

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EV TİPİ FIRINLARDA PİŞİRME KALİTESİNİ
İYİLEŞTİRECEK PİŞİRME SÜRELERİNİ KISALTACAK
ALTERNATİF PİŞİRME METOTLARI İLE ÇALIŞAN
HİBRİT FIRIN ÇALIŞMALARI**

Mak. Müh. Onur ÇAĞSAL

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail TEKE

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. LİTERATÜR VE PATENT ARAŞTIRMASINDAN ÇIKARIMLAR	19
4. DENEY DÜZENEGİ	21
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24
5.1 Genel Komponent Belirleme ve Komponentlerin Fırına Yerleşimi Çalışmaları ..	24
5.1.1 Isıtıcı Lamba Tipi Belirleme Çalışmaları	25
5.1.2 Koruyucu Cam Belirleme Çalışmaları	28
5.1.3 Reflektör ve Isıtıcı Modül Çalışmaları	32
5.1.4 Fırın İçi Yerleşim Çalışmaları	36
5.2 Pişirme Algoritması Oluşturma Çalışmaları	39
6. TEORİK HESAPLAMALAR	47
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
EKLER	57
Ek 1 λ T değerlerine göre siyah cisim radyasyon oranları	57
Ek 2 Lambaların fırın kapak camını görme faktörlerinin Mathematica programı ile hesapları	59
60	

Ek 3 Lambaların tepsi yüzeyini görme faktörlerinin hesaplanması	61
ÖZGEÇMİŞ.....	62

SİMGE LİSTESİ

A	Alan (m^2)
λ	Dalga boyu (μm)
F_{1-2}	Işınım şekil faktörü
dw	Katı açı (stradyan)
A_n	Işınım kaynağına dik alan (m^2)
ϵ	Yayma oranı
σ	Stefan Boltzman sabiti ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)
k	İletim ile ısı transfer katsayısı ($W/m \cdot K$)
h	Taşıma ile ısı transfer katsayısı ($W/m^2 \cdot K$)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı ($Kj/kg \cdot K$)
α	Soğurma oranı
τ	Geçirgenlik oranı
ρ	Yansıtma oranı
F	Kuvvet (N)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
Q'_{1-2}	1 ve 2 yüzeyleri arasında gerçekleşen toplam ısı transfer miktarı (W)
E	Işınım yayma gücü (W/m^2)
G	İrradyasyon (W/m^2)
J	Radioziti (W/m^2)
f	Odak noktası
U	İç enerji (J)
V	Hacim (m^3)

KISALTIMA LİSTESİ

NIR	Near Infrared Wavelengths
TEF	Total Exchange Factor
COV	Coefficient of Variance
EES	Engineering Equation Solver
KW	Kilowatt
BTU	British Thermal Units
KJ	Kilojoule
Wh	Watt-saat

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1 Elektromanyetik spektrum	3
Şekil 2-2 Kullanılan ısıtıcı geometrileri	10
Şekil 2-3 Boyutsuz ısı akısının emisivite değerlerine göre değişimi	11
Şekil 2-4 Pişirme sıcaklığına bağlı gerçekleşen değişimler	13
Şekil 2-5 Su buharına doymuş hava ve kuru hava hacminin sıcaklıkla değişimi	14
Şekil 2-6 Fırının önden görünüşü	15
Şekil 2-7 Pişirme güç-zaman eğrisi	16
Şekil 2-8 Çevrim güç-zaman grafiği	17
Şekil 4-1 EN 50304 standartlarına göre deney düzeneğinin şematik görüntüsü	21
Şekil 4-2 Fırının elemanları ile birlikte şematik görüntüsü	22
Şekil 4-3 Deney düzeneği	23
Şekil 4-4 Data Logger ve sıcaklık ölçüm kanalının gösterilmesi	23
Şekil 5-1 Kızıl ötesi ve görünür spektrum	25
Şekil 5-2 Philips 13713Z/98 tip kısa dalga	26
Şekil 5-3 Reflektör yerleşimi	27
Şekil 5-4 Şasi tavan sıcaklıklarının reflektörlü ve reflektörsüz durumda zamanla değişimi ...	27
Şekil 5-5 Borofloat cam kızıl ötesi geçirgenlik	28
Şekil 5-6 Robax cam kızıl ötesi geçirgenlik	29
Şekil 5-7 Pyrex cam kızıl ötesi geçirgenlik	29
Şekil 5-8 Koruma camı sıcaklığı	30
Şekil 5-9 Tepsi yüzeyine grid yerleşimi	31
Şekil 5-10 Raflara göre sıcaklık dağılımları	32
Şekil 5-11 Elips reflektör geometrisi	33
Şekil 5-12 Kaynak f1 üstünde	33
Şekil 5-13 Kaynak f1, f2 arasında	34
Şekil 5-14 Sağ duvar sıcaklık dağılımları	35
Şekil 5-15 Sol duvar sıcaklık dağılımları	36
Şekil 5-16 Modül tasarımı	37
Şekil 5-17 Patlatma bölgesinde lambaların yerleşimi	37
Şekil 5-18 Fırın içi termal kamera analizi (camlı)	38
Şekil 5-19 Fırın içi termal kamera analizi (camsız)	38
Şekil 5-20 Blomberg fırın iç görünüm	39
Şekil 5-21 Konvansiyonel fırında bök pişirme (statik)	40
Şekil 5-22 Statik bök pişirme sonucu	41
Şekil 5-23 Nem sensörünün yerleştirildiği baca konumu	45
Şekil 5-24 Kek pişirmede nem algılaması	46
Şekil 6-1 Fırının önden görünüşü	49
Şekil 6-2 Fırın iç yüzey duvarlarından kapak camına giden ışınım	50
Şekil 6-3 Reflektör kesit alanı	51
Şekil 6-4 Lambaların fırın içinde konumlandırılması	51

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2-1 Kızıl ötesi ışınım ile ilgili bazı bilgiler	5
Çizelge 2-2 Ekmek hamurunda kabuk ve iç bölge için penetrasyon derinlikleri	6
Çizelge 2-3 Kısa dalga ısıtıcı karakteristikleri	7
Çizelge 2-4 Bazı pişirme algoritmaları	18
Çizelge 5-1 İnfrared ısıtıcı tipleri ve özellikleri	26
Çizelge 5-2 Philips 13713Z/98 tip kısa dalga lamba özellikleri	27
Çizelge 5-3 Tavan Sıcaklıkları	28
Çizelge 5-4 Koruyucu cam özellikleri	30
Çizelge 5-5 Konvansiyonel pişirmede bazı bölge sıcaklıkları ve toplam pişirme süresi	41
Çizelge 5-6 Alt merkez 220°C'ye göre ön ısıtmalı börek pişirme	42
Çizelge 5-7 Alt merkez 190°C'ye göre ön ısıtmalı börek pişirme	43
Çizelge 5-8 Alt merkez 200°C'ye göre ön ısıtmalı börek pişirme	43
Çizelge 5-9 Ön ısıtmasız (1300W) börek pişirme bölge sıcaklıkları tablosu	44
Çizelge 5-10 Börek pişirme karşılaştırma tablosu	44
Çizelge 6-1 Halojen lambaların ışınım spektrum aralıkları	49

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süreci boyunca çok değerli önerileri ve eleştirileri ile katkıda bulunan danışman hocam Sn. Prof. Dr. İsmail TEKE'ye en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamın gerçekleşmesini sağlayan ve büyük destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, başta Sn. Şemsettin EKSERT, Sn. Cemil İNAN ve Sn. Fatih ÖZKADI'ya şahıslarında teşekkür ederim.

Proje süreci içerisinde tecrübelerinden yoğun bir şekilde faydalandığım ve desteğini her zaman gösteren Sn. Levent AKDAĞ'a, proje liderliği ile tez çalışmamın sağlıklı bir biçimde ilerlemesini sağlayan Sn. Aslı Kayıhan'a teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmaların başlamasında ve işleyişinde gösterdikleri özverili çalışma ve ilgiden ötürü Sn. Mehmet MARAŞLI ve Sn. Barış ERDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenim ve tez çalışma süresi boyunca göstermiş oldukları idari ve manevi destekten dolayı Sn. Özden AĞRA ve Sn. Özgür ATAYILMAZ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın yoğun ve sıkıntılı geçen zamanlarını samimiyetleri ve keyifli sohbetleri ile hafifleten değerli dostlarım Sn. Önder BALİOĞLU, Sn. Tuğrul KODAZ, Sn. Ufuk Levan YAKUT, Sn. Murat KANTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde bana maddi ve manevi her türlü desteği esirgemediği sağlayan çok değerli AİLEME teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2008

Onur ÇAĞSAL

ÖZET

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler paralelinde, özellikle zaman çok önemli bir kavram haline gelmiştir. Dolayısı ile beyaz eşya sektöründe de hızlı soğutma, hızlı ısıtma, hızlı pişirme gibi süre kısaltıcı özellikler önem kazanmıştır.

Bu tabloya ev tipi pişirici cihazlar açısından bakıldığında hızlı pişirmeye yönelik birçok çalışmanın olması dikkat çekmektedir. Bu çalışmaların odak noktasında genellikle farklı pişirme tekniklerinin belli algoritmalar eşliğinde birleştirildiği hibrit fırın çalışmalarının bulunduğu görülmektedir. Pişirme teknolojisinde yeni bir çalışma konusu olan kızıl ötesi, mikrodalga, konvansiyonel (statik, turbo) ve buhar ile pişirme yöntemlerinden bir veya birkaçının birlikte kullanılmasına genel olarak hibrit pişirme yöntemleri adı verilmektedir.

Bu tezin amacı kısa dalga kızıl ötesi halojen lambaların belli gıda tipleri için pişirme karakteristiklerinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi ve bu yöntemin konvansiyonel ısıtıcılar ile hibrit bir yöntem şeklinde uygulanabilirliğinin ortaya çıkarılmasıdır. Bu amaçla kısa dalga kızıl ötesi lambalar ile ilgili piyasa ve literatür araştırmaları yapılmış ve fırınlara uygulanabilir tipleri belirlenmiştir. Ayrıca ısıtıcı olarak kullanılacak lambaların fırına uygulanması konusunda gerekli olacak reflektör tasarım çalışmaları ve koruma camı olarak kullanılacak kısa daga ışınım geçirgenliği yüksek koruma camı belirleme vb. gerekli komponentlerin ortaya çıkarılması çalışmaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucu kavramsal fırın prototipi oluşturulmuş ve belirlenen gıda tipleri için hızlı pişirme algoritmaları oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: ısı transferi, kızıl ötesi dalga boyu, halojen lamba, reflektör, ışınma, pişirme, hibrit fırın, algoritma, izolasyon, geçirgenlik

ABSTRACT

In analogous with the technological developments in the white appliance industry, time has become one of the most important features in the market. Appliances with rapid cooling, rapid heating, rapid cooking features are becoming more and more popular.

With the aid of the market research that has been conducted all around the world, it can be seen that cooking appliances with shorter cooking times than conventional methods is a promising topic. In order to achieve shorter cooking times researchs and studies are focused on hybrid ovens which consist of different cooking techniques like microwave, quartz lamps, conventional methods (static and turbo). In these kind of ovens cooking is achieved by the use of proper cooking algorithms.

In the scope of this master thesis, cooking properties of different kinds of food with halogen lamps which radiate mostly in shorter wavelenghts is studied. The cooking characteristics of these lamps is explicated with the help of experimental and theoretical studies and the probability of using these kinds of lamps with conventional methods is introduced. With this object in mind technical literature and market research about shortwave kızıl ötesi lamps has been done and the applicaple types to cooking ovens is determined. Furthermore other components that would be essential in this design are; reflector for directing the kızıl ötesi radiation to cook the food homogeneously and effectively and a protecting glass layer with high kızıl ötesi transmission for protecting the infrared halogen lamps from moisture, cooking oils dirt etc.

Keywords: heat transfer, infrared, wavelength, reflector, radiation, cooking, hybrid ovens, algorithm, isolation, transmissivity.

1. GİRİŞ

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler paralelinde zaman oldukça önemli bir kavram haline gelmiştir. Özellikle beyaz eşya sektöründe hızlı soğutma, hızlı ısıtma, hızlı pişirme gibi süre kısaltıcı özellikler önem kazanmıştır. Pişirici cihazlarda ise hızlı pişirme teknikleri ucu gelişmelere açık bir konu olup, bir çok beyaz eşya firması çalışmalarında bu konu üzerine odaklanmıştır. Mikrodalga fırınlar, her ne kadar diğer pişirme tekniklerine göre önemli bir zaman kazancı sağlasa da, bu fırınlarda pişirilen gıdalardan beklenen tat, renk ve doku oluşumu sağlanamamaktadır. Bu sebeple farklı pişirme tekniklerini belli algoritmalar eşliğinde birleştiren hibrit fırın çalışmaları yapılarak pişirme zamanının mümkün olduğunca kısaltılmasına çalışılmaktadır. Pişirme teknolojisinde yeni bir çalışma konusu olan kızıl ötesi, mikrodalga, konvansiyonel (statik, turbo) ve buhar ile pişirme yöntemlerinden bir veya birkaçının belli algoritmalar eşliğinde birlikte kullanılmasına genel olarak hibrit pişirme yöntemleri adı verilir. Bu tez çalışmasının amacı pişirmede kullanılacak kısa dalga halojen lambaların seçim parametrelerinin, dalga boyu gıda içine penetrasyon özelliklerinin ortaya çıkarılarak bu tip lambaların konvansiyonel yöntemlere uygulanabilirliğinin ortaya konması ve uygulanabilirlik için ek komponentlerin tanımlanması ile bu komponentler için seçim parametrelerinin oluşturulmasıdır.

Yapılan literatür ve patent araştırmasında yoğunluk olarak kısa kızıl ötesi dalga boyunda ışınlama ısı transferi gerçekleştiren halojen lambalar ile gıda pişirme çalışmaları içeren dokümanlar incelenmiştir. Ayrıca fırın içerisinde etkin bir ışıma sonucu fırın içinde yapılması gereken optimizasyonlar ile ilgili makale ve bu tip lambaların pişirme amaçlı algoritmaları kullanımları ile ilgili patent dokümanları incelenmiştir.

Teorik hesaplamalar için belirlenen deney fırını üzerindeki boyutlar eşliğinde belirlenen kabuller ile fırın içi görme faktörleri, fırın içerisinden ışınlama ile gerçekleşen ısı kaybı, ve kızıl ötesi lambaların dalga boyuna göre ışınlama güç ve dağılımlarının belirlenmesi için gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

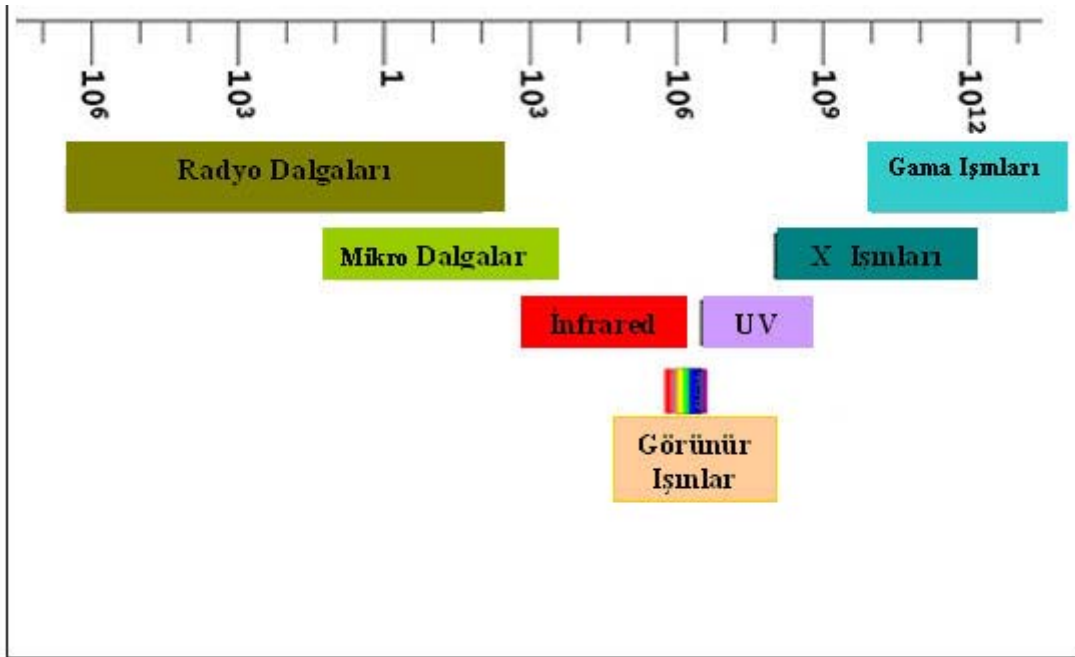
Deneysel çalışmalarda; konvansiyonel ısıtıcılara sahip deney fırınının fırın içi yan duvarlar, tavan, pişirme kavitesi sıcaklık dağılımları belirlenmiştir. Ayrıca tepsiye yerleştirilen gıda üst ve alt yüzeyleri ile orta yüzey sıcaklık dağılımları hesaplanarak daha sonra üst ısıtıcı yerine kızıl ötesi lamba yerleştirildiği durumdaki sıcaklık dağılımlarının konvansiyonel statik fırındaki referans sıcaklık dağılımları ile ilişkilendirilmesine çalışılmıştır. Farklı dört tip gıda için penetrasyon dalga boyu ilişkisi deneysel veriler eşliğinde hesaplanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca kızıl ötesi lambaların konvansiyonel bir fırında üst ısıtıcı yerine kullanılması için gerekli optimizasyonlar gerçekleştirilmiş ve gerekli olan komponentler belirlenerek tasarım kriterleri oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tez kapsamında gerçekleştirilen literatür ve patent araştırmasında yoğunluk olarak kızıl ötesi kısa dalga boyunda ışınım ile ısı transferi gerçekleştiren halojen lambalar ile gıda pişirme çalışmalarını içeren dokümanlar incelenmiştir. Ayrıca fırın içerisinde etkin bir ışınım sonucu fırın içerisinde yapılması gereken optimizasyonlar ile ilgili makale ve bu tip lambaların pişirme amaçlı algoritmaları kullanımları ile ilgili patent dokümanları incelenmiştir.

C. SKJÖLDEBRAND'ın 1994 yılında yayınlanan çalışmasında kızıl ötesi ısıtma ile ilgili temel prensipler derlenmiş ve kızıl ötesi ısıtmanın pişirmede kullanılması anlatılmıştır. Elektromanyetik spektrumdaki kızıl ötesi dalga boyu aralığı materyallerin en çok absorbladığı dalga boyu aralığı olduğu için genellikle ısı ışınım adını almaktadır. Elektromanyetik spektrumda kızıl ötesi ışınım, görünür ışınım ve radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Kızıl ötesi spektrum 3 dalga boyu aralığından oluşmaktadır. Bunlar kısa dalga boyu aralığı (0.7-2 μ m) orta dalga boyu aralığı (2-4 μ m) ve uzun dalga boyu aralığıdır. (4 μ m-1 mm) Bunlara ilave olarak görünür spektrumu da kapsayan (0,4-1,35 μ m) dalga boyu aralığına yakın kızıl ötesi dalga boyu aralığı (NIR) adı verilmektedir. Kısa dalga boyu aralığı ışınım normal koşullarda kaynak sıcaklıkları 1000 °C ve üzerideyken gerçekleşirken kaynak sıcaklıkları 400 °C ve altında ise uzun dalga boyu aralığında ışınım gerçekleşmektedir.



Şekil 2-1 Elektromanyetik spektrum

Konvansiyonel fırınlarda uzun dalga boyunda gerçekleşen kızıl ötesi ışınım gıdaların

pişirilmesinde kullanılan ana ısı transfer mekanizmalarından biridir. Buna rağmen gıda sektöründe kısa dalga kızıl ötesi ışınımın kullanımı oldukça yeni bir uygulamadır. Diğer bir çok yeni teknoloji gibi kızıl ötesi ışınımın da gıda sektöründe kullanımı araba endüstrisi veya kağıt kurutma endüstrisi gibi daha önceden uygulanmakta olan proseslerden adapte edilmiştir. Bu teknolojinin gıda sektöründe daha önceden uygulanmamasının en önemli nedenleri daha önceden gıdaların optik özellikleri hakkındaki bilgilerin kısıtlı olması ve özellikle kızıl ötesi lambaların kullanımının temizlik ve güvenlik bakımından bazı sorunlar teşkil etmesidir.

Kızıl ötesi ışınımın pişirme endüstrisinde getireceği en önemli avantajlar arasında yüksek ısı transferi, ışınımın kısa dalga boylarında ürün içine ısı penetrasyonu sağlayabilmesi, hızlı proses kontrolü ve ışınımın çevreyi değil de direkt olarak yönlendirildiği bölgeyi ısıtması gösterilebilir. Kızıl ötesi ışınımın optimum şekilde faydalanabilmek için kritik görülen en önemli parametreler kızıl ötesi ışınım kaynak sıcaklığı, kızıl ötesi kaynağının ışınım verimi, kızıl ötesi yansıtma ve soğurma özellikleri ve ışınımın penetrasyon özellikleridir.

Kızıl ötesi ışınım kaynakları çeşitli boyut ve şekillerde bulunabilmektedir. En yaygın olarak kullanılan tipleri şu ana gruplarda toparlamak mümkündür:

- Gaz ısıtmalı radyatörler (uzun dalga)
- Elektrikli ısıtmalı radyatörler
 - Boru veya düz şeklindeki radyatörler (uzun dalga)
 - Seramik ısıtıcılar (uzun dalga)
 - Quartz tüp lamba ısıtıcılar (orta veya kısa dalga)
 - Halojen tüp lamba ısıtıcılar (ultra-kısa dalga)

Kızılötesi ışınım, ürünler tarafından soğurulduğu derecede ısıya dönüşmektedir. Gerçekleşen ısı transfer hızı; ısıtıcı ve alıcı kütlelerin yüzey sıcaklıkları, bu iki cismin yüzey özellikleri ve ısıtıcı ve alıcı kütlelerin geometrilerine bağlıdır. Transfer olan ısı miktarı ise ışınım kaynağının yayma oranına (ϵ) bağlıdır. Gri cisim yayma oranı 0 ila 1 aralığındadır. Gri bir cismin yayma oranı ışınım dalga boyu ve ışınım geliş açısı sabit kabul edilirse soğurganlığına eşit olmaktadır. Kısaca yayma oranı, gri cisim sıcaklığı ve yayılan ışınımın dalga boyuna bağlıdır. Stefan-Boltzmann eşitliğine göre:

$$Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (1)$$

Ayrıca Wien kanununa göre ışınlam kaynağının maksimum spektral yayma gücü sabit bir değerdir. Wien kanununa göre :

$$\lambda_{\max} T = 2898 \mu\text{mK} (2)$$

Kızıl ötesi dalgalar bir cisim ile karşılaştığında ya soğurular (α), ya geçirilir (t), ya da yansıtılır (r). Işınlamın gıdalar tarafından soğurulması gıdaların o dalga boyundaki ışınlamı soğurma özelliğine bağlıdır. Işınlam kaynağının dalga boyu ise kaynağın sıcaklığına bağlıdır. Yüksek sıcaklıklar daha kısa dalga boylarında ışınlam yayar ve dalga boyu kısaldıkça kızıl ötesi ışınlamın gıda içine penetrasyonu birçok gıda tipi için artmaktadır.

