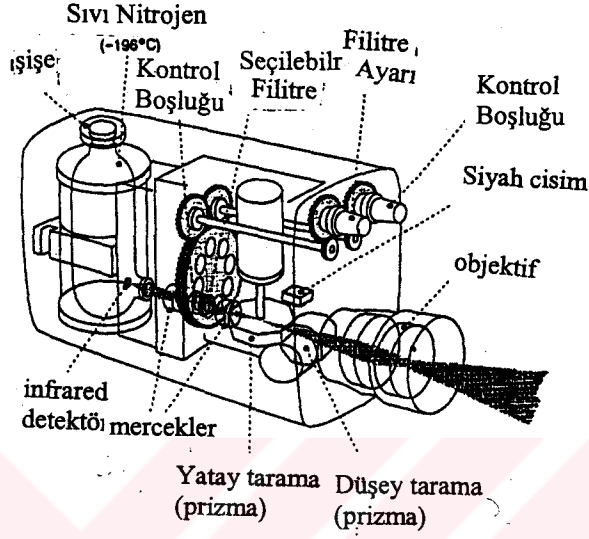
Radyometre kullanımının uygun olmadığı durumlarda nitelikli araştırmalar infrared kamera ile de, görüş alanı içine sıcaklığı bilinen referans bir kaynak yerleştirmek şartıyla gerçekleştirilebilmektedir. Ancak, cismin uzak bir noktada olması veya görüş alanının sınırlı olması durumunda, bu şart sağlanamamakta dolayısı ile de görüntü kalitesi düşmektedir.

Görüntüyü istenilen alana yerleştirebilmek için infrared radyometre içinde ön kısımda çeşitli mercek ve esneme halkaları mevcuttur. Esneme halkaları özellikle daha hassas ve önemli çalışmalarda kullanılmaktadır. Söz konusu esneme halkaları, kamera ile objektif arasında, optik yol üzerine yerleştirilmektedir (Maldague, 1993).

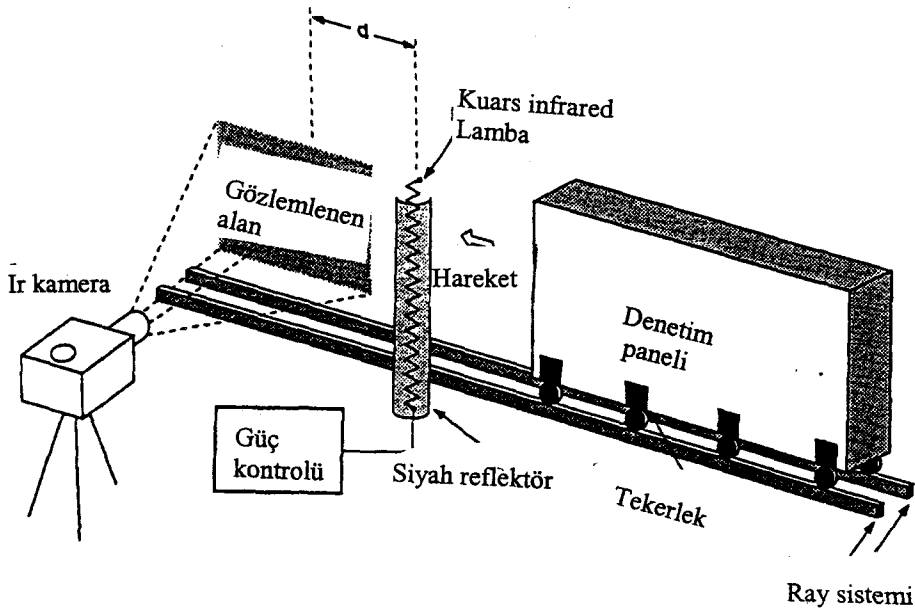
Kameranın dış görünümünde yapılacak fiziksel değişimlerin geometri faktörünü değiştireceği göz ardı edilmemelidir. Şekil 3.4 de infrared radyometre görülmektedir. Taşınabilir şekilde dizayn edilen kameralar pek çok uygulama alanı için hayli kullanışlıdır. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi geniş yüzey alanlarının hızlı taranması için cisim kaygan bir ray sistemi üzerine monte edilmektedir.

Ancak görüntü alma işlemleri sırasında kameranın düşey konumla açı yapması gerektiği durumlarda güçlüklerle karşılaşmaktadır. Kamera içindeki soğutma amaçlı kullanılan sıvı nitrojenden bir sızıntı olmasını önlemek için kamera sürekli dik

konumda tutulması gereklidir. Bu durumda Şekil 3.6'da görüldüğü gibi 45° lik bir açı ile kamera karşısına yansıtıcı özelliği yüksek bir ayna yerleştirilmektedir (Maldague, 1993).

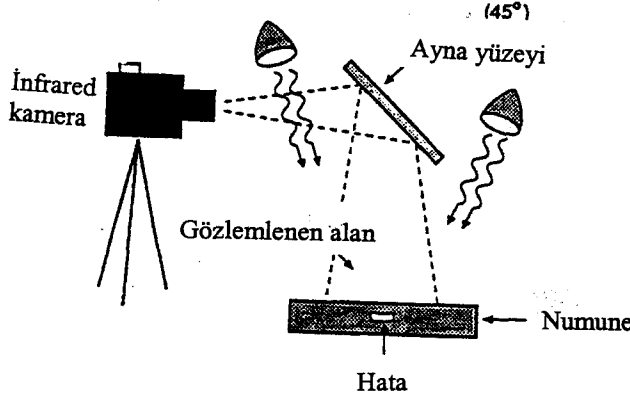


Şekil 3.4. Infrared Radyometre Dış Görünümü (Maldague, 1993).



Şekil 3.5. Ray Üzerine Monte Edilmiş Geniş Yüzey Alanının İncelenmesi (Maldague, 1993).

3 μm ve üstü dalga boyları için hemen hemen %100 yansıtma özelliğine sahip altın veya alüminyum kullanılabilir. Böyle bir düzenek kurulduğunda unutulmaması gereken elde edilen görüntü gerçek görüntünün tersi olmaktadır.



Şekil 3.6. Görüntü Alma İşleminde Yansıtıcı Kullanımı (Maldague, 1993).

3.5.2 Infrared Görüntü Elde Etmede Kullanılan Detektörler

Infrared görüntü almada kullanılan detektörlerle ilgili detaylı çalışmalar daha çok son 40 yıl içinde yapılmıştır (Hudson 1969; Gaussorgues 1984; Coester 1988; Maldague 1992). Infrared görüntü almada kullanılan ilk düzeneklerden biri evapografi'dir (Czerny, 1929). Koyu bir zar üzerindeki yağın ince bir tabakasının diferansiyel buharlaşmasına infrared dahilinde gösterilecek duyarlılık esasına dayanan bir düzenektir. Zar üzerinden yansıtılacak görünür ışıktaki farklılıkların takibi ile infrared görüntü elde edilmiştir. Işınlamaya maruz kalma süresi, incelenen objenin sıcaklığına bağlı olarak, birkaç dakika ile saniyenin ondalıklı katları arasında değişim göstermektedir. Infrared görüntüyü ilk olarak bu prensibe benzer bir şekilde 1840 yılında Sir John Herschel elde etmiştir (Maldague, 1993).

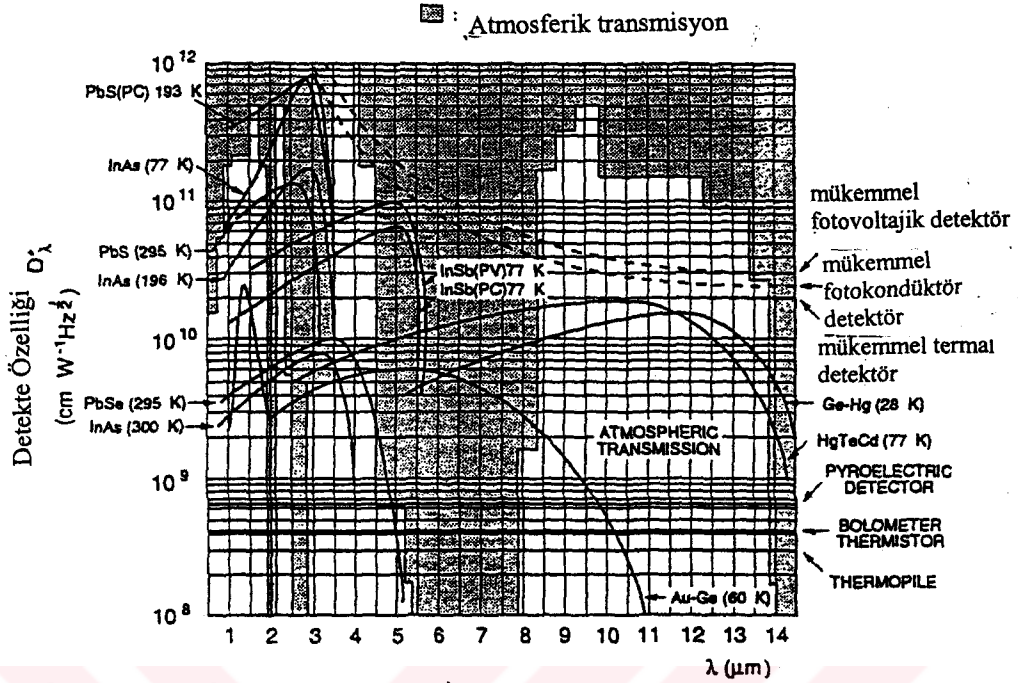
Günümüzde geliştirilerek çok değişik formlarda kullanılan detektörler iki ana grup altında toplanabilmektedir.

A) Termal Detektörler

B) Foton Detektörler

Şekil 3.7'de yaygın olarak kullanılan infrared detektörlerin spektral cevap alanları ve atmosferik yayılım gösterilmiştir. Infrared termografide kullanılan iki önemli atmosferik pencere aralığı da belirtilmiştir (3-5 μm ve 8-14 μm). Bu bantlar

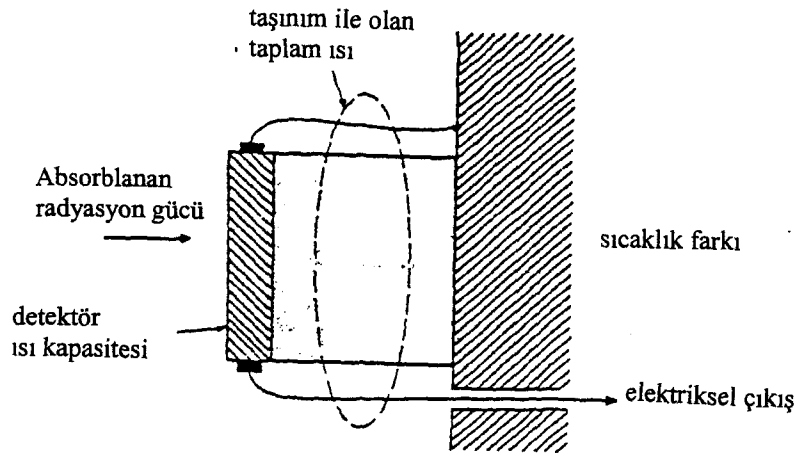
atmosferik yayınımlı iyi dengeledikleri için radyasyon miktarını fazla zayıflatmayı mümkün kılmaktadır.



Şekil 3.7. Infrared Detektörler İçin Cevap Alanları (Maldague, 1993).

3.5.2.1. Termal Detektörler

Termal detektörlerde absorbe edilen infrared ışınlam, detektör içinde bir sıcaklık değişimine sebep olmaktadır. Bu değişimin tespitinde, sıcaklığa duyarlı herhangi bir fiziksel özellik kullanılabilir. Termal detektörler içinde yaygın olarak kullanılan piroelektrik detektörlerdir. Şekil 3.8'de termal detektör şematik olarak görülmektedir.

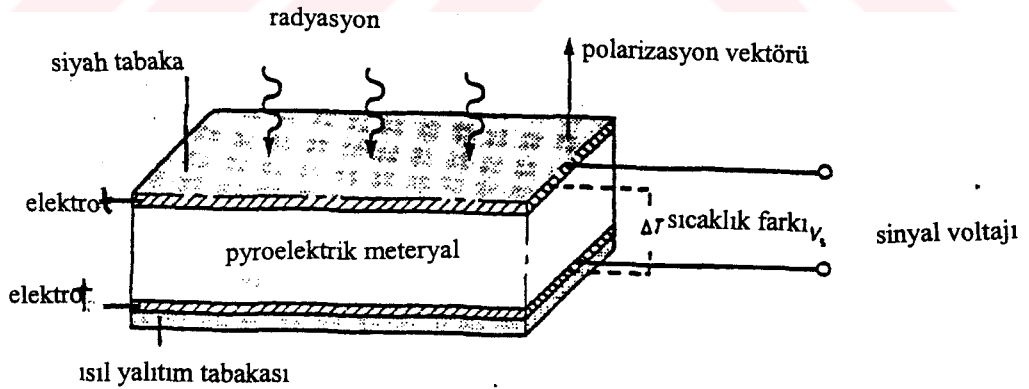


Şekil 3.8. Termal Detektör (Arams, 1973)

Piroelektrik detektörler sadece elektrik akımından hareketle görüntü elde etmede kullanılan termal detektörlerdir ve tek başlarına detayları tanımlayabilmektedirler. Ferroelektrik materyaller belli sıcaklıklarda kendiliğinden elektriksel polarizasyon gösterirler. Kullanılan materyalin gerek iletken gerekse yalıtkan olması durumunda denge şartları altında dış elektriksel alan gözlemlenmemektedir. Bununla beraber, yalıtkan üzerindeki yük dağılımı polarizasyon değişikliğine hızlı bir şekilde cevap vermemektedir (Burnay ve diğ., 1988).

Dipol momentin büyüklüğü sıcaklığa bağlıysa bu sıcaklık değişimi bir dış elektrik alana sebebiyet verecektir. Bu etki ise “piroelektrik etki” olarak adlandırılmaktadır. Piroelektrik tüp içindeki piroelektrik hedef, elektriksel değişimi dışarı bırakır ve bu hedefin bir elektron demetiyle taranması sonucu görüntü elde edilmiş olur.

Sonuç olarak piroelektrik detektörler sıcaklık değişimine bağlı olarak cevap fonksiyonu vermektedir ve sadece AC modu içinde geçerli olmaktadır. Bu tip detektörler ekrandaki görüntü değişikliği tespitinde örneğin girilmesi yasak bölge yada genel giriş kontrollerinde “intruder alarm” adı verilen sistemlerde kullanılabilmektedir (Burnay ve diğ., 1988). Şekil 3.9’da piroelektrik detektör prensibi görülmektedir.



Şekil 3.9. Piroelektrik detektör (Burnay ve diğ., 1988).

Genellikle materyal olarak, yüksek piroelektrik katsayısına sahip trigliserin sülfat (TGS) ve türevleri yada seramik bir kurşun zirkanat titanat (PZT) kullanılmaktadır. Termal detektörlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

Termal detektörlerin avantajları;

1. Geniş bir alanda cevap fonksiyonuna sahiptirler.
2. Soğutma gerektirmezler.
3. Ekonomik açıdan uygundurlar ($\cong 15000$ \$).
4. Standart TV sinyalleri ile uyumludur. TV tüpü ile piroelektrik tüp içindeki gözlenen görüntülerde kullanılan metotlar aynıdır.
5. Görüntü oluşum işlemlerinde hiçbir mekanik gözleme ve taramaya ihtiyaç yoktur ve bu durumda daha fazla güvenilirlik kazandırır.

Termal detektörlerin dezavantajları;

1. Piroelektrik hedef sadece ısınım değişikliğini hissedebildiği için elektronik demet ile eş zamanlı “chooper” adı verilen mekanik bir alet kullanmak gerekmektedir. Chooper tarafından oluşturulan görüntüde titreşimden dolayı termal görüntü kalitesinde düşme gözlenmektedir.
2. Çalışma sıcaklığı küçük bir aralıktır.
3. Tüpün yaşlanma süresi hızlı, dolayısıyla ömrü kısadır ($\cong 5000$ h).
4. Detekte edebilme kalitesi foton detektörlerine göre oldukça düşüktür.
5. Görüntünün fiziksel olarak uniform olmaması ve tam bir denge halinde olmaması, kalibrasyonun belli aralıklarla tekrarı anlamına gelmektedir.
6. Detektördeki ısınma iletim yoluyla detektör yüzeyinde de etkili olacağından görüntünün bozulmaya eğilimli olacağı göz önüne alınmalıdır.

3.5.2.2. Foton Detektörleri

Foton detektörlerinde enerji absorblanması söz konusudur ve bu durum yarı-iletken (semikondüktör) içindeki serbest elektronları ve atomik durumu etkilemektedir. Foton detektörleri fotonun enerjisine dolayısıyla dalga boyuna bağlı olarak cevap fonksiyonu verirler.

Burada;;

$$E = \frac{hc}{\lambda_c} = h\nu_c \quad (3.1)$$

E : Enerji aralığı,
 h : planck sabiti,
 c : ışık hızı,
 λ_c : kesme dalga boyu,
 ν_c : kesme frekansı

olarak tanımlanmaktadır.

