

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRIN ÖN KAPAKLARINDA ISI TRANSFER
MEKANİZMASININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mehmet Zihni GÜRLEK
503021105

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. A. Nilüfer EĞRİCAN (Y.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Sibel ÖZDOĞAN (M.Ü.)

a.n. Egrican
F. Ozguc
S. Ozdogan

HAZİRAN 2004

ÖNSÖZ

Beni böyle bir çalışmaya yönlendiren, tez çalışmasını yöneten ve yapıcı önerileriyle çalışmaya yön veren değerli hocam Sn. Prof. Dr. A. Nilüfer Eğrican'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, başta ARGE Direktörü Sn. Şemsettin EKSERT ve Mekanik Teknolojileri Yöneticisi Sn. Doç. Dr. M. Yalçın TANES' in şahsında teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin oluşturulmasında ve deneylerin gerçekleştirilmesindeki yardımlarından dolayı Sn. Mehmet Maraşlı'ya, değerli yorumları ve yardımları için Sn. Deniz Şeker'e, tüm çalışma boyunca bilgi birikimlerini ve deneyimlerini benimle paylaşan, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen Sn. Bekir Özyurt ve Sn. Levent Akdağ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemi sağlayan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen AİLEME ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunarım....

İstanbul, Nisan 2004

M. Zihni GÜRLEK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
SEMBOL LİSTESİ	v
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Genel Kapak Uygulamaları	5
2.2. Işınım Kalkanı Uygulamaları	12
2.3. Hava Soğutmalı Kapak Uygulamaları	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
3.1. Mevcut Kapak Isıl Analizi	26
3.1.1. Mevcut kapak deney düzeneği	26
3.2. Alternatif Kapak Deneyleri	29
3.2.1. Kapak Deney Düzeneği	29
3.3. Isı Algılayıcı Deneyleri	34
4. MATEMATİKSEL MODEL	37
4.1. Kontrol Hacmi 1: İç cam	38
4.2. Kontrol Hacmi 2: Camlar Arası Hava_1	40
4.3. Kontrol Hacmi 3: Ara Cam	41
4.4. Kontrol Hacmi 4: Ara Hava_2	42
4.5. Kontrol Hacmi 5: Dış cam	44
4.6. Program Sonuçları	44
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	54

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1-1 Gerhardinger deney koşulları.....	10
Tablo 2.1-2 Vakumlu kapak sıcaklık deney sonuçları	11
Tablo 2.1-3 Vakumlu kapak basınç deney sonuçları.....	12
Tablo 3.1-1 Isıl çift kullanım sıcaklıkları	27
Tablo 3.2-1 Kullanılan izolasyon malzemeleri ve kalınlıkları.....	30
Tablo 4.6-1 Model h katsayıları.....	47
Tablo 4.6-2 Model farklı fırın içi sıcaklıkları için cam sıcaklıkları.....	47
Tablo 4.6-3 Model iki ve üç camlı kapak karşılaştırma.....	48
Tablo 4.6-4 Model – Deney Isı Taşınım Katsayısı Karşılaştırma	48
Tablo 4.6-5 Model – Deney Dış Cam Sıcaklık Karşılaştırma.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1-1 Fırında enerji kullanım dağılımı	5
Şekil 2.1-2 Camlar arası mesafe - Verimlilik	6
Şekil 2.1-3 Camlar arası mesafe deneyleri	6
Şekil 2.1-5 Dört camlı fırın kapağı.....	8
Şekil 2.1-1 Gerhardinger Deney sonuçları	10
Şekil 2.1-2 Vakumlu kapak uygulaması	11
Şekil 2.2-1 Gözenekli ışınlm perdesi.....	13
Şekil 2.2-2 Kanatlı ışınlm perdesi	14
Şekil 2.2-3 Işınlm perdeli hava soğutmalı kapak-1.....	15
Şekil 2.2-4 Işınlm perdeli hava soğutmalı kapak-2.....	16
Şekil 2.3-1 Fırın havalandırma sistemi.....	18
Şekil 2.3-2 Bombeli & hava geçişli kapak	19
Şekil 2.3-3 Zorlanmış akışlı fırın ön kapağı	20
Şekil 2.3-4 Piroolitik fırında hava akış sistematiği	21
Şekil 2.3-5 Dört camlı hava soğutmalı kapak.....	22
Şekil 2.3-6 Hava sirkülasyonlu kapak	23
Şekil 2.3-7 Soğutma fanlı fırın kapağı.....	24
Şekil 3.1-1 Deney köşesinin genel görünüşü	26
Şekil 3.1-2 Fırın ısıtıcıları ve deney kapağı	27
Şekil 3.1-3 Kapak iç yüzeyine yerleştirilen ısı çiftler	28
Şekil 3.2-1 Deney düzeneğinin şematik görünüşü	30
Şekil 3.2-2 Deney düzeneğinin şematik görünüşü	31
Şekil 3.2-3 Deney düzeneğinin şematik görünüşü	32
Şekil 3.2-4 Üzerine ısı çift yerleştirilen ızgara.....	33
Şekil 3.3-1 Isı akısı algılayıcı test cihazı.....	34
Şekil 3.3-2 Taşınım katsayısı belirleme deneyleri	35
Şekil 3.3-3 taşınım katsayısının sıcaklığa göre değişimi	36
Şekil 3.3-4 Dikey düzlemde taşınım katsayısı değişimi.....	36
Şekil 3.3-1 Ön kapak ısı akış şeması.....	37
Şekil 4.1-2 Kontrol Hacmi 1	38
Şekil 4.2-1 Kontrol Hacmi 2	40
Şekil 4.3-1 Kontrol Hacmi 3	41
Şekil 4.4-1 Kontrol Hacmi 4-a.....	42
Şekil 4.4-2 Kontrol Hacmi 4-b.....	43
Şekil 4.5-1 Kontrol Hacmi 5	44
Şekil 4.6-1 Kapak programından bir görünüş.....	45

SEMBOL LİSTESİ

α	: Isıl yayılım sayısı, [m^2/s]
β	: Isıl genleşme katsayısı, [K^{-1}]
c_p	: Özgül ısı, [$kJ/kg.K$]
ε	: Yayma katsayısı, emisivite
δ	: Karakteristik uzunluk, [m]
g	: Yerçekimi ivmesi, [m^2/s]
Gr	: Grashof sayısı
h_g	: Giren hava entalpisi, [kJ/kg]
$h_{\dot{c}}$	: Çıkan hava entalpisi, [kJ/kg]
$h_{i\dot{c}}$	: Fırın içi taşınım katsayısı, [$W/m^2.K$]
h_{12}	: 1. ve 2. camlar arası taşınım katsayısı, [$W/m^2.K$]
h_{23}	: 2. ve 3. camlar arası taşınım katsayısı, [$W/m^2.K$]
$h_{dış}$	: Dış ortam taşınım katsayısı, [$W/m^2.K$]
k	: Isı iletim katsayısı, [$W/m.K$]
c	: Kalibrasyon sabiti, [$(W/m^2)/\mu V$]
L	: Karakteristik uzunluk, [m]
m_{hava}	: hava kütlesi, [kg]
Nu	: Nusselt sayısı
Pr	: Prandtl sayısı
$Q_{taşınım_iç-1}$	: Fırın iç havasından iç cama taşınım ile geçen ısı, [W]
$Q_{ışınım_iç-1}$	: Fırın iç havasından iç cama ışınlama ile geçen ısı, [W]
$Q_{ışınım_1-2}$	: 1. camdan - 2. cama ışınlama ile geçen ısı, [W]
$Q_{ışınım_2-3}$	: 2. camdan - 3. cama ışınlama ile geçen ısı, [W]
$Q_{taşınım_1-12}$	: 1.camdan ara havaya taşınım ile geçen ısı, [W]
$Q_{taşınım_12-2}$	: Ara havadan 2.cama taşınım ile geçen ısı, [W]
$Q_{taşınım_2-23}$	: 2.camdan ara havaya taşınım ile geçen ısı, [W]
$Q_{taşınım_12-2}$	: Ara havadan 3.cama taşınım ile geçen ısı, [W]
$Q_{taşınım_3-dış}$	: 3.camdan dış ortama taşınım ile geçen ısı, [W]
$Q_{ışınım_2-3}$	: 3. camdan – dış ortama ışınlama ile geçen ısı, [W]
Ra	: Rayleigh sayısı
Re	: Reynolds sayısı
σ	: Stefan-Boltzman sabiti, [$5.67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$]
ΔT	: Sıcaklık farkı, [$^{\circ}C$]
$T_{dış}$	: Dış ortam sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
$T_{iç}$	: Fırın içi sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
T_1	: İç cam sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
T_{12}	: Birinci ara hava sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
T_2	: Ara cam sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
T_{23}	: İkinci ara hava sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
T_{23}	: Dış cam sıcaklığı, [$^{\circ}C$]
U	: Hava akış hızı, [m/s]
ν	: Kinematik viskozite, [m^2/s]
V	: Potansiyel, [μV]

FIRIN ÖN KAPAKLARINDA ISI TRANSFER MEKANİZMASININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

ÖZET

Ev tipi elektrikli fırın genel enerji tüketim bilançosu üstüne yapılan çalışmalar kapaktan olan ısı kayıpların toplam fırın enerji tüketiminde önemli oranlara sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın amacı da elektrikli fırınların ön kapaklarından gerçekleşen ısı transfer mekanizmasının deneysel ve teorik olarak incelenerek, fırın kapaklarından gerçekleşen ısı kayıpların azaltılmasına ve kapak dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik yöntemlerin belirlenmesidir.

Bu çalışmaya ışık tutması açısından günümüze kadar fırın kapakları hakkında yayınlanan patentler ve ısı kayıp mekanizmaları ve modellenmesi ile ilgili makaleler incelenmiştir. Literatür araştırmasından sonra fırın ön kapağının ısı performansının belirlenmesi, ısı kayıpların azaltılması ve dış cam sıcaklığının düşürülmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Kapak yapısı üstünde yapılan çeşitli modifikasyonların fırın enerji tüketimine ve kapak dış yüzey sıcaklığına olan etkileri belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında optimum fayda esasına dayalı bir kapak tasarımı oluşturulmuştur.

Deneyler, fırın ön kapak deneyleri için tasarlanmış olan ve deneyler arasında özdeş çalışma koşulları oluşturması hedeflenen ön kapak deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney düzeneği ile sonuçları etkileyen ve belirsizlik yaratan parametre sayısının azaltılması (fırınlar arası farklılıklar, termostat ayarı, fırın kütlesi vs.), daha kontrollü deney yapma olanağı sağlaması hedeflenmiştir.

Deneylerden elde edilen bilgiler ışığında, kapakta ısı transfer mekanizmaları modellenerek, kapaktan olan ısı kayıplarına bağlı olarak kapak sıcaklıklarını hesaplayan bir program oluşturulmuştur. Program yardımıyla farklı cam sayılarında, cam özelliklerinde ve farklı hava geçiş hız ve varyasyonlarındaki kapakların ısı performansı hesap edilebilmektedir.