Çizelge 2-1 Kızıl ötesi ışınlam ile ilgili bazı bilgiler

IR Isıtıcı	λ_{\max}	Sıcaklık (K)	Max. Enerji Yoğunluğu(kW/m ²)	Işınlam<1.25 (%)
Ultra-kısa dalga	1	2627	4010	41,1
Kısa dalga 1	1,12	2316	2547	32,9
Kısa dalga 2	1,24	2066	1697	25,8
Orta dalga	1,8	1338	1697	7
Uzun dalga	3	694	50	0,2

Kızıl ötesi ışınlam dalgaları gıda içine penetre ettiğinde gıda moleküllerinin titreşimlerinde ve dönüşlerinde değişikliğe yol açmaktadır. Gerçekleşen iki temel titreşim moleküllerin gerilmesi ve bükülmesidir. Gerilme sırasında atomlar birbirinden uzaklaşmakta veya birbirine yakınlaşmaktadır.

Gıdaların kızıl ötesi ışınlamı soğurma özelliklerinin belirlenmesi oldukça zordur. Işınlamın düzenli yansması gıda yüzeyinde gerçekleşirken birçok organik madde için bu değer %4'tür. Gövde yansması ise ışınlamın gıda tarafından belli bir oranda soğurularak gıda içinde dağılması ve difüzyona uğraması ile gerçekleşir. Düzenli yansma göz alan parlak bir ışınlam meydana getirirken, gövde yansması görülen renk ve biçimi ortaya çıkarmaktadır. Kısa dalga ışınlamda ($\lambda < 1.25$) meydana gelen yansma genellikle %50'lere varan değerlerde gerçekleşirken , uzun dalga yansmasında bu değer %10'lara düşmektedir. Bu sebeple gıdalarda gerçekleşen yansma her gıda tipi için, pişirme evrelerine göre belirlenerek ışınlam dağılımı belirlenmeli ve transfer olan ısı miktarı buna göre seçilmelidir.

Sistem optimizasyonunda önemli olan bir diğer özellik ışınımın gıda içine penetrasyon özelliklerinin belirlenmesidir. Kısa dalga kızıl ötesi ışınımın gıda içine penetre etme kabiliyeti uzun dalga kızıl ötesi ışınımına göre ekmek hamuru için 10 kat daha fazladır. Kızıl ötesi ışınımın gıda içine direkt olarak penetre etme kabiliyeti gıda yüzeyini yakmadan gıda üzerine gönderilen enerjinin artırılabilmesini sağlamakta ve bu sayede konvansiyonel pişirme yöntemlerine göre pişirme sürelerinde önemli kısaltmalar sağlanabilmektedir. Skjöldebrand tarafından 1988’de yapılan bir çalışmada ekmek için kabuk ve ekmek içi olmak üzere dalga boyuna göre penetrasyon derinliği hesaplanmıştır.

Çizelge 2-2 Ekmek hamurunda kabuk ve iç bölge için penetrasyon derinlikleri

Güç düzeyi (%)	Maksimum enerji Dalga boyu (nm)	Spektral aralık (nm)	Penetrasyon derinliği (mm)	
			İç	Kabuk
100	1300	800-1250	3,8	2,5
		1250-2500	1,4	0,6
		800-2500	1,9	1,2
75	1320	800-1250	3,8	2,5
		1250-2500	1,4	0,6
		800-2500	1,9	1,1
50	1410	800-1250	3,8	2,5
		1250-2500	1,4	0,6
		800-2500	1,1	1,8

Dakerskog’un 1978’de yaptığı bir çalışmaya göre fırınlarda grill işlemi için orta dalga boylarının kullanımının oldukça kullanışlı olduğu belirlenmiştir. Bolshakov tarafından 1976’da yayımlanan bir çalışmada domuz etinin kızıl ötesi ışınım geçirgenliği belirlenmiştir. Buna göre maksimum geçirgenlik ışınım dalga boyu 1,2 μm ’de elde edilmiştir. 2,5 μm ’den daha büyük dalga boylarında ise geçirgenlik ihmal edilebilecek kadar düşüktür.

Kısa dalga ısıtıcılarda maksimum sıcaklık 2228 K ve buna denk gelen maksimum dalga boyu 1,3 μm ’dir. Orta dalga boyunda kızıl ötesi ışınım yapan bir ısıtıcının sıcaklığı 1113 K ve bu sıcaklığa karşılık gelen maksimum dalga boyu 2,7 μm ’dir. Kısa dalga ısıtıcıların dalga boyu

dağılımı ve buna karşılık güçler Çizelge 2-3'de görülmektedir.

Çizelge 2-3 Kısa dalga ısıtıcı karakteristikleri

Isıtıcı Tipi	Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	Maksimum Isı akısı (Kw/m ²)	Işınım (%)	Taşınım (%)	Devreye girme süresi (s)	Ömür
<i>Kısa Dalga</i>						
Halojen lamba	2200	10	75	25	1	5000h
IR Tabanca	2300	2	98	2	1	
Quartz tüp	2200	80	80	20	1	5000h
<i>Orta Dalga</i>						
Quartz tüp	950	60	55	45	30	Yıl (lar)
<i>Uzun Dalga</i>						
Direnç tipi	800	40	50	50	120 sn'den fazla	Yıl (lar)
Seramik	700	40	50	50	120 sn'den fazla	Yıl (lar)

Skjöldebrand tarafından 1994 yılında kısa dalga kızıl ötesi ışınım ile pişirme üzerine yayımlanan çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Pişirme süreleri konvansiyonel fırınlara göre %25~%50 aralığında daha kısadır.
- Fırın enerji tüketimi konvansiyonel yöntemlerle kıyaslanabilir düzeydedir.
- Kütle kayıpları konvansiyonel metotlara göre %10~%15 daha azdır.
- Pişirme kalitesi konvansiyonel yöntemler ile kıyaslanabilir seviyededir.

B.M. SHAUGHNESSY ve M. NEWBOROUGH tarafından 1997 yılında yayınlanan çalışmada düşük emisiviteli fırınlarda ışınım ile ısı transferi anlatılmaktadır. Konvansiyonel ev tipi fırınlarda gıdalar, istenilen bir şekilde ve kolay kontrol edilebilir biçimde pişirilmektedir. Bu tip fırınlarda pişirmenin sağlanması için kullanıcının gıdaya gerçekleşen ısı transfer yöntemlerini ve bu yöntemlerin optimizasyonunu bilmesi gerekli değildir. Fakat bu tip fırınlarda pişirme çok düşük bir verim ile gerçekleştirilebilmektedir (%13). Bunda en büyük nedenlerden biri ısıtıcılardan gelen enerjinin önemli bir bölümünün fırın duvarları tarafından soğurulması ve bu ısının belli bir bölümünün çevre ortama kaybedilmesidir. Koyu renkli, yüksek emisiviteye sahip fırınlar ısı enerjisinin önemli bir bölümünü soğururken, oluşan ısı köprüleri ve konvektif sızıntılar enerji kaybını arttırmaktadır. Konvansiyonel bir fırına verilen ısı enerjisinin yaklaşık %47'lik bir bölümü fırın duvarları tarafından absorbe edilmektedir. Bu absorbe edilen ısının yaklaşık %25'lik bölümü fırın duvarlarından çevre ortama kaybedilmektedir. Ayrıca verilen ısı enerjisinin yaklaşık %15'lik bölümü ventilasyonla dışarı verilen nem ile birlikte çevre ortama atılmaktadır.

Bu tip kayıpların önüne geçebilmek için düşük emisiviteli fırın duvarlarının kullanılması ($\epsilon_c =$

0,1) düşünölmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarda, fırın duvarlarının yayma oranının düşük olması sayesinde ısıtıcılardan yüksek oranda ışınım ile ısı transferi direkt olarak gıda üzerine yönlendirilmiştir. Işınım ile gerçekleşen ısı transferi, toplam ısı transferinin %88'lik bir bölümünü oluşturmuştur. Bu oran, konvansiyonel bir fırındaki ışınım ile gerçekleşen ısı transferinin toplam gerçekleşen ısı transferine oranının yaklaşık iki katına denk gelmektedir. Düşük yayma oranlı fırınlarda ayrıca ön ısıtma süresi daha kısa olmaktadır çünkü duvarları ısıtmak için harcanan enerji direkt olarak etkin bölgeye gönderilmektedir. Bu sayede düşük emisiviteli fırının ayarlanan sıcaklığa ulaşması için gereken zaman konvansiyonel bir fırın için gerekli sürenin üçte biri kadar olmaktadır. Fırın içindeki yük üzerine ışınım ile gönderilen enerji miktarının artırılması ve fırının daha hızlı bir şekilde ısınması sayesinde düşük yayma oranına sahip fırınlarda ısı verim %20 ila %26 kadar artırılmıştır. Ayrıca enerji tüketiminde %50'lere varan kazançlar sağlanabileceği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen pişirme deneylerinde bir çok gıda için tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir(Scarsbrick). Bununla birlikte gıdaya gerçekleşen ışınım miktarının artması sonucu bazı gıda tipleri için yüzey kurumasının gereğinden fazla gerçekleştiği ve yüzey kahverengileşmesinde bazı sorunlar yaşandığı gözlemlenmiştir. Karşılaşılan bu problemin önemli bir oranda direkt olarak ısıtıcı geometrileri ile ilgili olduğu çıkarımı yapılmıştır. Bu sebeple farklı ısıtıcı geometrileri ve yerleşim şekilleri belirlenerek matematik modelleri oluşturulmuştur.

Pişirme sırasında duvarlar üzerinde biriken yağ vb. atık maddeler emisivite değerlerini arttırmaktadır. Buna çözüm olarak şasi üzerine yerinden çıkarılabilen panellerin yerleştirilmesi düşünölmüştür. Bu şekilde gerçekleştirilen deneylerde toplamda 100 saatlik pişirme gerçekleştirilmiş ve bu süreçte beş defa paneller çıkartılarak yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra paneller üzerinde yapılan kızıl ötesi yayma oranı ölçümünde düşük yayma oranı değerlerinin korunduğu görölmüştür.

Düşük yayma oranına sahip fırınlar ile pişirmede ön ısıtma yapılmadan pişirmenin gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Isıtıcılardan sağlanan ısı, fırın duvarları yerine direkt olarak gıda üzerine gönderilebildiği için ısıtma yükü azalmakta, bu sayede pişirme süresi ve enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Fakat konvansiyonel elektrikli fırın ısıtıcıları ile gerçekleştirilen pişirmelerde ışınım etkinliği artacağından gıdada iç pişme gerçekleşmeden gıda yüzeyinde yanmalar oluşmaktadır. Bu sebeple ısıtıcıları belli bir algoritma eşliğinde kontrol etme gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

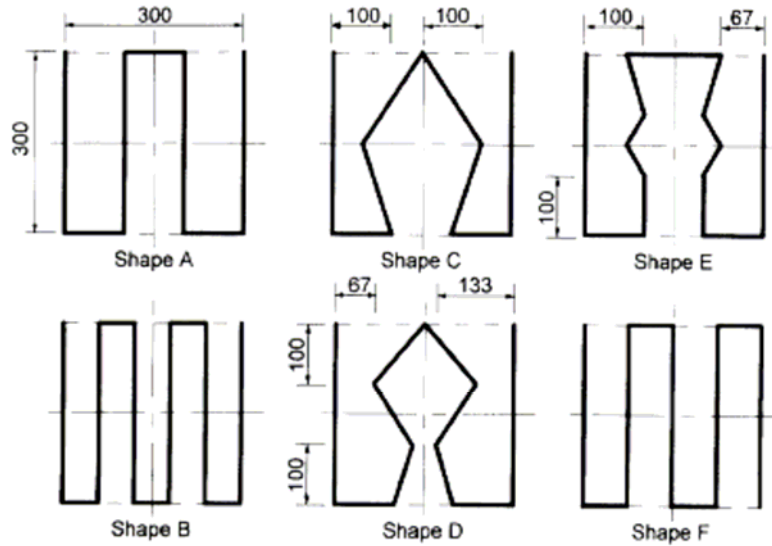
Genel olarak düşük yayma oranına sahip fırınların tasarım ve kontrolünde iki önemli parametre ortaya çıkmaktadır. Bunlar; ısıtıcılardan yayılan toplam ışınımın yük tarafından

soğurulma oranları ve ışının yük üzerinde dağılımının homojen olarak sağlanmasıdır. Bu verilerin elde edilmesi için oluşturulan üç boyutlu bilgisayar modeli Monte Carlo ışın izleme yönteminden faydalanılarak oluşturulmuştur. Işın izleme yaklaşımının tercih edilmesinde en önemli neden bu yaklaşımın ışınım ile ısı transferine engel oluşturan yansımaların da modele katılabilmesidir.

Pratikte elektrikli fırınlarda gerçekleştirilen pişirmelerde, gıda ürünleri pişirme sırasında kavite içerisine atık ürün olarak su buharı, karbondioksit gibi belli dalga boyları aralığındaki ışınımı soğuran gazlar çıkarmaktadır. Fakat modellemede her gıdadan çıkan gaz oranlarının ve dağılımlarının değişmesi nedeni ile bu gazların ışınım absorpsiyonları ihmal edilmiştir ve ışınımın sadece iki yüzey arasında gerçekleştiği varsayılmıştır. Ayrıca düşük yayma oranlı fırın duvarlarından gıda üzerine gerçekleşen ışınım, ısıtıcılardan direkt olarak gıda yüzeyine gerçekleşen ışınım yanında ihmal edilebilir düzeydedir. Bu sebeple Monte Carlo modeli ısıtıcı veya ısıtıcılar ile gıda yüzeyleri arasındaki görme faktörü hesaba katılarak uygulanmıştır. Görme faktörü hesaplarındaki saçınıklık %5 civarındadır. Görme faktörlerindeki dağılım gıdanın bütün yüzeyleri için belirlenmiştir.

Görme faktörlerindeki dağılım kısaca toplam ışınım transfer faktörü (TEF) ve saçınıklık katsayısı (COV) olmak üzere iki parametre ile tanımlanabilmektedir. Sağlanacak optimum ısıtma karakteristiğinde, ışınım transfer faktörünün yüksek ve saçınıklık katsayısının düşük olması için gerekli şartların belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada TEFU gıdanın üst yüzeyi tarafından soğurulan ışınım oranını, TEFL gıdanın alt yüzeyi tarafından soğurulan ışınım oranını, TEFT ise gıdanın üst ve alt yüzey tarafından soğurulan toplam ışınım oranını temsil etmektedir. Pişirilen gıda yüzeylerinde görme faktörü ile homojen bir şekilde sağlanan dağılım düşük bir saçınıklık katsayısına yol açmaktadır.

Bu çalışmada amaç çeşitli gıda tipleri ve pişirme teknikleri için ışınım transfer faktörünün homojen olması için değerlerin ortaya konulması değil dağılımın homojen bir şekilde gerçekleşebilmesini sağlayan mühendislik tasarım parametrelerinin ortaya konmasıdır. Çalışmalar altı farklı ısıtıcı tipi ile dört farklı yerleşim konfigürasyonunda gerçekleştirilmiştir. Isıtıcıların fırın duvarlarından olan uzaklığı 15 mm ve çapları 6,35 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 2-2 Kullanılan ısıtıcı geometrileri

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda z_p tepsinin alt duvardan olan uzaklığını temsil etmektedir. Izgara yapma ve pişirme modlarındaki uzaklıklar sırası ile $z_p=355\text{mm}$ ve $z_p=200\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Buna göre en homojen pişirme “B” ve “F” (Şekil 2-2) tipi geometriler ile elde edilmiştir. Gıda üzerine gönderilen ışıma oranına fırın duvarlarının emisivitelerinin etkisi basit bir analiz ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için fırın duvarlarının ışıma etkileri hesaba katılarak boyutsuz ısı akısı q şu şekilde tanımlanmıştır:

$$q = (F_{he \rightarrow p} + F_{e \rightarrow p}) \epsilon_e A_e T_e^4 / A_{he} T_{he}^4$$

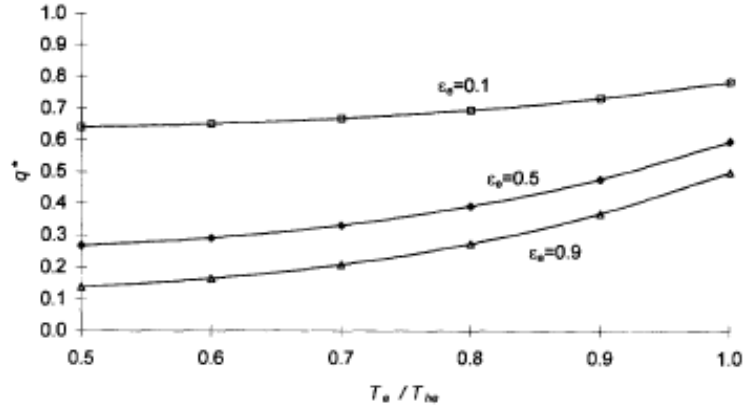
$F_{he \rightarrow p}$ = Isıtıcıdan tepsi alt ve üst yüzeylerine gelen ışıma transfer faktörü

$F_{e \rightarrow p}$ = Fırın kavitesinin toplamda altı duvarından tepsi alt ve üst yüzeylerine gelen ışıma transfer faktörü

T_e = Ortalama duvar sıcaklığı

T_{he} = Isıtıcı sıcaklığı

Buna göre hesaplanan boyutsuz ısı akısının (q), $\epsilon_e=0,1$ olduğu durumda, $\epsilon_e=0,5$ veya $\epsilon_e=0,9$ durumda olduğuna göre çok daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca buradan $\epsilon_e=0,1$ olduğu durumda $\epsilon_e=0,5$ veya $0,9$ durumda olduğuna göre q duvar sıcaklıklarına çok daha az bağlı duruma gelmektedir.



Şekil 2-3 Boyutsuz ısı akısının emisivite değerlerine göre değişimi

Duncan J. R. MANLEY'nin 'Technology of Biscuits, Crackers and Cookies' adlı çalışmasının pişirme başlıklı kısmında hamurlu gıdaların pişirme prosesleri anlatılmaktadır. Gıdaların pişirilmesi en temel anlamı ile gıdanın ısıtılmasıdır. Pişirme sırasında üç ısı transfer mekanizması da (iletim, taşınım, ışınım) görev almaktadır. Fakat fırın içerisinde sadece seçilen noktalardan sıcaklık kontrolü yapılması ile gıdaya gerçekleşen ısı transferinin fiziksel analizini yapmak oldukça zordur. Isı transferi sıcaklık farkı oluştuğunda gerçekleşmektedir. Fırın ısıtıcılarından gıda üzerine gerçekleşen ışınım kuşkusuz ki fırın iç duvarlarından gıda üzerine gerçekleşen ışınımdan çok daha fazladır. Gıdanın bir ızgara yerine tepsi üzerine konulması ise gıdaya iletimle gerçekleşen ısı transferini arttıracaktır. Fırın içerisinde zorlamalı bir taşınım ise gıda üzerinde taşınım ile gerçekleşen ısı transferini arttıracaktır. Bu sebeple pişirme sırasında oluşan sıcaklık profilleri belirlenirken ısı transfer mekanizmaları ve ısı transfer miktarları da göz önünde bulundurulmalıdır. Gıdaya gerçekleşen ısı transferinin ne kadar hızlı gerçekleştiği, pişirme sırasında gıdanın yapısında gerçekleşen değişimleri, renk değişimlerini ve gıdanın içerdiği nem miktarını önemli ölçüde etkileyecektir.

Pişirme sırasında pişirilen gıda tip ve miktarına göre değişmekle birlikte gıda içinden önemli miktarda su buharlaşmaktadır. Fırın içerisindeki su buharı ve atık gazların kontrolü fırının baca infiltrasyon sistemi ile sağlanmaktadır. Eğer fırın içerisindeki hava, gıda yerleştirilmeden önce su buharı miktarı bakımından çok zenginse, su buharı sıcak fırına yerleştirilen soğuk gıda üzerinde yoğuşacaktır. Bunun gıda üzerindeki etkisi iki şekilde gerçekleşecektir. İlk olarak gıda yüzeyi oldukça ıslak olacak ve bu da gıda bünyesindeki şeker karışımlarının çözünmesine neden olacaktır. İkinci olarak su buharlarının sıvı hale geçmesi sırasında dışarı verilen ısı gıda yüzeyine geçecek ve bu ısının belli bir miktarı ise gıda iç bölgelerine transfer olacaktır. Bu su daha sonra gıda sıcaklığı arttıkça yeniden buharlaşacaktır. Fakat bu

buharlaşma gıdanın fırına ilk yerleştirildiği sırada fırın içerisindeki havanın su buharı açısından fakir olması durumuna göre daha geç gerçekleşecektir.

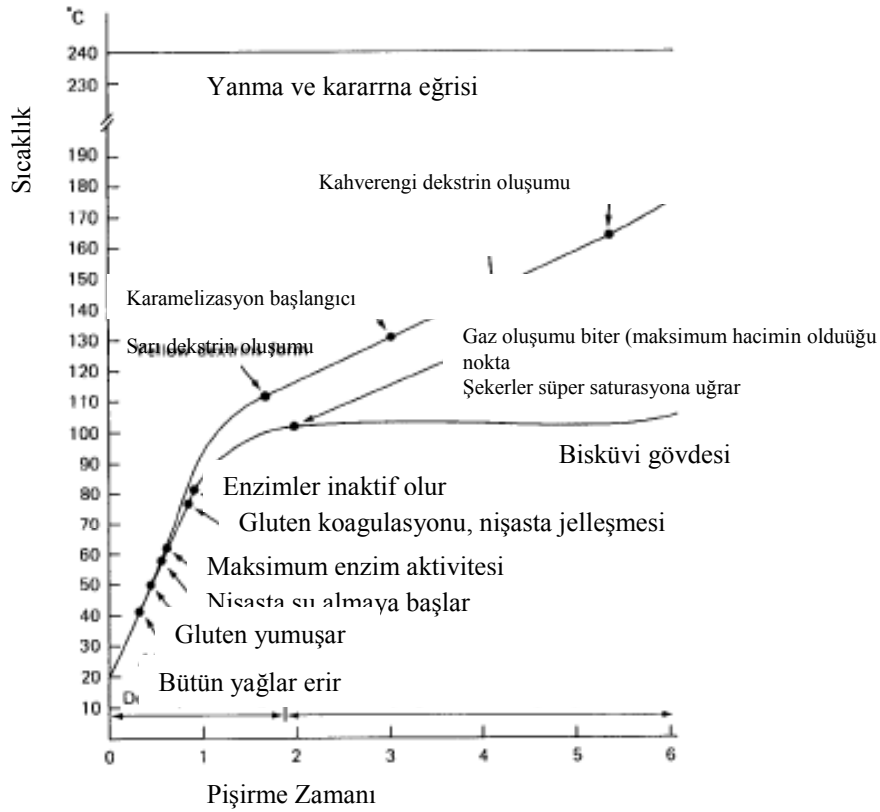
Pişirme sırasında en temel itibarı ile u ana değişim sırasıyla şu şekilde gerçekleşmektedir:

1. Gıda yapısındaki değişimler sonucu gıdanın gözenekli bir yapıya dönüşerek yoğunluğunda önemli bir azalma gerçekleşmesi
2. Gıdanın içerdiği nem miktarında azalma gerçekleşmesi
3. Gıda yüzeylerinde gerçekleşen renk değişimleri

Gıda yapısında ilk olarak sıcaklığa bağlı değişimler meydana gelmektedir. Bu süreç içerisinde gıda içerisinde gaz ve su buharı kabarcıkları oluşarak genişlemekte ve bu da gıda yoğunluğunda azalmaya neden olmaktadır. Bu süreç içerisinde gerçekleşen değişimler şu şekilde özetlenebilir.