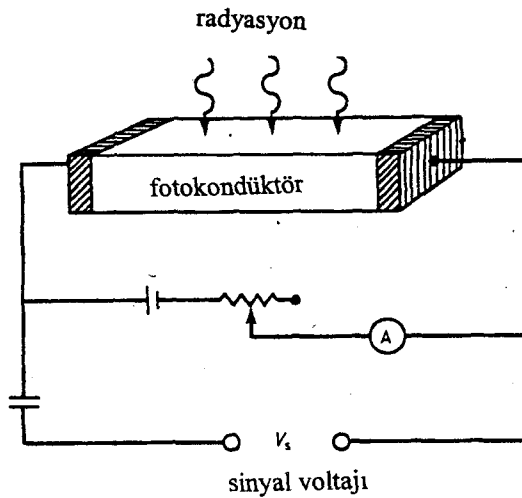
Fotonun enerjisi, Denklem 3.1 ile elde edilecek enerjiye eşit, yada daha büyük olduğunda detektörden cevap fonksiyonu alınmaktadır. Çalışma prensipleri, sıcaklık değişimine bağlı olmadığından, cevap alma zamanı termal detektörlere göre daha hızlı olmaktadır.

Foton detektörleri başlıca iki gruba ayrılmıştır;

a) Fotokondüktif Detektörler

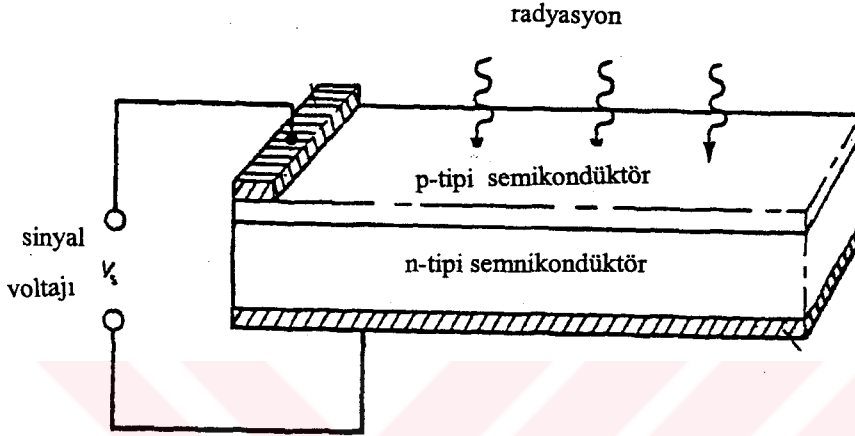
b) Fotovoltaj Detektörleri

Fotokondüktif detektörler içindeki fotoğraf üreten taşıyıcılar, düzeneğin iletkenliğinin artmasını sağlamaktadırlar. Detektörden sürekli akım geçtiğinde çıkış voltajında artış gözlenmekte ve elektriksel akım içindede bir değişikliğe sebep olmaktadır. Çalışma prensibi bu değişimi izlemeye dayanmaktadır. Şekil 3.10'da fotokondüktif detektör şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.10. Fotokondüktif Detektör (Burnay ve diğ,1988)

Fotovoltajik detektörler aynı zamanda foto-diodlar ve junction detektörleri olarak bilinir ve genelde doğal düzeneklerdir. Eğer junction detektörü n-tipi ve p-tipi bölgeleri aynı materyalden oluşuyorsa homojunction farklı materyalden oluşuyorsa heterojunction adını almaktadır. Detektör açık bir devre olarak çalıştırıldığında çıkış voltajı, daha yaygın olarak kısa devre olarak çalıştırıldığında çıkış akımı izlenir. Şekil 3.11’de p-n junction fotodiyot şematik gösterim görülmektedir.



Şekil 3.11 p-n Junction Fotodiyot Şematik Gösterim (Burnay ve diğ., 1988) .

Fotovoltajik detektörleri fotokondüktör detektörlere göre daha yüksek frekans kapasitesine sahip olması ve gürültü seviyesinin daha düşük olması nedeniyle daha avantajlı olmaktadır. Genel olarak foton detektörlerinin avantajlarını ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

Foton detektörlerinin avantajları;

1. Detekte etme özelliği mükemmeldir ve teorik olarak limitsidir.
2. Sıcaklık kalibrasyonu kolaydır.

Foton detektörlerinin dezavantajları;

1. Ekonomik açıdan uygun değildir ($\approx 60000\$$).
2. Detektörün belli bir sıcaklığa soğutulması gerekir.
3. Infrared kameraların tarama sıklığı TV standardı olan 50 veya 60 Hz dir. Bu durum alüminyum gibi yüksek termal iletkenliğe sahip materyalde termal olayların izlenememesine neden olmaktadır.

Taşıyıcıların termal etkisini düşürmek ve gürültüyü minimize etmek için foton detektörlerinin soğutulması gerekmektedir. Soğutma metodu çalışılan sıcaklığa ve sistemin lojistik ihtiyaçlarına göre farklılık göstermektedir. Genelde 8-13 μm civarı detektörler yaklaşık 77 K de çalışır ve sıvı nitrojenle soğutulurlar.

Bir alan içinde bulunan detektörler için ise sıkıştırılmış hava ve bir Joule-Thompson mini soğutucusu kullanmak uygun olmaktadır. Kullanılan aletlerin verim ve güvenilirliği ile birlikte fiyatlarında da artış olmaktadır. Bu doğrultuda kompresör kullanımı da uygun bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.



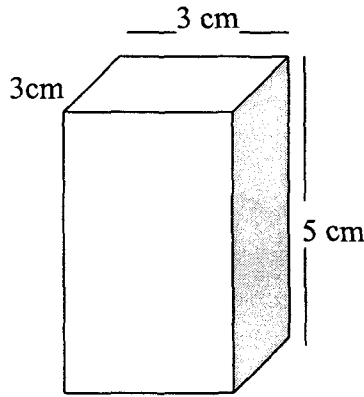
BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans tezinde infrared ışınlar kullanılarak yapılan ölçümlerle ısı transferi incelemesi yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, laboratuarda uygun bir deney düzeneği oluşturularak, deneyler gerçekleştirilmiştir. Esas olarak, farklı malzemeler için ısı iletimi çerçevesinde oluşturulan ısı transferi olayının infrared ölçümleme ile takibi ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

4.1. DENEYLERDE KULLANILAN NUMUNELERİN TANITIMI

Deneyde ısı iletimi ile oluşan ısı transferini takip etmek üzere numune olarak, 8 adet farklı yapıda malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin geometrik şekilleri aynı olup prizma şeklindedir. Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi her bir numunenin yüksekliği 5 cm, taban boyutları ise 3 cm x 3 cm’dir.



Şekil 4.1 Deneyde Kullanılan Farklı Yapıdaki Malzemelerin Geometrik Şekli

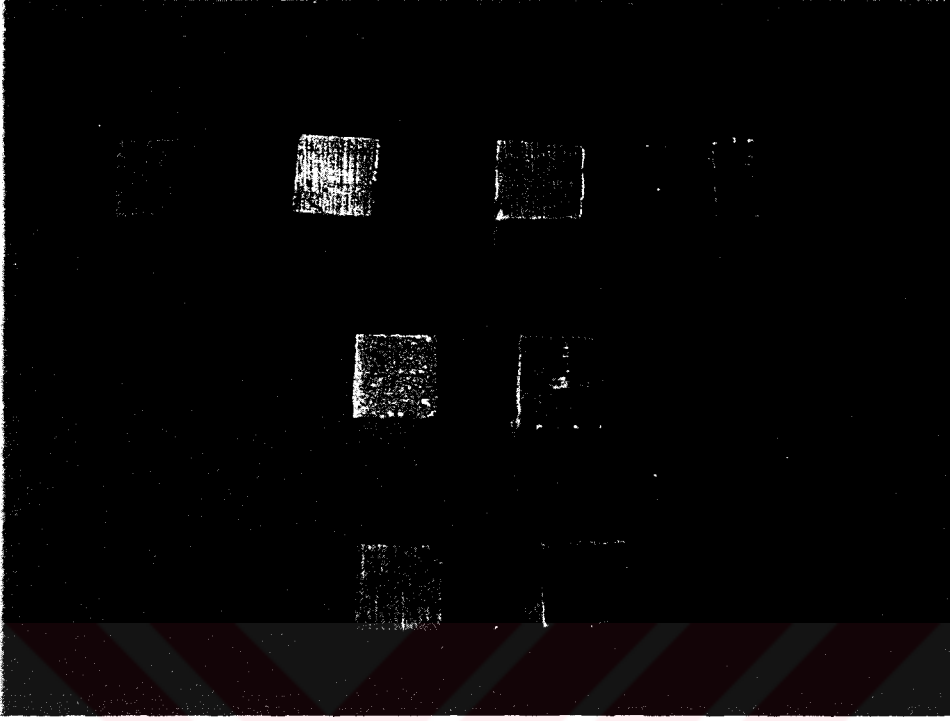
Deneyde numune malzemesi olarak;

- 304 Paslanmaz Çelik
- Manganezli Çelik
- Kromlu Çelik
- Karbonlu Çelik
- Alüminyum
- Alüminyum Alaşımı
- Bakır
- Prinç

kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 4.1’de verilmektedir (Rohsnow ve diğ., 1998). Şekil 4.2’de deneyde kullanılan numunelerin fotoğrafları görülmektedir.

Tablo 4.1
Malzemelerin Kimyasal Analizleri İle Bazı Fiziksel Özellikleri

Numune Tipi	Malzeme	Fiziksel Özellikler				Kimyasal Özellikler (%)
		Isıl İletkenlik Katsayısı			Öz kütle (Kg/m ³)	
		0-20 °C	100 °C	200 °C		
Çelik	304 Paslanmaz Çelik	14.538	15.701	16.864	7187	18 Cr, 8Ni
	Manganezli Çelik	22			7849	5 Mn
	Kromlu Çelik	31	31	29	7785	10 Cr
	Karbonlu Çelik	36			7753	1.5 C
Alüminyum	Saf Al	229.11	—	229.11	2707	99,75 Al
	Al Alaşım	104.67	—	—	—	96 Al, 1.8 Cu, 0.9 Fe
Bakır		386.11	379.13	373.32	8930	98 Cu
Pirinç		102.34	117.47	133.74	8600	90 Cu, 10 Zn



Şekil 4.2 Deneyde Kullanılan Numunelerin Fotoğrafi

4.2. DENEYDE KULLANILAN ELEMANLARIN TANITIMI

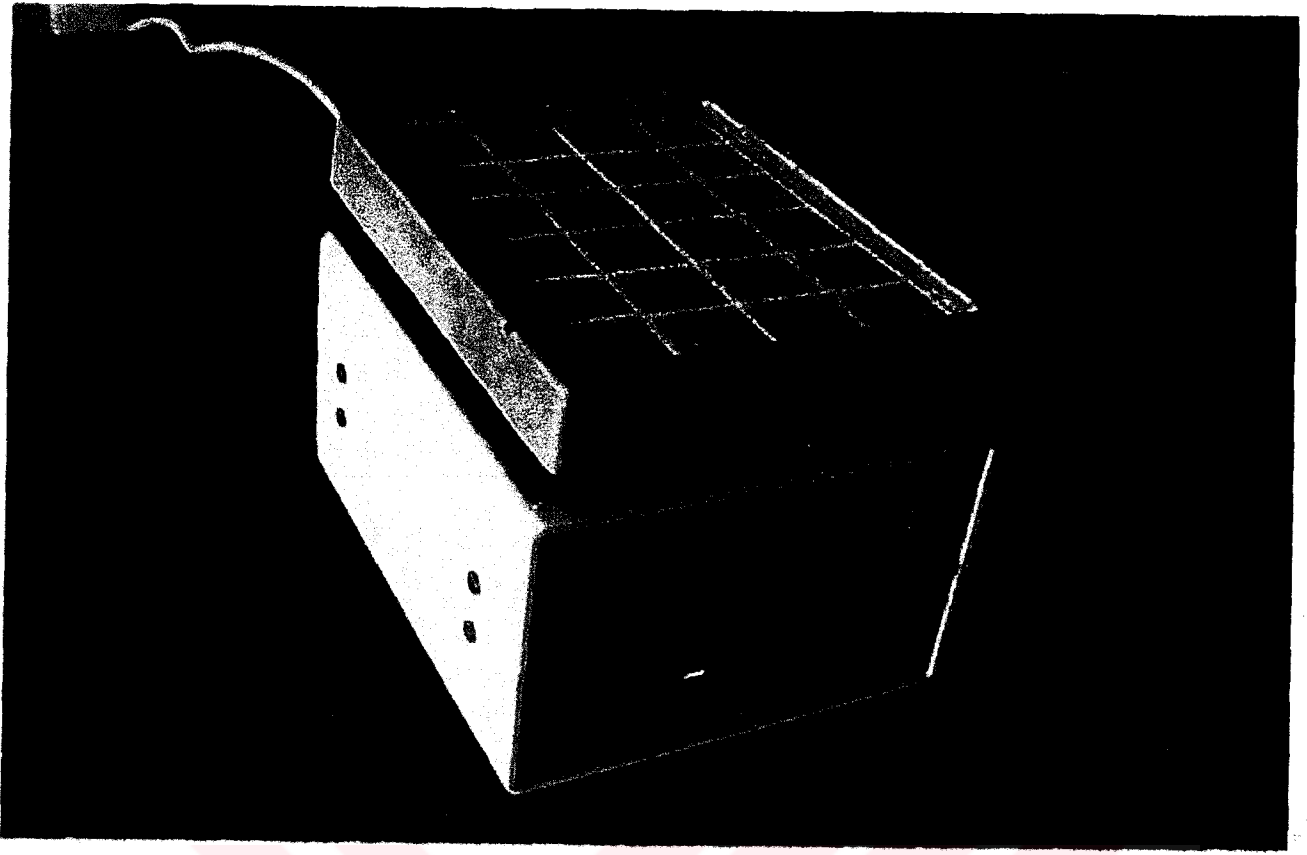
Deneyde kullanılan (numuneler dışındaki) başlıca elemanlar ;

- Isıtıcı
- Infrared termometre
- Kronometre

olarak sayılabilir.

4.2.1. Isıtıcı

Deneylerde, ısıtıcı; farklı malzemeler için takip edilen ısı transferinin oluşumunda, malzemeleri ısıtma amaçlı kullanılmıştır. Isıtıcının sıcaklığı ayarlanabilmektedir. Isıtıcı sıcaklığı üç kademeye ayrılmış ve deneyler bu kademeler için tekrar edilmiştir. Şekil 4.3’de deneyde kullanılan ısıtıcının fotoğrafı görülmektedir.



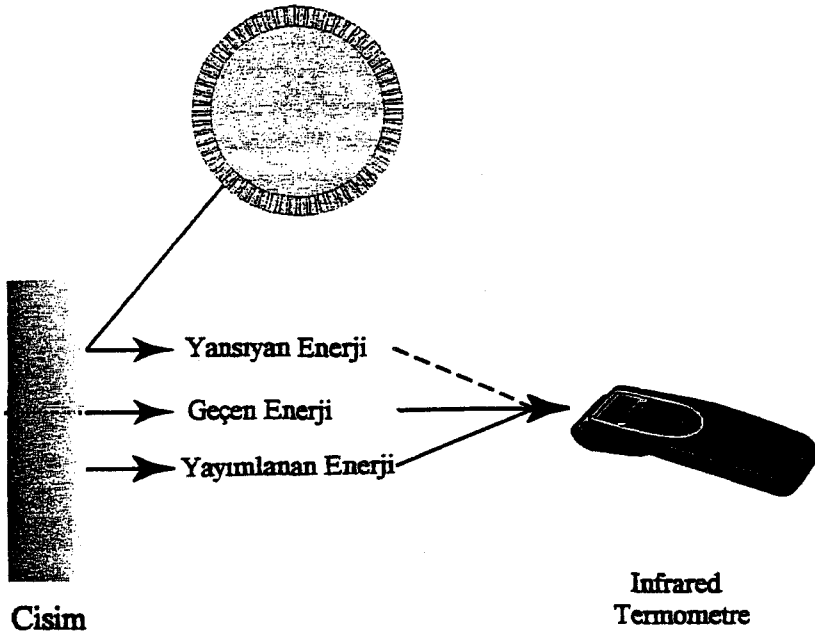
Şekil 4.3 Deneyde Kullanılan Isıtıcı

4.2.2 Infrared Termometre

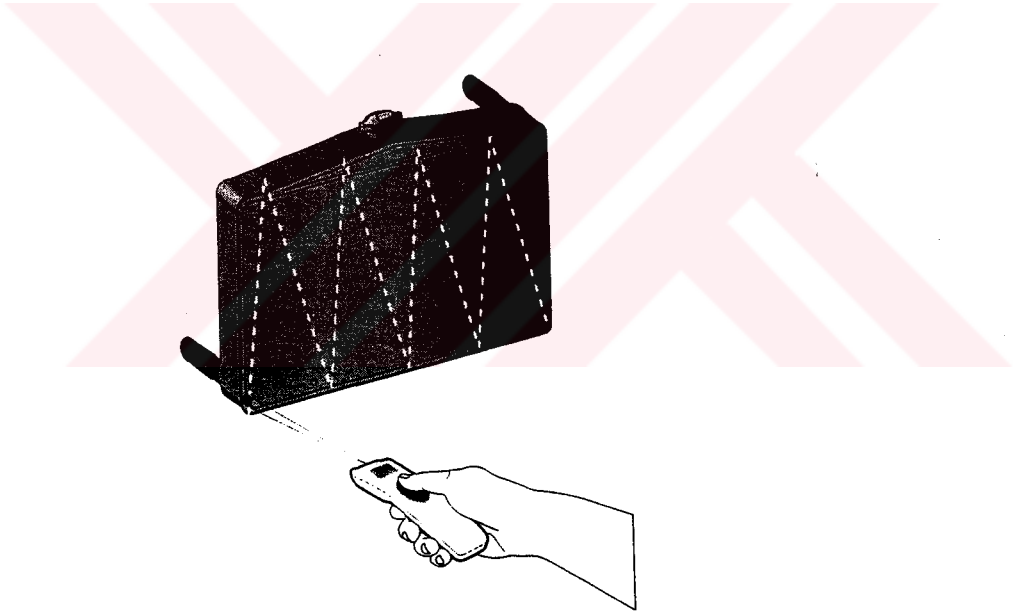
Deneylerde ısıtıcı yardımı ile ısıtılan malzeme yüzeylerindeki sıcaklık değişimi infrared termometre yardımı ile takip edilmiştir. Infrared termometreler cisimlerin yüzey sıcaklığını yüzey ile temasta bulunmadan ölçümleyebilmektedir. Yapılan deneylerde kullanılan infrared termometre Oakton markadır.