EXPERIMENTAL & THEORETICAL INVESTIGATION OF THE HEAT TRANSFER MECHANISM OF AN ELECTRICAL DOMESTIC OVEN DOOR

SUMMARY

The experimental results on the energy consumption of a conventional oven indicate that heat loss from oven door is a major part of total energy consumption of an oven. The aim of this study is to examine the thermal performance of an oven door experimentally and theoretically, investigate methods to decrease the heat loss and the surface temperature of oven door.

In order to give a direction to this study, some patents concerning heat loss mechanism and cooling system for oven doors and articles about modeling of an oven door are studied. The experiments are made to determine thermal performance of an oven door and to decrease the energy consumption and the surface temperature of an oven. Various modifications are investigated to determine effects on the energy consumption and surface temperature of an oven door. By the results of these studies, the oven door design criteria are determined with concerning optimum utility.

The experiments are made at the specifically designed oven door test apparatus to obtain identical working condition for all the experiments. The effects of uncertainties, which are coming from real oven working conditions, are eliminated by means of this test apparatus.

By the results of these experiments, the heat transfer mechanism of oven door is modeled and a heat transfer calculation program is written to calculate temperature of oven door depending on heat loss. By means of this calculation program, the effects of different variables on the thermal performance of oven door can be calculated, such as quantity and properties of glass, different airflow velocity.

1. GİRİŞ

Dünyada enerji kaynaklarının sınırlı olması ve uluslararası standartların beyaz eşya ürünlerinde düşük enerji sınıfı uygulamalarının zorunlu hale getirecek olması, diğer ev cihazları gibi fırınların da daha verimli hale getirilmesi söz konusudur. Özellikle ülkemizde elektriğin pahalı bir enerji kaynağı olması, tüketicilerinde tercihini bu yönde kullanmasına teşvik etmektedir. Buna ek olarak son zamanlarda özellikle Avrupa da fırın kapaklarında düşük sıcaklık uygulamalarının yürürlüğe girmesi söz konusudur. Fırınlarda daha düşük sıcaklığa sahip kapaklı ürünler tüketici tarafından tercih sebebi olmaktadır. Bu iki parametre fırın üretici firmaları için önemli bir konu haline gelmiş olup, onları fırınlar üzerinde çalışılıp, yüksek verimli ve düşük yüzey sıcaklığına sahip fırınlar üretmeye teşvik etmektedir.

Bu çalışmanın amacı da elektrikli fırınların ön kapaklarından gerçekleşen ısı transfer mekanizmasının deneysel ve teorik olarak incelenerek fırın kapaklarından gerçekleşen ısı kayıpların azaltılmasına ve kapak dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik yöntemlerin belirlenmesidir. Yapılan literatür taramalarında fırının enerji tüketiminin %30'unun kapaklardan gerçekleştiği, bu yüzden kapak enerji tüketimini azaltılmasına yönelik çok sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Kapakta enerji tüketimi ile anılan bir diğer konu ise kapak dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik bir çok çalışmanın yapıldığı ve çoğu çalışmada da bu iki parametrenin birlikte incelendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak, kapaklarda farklı sayıda ve özellikte cam kullanımı, kapakta sızdırmazlığın sağlanması, cam-metal temasının kesilmesi ve kapakta dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik kapakta hava akışı çalışmalarının yapıldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle iki camlı kapak üzerinde mevcut durum analizi gerçekleştirilmiştir. Deneyler bir fırın üzerinde gerçekleştirilmiş olup kapak üzerinde çok ayrıntılı sıcaklık ölçümü alınmıştır. Yapılan bu deneylerde kapak sıcaklık haritası çıkarılmış ve temel bilgiler edinilmiştir.

Fırın üzerinde gerçekleştirilen deneylerde belirsizlik oluşturan parametre sayısının fazla olması nedeni ile yapılan iyileştirmelerin analizi güç olmaktadır. Bu yüzden ikinci aşamada, kapak deneylerini kontrollü ve hızlı bir şekilde yapmak, yapılan

iyileştirmeleri yüksek doğrulukta değerlendirmek amacıyla “Kapak Deney Düzeneği” kurulmuştur. Bu deney düzeneğinde literatür çalışmalarında elde edilen bilgiler işığında alternatif kapak tasarımları denenmiş ve bunların kapak ısı performansına etkileri incelenmiştir.

Bütün bu bilgiler işığında kapak ısı transfer mekanizması doğrultusunda,  camlı kapakta farklı fırın içi sıcaklıkları, farklı cam ve cam mesafelerinde kapak cam sıcaklıklarını hesaplayan bir kod Ms Excel programı kullanılarak yazılmıştır.

Bu çalışmada, deneylerde kullanılan farklı fırın kapakları, deneylerin yapıldığı düzenek tanıtılmış, deney metodolojileri ayrıntılı olarak anlatılmış, deneyler sonucunda elde edilen sıcaklık, ölçülen ve hesaplanan enerji tüketimi değerleri verilmiş ve fırın kapaklarının, farklı durumların birbirleriyle kıyaslanmalarına yer verilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde uluslararası standartlar bütün elektrikli ev cihazlarında enerji tüketimini sınırlayıcı önlemler almaktadır, dolayısıyla elektrikli fırınlarda da düşük enerji tüketimine sahip ürünler teşvik edilmektedir. Bu yüzden fırın üretimi ile ilgilenen firmaların bu konu hakkında gerekli çalışmaları ve araştırmayı yapmaları gerekmektedir. Genel olarak bakıldığında fırınlarda ısı kayıpları için en önemli patika olarak kapak ön plana çıkmaktadır, fırın genel enerji tüketiminin yaklaşık %30'unun kapaklardan gerçekleştiği belirtilmektedir. Fırının diğer beş duvarının iyi izole edildiği ve ısı ışıınım açısından kapakta bulunan gözetleme penceresi en düşük dirençli çıkış patikası olduğu göz önüne alındığında, fırın kapaklarının ısı performanslarının iyileştirilmesinin gerekliliği aşikardır. Ayrıca son yıllarda fırın kapaklarında temas yüzey sıcaklıklarının düşürülmesi hakkında çalışmalar yürütülmektedir ve bu konu hakkında bağlayıcı regülasyonların uygulamaya girmesi kaçınılmazdır. Bu yüksek lisans çalışmasında elektrikli fırın kapaklarında ısı verimin artırılması ve dış cam sıcaklığının düşürülmesine yönelik günümüze kadar yapılmış çeşitli makalelere ve patent çalışmalarına yer verilecektir.

İncelenen çalışmalarda, fırın kapaklarında ısı patikalarının kesilmesine yönelik olarak sıkça başvuru yöntem, kapakta farklı sayıda ve özellikte cam kullanılmasıdır. Araştırmacılar kapakta ölü hacimler oluşturmak sureti ile taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarını azaltılması üzerine durmuşlardır. Yine ısı ışıının kayıplarının düşürülmesi açısından kapaklarda düşük yayma katsayılı (yansıtıcı) camlar kullanılması söz konusudur. Dış cam sıcaklıklarının düşürülmesine yönelik olarak ise kullanılan bu camlar arasında oluşturulan hava boşluklarından faydalanılmaktadır.

Fırının kapak performansının artırılmasına yönelik bir diğer uygulama da kapakta ısı ışıını önleyici ışıınım kalkanı kullanılmasıdır. Fırın kapaklarında kullanılan camlar, ısıtıcılardan yayılan ışıını dalga boylarından dolayı direkt olarak geçirmemektedirler, yani söz konusu dalga boylarında cam opak kabul edilmektedir. Camlar ancak üzerlerindeki sıcaklıklardan dolayı ışıını yaymaktadırlar, ışıını

kalkanları ise camlar arasına yerleştirilerek ısıtım ile gerçekleşen ısı kayıplarının düşürülmesi, yani ek bir direnç oluşturmaya için kullanılmaktadır. Kullanılan ısıtım kalkanları genellikle hareketli bir mekanizmaya sahip olup, bu mekanizma otomatik veya manuel olabilmektedir. Buradaki amaç kullanıcının istediği zaman fırın içini görebilmesi, diğer zamanlarda ısıtım perdesinin kapalı kalmasıdır, böylece enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. ısıtım kalkanlarında bir diğer uygulama ise sabit ancak delikli bir yapıya sahip metal plakalardır. ısıtım kalkanları yayma katsayıları düşük (yansıtıcı) metallerden yapılmaktadır, çoğunlukla alüminyum kullanılmaktadır. Yerleşim yerleri ise genellikle iç kısımlara daha yakındır, buradaki amaç ısıtımın iç kısımlarda hapsedilmesidir.

Çalışmalarda yer alan önemli konulardan biri de fırın kapaklarının yalıtımı ve sızdırmazlığı ile alakalı çalışmalardır. Fırın kapaklarında, fırın içindeki nemli ve sıcak havanın kapak içerisine veya camlar arası bölgelere girmesi istenmeyen bir durumdur. Muhtemel sızmalar ısı kayıplarını artıracak gibi yoğunlaşan gazlar görünüm açısından da istenmeyen bir durumdur. İncelenen çalışmalarda bunların önlenmesine yönelik ayrıntılı araştırmalara rastlanmıştır. Ayrıca yine kapak ile kavite arasından dış ortama sızacak gazların engellenmesine yönelik çevresel conta kullanımları görülmüştür.

İncelenen çalışmalarda kapaklarda ısı patikalarının kesilmesine ve ısı köprü oluşumlarının engellenmesine çalışıldığı tespit edilmiştir. Özellikle cam metal temasının kesilmesine yönelik çalışmalara ağırlık verilmiştir. Yine ısı kayıplarının azaltılmasına yönelik kapakta cam kısımların dışında kalan alanlarda cam yünü izolasyon kullanımı dikkat çekmektedir.

Fırın kapaklarında dış cam sıcaklıklarının düşürülmesi amacıyla, kapakta oluşturulan hava kanalları vasıtası ile bu bölgeden hava akışı sağlanmaktadır. Hava akışının doğal ve zorlanmış akış olarak gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Çalışmalarda hava akış patikaları üzerinde ayrıntılı çalışmalar yapıldığı farklı varyasyonlara gidildiği görülmüştür.

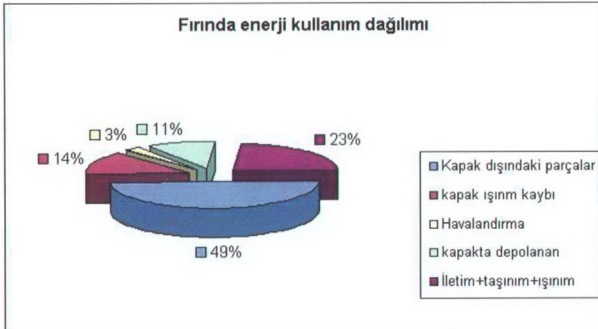
Bu yüksek lisans çalışmasında incelenen çalışmalar genel olarak üç başlık altında toplanmıştır. İlk olarak kapakta cam sayısı, sızdırmazlık ve yalıtım konularının bulunduğu genel kapak uygulamalarından bahsedilecek, daha sonra kapakta ısıtım kalkanı kullanımının konu edinen çalışmalara yer verilecektir. Son olarak ta kapaklarda hava akışı uygulamalarını içeren çalışmalara ağırlık verilecektir. Bir çok çalışmada üç grubun bir arada çalışıldığı görülmektedir.