- Nişasta ve proteinlerin jelleşmesi, denaturasyonu, kabarması
- Gıdada gerçekleşmeye başlayan kimyasal tepkimeler sonucu çeşitli gazların açığa çıkması
- Yükselen sıcaklıklarla gaz kabarcıklarının genişmesi ve bünyelerindeki su buharı basınçlarının artması
- Oluşan gaz kabarcıklarından bazılarında birleşme bazılarında ayrılmanın gerçekleşmesi
- Gıda yüzeyinde buharlaşmanın başlaması
- Şeker zeltelerinin artan sıcaklıklarla konsantrasyonlarının artması
- Artan sıcaklıklarla Şeker zeltelerinin ve yağların kararlılıklarında azalma

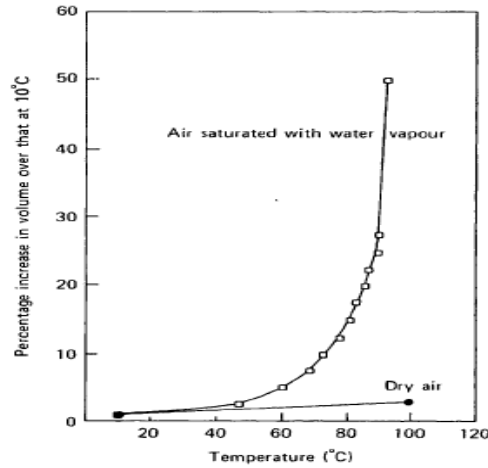
Kısaca bu süreç içerisinde gerçekleşen en önemli değişimlerin gaz kabarcıklarının oluşması ve genişmesi eşliğinde gıda yapısının yumuşaması ve esnekleşmesi daha sonra ise bu yapının sertleşmesi ve sıkılaşması ekseninde gerçekleştiği belirtilmektedir. Yapılan bir çok deneyde gıda hacmindeki artışın sadece serbest kalan gaz kütlesi ile açıklanamayacağı görülmüştür. Hacim artışının yaklaşık yarısı ortaya çıkan gazların eşliğinde gerçekleşmektedir.



Şekil 2-4 Pişirme sıcaklığına bağlı gerçekleşen değişimler

Ayrıca havanın ısınması sırasında genişmesi de diğer önemli bir etkidir. Su buharına doymuş bir havanın genişmesi sıcaklık arttıkça kuru havaya göre çok daha büyük oranlarda gerçekleşmektedir. Pişirmenin ilk kısmında gıda yüzeyinden gerçekleşen aşırı buhar transferi gıda yüzeyinin gereğinden önce kurumasına ve kabuk oluşumuna neden olacaktır. Gıda yüzeyinde kabuk oluşumu sonucu gıda iç bölgesine iletim ile ısı transferi azalarak iç pişirmenin yeterli derecede gerçekleşmesini engelleyecektir. Bu sebeple gıda yüzey sıcaklıkları 100°C'ye ulaşana kadar yüzeyden minimum nem kaybı ile gıda içerisine mümkün olduğu kadar fazla iletim ile ısı transferi gerçekleşmelidir.

Gıda bünyesindeki nişasta jelleşmesi 52-99°C sıcaklıkları aralığında gerçekleşmekte ve bu değişim zamana bağlı bir değişim göstermektedir. Proteinlerin denaturasyonu ve koyulaşması 70°C üzerindeki sıcaklıklarda oluşmaktadır. Gıda içerisinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucu dışarı verilen gazlar 65°C sıcaklıklara ulaşıldıktan sonra artmaktadır. Havadaki su buharına bağlı hacim artışı 70°C'den sonra hızlı bir şekilde artmaktadır.



Şekil 2-5 Su buharına doymuş hava ve kuru hava hacminin sıcaklıkla değişimi

Gıda yapısının oluşumu protein ve nişasta jellerinin oluşumlarına kadar gazların sürekli olarak genleşmelerine bağlıdır. Eğer gıda içerisindeki gaz transferi çok hızlı bir şekilde gerçekleşirse veya gıdaya ısı transferi gereğinden çok daha hızlı bir şekilde sağlanırsa gıdada gerekli kabarma sağlanamayacaktır. İdeal olarak gıdadan nem transferi gıda yapısının oluşumundan sonra gerçekleşmelidir. Fakat pratikte bu mümkün olmamaktadır. Nem transferi sadece gıda yüzeylerinden ortama doğru gerçekleşmektedir. Bu sayede kılcal hareket ile gıda iç bölgelerinden yüzeye doğru nem göçü sağlanmaktadır. Nem göçü ve kılcal hareket gıda bünyesinde oluşacak sıcaklık gradyanları ile hızlanmaktadır. Fakat gıda yüzeyi eğer çok fazla ısıtılırsa çok hızlı bir şekilde kuruyarak yüzeydeki renk değişimleri gereğinden önce gerçekleşecek ve yeterli pişmenin ve iç bölgeden nem transferinin sağlanması için beklenirken gıda yüzeyinde yanma gerçekleşecektir.

Pişirme sırasında gıda yüzeyinde gerçekleşen renk değişimlerinden genel olarak Maillard reaksiyonu, nişasta dekstrinizasyonu ve şekerlerin karamelizasyonu sorumludur. Maillard reaksiyonu sırasında gıda bünyesindeki şekerler proteinlerle 150-160°C sıcaklıkları aralığında tepkimeye girerek gıda yüzeyinde kırmızımsı-kahverengi renk tonunu oluştururlar. Bu reaksiyon sadece nemli bir ortamda gerçekleşir ve gıdaların daha sonradan ısıtılması ile gerçekleştirilemez. Gıda nispeten nem içerirken yüksek yüzey sıcaklıkları sağlamada taşınım ile ısı transferinden çok ışınım ile ısı transferi daha etkili olmaktadır. Ayrıca gıda yapısında boşluklar varsa yüzeye doğru gerçekleşen nem transferi yavaşlamakta ve yüzey sıcaklıkları daha hızlı artarak daha hızlı bir kahverengileşme gerçekleşmektedir.

QUADLUX INC (US) firmasının US47789195A numaralı patentinde (1998) genel olarak

yüksek güçlü, kısa dalga boyunda ışınım yapan kızıl ötesi lambaların fırınlarda pişirme amaçlı kullanılması için uygulanan pişirme algoritmaları anlatılmaktadır. İstenilen pişirmenin sağlanması için iki tip algoritma oluşturulmuştur. Bunlardan birinde lamba gücü sabit kalıp lambaların açık kalma süresi gittikçe azaltılmış, diğerinde ise lambaların açık kalma süreleri yanında güçleri de azaltılmıştır.

Ana maddesi hamur olan ekmek, kek vb. gıdaların fırında pişirilmesi esnasında, ürünün ısıtılması yanında ürün bünyesindeki suyun buharlaşarak fırın iç kavitesine doğru gerçekleşen kütle transferi ve eş zamanlı gerçekleşen kimyasal değişimler meydana gelir. Ürün yüzeyinde istenilen kahverengileşme ve kabuk oluşumunun derecesi, pişirilen ürünün standartlarına göre belirlenir. Konvansiyonel pişirme yöntemlerinde gıdaya doğru gerçekleşen ana ısı transfer mekanizması iletim ve taşınım ile sağlanmaktadır. Bu şekilde istenilen kalitede pişirme için gerekli şartlar sağlansa da pişirme süresi uzundur. Uzun dalga kızıl ötesi ışınım ise hızlı bir ısı transferi sağlasa da, penetrasyon özelliği düşük olup ürünün yüzey kısmını ısıtmaktadır. Kızıl ötesi ışınımın kısa dalga ve görünür kısma kayan kesiminde ise gıda yüzeyinde soğurulma genellikle düşük olup gıda içine penetrasyon daha fazla gerçekleşmektedir.

Buluştaki fırın şasisi üzerine ayrıca bir izolasyon malzemesi kullanılmamış onun yerine şasi dış ve fırın iç duvarı arasında boşluk bırakılarak (14) havanın izole edici özelliğinden faydalanılmıştır.

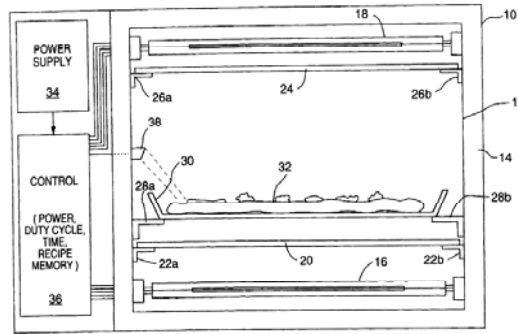


FIG. 1

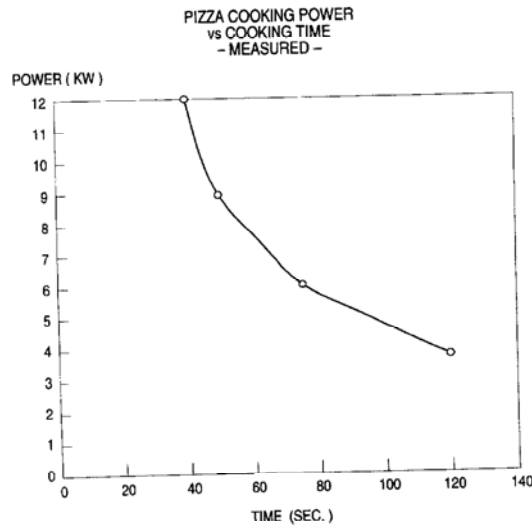
Şekil 2-6 Fırının önden görünüşü

Bu yöntem ile bir saat süre ile pizzalar pişirildiği halde fırın dış kısmının dokunulamayacak kadar sıcak olmadığı gözlenmiştir. Bu durum fırın şasi yüzeylerinin yüksek yansıtma özelliği göstermesinden ve kullanılan enerjinin büyük bölümünün gıdanın pişirilmesinde kullanılması sayesinde gerçekleşmiştir. Şasi malzemesi olarak parlatılmış alüminyum veya paslanmaz çelik kullanılmıştır. Pişirme kavitesi alt ve üst tarafına ışınımı geçiren plakalar yerleştirilerek

(20,24) lambalarla kavite birbirinden ayrılmıştır. Bu plakaların quartz, pirosesamik gibi yüksek kızıl ötesi geçirgenliğine sahip camlar olması önerilmektedir. Tepsinin (30), geçirgen bir malzemeden veya pişirilen üründe ktır ve kahverengi bir yüzey isteniyorsa siyah anodize alüminyumdan yapılması önerilmektedir. Ayrıca bir fan yardımı ile fırın bünyesindeki sıcak hava belli çevrimlerde çekilerek lambaların kapalı olduğu durumlarda fazla pişmenin önüne geçilmiştir.

Tasarımda ideal olarak beş adet üst beş adet de alt tarafta 208V ve 1500W güce sahip quartz halojen lambalar kullanılmıştır. Bu lambalar ile pişirme, %40~50 oranlarında görünür ışınımına yakın ve görünür ışınım bölgesinde gerçekleşmektedir. Halojen quartz lambalar yerine xenon-krypton arc lambaların kullanılması durumunda ise ışmanın 1 μ m altındaki dalga boylarının oranının, 95%'lere kadar çıktığı ve bu lambalar ile gerçekleştirilen pişirmeyle iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda alt ve üst tarafa 1,5 kW'lık, toplamda 3 kW güce sahip lambalarla pişirme hızı kayda değer bir gelişme göstermemiş, en uygun olarak beş adet alt ve beş tane üst tarafa yerleştirilmek üzere toplamda 15 kW güce sahip lambaların kullanılması uygun görülmüştür.

Genel olarak pişirme sürelerini azaltmak için ısıtıcı güçleri artırılması uygun bir çözüm olarak gözüke de konvansiyonel fırınlarda gücün artırılması ile fırın sıcaklığı çok yüksek değerlere çıkmakta ve yüksek sıcaklıklar gıdalara zarar vermektedir. Halbuki ışına kaynaklarının gücünün artırılması ile pişirme süresi arasında ters orantı olduğu görülmüş ve uygulanan algoritmalarla pizza için istenilen pişirme kalitesi sağlanmıştır. Şekil 2-7'de toplam güç arttırıldığında sürenin ters orantılı bir şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 2-7 Pişirme güç-zaman eğrisi

Pişirmede uygulanan algoritmada ilk olarak belirlenen bir T1 süresinde lambalar maksimum güçlerinde çalıştırılmıştır. Bu yeğinlikte ışınım görünüre yakın ve görünür spektrumunda bir karakter sergileyerek gıda içine maksimum penetrasyon sağlar. Işınımın gıda içine penetrasyon gerçekleştirilmeyen kısmı gıda yüzeyini kahverengileştirmeden sorumludur. Bu yaklaşık 120~200 °C aralığında gerçekleşir. Gıda yüzeyindeki buharlaşma 100 °C'de meydana gelir. Gıda yüzeyindeki nem var oldukça kahverengileşme gerçekleşmez. Eğer iç pişme sağlanmadan yüzeyin kahverengileşmesine izin verilirse penetrasyon özelliğine sahip ışınımın gıdanın iç bölgesine ilerlemesine engel olunur. T1 süresi boyunca çalıştırılan lambalar, gıdanın yüzeyindeki ve iç taraflardan yüzeye doğru ilerleyen nemin buharlaşmasına izin vermeden kapatılır. Bu süre gıda tipine göre deneysel sonuçlarla belirlenmiştir. Bu süreç ayrıca renk tekstüründeki değişimin bir sensör ile algılanması veya nem kontrolü yapılarak belirlenebilir. Lambaların kapalı olduğu T2 süresi boyunca pişirilen gıda içindeki nem yüzeye doğru gider. Daha sonra lambalar T1 süresinin yarısı kadar bir süre boyunca açık kaldığı T3 süresi yer alır. T3 süresi kısaca T1 süresinin eşit olarak on-off şeklinde ikiye bölünmesiyle sağlanır. Daha sonra bir T4 süresi boyunca lambalar kapalı durumda bırakılmıştır. Bundan sonra T3 süresi boyunca lambaların açık olduğu aralıkların yarısı kadar bir sürede lambaların açık olduğu kalan sürede ise kapalı olduğu bir T5 süresi belirlenir. T1-T5 zaman aralıkları belirlenirken görünüre yakın ve görünür ışınımın penetrasyonunu önleyen gıda yüzeyindeki kahverengileşmenin oluşmaması gerekmektedir.. Daha sonra eğer kızarmış çıtır bir yüzey isteniyorsa algoritmaya kahverengileşmenin sağlanıp son yüzey işleminin sona erdirildiği bir T6 süresi eklenebilir. Şekil 2-8'de 15 KW'lık toplam lamba gücünde belirlenen algoritma gözükmektedir.

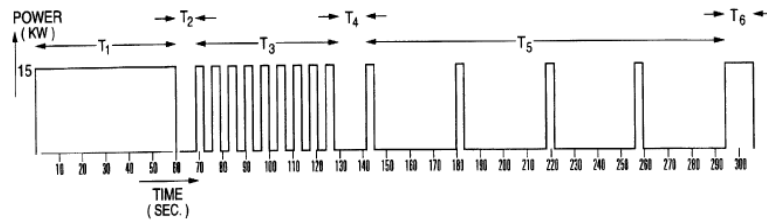


FIG. 5

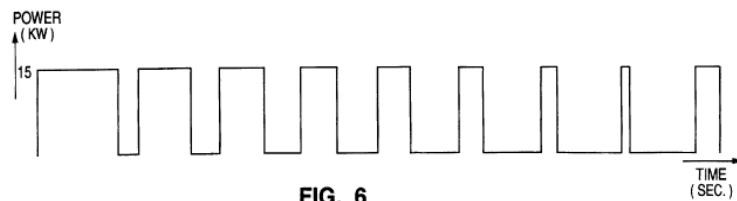


FIG. 6

Şekil 2-8 Çevrim güç-zaman grafiği

Bahsedilen bu süreler pişirme deneyleri ile belirlenebilir. Örnek olarak muffin fırına ilk konulduktan sonra kahverengileşmenin başladığı süre belirlenerek bundan 5 saniye çıkarılır ve T1 süresi belirlenir. Daha sonra başka bir kap kek koyularak T1 süresinin geçmesi beklenir. Sonrasında 5 sn beklenerek T1 süresinin yaklaşık yarısı açık yarısı kapalı olacak şekilde eşit aralıklara bölünerek aç-kapa şeklinde çalıştırılır. Kap kek yüzeyinin kahverengileşmeye başladığı an kaydedilerek 5 sn gibi bir süre çıkartılır ve T3 süresi belirlenir. Aynı şekilde fırına yeni bir kap kek koyularak belirlenen çevrimler uygulanır ve kekte istenilen pişirme sağlandığı an hesaplanarak T5 süresi hesaplanır. Bu sürelerin hesaplanması başka şekillerde de yapılabilir. Optik sensör vasıtası ile kahverengileşmenin başladığı anlar algılanabilir veya nem kontrolü yapılarak bu süreler belirlenebilir.

Bu algoritmadan farklı bir şekilde değişik gıda tiplerine göre lambaların maksimum penetrasyonun istendiği pişirme başlangıcı dışında lambaların güçleri düşürülebilir veya bazılarının gücü düşük, bazılarının yüksek olması istenebilir.

Çizelge 2-4 Bazı pişirme algoritmaları

Periyot	Zaman (sn)	Algoritma çevrimleri
Havuçlu kek		
T ₁	11	Sürekli açık
T ₂	3	
T ₃	16	3 sn açık/ 3 sn kapalı
T ₄	5	
T ₅	220	1 sn açık/ 10 sn kapalı
T ₆	0	
Tarçınlı çörekler		
T ₁	20	Sürekli açık
T ₂	0	
T ₃	30	3 sn açık/ 3 sn kapalı
T ₄	0	
T ₅	190	1 sn açık/ 6 sn kapalı
T ₆	0	
Hindi (4kg)		
T ₁	165	Sürekli açık
T ₂	0	
T ₃	160	3 sn açık/ 3 sn kapalı
T ₄	0	
T ₅	960	1 sn açık/ 3 sn kapalı
T ₆	0	
T ₇	480	1 sn açık/ 6 sn kapalı
T ₈	0	

3. LİTERATÜR VE PATENT ARAŞTIRMASINDAN ÇIKARIMLAR

Literatür ve patent araştırmasında kısa dalga kızıl ötesi lambaların pişirme karakteristiklerine yönelik çalışmalar incelenmiştir. İncelenen literatür ve patentlerden aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmıştır:

- Kızılötesi dalga boylarından, görünür spektrumunda bir kısmını içine alan ultra kısa dalga boylarında bir çok gıda için maksimum penetrasyon elde edildiği belirlenmiştir.
- Işınım ile ısı transferinin etkin bir hale gelmesi ile ön ısıtmasız algoritmaları pişirmelerin yapılabileceği belirlenmiştir. Pişirmeler gerçekleştirilirken, iç pişirme sağlanmadan yüzeyde kızarmaların başlamamasının gerektiği belirlenmiştir. Gıda yüzeyinde kahverengileşmenin başlaması sonucunda ışınımın gıda içine penetrasyonu oldukça azalmaktadır.
- Pişirme sırasında gıda yüzeyinde gerçekleşen renk değişimlerinden genel olarak Maillard reaksiyonu, nişasta dekstrinozasyonu ve şekerlerin karamelizasyonu sorumludur. Maillard reaksiyonu sırasında gıda bünyesindeki şekerler proteinlerle 150-160°C sıcaklıkları aralığında tepkimeye girerek gıda yüzeyinde kırmızımsı-kahverengi renk tonunu oluştururlar. Bu reaksiyon sadece nemli bir ortamda gerçekleşir ve gıdaların daha sonradan ısıtılması ile gerçekleştirilemez. Gıda nispeten nem içerirken yüksek yüzey sıcaklıkları sağlamada taşınım ile ısı transferinden çok ışınım ile ısı transferi daha etkili olmaktadır. Ayrıca gıda yapısında boşluklar varsa yüzeye doğru gerçekleşen nem transferi yavaşlamakta ve yüzey sıcaklıkları daha hızlı artarak daha hızlı bir kahverengileşme gerçekleşmektedir.
- Pişirmelerde düşük enerji tüketimi ve kısa sürelerin elde edilmesi için fırın duvarlarının düşük emisiviteli yüzeylere sahip olması gerektiği görülmüştür.
- Pişirme sırasında oluşan sıcaklık profilleri belirlenirken ısı transfer mekanizmaları ve ısı transfer miktarları beraber göz önünde bulundurulmalıdır.
- Gıdaya gerçekleşen ısı transferinin ne kadar hızlı gerçekleştiği, gıdada pişirme sırasında gıdanın yapısında gerçekleşen değişimleri, renk değişimlerini ve gıdanın içerdiği nem miktarını önemli ölçüde etkileyecektir.
- Pişirme algoritması ile ilgili incelenen dokümanlarda ana mantık olarak iki aşama öne çıkmaktadır. İlk aşamada iç pişirmenin gerçekleştirilmesi amacı ile görünür ve

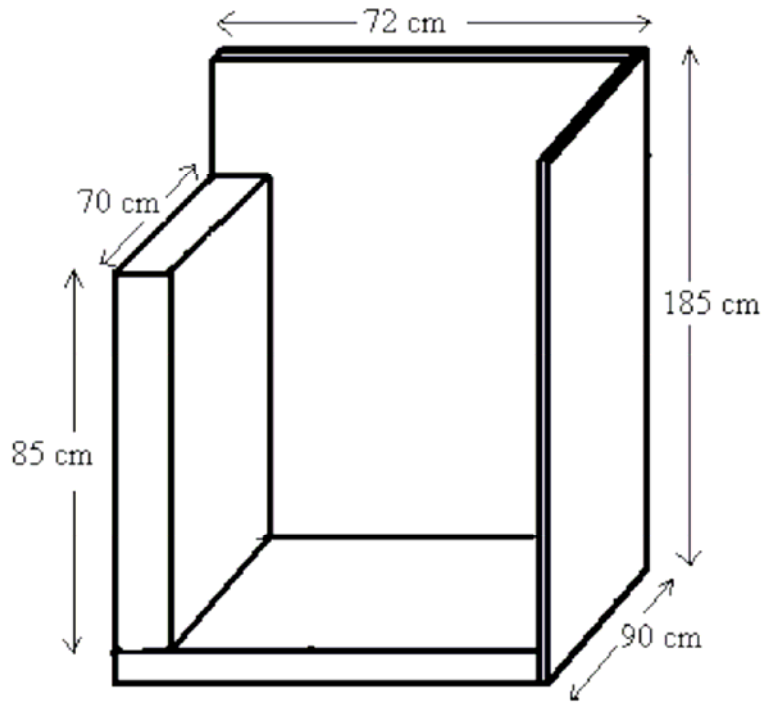
görünürü yakın spektrum aralığındaki ışınım kullanılmakta, ikinci aşamada yüzey bitirme ve çıtırlık sağlama için orta ve uzun dalga boyu aralığındaki ışınım kullanılmaktadır.