Oakton marka infrared termometrelerde optik kısım, cismin yayımladığı enerjiyi, transfer edilen enerjiyi ve cismin yansıttığı enerjiyi detektör üzerine odaklayarak algılamaktadır. Elektronik kısım ise bu toplanan enerjiyi okunacak sıcaklık değeri olarak çevirmekte ve ekranda dijital olarak değer görülmektedir. Deneylerde kullanılan Oakton Infrared Termometrelerin çalışma prensibi Şekil 4.4'te gösterilmektedir (Oakton, 1998).

Sıcaklık ölçülmesi dışında Oakton Infrared Termometreler bir alan üzerindeki sıcak noktayı tespit etme amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Termometre ile Şekil 4.5'de gösterildiği gibi tüm yüzey taranarak sıcak nokta belirlenebilmektedir.

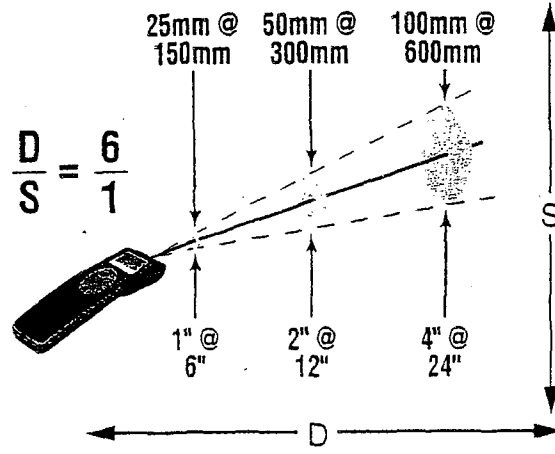


Şekil 4.4. Oakton Infrared Termometrelerin Çalışma Prensibi



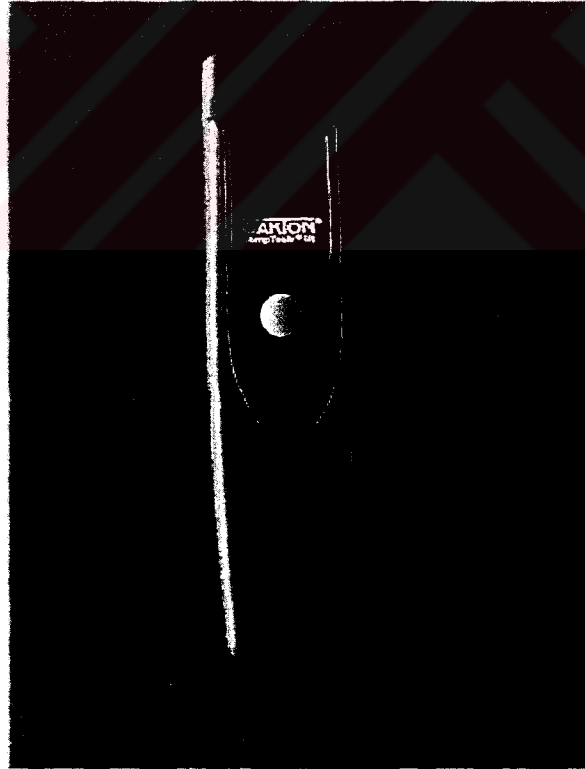
Şekil 4.5 Oakton Infrared Termometreler ile Sıcak Nokta Tespiti

Şekil 4.6'da ise Oakton Infrared Termometrenin nominal nokta algılaması gösterilmektedir. Şekil 4.6 da görüldüğü gibi termometrenin ölçüm yapılacak noktaya olan uzaklığı arttıkça ölçümleme dahilindeki yüzey alanı da artmaktadır. Oakton Infrared Termometresi için en doğru sonuca ulaşmak termometre ile ölçüm yapılacak nokta arasındaki uzaklığın yaklaşık 125 cm'den (4 feet'ten) az olması durumunda mümkün olmaktadır (Oakton, 1998).



Şekil 4.6 Oakton İnfrared Termometrenin Nominal Nokta Algılaması

Kullanılan Oakton İnfrared Termometrenin fotoğrafı Şekil 4.7’te, teknik özellikleri ise Tablo 4.2’de görülmektedir.



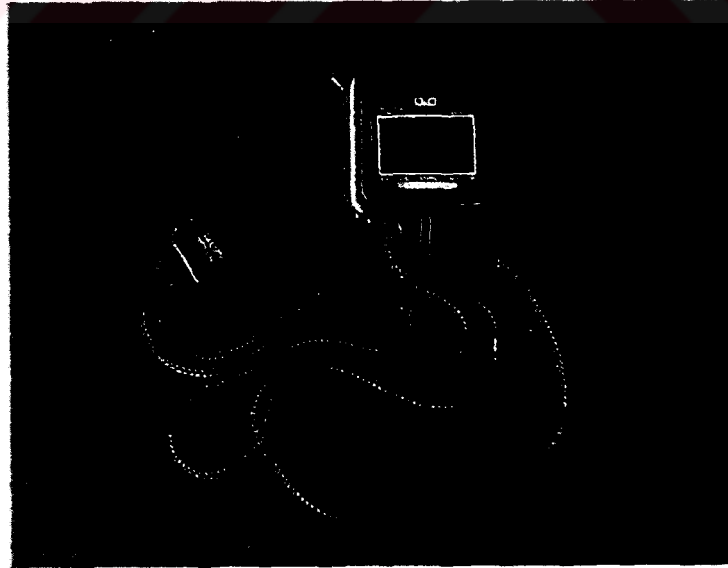
Şekil 4.7 Oakton İnfrared Termometre

Tablo 4.2
Oakton Infrared Termometre Teknik Özellikleri (Oakton, 1998).

Sıcaklık Aralığı	-18 °C ile 260 °C (0 – 500 ° F)
Doğruluk	25 °C ile 260 °C ± 2 -1 °C ile 25 °C ± 3 -18 °C ile -1 °C ± 4
Tekrarlanabilirlik	% ± 2
Cevap Zamanı	500 ms, %95
Spektral Yanıt	7 – 18 μ m
Emissivite	0.95
Muhafaza Sıcaklığı	-20 °C ile 65 °C
Ağırlık	227 g
Boyutlar	184 x 45 x 38 mm
Güç Kaynağı	9 V Alkali veya NiCd Pil
Pil Ömrü	100 saat

4.2.3 Kronometre

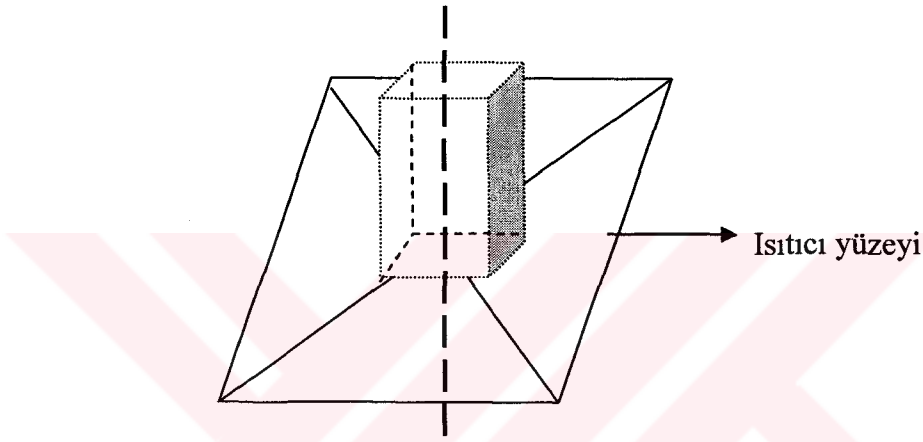
Deneyde yapılan sıcaklık ölçümlerinin sağlıklı bir biçimde karşılaştırılabilirmeleri açısından ölçümlerin eşit zaman aralıklarında yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, deneylerde Şekil 4.8’de görülen kronometre kullanılmıştır.



Şekil 4.8 Deneyde Kullanılan Kronometre

4.3 DENEY DÜZENİĞİNİN TANITIMI

Deney düzeneğindeki ısıtıcı, deney düzeneğinin sabit kısmını oluşturmaktadır. Deney geometrisinin belirlenmesi için yapılan deneyler, numunelerin ısıtıcı merkezine yerleştirilmelerinin uygun olacağını göstermiştir. Her bir numune, 3 cm x 3 cm boyutundaki taban merkezi ile ısıtıcı merkezi çakışacak şekilde ısıtıcı üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 4.9'da malzemelerin ölçümleme yapılmak üzere ısıtıcı üzerine yerleştirilmeleri görülmektedir. Deneylerde ölçümler boyunca aynı tip infrared termometre kullanılmıştır.



Şekil 4.9 Şematik Olarak Numunelerin Isıtıcı Üzerindeki Yerleşim Konumları

4.4. DENEY GEOMETRİSİNİN BELİRLENMESİ

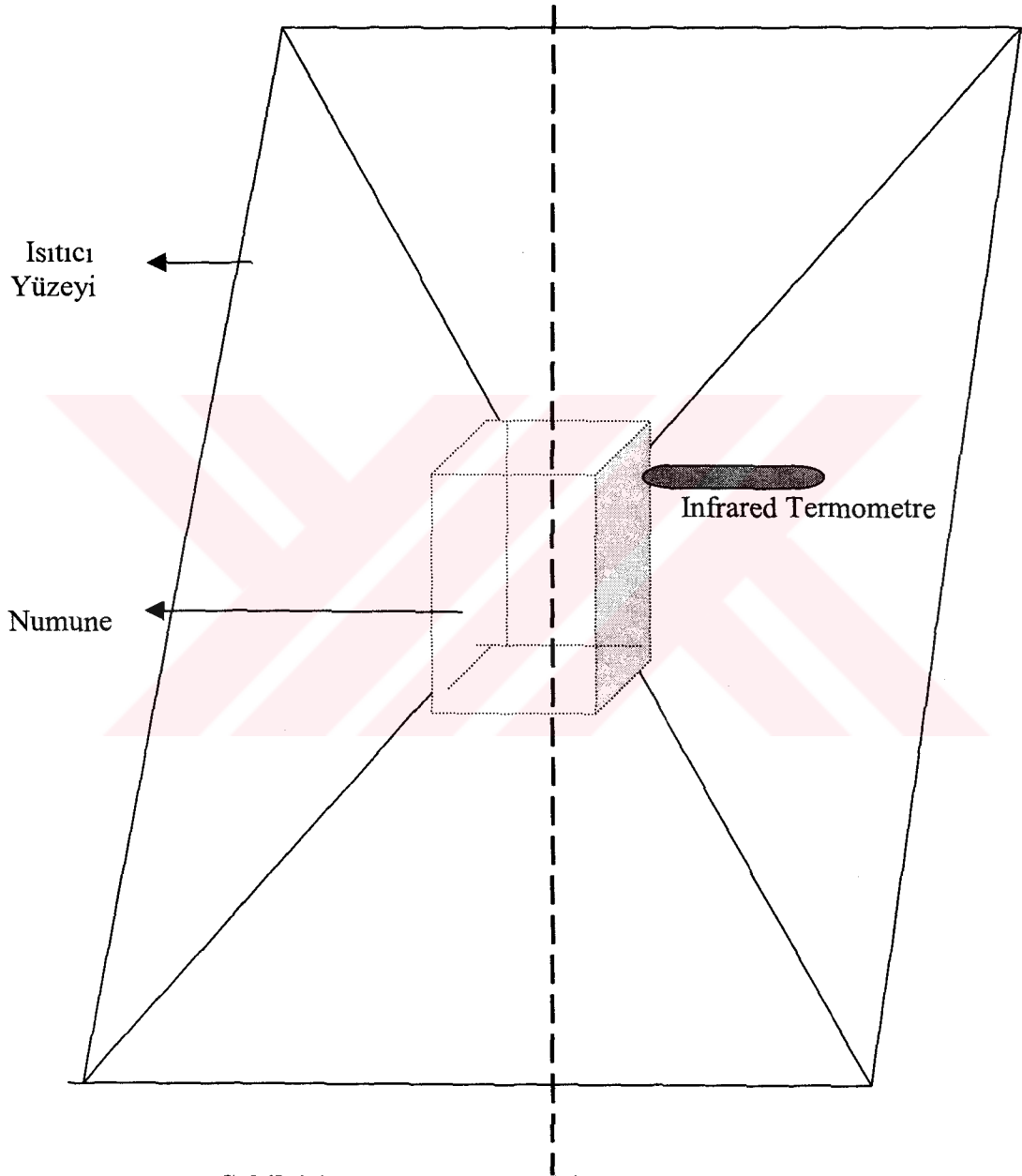
Bu Yüksek Lisans tezinde homojen bir ısı kaynak ile çalışılması amaçlanmıştır. Bu nedenle öncelikle, ısıtıcının homojen bir ısı dağılım gösterip göstermediğini belirlemek gerekmiştir. Bu amaçla, doğrudan (numune konmadan) ısıtıcı üzerinde lojik bir sistematik çerçevede ölçümlere gidilmiştir.

Boyutları 14,5 cm x 19 cm olan ısıtıcı yüzeyi eşit aralıklı ızgara oluşturacak şekilde çizilerek bölümlenmiştir. Isıtıcı için oluşturulan ızgara düzeni, Şekil 4.10'da şematik olarak, Şekil 4.11'de ise fotoğraf olarak görülmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi ızgara noktaları numaralandırılmıştır. Bu numaralandırma ölçüm yapılacak sırayı gösterir biçimde düzenlenmiştir.

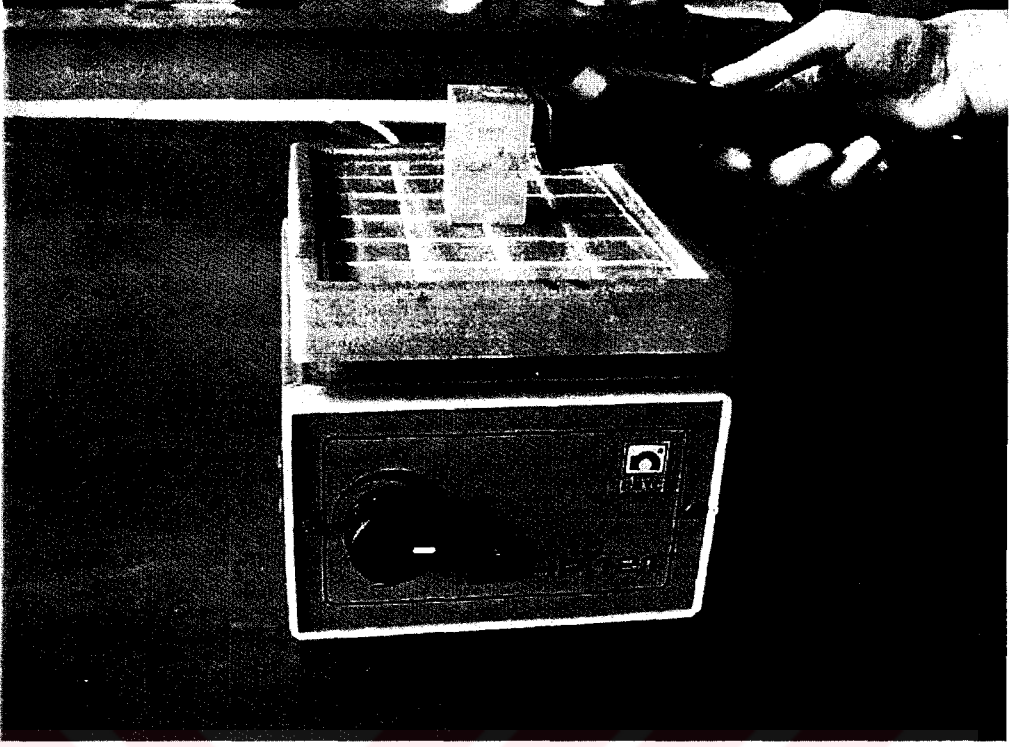
28	29	18	30	31
27	17	6	19	32
16	10	2	11	20
9	5	1	3	7
15	13	4	12	21
26	14	8	22	33
25	24	23	35	34

Şekil 4.10 Şematik Olarak Isıtıcının Izgara Düzeni

Deneylerde kullanılan Oakton infrared termometre ile ölçüm yapılacak ızgara noktası arasındaki uzaklık 125 cm'den az olmak şartı ile her uzaklıkta ölçüm yapılabilmektedir. Infrared termometre, sahip olduğu bu özellikten dolayı, deney geometrisinin belirlenmesinde bir sorun oluşturmamıştır. Şekil 4.11'de deney geometrisinin şeması Şekil 4.12'te ise fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 4.11. Deney Geometrisinin Şematik Düzeni



Şekil 4.13 Deney Geometrisinin Fotoğrafik Görünümü

4.5. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneyde kullanılan ısıtıcının sıcaklığını, arttırmak ya da azaltmak mümkündür. Kullanılan infrared termometre ile ısıtıcının sıcaklığı artırılarak 135°C ye kadar olan sıcaklık değişimi takip edilmiş ve bu sıcaklık artışı üç aralığa bölünmüştür. Tüm deneyler bu üç sıcaklık basamağı için ayrı ayrı tekrar edilmiştir.

