



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNFRARED LAMBALI GERİLİM GİDERME FIRINI
TASARIM VE UYGULAMASI

Mustafa MUTLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNFRARED LAMBALI GERİLİM GİDERME FIRINI
TASARIM VE UYGULAMASI

Mustafa MUTLU

Prof.Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009

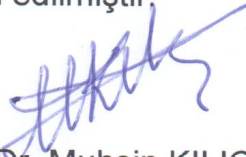
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNFRARED ISITMALI GERİLİM GİDERME FIRIN
TASARIMI VE UYGULAMASI

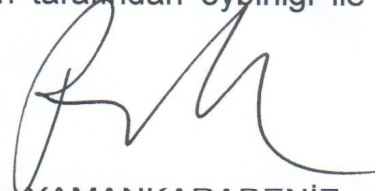
Mustafa MUTLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 06/08/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
Danışman



Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
Jüri Üyesi



Prof. Dr. Güneş YILMAZ
Jüri Üyesi

ÖZET

Bu çalışmada Bursa'da kurulu olan bir sanayi şirketinde bulunan IR ısıtmalı gerilim giderme fırını deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deneysel ölçümlerde fırının içerisine konulan farın yüzeyinden değişik konveyör hızları ve değişik IR lamba mesafeleri için sıcaklıklar ölçülerek zamana göre değişimleri belirlenmiştir. Teorik çalışmada, ısı transferi formülleri kullanılarak farın yüzey sıcaklığı için matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel modelden alınan veriler, deneysel ölçümlerle %6.5 ortalama hata ile uyum göstermiştir. Fırının farklı şartlarda çalıştırılması durumunda yada yeni fırın tasarımlarında geliştirilen model rahatlıkla kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: IR, Gerilim Giderme Fırını, Matematiksel Model

ABSTRACT

In this study, the IR heated furnace, in an industrial company located in Bursa, as to relieve stress, was experimentally and theoretically examined. In experimental measurements, temperature was measured on headlight surface, placed in IR oven, at various conveyor speeds and various distances between IR lamps and headlight surface. In theoretical study, a mathematical model was developed for the headlights surface temperature by using heat transfer formulas. Mathematical model has shown compliance with experimental data with 6.5% average error. It is shown that mathematical model can be used to estimate the surface temperatures in case of different conditions were run in oven.

Keywords: IR, Relieving Stress Oven, Mathematical Model

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. İnfrared Biliminin Tarihçesi	3
2.2. İnfrared(Radyant) Işınım	4
2.3. Elektromanyetik Spektrum	6
2.3.1. Gama ışınları	8
2.3.2. X- ışınları	8
2.3.3. Ultraviyole ışık	8
2.3.4. Görünür (visible) ışık	9
2.3.5. Kızılötesi (infrared) ışıklar	9
2.3.6. Radyo dalgaları	9
2.4. Termal Işınımın Temel Kanunları	10
2.4.1. Işınım şiddeti	13
2.4.2. Planck kanunu	15
2.4.3. Wien' in kayma kanunu	16
2.4.4. Stefan-Boltzmann kanunu	17
2.4.5. Gerçek yüzeylerin karakteristikleri	17
2.4.6. Görüş faktörü	19
2.4.7. Kapalı bir hacim içinde iki yüzey arasında ışınım ile ısı transferi	22
2.5. İnfrared Isıtma	23
2.5.1. Enerji tasarrufu	24
2.5.2. Gaz yakıtlı infrared enerji cihazları	25
2.5.2.1. İndirek infrared ışınım cihazları	25
2.5.2.2. Gözenekli ve yataklı infrared ışınım birimleri	25
2.5.2.3. Katalitik oksidasyon infrared ışınım cihazı	26
2.5.3. Elektrikli infrared cihazlar	26
2.5.3.1. Metal kılıflı infrared ışınım cihazı	27
2.5.3.2. Yansıtıcı lamba	27
2.5.3.3. Kuvars borulu infrared ısıtıcılar	28
2.5.3.4. Boru şeklinde kuvars lamba elemanı	28
2.5.4. Sıvı yakıtlı infrared cihazlar	29
2.5.5. Sistem verimliliği	29
2.5.6. Yansıtıcılar	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Deneysel Çalışma	31
3.2. İstatistiksel Çalışma	34

3.2.1. Tek değişkenli varyans analizi (ANOVA).....	36
3.2.2. Çok değişkenli varyans analizi (MANOVA).....	36
3.3. Teorik Modelleme.....	37
3.3.1. Işımm ile ısı transferi.....	37
3.3.2. Taşınım ile ısı transferi.....	42
3.4. Hesaplamaların Yapılması.....	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
4.1. Deneysel ve Teorik Çalışma Sonuçları.....	48
4.2. İstatistiksel Çalışma Sonuçları.....	52
5. SONUÇ.....	56
KAYNAKLAR.....	57
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	61
TEŞEKKÜR.....	62

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1.	IR lambaların özellikler.....	32
Tablo 3.2.	Sıcaklıkölçerin teknik özellikleri.....	33
Tablo 3.3.	Bir istatistiğin önemliliğini belirlemek için koşullar.....	35
Tablo 3.4.	ANOVA analiz denklemleri.....	36
Tablo 3.5.	MANOVA analiz denklemleri.....	37
Tablo 3.6.	IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki görüş faktörleri.....	41
Tablo 3.7.	Parça yüzeyi ile duvarlar arasındaki görüş faktörleri.....	42
Tablo 4.1.	Parça yüzey sıcaklıklarının ortalama değerleri (°C).....	49
Tablo 4.2.	Parça Başına Enerji Sarfıyatı	52
Tablo 4.3.	Durumların ortalama sıcaklıkları ve %95 güven aralıkları.....	53
Tablo 4.4.	Varyans analizi sonuçları.....	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	William Herschel' in deney düzeneği.....	5
Şekil 2.2.	Elektromanyetik spektrum.....	8
Şekil 2.3.	Bir yüzeye gelen ışınımın yansıtılması, yutulması ve geçirilmesi.....	11
Şekil 2.4.	Kirchhoff kanunu.....	12
Şekil 2.5.	Bazı metallerin ışıma oranları.....	13
Şekil 2.6.	Işınım Şiddeti.....	14
Şekil 2.7.	Işınım şiddetinin hacimsel açı üzerinde integrali.....	15
Şekil 2.8.	Siyah cisim ışınım gücünün dalga boyu ve sıcaklıkla değişimi.....	17
Şekil 2.9.	Bazı malzemelerin açısız yayma oranlarının değişimi.....	19
Şekil 2.10.	Birbirini gören iki yüzey arasında görüş faktörü.....	20
Şekil 2.11.	Kapalı bir hacimde iki yüzey arasında ışınım ile ısı transferi.....	23
Şekil 2.12.	İndirek infrared ışınım cihazları.....	26
Şekil 2.13.	Gözenekli ve yataklı infrared ışınım cihazı.....	26
Şekil 2.14.	Katalitik oksidasyon infrared ışınım cihazı.....	27
Şekil 2.15.	Metal kılıflı infrared ışınım cihazı.....	27
Şekil 2.16.	Yansıtıcı Lamba.....	28
Şekil 2.17.	Kuvars Borulu İnfrared Isıtıcı.....	28
Şekil 2.18.	Boru şeklinde kuvars lamba.....	29
Şekil 3.1.	Deneysel ölçümlerde kullanılan gerilim giderme fırının teknik resmi....	31
Şekil 3.2.	Parça üzerinden ölçüm alınan nokta.....	32
Şekil 3.3.	Parça ve ölçüm aleti fırın içerisinde hareket halinde iken.....	33
Şekil 3.4.	Fırın modelinin konveyörünün 15 parçaya ayrılmış şekli.....	39
Şekil 3.5.	Modelin mesh yapısı.....	40
Şekil 3.6.	Konveyör hızının ve IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafenin programa girildiği sayfa	44
Şekil 3.7.	Programdaki değerler sayfası	45
Şekil 3.8.	Programda ısı taşınımının hesaplandığı sayfa	45
Şekil 3.9.	Programda ısı taşınım katsayısının hesaplandığı sayfa	46
Şekil 3.10.	Programda ışınım ile ısı transferi hesaplama sayfası	46

Şekil 3.11. Programda ışıınım ve taşınım değerleri toplanarak sıcaklık değerlerinin hesaplanması	47
Şekil 4.1. Konveyör hızı 0.65 cm/s için parça yüzey sıcaklığının zamanla değişimi.....	49
Şekil 4.2. Konveyör hızı 0.7 cm/s için parça yüzey sıcaklığının zamanla değişimi.....	50
Şekil 4.3. Konveyör hızı 0.75 cm/s için parça yüzey sıcaklığının zamanla değişimi.....	51

SİMGELER DİZİNİ

A_e	IR lambaların alanı [m^2]
A_s	farın ısınan kısmının yüzey alanı [m^2]
A_w	fırın duvarlarının alanı
c_p	farın ısı kapasitesi [J/kgK]
F_{es}	IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki görüş faktörü
F_{sw}	parça yüzeyi ile duvar arasındaki görüş faktörü
h_g	far yüzeyi ile ortam havası arasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]
m	far yüzeyinin ısınan kısmının kütlesi [kg]
Q_{es}	IR ısıtıcı ile parça yüzeyi arasındaki ışınlama ile olan ısı transferi [W]
Q_r	ışınlama ile olan ısı transferi [W]
Q_{sw}	parça yüzeyinden fırın duvarlarına olan ışınlama ile ısı transferi [W]
t	zaman [s]
T_e	IR ısıtıcının sıcaklığı [K]
T_g	fırın içerisindeki havanın sıcaklığı [K]
T_s	farın yüzey sıcaklığı [K]
T_w	fırın duvarlarının sıcaklığı [K]
ε_e	IR lambaların yayılım katsayısı
ε_s	parça yüzeyinin yayılım katsayısı
ε_w	fırın duvarlarının yayılım katsayısı
σ	Stefan-Boltzmann sabiti [W/m^2K^4]

1.GİRİŞ

Otomobil farının lens denen şeffaf kısmı plastik enjeksiyon yöntemi ile üretilir. Plastik enjeksiyon, sıcaklık yardımı ile eritilmiş plastik hammaddenin bir kalıp içine enjekte edilerek şekillendirilmesi ve soğutularak kalıptan çıkarılmasını içeren bir imalat yöntemidir. Enjeksiyon süreci genel olarak 6 aşamadan oluşur: Kapama; enjeksiyon ve soğutma esnasında kalıbı basınç altında tutan ünitedir ve enjeksiyon kalıbının iki tarafını birleştirir. Enjeksiyon; granür halindeki plastik malzeme enjeksiyon ünitesi üzerindeki hazneye dökülme işlemidir. Ütuleme; kalıp içine enjekte edilmiş olan plastik eriyiğin, basınç uygulanarak kalıp boşluğunu iyice doldurması işlemidir. Soğutma; Enjekte edilen eriyik hammaddenin kalıbın içinde sertleşme zamanıdır. Kalıp açma; Kapama ünitesi kalıbın iki tarafı ayrılacak şekilde açılmasıdır. Çıkarma; İticiler vasıtası ile bitmiş parça kalıptan çıkarılmasıdır.

Bu aşamadan sonra reflektör denen farın yansıtıcı yüzeyi ile lens birbirine kaynak ile birleştirilir. Bu işlem içinde de çeşitli kaynak yöntemleri uygulanabilir. Bu kaynak yöntemleri şöyledir:

- Sıcak gaz kaynağı
- Direkt sıcak eleman kaynağı
- Endirekt sıcak eleman kaynağı
- Yüksek frekans kaynağı
- Ultrasonik kaynak
- Sürtünme kaynağı
- Çözme kaynağı

Yukarıdaki kaynak yöntemlerinden uygun olanları kullanılarak farın reflektör ile lens kısımları birbirine birleştirilir. Bu birleştirme işlemi sırasında, hem kaynak yapılan bölgede hem de kaynak yapılan bölgenin dışındaki kısımlarda ısıl gerilemeler oluşur. Oluşan ısıl gerilemeler malzemenin dayanımını aşarsa çatlaklar meydana getirerek malzemenin parçalanmasına neden olur.

Daha 6nceden gerilim giderme işlemleri için atmosfer kontroll6 gerilim giderme fırınları kullanırken, ekonomik nedenlerden 6t6r6 IR ısıtmalı gerilim giderme fırınları tercih edilmektedir. Daha az enerji maliyeti, sistemin daha az yer işgal etmesi, daha hızlı işlem zamanı ve montajının ve demontajının basit ve hızlı olması gibi avantajları vardır.

IR ısıtıcılar son g6nlerde end6stride ısıtma ve kurutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu alışmada Farba Bursa' da bir sanayi kuruluşunda kullanılan IR gerilim giderme fırının içindeki farların sıcaklığının analizi yapılmıştır. Isı transferi form6lleri kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur.

Fabrikada 6retilen otomobil farlarının lens (farın Şeffaf kısmı) kısmında 6retim metodundan dolayı gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmeleri gidermek için daha 6nceden kullanılan fırının yerine IR ısıtmalı bir fırın tasarlanmıştır. Otomobil farı fırın içerisinde iken sıcaklığının nasıl değiştiğin ve bu sıcaklığı etkileyen parametreler araştırılmıştır.

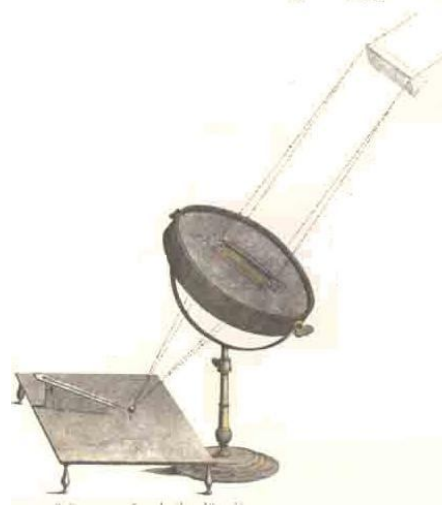
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. İnfrared Biliminin Tarihçesi

İnfrared ışınımın keşfedilişi İngiliz astronom William Herschel' e atfedilir. Renk tayflarının ne kadar ısı taşıdığını görmek amacıyla deneyler yapmıştır. Herschel Güneş ışığını prizmadan geçirerek tayflarına ayırmış ve kırmızı kısmın ötesindeki bölgenin termometrenin sıcaklığını arttırdığını gözlemleyerek infrared bölgeyi keşfetmiştir (Şekil 2.1.). Bu bölgedeki ışınım “calorific rays” ismini vermiştir ve 19. yy sonuna kadar infrared terimi kullanılmamıştır. İnfrared biliminde diğer önemli tarihler şunlardır (Miller, 1994):

- 1835: Macedonio Melloni, termal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren ilk IR detektörü yaptı
- 1860: Gustav Kirchhoff siyah cisim teoremini formüle etti
- 1873: Willoughby Smith selenyumun fotoiletkenliğini keşfetti
- 1879: Stefan-Boltzmann kanunu deneysel olarak ifade edildi
- 1880&1890: Lord Rayleigh ve Wilhelm Wien siyah cisim denkleminin bir kısmını çözdüler ama sonuçlar yaklaşık olduğu için kullanılabilir değerler değillerdi. Bu problem “UV Catastrophe ya da İnfrared Catastrophe” olarak adlandırıldı.
- 1901:Max Planck siyah cisim teoremini ve denklemini yayınladı. Bu problemi, kabul edilebilir enerji geçişlerini kuantlara ayırarak çözdü.
- 1905: Albert Einstein fotoelektrik etkinin teoremini geliştirdi ve fotonu tanımladı.
- 1917: Theodore Case talyum sülfür detektörünü geliştirdi. İngilizler ilk infrared araştırma ve takip sistemini geliştirdiler ve 1. Dünya Savaşında uçakları 1.6 km’ lik bir menzil içinde tespit edebiliyorlardı.
- 1935: Kurşun tuzları- 2. Dünya savaşındaki ilk güdümlü füzeler
- 1938: Teau Ta pyroelektrik etkinin infrared ışınımı algılayabileceğini öngördü.
- 1952: H. Welker InSb’ yi keşfetti.

- 1950s: Paul Kruse ve Texas Instruments 1955' ten önce ilk infrared fotoğrafı oluşturdular.
- 1950 & 1960: Terminoloji ve radyometrik birimler Fred Nicodemenus, G.J. Zissis ve R. Clark tarafından tanımlandı ve Lones, D*' ı tanımladı.
- 1958: W.D. Lawson HgCdTe' nin IR algılama özelliklerini keşfetti.
- 1958: Falcon & Sidewinder füzeleri infrared kullanılarak geliştirildi ve infrared sensörler hakkında ilk kitap Paul Kruse ve arkadaşları tarafından yayınlandı.
- 1961: J. Cooper pyroelektrik algılamayı ispatladı.
- 1962: Kruse ve Rodat HgCdTe' yi geliştirdiler: sinyal elemanı ve lineer diziler
- 1965: İlk IR elkitabı; ilk ticari görüntüleyiciler
- 1970: Willard Boyle ve George E. Smith görüntülü telefon için CCD önerdiler.
- 1972: Ortak parça programı NVESD tarafından başlatıldı.
- 1978: İnfrared görüntüleme astronomide kullanılmaya başlandı.



Şekil 2.1. William Herschel' in deney düzeneği (Buğdaycı, 1996)

2.2. İnfrared(Radyant) Işınım

İnfrared ışınım dalga boyu görünür ışıktan (400–700 nm) uzun ama terahertz ışımasından (100 μm -1mm) ışımasından ve mikrodalgalardan ($\sim 30000 \mu\text{m}$) kısa olan elektromanyetik ışımadır. İnfrared ışınım 750 nm ve 100 μm dalga boylarında genellikle 3 ayrı sınıfa ayrılan bir ışımadır.

Direk güneş ışımasının ışıma akısındaki watt başına 93 lümen parlaklık etkisi vardır. Bu ışıma akısındaki %47' sini infrared, %46' sini görünür ışık, %7' sini ultraviyole ışık oluşturur. Parlak güneş ışığı, dünya yüzeyinin metrekaresine yaklaşık olarak 100000 kandelalık parlaklık sağlar (Miller, 1994).