- Halojen kısa dalga kızıl ötesi lambaların pişirici cihazlarda kullanımında ışınımın homojen bir şekilde gıda üzerine yönlendirilmesi için reflektör kullanımının gerekliliği belirlenmiştir. Kısa dalga kızıl ötesi lamba ışınımının reflektörler ile yönlendirilmesinde ışığın optik özelliklerinden faydalanılmaktadır.
- Reflektör tasarımında genellikle iki geometri üzerinde durulmaktadır. Eliptik bir geometriye sahip reflektör kullanılması sonucu ısı daha dar bir alanda odaklanabilmektedir. Bu geometride bir reflektör kullanımının gıdanın kahverengileşmesinin sağlanmasında etkin bir rol oynadığı belirtilmiştir. Parabolik geometriye sahip bir reflektör kullanımında ise ısı, gıda yüzeyine daha homojen bir şekilde dağıtılabilmekte ve bu sayede iç pişme daha fazla gerçekleşmektedir. Reflektör patent incelemelerinde bir patent dışında pişirici cihazlarda kullanılan reflektörlerde malzeme olarak genellikle anodize alüminyum tercih edildiği görülmüştür.
- Halojen lambaların pişirici cihazlarda kullanımında gerekli bir diğer komponentin koruma camı olduğu belirlenmiştir. Pişirme sırasında açığa çıkan yağ, su buharı vb. atık gazların halojen lambalar üzerinde birikmesi sonucu lambaların ışınım verimi ve ömürleri azalmaktadır. Bu sebeple kullanılan halojen lambaların yoğunluk olarak gerçekleştirdiği dalga boylarındaki ışınımı en çok geçiren koruyucu cam kullanımı gerekmektedir.

4. DENEY DÜZENEĞİ

Deneyleerde kullanılan fırınların yerleştirildiği deney kabini EN50304 fırın enerji tüketim deney standartlarına uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney kabinlerinin boyutları aşağıda verilmiştir.

- Arka duvar: Yükseklik * Genişlik: 185* 72 (cm)
- Sağ yan duvar: Yükseklik * Genişlik: 185* 90 (cm)
- Sol yan duvar: Yükseklik * Genişlik*Derinlik: 85*15*70 (cm)



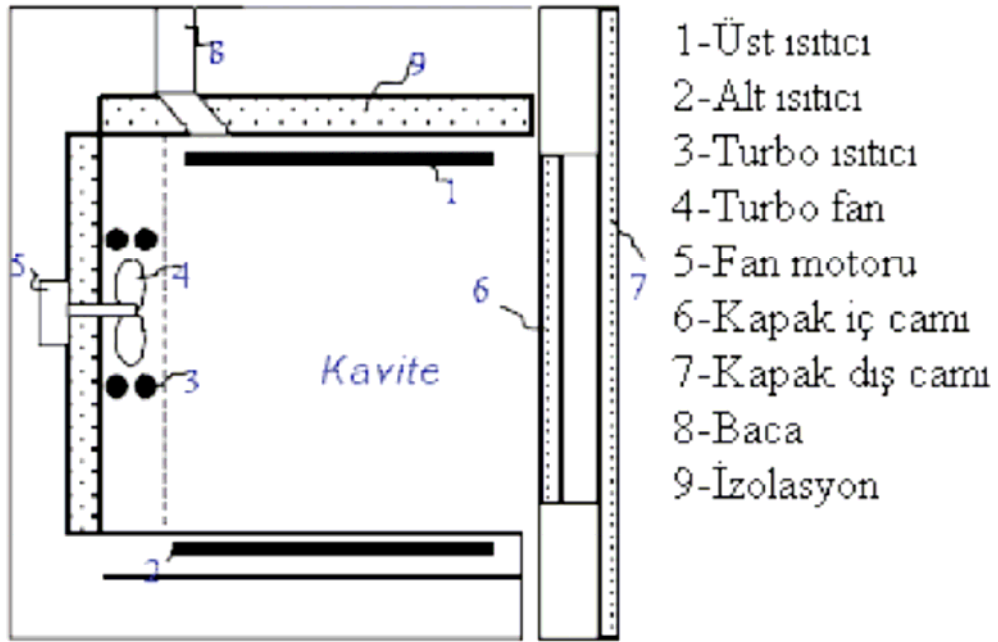
Şekil 4-1 EN 50304 standartlarına göre deney düzeneğinin şematik görüntüsü

Deneyleerde kullanılan fırınların genel özellikleri ise şu şekildedir:

- İç Hacim : 58 lt
- Yükseklik : 59 cm
- Genişlik: 60cm
- Derinlik: 60 cm

Deneyleerde kullanılan fırınlar; üst ısıtıcı, alt ısıtıcı ve turbo ısıtıcı olmak üzere üç ısıtıcıya sahiptir ve gıda pişirme kavitesi tek bölmeden oluşmaktadır. Turbo ısıtıcı pişirme kavitesi

dışında, fırın arka duvarında fırın koruma sacının arkasında gömülü vaziyette bulunmaktadır. Fırının şematik görünüşü Şekil 4-2’de görülmektedir.



Şekil 4-2 Fırının elemanları ile birlikte şematik görünüşü

Fırında kullanılan ısıtıcıların güçleri aşağıdaki gibidir:

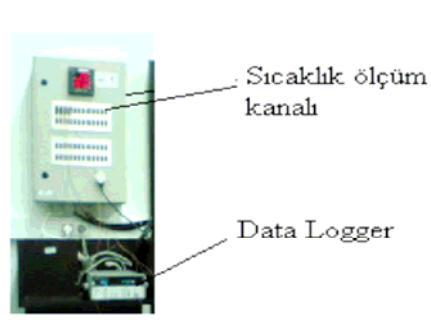
- Üst ısıtıcı: 1100W
- Alt ısıtıcı: 1300W
- Turbo ısıtıcı: 2100 W

Konvansiyonel tip fırınlarda turbo ısıtıcı merkezine yerleştirilmiş bir adet radyal fan bulunmaktadır. Bu fan aracılığı ile ısıtılan hava, hava dağıtım kanalları üzerinden geçirilerek fırın pişirme bölgesine gönderilmektedir. Fırınlar statik veya turbo durumunda çalıştırılabilmektedir. Statik modda sadece alt ve üst ısıtıcılar çalışır, fan çalışmaz. Turbo durumunda ise turbo ısıtıcı ve fan birlikte çalışmaktadır. Konvansiyonel fırınlarda kullanılan bir diğer pişirme durumu ise alt ve üst ısıtıcılar ile birlikte turbo ısıtıcı ve fanın çalıştığı elektro-turbo çalışma durumudur. Tez dahilinde yapılan deneysel çalışmalarda konvansiyonel fırının statik pişirme modu ile karşılaştırmalar yapıldığından dolayı turbo ısıtıcı kullanılmamıştır. Deneysel çalışmalar amacı ile hazırlanan test düzeneği Şekil 4-3’te görülmektedir.



Şekil 4-3 Deney düzeneği

Fırınlarda enerji tüketim deneyleri için hazırlanan istasyonların her birinde J tipi termo elaman kanalları bulunmaktadır. Bu termo elamanlar vasıtasıyla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ölçümler Data Logger ile alınmaktadır. Enerji, güç, gerilim ve akım ölçümleri ise analiz cihazları ile yapılmaktadır. Laboratuarda test edilen cihazların, test süresince gerilimleri 3 adet regülatör ile kontrol edilmektedir. Data Logger ve sıcaklık ölçüm kanalı Şekil 4-4'te gösterilmektedir.



Şekil 4-4 Data Logger ve sıcaklık ölçüm kanalının gösterilmesi

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Konvansiyonel fırınlarda gıdalar fırının termostatik sıcaklık kontrolü ile pişirilmektedir. Kullanılan ısıtıcılar rezistans tipi olup fırın içindeki etkin ısı transfer metodu taşınımıdır. Termostat istenilen sıcaklığa ayarlandıktan sonra fırın çalıştırılır ve belirlenen sıcaklık değerine ulaşılan kadar ısıtıcılar çalışır durumda kalır. Bu süre ön ısıtma süresi olarak adlandırılır. Mekanik termostatlı fırınlar, ayarlanan sıcaklık $\pm 10^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde çalışmaktadır. Ön ısıtma sonrası gıda fırın içerisine yerleştirilir ve fırın içi sıcaklığı ayarlanan sıcaklığın yaklaşık 10°C üstüne çıktığında ısıtıcılar kapanır. Fırın içi sıcaklığı ayarlanan sıcaklığın 10°C altına indiğinde ise ısıtıcılar tekrar çalışır. Bu şekilde sıcaklık salınımı gerçekleştiren fırında gıdanın pişip pişmediği kullanıcı tarafından gözlemlenerek pişirme sonlandırılır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda konvansiyonel üst ısıtıcı yerine iki adet kısa dalga kızıl ötesi halojen lamba kullanılmasına karar verilmiştir. Bu şekilde fırın içerisinde en etkin ısı transfer metodunun ışınım olacağı öngörülmüş ve gerçekleştirilen literatür ve patent araştırmalarından alınan çıktılar dahilinde bu tip lambaların pişirme amaçlı kullanımlarında gıdaların ön ısıtmasız, bir pişirme algoritması aracılığı ile pişirilmesinin en doğru yol olacağı belirlenmiştir. Ayrıca gıda pişirme algoritması deneysel çalışmaları sonucu (Bkz. Bölüm 5-2) optimum pişirme konumu olarak 3. raf tepsi konumu olarak belirlenmiştir. Pişirme bölgesi sıcaklık dağılımları bu konum referans alınarak gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalara genel olarak iki aşamadan oluşmuştur. Bunlar:

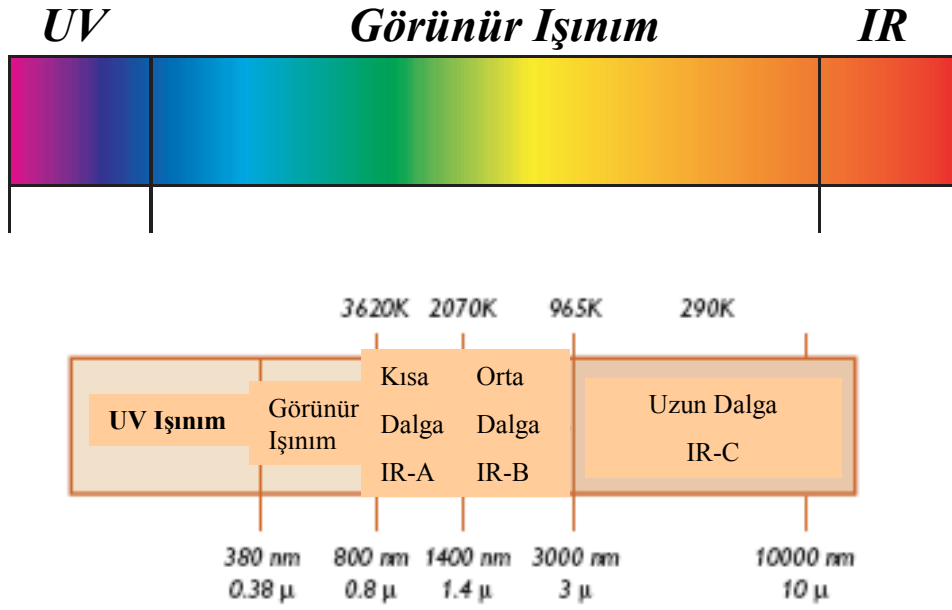
- Genel komponent belirleme ve komponent test deneyleri,
- Tasarlanan fırın prototipi ile pişirme algoritması oluşturma çalışmalarıdır.

5.1 Genel Komponent Belirleme ve Komponentlerin Fırına Yerleşimi Çalışmaları

Konvansiyonel yöntemlere göre daha hızlı pişirme gerçekleştiren, konvansiyonel ısıtıcı ve kızıl ötesi lambalara sahip kavramsal fırın tasarımında kızıl ötesi lamba dışındaki olan ek komponentler; reflektör ve koruyucu cam olarak belirlenmiştir. Çalışmalara ilk olarak kızıl ötesi halojen kısa dalga ışınım kaynağı araştırmaları ile başlanmış ve seçilen model üzerinden fırına adaptasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

5.1.1 Isıtıcı Lamba Tipi Belirleme Çalışmaları

Elektromanyetik spektrumdaki kızıl ötesi dalga boyu aralığı materyallerin en çok absorbladığı dalga boyu aralığı olduğu için genellikle ısı ışınım adını almaktadır. Kızıl ötesi spektrum 3 dalga boyu aralığından oluşmaktadır. Bunlar kısa dalga boyu aralığı (0.7-2 μ m) orta dalga boyu aralığı (2-4 μ m) ve uzun dalga boyu aralığıdır. (4 μ m-1 mm) Bunlara ilave olarak görünür spektrumu da kapsayan (0,4-1,35 μ m) dalga boyu aralığına yakın kızıl ötesi dalga boyu aralığı (NIR) adı verilmektedir.



Şekil 5-1 Kızıl ötesi ve görünür spektrum

Ev tipi fırınlarda kullanılan rezistans tipi ısıtıcıların ana ısı transfer mekanizmasını taşınım oluşturmaktadır. Bu tip ısıtıcıların ışınım verimi %30 ila %40 aralığındadır. Yayılan ışınım uzun dalga boyu aralığındadır. Işınım dalga boyu azaldıkça ışınımın frekansı ve enerji yoğunluğu artmakta dolayısı ile ışınım verimi artmaktadır. Bu sebeple kısa dalga boyunda ışınım yapan kızıl ötesi halojen lambalar ve orta dalgada ışınım yapan quartz lambalarda ışınımı etkin bölgeye yönlendirecek reflektör uygulaması gerekmektedir. Philips firmasına ait dalga boylarına göre ısıtıcı tipleri ve özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu çizelgeden kızıl ötesi kısa dalga boylarında ışınım yapan lambaların ışınım veriminin %94 olduğu görülmektedir. Bu sebeple konvansiyonel rezistans tipi ısıtıcılara sahip bir fırına kısa dalga halojen lambaların yerleştirilmesi durumunda fırın içinde gerçekleşen ana ısı transfer mekanizması taşınım yerine ışınım olmaktadır.

Çizelge 5-1 İnfrared ısıtıcı tipleri ve özellikleri

Infrared Dalga Boyu	Kısa Dalga	Orta Dalga	Uzun Dalga
Kaynak Tipi	Halojen lambalar	Quartz lambalar	Direnç tipi ısıtıcılar
Malzeme	Tungsten sarğı+Quartz tüp	Fe-Cr-Al alaşımı+Quartz tüp	Fe-Cr-Al alaşımı çelik tüp
Işınım Verimi	92%	60%	40%
AÇ/KAPA süresi	1sn.	30 sn.	5 dk.
Isı Transferi	Işınım	Işınım ve Taşınım	Taşınım
Hava Etkileşimi	Yok	Yüksek	Çok yüksek
Reflektör Gerekliliği	Gerekli	Kullanılabilir	Gereksiz
Renk Duyarlılığı	Yüksek	Orta	Düşük

Orta dalga boylarında pişirme, ışınımın bu frekans aralığında gıdaların yüzey moleküllerinin titreşimine yol açması ve ışınımın yüzeyde absorblanması ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple orta dalga boylu quartz lambalar gıdaların yüzeyini kızartmada ve kahverengileştirmede önemli rol oynamakta fakat ışınım gıda içine yeterli penetrasyonu sağlayamayarak yeterli iç pişirmeyi gerçekleştirememektedir. Kısa dalga boylarında özellikle 0,77-1,35 μm dalga boyu aralığında ışınım su molekülleri tarafından absorblanmakta bu sayede iç pişme belli bir seviyede gerçekleşmektedir. Işınımda görünür spektruma inildiğinde, atomlar arası bağları oluşturarak molekülleri meydana getiren elektronların titreşimi asıl absorpsiyon mekanizmasını oluşturmada dolayısı ile gıda içi penetrasyonda önemli bir bölge teşkil etmektedir. Kısa dalga halojen kızıl ötesi lambalar ışınımının yaklaşık %6'lık bir bölümünü görünür spektrumda sarı ve kırmızı bölgelerde gerçekleştirmektedir. Dolayısı ile kısa dalga kızıl ötesi lambalar görünür spektrumun altında bulunan ve atomlar arası bağları oluşturan elektronları orbitallerinden kopararak iyon haline getiren ve kimyasal bağları yok ederek gıdaların kimyasal yapılarını bozan UV spektrumunda ışınım yapmamaktadır.

Belirtilen bu sebeplerden dolayı, üst ısıtıcı olarak pişirmede en etkili olduğu gözlenen ve kısa dalga boyunda ışınım yayan kızıl ötesi halojen lambalar seçilmiştir. Deneyler Philips'ten temin edilen bu dalga boyu aralığında ışınım yayan, çeşitli boyut ve tipte lambalar ile yapılmıştır.

Çalışmalara ilk olarak kendinden reflektörlü 13713Z/98 tip kısa dalga kızıl ötesi lambalar ile başlanmıştır(Şekil5-2).



Şekil 5-2 Philips 13713Z/98 tip kısa dalga

Çizelge 5-2 Philips 13713Z/98 tip kısa dalga lamba özellikleri

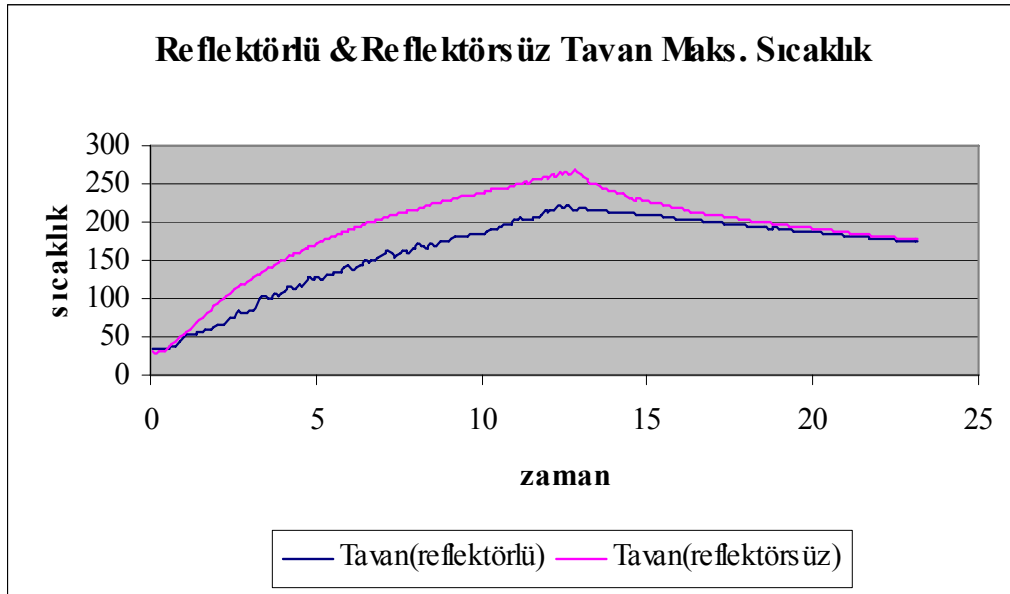
<i>Ampul Gücü</i>	<i>Duy/Soket</i>	<i>Toplam Ampül Boyu</i>	<i>Isıtma Boyutu</i>	<i>Çap</i>	<i>Ampul Ömrü</i>
1000W	SK15	355	280	11mm	5000 (h)

Yapılan deneylerde fırın tavan sıcaklığının yüksek olduğu belirlenmiş ve reflektörün etkisinin araştırılmasına karar verilmiştir. Lambanın üst bölgesinde bulunan boyalı reflektör kısmının ne kadar etkili olduğunun belirlenmesi için lambaların üst bölgesine alüminyum levhalardan hazırlanan harici reflektör yerleştirilmiştir.(Şekil 5-3)



Şekil 5-3 Reflektör yerleşimi

Harici reflektörlü ve reflektörsüz yapılan deneylerde iki durum içinde şasi tavan sıcaklıklarının zamanla değişimi belirlenmiştir.



Şekil 5-4 Şasi tavan sıcaklıklarının reflektörlü ve reflektörsüz durumda zamanla değişimi

Harici reflektör kullanıldığında ölçülen tavan sıcaklıklarının, ortalamada 20°C, maksimum sıcaklık olarak ise 41°C düştüğü görülmüştür. Dolayısı ile kendinden reflektörlü lambanın ışınımı yeteri kadar yönlendirmediği görülmüş ve reflektörsüz lamba ile harici reflektör kullanımına karar verilmiştir.

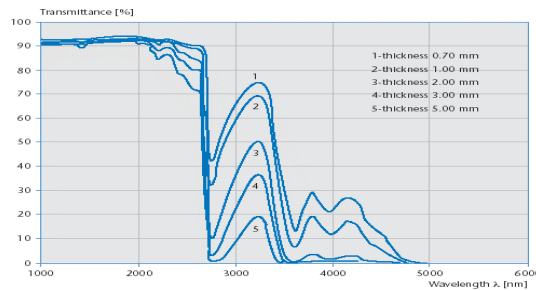
Çizelge 5-3 Tavan Sıcaklıkları

	<i>Tavan Ortalama Sıcaklığı</i>	<i>Maksimum Tavan Sıcaklığı</i>
<i>Alüminyum Reflektörlü</i>	194,5°C	217°C
<i>Reflektörsüz</i>	211,5°C	258°C

5.1.2 Koruyucu Cam Belirleme Çalışmaları

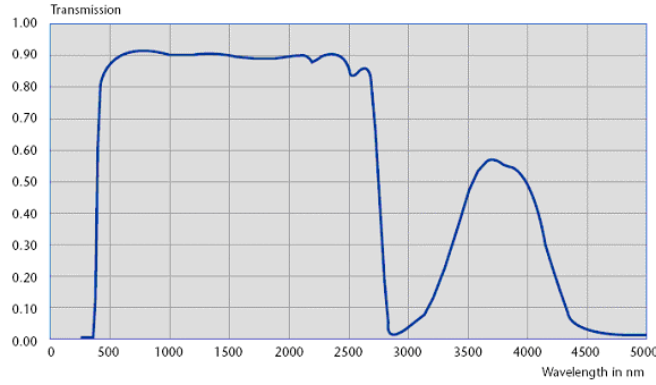
Pişirme sırasında oluşan atık gazlar, kir, yağ gibi maddeler kızıl ötesi lambaların yüzeyinde birikerek lambaların ışınım verimlerini düşürmekte, biriken yağ ve kirin yüksek lamba camı sıcaklığında yanması lamba arızalanmalarına ve lamba ömürlerinin kılmasına yol açmaktadır. Tez kapsamında yapılan literatür ve patent araştırmaları ve deneysel çalışmalarda, üst ısıtıcı yerine kullanılan quartz tüplü halojen lambaları, pişirme kavitesinden ayıran koruma camı kullanılmasının gerekliliği görülmüştür.