Sıcaklık basamakları;

- I. basamak (1) : 60°C
- II. basamak (2) : 95°C
- III. basamak (3) : 135°C arası

şeklinde belirlenmiştir.

Deneylerin birinci kısmında amaç ısıtıcının homojen bir ısı dağılım gösterip göstermediğini belirlemektir. Bu amaçla doğrudan ısıtıcı üzerinde bir dizi sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Şekil 4.10'daki ızgara aralıklarına deneyin ilk kısmı için dairesel bir düzen içinde 8 nokta daha eklenmiştir. Böylece Şekil 4.13'te görüldüğü gibi ızgara noktaları 35'i sayı ile 8'i harfle belirlenmiş toplam 43 noktadan oluşturulmuştur.

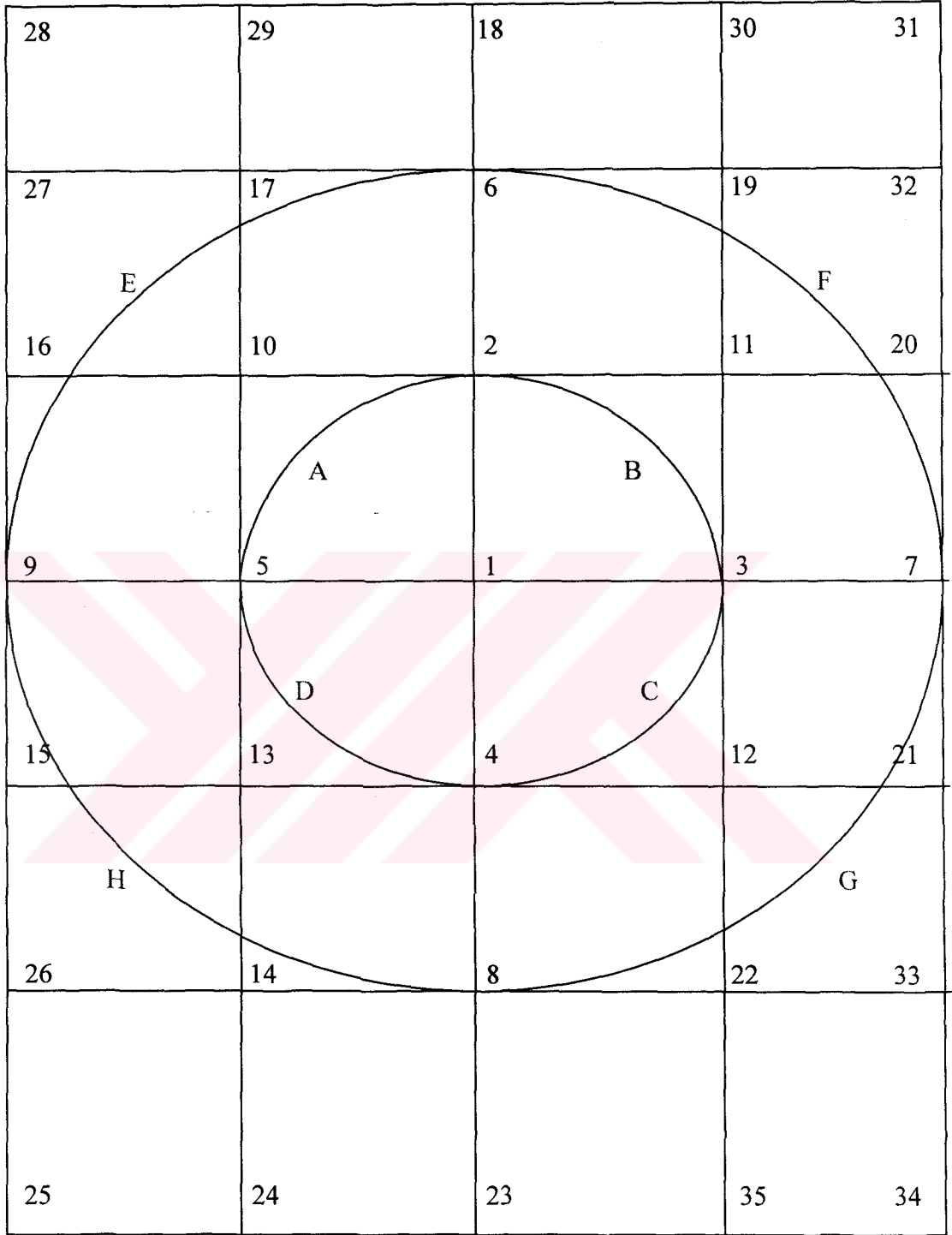
Ölçümler, ızgaranın 1. noktasından başlanarak daireleri alfabetik sıra ile takip edecek biçimde 35. noktaya kadar 43 farklı ızgara noktası için yapılmıştır. Izgara noktalarının sıcaklık ölçümleri infrared termometre ile yapılmıştır. Deneyler belirlenen 3 ayrı sıcaklık aralığı için tekrar edilmiştir.

Sağlıklı bir sonuca ulaşmak açısından, aynı ölçümler her sıcaklık aralığı için ilk yapılan ölçümlerde izlenen ızgara noktalarının ters sırası takip edilerek, yeniden yapılmıştır. Böylelikle, her ızgara noktası için 6'şar sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

Alınan ölçümler sonucunda ısıtıcının ısı dağılımı hakkında bilgi sahibi olunmuş ve uygun deney geometrisi belirlenmiştir. Deneyin ikinci aşamasında numuneler belirlenen geometri doğrultusunda ısıtıcı üzerine yerleştirilmiştir.

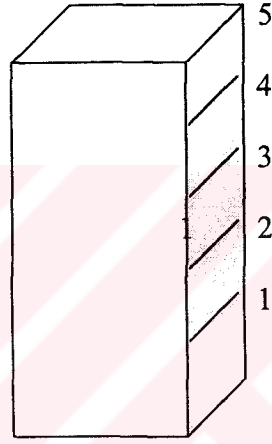
Deneyin ikinci kısmında, ısıtıcı üzerine belirlenen merkezi ızgara noktaları arasına yerleşecek şekilde malzeme konarak ölçümler yapılmıştır. Ancak, lojik bir sistematik içinde ölçümlerin yapılabilmesi için parçaların üzerinde de ızgara noktaları markalaması yoluna gidilmiştir.

Numunelerde ızgara noktalarının belirlenmesi amacıyla, Şekil 4.14'de görüldüğü gibi yüksekliği 5 cm olan numuneler boyuna 5 eşit bölmeye ayrılmıştır. Ölçümlere başlamadan önce ortam sıcaklığı ve numunenin ilk sıcaklığı infrared termometre ile tespit edilmiştir.



Şekil 4.13 Şematik Olarak Isıtıcının Izgara Düzeni

Numune ısıtıcı yüzeyine belirlenen geometride yerleştirildikten sonra sıcaklık sıkalası, belirlemiş olduğumuz 0 (kapalı) konumundan 1 konumuna getirilmiştir. 1 noktasından başlanarak 5 nokta için ard arda sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. 5 noktanın da sıcaklık değerleri belirlendikten sonra aynı sıcaklık aralığında 20 saniye aralıklarla ölçümler tekrar edilmiştir. Bir başka deyişle her bir set ölçümleme arasında geçen süre 20 saniyedir. Ölçümlere, belirlenen ölçümleme noktalarındaki sıcaklık artışı termometre ile belirlenemeyecek duruma gelinceye kadar devam etmiştir.



Şekil 4.14 Numuneler Üzerinde Ölçüm Yapılan Noktalar

Belirlenen üç sıcaklık aralığında (1., 2. ve 3. sıcaklık basamakları için) her numune üzerinde belirlenen 5 noktada ayrı ayrı ölçümler yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Böylece deneyler farklı malzemeli numuneler için eksenel yönde ölçümler ile, farklı ısıtıcı sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI

Bölüm 4'te belirtildiği gibi deneyler iki kısma ayrılarak yapılmıştır. Deneylerin ilk kısmı doğrudan ısıtıcı üzerinde ölçüm alınarak yapılan deneylerdir. İkinci kısım ise ısıtıcı üzerine belirlenen geometride malzeme konarak yapılan deneylerdir. Aşağıdaki alt bölümlerde her iki deney kısmına ilişkin sonuçlar ayrı ayrı verilmektedir.

5.1 ISITICIYA İLİŞKİN YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

Öncelikle, ısıtıcının yüzeyine ilişkin sıcaklık ölçümlerini içeren deneyler yapılmıştır. Dolayısıyla, ısıtıcı yüzeyinin sıcaklık haritasının çıkarılması mümkün olmuştur. Böylelikle, numunelerle çalışma halinde homojen ısınmanın mümkün olacağı konum belirlmesine gidilebilecektir.

Bu amaçla, ısıtıcı için seçilen üç basamak sıcaklık kademesi için ayrı ayrı deneyler yapılmıştır. Her bir basamak için ısıtıcı ayarı yapıp, rejim hale ulaşması için beklendikten sonra deneylere başlanmıştır.

Bölüm 4.' de detayı verildiği üzere, belirlenen 43 ızgara noktası üzerinden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Böylelikle, ısıtıcının birinci basamak ısınması için deneyler gerçekleştirilmiştir.

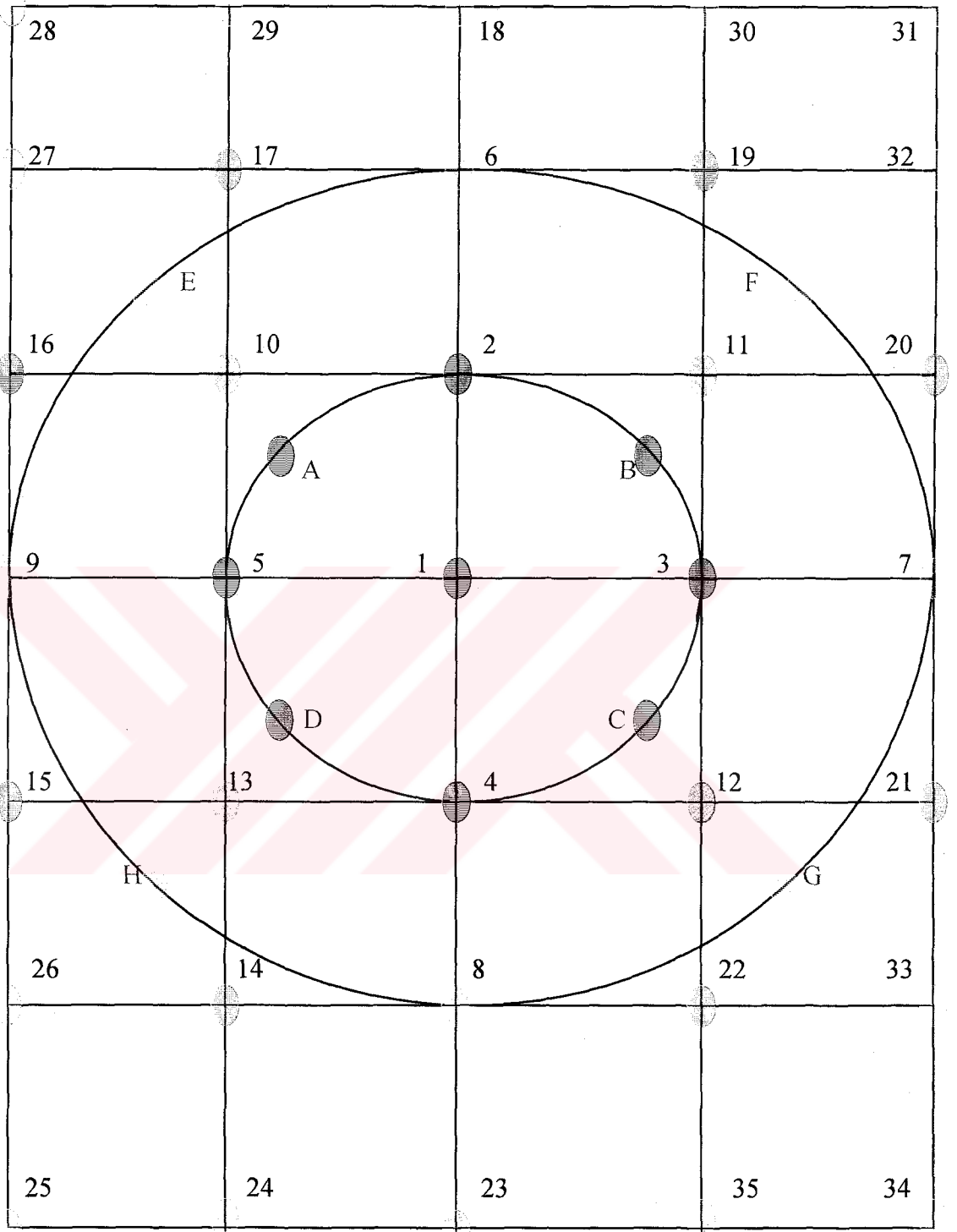
Bundan sonra, ısıtıcının diğer sıcaklık basamakları için deneyler tekrarlanmıştır. Böylelikle, ısıtıcının üç farklı sıcaklık basamağı için sıcaklık değerleri infrared termometre ile belirlenmiştir. Yapılan deneylerle ısıtıcının farklı sıcaklık basamakları için elde edilen ortalama sıcaklık değerleri Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1
Izgara Noktalarına Ait Ortalama Sıcaklık Değerleri

Izgara Noktası	Sıcaklık (°C)	Izgara Noktası	Sıcaklık (°C)	Izgara Noktası	Sıcaklık (°C)
1	96,0	H	85,0	23	76,5
A	94,0	9	86,5	24	78,0
2	92,5	10	90,0	25	75,0
B	93,5	11	88,5	26	77,5
3	93,5	12	90,5	27	77,0
C	94,5	13	89,5	28	74,5
4	93,0	14	82,5	29	76,0
D	94,0	15	80,0	30	76,0
5	93,5	16	80,5	31	74,0
E	86,0	17	81,5	32	77,5
6	85,5	18	78,0	33	76,5
F	84,0	19	79,5	34	74,5
7	84,0	20	79,5	35	75,5
G	84,5	21	79,0		
8	83,0	22	78,5		

Tablo 5.1'den hareketle, her bir ızgara noktası için ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinden hareketle ısıtıcının sıcaklık haritası çıkarılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, ısıtıcının belirlenen noktalarında sıcaklık ölçümleri yapıldığı göz önüne alınarak, bölgesel niteleme çerçevesinde ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) olan ızgara noktalarının benzeşimli olduğu düşünülmüştür.

Bu bağlamda, renkle ifade edilen sıcaklık haritası oluşturulması yoluna gidilmiştir. Burada; sıcaklık ortalama değerleri büyükten küçüğe doğru kırmızı, turuncu, sarı, mavi ve gri renkler ile temsil edilmektedir. Öncelikle, ölçümlerle elde edilen, ısıtıcının ölçüm noktalarına ilişkin sıcaklık betimlemesi Şekil 5.1'de buradan hareketle, anlojik manada bölgesel sıcaklık haritası Şekil 5.2'de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 5.1 Izgara Noktalarının Sıcaklık Ortalamalarının Değerlendirilmesi



Şekil 5.2 Izgara Noktalarının Bölgesel Sıcaklık Haritası

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki ızgara aralıkları 1 / 1 ölçekle çizilmiştir. Isıtıcı boyutları 14,5 cm x 19 cm' dir. Bir başka deyişle, ızgara bölgeleri yaklaşık 3,6 cm x 3,15 cm' dir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi ısıtıcı merkezindeki 6 x 6 cm'lik alan için ısıtıcının homojen bir ısı dağılım gösterdiği söylenebilir.

Deneylerde malzemeler üzerinde sıcaklık takibi yapılacağından malzemeyi homojen bir ısıtıcı zerine yerleştirmek gerekmektedir. Bu nedenle alanı 3 x 3 cm olan malzemeler ile çalışılma yapılması yoluna gidilmiştir. Bu bağlamda, numunelerle, ısıtıcının homojen sıcaklık dağılım gösterdiği bölge üzerinde çalışılması hedeflenmiştir.

Bir başka deyişle, numuneler, ısıtıcının Şekil 5.2'de kırmızı ile gösterilen merkez bölgesine yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Böylelikle, ısıtıcıya ilişkin olarak bu ilk deneylerle, numuneli çalışma için deney yerleşim düzeni ve deney geometrisi lojik olarak belirlenmiştir.

5.2 NUMUNELİ DENEYLERİN SONUÇLARI

Isıtıcı üzerine yerleştirilen numuneler üzerinde yapılan ölçümler 8 farklı malzeme için tekrar edilmiştir. Numuneler üzerinde 5 nokta için üç farklı ısıtıcı sıcaklık basamağında ölçümlemeler yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan çelik tiplerinden Paslanmaz Çelik ve Manganezli Çelik için her üç sıcaklık basamağında yapılan ölçümlemelere ilişkin değerler sırası ile Tablo 5.2 ve Tablo 5.3'de verilmektedir.