Etrafı oda sıcaklığındaki bir malzeme ile kaplı vakumlu bir ortamda bulunan sıcak bir cisim düşünelim. Zamanla sıcak cismin sıcaklığı azalacak ve termal dengeye ulaşacaktır. Fakat bu durumda ısı transferi taşınım ya da iletim yoluyla olamamaktadır. Hem taşınımın hem de iletimin olabilmesi için bir ortama ihtiyaçları vardır. Burada ısı transferi ışımla ile olmaktadır. Bu termal ışımla da elektromanyetik dalgalar ile olur ve bunların arasında en çok ısı taşıyan infrared ışınlardır. Işımla, iletimden ve taşınımdan bir diğer önemli özelliği de sıcaklık bağımlılıklarıdır. Örnek olarak Fourier yasasında x yönündeki ısı iletimi şu şekildedir(Denk. 2.1.):

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.1.)$$

Bu eşitlikte q_x , x yönünde iletilen ısı akısını, k , ısı iletim katsayısını, T , sıcaklığı göstermektedir. Benzer olarak ısı taşınımını da genel olarak şu şekilde ifade edilmektedir (Denk 2.2.):

$$q = h(T - T_\infty) \quad (2.2.)$$

Burada ise h , ısı taşınım katsayısını ve T_∞ , referans sıcaklığını göstermektedir. k ve h sıcaklığa bağımlıdır ve bu bağımlılık genellikle pek güçlü değildir. İletime ve taşınımında ısı transferi oranları sıcaklık farkları ile doğrusal orantılıdır. Taşınımında ise ısı transferi oranı sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılıdır (Denk 2.3.).

$$q \propto T^4 - T_\infty^4 \quad (2.3.)$$

Buradan hareketle ışımla yüksek sıcaklıklarda iletim ve taşınımına göre daha etkili olduğu sonucuna varılabilir.

Maddenin bütün formları sıcaklıklarına bağılı olarak ışıma yaparlar. Gazlar ve yarı geçirgen katılarda ışıma hacimsel bir olaydır, yani maddenin sonlu hacminde gerçekleşen ışıma hacimdeki yerel ışımların birleşik etkisidir. Katıların ve sıvıların çoğunluğunda içteki moleküllerden gerçekleşen ışıma yaklaşık 1 µm mesafedeki komşu moleküllerce yutulur. Bundan dolayı birçok katı ve sıvı için ışıma ile ısı transferi uygulamalarında, ışıma yüzeyler arasında gerçekleşen bir olay olarak incelenebilir.

2.3. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum, evrenin herhangi bir yerinde fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışıma türlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu tayftaki göreceli yerlerini ifade eden kavramdır.

Elektromanyetik tayf, dalga boylarına göre atom altı değerlerden başlayıp binlerce kilometre uzunlukta olabilecek radyo dalgalarına kadar birçok farklı radyasyon tipini içerir (Şekil 2.2.). Elektromanyetik tayf teoride sonsuz ve sürekli olsa da, pratikte kısa dalga boyu ucunun limitinin Planck uzunluğuna, uzun dalga boyu ucunun limitinin ise evrenin tümünün fiziksel büyüklüğüne eşit olduğu düşünülmektedir.

Elektromanyetik tayf binlerce kilometreden atom altı uzunluklara kadar geniş bir yelpazedeki dalga boylarında ışımları kapsar. 30 Hz ve altındaki frekansların radyoastronomide bazı nebulalar tarafından üretildiği ve bu yapıların araştırılmasında kullanıldığı, 2.9×10^{27} Hz değeri civarında frekanslara sahip ışımların da çeşitli kozmik kaynaklardan yayıldığı bilinmektedir.

Boşlukta, belirli bir dalga boyundaki (λ) elektromanyetik enerjinin bu dalga boyu ile orantılı bir frekansı (f) ve proton enerjisi (E) bulunmaktadır. Bu yüzden elektromanyetik tayf bu üç değerden herhangi biri kullanılarak ifade edilebilir (Denk. 2.4-2.6).

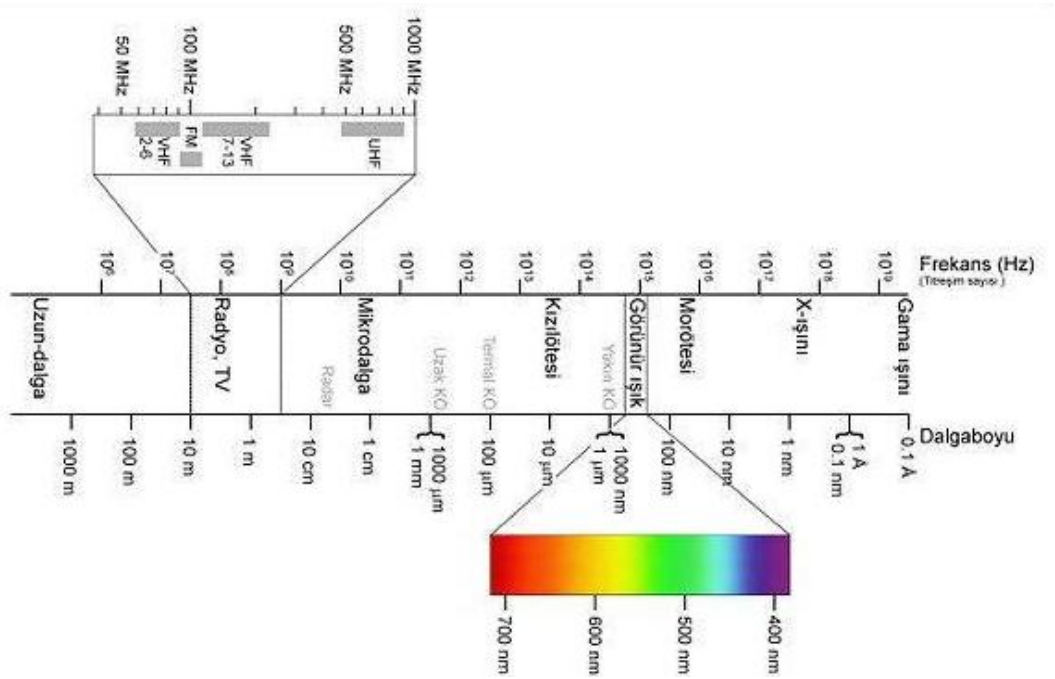
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.4)$$

$$E = hf \quad (2.5.)$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.6.)$$

Burada c ışık hızını (299792458 m/s), h Planck sabitini (6.626069×10^{-34} Js) göstermektedir.

Buna göre; Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar yüksek enerjiye ancak kısa dalga boyuna, düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ise düşük enerjiye ancak uzun dalga boyuna sahiptirler.



Şekil 2.2. Elektromanyetik spektrum

Genellikle dalga boyları çok çeşitlidir ve maddelerle farklı ilişkilere sahiptirler. Bu dalga boyu bölümleri sayesinde elektromanyetik spektrumu bölümlere ayırabiliriz (<http://www.meteor.gov.tr/2006/arastirma/arastirma-ozon-elektromanyetikspektrum.aspx>, 2009)

2.3.1. Gama ışınları

En enerjik dalgalar olarak bilinen gama ışınları; en kısa dalga boylarına sahip, ancak buna bağlı olarak da en yüksek frekanslara ve en büyük foton enerjisine sahiptirler. Gama ışınları nükleer reaksiyonla üretilebilirler. Madde içinden geçtiklerinde maddenin atomları ve molekülleri dışındaki elektronların tamamına çarparlar. Bu çarpışma sonucunda meydana getirdikleri iyonlaşmadan dolayı Gama Işınlarına bazen “iyonize radyasyon” da denir. Gama ışınları ile iyon oluşumu çok tepkiseldir. Yaşayan organizmaların, bu iyonize eden radyasyona maruz bırakılması yok edici etkilere sebep olabilir. Bunun yanı sıra kontrollü kullanımı ile besinler üzerindeki mikropların öldürülmesi söz konusudur.

2.3.2. X- ışınları

Elektromanyetik spektrumda Gama Işınlarından bir adım daha uzun dalga boyuna sahip (daha düşük frekans ve daha küçük enerji) grup ise X ışınları olarak bilinir. X ışınları da nükleer tepkimelerle gerçekleştirilebilirler. Ancak çok hızlı hareket eden elektronlar ile metal yüzeylerin bombardıman edilmesiyle de üretilebilir. Güneş yüzeyinde oluşan fırtınalarda yoğun şekilde bulunurlar. X ışınları da iyonize radyasyonlardır ancak gama ışınlarından daha az potansiyele sahiplerdir. X ışınları düşük bir enerjiden daha yüksek bir enerjiye giden atomdaki elektronları yapabilir fakat hep atom olmaya çalışır. Atomik bir çekirdeğin enerjisini de değiştirebilir. Bu ışınlar elektronları ve atomik çekirdekleri saptırdığından, tıbbi amaç ve moleküllerin tam yapılarının araştırılması için kullanılır. X ışınları ve gama ışınlarının ikisi de yıldız ve galaksilerde astrofiziksel işlemlerle oluşur ve onlar dünyayı sürekli bombardımana tutan “ kozmik ışınların “ parçasını oluştururlar.

2.3.3. Ultraviyole ışık

Ultraviyole radyasyon, güneş spektrumunun özel bir bölümüdür. Ultraviyole radyasyon, elektromanyetik spektrumun görünür ışıktan daha kısa dalga boylu (doğal olarak daha yüksek enerjili) olan belli bir parçasını oluşturur. Bu konudaki detaylı bilgi “ultraviyole radyasyon nedir” ana başlığı verilmiştir.

2.3.4. Görünür (visible) ışık

Ultraviyole Radyasyondan biraz daha uzun dalga boyuna sahip görünür ışık, elektromanyetik spektrumun dar bir bölümünde yer almıştır. Göz retinasındaki renk pigmentleri ile direk ilişkili olduğundan, bizim görmemize yardımcı olur. Görünür radyasyon iyonize değildir. Atom ve moleküllerle ilişkisi; hemen hemen sahip olduğu tüm enerjiden, başka bir enerjiye dönüşen elektronların sonucudur. Ancak moleküller için sınırlı kalır. Gerçek şudur ki fotonları emen farklı enerjilere sahip farklı maddeler, sahip oldukları farklı renklerin dışarıdan algılanmasının sonucudur. İnsan gözü 400 nm ile 700 nm aralığında ki elektromanyetik radyasyona duyarlıdır. Bütün renkler bu dalga boyu aralığında görünen gökkuşağında bulunur (menekşe, çivit, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı). En kısa dalga boyları (en büyük foton enerjisi) menekşe rengi olarak algılanır, en uzun dalga boyu (en küçük foton enerjisi) ise kırmızı olarak algılanır. Bazı canlı türleri ışığı daha uzun veya daha kısa dalga boylarında algılayabilir.

2.3.5. Kızılötesi (infrared) ışıklar

Elektromanyetik spektrumda biraz daha uzun dalga boyunda (daha düşük enerjili) görünen bölüm spektrumunun kızıl ötesi bölümüdür (IR). İnfrared ışınların enerjileri elektronların enerjilerini değiştirmek için çok küçüktür. Bunun yerine, infrared radyasyon; moleküllerin titreşim durumlarını değiştirme eğilimindedir ki bu, bir moleküldeki atomların çok hızlı ileri ve geri sallanması anlamına gelir. Moleküller kızılötesi ışınları emdiklerinde atomları daha hızlı hareket eder ve böylece moleküllerin sıcaklıkları artar. Isı lambaları bu prensiple çalışır. Isı taşınımı, infrared elektromanyetik radyasyonda çoğunlukla “radyant ısı” olarak bilinir.

2.3.6. Radyo dalgaları

Spektrumda daha da uzun dalga boyları Radyo Dalgalarıdır. İsminden de anlaşılacağı gibi; elektromanyetik spektrumun bu bölümünü biz radyo haberleşmesinde, televizyonda ve radarda kullanırız. Radyo dalgaları elektromanyetik spektrumun geniş bir bölümünü kapsar. Genelde (uhf, vhf, televizyon, radar, mikrodalga, milimetre dalga vb.) olarak alt bölümlere ayırırız, bu isimler kullanım yerine göre değişir. Atmosfer

boyunca bu dalga boylarının yayılma yollarında ki farklılıklarından dolayı çeşitleri açıkça bellidir.

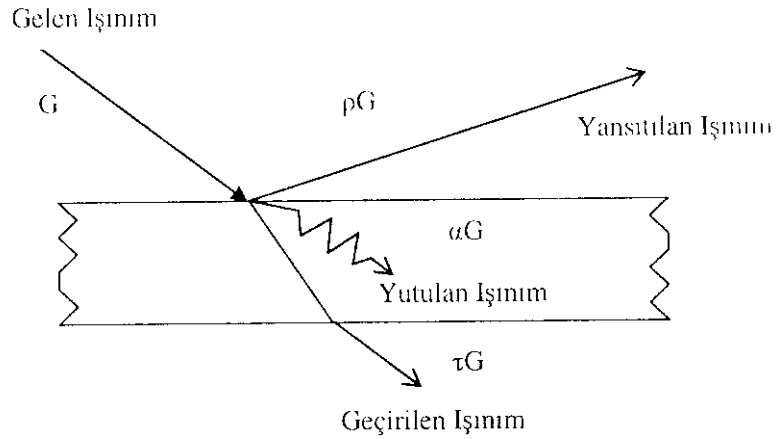
2.4. Termal Işınımın Temel Kanunları

Bir elektromanyetik dalga vakumda ya da bir ortam içinde hareket ederken başka bir ortamın yüzeyine çarptığında yansiyabilir (tamamen ya da kısmen) ve yansımayan kısım ortamın içine geçer. Ortamın içinden geçerken dalga, zayıflayabilir. Eğer bu zayıflama tamamen olursa ortam içine girmiş ışınım tekrar ortamdaki dışarı çıkamaz, bu tip maddelere opak madde denir. Eğer dalga bir kayba uğramadan ortamdaki çıkarsa buna geçirgen, ortamda kısmen zayıflıyorsa bu ortama da yarı geçirgen ortam denir. Ortamın geçirgen, yarı geçirgen ya da opak olması ortamın kalınlığı ile orantılıdır. Metallerin çoğunluğu opaktır, metal olmayan maddeler ise opaklık için daha fazla kalınlığa gereksinimleri vardır.

Yüzeye bütün dalga boylarında gelen toplam ışınım, yüzeyin özelliklerine bağlı olarak yutulabilecek, yansıtılabilecek ya da madde içinden geçebilecektir (Şekil 2.3.). Yüzeyden yutulan, yansıtılan ve geçirilen ışınım miktarlarının; yüzeye gelen ışınım miktarına oranları sırasıyla ışınım yutma oranı α , ışınım yansıtma oranı ρ , ve ışınım geçirme oranı τ olarak tanımlanırsa şu ifade elde edilebilir (Denk 2.7.).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.7.)$$

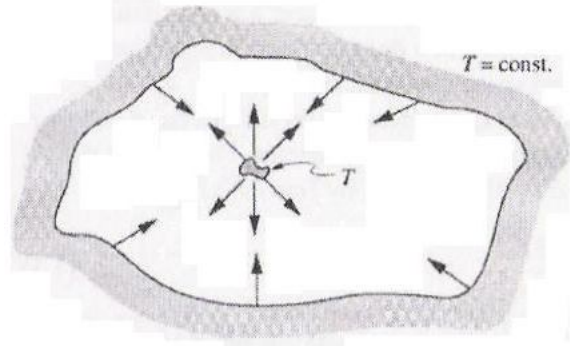
Çoğu katı maddelerin ısı ışınım geçirme oranı sıfırdır ve ısı ışınım için opak olarak adlandırılır. Opak bir yüzey için yukarıdaki eşitlik $\alpha + \rho = 1$ şeklinde olacaktır.



Şekil 2.3. Bir yüzeye gelen ışınımın yansıtılması, yutulması ve geçirilmesi

Işınımı yansıtmayan opak bir yüzeye mükemmel absorber (yutucu) ya da siyah yüzey denir. Bir cisim gördüğümüzde gözümüz güneşin yaydığı v cisimden yansıyan spektrumun görünür kısmındaki elektromanyetik dalgaları yutar (absorbe eder). Bundan hareketle eğer bir cisim ışınımı yansıtıyorsa bu cisim göremeyiz ve bu bizim gözümüzde “siyah” olarak algılanır. Siyah cisim maksimum ışınım enerjisini yutmasından dolayı diğer yüzeyleri sınıflandırmak için bize bir standart sunar. Siyah cisim üzerine gelen ışınımı ne yansıtır ne de geçirir. Dolayısıyla bir siyah cisim için $\alpha = 1$, $\rho = 0$, $\tau = 0$ dir (Kılıç ve Yiğit, 2008).

Siyah yüzeyin, aynı zamanda maksimum ışınım enerjisi yaydığını göstermek kolaydır. İçlerinden biri siyah yüzey olan dışarıdan termal olarak yalıtılmış, iki kapalı hacim düşünelim (Şekil 2.4.). Belli bir süre sonra termodinamiğin 2. yasası gereğince hacimlerin iç yüzeyi ve cisimler aynı sıcaklıkta olacaktır. Bu özellik, yüzeylerin her parçasının tam olarak absorbe enerji kadar enerji yuttuğu anlamına gelmektedir. Farklı hacimlerdeki her iki cisim de tam olarak ışınım enerjisinden aynı miktarda almışlardır. Siyah cisim maksimum enerji yuttuğuna göre siyah olmayan cisimden de daha fazla enerji yaymalıdır. Bu durum Kirchhoff kanunu olarak bilinir. Bu kanunun kullanılmasıyla özellikle termodinamik dengeye yakın konumdaki durumlarda yutma ve yayma katsayıları eşit olarak kabul edilebilir. Ancak yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı büyük ise Kirchhoff kanunu uygulanmaz (Modest, 2003).



Şekil 2.4. Kirchhoff kanunu

Siyah cisimlerin özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Siyah cisim üzerine düşen ışınımın bütünü (dalga boyu ve doğrultusundan bağımsız olarak) yutar.
- Aynı sıcaklık ve dalga boyunda hiçbir yüzey siyah cisimden daha fazla enerji yayamaz ya da ışınım yapamaz.
- Siyah cisim tarafından yapılan ışıma; sıcaklık ve dalga boyunun fonksiyonu olmasına rağmen, doğrultudan bağımsızdır. Diğer bir deyişle, siyah cisim bütün doğrultularda ışıma yapar.