Koruma camı olarak kullanılacak cam tipi belirlenirken, iki önemli özellik olarak yüksek sıcaklıklara dayanım ve yüksek kızıl ötesi geçirgenliği belirlenmiştir. İlk aşamada Schott firmasından yüksek sıcaklığa dayanımlı Borofloat ve Robax marka camlar temin edilmiştir. Borofloat cam; %81 oranında SiO₂, 13% oranında B₂O₃, %4 oranında Na₂O/K₂O ve %2 oranında Al₂O₃ içermektedir. Camın kısa süreli kullanımında sıcaklık dayanımı 500°C, uzun süreli sıcaklık dayanımı ise 450°C'dir. Kızıl ötesi geçirgenliği ise 2800 nm dalga boylarına kadar %91 civarındadır. (Şekil5-5)



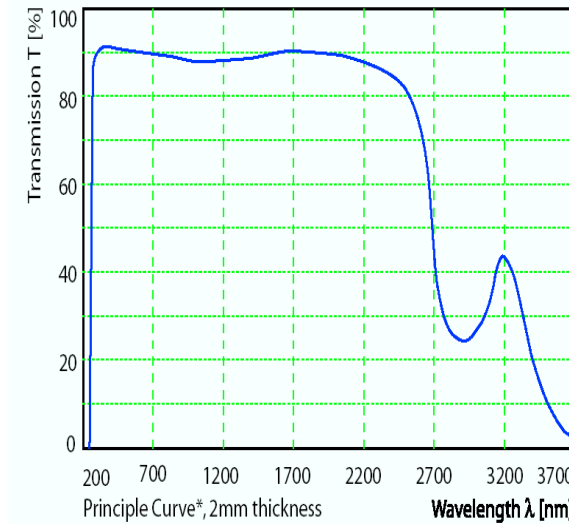
Şekil 5-5 Borofloat cam kızıl ötesi geçirgenlik

Schott firmasından temin edilen bir diğer cam daha yüksek sıcaklıklara dayanımlı Robax'tır. Camın kısa süreli kullanımında sıcaklık dayanımı 750°C uzun süreli sıcaklık dayanımı ise 700°C'dir. Kızıl ötesi geçirgenliği ise 2800 nm dalga boylarına kadar %91 civarlarındadır. (Şekil5-6)



Şekil 5-6 Robax cam kızıl ötesi geçirgenlik

Çalışmalarda numune olarak temin edilen bir diğer cam Corning firmasına ait Pyrex model camdır. Bu camın sıcaklık dayanımı kısa süreli kullanımda 300°C uzun süreli kullanımda ise 250°C'dir. Kızıl ötesi geçirgenliği ise 2800 nm dalga boylarına kadar %91 civarlarındadır(Şekil 5-7).

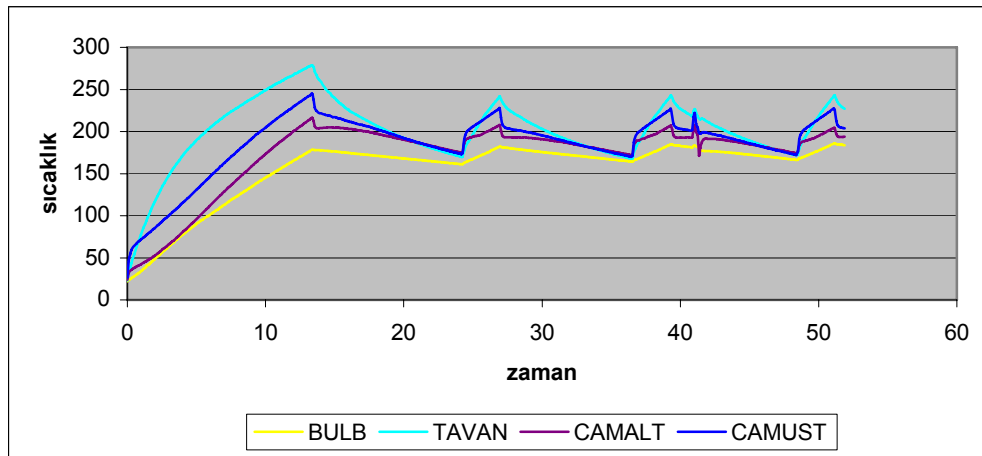


Şekil 5-7 Pyrex cam kızıl ötesi geçirgenlik

Çizelge 5-4 Koruyucu cam özellikleri

Cam Tipleri	Kalınlık (mm)	Kısa Süreli Sıcaklık Dayanımı(°C)	Uzun Süreli Sıcaklık Dayanımı(°C)
Borofloat	3,3	500	450
Robax	3	750	700
Pyrex	3	300	250

Deneysel çalışmalarda ilk olarak camların alt ve üst bölgelerine termokupl yerleştirilerek camın alt ve üst yüzeyindeki sıcaklık farkları belirlenmiştir. Cam alt ve üst bölgelerinde okunan sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın değerlerde olduğu belirlenmiş, bu da camların kızıl ötesi geçirgenliklerinin kısa dalga ışınımında birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir. Cam üst bölgesinde maksimum sıcaklığın 240°C ortalama sıcaklığın ise 199 °C’de olduğu belirlenmiştir. Alt bölgede ise maksimum sıcaklığın 210°C, ortalama sıcaklığın ise 187 °C’de olduğu belirlenmiştir(Şekil 5-8). Bu sonuçlardan kısa dalga kızıl ötesi lambalar ile kullanılan her üç cam modeli için kullanım sıcaklığı bakımından güvenli bölgede bulunduğu görülmüştür.



Şekil 5-8 Koruma camı sıcaklığı

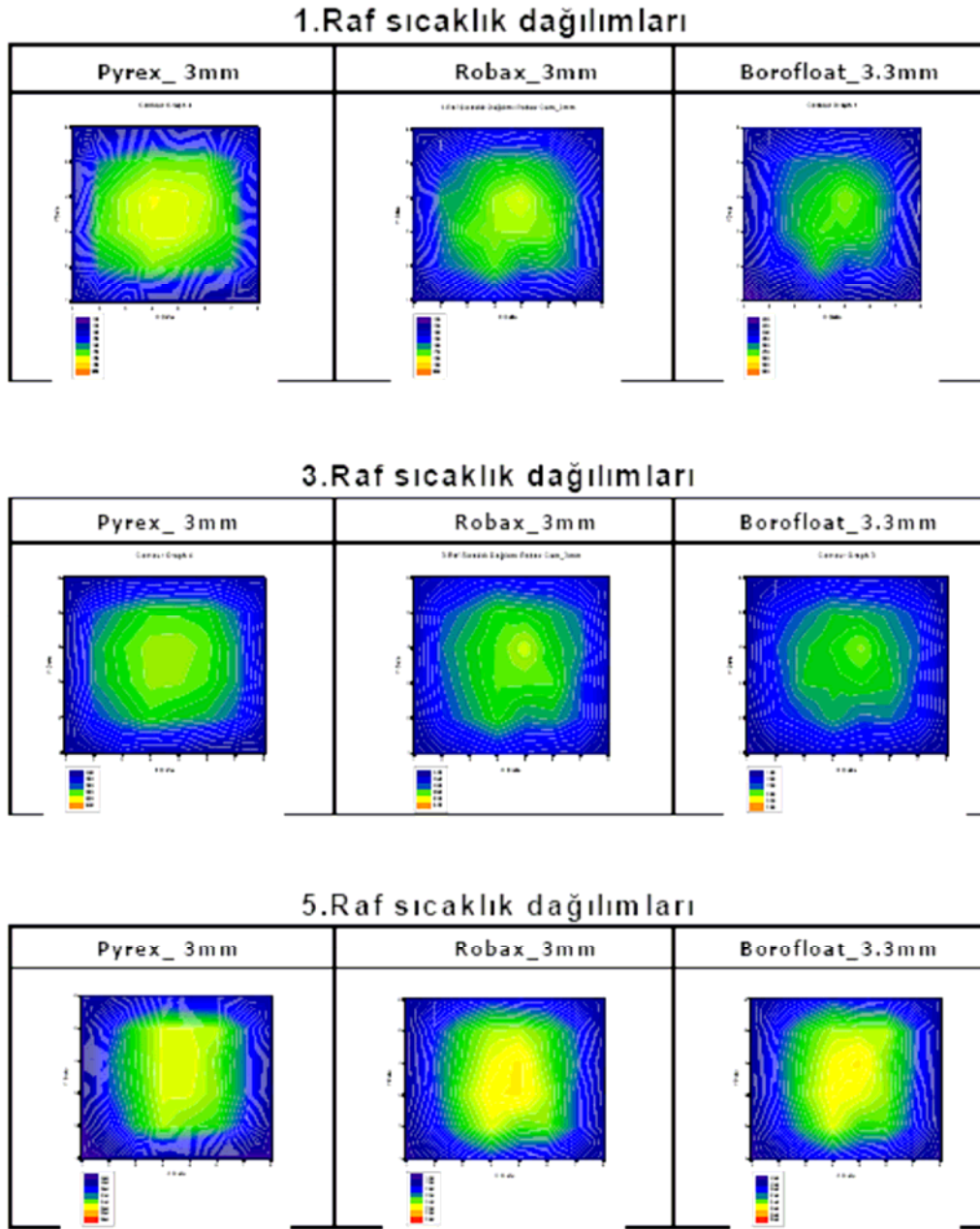
Daha sonra birinci, üçüncü ve beşinci raf konumları için koruma camının, pişirme tepsisi üzerindeki sıcaklık dağılımına etkisini görebilmek için toplamda 48 tane termokuplun bulunduğu bir grid düzenek hazırlanmış ve pişirme tepsisi yüzeyine sabitlenmiştir. (Şekil 5-9) Her cam için bir, üç ve beşinci tepsi konumlarında tepsi üzerinde oluşan sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Pişirme sıcaklıklarını yansıtması bakımından her raf konumu için 20. dakikaya

göre sıcaklık dağılımı Sigma Plot (2001) yazılımı aracılığı ile kontur grafikleri halinde verilmiştir(Şekil 5-10).



Şekil 5-9 Tepsi yüzeyine grid yerleşimi

Cam kullanılması sonucu gerçekleştirilen kek pişirme deneylerinde, ön ısıtma süresinin 2 dakika kadar, toplam pişirme süresinin ise 3-4 dakika kadar uzadığı görülmüştür. Kullanılan camların koruyucu özelliği yanında yapılan kek pişirme deneylerinde camsız kullanıma göre yüzeyde daha iyi bir dağılım elde edildiği gözlenmiştir. Buna camların ışınmayı geçirirken belli bir oranda kırarak dağıtmasının neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5-10 Raflara göre sıcaklık dağılımları

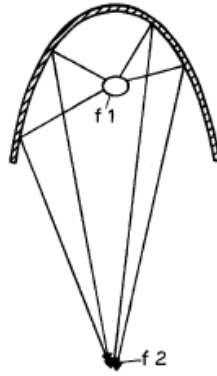
Kontur grafiklerden görüldüğü üzere en iyi sıcaklık dağılımları Pyrex model cam ile elde edilmiştir. Bunun nedeni bu model camın diğer modellere göre daha fazla orta dalga ışınım geçirgenliğinin olmasıdır.

5.1.3 Reflektör ve Isıtıcı Modül Çalışmaları

Kızıl ötesi ışınım da tıpkı görünür ışınım gibi istenilen bölgelere odaklanabilir veya dağıtılabilir. Bu amaçla kullanılan komponentlere reflektör adı verilmektedir. Reflektörler

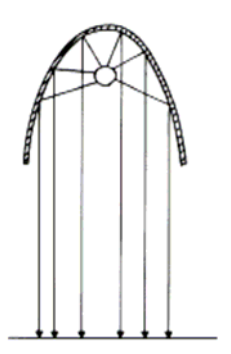
yansıtma oranı yüksek olan, genellikle metal yapıli elemanlardır. Reflektör yapımında genellikle parlatılmış yüzeye sahip alüminyum kullanılmaktadır. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda kızıl ötesi lambalar ile reflektör kullanımının, lambaların kendinden reflektörlü olması durumunda bile gerektiği belirlenmiştir (Bölüm 5.1.1).

Reflektörler genel olarak parabolik veya eliptik olmak üzere iki tip geometriye sahiptirler. Eliptik reflektörler daha çok ışınımın küçük yüzeylere odaklanmasında kullanılmaktadır. Elips geometrili reflektörlerin elips merkezinden eşit uzaklıkta olmak üzere 2 odak noktası mevcuttur.



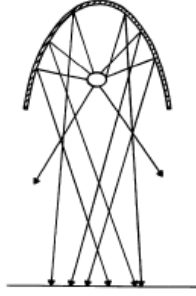
Şekil 5-11 Elips reflektör geometrisi

Elips geometrili bir reflektörün birinci odak noktasına ışınım kaynağı yerleştirildiğinde yayılan ışınım ikinci odak noktasında (f_2) odaklanır (Şekil 5-11). Eğer kaynak reflektör ile birinci odak noktası arasına yerleştirilirse elips reflektörün altında kalan alan homojen bir şekilde taranır. (Şekil 5-12)



Şekil 5-12 Kaynak f_1 üstünde

Eğer kaynak iki odak noktası arasında bir bölgede bulunuyorsa reflektörden yansıyan ışınlar daha geniş bir yüzeye yayılacaktır(Şekil 5-13).



Şekil 5-13 Kaynak f_1, f_2 arasında

Eliptik geometrili reflektörlerde, her ne kadar ışınım kaynağının konumları üzerinde oynama yapılması ile ışınımın daha geniş bir yüzeye dağılımı sağlanabilse de, ısıtma ve pişirme işlemleri için bu dağılım yeterli olmayabilmektedir. Pişirmede eliptik bir şekle sahip reflektör kullanılması sonucu ısı daha dar bir alanda odaklanmaktadır. Eliptik geometrili reflektörlerin pişirici cihazlarda daha çok yüzey kızartma ve kahverengileştirme işlemlerinde kullanıldığı belirlenmiştir.

Parabolik geometrili reflektörler ise ısıyı gıda yüzeyine daha homojen bir şekilde yönlendirmekte ve bu sayede gıda yüzeyinde yanma oluşmadan iç pişirmede daha etkin rol oynamaktadır. Ayrıca ışınımın daha geniş bir yüzeye yansıtılması için reflektif yüzeyde pürüzlü bir yapı tercih edilebilmektedir. Bu yapı genellikle aydınlatma için kullanılan reflektörlerde tercih edilse de, daha homojen bir pişirme için etkili olacağı düşünülmektedir.

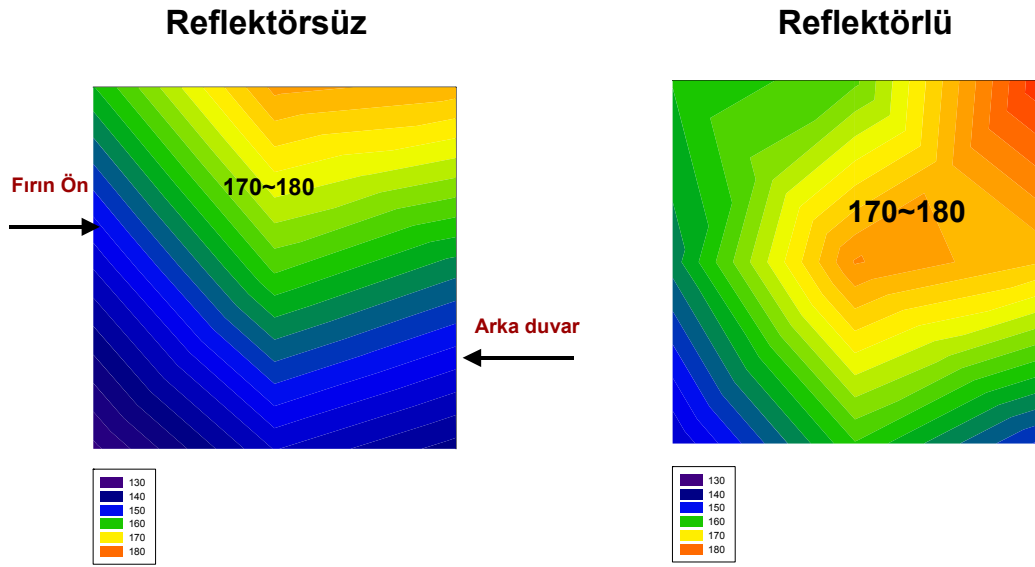
Bu iki tip reflektör geometrisinde de ışınımın bir kısmı tekrar ışınım kaynağı üzerine yönlendirilmektedir. Bu da ışınım kaynağı olarak kullanılan kızıl ötesi lambaların ışınım verimlerini düşürmekte ömürlerini kısaltmaktadır. Bu sebeple bu iki tip geometriye de uygulanabilecek bir çözüm olarak reflektörün merkez tepe bölgesinde patlatmalı bir yapı uygulanmasının gerektiği belirlenmiştir.

Reflektör malzemesi olarak genellikle anodize edilmiş alüminyum kullanılmaktadır. İncelenen uygulamalarda az da olsa paslanmaz çelik kullanıldığı da gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak 100°C mertebelerinde en yüksek yansıtıcılık değerine sahip olan alüminyumun, sıcaklığın 400°C mertebelerine ulaştığı durumlarda yansıtıcılık değerlerinde %40'a varan bir düşüşün gerçekleşmesidir. Paslanmaz çelikte ise bu düşüş sadece %2'dir.

Ayrıca tez deneysel çalışmalar kapsamında kullanılmakta olan alüminyum levhadan

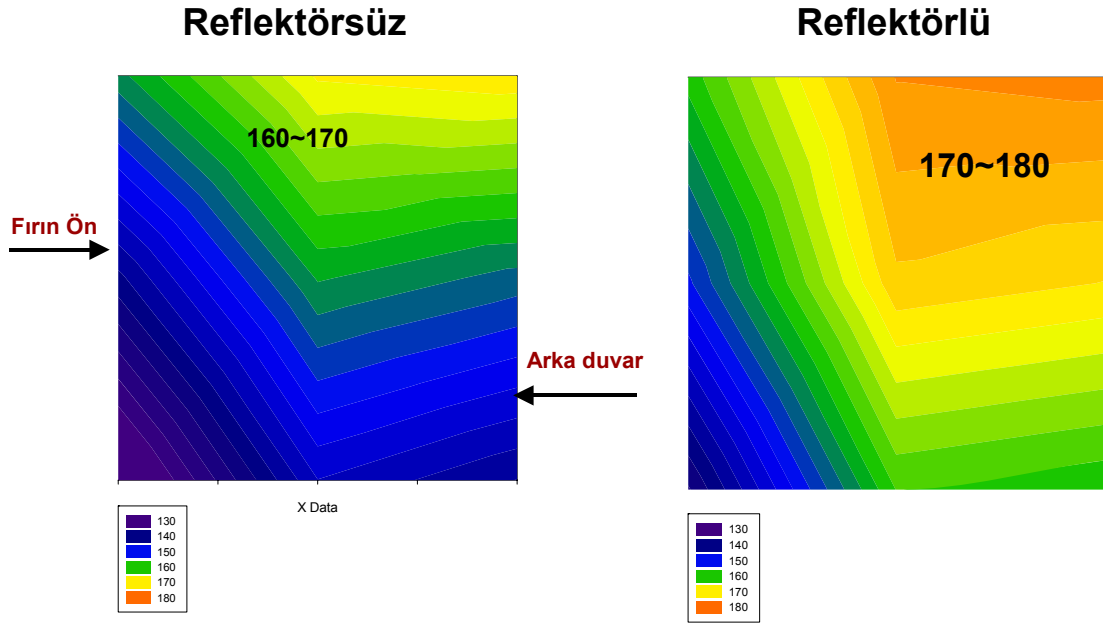
şekillendirilmiş reflektörlerin belli bir kullanım süresi sonunda yansıtıcılık değerlerindeki azalma dışında, yapısında yumuşama gözlenmiştir. Bu yumuşamanın zamanla reflektör geometrisini bozacağından dolayı paslanmaz çelik hazne içine alüminyum uygulaması veya daha kalın bir alüminyumun kullanımı bir çözüm olarak düşünülmüştür.

Gerçekleştirilen sıcaklık dağılımı deneylerinde reflektör kullanımı sonucu tavan sıcaklıklarında 40°C'ye varan sıcaklık düşüşü gözlenmiştir. Bu sıcaklık düşüşü ışınımın alt bölgelere doğru yönlendirildiği anlamına gelmektedir. Bunun tespit edilebilmesi için yan duvarlara dokuz adet termokupl simetrik biçimde yerleştirilmiş ve duvar sıcaklıkları reflektörsüz ve reflektörlü durumlar için karşılaştırılmıştır.



Şekil 5-14 Sağ duvar sıcaklık dağılımları

Sağ duvar sıcaklık dağılımlarına bakıldığında reflektörlü durumdayken önemli bir artma gözlenmemiştir. Fakat reflektörlü durumdayken ısı sağ duvarın alt bölgelerine doğru daha iyi bir dağılım sergilemiştir (Şekil 5-14). Bu da bir bakıma reflektörlü durumda reflektörsüz durumdayken tavana giden ısının pişirme bölgesine transfer olduğunu göstermektedir.



Şekil 5-15 Sol duvar sıcaklık dağılımları

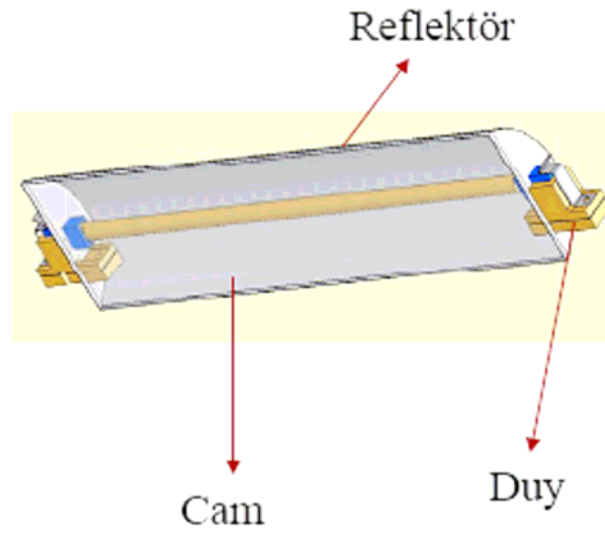
Sol duvar sıcaklıklarına bakıldığında reflektörlü durumda reflektörsüz duruma göre sıcaklıkların azda olsa arttığı gözlenmiştir. Bu sebeple optimum reflektör geometrisinin belirlenmesi için deneysel çalışmalar yanında teorik çalışmalar da sürdürülmüştür (Bkz Bölüm.6) .

5.1.4 Fırın İçi Yerleşim Çalışmaları

Kızıl ötesi ısıtıcıların konvansiyonel fırınlara uygulanmasında gerekli olacak komponentler lambalar, reflektör, duyu ve koruma camı olarak gözükmemektedir. Tez çalışmalarında iki lambanın üst ısıtıcı yerine kullanıldığı bir tasarım izlenmiştir. Lambaların konvansiyonel fırınlara yerleşiminde dikkat edilecek hususlar şu şekilde özetlenebilir:

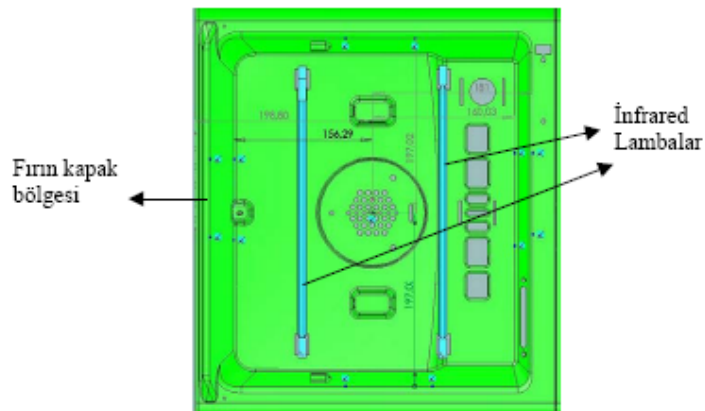
- Lambaların uç kısımlarının sıcaklığa karşı hassas yapılarından dolayı bu bölgeler üzerine gerçekleşen ışınım mümkün olduğunca engellenmelidir.
- Lambaların üst duvara yerleşiminde üst baca bölgesi kapatılmamalıdır.
- Lambaların üst duvara belirli geometrik kısıtlamalar dahilinde yerleştirilmesi gerekeceğinden, pişirme kavitesinde homojen bir ışınımın sağlanması bazı kısıtlamalar dahilinde gerçekleşecektir.
- Belirlenen komponentlerin ayrı ayrı montajı yerine hepsini içeren bir modül tasarımının gerçekleştirilmesinin konvansiyonel sistemlere daha kolay uygulanabilir

olacağı düşünülmektedir(Şekil 5-16).