Tablo 5.2
304 Paslanmaz Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	46,0	46,0	46,0	46,00
	4	48,0	47,0	47,5	47,50
	3	49,5	49,0	49,5	49,33
	2	51,5	51,0	51,0	51,16
	1	54,0	54,0	53,5	53,83
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	69,5	69,5	70,0	69,66
	4	73,0	72,5	73,0	72,83
	3	75,5	75,0	75,0	75,16
	2	78,5	78,0	78,0	78,16
	1	82,0	82,5	82,0	82,16
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	97,0	97,0	98,0	97,33
	4	100,0	100,5	98,50	99,66
	3	103,5	103,0	103,0	103,16
	2	106,5	107,5	108,0	107,33
	1	113,5	113,5	113	113,33

Tablo 5.3
Manganezli Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	48,5	49,0	49,5	49,00
	4	50,0	49,5	50,0	49,83
	3	51,0	51,0	51,0	51,00
	2	52,5	52,0	52,5	52,33
	1	54,5	53,5	55,0	54,33
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	75,0	74,5	75,0	74,83
	4	75,0	75,5	75,5	75,33
	3	76,5	76,5	77,0	76,66
	2	80,5	80,5	81,0	80,66
	01	83,5	83,5	84,0	83,66
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	102,5	102,5	103,0	102,66
	4	103,0	104,0	103,5	103,5
	3	105,5	108	105,5	106,33
	2	110,5	110,5	111,0	110,66
	1	116,0	116,5	116,5	116,33

Tablo 5.4'te deneylerde kullanılan çelik tiplerinden üçüncüsü olan Kromlu Çelik için, Tablo 5.5'te ise deneylerde kullanılan dördüncü çelik tipi olan Karbonlu Çelik için her üç sıcaklık basamağında yapılan sıcaklık ölçümlerine ait değerler verilmektedir.

Tablo 5.4
Kromlu Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	50,0	50,5	50,0	50,16
	4	50,5	50,5	51,0	50,66
	3	51,5	51,5	51,5	51,50
	2	53,0	53,5	53,5	53,33
	1	54,5	55,0	55,0	54,83
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	76,5	77,0	76,0	76,50
	4	79,0	78,5	79,0	78,83
	3	81,5	80,0	80,0	80,16
	2	83,0	82,5	82,5	82,66
	1	85,0	84,5	84,5	84,66
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	106,0	106,0	106,5	106,33
	4	108,0	107,5	107,5	107,66
	3	112,5	112,0	108,5	111,00
	2	113,0	113,0	113,5	113,16
	1	118,0	118,5	118,0	118,33

Tablo 5.5
Karbonlu Çelik İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	51,0	50,0	50,5	50,66
	4	51,0	51,5	51,0	51,33
	3	52,5	52,0	52,5	52,33
	2	54,5	54,5	54,0	54,33
	1	56,0	56,0	55,5	55,83
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	78,0	77,5	78,0	77,66
	4	80,0	80,0	79,5	79,83
	3	81,0	80,5	80,5	80,66
	2	83,5	83,5	83,0	83,33
	1	85,0	85,0	85,0	85,00
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	106,0	106,0	106,5	106,33
	4	109,0	109,0	109,0	109,00
	3	111,0	111,5	111,5	111,33
	2	114,0	114,5	114,0	114,16
	1	118,5	119,0	118,5	118,66

Deneylerde kullanılan numunelerden Alüminyum ve Alüminyum alaşımı için üç farklı sıcaklık basamağında yapılan ölçümlerin değerleri sırası ile Tablo 5.6 ve Tablo 5.7’de verilmektedir.

Tablo 5.6
Alüminyum İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	54,5	54,5	55,0	54,66
	4	55,5	55,5	55,0	55,16
	3	56,0	56,0	56,0	56,00
	2	57,0	56,0	56,5	56,50
	1	58,0	57,5	57,0	57,50
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	85,0	85,5	85,5	85,33
	4	85,5	85,5	86,0	85,66
	3	86,0	86,0	86,0	86,00
	2	86,5	87,0	87,0	86,83
	1	87,5	87,5	88,0	87,66
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	118,5	119,0	119,0	118,83
	4	119,0	119,5	119,0	119,16
	3	120,5	121,0	120,5	120,66
	2	121,0	121,5	121,5	121,33
	1	121,5	122,0	122,0	121,83

Tablo 5.7
Alüminyum Alaşımı İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	53,0	53,0	53,5	53,16
	4	54,0	53,5	54,0	53,83
	3	54,0	54,0	54,5	54,16
	2	56,5	56,0	56,5	56,33
	1	57,0	56,5	57,5	57,00
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	83,0	82,5	82,5	82,66
	4	83,5	83,5	83,0	83,33
	3	84,5	84,5	84,0	84,33
	2	86,5	86,0	85,5	86,00
	1	87,5	87,5	87,0	87,33
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	115,0	116,0	115,5	115,50
	4	116,0	117,0	116,5	116,50
	3	117,0	118,0	117,5	117,50
	2	118,5	119,0	118,5	118,83
	1	120,0	120,5	120,0	120,16

Bakır ve Prinç olan numuneler için üç farklı sıcaklık basamağında yapılan deney sonuçları ise Tablo 5.8 ve Tablo 5.9 da verilmektedir.

Tablo 5.8
Bakır İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	55,0	55,0	55,0	55,00
	4	55,5	56,0	55,5	55,66
	3	55,5	56,5	56,0	56,00
	2	56,5	57,0	57,0	56,83
	1	57,5	58,0	58,0	57,83
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	87,0	87,0	87,0	87,00
	4	88,0	87,5	87,0	87,50
	3	89,0	89,0	88,5	88,33
	2	90,0	90,0	89,5	89,83
	1	92,5	92,5	92,0	92,33
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	119,0	119,0	119,0	119,00
	4	119,5	120,0	119,5	119,66
	3	121,0	121,5	121,0	121,33
	2	122,5	122,5	122,0	122,33
	1	124,5	124,0	124,5	124,33

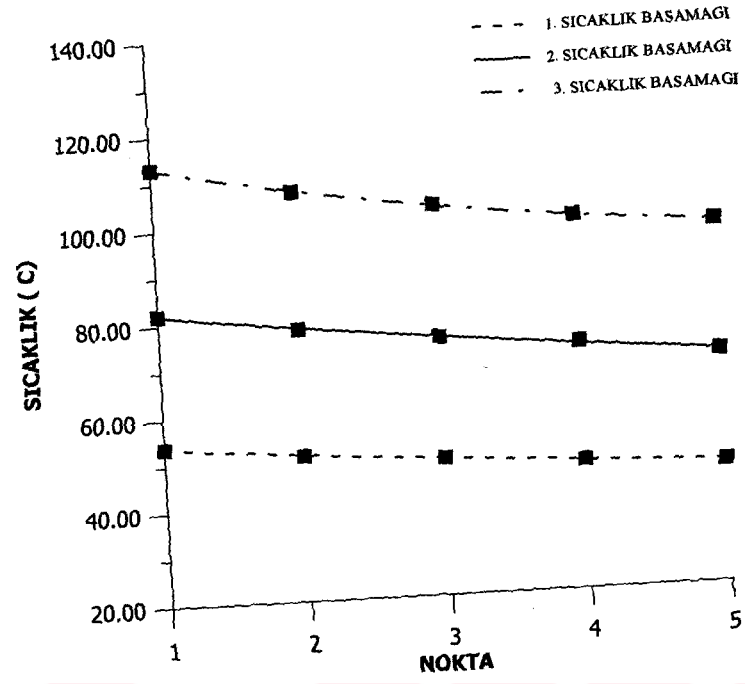
Tablo 5.9
Prinç İçin Üç Farklı Sıcaklık Basamağında Yapılan Sıcaklık Ölçümleri

	NOKTA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ (°C)			
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Sıcaklık
1. SICAKLIK BASAMAĞI (60 °C)	5	54,0	53,5	54,0	53,83
	4	54,5	53,5	55,0	54,33
	3	55,5	55,0	55,5	55,33
	2	56,5	56,0	56,5	56,33
	1	57,5	57,0	57,5	57,33
2. SICAKLIK BASAMAĞI (95 °C)	5	83,0	83,0	82,5	82,83
	4	84,0	84,0	84,0	84,00
	3	85,0	85,0	84,5	84,83
	2	86,0	86,5	86,5	86,33
	1	88,5	89,0	89,0	88,66
3. SICAKLIK BASAMAĞI (135 °C)	5	115,5	116,0	115,5	115,66
	4	116,5	117,0	116,5	116,66
	3	117,5	118,0	117,5	117,66
	2	119,5	120,0	119,5	119,66
	1	121,0	121,0	120,5	120,83

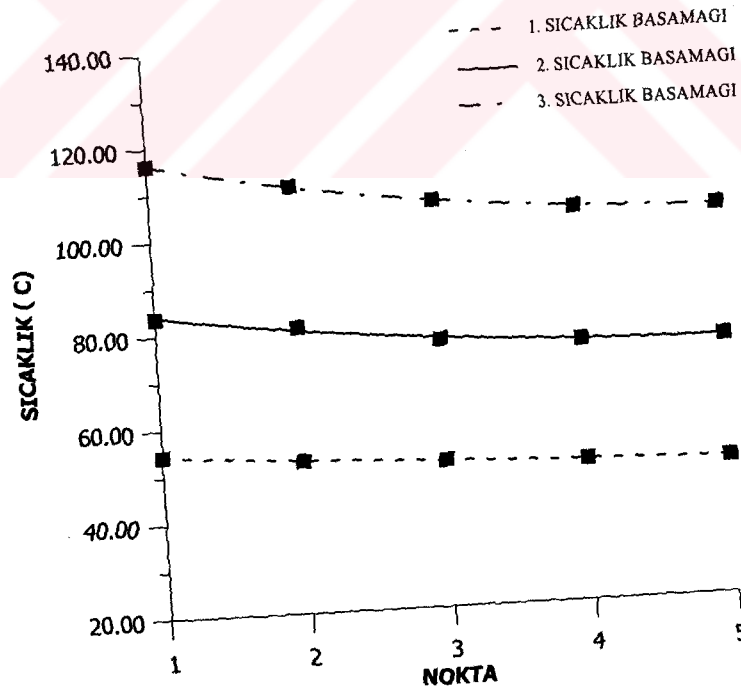
5.3 DENEYLERE İLİŞKİN GRAFİKLER

Numuneler ile yapılan deneylere ilişkin değerler tablo haline getirildikten sonra sonuçlar grafik üzerine aktarılmıştır. İlk olarak her numunenin farklı sıcaklık basamağındaki sıcaklık dağılımını görmek amaçlı grafikler çizilmiştir. Şekil 4.14'te gösterilen numune üzerinde belirlenmiş 5 ölçüm noktasına karşılık gelen sıcaklık değerleri grafik üzerinde gösterilmek istenmiştir. Böylelikle her bir numuneye ait üç farklı sıcaklık basamağı için nokta – sıcaklık grafikleri elde edilmiştir

Paslanmaz Çelik için belirlenen 5 ölçüm noktasına ait, 3 farklı sıcaklık basamağındaki sıcaklıkları gösteren grafik Şekil 5.3'te, Manganezli Çelik için ise Şekil 5.4'te görülmektedir.

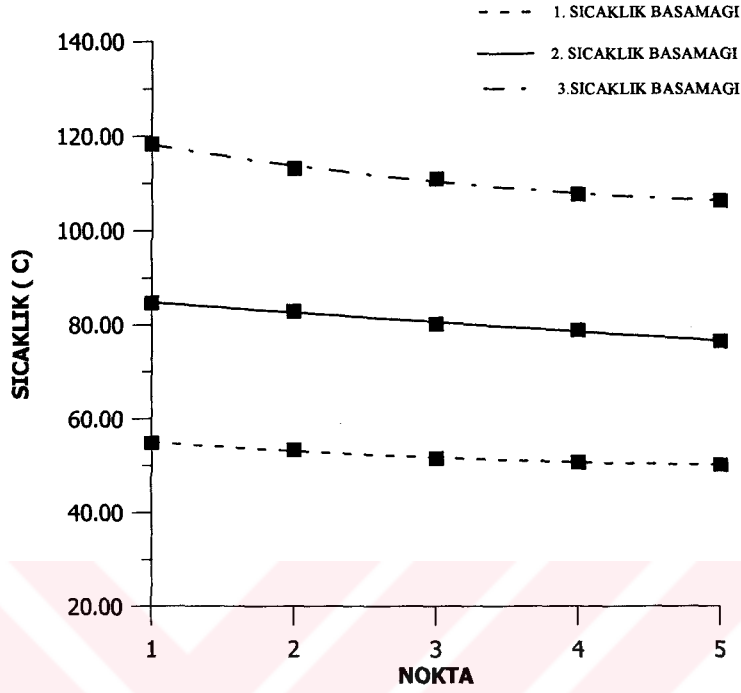


Şekil 5.3 Paslanmaz Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

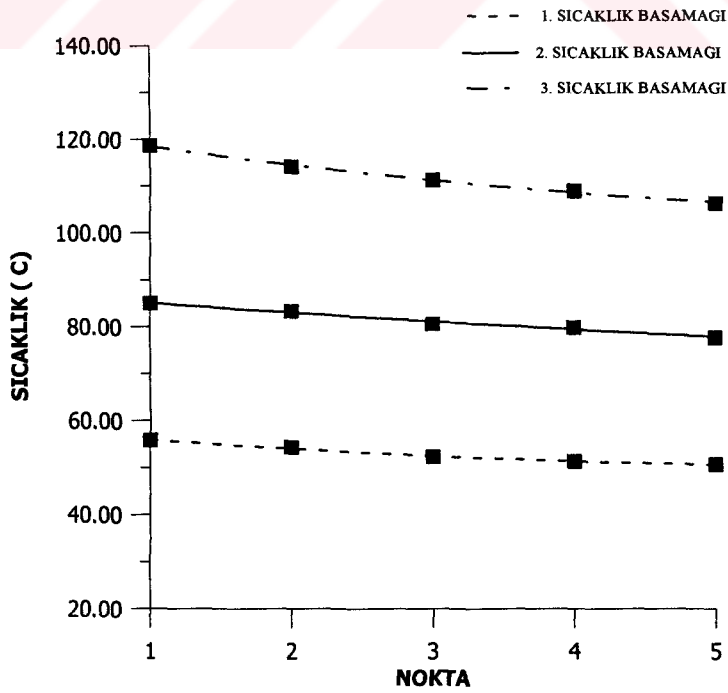


Şekil 5.4 Manganezli Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

Şekil 5.5’de Kromlu Çelik için, Şekil 5.6’da ise Karbonlu Çelik için farklı sıcaklık basamaklarında, ölçüm noktalarının sıcaklıklarını gösteren grafik görülmektedir.

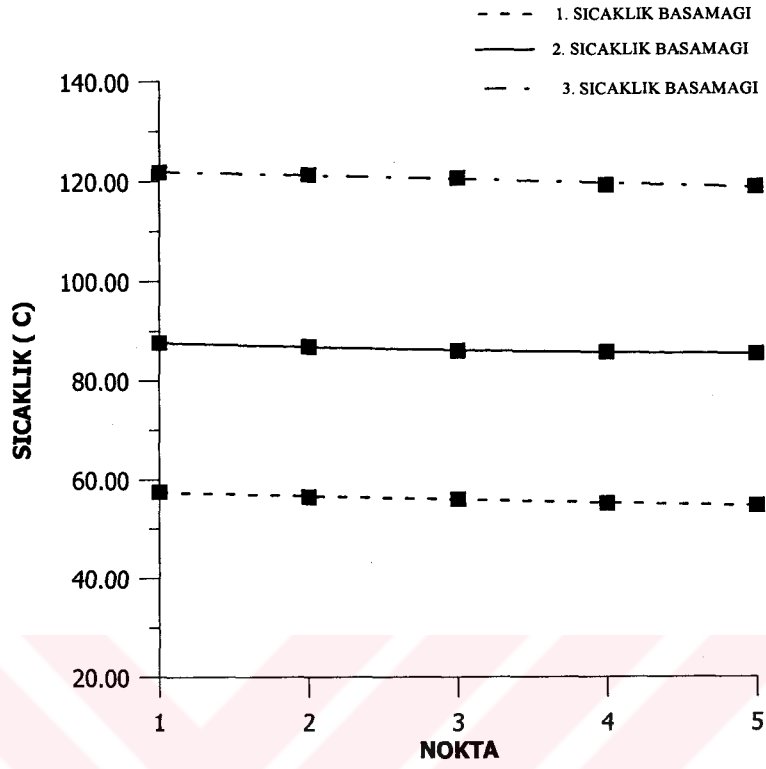


Şekil 5.5 Kromlu Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

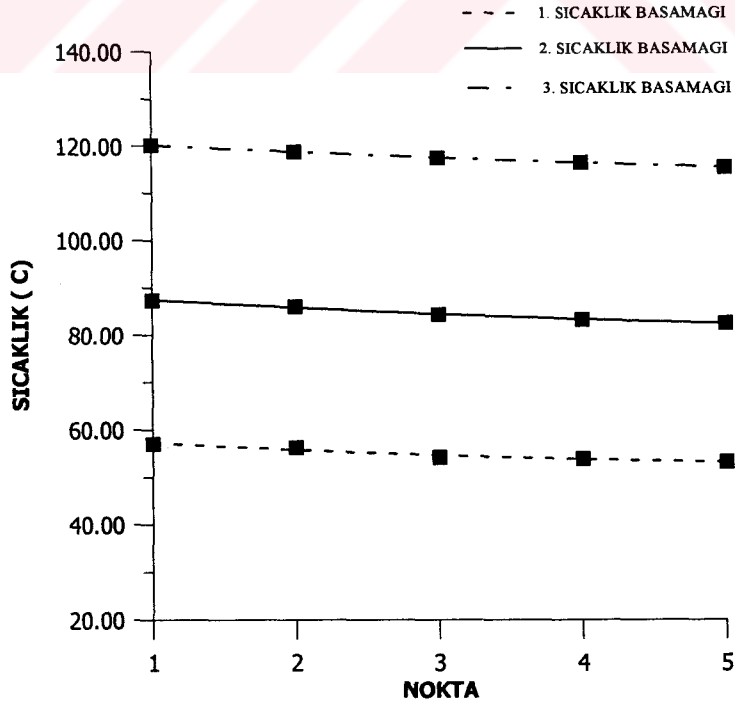


Şekil 5.6 Karbonlu Çelik İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

Farklı sıcaklık basamaklarında ölçüm yapılan noktalara ait değerler Alüminyum için Şekil 5.7’de, Alüminyum Alaşımı için ise Şekil 5.8’de görülmektedir.