2.1. Genel Kapak Uygulamaları

Bu bölümde fırın kapaklarında gerçekleştirilen farklı sayıda ve özellikte cam uygulamaları, kapakta sızdırmazlığın sağlanması ve kapak içerisinde yalıtım malzemesi kullanılması gibi genel kapak uygulamalarına yer verilecektir.

Fırın kapaklarında kullanılan cam sayısı ve özelliği ve bu camların yerleşimi kapaklar için son derece önemli bir konudur. Bu konu hakkında 1991 yılında C. Wong [1] tarafından bir yüksek lisans çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada genel hatları ile fırın kapaklarının ısı performansının artırılmasına yönelik termal dizayn esasları üzerinde durulmuştur. Elektrikli fırınlarda diğer beş duvarın iyi izole edildiği düşünüldüğünde, ısı kayıplarında en uygun patikanın kapak bölgesi olduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmayla fırın kapaklarında sızdırmazlığın sağlanması, camlar arası optimum mesafenin belirlenmesi ve kapaktaki cam bölgenin enerji tüketimine olan etkileri tespit edilmiştir.

Söz konusu çalışmada fırının bütün olarak her bir elemanın termal yük kapasitesi tespit edilmiştir. Bunun için öncelikle her bir parçanın yoğunluğu, boyutları, ısı özellikleri tespit edilmiş ve buna bağlı olarak her birinin depoladığı ısı enerjiler bulunmuştur. Ayrıca fırında kapak bölgesi haricinde kalan kısımlardan gerçekleşen iletim, taşınım, ışıınım ile gerçekleşen ısı kayıplar ve havalandırma (infiltrasyon) kayıpları da tespit edilmiştir. Bütün bu hesaplamalardan sonra kapağın fırın enerjisi tüketimindeki yüzde payı tespit edilmiştir. (Şekil 2.1-1) Bu değerin kapaktan gerçekleşen havalandırma kayıpları da dahil edildiğinde %30 mertebelerinde olduğu bilinmektedir.

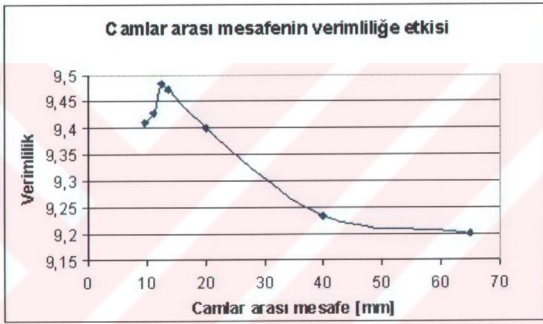


Şekil 2.1-1 Fırında enerji kullanım dağılımı

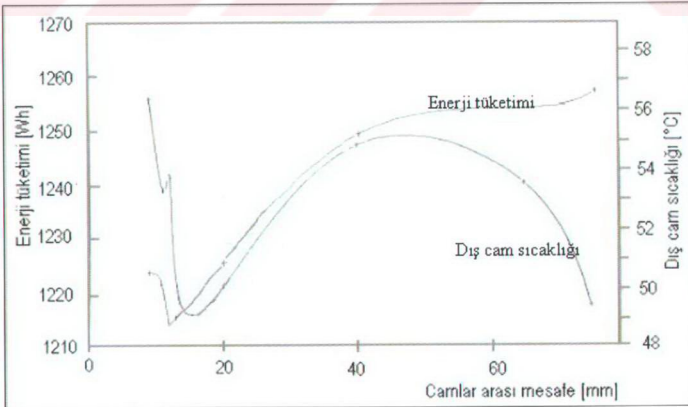
Bu araştırmada yapılan bir diğer çalışma ise kapaklarda camlar arası mesafenin fırın enerji tüketimine ve dış cam sıcaklığına olan etkisinin tespit edilmesidir. Bunun için öncelikle fırın verimliliğinden bahsedilmiştir;

Fırın verimliliği: fırın içerisine konulan bir test bloğunun sıcaklığının 130 K artışı için gerekli enerji miktarının, fırına verilmesi gereken enerji miktarına bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu oran Şekil 2.1-2’de verildiği üzere %9 mertebelerinde olmaktadır.

Şekil 2.1-2 ve Şekil 2.1-3’te camlar arası mesafenin enerji tüketimine, dış cam sıcaklığına ve fırının verimine olan etkileri tespit edilmiştir.



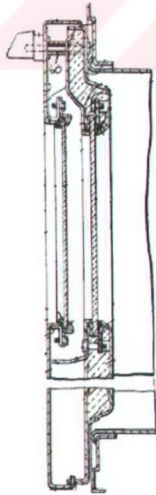
Şekil 2.1-2 Camlar arası mesafe - Verimlilik



Şekil 2.1-3 Camlar arası mesafe deneyleri

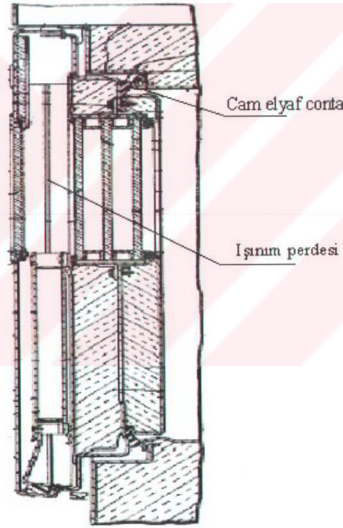
Deneylerin fırın içi sıcaklığı 180 K artışı için yapıldığı ve ölçümlerin fırın içi sıcaklık kararlı denge haline geldikten sonraki değerler olduğu belirtilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda camlar arası optimum mesafenin 12-13 mm olması gerekliliği belirtilmiştir. Kapak üzerinde yapılan bir diğer deney ise iç cam iç yüzeyinin tamamen alüminyum folyo ile kaplanması deneyidir. Bu deney sonrasında fırın dış cam sıcaklığının 20°C, enerji tüketiminin %16 ve pişirme süresinin %10 oranında düşükleri belirtilmektedir.

İncelenen çalışmalarda en sık karşılaşılan uygulama, kapakta metal cam bağlantılarının kesilmesi ve kapak iç kısımları ile dış kısımlarının birbirinden ayrılmasıdır. Bu konuda rastlanan en eski uygulamalardan biri 1974 yılında J. J. Nuss [2] tarafından alınan patenttir. Şekil 2.1-4'de gösterilen iki camlı basit bir fırın kapağı ile kapakta gerçekleşen iletimsel ısı kayıpların azaltılması hedeflenmiştir. Araştırmacılara göre cam-metal teması iletimsel ısı kayıplarında önemli rol oynamaktadırlar, özellikle iç cam fırın içi ortam ile temasta olduğu için aşırı ısınmaktadır. İç camın kapağa bağlandığı yerler cam yünü ile izole edilerek ısının kapak üzerine yürümesi engellenmiştir. Dış cam ise iç bölmeden tamamen bağımsız bir şekilde kapağa monte edilmiştir. Ayrıca cam bağlantı yerlerinde sızdırmazlık sağlanması amacıyla lastik contalar kullanılmaktadır. Vida bağlantılarında ise metal temasın engellendiği görölmektedir.



Şekil 2.1-4 İki camlı basit fırın kapağı

Fırın kapaklarında ve özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında rastlanan bir diğer konu çok camlı kapak uygulamalarıdır. (J. A. White, 1972) Bu araştırma yüksek sıcaklık fırınlarından ısı kayıpların azaltılması ve dış cam sıcaklıklarının düşürülmesine yönelik bir çalışmadır. (Şekil 2.1-5) Yüksek sıcaklık fırınlarında fırın içi sıcaklıklar 500°C civarında olmaktadır, dolayısıyla normal fırın kapağına göre daha fazla önlem gerekmektedir. Söz konusu çalışmada kapak dört camdan oluşmaktadır ve ilk üç cam kapağın fırın içine bombe yaptığı kısımda bulunmaktadır. Kapağın özellikle bombe yapan kısmı şekilde görüldüğü üzere çok iyi izole edilmiştir. Burada hedeflenen ısıнын mümkün olduğunca iç kısımlarda tutulmasıdır. Kapak ile kavitenin birleştiği yerde ise sızdırmazlık sağlamak amacı ile cam elyaf conta (34) kullanılmıştır.



Şekil 2.1-5 Dört camlı fırın kapağı

Bu uygulamada ayrıca ışıının kalkanı da kullanılmıştır, böylece yüksek sıcaklıkta ışıının ile gerçekleşen ısı kayıplarında azaltılması hedeflenmiştir. Işıının kalkanı üzerinde açılan delikler ile bu aralıktan hava akışı sağlamak mümkün olmaktadır. Yüksek sıcaklık fırınlarında hava akışı olmaksızın dış cam sıcaklıklarının düşürülmesi olanaksızdır.

Fırın kapaklarında farklı özellikte ve sayıda cam kullanımı ile ilgili bir çalışmada 2000 yılında P. Gerhardinger [4] tarafından yapılmıştır. Bu çalışma özellikle kapakta kullanılan camların, fırın enerji tüketimine ve dış cam sıcaklığının yükselme karşı etkileri incelenmiştir. Çalışma termal rezistans modeli üzerinden hareket edilerek yapılmıştır. Buna göre;

$$\text{Taşıım} : R_{tasim} = \frac{1}{h.A}$$

$$\text{İletim} : R_{iletim} = \frac{L}{k.A}$$



$$R_{eş} = R(\text{taşıım,iletim,ışınım})$$

$$\text{Işınım} : R_{ışınım} = \frac{1}{\varepsilon.\sigma.A.(T_1 + T_2)^2 (T_1 + T_2)}$$

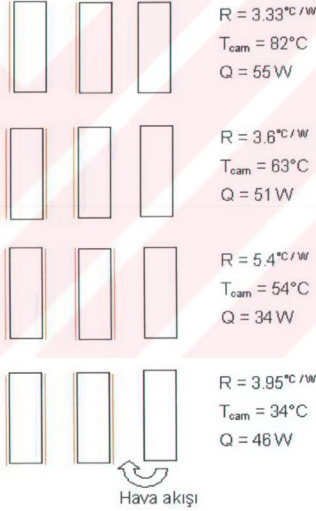
$$Q = \frac{(T_{fırın} - T_{ortam})}{R_{eş}}$$

Bu çalışmada araştırmacı, camın ısı direncinin çok düşük olduğunu dolayısıyla camın kalınlığının etken bir parametre olmayacağı kabul edilmiştir. Ayrıca fırın içi sıcaklık açısından camların söz konusu dalga boyları arasında ısı ışınımı geçirmez olduğu kabul edilmiş ve yayma katsayıları $\varepsilon_{cam} = 0.9$ alınmıştır. Çalışmalarda farklı özellikte cam olarak bir yüzeyi veya iki yüzeyi de kaplanmış, düşük yayma katsayılı (low emissivity) camlar kullanılmıştır. Araştırmacı camlar arası optimum mesafenin 9 -12 mm olarak tespit edildiğini belirtmektedir. Bu çalışmada kapaklar için bir ısı transfer hesaplama programı yazılmıştır, bu program ile fırın içi sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı,cam sayısı ve özellikleri girilerek kapaktaki ısı akısının ve dış cam sıcaklığının nasıl etkilendiği tespit edilmektedir. Bu programın sonuçları ile gerçekleştirilen deney sonuçları arasındaki farkın %2 olduğu belirtilmiştir. Tablo 2.1-1'de ortam koşulları ve bu ortam koşullarında, farklı dört durum için program sonuçları Şekil 2.1-6'da verilmiştir. Şekilde kaplamalı yüzeyler sarı çizgiler ile temsil edilmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde açıkça görülmektedir ki, kapakta iki adet tek yüzeyi kaplamalı cam yerine iki adet iki yüzeyi de kaplamalı cam kullanmak enerji tüketimini %38 oranında, dış cam sıcaklığını ise 24°C düşürmektedir. Kapakta camlar arasından hava akışının gerçekleştirilmesi, enerji tüketiminde %35'lik bir artışa sebep olurken, dış cam sıcaklığında 20°C'lik bir düşüşe sebep olmaktadır.