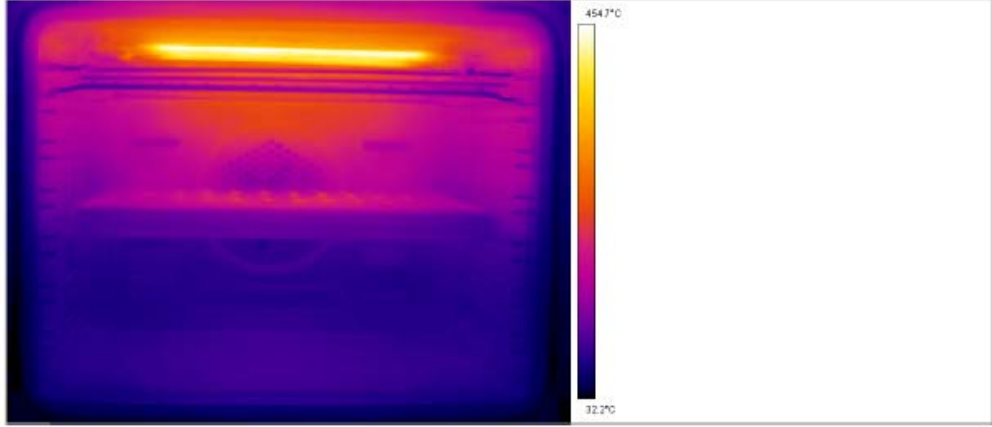
Şekil 5-16 Modül tasarımı

Tasarımda lambalar ön ve arka patlatma duvarlarına 80mm uzaklıklarda yerleştirilerek dairesel baca deliklerinin kapanması engellenmiştir. Şekil 5-17’de lambaların üst duvara belirtilen geometrik kısıtlamalar dahilinde optimum olarak belirlenen yerleşimi görülmektedir.

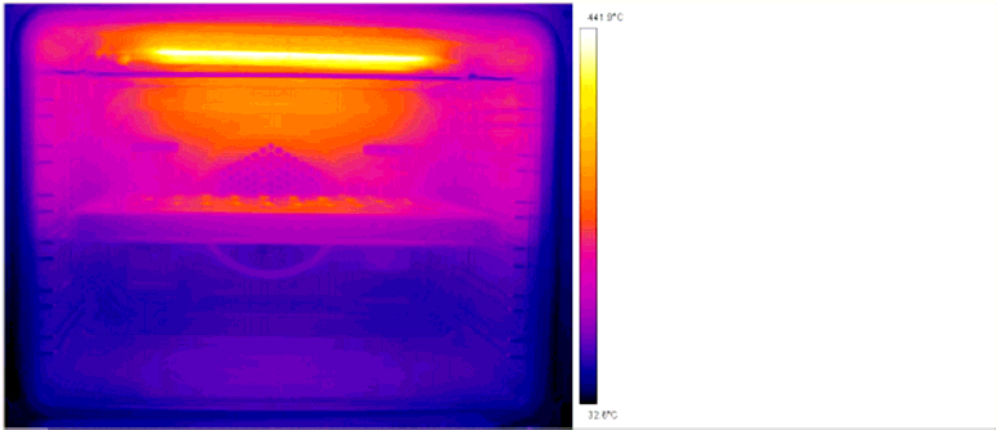


Şekil 5-17 Patlatma bölgesinde lambaların yerleşimi

Daha sonra Arçelik A.Ş.Arge’de bu yerleşim ile fırın içi termal kamera analizi koruma camlı ve camsız olarak yapılmış ve fırın içinde oluşan sıcak bölgeler belirlenmiştir. Duvar sıcaklık dağılımlarına göre reflektör yerleşimi tekrar gözden geçirilerek düzeltilmiştir.



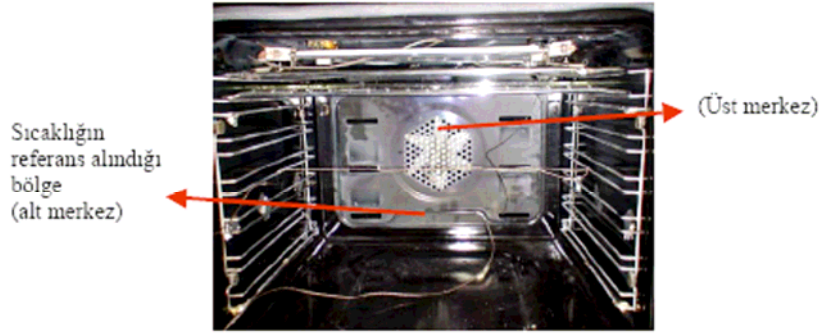
Şekil 5-18 Fırın içi termal kamera analizi (camlı)



Şekil 5-19 Fırın içi termal kamera analizi (camsız)

Tez çalışmaları dahilinde fırın yerleşiminin çalışılması gereken en önemli komponent olarak ise mekanik termostat bulunmaktadır. Konvansiyonel fırınlarda genellikle arka şasi duvarının sağ üst bölgesinde bulunan termostat, fırın içi etkin ısı transfer mekanizması taşınım olduğu durum için uygun olmaktadır. Fakat fırın içerisinde etkin ısı transfer mekanizması ışınım olduğu durumda termostat bölgesi sıcaklıkları geç yükselmekte bu sebeple okunan sıcaklıklar gerçek pişirme bölgesi sıcaklıklarını yansıtmamaktadır. Ön ısıtma sıcaklığına ulaşana kadar geriden takip eden termostat bölgesi sıcaklığı, ön ısıtma sonrasında ise koruma camının üst bölgeyi kaviteden ayırdığı durumda fırın içinden daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. İkinci

sorunun önüne bir modül uygulaması ile geçilebilmektedir. İlk sorunun çözümü için ise fırın iç kavite sıcaklığını en doğru şekilde yansıtacak bölgenin belirlenmesine çalışılmıştır. Sıcaklığın referans olarak alt veya üst merkezden alınabileceği düşünülmüştür. Gerçekleştirilen pişirme deneylerinde alt merkezin fırın iç kavite sıcaklığını en doğru şekilde yansıttığı belirlenmiştir (Şekil 5-20).



Şekil 5-20 Blomberg fırın iç görünümü

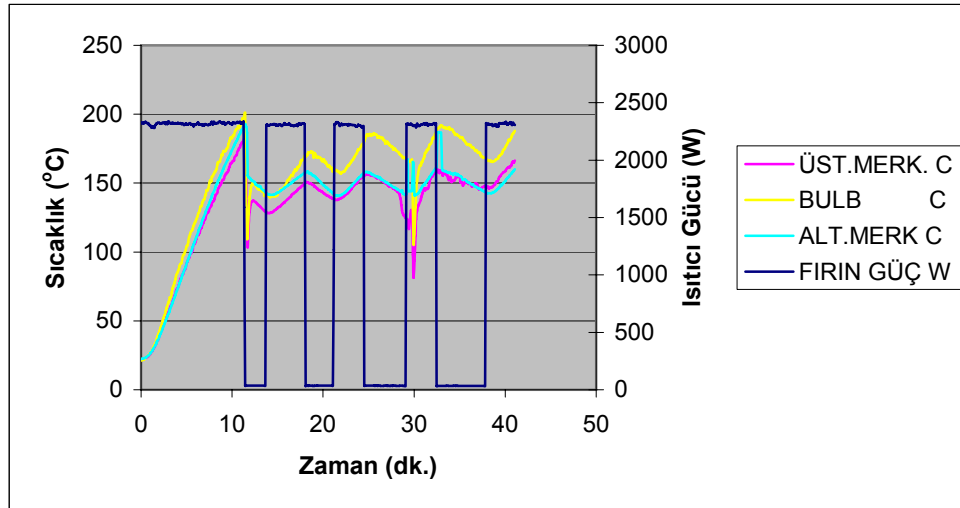
5.2 Pişirme Algoritması Oluşturma Çalışmaları

Pişirme sırasında birçok kimyasal reaksiyon ve fiziksel değişim meydana gelmektedir. Gerçekleşen kimyasal reaksiyonlardan en önemlileri; Maillard reaksiyonu, protein denaturasyonu, nişasta jelleşmesi ve CO₂ çıkışıdır. Gerçekleşen fiziksel değişimler ise kütle transferi (su, yağ) ve boyut değişimidir (kabarma, büzülme). Maillard reaksiyonu 130~140°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonda pişirilen gıda yüzeyinde kahverengileşme şekerlerin protein ile reaksiyona girmesi sonucu gerçekleşmektedir. Protein denaturasyonu sırasında gıdaların protein yapılarında değişiklik meydana gelmektedir (yumurta beyazının katılaşması). Gıda protein yapılarındaki bu değişimler farklı sıcaklıklarda farklı şekillerde gerçekleşmektedir. CO₂ çıkışı karbonhidratların mayalanması sırasında meydana gelerek gıdalarda kabarmayı sağlamaktadır.

Üst ısıtıcı yerine halojen lambaların yerleştirildiği hibrit fırın tasarımında pişirme kavitesi içerisinde ışınımın oldukça etkin olması sebebi ile daha önceden de belirtildiği üzere pişirmenin mekanik termostat kontrolünde sıcaklık salınımı ile gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bunun yerine ısıtıcıların pişirilen gıda tipine göre açılıp kapandığı pişirme algoritmaları kullanılmaktadır. Tez kapsamında yapılan tasarımda, fırın üst bölgesinde ana ısı

transfer mekanizması ışınım, alt bölgesinde ise taşınım olan iki farklı tip ısıtıcı kullanılmakta olduğundan, pişirme ısıtıcıların aynı anda ve teker teker belli bir sıra ile çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen pişirme deneylerinde görülmüştür ki, konvansiyonel alt ısıtıcı normal statik salınımla çalıştırılabilmekte ve üst ısıtıcı yerine kullanılan kızıl ötesi lambalar belli algoritmalar eşliğinde kullanılabilirlerdir.

Konvansiyonel ısıtıcılara sahip bir fırının statik konumunda standart bir tepsi börek veya kek şu şekilde pişirilir; fırın termostatı ilk olarak 180°C'ye ayarlanarak fırının bu sıcaklığa ulaşması beklenir. Tepsi börek veya kek ön ısıtma yapıldıktan sonra fırın içerisine yerleştirilir. Termostat, börek yerleştirildikten sonra fırın sıcaklığı 190°C'ye ulaştığında ısıtıcıları kapatır. Fırın sıcaklığı 170°C'ye indiğinde ise ısıtıcıları tekrar açar. Börek bu şekilde gerçekleşen birkaç çevrim sonrası pişer (Şekil 5-21).



Şekil 5-21 Konvansiyonel fırında börek pişirme (statik)

Konvansiyonel bir fırında ön ısıtma süresince alt merkez, üst merkez ve termostat sıcaklıkları birbirlerine çok yakın şekilde artmaktadır. Burada alt merkez ile tanımlanan üçüncü raf konumu ile şasi alt yüzey aralığının orta noktası, üst merkez ile tanımlanan ise üçüncü raf konumu ile şasi tavan yüzeyi arasındaki mesafenin orta noktasıdır. Konvansiyonel fırında statik çalışma konumunda fırın içi sıcaklıkların homojen bir dağılım sergilemesinde en önemli etken rezistans tipi elektrikli ısıtıcılar ile ısıtılan bir fırının ana ısı transfer mekanizmasının taşınım olmasıdır. Ön ısıtma sonrası bir tepsi börek yerleştirildikten ve fırın içi sıcaklıkları dengeye geldikten sonra termostat sıcaklığı alt ve üst merkez sıcaklığından yaklaşık 30°C daha yüksek sıcaklıklarda salınım yapmaktadır. Alt ve üst merkez sıcaklıkları 150°C civarlarında iken termostat sıcaklığı 180°C civarlarında salınım yapmaktadır. Çizelge 5-5'te

konvansiyonel ısıtıcılarla yapılan börek pişirme deneyinde elde edilen bazı sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 5-5 Konvansiyonel pişirmede bazı bölge sıcaklıkları ve toplam pişirme süresi

	Ön ısıtma	Ön ısıtma sonrası	Toplam Süre
Alt Merkez Sıcaklığı	198°C	155°C (ortalama)	
Üst Merkez Sıcaklığı	183°C	150°C (ortalama)	
Termostat Sıcaklığı	192°C	180°C (ortalama)	
Piştirme Süresi	11 dk.	30 dk.	41 dk.

Şekil 5-22’de ise konvansiyonel fırında, statik konumda yapılan börek pişirme deneyinin sonuçları görülmektedir. Piştirme sırasında tüketilen enerji miktarı 940 Wh’tir. Tez çalışmaları dahilinde halojen lambaların üst ısıtıcı yerine kullanıldığı hibrit fırın tasarımı ile yapılan pişirmelerde, piştirme kalitesi ve piştirme parametrelerine referans olarak konvansiyonel statik fırından alınan sonuçlar kullanılmıştır.



Şekil 5-22 Statik börek piştirme sonucu

Piştirme algoritması çalışmalarında konvansiyonel yöntemlerde statik salınım ile pişirilen gıdalar referans olarak kullanılmış ve statik pişirmede gıda alt ve üst yüzeyleri ile iç bölge sıcaklık haritaları oluşturularak, algoritma ile pişirmelerde bu sıcaklık dağılımlarına ulaşılması hedeflenmiştir. Halojen lambalı hibrit fırın ile gerçekleştirilen pişirmelerde ana hedefler ise konvansiyonel fırınlara göre daha düşük enerji tüketiminde ve daha kısa sürede piştirme gerçekleştirilmesidir.

Piştirme raf konumu belirlenmesi amacı ile yapılan deneyler sonucu alt ve üst yüzeylerde en etkin sıcaklık dağılımların 3. raf konumunda sağlandığı belirlenmiştir. Halojen lambalar ile piştirme algoritması oluşturma çalışmalarında sırası ile şu adımlar incelenmiştir:

- Üst lamba gücü 1300 W ön ısıtmalı pişirmeler
- Üst lamba gücü 1300 W ön ısıtmasız pişirmeler
- Üst lamba gücü 2000 W ön ısıtmasız pişirmeler

Algoritma çalışmalarında ilk olarak 1300 W toplam lamba gücü kullanılmıştır. Bu güç, konvansiyonel pişirmede elektrikli üst ısıtıcı gücü ile aynı olması ve karşılaştırmanın bu şekilde yapılması için seçilmiştir. Kullanılan iki lambanın nominal güçleri 1000'er W olduğu için lambaların gücü voltajları düşürülerek azaltılmıştır. Gıdanın fırın içine yerleştirilmesinden önce gerçekleştirilen ön ısıtma, konvansiyonel yöntemde kullanılan termostat sıcaklığına göre değil, pişirme tepsisinin konumuna göre belirlenen alt ve üst merkezlerden termokupllar ile alınan sıcaklık değerlerine göre belirlenmiştir. Ön ısıtmalı pişirme için en uygun olan alt ve üst merkez sıcaklıkları yapılan pişirme deneyleri ile denenmiştir. Yukarıda belirtilen üç denemede alt ve üst merkez sıcaklıkları şu şekildedir:

- Alt ve Üst Merkez~220 °C
- Alt ve Üst Merkez~185 °C
- Alt ve Üst Merkez~200°C

Alt ve üst merkez sıcaklıkları 220°C'ye kadar ön ısıtma yapılarak gerçekleştirilen pişirmede elde edilen fırın içi sıcaklıkları Çizelge 5-6'da verilmiştir.

Çizelge 5-6 Alt merkez 220°C'ye göre ön ısıtmalı börek pişirme

	Ön ısıtma	Ön ısıtma sonrası	Toplam Süre
Alt Merkez Sıcaklığı	220°C	180°C (ortalama)	
Üst Merkez Sıcaklığı	215°C	185°C (ortalama)	
Termostat Sıcaklığı	171°C	190°C (ortalama)	
Pişirme Süresi	12 dk.	19 dk.	31 dk.

Bu şekilde gerçekleştirilen pişirmede ön ısıtma süresi 12 dakika sürmüş pişirme süresinde gerçekleşen enerji tüketimi 960 Wh civarlarında hesaplanmıştır. Pişirme süresinde statik konvansiyonel yöntemde göre 9'dk lık bir azaltma gerçekleşmiştir. Fakat pişirme bölgesi sıcaklıkları ön ısıtma sonrası 180 °C civarlarında salınmıştır. Bu değer konvansiyonel pişirmedeki pişirme bölgesi sıcaklıklarınının 30 °C kadar üstündedir. Bu sebeple ön ısıtmalı

pişirme algoritması oluşturma çalışmalarında ikinci olarak ön ısıtmanın üst ve alt merkez sıcaklıklarının 185 °C olduğu duruma göre yapılmış ve aynı pişirme algoritması kullanılmıştır. Ön ısıtma sonrası bir tepsi börek yerleştirildikten sonra üst halojen lambalar kapatılmış ve alt ısıtıcının 170°C~190°C aralığında iki çevrim yapmasına izin verilmiştir. Daha sonra halojen lambalar da açılarak iki çevrim daha yaptırılmıştır. Toplam pişirme süresi 33 dk'dır.(Çizelge 5-7)

Çizelge 5-7 Alt merkez 190°C'ye göre ön ısıtmalı börek pişirme

	Ön ısıtma	Ön ısıtma sonrası	Toplam Süre
Alt Merkez Sıcaklığı	190°C	177°C (ortalama)	
Üst Merkez Sıcaklığı	189°C	146°C (ortalama)	
Termostat Sıcaklığı	146°C	153°C (ortalama)	
Piştirme Süresi	11 dk.	22 dk.	33 dk.

Piştirme sonuçlarına bakıldığında enerji tüketiminde azalma sağlanmadığı görülmüştür. Piştirme süresince gerçekleşen enerji tüketimi 870 Wh civarındadır. Ön ısıtma sonrası istenilen alt ve üst merkez ortalama sıcaklıkları elde edilse de, piştirme kalitesi bakımından konvansiyonel yöntemle gerçekleştirilen piştirme sonucuna göre kıtırılık bakımından biraz daha fazla olduğu görülmüştür.

Gözlenen piştirme deneyleri sonuçlarında ön ısıtmalı pişirmelerde en uygun üst ve alt merkez sıcaklıkları olarak 200°C belirlenmiştir. Buna göre gerçekleştirilen pişirmede alt ve üst merkez sıcaklıkları 150~200°C aralığında, konvansiyonel yöntemlere yakın değerlerde gerçekleştirilmiştir. Piştirme sonucuna bakıldığında kalite bakımından diğer iki ön ısıtma sıcaklıklarına göre daha iyi bir ürün elde edildiği görülmüştür. Halojen lambalar ile ön ısıtmalı börek pişirilmesi sırasında elde edilen fırın içi sıcaklıkları Çizelge 5-8'de verilmiştir.

Çizelge 5-8 Alt merkez 200°C'ye göre ön ısıtmalı börek piştirme

	Ön ısıtma	Ön ısıtma sonrası	Toplam Süre
Alt Merkez Sıcaklığı	200°C	175°C (ortalama)	
Üst Merkez Sıcaklığı	196°C	150°C (ortalama)	
Termostat Sıcaklığı	154°C	175°C (ortalama)	
Piştirme Süresi	10 dk.	22 dk.	32 dk.

Piştirme sonuçları değerlendirildiğinde halojen lambalı hibrit fırın tasarımı ile ön ısıtmalı şekilde gerçekleştirilen pişirmelerde ortaya çıkan ürünlerin konvansiyonel yöntemler ile

karşılaştırılabilir olduğu belirlenmiştir. Pişirme süresinde ise konvansiyonel yöntemlere göre yaklaşık 8 dakikalık bir kısalma sağlansa da, kızıl ötesi ışınımın etkinliğinin ön ısıtmasız pişirmede daha etkin ortaya çıkacağı öngörüldüğü için çalışmaların ikinci kısmında 1300W ön ısıtmasız gıda pişirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Ön ısıtmasız şekilde gerçekleştirilen pişirmelerde belirlenen 4 tip gıda (börek, kek, pizza, muffin) için pişirme deneyleri tekrarlı şekilde yapılmış ve en uygun pişirme algoritmalarının elde edilmesine çalışılmıştır. Pişirilen gıdaların, konvansiyonel yöntemler ile gerçekleştirilen pişirmelerle karşılaştırmalı duyu analizi değerlendirilmeleri yapılmış ve ortaya çıkan ürünlerde yeterli tat ve doku oluşumunun sağlandığı belirlenmiştir. Pişirme süresi ve enerji tüketimlerine bakıldığında ise ön ısıtmasız pişirmede önemli avantajların yakalandığı görülmüştür. Çizelge 5-9'da ön ısıtmasız börek pişirme için fırın içi sıcaklıkları verilmektedir. Fırın içi sıcaklıklarının düşük olması, halojen lamba ile fırın içi havasından ziyade gıdanın ısıtıldığını göstermektedir.

Çizelge 5-9 Ön ısıtmasız (1300W) börek pişirme bölge sıcaklıkları tablosu

	Pişirme	Toplam Süre
Alt Merkez Sıcaklığı	125°C (ortalama)	
Üst Merkez Sıcaklığı	130°C (ortalama)	
Termostat Sıcaklığı	80°C (ortalama)	
Pişirme Süresi		25 dk.

Ön ısıtmasız 1300 W üst ısıtıcı gücünde belirlenen tüm gıdalar için pişirme algoritmaları oluşturulmuştur.

Çizelge 5-10 Börek pişirme karşılaştırma tablosu

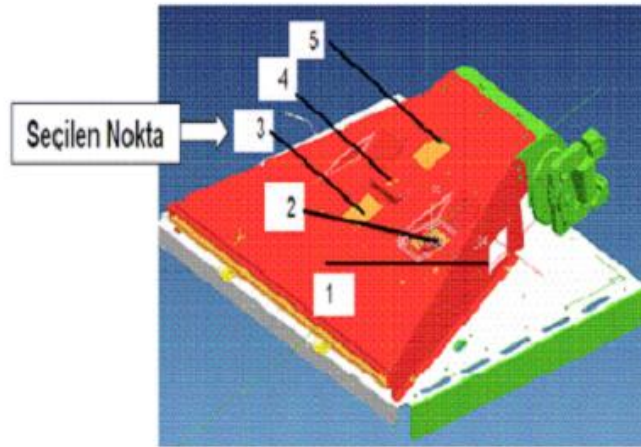
BÖREK	Konvansiyonel Fırın		Infrared + Konvansiyonel Fırın			
	Term. 180 °C	Alt M. 250 °C	Term. 180 °C	Alt M. 220 °C	Alt M. 200 °C	Ön ısıtmasız
Ön ısıtma (dk.)	11	15	15	12	10	Yok
Pişirme Kalitesi	İyi	Kötü	İyi	İyi	İyi	İyi
Enerji Tüketimi (Wh)	920	1120	1018	960	880	835

Kızıl ötesi ışınım hakkında gerçekleştirilen literatür ve deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde, ışınımın dalga boyu görünür spektruma yaklaştıkça gıda içindeki su moleküllerinin ışınımı absorblama miktarlarının maksimum değerlere çıktığı belirlenmiştir.