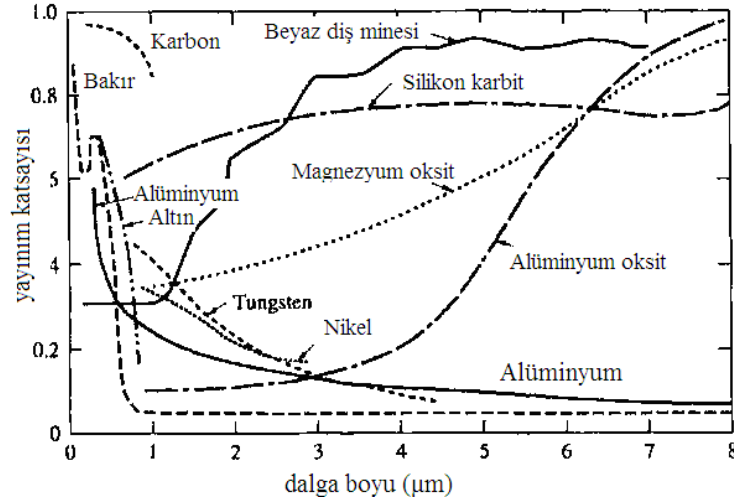
Bir yüzeyin birim yüzey alanından bütün dalga boylarında ve bütün yönlerde ışıma yapmak suretiyle birim zamanda yaptığı enerji transferine toplam neşretme gücü denir ve E (W/m^2) ile gösterilir. Bir yüzeyin toplam neşretme gücünün (E) aynı sıcaklıktaki siyah cismin toplam neşretme gücüne (E_s) oranı ışıma oranı (ε) olarak adlandırılır (Denk. 2.8.).

$$\varepsilon = \frac{E}{E_s} \quad (2.8.)$$

Toplam neşretme gücü bütün dalga boylarında yapılan ışımayı kapsamaktadır. Bir dalga boyu için bu dalga boyundaki monokromik neşretme gücü E_λ tanımlanabilir (Denk. 2.9) (Kılıç ve Yiğit, 2008).

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda \quad (2.9.)$$

Şekil 2.5' te bazı metallerin dalga boyuna göre ışınım oranları verilmiştir.

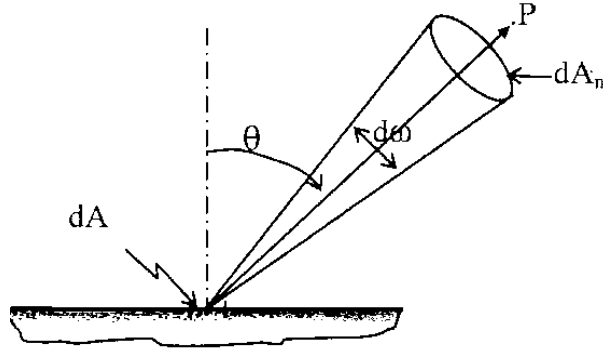


Şekil 2.5. Bazı metallerin ışınım oranları (Modest, 2003)

2.4.1. Işınım şiddeti

Bir yüzeyden belirli bir doğrultuda gelen ışınım enerjisinin miktarını bulabilmek için belirtilen yol doğrultusunda ışınım şiddetini belirlenmesi gerekir. Şekil 2.6' daki yatay yüzey üzerindeki temsili alan parçası dA ' dan birim zamanda belli bir doğrultuda neşredilen ışınım enerjisini bulmaya çalışalım. Küresel koordinat sistemi; r radyal koordinat, θ zenith (boylam açısı) ve ϕ azimutsal (yatay) açıdır (Şekil 2.6). Eğer dA alanından birim zamanda neşredilen toplam enerji dQ olarak tanımlanırsa ışınım şiddeti I , denklem 2.10 ile verilmiştir.

$$I \equiv \frac{d^2Q}{d\omega dA \cos\theta} \quad (2.10)$$



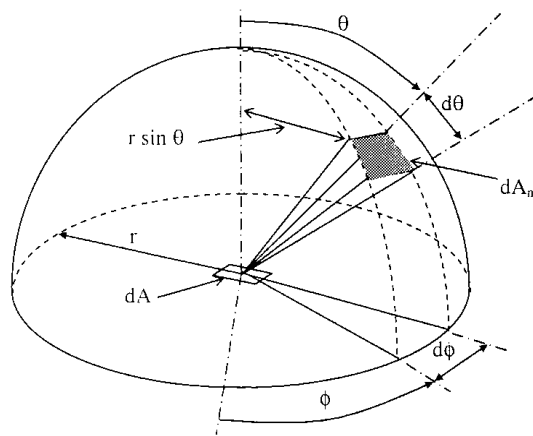
Şekil 2.6. Işınım Şiddeti

Burada dw diferansiyel hacimsel açıdır. Yayılı ışına yapan bir yüzeyde ışınım doğrultudan bağımsız olduğunu hatırlayarak, toplam neşretme gücü ve ışınım şiddeti arasındaki bağıntı denklem 2.11' de verilmiştir.

$$\frac{dQ}{dA} = E = \int I \cos \theta dw = I \int \cos \theta dw \quad (2.11.)$$

Yatay yüzey üzerinde bir yarı küreyi ele alalım ve yüzey üzerinde diferansiyel yüzey elemanı dA yer alsın. Şekil 2.7. de görüldüğü gibi koni ve yarıkürenin kesişim bölgesi olan alan hacimsel (katı) açı olarak adlandırılır ve steradyan ile ölçülür (Denk. 2.12.).

$$dw = \frac{(r \sin \theta d\phi)(r d\theta)}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.12)$$



Şekil 2.7. Işınım şiddetinin hacimsel açı üzerinde integrali

Birim alandan toplam neşretme gücü,

$$E = I \int \cos \theta d\omega = I \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi \quad (2.13)$$

olarak ya da basitçe,

$$E = \pi I \quad (2.14.)$$

şeklinde bulunur (Kılıç ve Yiğit, 2008).

2.4.2. Planck kanunu

Siyah cismin neşretme gücünün dalga boyuna bağlı ifadesi 1901 yılında Max Planck tarafından kuantum teorisi ile elde edilmiştir. Bu ifadeye Planck kanunu denir (Denk. 2.15.).

$$E_{s,\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} \quad (2.15)$$

C_1 ve C_2 katsayıları, denklem 2.16 ve 2.17 de verilmiştir.

$$C_1 = 2\pi^5 h c_0^2 / 15 = 3.742 \times 10^8 \mu m^4 / m^2 \quad (2.16)$$

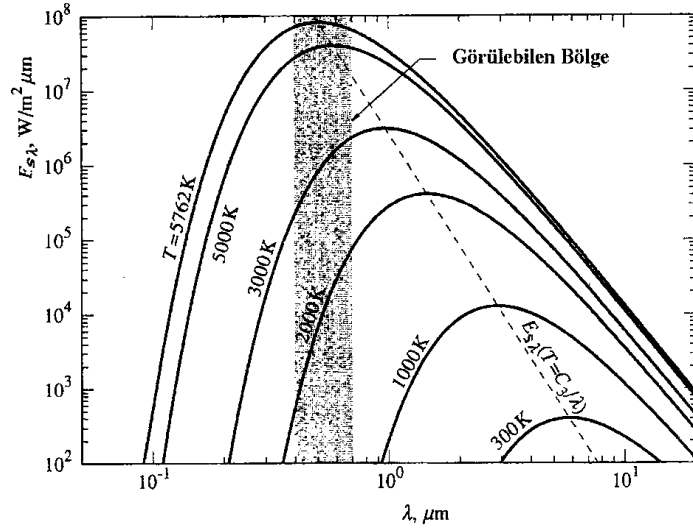
$$C_2 = \frac{hc_0}{k} = 1.439 \times 10^4 \mu m K \quad (2.17.)$$

Burada T yüzeyin mutlak sıcaklığını, λ yayınım yapan ışınımın dalga boyunu ve $k=1.28065 \times 10^{-23}$ J/K Boltzmann sabitini göstermektedir. Bu ifade vakum veya gaz ortamlar içindeki yüzeyler için geçerlidir. Diğer ortamlar için C_1 katsayısının C_1/n^2 ile değiştirilmesi gerekir, burada n ortamın kırıcılık indisidir (Çengel, 2006).

2.4.3. Wien' in kayma kanunu

Siyah cismin dalga boyuna göre neşretme gücü seçilen sıcaklıklar için Şekil 2.8' de verilmiştir. Bu şekilden şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Yayılan ışınım, dalga boyunun sürekli bir fonksiyonudur. Herhangi bir sıcaklıkta, dalga boyu ile artar, maksimum noktasına ulaşır, sonra dalga boyu arttıkça düşmeye başlar.
- Herhangi bir dalga boyunda yayılan ışınım miktarı sıcaklık arttıkça artar.
- Sıcaklık arttıkça eğriler kısa dalga boyu bölgesine doğru yer değiştirirler. Sonuç olarak, yüksek sıcaklıklardaki ışınımın büyük bir miktarı kısa dalga boylarında olmaktadır.
- Güneşin yaydığı ışınlar, 5780K' de siyah cisim ışınımı olarak kabul edilebilir ve görünür bölgede maksimum noktasına ulaşır. Bu nedenle güneş gözlerimizle uyumludur. Diğer taraftan sıcaklığı 800 K' den düşük yüzeyler infrared bölgede ışınım yaydıklarından gözlerimiz tarafından algılanamaz (Modest, 2003).



Şekil 2.8. Siyah cisim ışınım gücünün dalga boyu ve sıcaklıkla değişimi

Şekil 2.8' de sıcaklık arttıkça eğrilerin maksimum noktası da kısa dalga boylarına doğru kaymaktadır. Bir sıcaklık için maksimum noktanın olduğu dalga boyu Wien' in yer değiştirme kanunu ile ifade edilir (Denk. 2.18.).

$$\lambda_{\max} T = 2897.6 \mu\text{mK} \quad (2.18.)$$

Bu ifade ilk olarak Willy Wien tarafından 1894 yılında, klasik termodinamik kullanılarak elde edilmiştir. Aynı zamanda Planck kanunundaki ifadenin diferansiyeli alınarak ta elde edilebilir. Wien' in kayma kanunu dalga boyunun ölçülmesi suretiyle ışıma kaynağının sıcaklığının bulunmasında oldukça kolaylık sağlar (Kılıç ve Yiğit, 2008).

2.4.4. Stefan-Boltzmann kanunu

Planck kanunu ile verilen tek bir dalga boyu için siyah cismin neşretme gücü ifadesi, siyah cismin toplam neşretme gücünü bulmak için sıfır ile sonsuz dalga boyu aralığında integre edildiğinde,

$$E_s = \int_0^{\infty} E_{s,\lambda} d\lambda = \frac{2\pi^5 k^4 T^4}{15c^2 h^3} = \sigma T^4 \quad (2.19.)$$

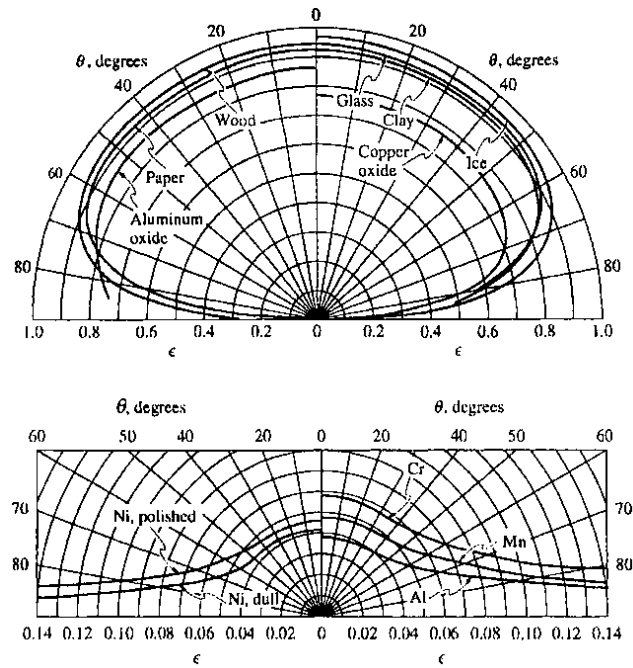
elde edilir. Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti olarak isimlendirilir ve değeri 5.67×10^{-8} W/m²K² dir. Bu sabitin diğer fiziksel sabitlerin bir birleşimi olduğu görülmektedir. Stefan-Boltzmann ifadesi Planck kanunundan önce deneysel çalışmalar ile 1879 da Stefan ve termodinamik bağıntılardan 1884 de Boltzmann tarafından elde edilmiştir. Stefan-Boltzmann sabitinin tam değeri 1901 yılında Planck kanunun bulunmasıyla diğer fiziksel sabitlerle ortaya çıkan ilişkisi sonucu elde edilmiştir. Bu basit fakat oldukça önemli sonuç sayesinde bir siyah cismin sıcaklığının bilinmesiyle bütün doğrultu ve dalga boylarında yaydığı ışıma gücünü hesaplayabilmek mümkün olmuştur (Kılıç ve Yiğit, 2008).

2.4.5. Gerçek yüzeylerin karakteristikleri

Pratik kullanımda karşılaşılan birçok malzeme metaller, tahta ve beton gibi, termal ışıma için opaklırlar ve bu tip malzemeler için ışıma yüzeysel bir olgu olduğu kabul edilebilir. Bu termal ışımanın, yüzeyin birkaç mikrometre içinde absorbe edildiği ya da yayıldığı anlamına gelir ve bu nedenle opak malzemeler için yüzeyi ışıma özelliklerinden bahsedilir.

Su ve cam gibi diğer malzemeler, görünür ışınının absorbe olmadan içlerinden geçmesine izin verirler. Bu tarz transparent malzemeler için, ışınının bütün malzemenin iç kısmıyla temasta olduğundan dolayı, yüzeysel ışımandan bahsedilemez. Diğer taraftan su ve cam pratikte infrared ışınım için opaktırlar. Buradan da anlaşılacağı gibi farklı dalga boylarında malzemeler farklı ışınım özellikleri gösterirler.

Siyah cisim ideal bir ışıyıcı ve aynı sıcaklıkta başka hiçbir yüzey siyah cisimden fazla ışıma yapamaz. Dolayısıyla gerçek yüzeylerin ışımasında siyah cisim bir referans olarak seçilebilir. Daha önce siyah cismin neşretme gücünün $E_s = \sigma T^4$ olduğu gösterilmişti. Gerçek yüzeyler için ışıma oranını tanımından $E = \epsilon E_s$ yazılabilir. Ancak gerçek bir yüzey tarafından yapılan ışınım yöne bağlı olabileceği gibi dalga boyu ile de değişiklik gösterebilir. Bu durumda ϵ toplam ışıma oranından ϵ_λ monokromatik ışıma oranı ve ϵ_θ doğrultuya bağlı ışıma oranını ayırt etmek gerekmektedir. Eğer yüzeyin monokromatik ışıma oranı ϵ_λ ve yutma oranı α_λ yüzeye gelen ışıma ve yüzeyin ışımasının spektral aralığında dalga boyundan bağımsız iseler, bu yüzey gri yüzey olarak adlandırılır. Eğer yüzeye gelen ve yüzeyden olan ışıma hem dalga boyundan hem de doğrultudan bağımsız ise bu yüzey yayıcı ve gri yüzey olarak adlandırılır. Gerçek yüzeylerdeki ışıma sıkça gri yüzey yaklaşımıyla hesaplanabilmektedir (Modest, 2003).



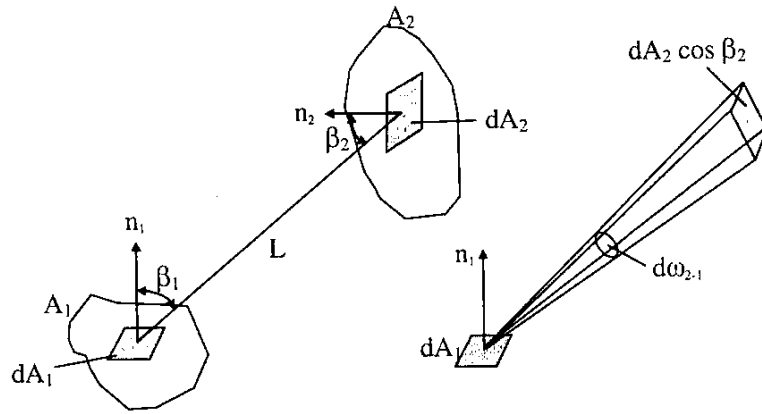
Şekil 2.9. Bazı malzemelerin açısıl yayma oranlarının değişimi

Eğer yayılı ışımaya yapan bir yüzeyin doğrultuya bağlı ışımaya oranı sabit ise yüzeyin ışımaya doğrultudan bağımsızdır. Her ne kadar bu yaklaşım kabul edilebilir ise de bütün yüzeylerin küçük farklılıklar gösterdikleri bir gerçektir. İletken malzemelerde $\theta \leq 40^\circ$ olduğu bölgede ϵ_θ hemen hemen sabit kalmaktadır, açının artmasıyla artmakta daha sonra hızlı bir şekilde sıfıra gitmektedir. İletken olmayan malzemeler için ise $\theta \leq 70^\circ$ kadar sabit kalmakta daha sonra hızla sıfıra gitmektedir. Doğrultuya bağlı ışımaya oranında değişikliklerin olmasına karşılık toplam ışımaya oranı, normal ışımaya oranından çok fazla farklılık göstermez (Şekil 2.9.). Toplam ışımaya oranının normal ışımaya oranına oranı iletken malzemelerde $1.0 \leq \epsilon / \epsilon_n \leq 1.3$ ve iletken olmayan malzemelerde $0.95 \leq \epsilon / \epsilon_n \leq 1.0$ aralıklarını nadiren geçer. Dolayısıyla $\epsilon \approx \epsilon_n$ oldukça iyi bir kabuldür (Kılıç, Yiğit, 2008).

2.4.6. Görüş faktörü

Yüzeyler arasındaki ışımla ısı transferi, yüzeyin ışımlı özellikleri ve sıcaklığına bağlı olduğu kadar da birbirlerine göre konumlarına da bağlıdır. Şöminedeki ateşi düşünürsek, ateşe tamamen kapalı bir noktada oturan kişi şöminedeki ateşten doğrudan enerji alamaz. Bu durumun aksine ateşin karşısında oturan kişi ışımlı yoluyla doğrudan ısı alır. Yüzeyle arasındaki ışımla ısı transferinde bu yönelim etkisini dikkate almak için “görüş faktörü” denen yeni bir parametre tanımlanmıştır ve bu değer yüzeyin özelliklerinden ve sıcaklıktan bağımsız olup tamamen geometrik şekille alakalıdır (Çengel, 2006).

Görüş faktörünün genel ifadesini elde etmek için Şekil 2.10’ daki gibi birbirlerini gören, dA_1 ve dA_2 gibi iki diferansiyel yüzey ele alalım.