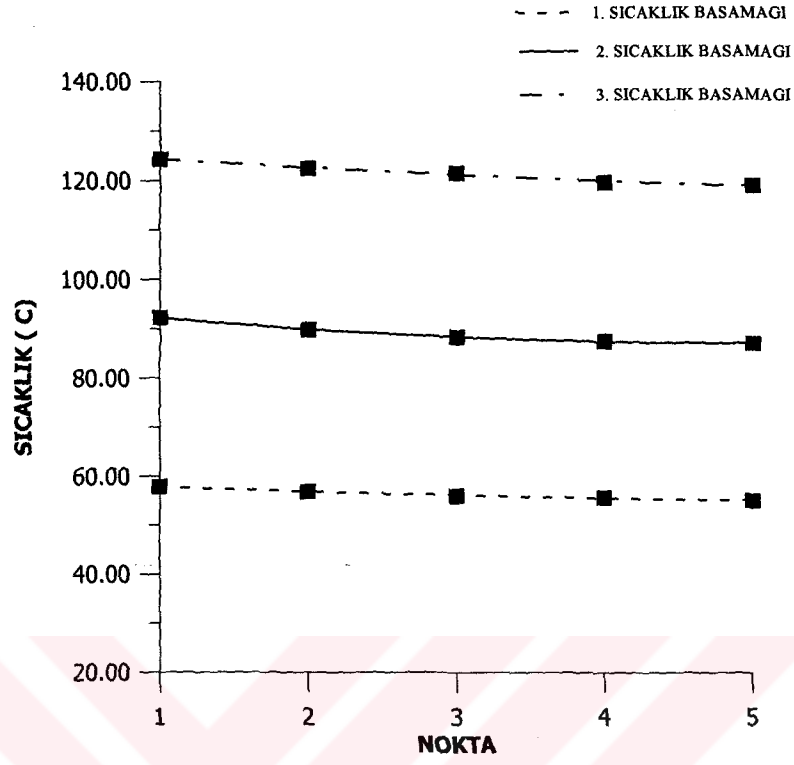


Şekil 5.7 Alüminyum İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

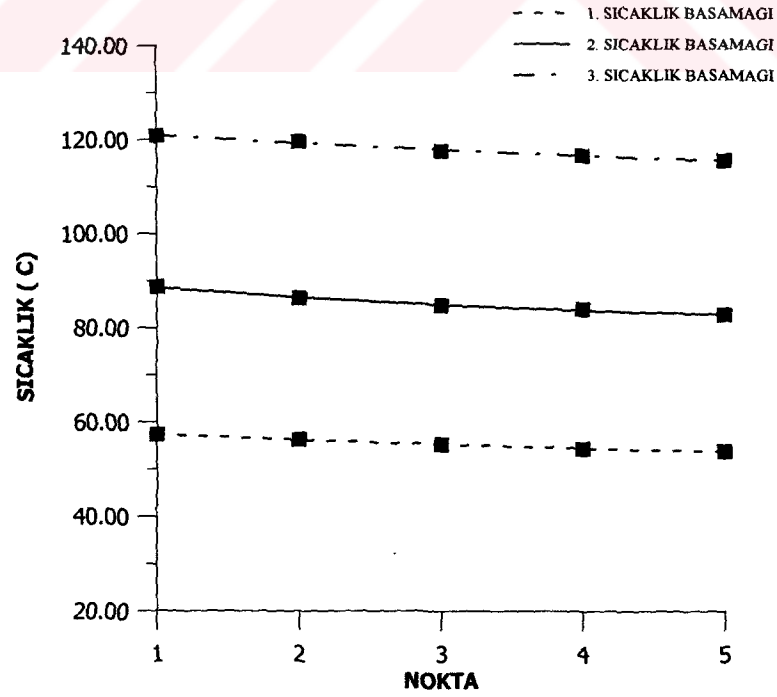


Şekil 5.8 Alüminyum Alaşımı İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

Bakır ve Pirinç için ölçüm noktalarının, üç farklı sıcaklık basamağındaki sıcaklık değerlerini gösteren grafikler sırası ile Şekil 5.9'da ve Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Bakır İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

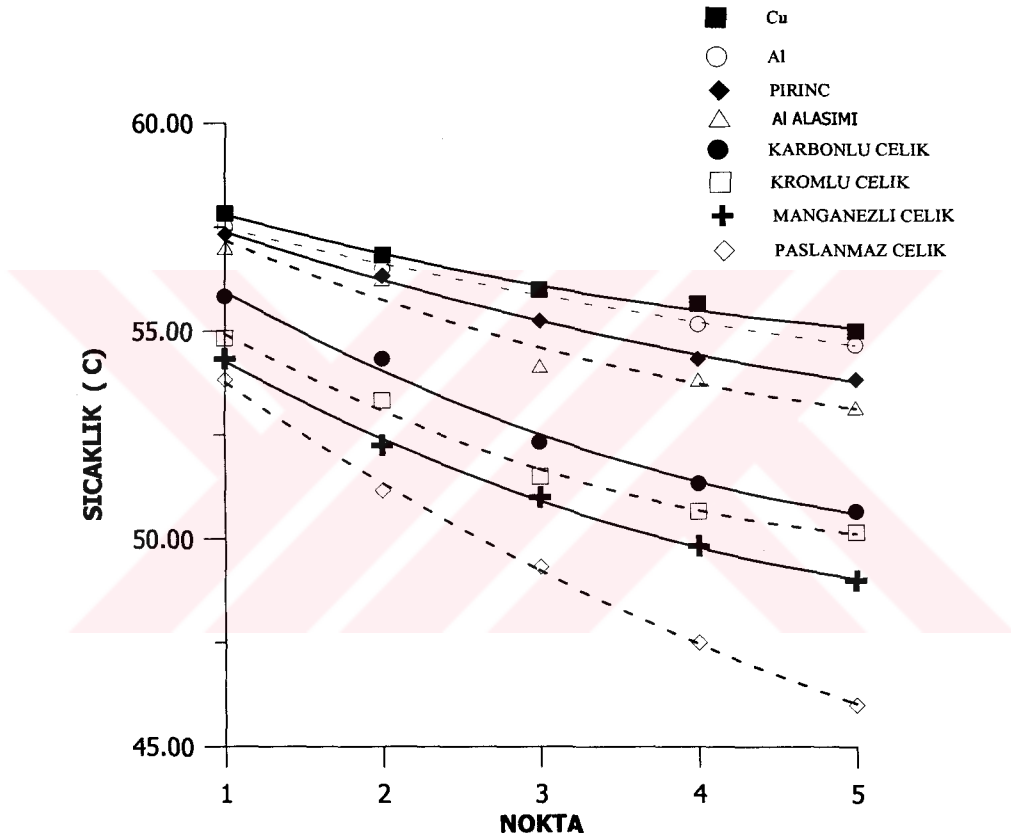


Şekil 5.10 Pirinç İçin Farklı Sıcaklık Basamaklarına Ait Nokta-Sıcaklık Grafiği

5.4 DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ

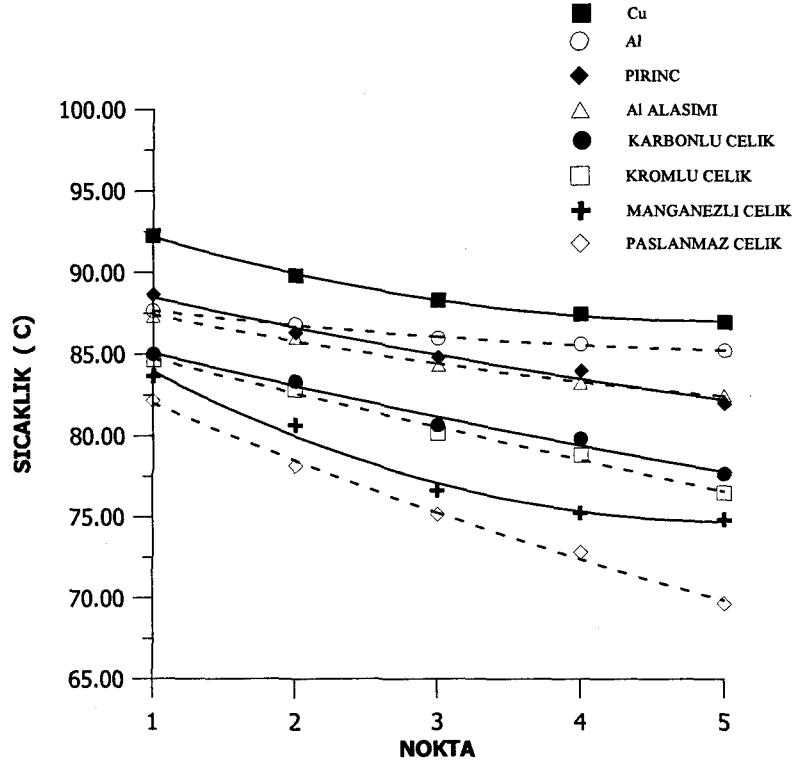
Farklı malzemelerle yapılan deneylerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, farklı numuneler için her bir sıcaklık basamağına ait mukayeseli grafikler çizilmiştir. Böylelikle aynı sıcaklıkta, farklı yapıda olan numunelerin sıcaklık değişimleri bir arada gözlemlenebilmiştir. Bunun için üç farklı sıcaklık basamağı için üç farklı grafik çizilmiştir

1. sıcaklık basamağında tüm numuneler çizilen grafikler Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de görülmektedir.

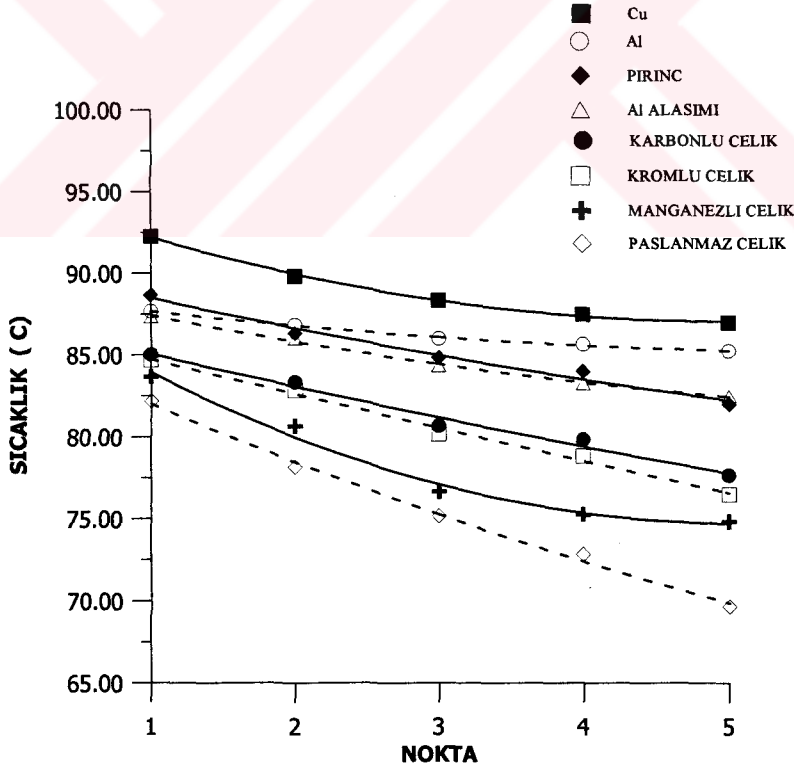


Şekil 5.11 1. Sıcaklık Basamağı İçin Tüm Numunelere Ait Nokta-Sıcaklık Grafikleri

Şekil 5.12’de tüm numunelerin 2. sıcaklık basamağı için ölçüm noktalarına ait sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Şekil 5.13’de ise yine tüm numunelere ait ölçüm noktalarının 3. sıcaklık basamağındaki değerleri verilmektedir.



Şekil 5.12 2.Sıcaklık Basamağı İçin Tüm Numunelere Ait Nokta-Sıcaklık Grafikleri



Şekil 5.13 3.Sıcaklık Basamağı İçin Tüm Numunelere Ait Nokta-Sıcaklık Grafikleri

5.5. TEORİK HESAPLAMA SONUÇLARI

Denklem 2.20 de verilen eşitlikte ısıtıcı gücü, yüzey alanları ve ölçümlenen nokta kalınlıkları yerine konarak hesaplamalar yapılmıştır. Çalışılan ısı iletkenlik katsayıları, Tablo 4.1'den yararlanılarak lineer interpolasyon yöntemi ile her bir sıcaklık basamağı için hesaplanmıştır.

Bu veriler doğrultusunda Denklem 2.20 bağlamında hesaplanarak bulunan teorik sıcaklık değerleri çelik tipleri için Tablo 5.10'da, diğer malzemeler için Tablo 5.11'de görülmektedir.

Tablo 5.10
Çalışılan Çelik Tipi Malzemeler İçin Hesaplamalar İle Elde Edilen Teorik Sonuçlar

MALZEME	NOKTA	SICAKLIK BASAMAĞI		
		1	2	3
Paslanmaz Çelik	5	51,12	78,35	109,49
	4	51,80	79,62	111,53
	3	53,06	81,92	115,05
	2	54,80	85,25	120,05
	1	57,11	89,57	126,69
Manganezli Çelik	5	53,05	81,97	115,03
	4	53,62	83,03	116,65
	3	54,58	84,84	119,42
	2	55,95	87,41	123,37
	1	57,75	90,78	128,54
Kromlu Çelik	5	54,81	85,28	120,09
	4	55,24	86,07	121,31
	3	56,18	87,85	124,04
	2	56,99	89,36	126,35
	1	58,33	91,87	130,20
Karbonlu Çelik	5	55,46	86,49	121,94
	4	55,83	87,18	123,01
	3	56,47	88,37	124,84
	2	57,36	90,06	127,43
	1	58,65	92,47	131,12

Tablo 5.11
Alüminyum, Alüminyum Alaşımı, Bakır ve Pirinç İçin Hesaplamalar İle Elde Edilen
Teorik Sonuçlar

MALZEME	NOKTA	SICAKLIK BASAMAĞI		
		1	2	3
Alüminyum	5	59,28	93,66	132,95
	4	59,32	93,72	133,04
	3	59,46	93,99	133,45
	2	59,60	94,25	133,85
	1	59,80	94,63	134,42
Alüminyum Alaşımı	5	58,32	91,85	130,17
	4	58,44	92,07	130,50
	3	58,68	92,52	131,20
	2	59,04	93,20	132,25
	1	59,48	94,02	133,51
Bakır	5	59,52	94,11	133,63
	4	59,54	94,13	133,67
	3	59,62	94,30	133,93
	2	59,80	94,62	134,42
	1	59,84	94,70	134,54
Pirinç	5	58,49	92,18	130,67
	4	58,61	92,41	131,03
	3	58,83	92,81	131,64
	2	59,13	93,37	132,50
	1	59,52	94,1	133,62

Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel ve teorik değerler arasındaki farklar belirlenerek hata tespitine gidilmiştir. Tablo 5.12’de çelik tipleri için, Tablo 5.13’te ise diğer numuneler için yapılan deneylere ait hata değerleri verilmektedir.