Fakat ısıtıcı güçleri voltaj düşürülerek azaltıldığında lambaların ışınım dalga boyları orta dalga boylarına doğru gittiğinden ışınımın gıda içine penetre etme özelliğinden yeterli ölçüde faydalanılamamaktadır. Bu sebeple çalışmalarda bir sonraki aşamanın kızıl ötesi lambaların nominal güçleri olan 1000'er W'ta toplam üst ısıtıcı gücü ise 2000 W olarak pişirme algoritmalarının oluşturulması çalışmalarının yapılmasına karar verilmiştir.

Halojen lambalar ile 2000 W pişirme algoritmaları oluşturulurken 1300 W toplam lamba gücü ile elde edilen algoritmalarda elde edilen bilgilerden faydalanılmış ve belirlenen 4 tip gıda için (tepsi kek, tepsi börek, muffin, tepsi pizza) algoritmalar oluşturulmuştur. Güçlerin artırılması ile yaşanan en önemli handikapın gıda yüzeylerinde yaşanan homojenlik problemi olduğu görülmüştür. Bunun çözümü için pişirme algoritmasına fan çalışma modu eklenmiştir. Fan pişirme başlangıcından itibaren devreye sokulmamış, yüzeyde ilk kızarmaların başladığı sürelerde devreye sokulmuştur. Bunun nedeni algoritmalarda sürekli fan çalışması ile gerçekleştirilen pişirmelerde gıda yüzeylerinde kurumanın fazla olduğunun belirlenmesidir. Fanın çalışma süresi de tüm gıda tipleri için toplam pişirme süresi "T" olmak üzere $T_{fan}=(T/2)+1,5$ dakika olarak belirlenmiştir.

Pişirme algoritması oluşturma çalışmalarında bir sonraki adımda fırın içerisindeki nem değişimi pişirme süreci boyunca irdelenerek algoritmaların düzenlenmesine çalışılmıştır. Fırın içerisindeki nemin ölçülmesinde 'Fırında Nem Algılama' adlı çalışmadan faydalanılmıştır (Yakut, 2006). Fırın içerisindeki nem ölçümü, yapılan çalışmalar dahilinde ABS300 mutlak nem sensörünün yerleştirilmesi için en uygun konum olarak belirlenen fırın bacasındaki 3' nolu bölge üzerinden alınmıştır (Şekil 5-23).

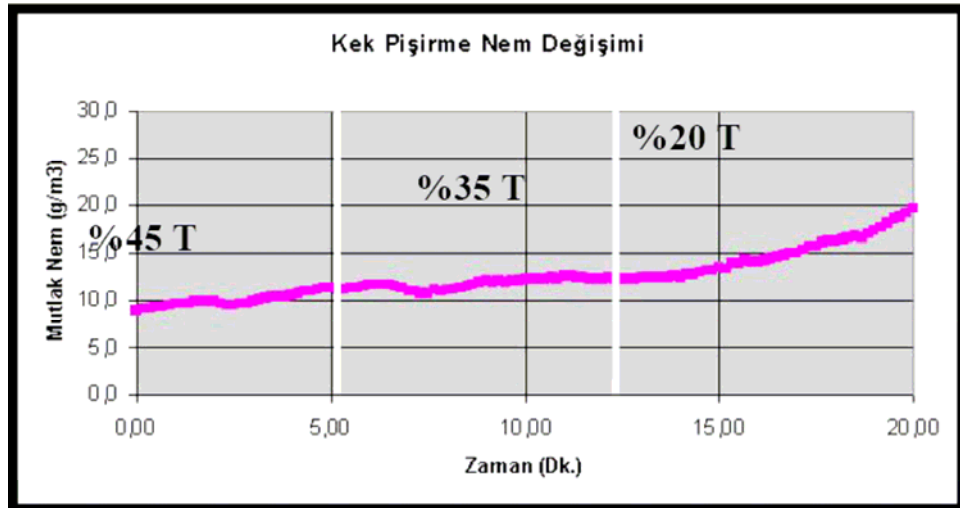


Şekil 5-23 Nem sensörünün yerleştirildiği baca konumu

Fırın içerisindeki nem değerleri okunarak gerçekleştirilen pişirmeler sonucu, özellikle unlu ve

hamurlu gıdalara uygulanabilir olarak pişirme prosesi gıdanın toplam pişirme süresine göre üç ana bölümde tanımlanmış ve pişirme algoritmaları bu belirlenen kısımlara göre düzenlenmiştir. Belirlenen üç ana kısım sırası ile şu şekildedir:

- (%45*T) Bu süre zarfında gıda yüzeyinden ihmal edilebilir düzeyde nem kaybı olmakta ve yüzeyde kahverengileşme oluşmadan iç pişirme gerçekleşmektedir.
- (%35*T) Bu ikinci süreç zarfında buharlaşma bölgeleri oluşmakta ve iç bölgelerden yüzeye nem transferi gerçekleşmektedir, sonlara doğru yüzeyde kahverengileşme başlamaktadır.
- (%20*T) Son süreç zarfında yüzey kızartma ve kahverengileştirme ile pişirme tamamlanmaktadır.



Şekil 5-24 Kek pişirmede nem algılaması

Pişirmenin bu üç sürece bölünmesi ile unlu gıdaların pişirilmesinde tek bir algoritmanın kullanılabilmesi belirlenmiştir. Buna göre üst ısıtıcı olarak iki halojen lamba ve alt ısıtıcı olarak rezistans tipi ısıtıcı kullanılarak hazırlanan kavramsal fırın tasarımında üç süreçte ısıtıcılar şu şekilde kontrol edilmektedir. İlk süreçte halojen lambalar ve alt ısıtıcı sürekli açık kalmakta, ikinci süreçte halojen lambalar aç/kapa şeklinde, alt ısıtıcı ise sürekli bir biçimde çalıştırılmakta ve toplam pişirme süresinin %20'sini oluşturan son süreçte ise alt ısıtıcı kapalı konumda kalmakta halojen lambalar ise bir önceki periyodun yarısı olacak sürede aç/kapa şeklinde çalıştırılmaktadır. Belirlenen bu algoritma ile denek olarak kullanılan 4 tip gıda için (börek, kek, pizza, muffin) tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

6. TEORİK HESAPLAMALAR

Tez kapsamında gerçekleştirilen kısa dalga kızıl ötesi lambaların konvansiyonel elektrikli fırın ısıtıcıları ile beraber kullanıldığı fırın tasarımında, optimizasyon, komponentlerin yerleşimi ve gerekli tasarım kriterlerinin uygulanmasında ve bazı konu ile ilgili bazı sonuçların çıkarımında teorik hesaplamalardan faydalanılmıştır. Hesaplamalarda ışınımın düzgün yayılı gerçekleştiği kabul edilmiş fırın kavitesi içerisindeki gazların ışınımları ihmal edilmiştir. Buna göre gerçekleştirilen teorik hesaplamalar şu başlıklar altında gerçekleştirilmiştir:

- Üst ısıtıcı olarak belirlenen kızıl ötesi lambaların görünür ışınım ve kısa, orta ve uzun dalga kızıl ötesi ışınım oranlarının belirlenmesi.
- Fırın koruma camından ışınım ile kaybedilen enerji miktarının hesaplanması
- Lambaların tepsi yüzeyini görme faktörlerinin hesaplanması ve kek yüzeyine ulaşan ışınımın hesaplanması

Ultra kısa dalga ve kısa dalga kızıl ötesi ışınımın birçok gıda tipi için hissedilir penetrasyon artışları sağlaması sebebi ile üst ısıtıcı yerine tanesi 1000 W olan iki adet halojen lamba kullanılması kararlaştırılmış ve bu amaçla numuneler temin edilmiştir. Temin edilen lambaların yaydıkları ışınımın spektral dağılımını incelemek amacı ile termal kamera ile yalnızca üst lambaların çalıştığı durumda lambaların yaydıkları ışınımın renk sıcaklığı ölçülmüştür. Lambaların sürekli olarak kendi güçlerinde ışınım yaymalarını sağlamak için lambalar UPS ile beslenen varyak ile kontrol edilmiştir. Buna göre lambaların görünür ve kızıl ötesi ısı ışınım spektral dağılımları her ışınım dalga boyu aralığı için incelenmiştir. İncelenen bu dalga boyu aralıkları şu şekildedir:

- Görünür ışınım dalga boyu aralığı : 0,38-0,8 μm
- Kısa dalga kızıl ötesi ışınım dalga boyu aralığı : 0,8-1,4 μm
- Orta dalga kızıl ötesi ışınım dalga boyu aralığı : 1,4-3 μm
- Uzun dalga kızıl ötesi ışınım dalga boyu aralığı : 3-10 μm

Belirlenen bu dalga boyları arasındaki ışınım miktarlarını bulmak için siyah cisim yayınım-güç tablosundan [Ek-1] faydalanılmıştır. Buna göre belirlenen dalga boylarındaki ışınımın toplam ışınımına göre oranı $F_{\lambda_1-\lambda_2}$ şeklinde gösterilirse;

$$F_{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E_{b,\lambda} d\lambda - \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E_{b,\lambda} d\lambda}{E_b} = F_{\lambda_2} - F_{\lambda_1}$$

$$T_{\text{renk, hal.lamba}} = 2500\text{K}$$

$$F_{0,38\mu\text{m} - 0,8\mu\text{m}} :$$

$$\lambda * T = 0,8\mu\text{m} * 2500\text{K} = 2000\mu\text{mK}$$

$$F_{0,8} \xrightarrow{2000\mu\text{mK}} 0,06672$$

$$\lambda * T = 0,3\mu\text{m} * 2500\text{K} = 750\mu\text{mK}$$

$$F_{0,38} \xrightarrow{750\mu\text{mK}} 0$$

$$F_{0,38\mu\text{m} - 0,8\mu\text{m}} = 0,06672 - 0 = 0,06672$$

$$F_{0,8\mu\text{m} - 1,4\mu\text{m}} :$$

$$\lambda * T = 1,4\mu\text{m} * 2500\text{K} = 3500\mu\text{mK}$$

$$F_{1,4\mu\text{m}} \xrightarrow{3500\mu\text{mK}} 0,38290$$

$$F_{0,8\mu\text{m} - 1,4\mu\text{m}} = 0,38290 - 0,06672 = 0,31618$$

$$F_{1,4\mu\text{m} - 3\mu\text{m}} :$$

$$\lambda * T = 3\mu\text{m} * 2500\text{K} = 7500\mu\text{mK}$$

$$F_{3\mu\text{m}} \xrightarrow{7500\mu\text{mK}} 0,83436$$

$$F_{1,4\mu\text{m} - 3\mu\text{m}} = 0,83436 - 0,38290 = 0,45146$$

$$F_{3\mu\text{m} - 10\mu\text{m}} :$$

$$\lambda * T = 10\mu\text{m} * 2500\text{K} = 25000\mu\text{mK}$$

$$F_{0\mu\text{m} - 10\mu\text{m}} \xrightarrow{25000\mu\text{mK}} 1$$

$$F_{3\mu\text{m} - 10\mu\text{m}} = 1 - 0,83436 = 0,16564$$

Gerçekleştirilen hesaplamalara göre üst ısıtıcı yerine kullanılan halojen lambaların ışınım

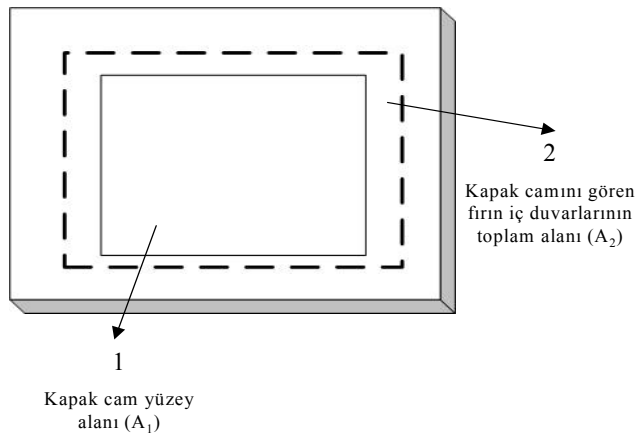
spektrum aralıkları Çizelge 6-1’de verilmiştir.

Çizelge 6-1 Halojen lambaların ışınım spektrum aralıkları

Görünür Işınım	6%
Kısa Dalga Kızılötesi Işınım	31%
Orta Dalga Kızılötesi Işınım	45%
Uzun Dalga Kızılötesi Işınım	18%

Buna göre kullanılan lambalarda, birçok gıda tipi için hissedilir penetrasyon artışları sağlayan ışınımın toplam ışınım oranı %37’dir. Işınımın %31’lik kısmı pişirme prosesinde daha çok kızartma amaçlı kullanıma uygun orta dalga boyunda ve %18’lik bölümü sistem sınırları içinde taşınım ile ısı transferine yol açan uzun dalga boyunda gerçekleşmektedir. 2500K renk sıcaklığı lambaların tungsten filamanlarındaki sıcaklık olarak belirlenmiştir. Lambaların quartz cam tüplerinin yüzey sıcaklıkları ise yaklaşık 1200K olarak belirlenmiştir.

Lambalar ile gıda arasında ışınım ile gerçekleşen ısı transferini belirlemek amacı ile basit bir matematik model oluşturulmuştur. Oluşturulan modele göre fırın kavite içerisindeki gazların ışımaları ihmal edilmiştir. Sadece fırın kapak camından ışınım ile ısı kaybı dikkate alınmış bu bölge dışındaki izolasyon malzemesi (camyünü) ile sarılmış fırın duvarlarından ısı kayıpları ihmal edilmiştir. Işınımın eşit dağılımlı olduğu kabulü yapılarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ankastre tip fırınların kapak bölgesindeki gözetleme cam yüzeyi 460*290 (en*boy) mm’dir. Fırın camından gerçekleşen ışınım ile kayıp fırın yüzeylerinin sıcaklığı dolayısıyla kayıpları ve üst ısıtıcı yerine kullanılan halojen lambaların direkt olarak fırın kapak camından gerçekleşen kayıplarının toplamıdır. Fırın iç duvar sıcaklıkları nedeni fırın kapak camından gerçekleşen ışınım kaybı için görme faktörü basit bir modelle hesaplanabilir.



Şekil 6-1 Fırının önden görünüşü

Buna göre çevre ortamın fırın iç duvarlarını görme faktörü F_{1-2} ’ye eşit olacak ve görme

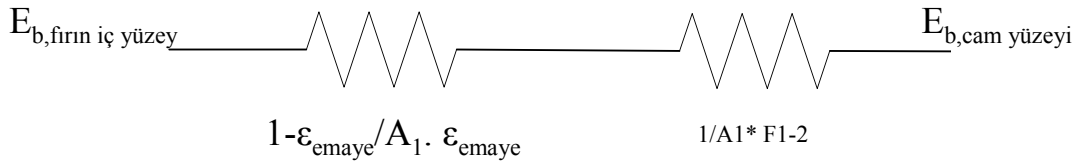
faktörü F_{1-2} ise;

$$F_{1-2}=1$$

olacaktır.

$$A_1 * F_{1-2} = A_2 * F_{2-1}$$

Karşılık ilişkisinden fırın iç yüzey duvarlarının, fırın kapak camını görme faktörü aşağıdaki gibi hesaba katılabilir.



Şekil 6-2 Fırın iç yüzey duvarlarından kapak camına giden ışınım

Fırın kapak camı olarak Schott firmasından “Borofloat” model cam kullanılmaktadır ve bu camın bazı kalınlıkları için kızıl ötesi geçirgenlikleri (I) Şekil 5-5’te gösterilmiştir. Bu tip cam için geçirgenlikler $0,4\mu\text{m}-2,5\mu\text{m}$ dalga boyları aralığında %90 civarındadır. Hesaplarda fırın içi yüzey sıcaklıkları pişirme sırasında fırın duvarlarından alınan sıcaklıkların ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

$$T_{\text{iç duvar yüzey}} = 363\text{K}$$

$$T = \frac{\int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \tau_{\lambda} G_{\lambda} d_{\lambda}}{E_b(363\text{K})} = \frac{0,9 * \int_{\lambda=0,4}^{\lambda=2,5} E_{b,\lambda}(363\text{K}) d_{\lambda}}{E_b(363\text{K})}$$

$$T = 0,9(F_{0-2,5} - F_{0-0,4})$$

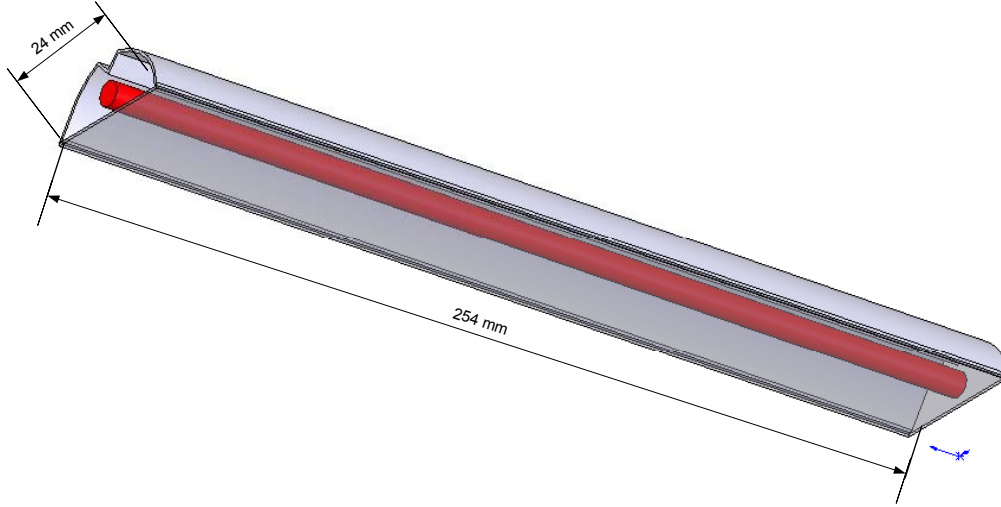
$$F_{0-2,5} \xrightarrow{2,5 * 363 \mu\text{mK}} 0$$

$$F_{0-0,4} \xrightarrow{0,4 * 363 \mu\text{mK}} 0$$

$$T = 0$$

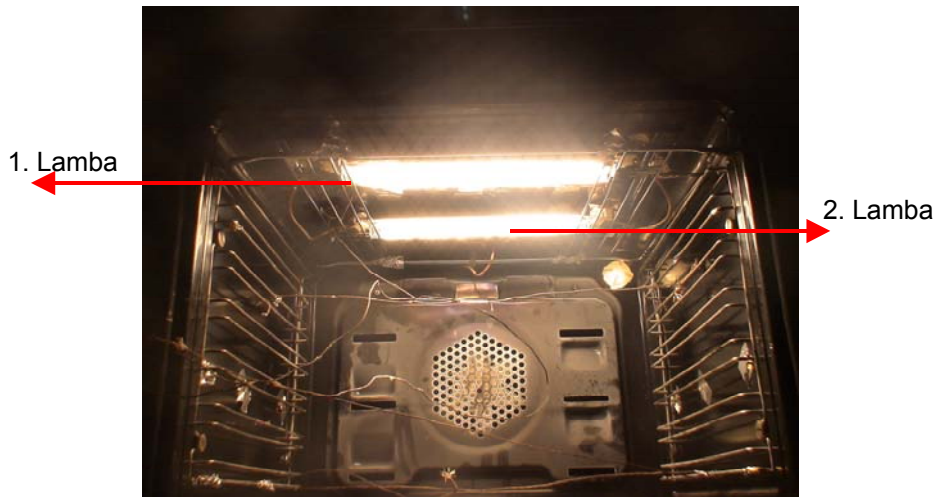
Buna göre fırın yüzey duvarlarından fırın kapak camı ile çevre ortama, belirlenen koşullarda ışınım ile ısı kaybı olmadığı görülmektedir. Halojen lambalardan direkt olarak gerçekleşen ışınım ile ısı kaybı ise yüzeylerin birbirine göre şekil faktörü belirlenerek hesaplanmıştır.

Şekil faktörü hesaplanırken ışınım kaynakları alanı olarak reflektörün çıkış ağzı olan dikdörtgensel kesit yüzey alanı kullanılmıştır. (Şekil 6-3).



Şekil 6-3 Reflektör kesit alanı

Lambaların ve kapak camının birbirlerine göre konumları 3 boyutlu kartezyen koordinat düzleminde tanımlanmış ve belirlenen 4 katlı integral çözüm Mathematica V05 programında çözdürülmüştür. Hesaplamalar Ek2 kısmında verilmiştir. Buna göre birinci lambanın fırın kapak camını görme faktörü (F_{1-c}) ve ikinci lambanın kapak camını görme faktörü (F_{2-c}) hesaplanmıştır (Şekil 7-4).



Şekil 6-4 Lambaların fırın içinde konumlandırılması

$$F_{1-c} = \int_{90}^{340} \int_{70}^{440} \int_{86}^{374} \int_{85}^{96} \frac{z_1 * y_2}{\pi * (z_1^2 + (x_2 - x_1)^2 + y_2^2)^2} dy_2 dx_2 dx_1 dz_1$$

$$F_{1-c} = 0,163$$

Aynı şekilde,

$$F_{2-c} = 0,081$$

olarak hesaplanmıştır.

$$F_{0-2,5} \xrightarrow{2,5*2500\mu\text{mK}} 0,754$$

$$F_{0-0,4} \xrightarrow{0,4*2500\mu\text{mK}} 0,00032$$

$$F_{0-2,5} - F_{0-0,4} = 0,75368$$

$$\Gamma_{0,4-2,5} = 0,92 * (F_{0-2,5} - F_{0-0,4})$$

$$\Gamma_{0,4-2,5} = 0,6934$$

Camın bu dalga boyları aralığında ışınım yapmadığını varsayarsak ışınım etkinliği %90 olan 1. ve 2. lambalardan bu dalga boyları aralığında sıra ile bir saatte kaybedilen ışınım miktarları şu şekildedir:

$$E_{1-c} = 0,6934 * 0,9 * 1000 * 0,0163$$

$$E_{1-c} = 101,7\text{W}$$

$$E_{1-c} = 0,6934 * 0,9 * 1000 * 0,0081$$

$$E_{1-c} = 50,5\text{W}$$

Buna göre bir kek yapımında, uygulanan algoritmalarla toplamda 15 dakika çalıştırılan lambaların fırın kapak camından gerçekleşen ışınım ile kayıp miktarı yaklaşık 38 W'tır.

Teorik çalışmaların diğer bir kısmını lambaların tepsi yüzeyini görme faktörlerinin hesaplanması ve kek yüzeyine ulaşan ışınımın hesaplanması oluşturmuştur. Hesaplama camdan ışınım kaybının hesaplanması ile aynı yöntem izlenmiş ve 3 boyutlu kartezyen koordinat düzleminde tanımlanarak belirlenen 4 katlı integral çözümü Mathematica V05 programı aracılığı ile verilmiştir. Program ile ilgili hesaplamalar Ek-3'te verilmiştir. Buna göre 1. tepsi olarak en üst tepsi raf konumu tanımlanmış olup 4 raf konumu için görme faktörleri şu şekilde hesaplanmıştır.

$$F_{1-1} = 0,642$$

$$F_{1-2} = 0,505$$

$$F_{1-3} = 0,411$$

$$F_{1-4} = 0,338$$

Buna göre, pişirme optimizasyon çalışmaları neticesinde en uygun raf konumu olarak 3. tepsi raf konumunun seçildiği durumda bir tepsi kek üzerine ışınımın eşit dağılı olduğu, kek yüzeyinin ve fırın kavite içerisindeki gazların ışınım yapmadığı kabulü ile kek üzerine 0,4-2,5 µm dalga boyları aralığında ulaşan ışınım miktarı

$$E_{1-c} = 0,6934 * 0,9 * 1000 * 0,505 = 315\text{W}$$

Buna göre bir kek yapımında, uygulanan algoritmalarla toplamda 15 dakika çalıştırılan lambaların ışınımının 78 W'ı kullanıldığı görülmektedir.