Şekil 2.10. Birbirini gören iki yüzey arasında görüş faktörü

İki alan elemanı arasında çizilen doğru ile her bir diferansiyel alanın normalinin yaptığı açı β dir. Diferansiyel alanlar arasındaki mesafe L dir. β_1 , β_2 ve L değerleri dA_1 ve dA_2 nin seçildikleri yere bağlı olarak değişmektedir. dA_1 den ayrılan ve dA_2 tarafından kesilen ışınım ifadesi denk. 2.20' de verilmiştir.

$$dQ_{d1-d2} = I_1 \cos \beta_1 dA_1 d\omega_{2-1} \quad (2.20)$$

Burada I_1 , dA_1 alanından yayılan radyasyonun yoğunluğunu, $d\omega_{2-1}$ dA_1 yüzeyinden dA_2 yüzeyini gören katı açıdır. Katı açının ifadesi şu şekildedir:

$$d\omega_{2-1} = \frac{\cos \beta_2 dA_2}{L^2} \quad (2.21.)$$

Bir siyah cisim için ışınım şiddeti ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$I_s = \frac{\sigma T_1^4}{\pi} \quad (2.22)$$

Denk. 2.20 ve 2.21. yerlerine yazarsak denk. 2.23' ü elde ederiz.

$$dQ_{d1-d2} = \frac{\sigma T_1^4}{\pi} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{L^2} \quad (2.23)$$

Aynı mantıkla dA_1 yüzeyi doğrultusunda dA_2 yüzeyini terk eden ışınım ifadesi şu şekildedir:

$$dQ_{d2-d1} = \frac{\sigma T_2^4}{\pi} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{L^2} \quad (2.24)$$

dA_1 diferansiyel alanını referans alarak, dA_1 ve dA_2 arasındaki ışınım ile olan net ısı transferi şöyledir:

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = dQ_{d1-d2} - dQ_{d2-d1} \quad (2.25.)$$

İfadeler yerlerine yazılırsa şu eşitlik elde edilir:

$$dQ_{d1 \rightarrow d2} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi L^2} \quad (2.26.)$$

Birim alan başına ısı alış verişi şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{dQ_{d1 \rightarrow d2}}{dA_1} = \sigma (T_1^4 - T_2^4) \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2}{\pi L^2} \quad (2.27)$$

Bu eşitlikte geometriyi ifade eden;

$$dF_{d1-d2} = \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_2}{\pi L^2} \quad (2.28.)$$

ifadesi görüş faktörü olarak tanımlanır.

Yukarıdaki bağıntıları yeniden düzenleyip dA_2 yüzeyine olan net ısı transferi elde edilirse görüş faktörü şu şekilde bulunur:

$$dF_{d2-d1} = \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1}{\pi L^2} \quad (2.29.)$$

Denk. 2.26 ve 2.29 ifadelerinden aşağıdaki denklem yazılabilir.

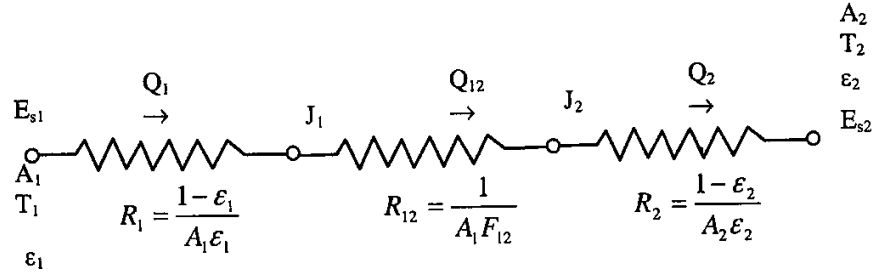
$$dA_1 dF_{d1-d2} = dA_2 dF_{d2-d1} = \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2 dA_1 dA_2}{\pi L^2} \quad (2.30.)$$

2.4.7. Kapalı bir hacim içinde iki yüzey arasında ışınlama ısı transferi

Kapalı bir hacim içinde ışınlama ısı transferi yapan, yüzey alanları A_1 , A_2 ; sıcaklıkları T_1 , T_2 ve yayma oranları ε_1 , ε_2 olan iki yüzey arasında ısı transferi denklem 2.31. ile bulunabilir.

$$Q_{12} = Q_1 = -Q_2 \quad (2.31)$$

1 yüzeyinden 2 yüzeyine ışınlama olan ısı transferi, ters işaretli olarak 2 yüzeyinden bir yüzeyine olan ışınlama ısı transferine eşittir.



Şekil 2.11. Kapalı bir hacimde iki yüzey arasında ışınlama ısı transferi

İki yüzey arasında ışınlama ısı transferi için eşdeğer devreye göre (Şekil 2.11.) denk. 2.32 ile bulunur.

$$Q_{12} = \frac{E_{s1} - E_{s2}}{R_1 + R_{12} + R_2} = Q_1 = -Q_2 \quad (2.32.)$$

veya

$$Q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2}} \quad (2.33.)$$

Bu ifadeden iki yüzey arasında ışımla olan ısı transferi bulunabilir. Sonucun eksi işaretli çıkması ısı transferinin yönünü 2 yüzeyinden 1 yüzeyine doğru olduğunu gösterecektir (Kılıç ve Yiğit, 2008).

2.5. İnfrared Isıtma

Sanayide kullanılan infrared ısıtıcıların sıcaklıkları 150°C ile 2760°C arasındadır. Bu sıcaklık aralığında infrared ısıtıcılar üç gruba ayrılır.

- Düşük yoğunluklu
- Orta yoğunluklu
- Yüksek yoğunluklu

Sıcaklıkları 150°C' ye kadar olan ısıtıcılar panel ısıtma ve soğutma ekipmanları olarak sınıflandırılırlar.

Düşük yoğunluklu ısıtıcıların sıcaklıkları 150°C' den 650°C' ye kadardır. Klasik bir düşük yoğunluklu ısıtıcı tavana asılmış ve 6 m den 9 m ye kadar uzunluğu olan 100 mm çaplı çelik bir borudan imal edilmiş olabilir. Bir gaz yakıcı borunun sonuna monte edilmiştir ve borunun sıcaklığını artırır. Birçok birimi yansıtıcı yüzeylerden oluştuğu için radyant enerji şartlandırılmak istenen ortama yöneltilir. Orta yoğunluklu ısıtıcıların sıcaklıkları 650°C' den 980°C' ye kadardır. Gözenek yataklı gaz yakıcı infrared sistemler ve metal kaplı elektrikli ısıtıcılar tipik örnekleridir. Yüksek yoğunluklu ısıtıcılar sıcaklığı 980°C' den 2760°C' ye kadardır. Elektrikli yansıtıcı direnç sıcaklığı 2230°C olan ısıtıcılar tipik örneğidir.

Düşük, orta ve yüksek yoğunluklu infrared ısıtıcılar çoğunlukla havaalanı hangarlarında, fabrikalarda, depolarda, dökümhanelerde, seralarda ve spor salonlarında uygulanır. Gemi yüklemede, yarış pistinin bazı bölümlerinde, çadırların altında, açık

hava restoranlarında ve yüzme havuzu kenarları gibi açık alanlarda da kullanılabilir. İnfrared ısıtıcılar aynı zamanda buz ve kar eritmede, yoğuşma kontrolünde ve endüstriyel işlemlerde de kullanılır. Yansıtıcılar genelde ışınımı kullanılacak olan bölgeye yönlendirmek için kullanılır.

İnfrared ısıtıcı kullanıldığında ortam şu özelliklerde olur:

- Yöne bağlı bir ışınım alanı oluşur
- Işınım alanı duvarlardan veya ortamı çevreleyen yüzeylerden geri ışınmalar ve geri yansımaları içerir
- Diğer sistemlere göre ortam havasının sıcaklığı daha düşüktür

2.5.1. Enerji tasarrufu

İnfrared ısıtma sistemleri noktasal ısıtma için oldukça kullanışlıdır. Bununla birlikte performanslarına göre büyük alanların ve binaların içinde ısıtma amaçlı da kullanılabilir. Bu tip ısıtıcılar ışınım enerjisini direk olarak katı cisme ulaştırırlar. Havanın ışınım ısısına karşı kötü bir yutucu olmasından dolayı iletim sırasında çok az bir enerji kaybı olur. Böylelikle su ve hava gibi bir ortama ya da fanlara veya pompaya ihtiyaç duymaz.

İnfrared enerji zeminleri ve yüzeyleri ısıtır, bunlarda taşınım yolu ile havayı ısıtır. Çevredeki objelerin ısıtma yapması da aynı zamanda konforlu bir ortam sağlar. Işınım ile ısıtmanın tasarrufu ihtiyaç olmadığında kapatılması ve ihtiyaç duyulduğunda birkaç dakikada devreye alınıyor olabilmesidir.

İnsan konforu ortalama ışınım sıcaklığı ve kuru termometre sıcaklığı tarafından belirlenir. Işınım ile ısıtma sistemlerinde diğer sistemlere göre konfor şartları için kuru termometre sıcaklığı daha düşük tutulabilir. Bunun sonucu olarak havalandırma ve diğer yüzeylerden iletimle enerji kayıpları daha az olur. Dolayısıyla enerji tüketimi azalır. Enfiltrasyon kayıpları sıcaklıkla orantılı olduğundan bu kayıplar da azaltılır.

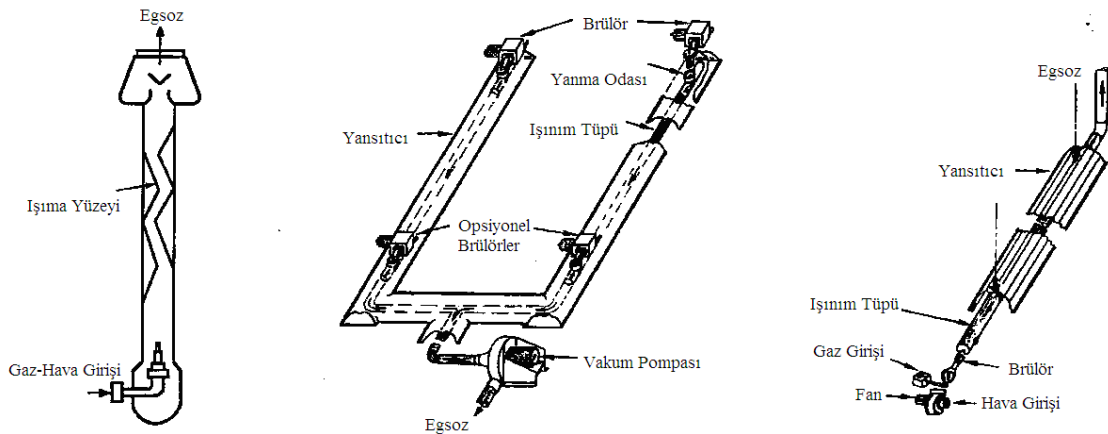
Işınım ile ısıtmada ve soğutmada, ışınım ve taşınım unsurları birbirinden ayrı olduğundan, şartlandırılan ortamda hava akımları ve katmanlar minimum düzeyde olur. Bu enfiltrasyon ve transferle olan ısı kayıplarını azaltır.

2.5.2. Gaz yakıtlı infrared enerji cihazları

Modern gaz yakıtlı infrared cihazlar adından da anlaşılacağı gibi ışınım yapan yüzeyi ısıtmak için gaz yakarlar. Yüzey direk alevle veya yanma gazlarıyla ısıtılabilir. Yapılan çalışmalarda gaz yakıt kullanılan açık yanmalı infrared cihazlarda, üretilen enerjinin %10 ile %20' si arasındaki bir kısmı infrared enerji olmaktadır. Dizayna bağlı olarak ışınım yapan yüzeydeki dalga boyunun dağılımı belirlenebilir. Doğru bir şekilde tasarlanmış özel bir ışınım yüzeyi, ışınımı istenen yüzeye yöneltir.

2.5.2.1. İndirek infrared ışınım cihazları

Bu tip cihazlar içten yanmalıdır ve ısıtılması istenen yer ile yanma gazları arasında ışınım yapan yüzey bulunur. Yanma, çalışma sıcaklığı 650°C' ye kadar çıkabilen ışınım elemanlarının iç kısmında meydana gelir. Bu elemanlar metal veya seramik bileşimi olan tüp ya da panel olabilir. İndirek infrared ışınım cihazları genellikle havalandırmaya ihtiyaç duyarlar (Şekil 2.12).

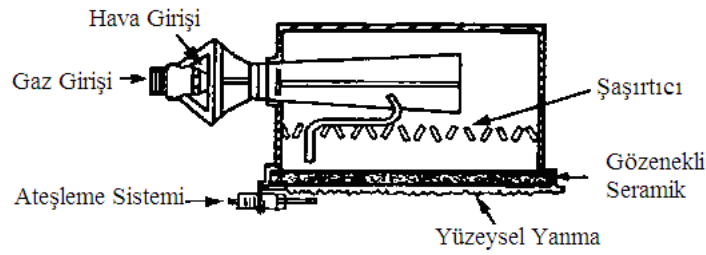


Şekil 2.12. İndirek infrared ışınım cihazları

2.5.2.2. Gözenekli ve yataklı infrared ışınım birimleri

Bu tip cihazların gözenekli seramikten, paslanmaz çelikten veya bir metalik yüzeyden yapılmış yansıtıcıları vardır. Yansıtıcı yüzey dışında diğer birimleri dış

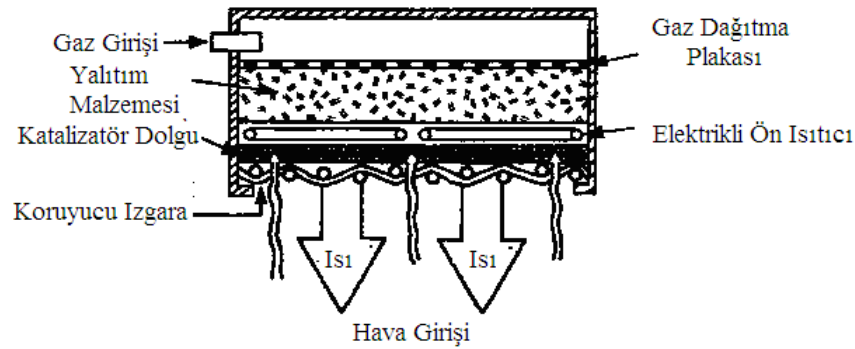
ortamdan yalıtılmıştır. Hava-gaz karışımı kutunun içine girer, gözenekli yapısı olan yansıtıcının içinden geçerek yüzeye doğru yanma oluşması için hareket eder. Yanma yüzeyde oluşur ve alev tekrar yatağın içine girer. Eğer yansıtıcı yüzeyin gözeneliliği uygun olursa atmosferik yanma ile 900°C sıcaklığa kadar ulaşılabilir. Eğer yansıtıcının yoğunluğu fazla ise yeterli güç için ön yakma işlemi gerekebilir. Bununla birlikte sıcaklık daha da yüksek seviyeye çıkabilir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Gözenekli ve yataklı infrared ışıma cihazı

2.5.2.3. Katalitik oksidasyon infrared ışıma cihazı

Bu tip cihazlar yapım, uygulama ve işletmeleri bakımından gözenekli yataklı birimlerle benzerdir ama yansıtıcı malzeme genellikle can yünüdür ve görünür alevin ilerlemesi için oksidasyona sebep olan bir katalizator görevi görür (Şekil 2.14).



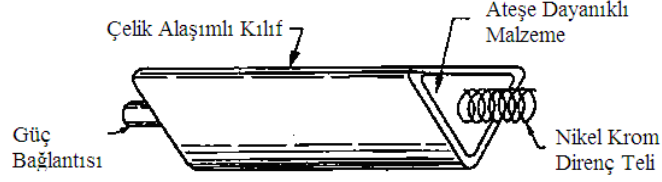
Şekil 2.14. Katalitik oksidasyon infrared ışıma cihazı

2.5.3. Elektrikli infrared cihazlar

Elektrikli infrared ısıtıcılar grafit şerit veya film eleman gibi yüksek dirençli telin içinden elektrik akımı geçmesiyle üretilen ısıyı kullanırlar.

2.5.3.1. Metal kılıflı infrared ışıma cihazı

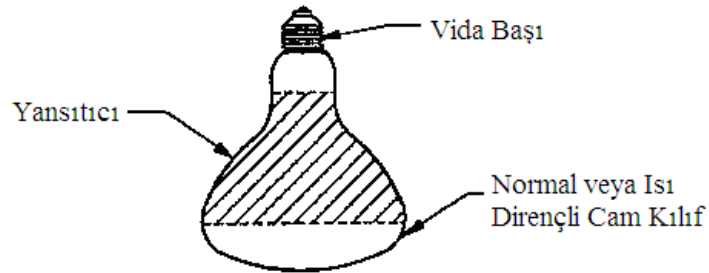
Bu tip ısıtıcı cihazlar metal boru ile çevrelenmiş elektrik yalıtımlı yansıtıcının içine yerleştirilmiş, nikel-krom ısıtıcı telin birleşiminden oluşurlar (Şekil 2.15). Bu tip cihazların termal şoka, titreşime ve çarpmalara karşı mükemmel dirençleri vardır ve herhangi bir pozisyonda monte edilebilirler. Tam kapasite çalışmada cihazları çevreleyen metal kılıfın yüzey sıcaklığı 650°C' den 980°C' ye kadar çıkabilir. "U" şeklinde kıvrılan şekillerdeki konfigürasyonlar ile yüksek sıcaklıklara erişilebilir. B birimler genellikle bir yansıtıcı bulundururlar, böylelikle ışınım istenen bölgeye yönlendirilir. Cihazlar rüzgardan korundukları zaman yüksek ışınım elde edilir, çünkü rüzgarın yüzeyi soğutma etkisi azaltılır.



Şekil 2.15. Metal kılıflı infrared ışıma cihazı

2.5.3.2. Yansıtıcı lampa

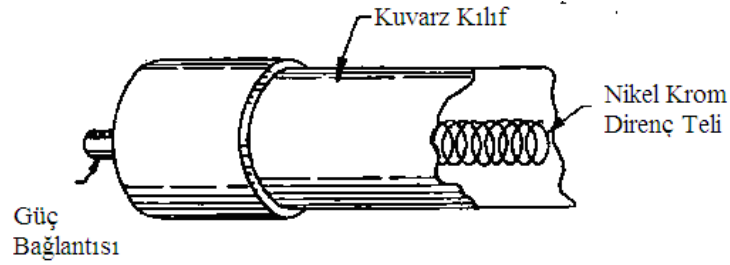
Bu tip ısıtıcıların içinde nerdeyse noktasal bir ışınım kaynağı olan sarılmış bir tungsten tel vardır. Bu tel, bir kısmı gümüşle kaplanmış, temiz, soğutulmuş veya sıcaklık dayanımı olan cam kılıfın içinde bulunmaktadır. Bu tip cihazlar bir ampülü yerine takılması gibi kolayca monte edilirler (Şekil 2.16).