Tablo 2.1-1 Gerhardinger deney koşulları

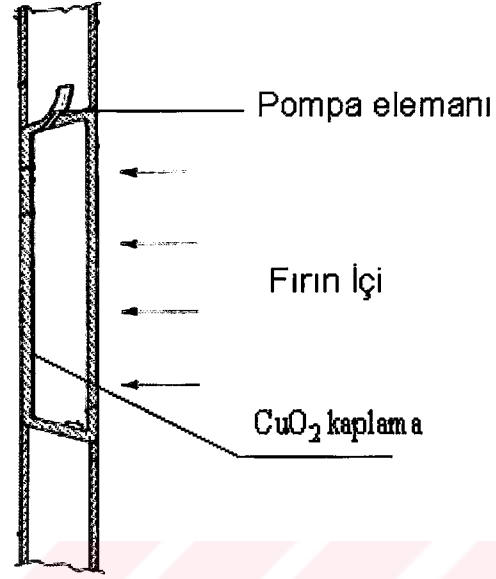
Durum	Üç camlı
Fırın içi sıcaklığı	204°C
Oda sıcaklığı	21°C
Cam alanı	0.12 m ²
Camlar arası mesafe	20 mm
$\varepsilon_{\text{Kaplama}}$	022



Şekil 2.1-1 Gerhardinger Deney sonuçları

Fırın kapaklarında bir diğer uygulama ise kapakta camlar arası hacmin vakumlanması işlemidir.[5] Bu işlemde camlar arası hacme yerleştirilen aparatlar sayesinde vakumlama gerçekleştirilmektedir. (Şekil 2.1-7) Söz konusu çalışmada vakumlama işlemi yanı sıra camlar arası ortama nemi yutma özelliği olan malzeme (getter) yerleştirilmiştir. Bu malzeme (Şekil 2.1-7 de 16 numaralı parça) düşük basınçlarda çok iyi nem yutabilme kapasitesine sahiptir, yapısında çeşitli oranlarda Zirkonyum ve Alüminyum ağırlıklı olmak üzere Toryum, Tantalyum gibi malzemeler

İçermektedir. Bu yapısı sayesinde camlar arasına sızan nemli havayı emebilmektedir.



Şekil 2.1-2 Vakumlu kapak uygulaması

Dış camın iç kısmı (15 numaralı parça) ise 0.1µm kalınlığında bakır oksit malzeme ile kaplanmak sureti ile ışınlıma karşı yalıtım yapılmıştır. Deneyler farklı sıcaklıklarda ve basınçlarda gerçekleştirilmiş olup, sonuçları Tablo 2.1-2 ve Tablo 2.1-3'te verilmiştir.

Tablo 2.1-2 Vakumlu kapak sıcaklık deney sonuçları

İç Sıcaklık [°C]	Dış yüzey sıcaklık [°C]	Isı Akısı [W/m²]	Basınç
100	44	110	Vakum
150	57	350	Vakum
200	72	700	Vakum
220	77	800-	Vakum

Tablo 2.1-3 Vakumlu kapak basınç deney sonuçları

İç Sıcaklık [°C]	Dış yüzey sıcaklık [°C]		Isı Akısı [W/m ²]		Basınç
	Kaplama var	Kaplama yok	Kaplama var	Kaplama yok	
100	44	57	230	440	Hava
100	36	50	110	350	Normal vakum (10 ⁻² mbar)
100	36	51	100	360	Aşırı vakum (10 ⁻⁵ mbar)

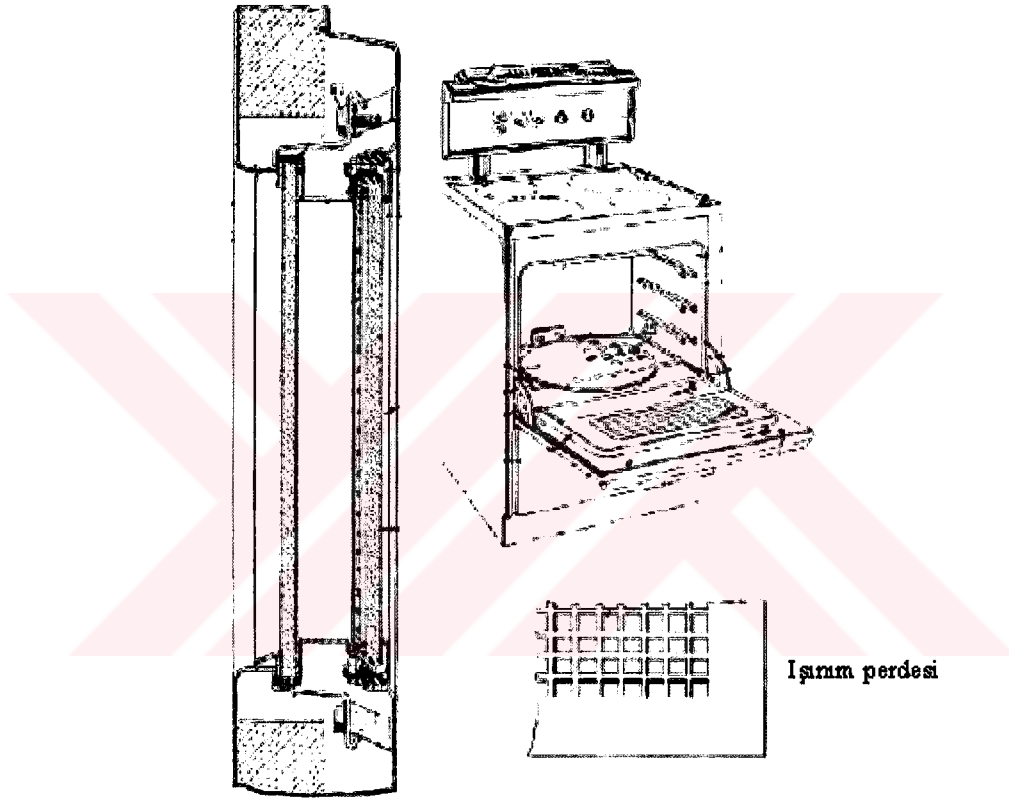
Karşılaştırma açısından dış camın iç kısmının yansıtıcı bir madde ile kaplanması, vakumlu bir ortamda dış cam sıcaklığı açısından 14°C, ısı akısı açısından ise %68.5 azalma sağlamaktadır. Yine Tablo 2.1-3'te vakumlu kapağın vakumsuz kapağa göre dış cam sıcaklığını 8°C ve enerji tüketimini %43 oranında düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca gerçek bir fırında iç sıcaklık 250°C iken iç cam sıcaklığı 217°C, dış cam sıcaklığı ise 130°C olmaktadır. Son deney ile karşılaştırıldığında dış cam sıcaklığı 63°C, ısı akısı %50 oranında düştüğü görülmektedir. Bu da kapakta vakumlama ve kaplamalı cam kullanmanın getirdiği faydaları göstermektedir.

2.2. Işınım Kalkanı Uygulamaları

Fırının kapaklarında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalarda yaygın olarak üzerinde çalışılan bir diğer konu da ışıınım kalkanı uygulamalarıdır. Fırınlarda yüksek sıcaklıklar kullanıldığı için ısı ışıınım çok etkili bir parametredir. Bu bölümde farklı tipteki ışıınım kalkanı uygulamalarına yönelik çalışmalar verilecektir.

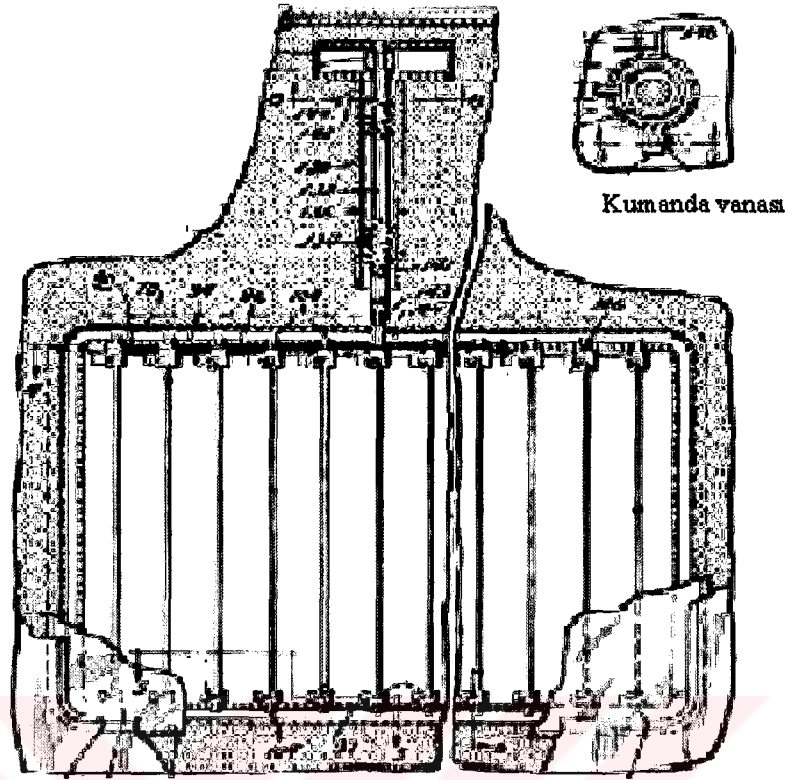
Işınım kalkanı ilgili ilk uygulama 1963 yılında Robert A. Kinkle [6] tarafından yapılan çalışmadır. Kapaklardan ısı ışıınımın engellenmesine yönelik bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar; metal örgülü conta, metal film kaplama ve tel kafes uygulamalarıdır. Bu çalışmada ise bu yöntemlerin zamanla aşınması ve kırılması gibi nedenlerle kullanılmasının sakıncalı olduğu belirtilmektedir. Bunların yerine

Şekil 2.2-1’de gösterilen delikli alüminyum plakanın kullanılması önerilmektedir. Alüminyum plaka iki camlı kapakta iç camın dış yüzeyine yerleştirilerek, fırın içi yüksek sıcaklığı ile teması kesilmektedir. Böylece plakanın kirlenmesi ve ısı yorulması engellenmektedir. Alüminyumun yayma katsayısının düşük olması, maliyetinin düşük olmasının yanı sıra, ısınım açısından çok önemli bir etkidir. Delikli bir yapıya sahip olması artı olarak fırın içinin görünümü açısından da fayda sağlamaktadır. Kapakta sızdırmazlık açısından da önlem alınmış olup, kapak üzerine çevresel cam elyaf conta geçirilmiştir.