Tablo 5.12
Çelik Tipleri İçin Hata Tablosu

NUMUNE	NOKTA	HATA (%)			ORT. HATA (%)	ORT. HATA (%)
		Sıcaklık Basamağı				
		1	2	3		
Paslanmaz Çelik	5	10,01	11,09	11,17	10,75	8,83
	4	8,30	8,52	10,67	9,16	
	3	7,10	8,25	10,33	8,56	
	2	6,64	8,31	7,40	7,45	
	1	5,74	8,27	10,60	8,20	
Manganezli Çelik	5	7,63	8,71	10,75	9,03	8,68
	4	7,06	9,37	11,27	9,23	
	3	6,55	9,64	10,96	9,05	
	2	6,61	7,72	10,30	8,21	
	1	6,26	7,84	9,56	7,88	
Kromlu Çelik	5	8,48	10,29	11,45	10,03	8,86
	4	8,29	8,41	11,25	9,32	
	3	8,33	8,75	10,51	9,19	
	2	6,42	7,30	10,43	8,05	
	1	6,03	7,84	9,11	7,66	
Karbonlu Çelik	5	8,65	10,21	11,98	10,28	8,82
	4	8,06	8,43	11,38	9,29	
	3	7,33	8,72	10,82	8,95	
	2	5,28	7,47	10,80	7,85	
	1	5,66	8,07	9,50	7,74	

Tablo 5.13
Alüminyum, Alüminyum Alaşımı, Bakır ve Pirinç İçin Hata Tablosu

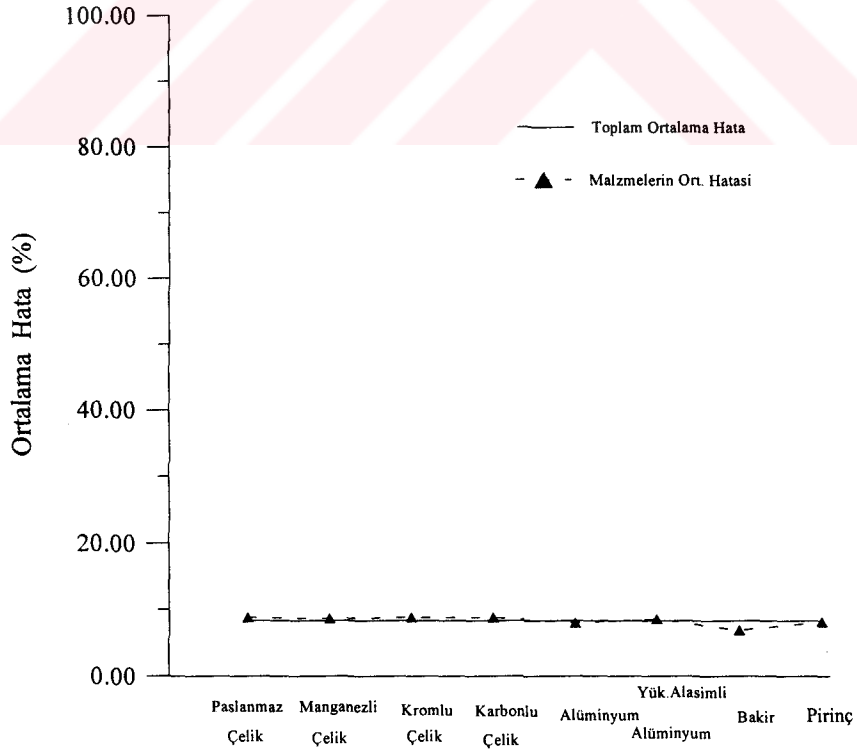
NUMUNE	NOKTA	HATA (%)			ORT. HATA (%)	ORT. HATA (%)
		Sıcaklık Basamağı				
		1	2	3		
Alüminyum	5	7,79	8,97	10,62	9,13	8,02
	4	7,01	8,60	10,43	8,68	
	3	5,81	8,50	9,58	7,96	
	2	5,20	7,87	8,98	7,35	
	1	3,84	7,36	9,73	6,98	
Alüminyum Alaşımları	5	8,84	10,18	11,23	10,08	8,62
	4	7,88	9,58	10,72	9,39	
	3	7,70	8,85	10,44	8,99	
	2	4,72	7,72	10,14	7,53	
	1	4,16	7,11	9,99	7,08	
Bakır	5	7,59	7,55	10,94	8,69	6,94
	4	6,51	7,04	10,48	8,01	
	3	6,07	6,33	9,28	7,23	
	2	4,96	5,06	8,86	6,29	
	1	3,35	2,58	7,58	4,50	
Pirinç	5	7,96	10,14	11,48	9,86	8,21
	4	7,30	9,10	10,96	9,12	
	3	6,08	8,59	10,62	8,43	
	2	4,73	7,54	9,69	7,32	
	1	3,67	5,78	9,57	6,34	

Tablo 5.14'te ise deneylerde kullanılan her bir numunenin sıcaklık basamağına ait ortalama hataları verilmektedir.

Tablo 5.14
Numunelerin Sıcaklık Basamaklarındaki Hata Ortalamaları

	Ortalama Hata (%)		
	Sıcaklık Basamakları		
	1	2	3
Paslanmaz Çelik	7,56	8,88	10,03
Manganezli Çelik	6,82	8,65	10,56
Kromlu Çelik	7,51	8,52	10,55
Karbonlu Çelik	6,99	8,58	10,89
Alüminyum	5,93	8,26	9,87
Alüminyum Alaşımı	6,66	8,67	10,50
Bakır	5,69	5,70	9,43
Pirinç	5,94	8,23	10,46
Ortalama Hata (%)	6,64	8,19	10,29

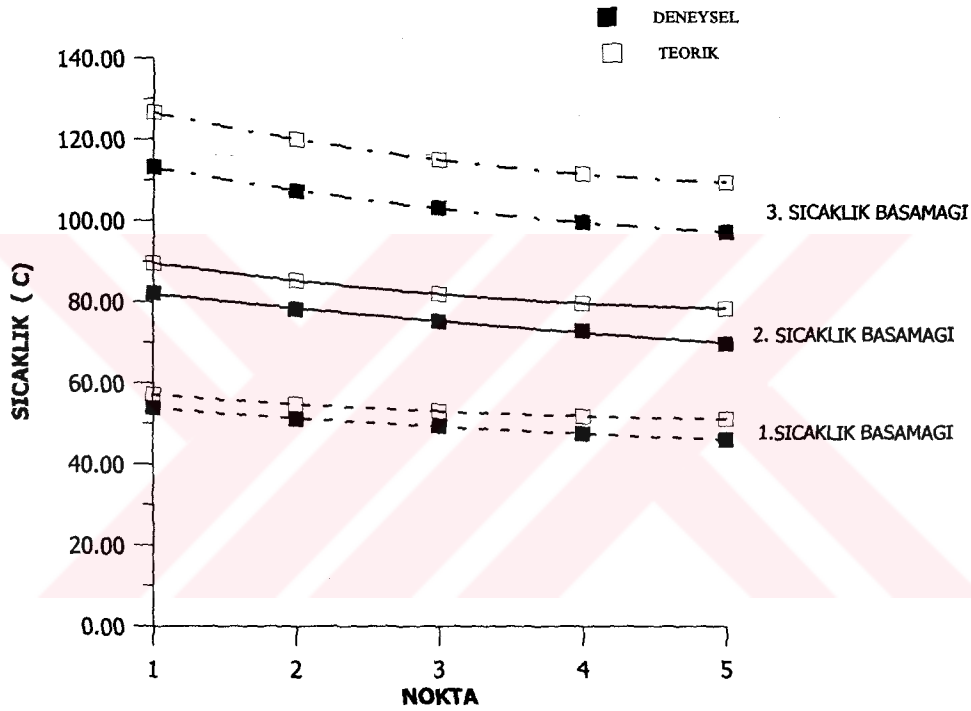
Şekil 5.14'de deneylerde kullanılan her bir numuneye ait ortalama hata grafiği görülmektedir.



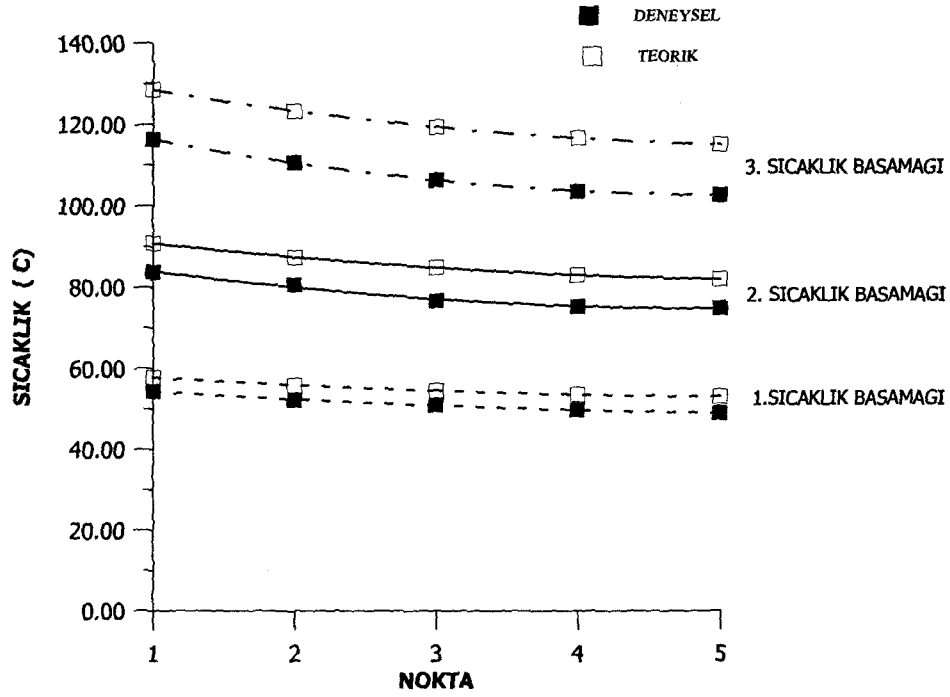
Şekil 5.14 8 Farklı Numuneye Ait Ortalama Hata Grafiği

5.6. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMALI GRAFİKLERİ

Deneyler sonucu elde edilen veriler ile teorik hesaplamalardan elde edilen verilerin her bir numune için üç farklı sıcaklık basamağında nasıl değişim gösterdiğini izlemek amaçlı grafikler çizilmiştir. Şekil 5.15’de Paslanmaz Çeliğin tüm sıcaklık basamaklarındaki deneysel ve teorik sonuçlarının bir arada olduğu grafik verilmiştir. Şekil 5.16’da ise Manganezli Çeliğin tüm sıcaklık basamaklarındaki karşılaştırmalı grafiği gösterilmektedir.

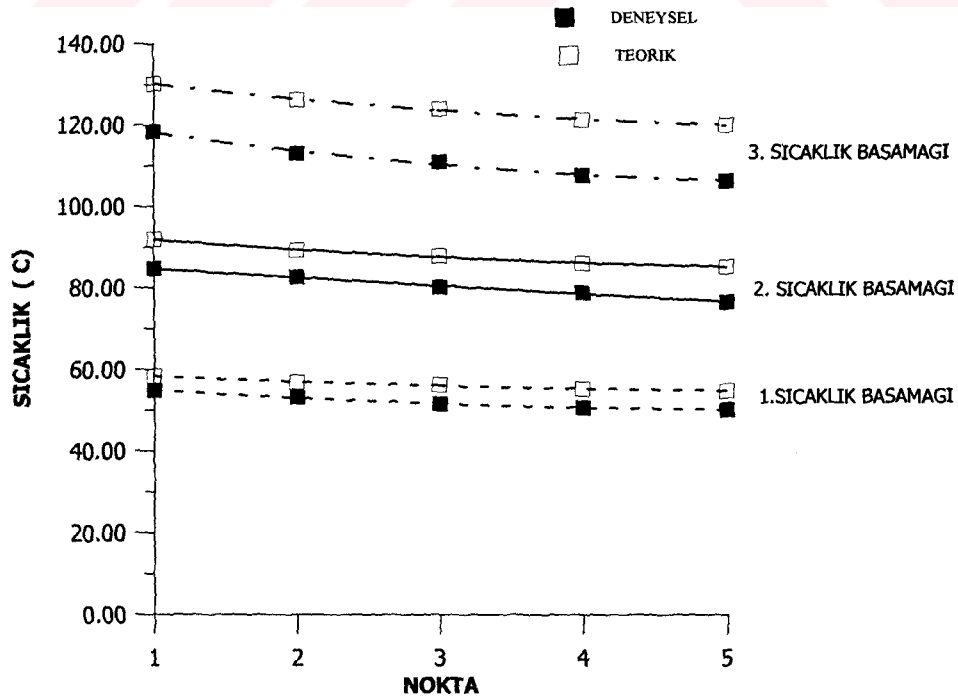


Şekil 5.15 Paslanmaz Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

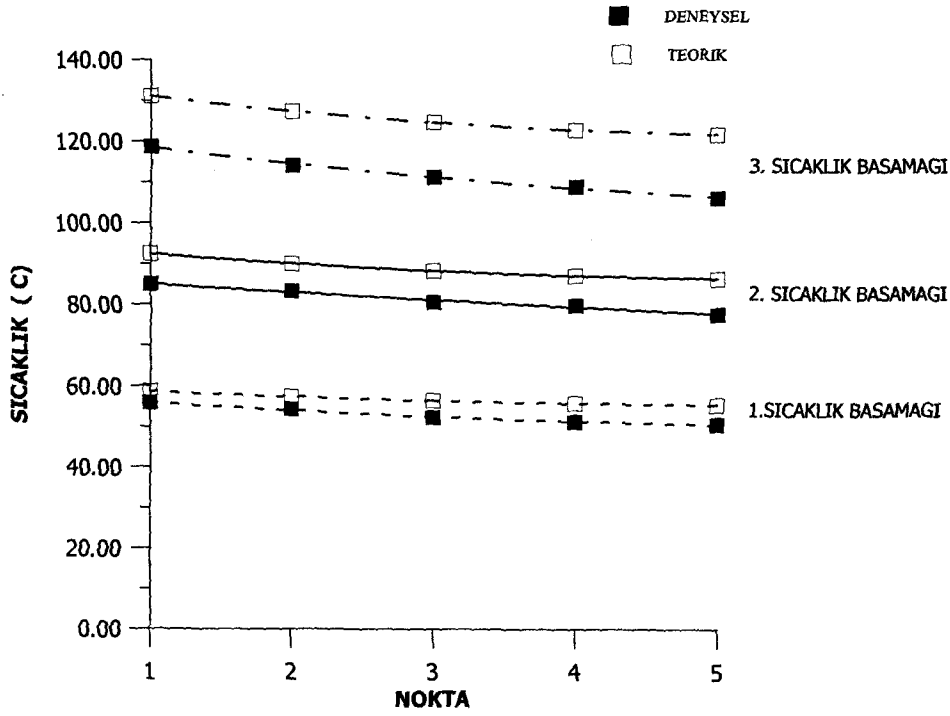


Şekil 5.16 Manganezli Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

Şekil 5.17'de Kromlu Çeliğin, Şekil 5.18'de Karbonlu Çeliğin tüm sıcaklık basamaklarındaki nokta sıcaklıklarının deneysel ve teorik değerlerinin grafiği karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

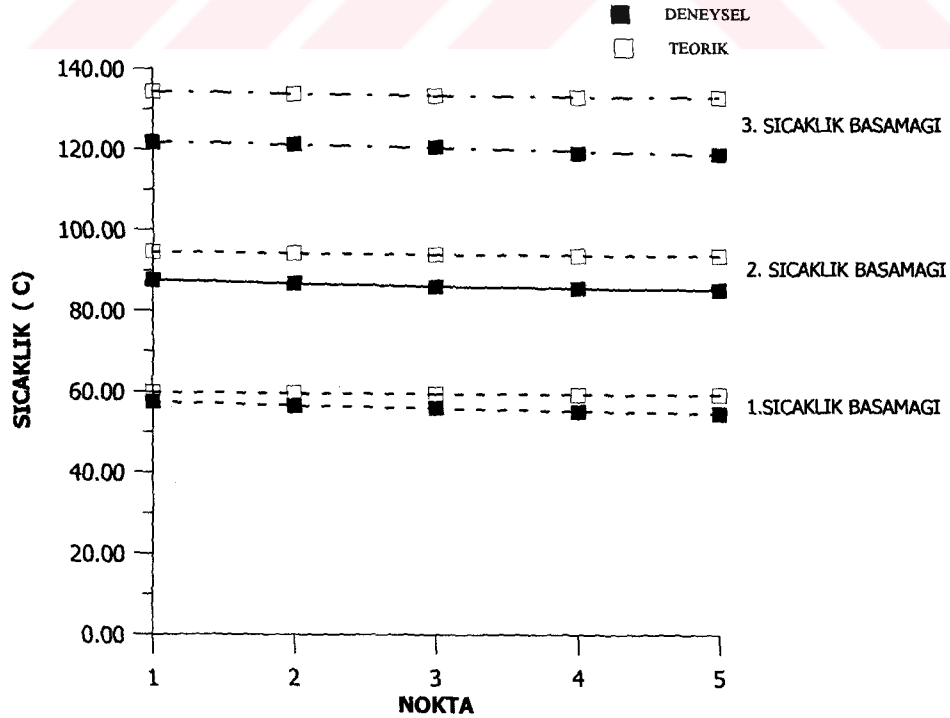


Şekil 5.17 Kromlu Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

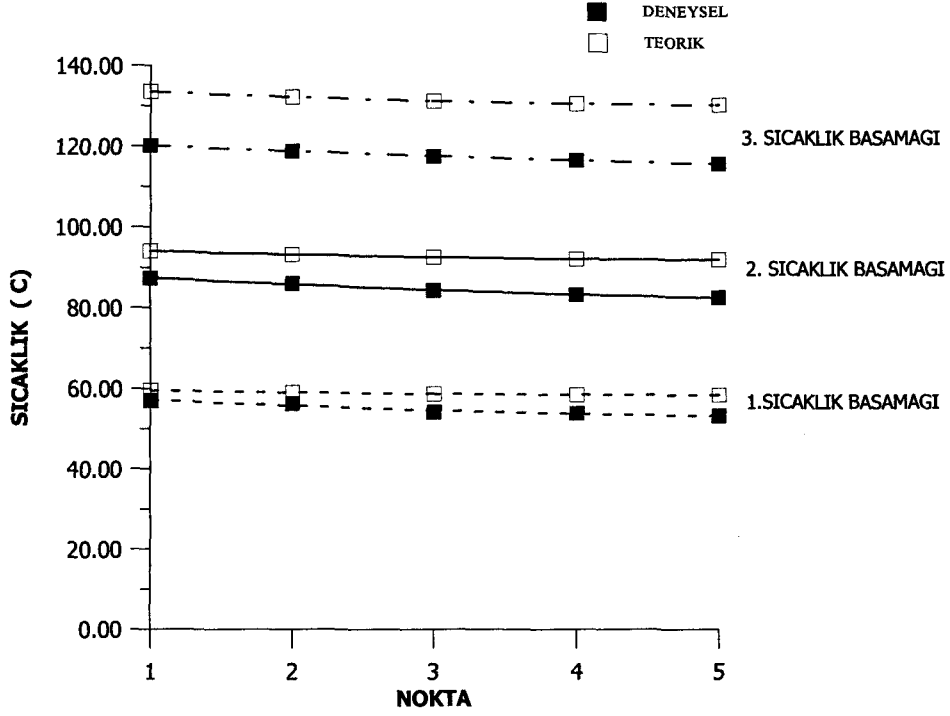


Şekil 5.18 Karbonlu Çeliğin Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

Üç farklı sıcaklık basamağı için belirlenen ölçüm noktalarının deneysel ve teorik değerleri Şekil 5.19'daki grafikte Alüminyum için, Şekil 5.20'deki grafikte ise Alüminyum Alaşımı için verilmiştir.