Şekil 2.16. Yansıtıcı Lamba

2.5.3.3. Kuvars borulu infrared ısıtıcılar

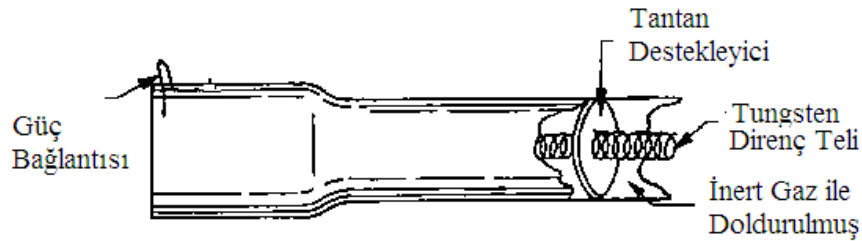
Bu tip ısıtıcılarda sarılmış nikel-krom teli, boşaltılmış ve kaynakla birleştirilmiş kuvars tüp içinde desteksiz durmaktadır. Bu kuvars tüp sızdırma olmayacak bir şekilde porselen veya metal terminal bloklarla kapatılmıştır (Şekil 2.17). Bu birimler darbeye ve titreşimle kolaylıkla zarar görebilmelerine rağmen termal şoka ve su sıçramalarına karşı oldukça dayanıklıdır. Bu tip ısıtıcılar sarımların çökmesini minimize etmek için mutlaka yatay olarak monte edilmeli ve genellikle yansıtıcı yüzeyi olan taşıyıcı kasalara monte edilirler. Sarımların normal sıcaklığı 700°C ' den 980°C ' ye kadar çıkar ve tüpün yüzey sıcaklığı 650°C olur.



Şekil 2.17. Kuvars Borulu İnfrared Isıtıcı

2.5.3.4. Boru şeklinde kuvars lamba elemanı

Bu tip ısıtıcılar, çapı 9.7 mm olan kaynaklı kuvars tüp içinde tantan destekli sarılmış tungsten tel ve inert gazları bulundurlar. Telin uç kısımları, kuvars kılıfın uçlarında bulunan bilezik malzemesinin içine konulmuştur (Şekil 2.18). Lamba telin sarkmasını ve bileziklerin fazla ısınmasını engellemek için mutlaka yatay veya yataya yakın monte edilmelidir. Normal tasarım voltajında kuvars lamba tellerin sıcaklığı 2230°C ' ye kadar çıkmasına rağmen tüp sıcaklığı 590°C ' ye ulaşır.



Şekil 2.18. Boru şeklinde kuvars lamba

2.5.4. Sıvı yakıtlı infrared cihazlar

Bu tip cihazlar indirek gaz yakıtlı cihazlarla benzer cihazlardır. Bu cihazların havalandırılmaya ihtiyaçları vardır.

2.5.5. Sistem verimliliği

Özel bir infrared performansını bir çok faktör belirlediğinden dolayı tek bir kriter sistemleri karşılaştırmak için kullanılmaz. Sistem performansını belirlerken aşağıdaki parametrelerden en az ikisinin kullanılması gerekmektedir.

- Işınım üretim oranı: Üretilen infrared enerjinin toplam enerji girişine oranıdır.
- Kasa verimi: Bu indeks kasanın infrared kaynak ile sağlanan ışınım enerjisinin ne kadarını yaydığı ile ilgilidir ve çoğunlukla toplam enerji ile kıyaslanır. Kasanın parçaları, yansıtıcı yüzey ve kasanın diğer yüzeyleri belli bir miktar infrared enerjii absorbe ederler ve ısınırlar. Bu ısı da taşınım ile ortama akar. Yönü iyi kontrol eden ve enerji dağıtımını iyi yapan bir kasada kayıplar daha az olur.
- Işınım deseni verimi: bu kasanın infrared enerjiiyi istenilen konuma yönlendirme etkisinin tanımıdır. Bu etki dolayısıyla ışınım deseninin doğru uygulanması, sistemin toplam etkinliğini artırır.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki gaz yanmalı infrared sistemlerde yayılan ışınım enerjisi iletilen enerjinin %35-%60' ı kadardır. Stefan-Boltzmann kanunu infrared çıkışın kapasitesini bulmak için kullanılabilir. Kesin sonuçlar için yüzey sıcaklığının, ışınım alanının ve yüzeyin yayınımını doğru bir şekilde biliniyor olması gerekir. Elektrikli infrared sistemlerde ise bu oran %80' den %95' e kadar çıkabilmektedir.

Infrared ısıtıcılar önceden belirlenmiş giriş gücünde çalıştırılmalıdırlar. Bu giriş gücündeki ufak bir düşme infrared enerjide büyük bir düşmeye sebep olacaktır. Bunun sebebi ise infrared enerjinin ışınım yapan yüzeyin sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle değişiyor olmasıdır.

2.5.6. Yansıtıcılar

İnfrared ısıtma cihazlarındaki ışınım yansıtıcılar ile istenilen yöne yönlendirilebilirler veya odaklanabilirler. Montaj yüksekliği ve hem noktasal ısıtma hem de toplam ısıtma için hangi yansıtıcının kullanılması gerektiği belirlenmelidir. Dört çeşit yansıtıcı kullanılabilir (Chapman, 2000):

- Parabolik: Paralel ışınlar oluşturur
- Eliptik: Bir odak noktasındaki ışınları diğer odak noktasına odaklar
- Küresel: Çakışan odak noktaları ile eliptik yansıtıcıların özel bir sınıfıdır
- Düz: Işınları yoğunlaştırmadan ya da ayarlamadan yansıtır.

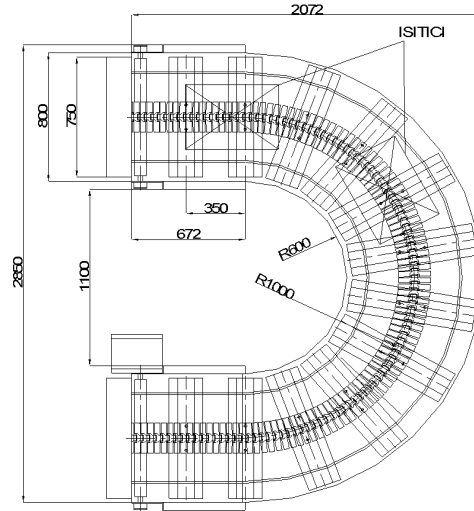
Genelde iki çeşit IR ısıtıcı vardır: orta dalga boyundaki gaz yakıcı IR ısıtıcılar ve kısa dalga boyundaki elektrikli IR ısıtıcılar (Chapman ve ark., 2000).

IR ısıtıcılar kurutma alanında daha çok kullanılmaktadır. Literatürde boya kaplama, yapıştırıcı, mürekkep, kâğıt ve tekstil kurutması üzerine çalışma bulunabilir (Ratti ve Mujumdar, 2006). Gıda sektöründe de IR ısıtıcıların kullanılmasının faydalı olacağı gösterilmiştir (Sandu, 1986). Hasatani ve ark. (1983, 1988) IR kurutma üzerine opak ve yarı geçirgen malzemeler ile deneysel ve teorik çalışmalar yapmıştır. Zamana göre kurutma oranlarını, yüzey sıcaklığını infrared lamba ve elektrikli ısıtıcı ile ısıtılması durumlarında ölçerek belirlemiştir. Monteix ve ark. (2001) ısıtıcı ile yarı geçirgen polietilen madde arasındaki etkileşimi deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Reflektör etkinlik katsayısının parça merkezinde, deneysel verilerin tek boyutlu ışınım ile ısı transferi modeli ile büyük farklılıklar olduğunu göstermiştir. İnfrared kamera kullanarak parça yüzeyindeki sıcaklık dağılımını belirlemişler ve lamba kapatıldıktan sonra da parçanın ısındığını tespit etmişlerdir. Parçanın ön ve arka kısmındaki sıcaklık dağılımında, IR ısıtıcı kapatıldığında sıcaklık basamakları oluştuğunu göstermiştir. Cenkowski ve ark. (2004), sürekli IR mikronizasyon işleminde ısı ve kütle transferi için matematiksel model geliştirmişlerdir. Petterson ve Sternström (2000) elektrikli IR ısıtıcı için model yapmışlardır. Yaptıkları model deneysel sonuçlara yakın sonuçlar vermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

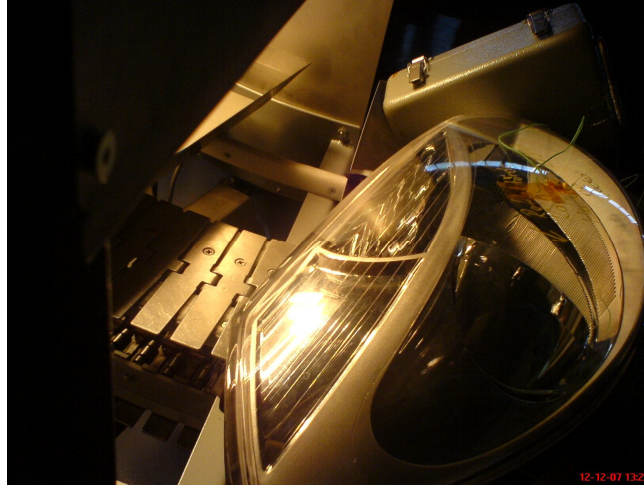
3.1. Deneysel Çalışma

Çalışmada kullanılan fırının teknik resmi Şekil 3.1’ de verilmiştir. Isıtmada kullanılan IR ısıtıcı IRT402XLNC markadır ve her kasette altın kaplı reflektörleri olan dört adet kızılötesi ampul vardır. Lambaların teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel ölçümlerde kullanılan gerilim giderme fırının teknik resmi

Parçanın en üst kısmından noktasal ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.2.). Deneylede süreklilik olması açısından iki adet far kullanılmıştır. Bir adet far fırın içerisinde kullanılırken diğer far soğumaya bırakılmıştır. Deneyleer boyunca hep aynı noktalardan ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.2. Parça üzerinden ölçüm alınan nokta

Tablo 3.1. IR lambaların özellikleri

Voltaj (Volt)	380
Sigorta (Amp)	10
Güç (kW)	6
Frekans (Hz)	50 – 60
Akım (A)	16
Max. Kurutma Sıcaklığı (°C)	170
Gürültü Seviyesi (dB)	< 70

Deneysel ölçümler, dokuz farklı durum için parçanın en üst noktasından sıcaklık ölçülerek yapılmıştır. Bu dokuz durum üç farklı konveyör hızı ve 3 farklı IR lamba mesafesinin kombinasyonudur. Ölçüm alınan konveyör hızları: 0.65 cm/s, 0.7 cm/s ve 0.75 cm/s dir. IR lambaların mesafeleri ise 450 cm, 550 cm ve 650 cm dir. Her durum için en az üç deney yapılmış ve hesaplamalar ile karşılaştırmada kullanmak için ortalamaları alınmıştır.

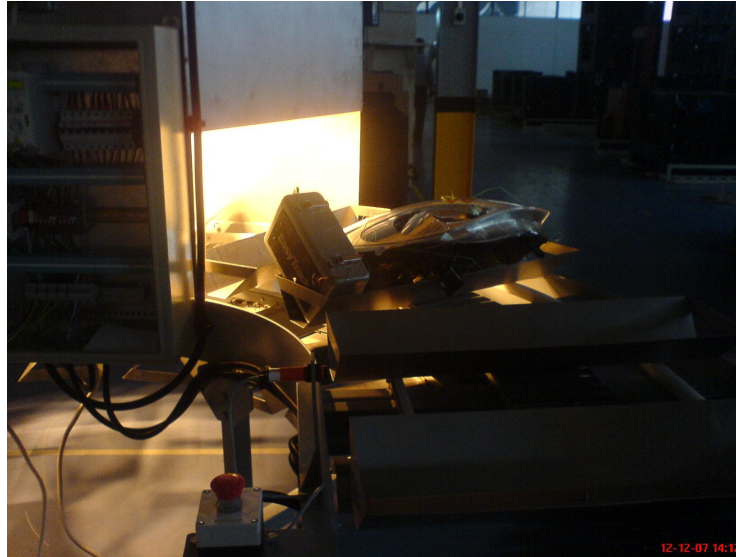
Ölçüm noktaları belirlendikten sonra K tipi sıcaklıkölçerler, sıcaklığa dayanıklı özel bant ile bu noktalara yapıştırılmışlardır. Sıcaklık ölçümlerinde Datapaq firmasının,

easytrack modeli kullanılmıştır. Ölçüm aletinin özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Ölçüm aletinin fırın içerisinde iken sıcaktan zarar görmemesi için özel kutusu bulunmaktadır ve ölçümler boyunca kutusundan çıkartılmamıştır (Şekil 3.3.).

Tablo 3.2. Sıcaklıkölçerin teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı (°C)	-150°C....500°C
Hassasiyet (°C)	±0.5
Sıcaklıkölçer Tipi	K

Ölçümlere başlamadan önce konveyörlerin hızları hesaplanması gerekmektedir. Bunun için fırın giriş kısmında, aralarında 50 cm mesafe bulunan ve gözle görülebilecek iki çizgi çizilmiştir. Konveyörün bir noktası referans alınarak iki çizgi arasından geçme süresi kronometre ile ölçülerek konveyör hızı belirlenmiştir. Konveyör hızı da belirlendikten sonra ölçüm aleti ve parça konveyöre konarak ölçüme başlanmıştır. Ölçümler boyunca fırın kapatılmamış ve devamlı çalışması sağlanmıştır. Fırından yeni çıkan parça ise dışarı çıkartılarak soğuması beklenmiştir.



Şekil 3.3. Parça ve ölçüm aleti fırın içerisinde hareket halinde iken

Deneylerde kullanılan farlar BC 85 olarak adlandırılan yeni Renault Clio III’ün ön farlarıdır. Farın lens kısmındaki malzeme termoplastik ve saydam plastik özelliği bulunan Polymethyl methacrylate (PMMA)’dir.

3.2. İstatistiksel Çalışma

Deneysel çalışma sonucunda deney parametresi ve elde edilen veri sayısı çoksa, verilerin ve sonuçların birbirlerine göre karşılaştırılması zorlaşır. Çok önemli veriler ve sonuçlar gözden kaçabileceği gibi önemli olmayan parametreler yanıltıcı bir şekilde ön plana çıkabilir. Bu gibi durumları önlemek, elde edilen verileri doğru bir biçimde değerlendirebilmek için istatistiksel analiz yöntemlerinden yararlanır.

Doğada karşılaşılan bütün olgular belirli faktörlerden etkilenmektedir. İncelenecek olgu ve olayları kendisini oluşturan bütün faktörleri göz önüne alarak incelemek gerekir. Ayrıntılı olarak incelenen bir değişken, doğada tek başına bağımsız bir dağılım göstermez. Bir ya da daha fazla değişken ile ilişki içerisindedir. Bir değişkeni incelerken bu değişken ile birlikte değişen ya da ilişkili tüm değişkenleri sabit veya türdeş olarak kabul etmek ve kontrol altına almak mümkün değildir. Bu koşulların değişimini problem çözümüne katmak ve gerçekçi çözümlere ulaşmak için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden yararlanmak gerekir.

İstatistik testleri, kurulan hipotezde parametre kullanılıp, kullanılmamasına, parametre sayısına, örnek sayısına, örneklemin bağımlı olup olmadığına ve test edilecek değişken sayısına göre farklı biçimlerde sınıflandırılır.

Test edilen değişken sayısına göre istatistik testleri ikiye ayrılır:

1. Tek değişkenli önemlilik testleri
2. Çok değişkenli önemlilik testleri

Kurulan hipotezin parametreye dayalı olup olmadığına göre iki gruba ayrılır:

1. Parametrik önemlilik testleri
2. Parametrik olmayan önemlilik testleri

Parametre sayısına göre üç gruba ayrılır:

1. Tek örneklem testleri
2. İki örneklem testleri

3. k-örneklem testleri

Örneklemin bağımlı olup olmadığına göre iki gruba ayrılır:

1. Bağımlı örneklem testleri
 - 1.1 Bağımlı iki örneklem testleri
 - 1.2 Bağımlı k-örneklem testleri
2. Bağımsız örneklem testleri
 - 2.1 Bağımsız iki örneklem testleri
 - 2.2 Bağımsız k-örneklem testleri

Değişkenin incelendiği araştırmalarda sayısal sonuçların sunulmasına p değeri önemlidir. p değeri, karşılaştırılan gruplar arasındaki değerlerin istatistiksel bir ölçüsüdür. Araştırmacılar genellikle p değerini vermek yerine, bu değeri anlamlılık düzeyi olan α 'dan büyük veya küçük ($p > \alpha$, $p < \alpha$) olduğunu belirtirler. α , bir dağılım üzerinde ret ve kabul bölgelerini belirler. Bu değere anlamlılık düzeyi de denir. Örnek olarak $p < 0.05$ olması karşılaştırılan parametrelerin aralarında %5 hassasiyetle anlamlı olduğunu göstermektedir.

Bir istatistiğin gözlenme olasılığına bakarak önemliliğini belirlemek için dört koşul vardır. Bunlar Tablo 3.3' te verilmiştir.

Tablo 3.3. Bir istatistiğin önemliliğini belirlemek için koşullar

Karar olasılığı	Karar	Önemlilik düzeyi
$p > 0.05$	Önemli değil	-
$p < 0.05$	Önemli	*
$p < 0.01$	Çok önemli	**
$p < 0.001$	İleri düzeyde önemli	***

Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler, istatistiksel analiz programı olan SPSS 15 aracılığı ile analiz edilmiştir.

3.2.1. Tek değişkenli varyans analizi (ANOVA)

Birden fazla sayıda gruptan elde edilen veri setinde X değişkeninin genel değişiminin (genel varyans), bu değişime etkide bulunan öğelerine göre ayırarak yapılan analiz, varyans analizidir. Varyans analizi, istatistiksel testlerde ANOVA adıyla geçer. Varyans analizi, normal dağılım gösteren, iki ya da daha fazla örnek ortalamasının (k toplum) aynı parametrik ortalamalı toplumlardan gelip gelmediğini ortak varyans kullanarak test etmeyi amaçlar. Bir diğer deyişle, k tane toplumdaki çekilen örneklerin ortalamaları arasındaki farkın önemli olup olmadığını test eder. Tablo 3.4' te denklemleri görülen varyans analizinin uygulanabilmesi için örneklerin seçildiği toplumlar normal dağılımlı olmalıdır, veriler ölçümlerle belirtilmelidir, örnekler rastgele seçilebilmelidir ve örnekler birbirinden bağımsız olmalıdır.