Şekil 2.2-1 Gözenekli ısınım perdesi

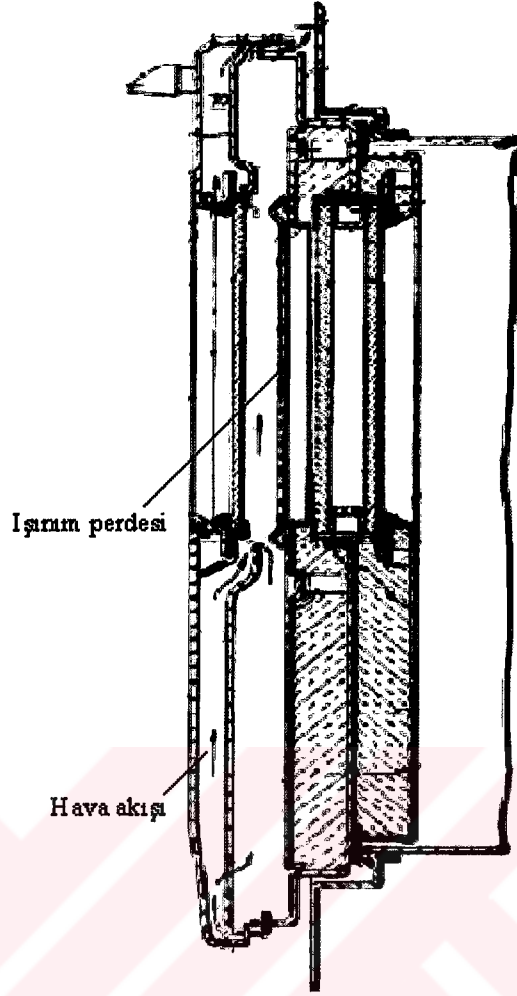
Isınım perdeleri ile ilgili bir diğer uygulama ise 1969 yılında H. G. Herbert [7] tarafından yapılan bir çalışmadır. Buradaki uygulamada ısınım perdesi kanatçıklı bir yapıya sahip olup, hareket ettirilebilmektedir (Şekil 2.1-2).



Şekil 2.2-2 Kanatlı ısınım perdesi

Şekil 2.2-2'de gösterilen ısınım perdesi, sağ üst köşede gösterilen kumanda ile kontrol edilebilmektedir. Bu sayede kullanıcı istediği taktirde perdeyi açarak fırın içini görebilmektedir. Diğer zamanlarda ise perde kapalı kalarak ısı ısınımını önlemektedir, böylece pratik bir çözüm elde edilmiş olmaktadır.

Isınım perdeleri ile ilgili bir diğer uygulama ise 1974 yılında J. J. Nuss [8] tarafından alınan patent çalışmasıdır. Araştırmacı yüksek sıcaklık fırınlarında ısı yalıtımını artırılması ve dış cam sıcaklığının düşürülmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Söz konusu kapak tasarımı Şekil 2.2-3'te verilmiştir. Üç camlı sistemde kapağın fırın içine bombe yapmış olan kısmı iyi bir şekilde izole edilmiştir. İkinci ve üçüncü camlar arasına bir ısınım perdesi monte edilmiştir, bu perde ile ısınım önlenmektedir. Perdenin ikinci bir görevi daha bulunmaktadır, bu görev dış cam ile ikinci cam arasında hava geçişinde soğuk havanın ikinci cam temasının engellenmesidir. Çekilen ortam havasının alt giriş bölgesinde de ikinci yüzeye teması kesilmektedir, böylece dış cam soğutulurken ısı kayıplar az tutulmaya çalışılmaktadır.

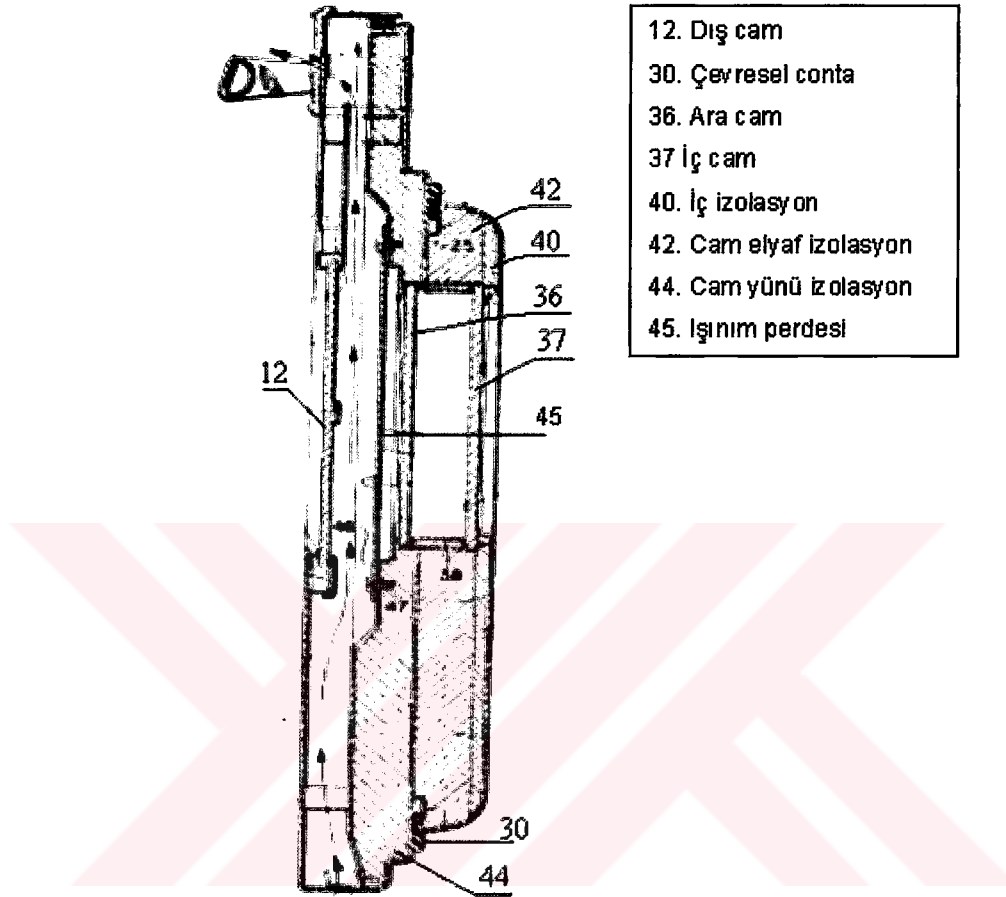


Şekil 2.2-3 Işınım perdeli hava soğutmalı kapak-1

1978 yılında R. H. McFarland [9] tarafından yayınlanan patent, yüksek sıcaklık fırın kapaklarında kullanılan ışıınım perdesi hakkında bir çalışmadır. Söz konusu çalışma maksimum verimlilik esasına dayanan ve dış cam sıcaklığının düşürülmesi hedeflenen bir çalışmadır (Şekil 2.2-4).

Bu çalışmada dış cam yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik olarak birkaç faktör bir arada kullanılmıştır. Kapakta üç cam kullanılmış ve bu üç camın birbirleri ile olan direkt teması kesilmiştir. En dıştaki cam (12) normal temperlenmiş cam iken ilk iki cam (36,37) tek veya çift yüzeyi kaplamalı borosilikat camlardır. Fırın iç kavitesine yakın ilk iki cam üç katman halinde izole edilmiştir, ilk katmanda (40) yüksek sıcaklığa dayanıklı izolasyon malzemesi kullanırken, ikinci katmanda (42) cam elyaf ve son katmanda (44) ise cam yünü kullanılmıştır. Bunlara ek olarak ikinci ve üçüncü camlar arasından hava geçişi sağlanmaktadır, birinci ve ikinci camlar arasında ise ölü hacim etkisi oluşturulmuştur. Kapağın kavite içerisine bombe

yaptığı kısmında çevresel conta (30) kullanılarak, sıcak havanın kapı üzerinden çıkışı engellenmiştir.



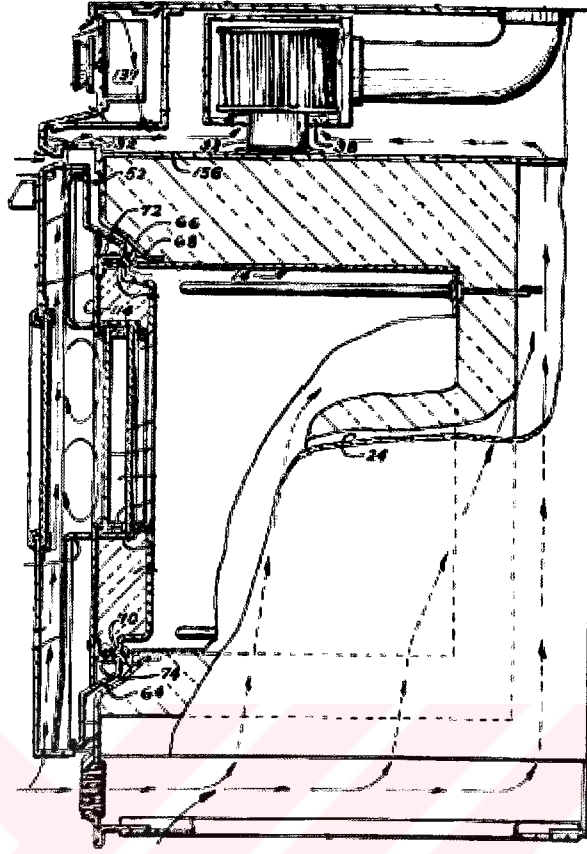
Şekil 2.2-4 Işınım perdeli hava soğutmalı kapak-2

Işınım perdesi 45 numara ile gösterilmiş ve daha önce yapılan çalışmalardan farklılık içermektedir. Burada ışınlam perdesi olarak elektrolize edilmiş alüminyum plaka kullanılmakta ve bu plaka fırın içerisinde görünümünü sağlamak amacı ile delikli yapıya sahiptir. Bu yapı ile %37 görünebilirlik yüzdesine sahip olmaktadır. Ergonomik açıdan kullanıcıya kolaylık sağlamak amacı ile fırın iç camı kapak üst kısmına yerleştirilmiştir, böylece kullanıcı daha geniş görüş açısına sahip olacaktır. Ayrıca metal plakanın fırın içine bakan yüzeyi yansıtıcı malzeme ile kaplı iken dış tarafa bakan kısmı kullanıcının rahatsız olmaması için siyaha boyanmıştır.