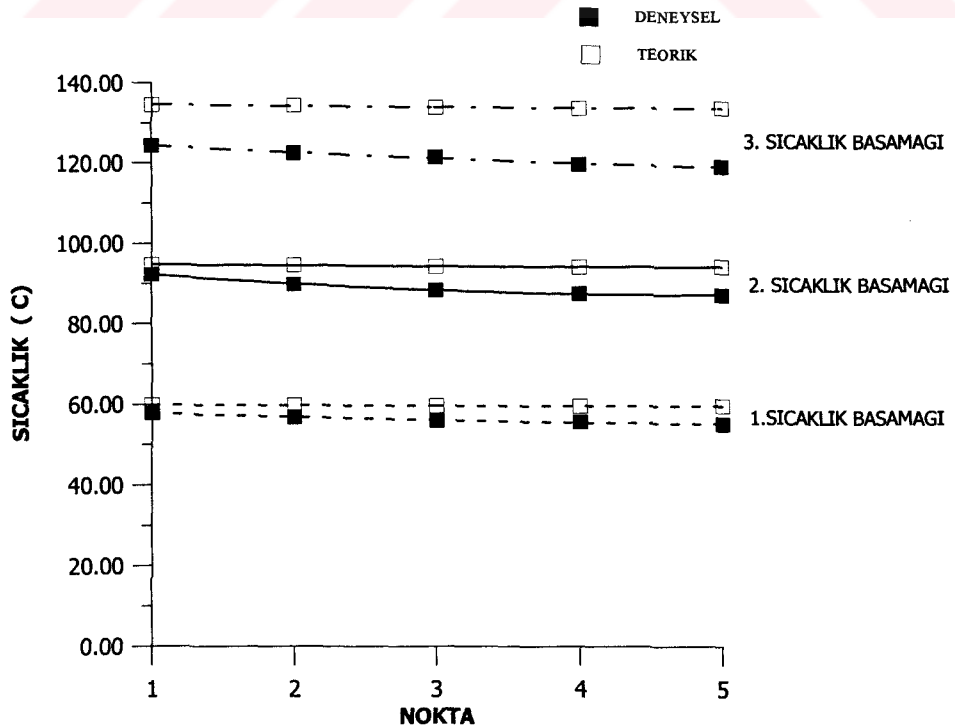


Şekil 5.19 Alüminyumun Deneysel ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

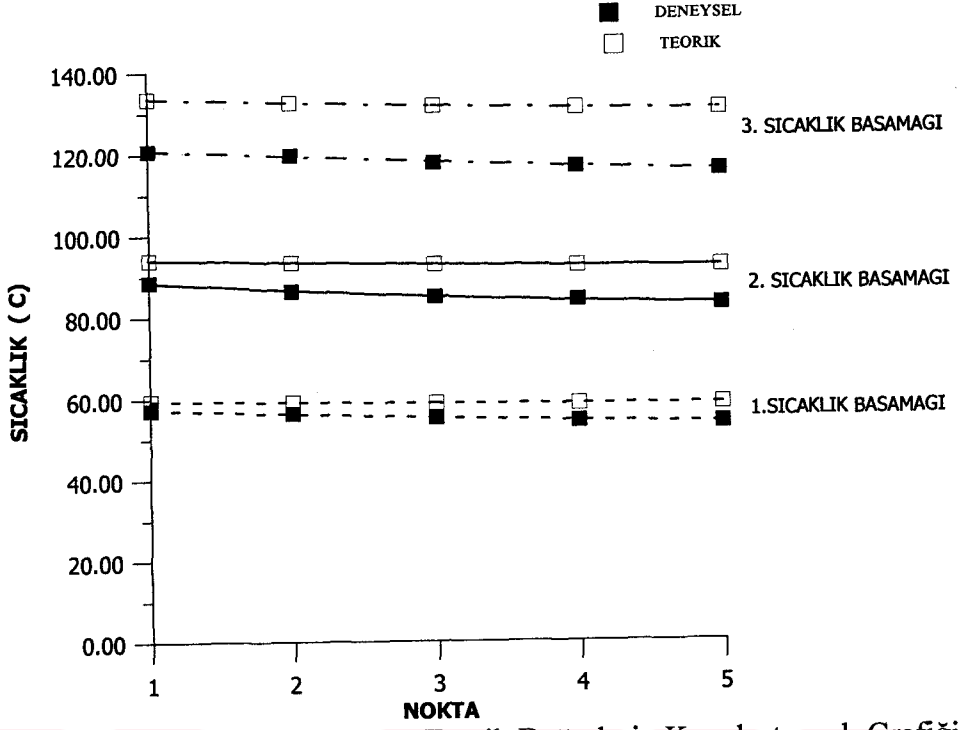


Şekil 5.20 Alüminyum Alaşımının DeneySEL ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

Şekil 5.21’de Bakırın tüm sıcaklık basamaklarındaki deneySEL ve teorik sonuçlarının bir arada olduğu grafik verilmiştir. Şekil 5.22’de ise Pirincin tüm sıcaklık basamaklarındaki karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.21 Bakırın DeneySEL ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği



Şekil 5.22 Pirincin DeneySEL ve Teorik Değerlerin Karşılaştırmalı Grafiği

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasında; nükleer bir teknik olan infrared ölçümlere ile farklı malzemelere ilişkin ısı transferine ilişkin bir deneysel inceleme gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bu konu, sanayinin farklı sektörleri için hayli önem arz edebilmektedir. Bu bağlamda, konunun ilgi alanı, tek bir sektör olmayıp, genel malzeme değerlendirmesi çerçevesinde düşünülebilir. Bu bakımdan, ileri bir nükleer teknik kullanılarak, konunun deneysel olarak araştırılması yapılmıştır.

Çalışmaya ilişkin olarak, sanayide sıkça kullanılan, farklı sektörlerin tercihi olan malzemelerle çalışılması hedeflenmiştir. Öncelikle, çeliklerle çalışma yoluna gidilmiştir. Bu amaçla yaygın kullanımı olan dört farklı çelikle çalışılmıştır. Bu çelik cinsleri; paslanmaz çelik (St 304), manganezli çelik, kromlu çelik ve karbonlu çeliktir. Böylelikle, yaygın kullanımı olan önemli çelik tipleri ile çalışılmıştır.

Çeliklerden ayrı, iki alüminyum malzeme ile de çalışılmıştır. Bunlardan biri rutin kullanımda tercih edilen alüminyum malzeme diğeri ise yüksek alaşımlı alüminyumdur. Bunlardan ayrı olarak sanayide sıkça kullanıldığı belirtilen bakır ve pirinç malzeme ile de çalışılmıştır. Böylelikle, toplam sekiz farklı malzeme ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışılan malzemelerin özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Numunelerin hepsi aynı boyutta ve kare prizma biçiminde hazırlanmıştır. Böylelikle, geometrisi aynı ve fakat sadece malzemeleri farklı numunelerle çalışılmıştır. Bu husus, mukayeseli değerlendirmeler açısından önem arz etmektedir.

Sekiz farklı malzeme için üç farklı sıcaklık seviyesi ile çalışılmıştır. Bu bağlamda bir ısıtıcıdan yararlanılmıştır. Öncelikle, numunenlerin homojen ısıtılma şartlarında olup olmadığına yönelik bir çalışma yapılmış ve ısıtıcı yüzeyinin sıcaklık dağılımı

ıkartılmıştır. Isıtıcıya ilişkin yapılan deneysel çalışma sonuçları Tablo 5.1’de verilmektedir. Ayrıca, ulaşılan sonuçlar şekil 5.1 ve şekil 5.2’de de verilmiştir.

Isıtıcıya ilişkin yapılan bu deneysel çalışma ile görülmüştür ki; ısıtıcının ortasında, numunelerin kare tabanından daha büyük (ve $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ile) homojen kabul edilebilecek bir bölge bulunmaktadır. Numuneler hep bu bölgeye merkezlenerek, kare tabanları yerleştirilerek deneysel çalışmalar gerçeklenmiştir. Böylelikle, hem geometri ve hem de ısıl açıdan benzer şartlarda deneyler gerçeklenmiştir.

Deneylerde, infrared lmlmeler, numuneler alttan ısıtılırken, yukarı doğru numunenin eksenel yönünde önceden belirlenmiş (1’er cm aralıkla) 5 farklı noktadan alınmıştır (şekil 4.15). Deneyler, yine önceden belirlenmiş, üç ısıtıcı ısıtma kademesi için yapılmıştır. Bu şekilde, infrared sıcaklık lmlmeleri; sekiz farklı malzeme için üç farklı ısıtma şartında 5 farklı nokta lmlmesiyle gerçeklenmiştir.

Deneysel alışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar, her malzeme ve üç ısıtma şartına ilişkin olarak Tablo 5.2 – Tablo 5.9’da verilmektedir. Grafikselsel olarak ise, şekil 5.3 – şekil 5.10’da görülmektedir. Deneylerle elde edilen sonuçların karakterlerinin genel bir benzeşim gösterdiği görülmektedir

Deney sonuçlarını veren grafiklerde (şekil 5.3 – şekil 5.10) ısıtılma noktasından uzaklaştıa sıcaklık düşümü gözlenmektedir. Bu husus beklenti doğrultusunda olup, ısı transferi olayının doğası gereğidir.

Farklı ısıtılma şartlarına ilişkin olarak elde edilen sonuçlar da, çalışılan her malzeme için yine beklenti doğrultusundadır. Bir başka deyişle, yüksek sıcaklıkta ısıtma eğrileri, daha düşük sıcaklıkta ısıtma eğrilerinin üzerindedir. Bu husus ta yine beklenti doğrultusunda bir sonuçtur.

Bu bağlamda 8 farklı malzeme ve üç farklı ısıtma şartında yapılan deneylerle elde edilen sonuçların karakterlerinin genel bir benzeşim gösterdiği gözlenmektedir. Bu durum, beklenti doğrultusunda bir sonuç olduğu kadar, gerçeklenen deneylerin uygulama şartlarının benzeşiminin de bir kanıtıdır.

Farklı malzemeler için üç farklı ısıtma şartında yapılan deneylerin karşılaştırmalı incelemeleri (şekil 5.11 – şekil 5.13) sıralamanın (düşükten yükseğe doğru) paslanmaz elik (St 304), manganezli elik, kromlu elik ve karbonlu elik, yüksek

alaşımli alüminyum, pirinç, alüminyum ve bakır şeklinde olduğunu göstermiştir. Bu sıralama ise, deneylerde çalışılan malzemelerin ısı iletim katsayısı değerlerinin sıralanışına (Tablo 4.1) paraleldir. Bu bağlamda, deneysel uyumlu sonuçlara ulaşıldığı ifade edilebilir.

Bu Yüksek Lisans tezinde deneysel olarak ulaşılan sonuçlarda uyum görüldüğü halde, bununla da yetinilmeyip, teorik hesaplama yoluna gidilmiştir. Bu amaçla, çalışılan malzemeler ve ısıtma şartlarına ilişkin deney şartı verileri kullanılarak, ulaşılması gereken sıcaklık değerleri (Denklem 2.20 ana bağıntısı bağlamında Denklem 2.21 ve Denklem 2.22’den de yararlanılarak) teorik olarak hesaplanmıştır. Ulaşılan teorik hesap sonuçları, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11’de verilmiştir.

Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve her bir malzeme için farklı ısıtma şartları beraberce Şekil 5.15 – Şekil 5.22’de görülmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, teorik ve deneysel sonuçların birbirine paralel olduğu açık olarak görülmektedir. Teorik ve deneysel sonuçlar için birbirlerine göre hata tayini de yapılmıştır. Malzemelere ilişkin hatalar Tablo 5.12 ve Tablo 5.13’de ısıtma kademeleri için ise Tablo 5.14’de verilmektedir. Bu hata değerleri incelendiği maksimum hatanın % 11’in altında, ortalama hatanın ise (% 8,37) % 8,5 dolayında olduğu görülmüştür.

Hata değişimleri incelendiğinde, ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeler için hatanın daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, ısıtma kademesi düştükçe de hatanın azaldığı görülmektedir. Tersine olarak ise ısı iletim katsayısı düşük malzemeler ve ısıtma kademesi yüksek şartlar için hata artmaktadır. Öte yandan, ısıtma noktasından uzaklaştıkça da hata miktarları genel olarak artmaktadır. Bu hususların hepsinin ısı kaybı nedeniyle olduğu söylenebilir.

Teorik ve deneysel çalışmaların karşılaştırmaları sonucunda ortalama hata % 8,5 mertebesinde olup, ortalama hata % 10’un altında kalmıştır. Bu bağlamda, ulaşılan ortalama hata değerlerinin “kabul edilebilir” olduğu söylenebilir.

Öz olarak söylemek istersek, ileri bir nükleer teknik uygulaması olan infrared ölçümleme ile farklı malzemelerin, farklı ısıtma şartlarında ısı transferi incelemesi deneysel olarak yapılmış ve uyumlu sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Fazla olarak, elde edilen deneysel sonuçların sınanması amacıyla teorik hesaplamalar da yapılmış

ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aradaki ortalama farkın, bir başka deyişle ortalama hatanın % 10'un altında kaldığı gözlenmiştir. Bu bağlamda, bu Yüksek Lisans Tezi ile sanayiinin farklı sektörlerini ilgilendirebilecek bir konuda lojik ve rasyonel sonuçlara ulaşılabilirdiği anlaşılmıştır.



KAYNAKLAR

- Arams, F.R.**, c1973. Infrared-to-millimeter wavelength detectors,
Dedham: Artech House.
- Atagündüz, G.**, c1983. Isı transferi,
İzmir : Ege Üniversitesi.
- Ayber, R.**, c1973 Isı transferi : ders notları
İstanbul : İTÜ
- Ayhan, T.**, 1992. Termodinamik I,
Erzurum : AÜ.
- Bilge, A.N., ve Tuğrul, B.**, 1990. Endüstriyel radyografinin esasları,
İstanbul : İTÜ.
- Burnay, S. G., Williams, T. L ., Jones C. H.**, c1988. Applications of thermal
imaging, Bristol : A. Hilger.
- Dağsöz, A.K.**, 1971. Teknikte sıcaklık ölçülmesi : teorik esaslar- termometreler ve
kontrolları, İstanbul : İTÜ.
- Gardner, R.P., Ely, R.L.**, 1967 Radioisotope Measurement Applications in
Engineering New York
- Hagen K.D.**, c1999. Heat transfer with applications,
Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- Halmshaw, R.**, 1991. Non-destructive testing,
London : E. Arnold.
- Kakaç, S.**, 1972. Örneklerle ısı transferi,
Ankara: ODTÜ.
- Kakaç, S., Yener Y.**, 1973. Heat Conduction.
Middele East Technical University. Ankara
- Maldague, P.V**, c1993. Nondestructive evaluation of materials by infrared
Thermography, London : Springer-Verlag.
- Mix, Paul E.**, c1987. Introduction to nondestructive testing,
New York : John Wiley.
- Oakton**, 1998, Users' Manual, U.S.A.

Öztürk, A., Kılıç, A., 1998. Çözümlü Problemlerle Termodinamik,
İstanbul : Çağlayan Kitapevi.

Öztürk, A., Kılıç, A., 1995. Çözümlü Problemlerle Termodinamik,
İstanbul : Çağlayan Kitapevi.

Öztürk, A., Yavuz, H., 1995. Uygulamalarla Isı Geçişi
İstanbul: Çağlayan Kitapevi

Poulikakos, D., 1994. Conduction heat transfer,
Englewood Cliffs : Prentice Hall.

Rohsnow, W.M., Hartnett, J.P., Cho Y.I., 1998. Heat Transfer Mc Graw-Hill Hand
Book.

Russell L.D., George A. A., c1993. Classical thermodynamics,
Fort Worth [Tex.] : Saunders College Pub.

Sağ, O.K., 1987. Klasik termodinamik esasları,
İstanbul : İTÜ.

Siegel, R., and Howell, J.R., c1972. Thermal radiation heat transfer,
New York: McGraw-Hill.

Tuncel, N., 1994. Farklı tahribatsız muayene metodlarıyla malzeme hatalarının
tesbiti, *Yüksek Lisans Tezi*, [İstanbul] : İTÜ.

Vanzetti, R., 1972. Practical Applications of Infrared Techniques, Massachusetts

YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.
YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş.

ÖZGEÇMİŞ

6 Kasım 1978'de İstanbul'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1994-1995 öğretim yılında İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde lisans eğitime başladı. 1998 yılında lisans eğitimini tamamladı. 1998 Ekim döneminde İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Yüksek Lisans Programına başladı.

1998 Yaz Döneminde İstanbul Üniversitesi'nde laboratuvar düzenleme çalışmalarında sözleşmeli olarak çalıştı. Halen özel bir kurumda branş öğretmenliği yapmaktadır. İngilizce bilmektedir.