Hesaplanan bu değerle görülmektedir ki gelecekte kısmı geçirgen optik cam teknolojilerinin ilerlemesi ile birlikte istenilen dalga boyları aralığında iç pişirmeyi de gerçekleştiren ışınım kaynaklı pişirme teknikleri ile çok kısa sürelerde çok düşük enerji tüketimlerinde pişirmeler sağlanabilecektir.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler paralelinde zaman oldukça önemli bir kavram haline gelmiştir. Özellikle beyaz eşya sektöründe hızlı soğutma, hızlı ısıtma, hızlı pişirme gibi süre kısaltıcı özellikler önem kazanmıştır. Pişirici cihazlarda ise hızlı pişirme teknikleri ucu gelişmelere açık bir konu olup, bir çok beyaz eşya firması çalışmalarında bu konu üzerine odaklanmıştır. Tez çalışması kapsamında incelenen kısa dalga kızıl ötesi lambaların konvansiyonel elektrikli fırın ısıtıcıları ile birlikte kullanımı konusunda erişilen çıkarımlar ve konu ile ilgili öneriler şu şekildedir:

- Kısa dalga halojen lambaların ankastre fırınlarda kullanımı konusunda iki adet lambanın üst ısıtıcı konumunda kullanılması ve alt ısıtıcı olarak konvansiyonel ısıtıcı kullanımının; maliyet, tasarım, pişirme verimi gibi kriterler bakımından en uygun çözüm olduğuna karar verilmiştir.
- Hamurlu tip gıdalarda (kek,pizza, börek vb...) ultra-kısa dalga (0,6 μm -1,4 μm) kızıl ötesi ışınının gıda içine maksimum penetrasyon sağladığı belirlenmiştir.
- Pişirme sırasında gıda yüzeyinde gerçekleşen renk değişimlerinden genel olarak Maillard reaksiyonu, nişasta dekstrinozasyonu ve şekerlerin karamelizasyonu sorumludur. Maillard reaksiyonu sırasında gıda bünyesindeki şekerler proteinlerle 150-160°C sıcaklıkları aralığında tepkimeye girerek gıda yüzeyinde kırmızımsı-kahverengi renk tonunu oluştururlar. Bu reaksiyon sadece nemli bir ortamda gerçekleşir ve gıdaların daha sonradan ısıtılması ile gerçekleştirilemez. Gıda nispeten nem içerirken yüksek yüzey sıcaklıkları sağlamada taşınım ile ısı transferinden çok ışınım ile ısı transferi daha etkili olmaktadır. Ayrıca gıda yapısında boşluklar varsa yüzeye doğru gerçekleşen nem transferi yavaşlamakta ve yüzey sıcaklıkları daha hızlı artarak daha hızlı bir kahverengileşme gerçekleşmektedir.
- Pişirmelerde düşük enerji tüketimi ve kısa sürelerin elde edilmesi için fırın duvarlarının düşük emisiviteli yüzeylere sahip olması gerektiği görülmüştür.
- Pişirme sırasında oluşan sıcaklık profilleri belirlenirken ısı transfer mekanizmaları ve ısı transfer miktarları beraber göz önünde bulundurulmalıdır.
- Gıdaya gerçekleşen ısı transferinin ne kadar hızlı gerçekleştiği, gıdada pişirme sırasında gıdanın yapısında gerçekleşen kimyasal ve fiziksel değişimleri ve gıdanın içerdiği nem miktarını önemli ölçüde etkileyecektir.

- Pişirme algoritması ile ilgili incelenen dokümanlarda ana mantık olarak iki aşama öne çıkmaktadır. İlk aşamada iç pişirmenin gerçekleştirilmesi amacı ile görünür ve görünüre yakın spektrum aralığındaki ışınım kullanılmakta, ikinci aşamada yüzey bitirme ve çıtırılık sağlama için orta ve uzun dalga boyu aralığındaki ışınım kullanılmaktadır.
- Halojen kısa dalga kızıl ötesi lambaların pişirici cihazlarda kullanımında ışınımın homojen bir şekilde gıda üzerine yönlendirilmesi için reflektör kullanımının gerekliliği belirlenmiştir. Kısa dalga kızıl ötesi lamba ışınımının reflektörler ile yönlendirilmesinde ışığın optik özelliklerinden faydalanılmaktadır.
- Reflektör tasarımında genellikle iki geometri üzerinde durulmaktadır. Eliptik bir geometriye sahip reflektör kullanılması sonucu ısı daha dar bir alanda odaklanabilmektedir. Bu geometride bir reflektör kullanımının gıdanın kahverengileşmesinin sağlanmasında etkin bir rol oynadığı belirlenmiştir. Parabolik geometriye sahip bir reflektör kullanımında ise ısı, gıda yüzeyine daha homojen bir şekilde dağıtılabilmekte ve bu sayede iç pişirme daha fazla gerçekleşmektedir. Reflektör konulu patent incelemelerinde bir patent dışında pişirici cihazlarda kullanılan reflektör malzemesi olarak genellikle anodize alüminyum tercih edildiği görülmüştür.
- Halojen lambaların pişirici cihazlarda kullanımında gerekli bir diğer komponentin koruma camı olduğu belirlenmiştir. Pişirme sırasında açığa çıkan yağ, su buharı vb. atık gazların halojen lambalar üzerinde birikmesi sonucu lambaların ışınım verimi ve ömürleri azalmaktadır. Bu sebeple kullanılan halojen lambaların yoğunluk olarak gerçekleştirdiği dalga boylarındaki ışınımı en çok geçiren koruyucu cam kullanımı gerekmektedir.
- Kek ve muffin gibi gıdaların malzemelerinin oldukça homojen bir yapıda olması nedeni ile yüzeylerindeki renk değişiminin homojen bir şekilde sağlanması amacı ile pişirme algoritmalarında fan kullanımı eklenmesi gerekmektedir.
- Belirlenen gıda tipleri için tasarlanan hibrit fırın ve oluşturulan pişirme algoritmaları ile %50'lere varan süre kısaltmaları sağlanmıştır. Enerji tüketimi değerlerinde ise konvansiyonel yöntemlere göre 100Wh'a varan azalmalar sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Asselberg E. A., Mohr W. P., (1960) “Studies on the Application of Infrared in Food Processing.”, Food Technology 14:449-453

Tülay İbicek, Bahar Akar (2006) “Alternatif pişirme yöntemlerinin araştırılması ve incelenmesi ”, Arçelik Ar-Ge Araştırma Raporu, ARN 273, İstanbul.

Dagerskog M., Österström L., (1979) “Applications of infrared radiation for food processing” Lebensmittel Wissenschaft u. Technologie 12, 237-12

Ginzburg A. S., (1969) “Application of Infrared Radiation in Food Processing” Chemical and process engineering series, Leonard Hill, London

D. R. Sepúlveda and G. V. Barbosa-Cánovas, (2003) “Heat transfer in food products” CRC Press LLC

Shaughnessy B.M.; Newborough (1998) “Radiative heat transfer in low-e ovens” Applied Thermal Engineering, Volume 18, Number 8

Duncan Manley (2000) “Technology of biscuits, crackers and cookies”, WOODHEAD PUBLISHING LTD

Çengel, Y.A. ve Boles M.A (2002) Thermodynamics-An engineering Approach, McGraw-Hill Companies 4th Edition.

C Skjoldebrand, ABB Automation Systems, (2001) “Infrared heating”, Woodhead Publishing Ltd, 1995. Vol. III, p. 397–404

C Skjoldebrand, (1995) “Cooking by infrared radiation” Swedish Institut for Food and Biotechnology. pp. 157–173

C Skjoldebrand, Anderson C.G., (1987) “Baking using short wave infrared radiation”, Proceedings from Cereals in a European Context, First European Conference on Food Science and Technology

Leinhard, J.H. IV ve Leinhard, J.H. V, (2006) A Heat Transfer Textbook, Phlogiston Press, Cambridge/Massachusetts

Michael F. Modest, (2006) Radiative Heat Transfer, Academic Press Second Edition

EKLER

Ek 1 λ T değerlerine göre siyah cisim radyasyon oranları

λ (MICRON-K)	.5	.6	.7	.8	.9
500.	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
600.	.000000	.000001	.000001	.000001	.000001
700.	.000006	.000007	.000009	.000011	.000014
800.	.000040	.000047	.000055	.000065	.000075
900.	.000179	.000197	.000224	.000253	.000285
1000.	.000556	.000617	.000682	.000753	.000829
1100.	.001425	.001550	.001683	.001825	.001976
1200.	.003086	.003309	.003543	.003789	.004048
1300.	.005875	.006229	.006597	.006981	.007380
1400.	.010111	.010625	.011156	.011705	.012271
1500.	.016055	.016751	.017466	.018201	.018954
1600.	.023888	.024780	.025691	.026623	.027574
1700.	.033702	.034793	.035904	.037035	.038186
1800.	.045501	.046788	.048094	.049419	.050763
1900.	.059215	.060687	.062177	.063684	.065209
2000.	.074713	.075354	.076011	.076685	.077373
2100.	.091821	.092613	.093418	.094238	.095071
2200.	.110339	.112260	.114193	.116138	.118094
2300.	.130053	.132082	.134120	.136168	.138225
2400.	.150746	.152860	.154983	.157112	.159249
2500.	.172205	.174385	.176571	.178762	.180958
2600.	.194230	.196457	.198687	.200920	.203157
2700.	.216638	.218893	.221150	.223409	.225669
2800.	.239260	.241528	.243796	.246065	.248334
2900.	.261947	.264214	.266481	.268746	.271011
3000.	.284570	.286824	.289077	.291327	.293576
3100.	.307017	.309248	.311476	.313702	.315924
3200.	.329192	.331391	.333587	.335779	.337968
3300.	.351016	.353177	.355333	.357485	.359633
3400.	.372425	.374541	.376652	.378758	.380860
3500.	.393365	.395431	.397493	.399549	.401600
3600.	.413795	.415809	.417817	.419820	.421817
3700.	.433685	.435643	.437596	.439543	.441484
3800.	.453011	.454912	.456807	.458696	.460579
3900.	.471757	.473600	.475436	.477267	.479092
4000.	.489916	.491700	.493477	.495248	.497014
4100.	.507483	.509207	.510925	.512637	.514344
4200.	.524458	.526123	.527783	.529435	.531084
4300.	.540846	.542453	.544054	.545650	.547239
4400.	.556655	.558204	.559748	.561286	.562818
4500.	.571894	.573387	.574874	.576356	.577832
4600.	.586574	.588012	.589445	.590872	.592293
4700.	.600710	.602094	.603473	.604847	.606215
4800.	.614315	.615647	.616974	.618296	.619612
4900.	.627405	.628686	.629963	.631234	.632500
5000.	.639996	.641228	.642455	.643678	.644896
5100.	.652103	.653288	.654468	.655644	.656815
5200.	.663744	.664883	.666018	.667148	.668273
5300.	.674935	.676030	.677120	.678207	.679289
5400.	.685692	.686744	.687792	.688837	.689877
5500.	.696031	.697043	.698050	.699054	.700054
5600.	.705969	.706942	.707910	.708875	.709836
5700.	.715521	.716456	.717387	.718314	.719238
5800.	.724703	.725581	.726496	.727388	.728275
5900.	.733529	.734393	.735257	.736110	.736963
6000.	.742014	.742894	.743771	.744645	.745516
6100.	.750172	.750970	.751765	.752557	.753346

LAMBDA*TEMP
(MICRON*°K)

	.0	.1	.2	.3	.4
500.	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
600.	.000010	.000000	.000000	.000000	.000000
700.	.000002	.000002	.000003	.000004	.000005
800.	.000016	.000020	.000024	.000029	.000034
900.	.000067	.000101	.000116	.000133	.000152
1000.	.000321	.000360	.000403	.000450	.000501
1100.	.000912	.001001	.001096	.001193	.001308
1200.	.002136	.002309	.002485	.002674	.002875
1300.	.004319	.004603	.004900	.005211	.005536
1400.	.007794	.008225	.008671	.009135	.009614
1500.	.012856	.013459	.014080	.014720	.015378
1600.	.019720	.020520	.021333	.022165	.023017
1700.	.029545	.029537	.030568	.031580	.032631
1800.	.039355	.040945	.041756	.042985	.044234
1900.	.052126	.053507	.054907	.056325	.057761
2000.	.066751	.068310	.069885	.071478	.073087
2100.	.083077	.084797	.086531	.088280	.090043
2200.	.100917	.102776	.104648	.106533	.108430
2300.	.120060	.122038	.124026	.126025	.128034
2400.	.140290	.142365	.144448	.146539	.148638
2500.	.161392	.163542	.165699	.167861	.170030
2600.	.183159	.185364	.187575	.189789	.192008
2700.	.205597	.207640	.209686	.211734	.213785
2800.	.227932	.230195	.232460	.234725	.236992
2900.	.250804	.252873	.255142	.257411	.259679
3000.	.273274	.275536	.277797	.280056	.282314
3100.	.295822	.298066	.300307	.302546	.304783
3200.	.318144	.320360	.322573	.324783	.326989
3300.	.340152	.342333	.344510	.346683	.348852
3400.	.351776	.353915	.356049	.358179	.360304
3500.	.362956	.365048	.367135	.369216	.371293
3600.	.403646	.405686	.407722	.409752	.411776
3700.	.423609	.425795	.427776	.429751	.431721
3800.	.443419	.445349	.447273	.449191	.451104
3900.	.462457	.464329	.466195	.468055	.469909
4000.	.481911	.482724	.484531	.486332	.488127
4100.	.498774	.500527	.502275	.504017	.505753
4200.	.516044	.517739	.519427	.521110	.522787
4300.	.532725	.534361	.535991	.537615	.539234
4400.	.548823	.550401	.551973	.553539	.555100
4500.	.564345	.565866	.567381	.568891	.570395
4600.	.579333	.580758	.582228	.583682	.585131
4700.	.593709	.595120	.596526	.597928	.599321
4800.	.607574	.608935	.610289	.611636	.612978
4900.	.620924	.622230	.623531	.624828	.626119
5000.	.633762	.635010	.636270	.637517	.638759
5100.	.646109	.647317	.648521	.649720	.650914
5200.	.657981	.659143	.660300	.661452	.662600
5300.	.669395	.670511	.671624	.672732	.673835
5400.	.680366	.681440	.682509	.683574	.684635
5500.	.690913	.691944	.692972	.693996	.695016
5600.	.701049	.702041	.703029	.704013	.704993
5700.	.710793	.711746	.712695	.713641	.714583
5800.	.720158	.721074	.721987	.722896	.723801
5900.	.729160	.730041	.730918	.731792	.732662
6000.	.737813	.738660	.739504	.740344	.741181
6100.	.746133	.746947	.747758	.748566	.749370

Ek 2 Lambaların fırın kapak camını görme faktörlerinin Mathematica programı ile hesapları

$$\int_{90}^{340} \int_{70}^{440} \int_{86}^{374} \int_{85}^{96} \frac{\mathbf{z}_1 \times \mathbf{y}_2}{\pi \times (\mathbf{z}_1^2 + (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)^2 + \mathbf{y}_2^2)^2} d\mathbf{y}_2 d\mathbf{x}_2 d\mathbf{x}_1 d\mathbf{z}_1$$

$$- \frac{1}{8\pi} \left(5440 \sqrt{17} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{16}{85\sqrt{17}}\right] + 22440 \sqrt{17} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{66}{85\sqrt{17}}\right] - 103360 \sqrt{17} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{304}{85\sqrt{17}}\right] - 120360 \sqrt{17} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{354}{85\sqrt{17}}\right] + 384 \sqrt{481} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{8}{3\sqrt{481}}\right] + 1584 \sqrt{481} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{11}{\sqrt{481}}\right] - 7296 \sqrt{481} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{152}{3\sqrt{481}}\right] - 8496 \sqrt{481} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{59}{\sqrt{481}}\right] - 320 \sqrt{613} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{16}{5\sqrt{613}}\right] - 1320 \sqrt{613} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{66}{5\sqrt{613}}\right] + 6080 \sqrt{613} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{304}{5\sqrt{613}}\right] + 7080 \sqrt{613} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{354}{5\sqrt{613}}\right] - 256 \sqrt{7801} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{4}{\sqrt{7801}}\right] - 1056 \sqrt{7801} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{33}{2\sqrt{7801}}\right] + 4864 \sqrt{7801} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{76}{\sqrt{7801}}\right] + 5664 \sqrt{7801} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{177}{2\sqrt{7801}}\right] + 250632 \operatorname{Log}\left[\frac{62533}{35658}\right] - 250632 \operatorname{Log}\left[\frac{248141}{140641}\right] + 184832 \operatorname{Log}\left[\frac{54308}{27433}\right] - 184832 \operatorname{Log}\left[\frac{215241}{107741}\right] + 547200 \operatorname{Log}[2] - 305292 \operatorname{Log}[4] - 8712 \operatorname{Log}\left[\frac{751}{126}\right] + 8712 \operatorname{Log}\left[\frac{127181}{19681}\right] + 88060 \operatorname{Log}[7] - 512 \operatorname{Log}\left[\frac{31268}{4393}\right] + 4 \operatorname{Log}[64] - 21672 \operatorname{Log}[387] + 109732 \operatorname{Log}[3919] - 17572 \operatorname{Log}[4393] + 125072 \operatorname{Log}[7817] - 217232 \operatorname{Log}[13577] + 15069 \operatorname{Log}[15581] + 142632 \operatorname{Log}[17829] + 19681 \operatorname{Log}[19681] + 129172 \operatorname{Log}[32293] - 250132 \operatorname{Log}[62533] - 107741 \operatorname{Log}[107741] - 122569 \operatorname{Log}[123081] - 127181 \operatorname{Log}[127181] - 140641 \operatorname{Log}[140641] + 215241 \operatorname{Log}[215241] + 248141 \operatorname{Log}[248141] \right)$$

N[%]
516.632

$$\int_{90}^{340} \int_{70}^{440} \int_{86}^{374} \int_{284}^{295} \frac{\mathbf{z}_1 \times \mathbf{y}_2}{\pi \times (\mathbf{z}_1^2 + (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)^2 + \mathbf{y}_2^2)^2} d\mathbf{y}_2 d\mathbf{x}_2 d\mathbf{x}_1 d\mathbf{z}_1$$

$$-\frac{1}{8\pi} \left(256 \sqrt{12266} \operatorname{ArcTan}\left[2 \sqrt{\frac{2}{6133}}\right] - 4864 \sqrt{12266} \operatorname{ArcTan}\left[38 \sqrt{\frac{2}{6133}}\right] + \right.$$

$$320 \sqrt{3805} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{16}{5 \sqrt{3805}}\right] + 1320 \sqrt{3805} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{66}{5 \sqrt{3805}}\right] -$$

$$6080 \sqrt{3805} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{304}{5 \sqrt{3805}}\right] - 7080 \sqrt{3805} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{354}{5 \sqrt{3805}}\right] -$$

$$320 \sqrt{8105} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{16}{5 \sqrt{8105}}\right] - 1320 \sqrt{8105} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{66}{5 \sqrt{8105}}\right] +$$

$$6080 \sqrt{8105} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{304}{5 \sqrt{8105}}\right] + 7080 \sqrt{8105} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{354}{5 \sqrt{8105}}\right] +$$

$$1056 \sqrt{12266} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{33}{2 \sqrt{12266}}\right] - 5664 \sqrt{12266} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{177}{2 \sqrt{12266}}\right] -$$

$$128 \sqrt{22189} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{8}{\sqrt{22189}}\right] - 528 \sqrt{22189} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{33}{\sqrt{22189}}\right] +$$

$$2432 \sqrt{22189} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{152}{\sqrt{22189}}\right] + 2832 \sqrt{22189} \operatorname{ArcTan}\left[\frac{177}{\sqrt{22189}}\right] +$$

$$250632 \operatorname{Log}\left[\frac{327941}{220441}\right] - 250632 \operatorname{Log}\left[\frac{80393}{53518}\right] + 184832 \operatorname{Log}\left[\frac{295041}{187541}\right] -$$

$$184832 \operatorname{Log}\left[\frac{72168}{45293}\right] + 155520 \operatorname{Log}[2] - 8712 \operatorname{Log}\left[\frac{206981}{99481}\right] - 512 \operatorname{Log}\left[\frac{202881}{95381}\right] +$$

$$8712 \operatorname{Log}\left[\frac{50153}{23278}\right] + 125060 \operatorname{Log}[13] - 196512 \operatorname{Log}[6141] - 95381 \operatorname{Log}[7337] +$$

$$288672 \operatorname{Log}[9021] + 93112 \operatorname{Log}[11639] + 220441 \operatorname{Log}[16957] +$$

$$89012 \operatorname{Log}[22253] - 214072 \operatorname{Log}[26759] - 181172 \operatorname{Log}[45293] -$$

$$200612 \operatorname{Log}[50153] + 321572 \operatorname{Log}[80393] - 512 \operatorname{Log}[89012] - 99481 \operatorname{Log}[99481] +$$

$$187541 \operatorname{Log}[187541] - 512 \operatorname{Log}[196512] + 202881 \operatorname{Log}[202881] +$$

$$206981 \operatorname{Log}[206981] - 295041 \operatorname{Log}[295041] - 327941 \operatorname{Log}[327941] \left. \right)$$

N[%]
253.804

Ek 3 Lambaların tepsi yüzeyini görme faktörlerinin hesaplanması

$\text{NIntegrate}\left[\frac{72^2}{3.14 \times ((Y_2 - Y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 + (72^2))^2}, \{x_2, 86, 374\}, \{Y_2, 85, 96\}, \{Y_1, 60, 390\}, \{x_1, 60, 390\}\right]$
2032.55

$\text{NIntegrate}\left[\frac{122^2}{3.14 \times ((Y_2 - Y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 + (122^2))^2}, \{Y_2, 85, 96\}, \{Y_1, 60, 390\}, \{x_2, 86, 374\}, \{x_1, 60, 390\}\right]$
1601.15

$\text{NIntegrate}\left[\frac{172^2}{3.14 \times ((Y_2 - Y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 + (172^2))^2}, \{Y_2, 85, 96\}, \{Y_1, 60, 390\}, \{x_2, 86, 374\}, \{x_1, 60, 390\}\right]$
1301.15

$\text{NIntegrate}\left[\frac{222^2}{3.14 \times ((Y_2 - Y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2 + (222^2))^2}, \{Y_2, 85, 96\}, \{Y_1, 60, 390\}, \{x_2, 86, 374\}, \{x_1, 60, 390\}\right]$
1070.08

F11=0,642

F12=0,505

F13=0,411

F14=0,338

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.02.1982

Doğum yeri Kadıköy-İSTANBUL

Lise 1994–2001 Kadıköy Anadolu Lisesi

Lisans 2001-2005 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2005-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2005-2007 Arçelik AŞ. Arge Akışkan Dinamiği Teknolojileri Ailesinde
Proje Yardımcılığı

2007-Devam Ediyor Arçelik A.Ş. Arge Akışkan Dinamiği Teknolojileri
Ailesi Arge Mühendisi