2.3. Hava Soğutmalı Kapak Uygulamaları

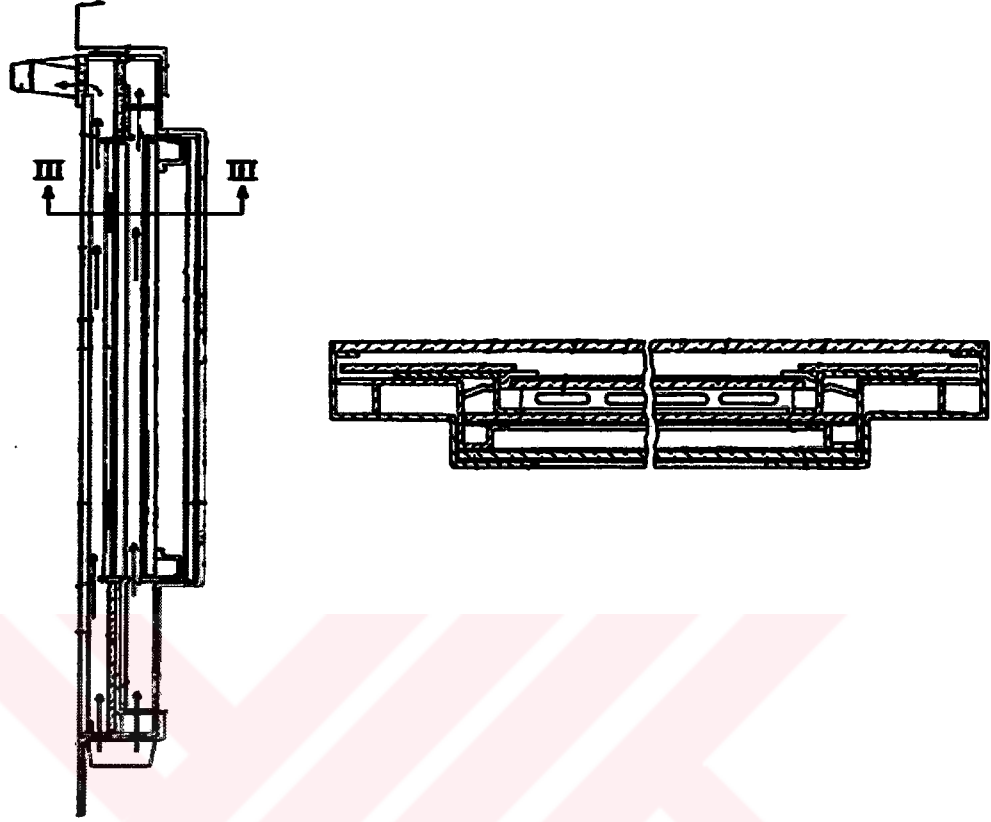
Fırın kapaklarında dış yüzey sıcaklığının belli bir değerin altına düşülmeye çalışıldığında teorik olarak ısı izolasyonunun inebildiği bir nokta vardır , bundan sonra soğutma istendiğinde dış kaynaklar kullanılmalıdır. Bunun için en kolayı hava ile soğutmadır, buna yönelik kapakta oluşturulan hava kanallarından ortam havasının geçirilmesi sağlanmaktadır. Burada kapak içerisinde farklı akış patikaları izlemek sureti ile dış yüzey sıcaklığının düşürülmesi, aynı zamanda enerji tüketiminin fazla artırılmaması söz konusudur. İncelenen patentlerde hava akışının doğal ve zorlanmış hava akışı ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Zorlanmış akış genellikle fırın üzerine yerleştirilmiş bir fan vasıtası ile sağlanmaktadır.

Böyle bir uygulamanın yer aldığı, yüksek sıcaklık fırınlarında kapak dış yüzey sıcaklığının 60°C altına indirilmesine yönelik, Raymolds L. Dills [10] tarafından yapılmış bir çalışmadır (Şekil 2.3-1). Kapak dış yüzey sıcaklığının 60°C'nin altında kalmasına yönelik olarak, fırın üst bölgesine yerleştirilen radyal bir fan aracılığı ile hava sirkülasyonu sağlanmaktadır. Kapakta toplam üç adet cam kullanılmış ve bunlardan ilk ikisi, kapağın fırın içerisine bombe yaptığı kısımda aralarında belirli bir mesafe korunmak şartı ile izole bir şekilde durmaktadır. Şekil 2.3-1'de görüleceği üzere üçüncü cam ile ikinci cam arasında hava akışı gerçekleşmektedir. Hava kapağa alt bölgedeki dar açıklıktan girmekte, sonra ani bir genişleme ile camlar arası kısma gelmekte ve daha sonra tekrar dar bir kesite yönlendirilmektedir. Böylece camlar arası bölmede hava akışının türbülanslı bir yapıya kavuşması sağlanarak, buradaki hava taşınım katsayısı artırılmaktadır. Kapak üst kısımlarının soğutulması amacıyla kapak üst bölgesinden de hava çekişi yapılmaktadır.



Şekil 2.3-1 Fırın havalandırma sistemi

Fırın kapaklarında hava akışı sağlamak sureti ile kapak dış panelinin soğutulmasına yönelik bir diğer çalışma Mikalauskas George, 1995 [11] tarafından yapılmıştır. Söz konusu çalışma, birbirine paralel yerleştirilmiş dört cam ve camlar arası boşluklardan hava sirkülasyonu gerçekleşen ön kapak konstrüksiyonudur (Şekil 2.3-2). Hava sirkülasyonu için fan şekillerde gösterilmemiş olup, ocak üst tablasının altına yerleştirilmiştir. Kapak içerisine hava girişi alt kısımdan gerçekleşmekte, çıkış ise şekilde görüldüğü üzere tutamak ve tutamağın üst bölgesinden gerçekleşmektedir. Dolayısıyla tutamak kısmının sıcaklığı yüksek olacaktır. Kapak fırın iç kavitesine doğru bombeli yapılmıştır, böylece kapak hacmi artırılmıştır. Hava akışı 22, 23 ve 24 nolu camlar arasından gerçekleşmekte ve dış cam ile 3. cam arası hava kanalı yaklaşık 13mm, 3. cam ile 2.cam arası hava kanalı ise 9.5mm mesafesindedir.

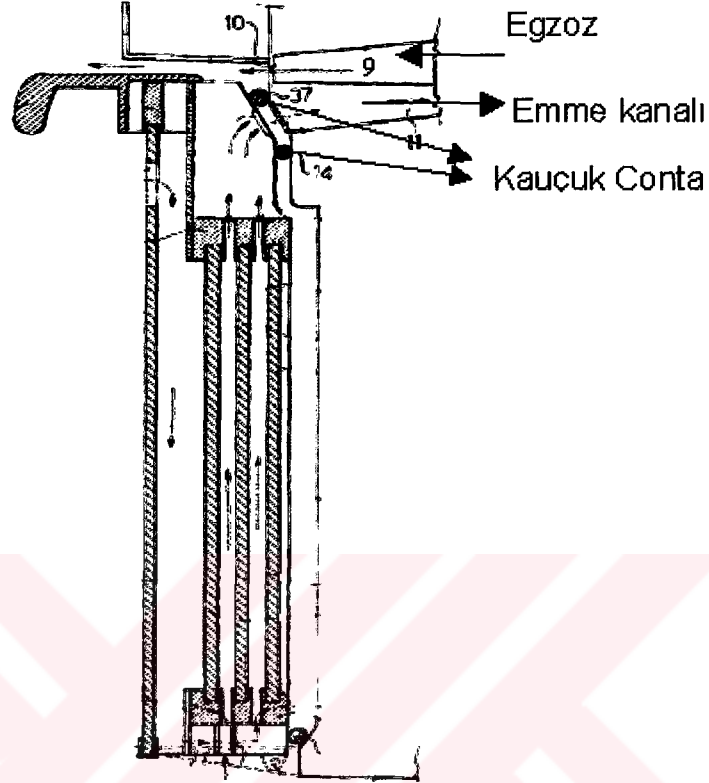


Şekil 2.3-2 Bombeli & hava geçişli kapak

Patentte en önemli konu ise camlar üzerindeki çalışmalardır. İç cam ısı dayanım ve kararlılık açısından 4mm kalınlığında iken diğer camlar 3mm kalınlığındadır. Ayrıca camların fırın iç kaviteye bakan yüzeylerine yansıtıcı kaplama yapılmıştır. Kaplama malzemesi olarak metal alaşımları ve metal oksitler kullanılmıştır, kaplama için altın,gümüş,kalay oksit,alüminyum ve paladyum gibi malzemeler önerilmektedir. Bunların dışında dış cam sıcaklığının düşürülmesine yönelik olarak 36 nolu alüminyum folyo izolasyonu kullanılmaktadır. Aynı amaçla kapak üzerine ısı yayma kanatçığı monte edilmektedir. Bütün bunların neticesinde dış cam sıcaklığının 49°C ölçüldüğü belirtilmektedir.

Soğuk kapak uygulaması ile ilgili bir diğer çalışma 1999 yılında Fumagalli, Silvano [12] tarafından yapılmıştır. Şekil 2.3-3'te gösterilen fırın kapı tasarımı, ön kapakta temas yüzeyi sıcaklığını düşürmek üzere tasarlanmıştır. Dört cam kullanılan konstrüksiyonda, camların birbirleri ile olan direkt teması kesilmiştir. Camlar metal panellere sabitlenmiş ve bu paneller üzerine patlatmalar yapılarak hava sirkülasyon

kanalları oluşturulmuştur. Böylece camlar arasında kalan sıcak hava ortamdan uzaklaştırılarak dış cam sıcaklığının düşürülmesi planlanmaktadır.