Tablo 3.4. ANOVA analiz denklemleri

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi
Gruplar arası	$B = \sum_{k=1}^K \frac{T_k^2}{n_k} - \frac{T^2}{n}$	g-1
Gruplar içi	$W = \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{k=1}^K x_{ik}^2 - \sum_{k=1}^K \frac{T_k^2}{n_k}$	n-g
Toplam	$B+W$	n-1

3.2.2. Çok değişkenli varyans analizi (MANOVA)

Çok değişkenli istatistiksel analiz, incelenen olay ve çevresindeki çok sayıda faktörleri dikkate alarak, olayın doğasındaki yapısına ilişkin bilgilere göre incelemek ve çözümlere ulaşmak için geliştirilmiş yöntemler bütünüdür. Çok değişkenli varyansa analizi, MANOVA adı ile anılmaktadır. MANOVA testi, iki veya daha fazla bağımsız ve bağımlı gruplarda çok değişkenli hipotezleri test etmek üzere geliştirilmiştir. MANOVA analiz denklemleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. MANOVA analiz denklemleri

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi
Gruplar arası	$B = \sum_{i=1}^g n_i (\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{x}_i - \bar{x})'$	$g-1$
Gruplar içi	$W = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})(x_{ij} - \bar{x})'$	$sd_2 = \sum_{i=1}^g n_i - g$
Toplam	$T=B+W$	$gsd = \sum_{i=1}^g n_i - 1$

3.3. Teorik Modelleme

Bu çalışmadaki amaç parça yüzeyinde oluşan sıcaklıkları, ısı transferindeki ifadeleri kullanarak bu sıcaklıklar için matematiksel bir model geliştirmektir.

Farın sıcaklığının zamana göre değişimi doğal taşınım ve ışınlama olan ısı transferinin etkisi altında olduğu düşünülürse denk. 3.1. yazılabilir (Ratti ve Mujumdar, 2006).

$$mc_p \frac{dT_s}{dt} = h_g A_s (T_g - T_s) + Q_r \quad (3.1.)$$

Bu eşitlikte m ; farın ısınan kısmının kütlesi, c_p ; farın ısı kapasitesini, T_s ; farın yüzey sıcaklığını, h_g ; far ile ortam havası arasındaki ısı taşınım katsayısını, A_s ; farın yüzey alanını, T_g ; ortam havasını sıcaklığını, Q_r ; ışınlama olan ısı transferini göstermektedir.

3.3.1. Işınım ile ısı transferi

Yukarıdaki denklemde Q_r ile verilen ifadeyi ele aldığımızda, parçanın ısınmasındaki en önemli faktör olduğunu görürüz. Amacımız infrared ile ısıtma olduğundan bu durum gayet normaldir. Q_r ifadesi IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki ısı transferi olarak düşünüleceği gibi, parça yüzeyinden diğer yüzeylere, özellikle fırın duvarlarına olan ışınlama da düşünülmelidir. Bu düşünüşle Q_r terimi denk. 3.2. ile ifade edilebilir.

$$Q_r = Q_{es} + Q_{sw} \quad (3.2.)$$

Bu eşitlikte Q_{es} , IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki ışımla ısı transferini, Q_{sw} da parça yüzeyi ile fırın duvarları arasındaki ışımla ısı transferini ifade etmektedir. IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki ışımla ısı transferi parçanın sıcaklığının artmasına sebep olurken, parça yüzeyi ile fırın duvarları arasındaki ışımla ısı transferi ise parçanın soğumasına etki edecektir ve (-) işaretli olacaktır.

Q_{es} ve Q_{sw} ifadeleri, denk. 3.3. ve 3.4. ile verilen kapalı hacim içinde iki yüzey arasında ışımla ısı transferi formülleri kullanılarak hesaplanmıştır (Kılıç ve Yiğit, 2008).

$$Q_{es} = \frac{\sigma(T_e^4 - T_s^4)}{\frac{1 - \varepsilon_e}{A_e - \varepsilon_e} + \frac{1}{A_e F_{es}} + \frac{1 - \varepsilon_s}{A_s \varepsilon_s}} \quad (3.3.)$$

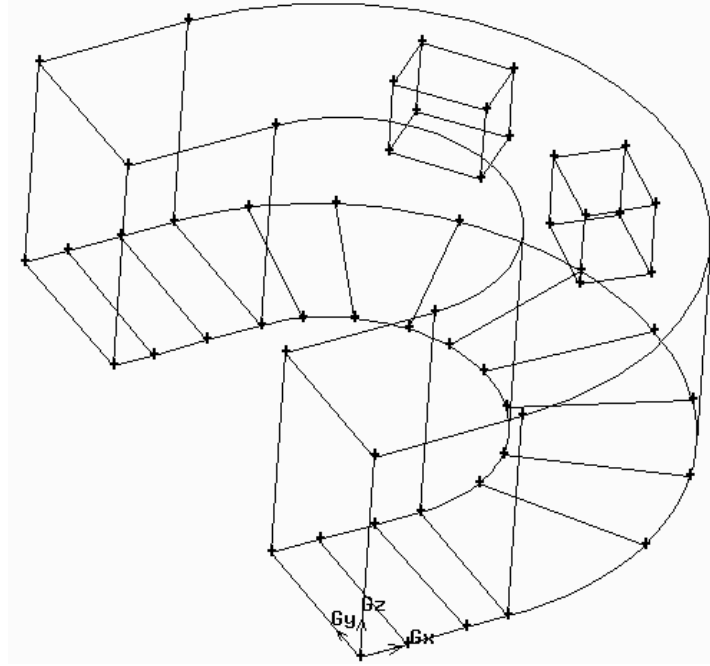
$$Q_{sw} = \frac{\sigma(T_s^4 - T_w^4)}{\frac{1 - \varepsilon_s}{A_s - \varepsilon_s} + \frac{1}{A_s F_{sw}} + \frac{1 - \varepsilon_w}{A_w \varepsilon_w}} \quad (3.4.)$$

Bu denklemlerde σ ; değeri $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ olan Stefan-Boltzmann sabitini, T_e ; IR lambaların sıcaklığını, ε_e ; IR lambaların yayılım katsayısını, A_e ; lambaların alanını, F_{es} ; IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki görüş faktörü, ε_s ; parça yüzeyinin yayılım katsayısını, A_s ; parçanın yüzey alanını, T_w ; fırın duvarlarının sıcaklığını, F_{sw} ; parça yüzeyi ile duvar arasındaki görüş faktörünü, A_w ; duvarın alanını, ε_w ; duvarın yayılım katsayısını göstermektedir. Bu terimlerin değerleri şu şekildedir:

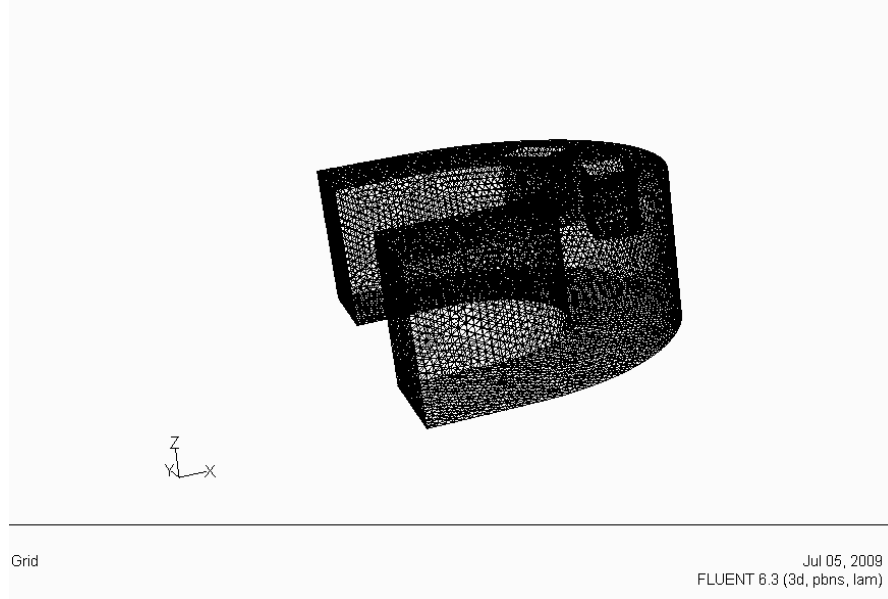
- T_e : 1250 K olarak tespit edilmiştir.
- ε_e : 0.26 (Pettersson ve Stenström, 2000)
- A_e : 0.003217 m^2 , ışımanın bütün kasanın yüzeyinden yapıldığı varsayılmış ve kasanın alanı kullanılmıştır.

- F_{es} ve F_{sw} : görüş faktörleri daha sonra açıklanacak olan Fluent programı ile bulunmuştur.
- ϵ_s : 0.9, yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlardan.
- A_s : 0.04 m^2 , parça yüzeyini düz kabul edip hesaplanarak bulunan değerdir
- T_w : $\approx 50^\circ\text{C}$, fırın duvarlarından alınan ölçümler alarak ortalaması hesaplanmıştır.
- A_w : 9 m^2 , fırının duvar alanları teknik resimdeki ölçülere göre hesaplanmıştır.
- ϵ_w : 0.55, (Modest, 1993)

Görüş faktörleri bulunurken Fluent 6.3.26 programından yararlanılmıştır. Fırın 15 bölgeye ayrılmış ve IR lambalar ile bu 15 bölge arasındaki görüş faktörleri hesaplanmıştır (Şekil 3.4.). Yapılan çalışmada 159813 hücre 328417 yüzey bulunur ve tetrahedral ağ yapısı kullanılmıştır. Şekil 3.5' de çalışmada kullanılan modelin ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 3.4. Fırın modelinin konveyörünün 15 parçaya ayrılmış şekli



Şekil 3.5. Modelin ağ yapısı

Görüş faktörleri hesaplanırken Fluent programının içerisinde bulunan ışınlam modellerinden “Yüzeyden-Yüzeğe”(S2S) ışınlam modeli kullanılmıştır. Bu model kapalı hacimlerde ortamın ışınlam etkilerinin hesaba katılmadığı durumlarda oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada ortam havadır ve havanın infrared ışınlamaya karşı geçirgen olduğu bilinmektedir böylelikle S2S ışınlam modelinin kullanılması uygundur. Bu modele göre i ve j gibi sonlu iki yüzey arasındaki görüş faktörü denklem 3.5. ile verilmiştir.

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos\theta_i \cos\theta_j}{\pi r^2} \delta_{ij} dA_i dA_j \quad (3.5.)$$

Denklem 3.5’ te eğer dA_i alanı dA_j alanını görüyorsa δ_{ij} teriminin değeri 1, görmüyor ise 0 olur.

Fluent görüş faktörlerinin hesaplanmasında iki metot sunar: “hemicube” metot ve “adaptive” metot. Bunlardan hemicube metot yalnızca 3 boyutlu çalışmalar için uygundur.

Adaptive metotta yakınlıklarına bağlı olarak çiftler çiftler seçilen yüzeylerden değişik algoritmalar (analitik veya Gauss quadrate) kullanarak görüş faktörleri hesaplanır. Doğruluğu sağlamak için quadrate yöntemde seçilen yüzeylerin arasındaki mesafe arttırılır. Yani yakın yüzeylerde analitik metot kullanılır. Gauss quadrate yöntemi ise; yüzeyin ışınları başka bir yüzey tarafından engellenmiyorsa kullanılabilir. Eğer yüzeyin ışınları başka bir yüzey tarafından engelleniyorsa Monte-Carlo integrasyonu metodu veya sanki-Monte-Carlo integrasyon metodu kullanılır.

Hemicube metot, diferansiyel alan metodunu kullanır ve görüş faktörlerini sırayla hesaplar. Diferansiyel alanlardan hesaplanan görüş faktörleri toplanarak bütün yüzeyin görüş faktörü elde edilir. Bu metot bilgisayar grafikleri alanındaki ışınalık yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmada görüş faktörlerinin bulunmasında hemicube metodu kullanılmıştır. IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki görüş faktörleri ve parça yüzeyi ile duvarlar arasındaki görüş faktörleri Tablo 3.6 ve Tablo 3.7 de verilmiştir.

Tablo 3.6. IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki görüş faktörleri

Lambalar ve parça arasındaki mesafe (mm)	450		550		650	
	F_{e1s}	F_{e2s}	F_{e1s}	F_{e2s}	F_{e1s}	F_{e2s}
Konveyör No						
1	0.0016	0.0000	0.0026	0.0000	0.0043	0.0000
2	0.0030	0.0000	0.0063	0.0003	0.0061	0.0000
3	0.0088	0.0060	0.0098	0.0003	0.0130	0.0002
4	0.0232	0.0021	0.0259	0.0012	0.0246	0.0019
5	0.0650	0.0028	0.0622	0.0044	0.0536	0.0060
6	0.2291	0.0127	0.1821	0.0160	0.1284	0.0149
7	0.2153	0.0564	0.1748	0.0593	0.1418	0.0401
8	0.0512	0.2064	0.0537	0.1670	0.0652	0.0917
9	0.0115	0.1875	0.0143	0.1478	0.0277	0.1469
10	0.0046	0.1050	0.0070	0.0936	0.0124	0.1166
11	0.0027	0.0329	0.0020	0.0363	0.0035	0.0388
12	0.0003	0.0083	0.0003	0.0126	0.0004	0.0193
13	0.0000	0.0018	0.0000	0.0014	0.0000	0.0026
14	0.0000	0.0014	0.0000	0.0008	0.0000	0.0013
15	0.0000	0.0004	0.0000	0.0007	0.0000	0.0003

Tablo 3.7. Parça yüzeyi ile duvarlar arasındaki görüş faktörleri

Lambalar ve parça arasındaki mesafe (mm)	450			550			650		
	F_{sw1}	F_{sw2}	F_{sw3}	F_{sw1}	F_{sw2}	F_{sw3}	F_{sw1}	F_{sw2}	F_{sw3}
Konveyör No									
1	0.253	0.206	0.185	0.254	0.206	0.183	0.245	0.199	0.176
2	0.315	0.251	0.227	0.316	0.251	0.223	0.311	0.249	0.214
3	0.349	0.258	0.258	0.354	0.258	0.252	0.358	0.257	0.244
4	0.407	0.225	0.276	0.414	0.225	0.268	0.416	0.226	0.261
5	0.436	0.208	0.272	0.444	0.208	0.264	0.443	0.212	0.261
6	0.455	0.190	0.229	0.465	0.194	0.234	0.472	0.194	0.242
7	0.478	0.179	0.232	0.489	0.182	0.231	0.493	0.182	0.233
8	0.482	0.180	0.233	0.493	0.183	0.232	0.496	0.188	0.239
9	0.466	0.190	0.228	0.476	0.194	0.235	0.490	0.192	0.235
10	0.465	0.192	0.278	0.474	0.192	0.272	0.478	0.196	0.264
11	0.455	0.198	0.302	0.461	0.198	0.294	0.471	0.194	0.288
12	0.426	0.215	0.288	0.429	0.215	0.284	0.440	0.211	0.281
13	0.358	0.258	0.257	0.359	0.258	0.256	0.360	0.257	0.255
14	0.321	0.248	0.222	0.322	0.248	0.222	0.324	0.248	0.222
15	0.250	0.205	0.181	0.250	0.205	0.180	0.251	0.206	0.180

3.3.2. Taşınım ile ısı transferi

Taşınım ile ısı transferinin hesaplanması ışınım ile ısı transferine oranla daha kolaydır. Buradaki en önemli parametre ısı taşınım katsayısı h' 'ın bulunması dolayısıyla Nusselt sayısının tayinidir. Parça fırın içerisindeki konveyör üzerindeki hareketi yavaş olduğundan dolayı taşınımın doğal taşınım olarak düşünülebilir. Doğal taşınımda akışın laminar veya türbülanslı olduğunu belirleyen boyutsuz sayı Gr sayısıdır. Taşınım, en genel halde Nusselt sayısı; Re, Gr ve Pr sayılarının fonksiyonudur. Taşınım problemlerinde doğal veya zorlanmış taşınımın hangisinin etkili olduğunu belirleyen parametre Gr/Re^2 terimidir (Kılıç ve Yiğit, 2008).

$Gr/Re^2=1$ ise doğal ve zorlanmış taşınım aynı oranda etkili olmaktadır.

$Gr/Re^2 \ll 1$ ise zorlanmış taşınım etkilidir, doğal taşınım ihmal edilecek büyüklüktedir.

$Gr/Re^2 \gg 1$ ise doğal taşınım etkilidir. Bu durumda $Nu=f(Gr, Pr)$ olur.

Bu çalışmada ortalama $Gr/Re^2=3273.2 \gg 1$ olduğundan dolayı doğal taşınım etkilidir ve literatürdeki bu konu ile ilgili ifadeler kullanılmıştır.

Parça fırına ilk girdiği anda parça yüzey sıcaklığı fırın içerisindeki ortam sıcaklığından daha düşük olduğundan, ortam havasından parça yüzeyine ısı akışı olacaktır. Bu durum için denklem 3.6. ile verilen soğuk yüzey yukarı doğru olan levhalar için verilmiş Nusselt ifadesi kullanılmıştır ($Ra \approx 1 \times 10^7$).

$$Nu_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (3.6.)$$

Parça ısınmaya devam ettikçe yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığını aşar ve bu andan itibaren parça yüzeyinden ortam havasına ısı akışı olur. Bu durum içinse sıcak yüzey yukarı doğru levhalar için denklem 3.7. ile verilmiş Nusselt ifadesi kullanılmıştır ($Ra \approx 3.5 \times 10^7$).

$$Nu_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (3.7.)$$

Hesaplanan ısı taşınım katsayılarının ortalama değeri ise $4.52 \text{ W/m}^2\text{K}$ ' dir.