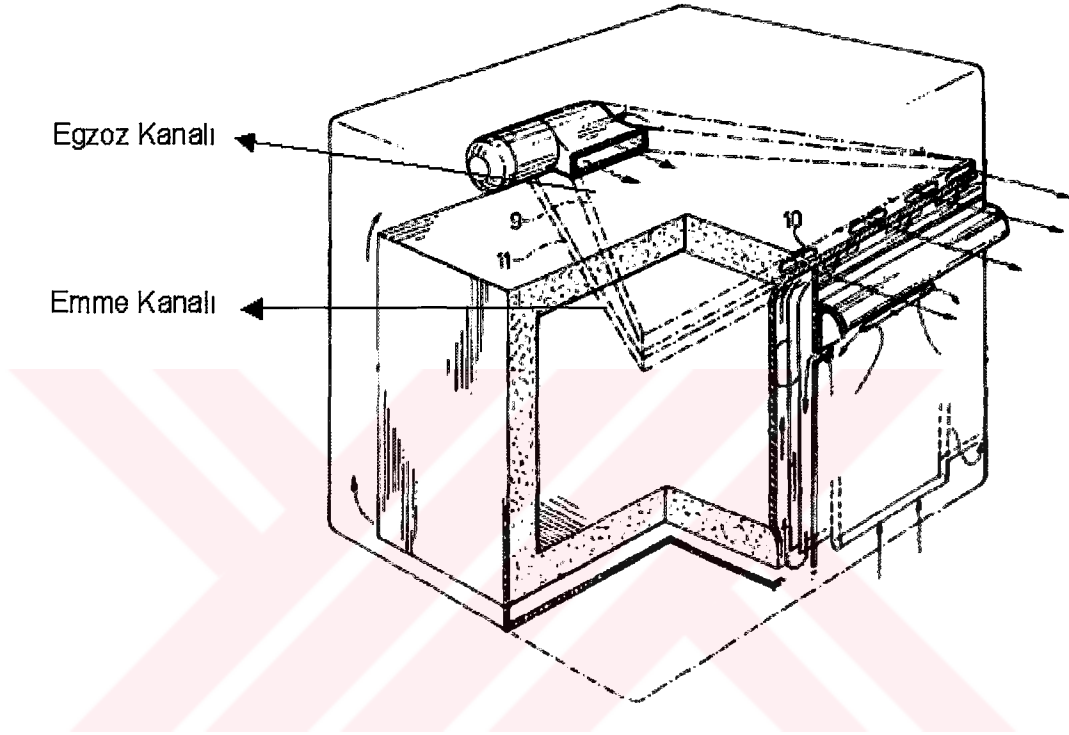


Şekil 2.3-3 Zorlanmış akışlı fırın ön kapağı

Şekil 2.3-3'te görüldüğü üzere hava akışı dış camdan iç camlara doğru, fırın üst kısmına yerleştirilen bir fan ile sağlanmaktadır. Ortam havası dış cam üst kısmında bulunan bir açıklıktan kapak içerisine girmekte ve ilk iki cam arasından dolaşarak kapak üst kısmına çıkmaktadır. İkinci ve üçüncü cam arasından ise direkt ortam olarak havası çekilmektedir, böylece bu aralığında daha çok soğuması sağlanmaktadır. Daha sonra kapak içerisinde yükselen hava, fırın üst kısmında bulunan boşluk kısmına yönlendirilmektedir. Daha sonra fan aracılığı ile kapak tutamağının üst kısmında bulunan açıklıktan (10) ortama aktarılmaktadır.

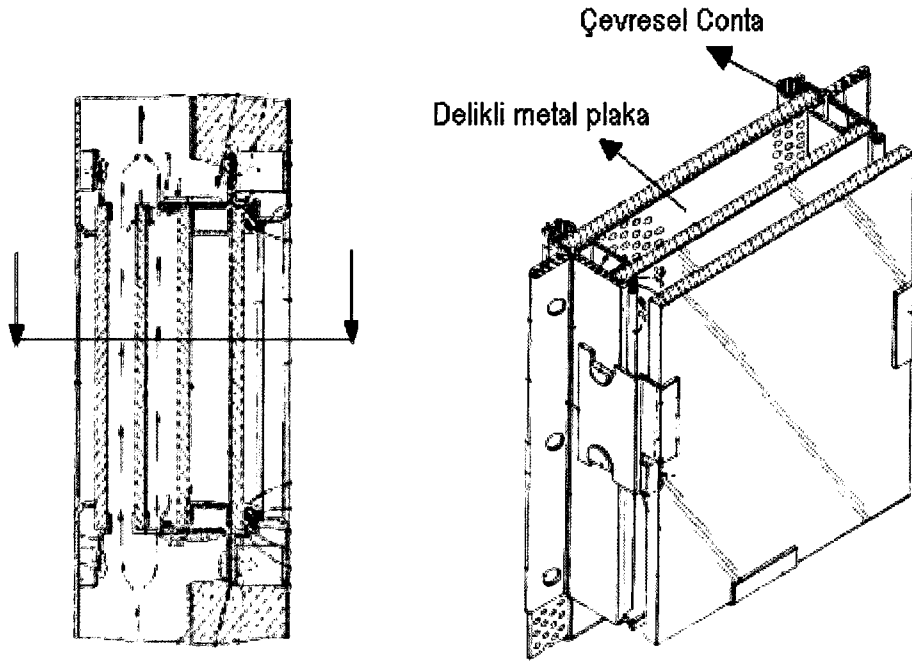
Araştırmacı ortam havasını kapak üst kısmında bulunan açıklıktan alarak, soğuk hava ile en sıcak bölgeyi temas ettirmektedir. Böylece ısı değiştiricileri ilkesine dayanarak ısı verimin artırılması düşünülmektedir. Şekil 2.3-3'te görüldüğü üzere kapak ile kavite arasında kauçuk conta (14) kullanılarak sıcak hava çıkışı engellenmekte, kapının şasi ile direkt teması kesilmektedir. Ayrıca 14 ve 37 numaralı contalar kapak ile fırın üst kısmı arasında hava geçiş kanallarını bağlamaktadır, böylece basınç düşümleri engellenmektedir. 37 numaralı conta aynı

zamanda hava emiş kanalları ve hava boşaltım kanalı arasında ayırıcı eleman olarak kullanılmaktadır. 11 nolu hava kanalı emme, 9 nolu hava kanalı ise egzoz kanalı olarak kullanılmaktadır. Yine Şekil 2.3-4'te görüldüğü üzere ön kapak alt kısmında oluşturulan patlatmalar sayesinde ikinci ve üçüncü camlar arası boşluk kısmına hava alınarak ek soğutma sağlanmaktadır. Yine bu şekilde fırın üst kısmında fan yerleşimi görülmektedir.



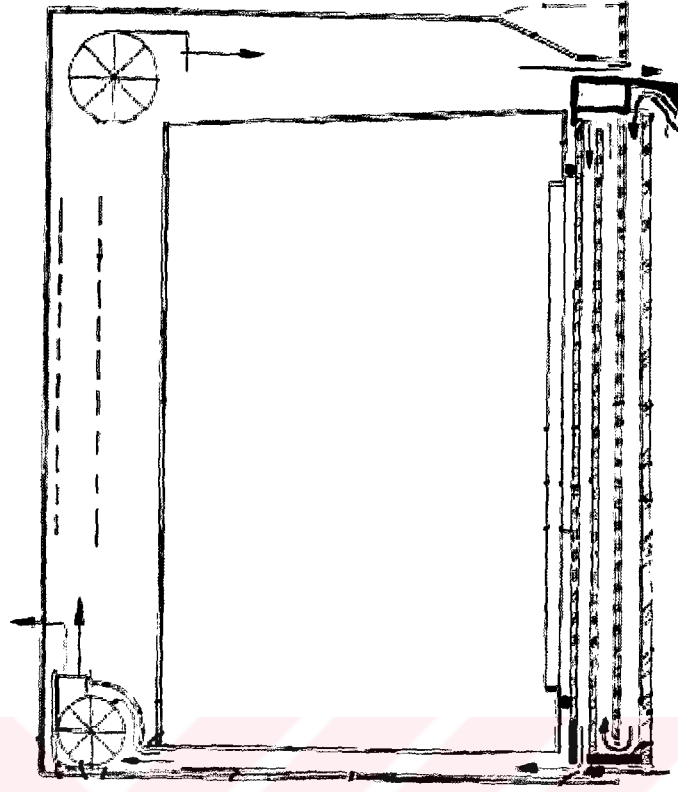
Şekil 2.3-4 Piroolitik fırında hava akış sistemi

Konu ile ilgili bir diğer uygulama ise 1978 yılında Joseph Katona [13], tarafından dört camlı bir sistem ile hava akış kanalları oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada ilk üç cam, cam paketi oluşturularak bir araya getirilmiş, iç camın dış yüzeyinde ise petekli bir yapıda ısı yalıtım perdesi kullanılmıştır. Şekil 2.3-5'te görüleceği üzere iç camın üzerine çevresel bir conta geçirilmiştir, bu sayede kapak kavite arasında sızdırmazlık sağlanmaktadır. Kapağa hava girişi alttan olmakta daha sonra ikiye ayrılan hava kapak üst kısmında tekrar birleşerek dışarı alınmaktadır. Dış cam iletimsel kayıpların azaltılması açısından iç kısımdan tamamen ayrılmış durumdadır, bu da dış camın sıcaklığının düşürülmesi açısından önemlidir. İç camın dış yüzeyinde bulunan petekli yapıya sahip plaka ısı yalıtımı düşürmek amacı ile yerleştirilmiştir.



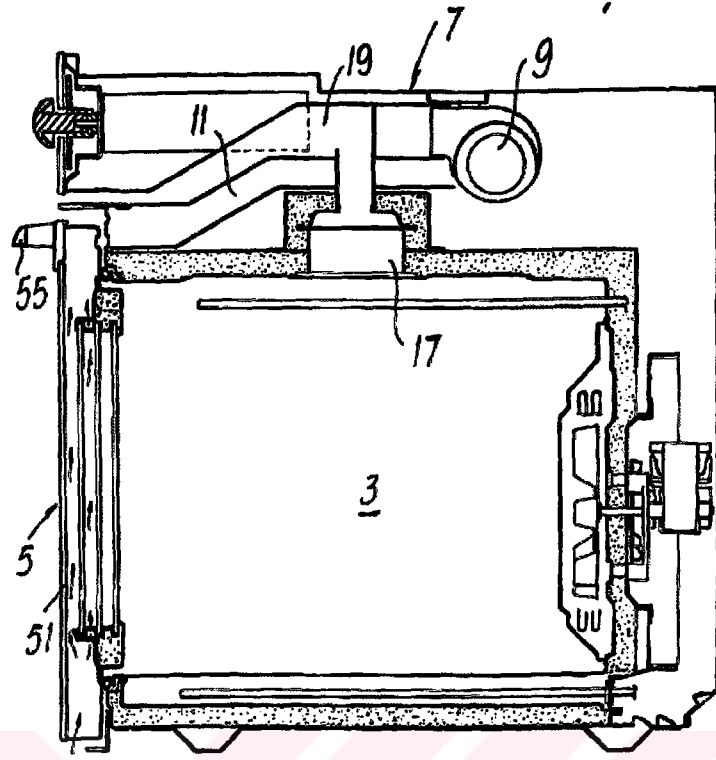
Şekil 2.3-5 Dört camlı hava soğutmalı kapak

Hava soğutmalı kapak çalışmaları ile ilgili bir diğer çalışma 2000 yılında Stahlmann ve Pörner [14] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada kapakta camlar arasında hava sirkülasyonu üzerinde durulmuştur. Diğer sistemlerden farklı olarak burada hava sirkülasyonu için iki adet soğutma fanı kullanılmıştır. Şekil 2.3-6'da görüleceği üzere hava kapak içerisine üst tarafta açılan bir boşluktan girmektedir. Alttan u dönüşü yaparak ikinci hava boşluğundan yukarı doğru yükselir ve orada ters u dönüşü ile alt taraftan kapağı terk eder. Kapağın altından çekilen hava ile birlikte alt bölgede bulunan fan sayesinde yukarı ve oradan da üst fan ile dış ortama atılır. Burada dikkat edilmesi gereken husus tek fanın gücünün bu hava sirkülasyonuna yetmeyeceğidir. Kapağa hava girişleri genelde üst bölgeden yapılır, zira kapakta en sıcak bölgeler burasıdır. O yüzden dış ortam havası ilk bu bölge ile temas etmelidir.