3.4. Hesaplamaların Yapılması

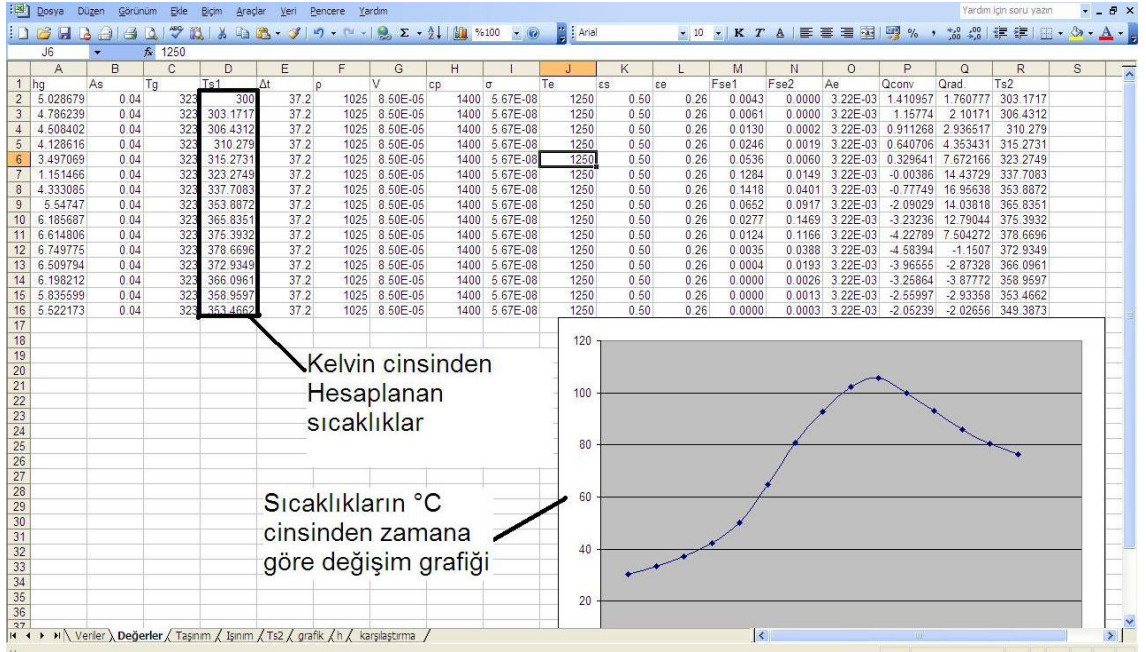
Yukarıda anlatılan yöntemdeki denklemler kullanılarak hesaplamalar, Excel programına yazılarak yapılmıştır. Excel programında hazırlanan tabloda girdi olarak konveyör hızı ve IR lambaların mesafelerini girdiğimizde parça yüzey sıcaklıklarını ve bu sıcaklıkların zamana göre değişim grafiğini elde ederiz. Şekil 3.6' da bu programın girdilerin girildiği sayfa görülmektedir. Burada örnek olarak konveyör hızının 0.7 cm/s ve IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafenin 650 mm olduğu durum ele alınmıştır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Konveyör Hızı (cm/s)	IR Lambalar ile Parça Arasındaki Mesafe (mm)													
2	0.7	650													
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															

Şekil 3.6. Konveyör hızının ve IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafenin programa girildiği sayfa

Şekil 3.7’ de programa diğer sabit verilerin girildiği ve sıcaklıkların çıktı olarak verildiği sayfa görülmektedir. Bu sayfaya herhangi bir veri girilmemektedir. Bu sayfadaki değişiklikler sadece parça özellikleri ve IR lambaların özellikleri değiştiğinde müdahale edilmesi gerekir.

Şekil 3.8.’ de ısı taşınımının hesaplandığı sayfa görülmektedir. Buradaki değerlere hiçbir şekilde müdahale edilmesi gerekmemektedir. Şartlar değiştiğinde de buradaki değerler ve hesaplamalar otomatik olarak değişmektedir. Isı taşınımı hesaplanırken ısı taşınım katsayısı h ’ ında belirlenmesi program tarafından yapılmaktadır. Şekil 3.9’ da taşınım katsayısının hesaplandığı sayfa verilmiştir.



Şekil 3.7. Programdaki değerler sayfası

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	hg	As	Tg	Ts1	Δt	ρ	V	cp	Qconv										
2	5.028679	0.04	323	300	37.2	1025	0.000085	1400	1.410957										
3	4.786239	0.04	323	303.1717	37.2	1025	0.000085	1400	1.15774										
4	4.508402	0.04	323	306.4312	37.2	1025	0.000085	1400	0.911268										
5	4.128616	0.04	323	310.279	37.2	1025	0.000085	1400	0.640706										
6	3.497069	0.04	323	315.2731	37.2	1025	0.000085	1400	0.329641										
7	1.151466	0.04	323	323.2749	37.2	1025	0.000085	1400	-0.00386										
8	4.333085	0.04	323	337.7083	37.2	1025	0.000085	1400	-0.77749										
9	5.54747	0.04	323	353.8872	37.2	1025	0.000085	1400	-2.09029										
10	6.185687	0.04	323	365.8351	37.2	1025	0.000085	1400	-3.23236										
11	6.614806	0.04	323	375.3932	37.2	1025	0.000085	1400	-4.52789										
12	6.749775	0.04	323	378.6696	37.2	1025	0.000085	1400	-4.58394										
13	6.509794	0.04	323	372.9349	37.2	1025	0.000085	1400	-3.96555										
14	6.198212	0.04	323	366.0961	37.2	1025	0.000085	1400	-3.25864										
15	5.835599	0.04	323	358.9597	37.2	1025	0.000085	1400	-2.55997										
16	5.522173	0.04	323	353.4662	37.2	1025	0.000085	1400	-2.05239										

Şekil 3.8. Programda ısı taşımının hesaplandığı sayfa

1	g	β	Ts1	Tg	L	v	k	Gr	H	Pr	GrPr	Nu	h	M	N	O	P	Q	R	S	
2	9.81	0.003333	300	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	23829666.46	0.707	1.68E+07	3.82E+01	5.028679									
3	9.81	0.003333	303.1717	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	20543511.74	0.707	1.45E+07	3.64E+01	4.786239									
4	9.81	0.003333	306.4312	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	17166486.54	0.707	1.21E+07	3.43E+01	4.508402									
5	9.81	0.003333	310.279	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	13179903.77	0.707	9.32E+06	3.14E+01	4.128616									
6	9.81	0.003333	315.2731	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	8005618.14	0.707	5.66E+06	2.66E+01	3.497069									
7	9.81	0.003333	323.2749	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	284830.688	0.707	2.01E+05	8.76E+00	1.151466									
8	9.81	0.003333	337.7083	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	15238897.8	0.707	1.08E+07	3.30E+01	4.333085									
9	9.81	0.003333	353.8872	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	32001396.2	0.707	2.26E+07	4.22E+01	5.54747									
10	9.81	0.003333	365.8351	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	44380273.3	0.707	3.14E+07	4.70E+01	6.186687									
11	9.81	0.003333	375.3932	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	54283133.1	0.707	3.84E+07	5.03E+01	6.614806									
12	9.81	0.003333	378.6696	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	57677696	0.707	4.08E+07	5.13E+01	6.749775									
13	9.81	0.003333	372.9349	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	51736194.5	0.707	3.66E+07	4.96E+01	6.509794									
14	9.81	0.003333	366.0961	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	44650672.7	0.707	3.16E+07	4.71E+01	6.198212									
15	9.81	0.003333	358.9597	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	37256889.2	0.707	2.63E+07	4.44E+01	5.835599									
16	9.81	0.003333	353.4662	323	2.00E-01	1.59E-05	2.63E-02	31565182.1	0.707	2.23E+07	4.20E+01	5.522173									

Şekil 3.9. Programda ısı taşınım katsayısının hesaplandığı sayfa

Parça yüzeyi ile IR lambalar arasındaki ışınlama ile ısı transferi ve parça yüzeyi ile fırın duvarları arasındaki ışınlama ile ısı transferi Şekil 3.10' da görülen programın ışınlama sayfasında hesaplanmıştır.

1	σ	Te	Ts1	es	ee	Fse1	Fse2	Ae	As	Δt	p	V	cp	Quad	Qs>w	ew	Tw	Aw1ay	Aw2oy	Ai
2	5.67E-08	1250	300	0.5	0.26	0.0043	0	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	1.76E+00	-1.1861	0.96	323	3	3	3
3	5.67E-08	1250	303.1717	0.5	0.26	0.0061	0	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	2.10E+00	-1.2909	0.96	323	3	3	3
4	5.67E-08	1250	306.4312	0.5	0.26	0.013	0.0002	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	2.936517	-1.2163	0.96	323	3	3	3
5	5.67E-08	1250	310.279	0.5	0.26	0.0246	0.0019	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	4.353431	-0.9983	0.96	323	3	3	3
6	5.67E-08	1250	315.2731	0.5	0.26	0.0536	0.006	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	7.672166	-0.6293	0.96	323	3	3	3
7	5.67E-08	1250	323.2749	0.5	0.26	0.1284	0.0149	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	14.43729	0.0230	0.96	323	3	3	3
8	5.67E-08	1250	337.7083	0.5	0.26	0.1418	0.0401	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	16.96638	1.3168	0.96	323	3	3	3
9	5.67E-08	1250	353.8872	0.5	0.26	0.0652	0.0917	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	14.03818	3.0242	0.96	323	3	3	3
10	5.67E-08	1250	365.8351	0.5	0.26	0.0277	0.1469	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	12.79044	4.4029	0.96	323	3	3	3
11	5.67E-08	1250	375.3932	0.5	0.26	0.0124	0.1166	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	7.504272	5.7420	0.96	323	3	3	3
12	5.67E-08	1250	378.6696	0.5	0.26	0.0035	0.0388	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	-1.150697	6.2974	0.96	323	3	3	3
13	5.67E-08	1250	372.9349	0.5	0.26	0.0004	0.0193	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	-2.873277	5.3852	0.96	323	3	3	3
14	5.67E-08	1250	366.0961	0.5	0.26	0	0.0026	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	-3.88E+00	4.2255	0.96	323	3	3	3
15	5.67E-08	1250	358.9597	0.5	0.26	0	0.0013	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	-2.93E+00	3.1083	0.96	323	3	3	3
16	5.67E-08	1250	353.4662	0.5	0.26	0	0.0003	0.003217	0.04	37.2	1025	8.50E-05	1400	-2.03E+00	2.0670	0.96	323	3	3	3

Şekil 3.10. Programda ışınlama ile ısı transferi hesaplama sayfası

Hesaplanan bu ışıınım ve taşınım değeri toplanarak, bir sonraki sıcaklık değeri hesaplanır (Şekil 3.11.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Qconv	Qrad	Ts1	Ts2															
2	1.410967	1.760777	300	303.1717															
3	1.15774	2.10171	303.1717	306.4312															
4	0.911268	2.936517	306.4312	310.279															
5	0.640706	4.353431	310.279	315.2731															
6	0.329641	7.672166	315.2731	323.2749															
7	-0.00386	14.43729	323.2749	337.7083															
8	-0.77749	16.95638	337.7083	353.8872															
9	-2.09029	14.03818	353.8872	365.8351															
10	-3.23236	12.79044	365.8351	375.3932															
11	-4.22789	7.504272	375.3932	378.6696															
12	-4.58394	-1.1507	378.6696	372.9349															
13	-3.96555	-2.87328	372.9349	366.0961															
14	-3.25864	-3.87772	366.0961	358.9597															
15	-2.55997	-2.93350	358.9597	353.4662															
16	-2.05239	-2.02656	353.4662	349.3873															
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			
31																			
32																			
33																			
34																			
35																			
36																			
37																			

Şekil 3.11. Programda ışıınım ve taşınım değeri toplanarak sıcaklık değeri hesaplanması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Deneysel ve Teorik Çalışma Sonuçları

Farın fırına girdiği ilk anda doğal taşınım etkili olmaktadır. Rejime girmiş fırının içerisindeki sıcaklık, farın yüzey sıcaklığından daha yüksek olduğundan ortam havasından parçaya doğal taşınım ile ısı transferi olmaktadır. Aynı anda lambaların görüş alanına giren parçanın yüzeyi ile IR lambalar arasında ışınım ile ısı transferi olmaktadır ve parçanın yüzeyi hızlı bir şekilde ısınmaktadır. Parçanın sıcaklığı ortam sıcaklığını aştıktan sonra parça yüzeyinden ortama doğal taşınım ile ısı transferi olmaktadır. Bu durum parça fırına koyulduktan yaklaşık 200 saniye sonra olmaktadır. IR lambaların etkisiyle parça ısınmaya devam etmekte ve yaklaşık 300 saniyede maksimum sıcaklığına ulaşmaktadır. Gerek parçanın sıcaklığının artması gerekse parçanın IR lambaların görüş alanından çıkmasından dolayı parçadan ortama doğal taşınım ile olan ısı transferi artmakta ve parça soğuma bölgesine girmektedir.

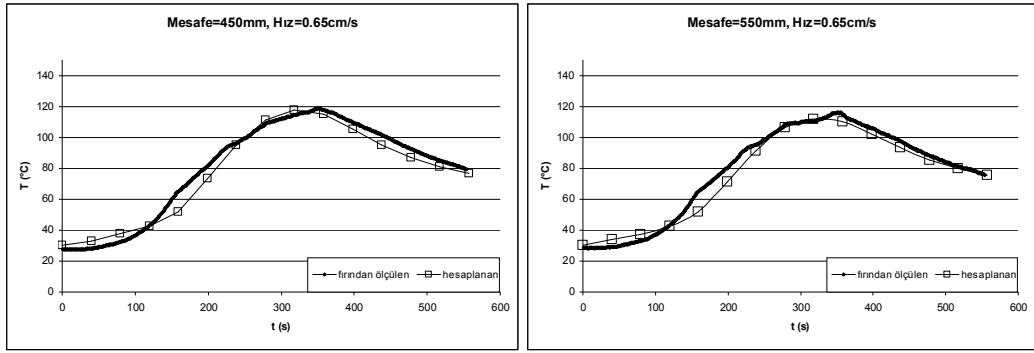
Parçanın yüzey sıcaklığına etki eden en önemli parametreler, parça ile IR lambalar arasındaki mesafe ve konveyör hızıdır. Parça yüzey sıcaklığı, IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafe düştükçe ve konveyör hızı azaldıkça artmaktadır. IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafe, konveyör hızından daha etkili bir parametredir (Tablo 4.1.).

Tablo 4.1. Parça yüzey sıcaklıklarının ortalama değerleri (°C)

Konveyör hızı (cm/s)	IR Lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafe (mm)		
	450	550	650
0.65	80.4	78.4	73.0
0.7	81.5	77.1	72.8
0.75	80.4	75.8	70.3

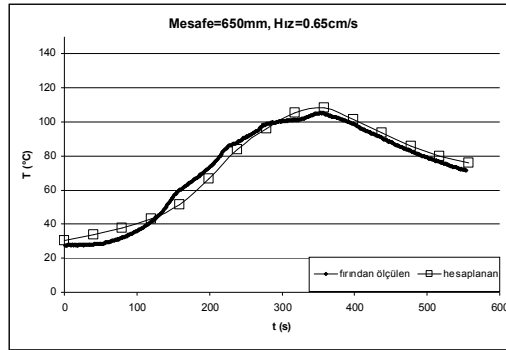
Hesaplamalar, parça yüzeyinden ölçülen sıcaklıklara yakın sonuçlar vermiştir. İlk 6 değer hata yüzdesi diğer değerlere göre yüksektir (%11.23). Bununla birlikte hesaplanan değerler ile ölçülen değerler birbiriyle uyum göstermekte ve ortalama hata %6.5'tir.

Şekil 4.1’ de konveyör hızı 0.65 cm/s için fırından ölçülen ve hesaplanan değerler verilmiştir. Şekillere bakıldığında mesafeden bağımsız olarak maksimum sıcaklık 355. saniyede meydana gelmektedir. Bununla birlikte mesafenin artmasıyla oluşan maksimum sıcaklıkların değerleri azalmaktadır. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerler, IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 550 mm olması durumunda daha yakın sonuçlar vermektedir. IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 450 mm olmasında ise 130. ila 250. saniyelerde hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha yüksek olmaktadır. 355. saniyeden sonra, yani soğuma periyodunda, hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha düşüktür. IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 650 mm olması durumunda ise soğuma periyodunda hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha yüksek olmaktadır.



(a)

(b)



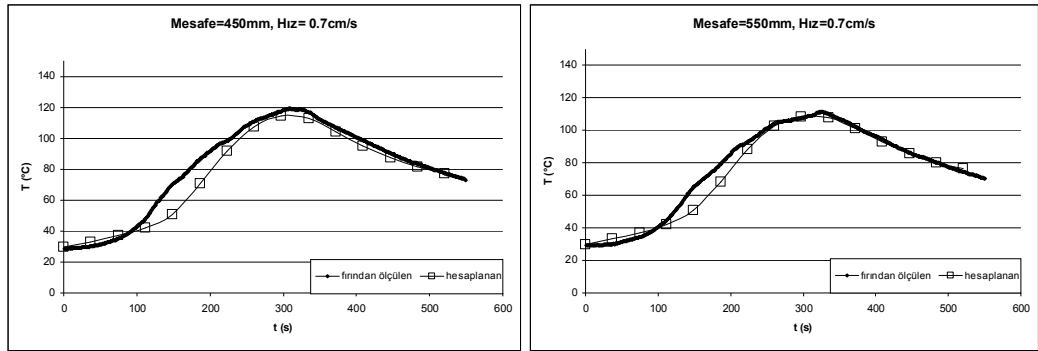
(c)

Şekil 4.1. Konveyör hızı 0.65 cm/s için parça yüzey sıcaklığının zamanla değişimi

Parça ve IR ısıtıcı ile arasındaki mesafe;

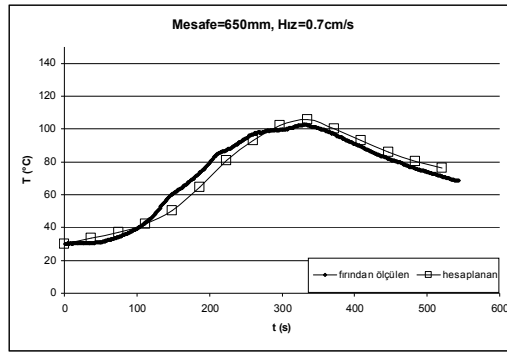
a) 450 mm b) 550 mm c) 650 mm

Şekil 4.2' de konveyör hızı 0.7 cm/s için parça yüzeyinden ölçülen ve hesaplanan sıcaklıklar verilmiştir. Şekillere bakıldığında maksimum sıcaklık 330. saniye civarlarında meydana gelmektedir. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerler, IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 550 mm olması durumunda daha yakın sonuçlar vermektedir. IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 450 mm olmasında ise 110. ila 260. saniyelerde hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha yüksek olmaktadır. 330. saniyeden sonra, yani soğuma periyodunda, hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha düşüktür. IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 650 mm olması durumunda ise soğuma periyodunda hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha yüksek olmaktadır.



(a)

(b)



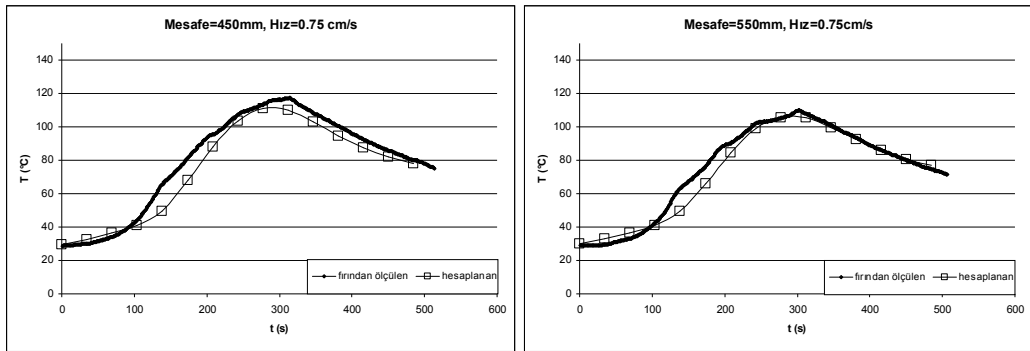
(c)

Şekil 4.2. Konveyör hızı 0.7 cm/s için parça yüzey sıcaklığının zamanla değişimi

Parça ve IR ısıtıcı ile arasındaki mesafe;

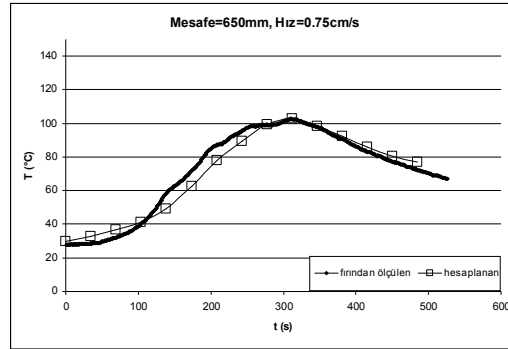
a) 450 mm b) 550 mm c) 650 mm

Şekil 4.3' te konveyör hızı 0.75 cm/s için yüzeyden ölçülen ve hesaplanan sıcaklıklar verilmiştir. Şekillere bakıldığında maksimum sıcaklık 310. saniyede meydana gelmektedir. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerler, IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 550 mm olması durumunda daha yakın sonuçlar vermektedir. IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 450 mm olmasında hesaplanan sıcaklıklar 110. saniyeden itibaren ölçülen sıcaklıklardan düşük çıkmaktadır. IR lambalar ile parça arasındaki mesafenin 650 mm olması durumunda ise soğuma periyodunda hesaplanan değerler ölçülen değerlerden daha yüksek olmaktadır.



(a)

(b)



(c)

Şekil 4.3. Konveyör hızı 0.75 cm/s için parça yüzey sıcaklığının zamanla değişimi

Parça ve IR ısıtıcı ile arasındaki mesafe;

a) 450 mm b) 550 mm c) 650 mm

Grafiklere bakıldığında, hesaplanan değerler ile ölçülen değerler arasındaki en büyük sapma konveyör hızına göre değişmekte ve 0.65 cm/s konveyör hızı için 160-240 saniyeler arasında, 0.7 cm/s konveyör hızı için 150-230 saniyeler arasında ve 0.75 cm/s konveyör hızı için 140-210 saniyeler arasında olduğu görülmektedir. En yüksek hata, IR

lambalar ile parça arasındaki mesafenin 450 mm ve konveyör hızının 0.70 cm/s olduğu durum için 150. saniyede oluşmuştur (%28.03). Hesaplanan değerler, IR lambalar ile parça yüzeyi arasındaki mesafenin 550 mm olduğu durumlar için ölçülen değerlere daha yakın değerler vermektedir (hata %5.6). Mesafenin 450 mm olması durumunda hesaplanan değerler ölçülen sıcaklıkların %7.1 hata ile altında kalmaktadır. Mesafenin 650 mm olması durumunda ise hesaplanan değerler ölçülen sıcaklıkların %6.81 hata ile üstünde kalmaktadır.

Yapılan çalışma, deneysel ölçümler ile matematiksel modelin birbiriyle uyumlu olduğunu göstermiştir. Farklı şartlarda veya farklı malzeme kullanımında parça yüzeyinde oluşabilecek sıcaklıkları öngörebilmek için deney yapmak yerine yukarıda anlatılan metot ortalama %6.5'lik bir hata ile kullanılabilir.

Parça başına düşen enerji sarfiyatına baktığımızda ise; konveyör hızı arttıkça daha çok parça işlenebildiği için parça başına düşen enerji sarfiyatı daha az olmaktadır (Tablo 4.2.).

Tablo 4.2. Parça Başına Enerji Sarfiyatı

Parça Adeti / saat	Konveyör Hızı (cm/s)	Parça Başına Düşen Enerji Sarfiyatı (kWh/parça)
52	0,65	0,1154
56	0,7	0,1071
60	0,75	0,1000

4.2. İstatistiksel Çalışma Sonuçları

İstatistiksel çalışma deneysel çalışmadan ayrı olarak farklı bir IR fırında yapılmıştır. İstatistiksel analizin yapıldığı fırında 3 IR lamba vardır ve bu lambaların güçleri ayarlanabilmektedir. İstatistiksel analiz için fırından her 3 IR lamba 3 farklı güç konumunda ve 3 farklı konveyör hızlarında ölçümler alınmıştır. Her infrared lamba için 3 farklı güç ve 3 farklı konveyör hızı belirlenmiştir. Bu lamba güçlerinin ve konveyör hızlarının kombinasyonundan 81 adet farklı durum ortaya çıkmaktadır. Her bir durumdan 3 adet ölçüm alınmıştır. Her bir durumun hızı ve lamba güçleri EK-1' de tanımlanmıştır. Bu durumların ortalama sıcaklıkları ve %95 güven aralıkları Tablo 4.3'

de verilmiştir. Varyans analizi yapılarak (Tablo 4.4) durumun ve zamanın sıcaklık üzerinde etkisi olduğu gösterilmiştir ($F_{Durum} = 29,99$ $p < 0,05$; $F_{Time} = 253,11$ $p < 0,05$). Farklı durumlarda oluşan benzer sıcaklıklar istatistiksel analizle gruplara ayrılmıştır.

Tablo 4.3. Durumların ortalama sıcaklıkları ve %95 güven aralıkları

Bağımlı Değişken: SICAKLIK			95% Güven Aralığı	
DURUM	Ortalama	Std. Hata	Alt Sınır	Üst Sınır
1	40.9	0.503	39.9	41.8
2	44.0	0.441	43.1	44.9
3	49.2	0.365	48.4	49.9
4	49.2	0.509	48.2	50.2
5	54.4	0.441	53.5	55.2
6	56.6	0.373	55.8	57.2
7	50.1	0.503	49.1	51.1
8	54.5	0.441	53.6	55.3
9	59.3	0.365	58.6	60.0
10	45.9	0.503	44.9	46.8
11	49.5	0.437	48.6	50.3
12	55.3	0.367	54.6	56.0
13	49.8	0.503	48.8	50.8
14	54.6	0.437	53.7	55.4
15	57.1	0.362	56.3	57.8
16	53.8	0.503	52.8	54.8
17	58.7	0.448	57.8	59.5
18	64.8	0.36	64.1	65.5
19	55.3	0.503	54.3	56.3
20	60.8	0.437	60.0	61.7
21	57.6	0.369	56.9	58.3
22	52.0	0.513	51.0	53.0
23	55.2	0.441	54.3	56.0
24	61.6	0.365	60.9	62.3
25	54.5	0.509	53.5	55.5
26	60.4	0.448	59.5	61.2
27	65.6	0.365	64.9	66.3
28	58.6	0.503	57.6	59.6
29	64.1	0.441	63.2	64.9
30	73.7	0.365	73	74.4
31	50.8	0.503	49.8	51.8
32	57.4	0.443	56.5	58.3
33	63.0	0.367	62.3	63.7

34	58.0	0.509	57.0	59.0
35	62.4	0.441	61.5	63.3
36	69.9	0.369	69.2	70.6
37	55.4	0.512	54.3	56.4
38	59.1	0.445	58.3	60.0
39	65.9	0.365	65.2	66.6
40	56.6	0.503	55.6	57.6
41	61.9	0.441	61.0	62.7
42	69.0	0.365	68.3	69.7
43	58.0	0.503	57.0	59.0
44	62.5	0.441	61.6	63.3
45	71.4	0.365	70.7	72.1
46	54.1	0.519	53.1	55.2
47	53.8	0.453	52.9	54.7
48	65.1	0.365	64.3	65.8
49	57.0	0.509	56.0	58.0
50	62.0	0.441	61.1	62.9
51	71.2	0.379	70.5	72.0
52	60.1	0.631	58.9	61.3
53	63.9	0.441	63.0	64.7
54	73.9	0.365	73.2	74.6
55	58.3	0.509	57.3	59.3
56	61.9	0.441	61.0	62.8
57	71.1	0.365	70.4	71.8
58	62.6	0.527	61.5	63.6
59	66.0	0.441	65.1	66.8
60	76.0	0.365	75.3	76.7
61	59.5	0.503	58.5	60.5
62	64.8	0.441	64.0	65.7
63	73.6	0.365	72.9	74.3
64	62.3	0.509	61.3	63.3
65	66.6	0.441	65.7	67.4
66	75.6	0.365	74.9	76.3
67	64.5	0.509	63.5	65.4
68	68.5	0.454	67.6	69.4
69	78.4	0.365	77.6	79.1
70	62.3	0.503	61.3	63.3
71	66.8	0.441	66.0	67.7
72	76.5	0.365	75.7	77.2
73	63.9	0.527	62.9	65.0
74	69.2	0.445	68.3	70.0
75	79.6	0.365	78.8	80.3
76	65.6	0.527	64.5	66.6
77	70.5	0.441	69.7	71.4
78	81.5	0.365	80.8	82.2
79	69.6	0.509	68.6	70.6

80	74.8	0.441	73.9	75.7
81	87.6	0.365	86.9	88.3

Tablo 4.4. Varyans analizi sonuçları

Bağımlı Değişken: SICAKLIK							
Kaynak		Tip III Karelerin Toplamı	df	Karelerin Ortalaması	F	Sig.	Etki Büyüklükleri
Kesişim	Hipotez	9757673.63	1	9757673.63	646.31	0	0.943
	Hata	594040.22	39.3	15097.47			
DURUM	Hipotez	426653.39	80	5333.16	29.99	0	0.525
	Hata	385328.74	2.17E+03	177.83			
TIME	Hipotez	1708238.35	39	43800.98	253.11	0	0.819
	Hata	376912.78	2.18E+03	173.05			
DURUM * TIME	Hipotez	388324.51	2163	179.53	11.84	0	0.851
	Hata	68099.18	4492	15.16			

5. SONUÇ

Bu çalışmada IR ısıtmalı gerilim giderme fırının deneysel ve teorik model analizi yapılmıştır. Geliştirilen teorik model deneylerle uyum göstermiş, teorik hesaplamalar ile deneysel sonuçlar arasındaki hata %6.5'ten küçüktür. Teorik modelde, hız ve parça ile IR ısıtıcılar arasındaki mesafe değerleri girilerek parça yüzeyinde oluşan sıcaklıkların zamana göre değişimi elde edilmektedir. Dolayısıyla model kullanılarak parçanın gerilim giderme işlemi için en uygun sıcaklığı sağlayacak konveyör hızı ve IR ısıtıcılar ile parça arasındaki mesafe bulunabilir, fırın içinde kalma süresi, birim zamanda gerilim giderme işlemi uygulanabilecek parça sayısı ve parça başına enerji maliyeti hesaplanabilir. Tasarım aşamasındaki fırınlarda, bu model kullanılarak işletme esnasındaki parça yüzey sıcaklıkları, önceden belirlenebilir. Farklı boyutlarda ve şartlarda olan fırınların parça yüzeyindeki sıcaklıkları nasıl etkilediği önceden hesaplanabilir.

Alınan ölçümler ve yapılan hesaplamalar parça yüzeyinin en üst noktası için yapılmıştır. Parça düz bir geometri olmadığı için farklı bölgelerinde farklı sıcaklıklar oluşacaktır. Bu sıcaklıkların araştırılması ve yukarıdaki modele uygulanabilirliği araştırılması faydalı olacaktır. Ayrıca fırınlarda kullanılacak olan farların değişik dalga boylarındaki ışınım özellikleri çalışarak IR fırın daha verimli hale getirilebilir ve doğalgaz ile çalışan IR ısıtma sistemlerin bu problem için uygulanabilirliği araştırılmış olur. IR gücü ayarlanabilen lambaların kullanılmasının ekonomik faydalarının çalışılması da yararlı olabilir.

KAYNAKLAR

ANONİM. 2006. Fluent 6.3. User' s Guide. Fluent, Lebanon, 2501 s.

BUĞDAYCI. İ. 1996. Elektromanyetik Spektrum. Bilim ve Teknik. 346(1996):86-87.

CHAPMAN, K. S. 2000. Infrared Radiant Heating “in, Ashrea Handbooks HVAC Systems and Equipment, Eds R. A. Parsons”, Atlanta. 650 p.

CENKOWSKI, S., J.T. HONG, M.G. SCANLON, S.D. ARNTFIELD. 2004. Mathematical modeling of heat and mass transfer during continuous infrared micronization. Drying Technology. 22(10):2255-2272.

ÇENGEL. Y. A. 2006, Heat and Mass Transfer. Mc Graw Hill, New York. 880 p.

DİLMEN, M. 2007. Işıklı Isıtma Sistemleri İle Diğer Isıtma Sistemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 108 s.

HASATANI, M., N. ARAI, Y. ITAYA, N. ONODA. 1983. Drying of optically semitransparent materials by combined radiative-convective heating. Drying Technology. 1(2):193-214.

HASATANI, M., Y. ITAYA, K. MIURA. 1988. Hybrid drying of granular materials by combined radiative and convective heating. Drying Technology. 6(1):43-68.

KILIÇ, M., A. YİĞİT. 2008, Isı Transferi. Alfa Akademi Ltd. Şti., BURSA. 490 s.

MILLER, J. L. 1994. Principles Of Infrared Technology. Springer, New York. 578 p.

MODEST. M. F. 2003, Radiative Heat Transfer. Academic Press, New York. 820 p.

MONTEIX, S., F. SCHMİDT, Y. L. MAOULT, R.B. YEDDER, R.W. DIRADDO, D. LAROCHE. 2001. Experimental study and numerical simulation of preform or sheet

exposed to infrared radiative heating. Journal of Materials Processing Technology. 119(2001):90-97.

PETTERSSON, M., S. STRENSTRÖM. 2000. Modelling of an electric IR heater at transient and steady state conditions Part 1: model and validation. International Journal of Heat and Mass Transfer. 43(2000):1209-1222.

RATTI, C., A.S. MUJUMDAR. 2006. Infrared Drying. “in, Handbook of Industrial Drying, Vol 3, Eds A.S. Mujumdar”, CRC Pres, New York. 1258 p.

SANDU, C. 1986. Infrared radiative drying in food engineering: a process analysis. Biotechnology Progress. 2(3):109-119.

<http://www.meteor.gov.tr/2006/arastirma/arastirma-ozon-elektromanyetikspektrum.aspx>
Erişim Tarihi: 25.05.2009. Konu: Elektromanyetik spektrum.

EKLER**EK-1: ÖLÇÜM ALINAN DURUMLARIN HIZ VE LAMBA GÜÇLERİ**

Durum	1. Lambanın Gücü(%)	2. Lambanın Gücü(%)	3. Lambanın Gücü(%)	Konveyör Hızı(%)
1	20	20	20	100
2	20	20	20	70
3	20	20	20	40
4	35	20	20	100
5	35	20	20	70
6	35	20	20	40
7	20	35	20	100
8	20	35	20	70
9	20	35	20	40
10	20	20	35	100
11	20	20	35	70
12	20	20	35	40
13	20	20	50	100
14	20	20	50	70
15	20	20	50	40
16	20	35	35	100
17	20	35	35	70
18	20	35	35	40
19	20	35	50	100
20	20	35	50	70
21	20	35	50	40
22	20	50	20	100
23	20	50	20	70
24	20	50	20	40
25	20	50	35	100
26	20	50	35	70
27	20	50	35	40
28	20	50	50	100
29	20	50	50	70
30	20	50	50	40
31	35	20	35	100
32	35	20	35	70
33	35	20	35	40
34	35	20	50	100
35	35	20	50	70
36	35	20	50	40
37	35	35	20	100
38	35	35	20	70
39	35	35	20	40
40	35	35	35	100
41	35	35	35	70
42	35	35	35	40
43	35	50	20	100
44	35	50	20	70

45	35	50	20	40
46	50	20	20	100
47	50	20	20	70
48	50	20	20	40
49	50	20	35	100
50	50	20	35	70
51	50	20	35	40
52	50	20	50	100
53	50	20	50	70
54	50	20	50	40
55	50	35	20	100
56	50	35	20	70
57	50	35	20	40
58	50	50	20	100
59	50	50	20	70
60	50	50	20	40
61	35	35	50	100
62	35	35	50	70
63	35	35	50	40
64	35	50	35	100
65	35	50	35	70
66	35	50	35	40
67	35	50	50	100
68	35	50	50	70
69	35	50	50	40
70	50	35	35	100
71	50	35	35	70
72	50	35	35	40
73	50	35	50	100
74	50	35	50	70
75	50	35	50	40
76	50	50	35	100
77	50	50	35	70
78	50	50	35	40
79	50	50	50	100
80	50	50	50	70
81	50	50	50	40

ÖZGEÇMİŞ

15 Aralık 1984' te Bulgaristan' da doğan Mustafa MUTLU, ilk orta ve lise eğitimini Bursa' da tamamlamıştır. 2003 yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 2005 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaparak 2007 yılında bu bölümden lisans derecesini almıştır. Eylül 2007' de U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bana bu konuda çalışma fırsatı verip, her zaman ve her konuda destek olan, bilgi ve deneyimi ile çalıŐmalarımı yönlendiren değerli hocam sayın Prof. Dr. Muhsin KILIÇ' a, deneyleri yapmak için imkanlarını sunan Bursa Farba alıŐanı Mak. Yük. Müh. Őuayip Dizman' a, yazım aŐamasında yardımlarını esirgemeyen AraŐ. Gör. zgn KORUKÇU' ya ve AraŐ. Gör. Mustafa K. İŐMAN' a ve yorumları ile katkıda bulunan diğer araştırma görevlisi arkadaşlara teşekkür ederim.