Şekil 2.3-6 Hava sirkülasyonlu kapak

1992 yılında Puricelli Orio [15] tarafından yayınlanan çalışma, fırınlarda yüksek sıcaklık durumunda dış cam sıcaklığının 60°C sınırının altına indirilmesine yöneliktir. Buna yönelik olarak Şekil 2.3-7' de verilen sistem kullanılmaktadır. Buna göre kapak dört camdan oluşmaktadır ve camlar arası iki bölmeden hava akışı bulunmaktadır. 9 nolu fan fırın şasisi üstüne yerleştirilmiştir, 11 nolu emme kanalı ve 19 nolu basma kanalı hava akış sistemini sağlamaktadır. Hava kapağa alt bölgeden girmekte ve iki koldan camlar arası hacimden yükselerek, üst tarafta tekrar birleşerek 11 nolu emme kanalına girmektedir. Son olarak fan tarafından 19 nolu basma kanalına yönlendirilen hava kapak üst bölgesinde bulunan açıklıktan ortama verilmektedir.



Şekil 2.3-7 Soğutma fanlı fırın kapağı

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Fırın kapaklarının ısı performansının belirlenmesi, ısı transfer mekanizmasının incelenmesi ve çeşitli iyileşme yöntemlerinin etkilerinin görülmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar üç grupta toplanmıştır:

1. Mevcut kapak ısı analizi (açık-kapalı deneyleri)
2. Alternatif kapak deneyleri (sabit sıcaklık deneyleri)
3. Isı algılayıcı deneyleri

İlk deney grubu olan mevcut kapak ısı analizi deneylerinde, ölçümlerde kullanılmak üzere toparlanan iki camlı fırın kapağının gerçek çalışma koşullarında, yani açık-kapalı çevrim yapacak şekilde çalıştırılmış bir fırın üzerindeki gösterdiği performans incelenmiştir.

Alternatif kapak deneyleri olarak adlandırılan ikinci deney grubunda, ölçümlerde kullanılan kapağın ısı performansının kolayca belirlenebilmesi ve yapılan iyileştirmelerin etkilerinin hızlı ve kolay analiz edilmesi açısından ve fırından kaynaklanan belirsizliklerden etkilenmemesi amacıyla deneyler oluşturulan kapak deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde sabit sıcaklık metodolojisi [16] kullanılmıştır, böylece ön ısıtma süresi, fırın kütlesi, açık-kapalı süreleri gibi sonuçlar üzerinde belirsizlik oluşturabilecek fırından kaynaklanan etkenlerin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Üçüncü deney grubunda ise fırının ısı transfer mekanizmasının ortaya çıkarılmasında kullanılmak üzere, alt yapı oluşturması düşünülen fizibilite deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde kullanılan kapağın mevcut durumu tespit edildikten sonra iyileştirme çalışmaları yürütülmüş ve bu durumda deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, incelenen literatür çalışmalarında ortaya çıkan bilgiler ışığında hareket edilerek, çeşitli alternatif kapak tasarımlarının gösterdiği performanslar incelenmiştir.

3.1. Mevcut Kapak Isıl Analizi

3.1.1. Mevcut kapak deney düzeneği

Mevcut kapak ısı performansının belirlenmesi için tüm deneyler, fırının bulunacağı mutfağı simüle etmek üzere hazırlanan deney köşesinde yapılmıştır. Deney köşesi, mutfakta bulunan mobilyaları temsil eden sunta plakalardan oluşmaktadır. Suntalar tamamen siyaha boyanmış olup ölçüleri aşağıdaki gibidir:

- Sol yan duvar

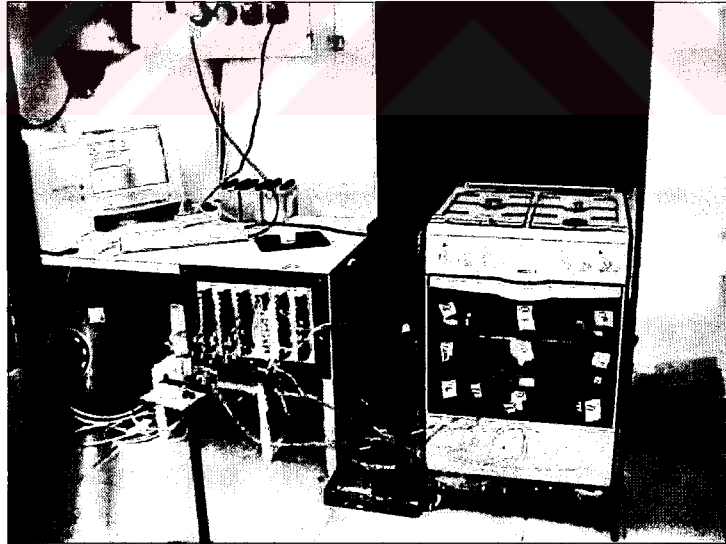
YxGxD: 85x15x70cm

- Sağ yan duvar

YxG: 185x90cm

- Arka duvar

YxG: 185x72cm



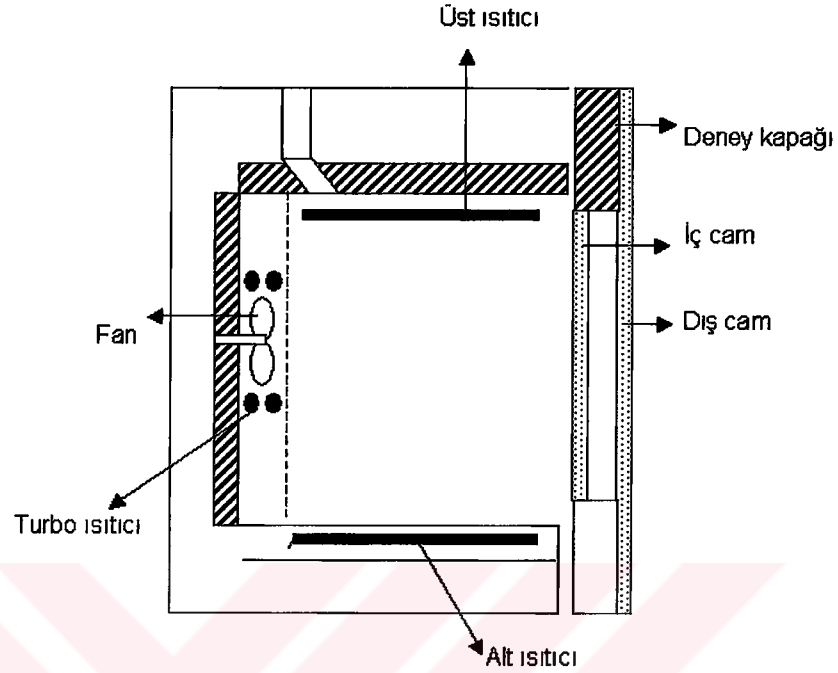
Şekil 3.1-1 Deney köşesinin genel görünüşü

Deneylerde multi fonksiyonlu fırın kullanılmıştır, bu fırında 1100W gücünde üst ısıtıcı, 1300W gücünde alt ısıtıcı ve 2300W gücünde turbo ısıtıcı bulunmaktadır. (Şekil 3.1-2) Fırın farklı üç çalışma moduna sahip olup, deneyler sırasında aşağıdaki iki mod için çalışmalar yapılmıştır;

- İki ısıtıcı Çalışma Modu: Alt ve üst ısıtıcı birlikte çalışmaktadır.

- Turbo Çalışma Modu: Turbo ısıtıcı ve fan çalışmaktadır.

Bu çalışma modları ısı transferi mekanizması açısından doğal taşınım ve zorlanmış taşınımlı durum olarak isimlendirilebilirler.



Şekil 3.1-2 Fırın ısıtıcıları ve deney kapağı

Deney düzeneğinde ölçülen sıcaklık ve güç değerlerinin toplandığı data toplama ünitesi ve bu üniteye bağlı bir bilgisayar bulunmaktadır. Deneylerde fırın içi sıcaklığın yüksek olması sebebi ile j tipi ısıl çift kullanılmış, ısıtıcı üzerine ise k tipi ısıl çift yerleştirilmiştir.

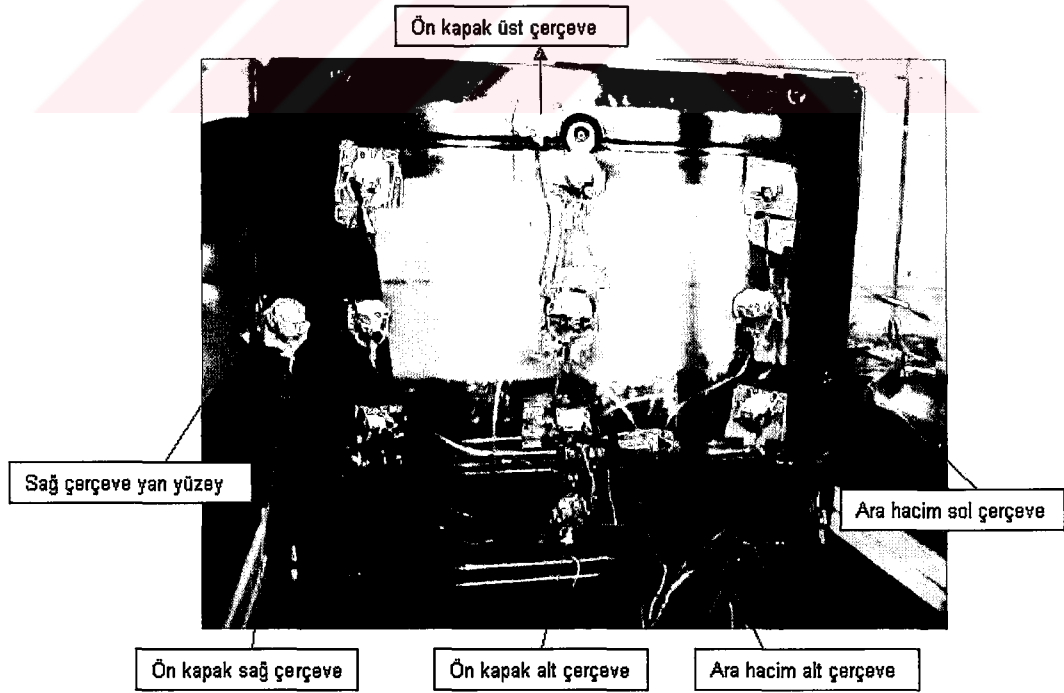
Tablo 3.1-1 Isıl çift kullanım sıcaklıkları

Isıl-çift tipi	+ Uç	- Uç	Maks.-Min kullanım sıcaklığı [°C]
T	Bakır (Cu)	Bakır-Nikel (Cu-Ni)	-200 ile 350
J	Demir (Fe)	Bakır-Nikel (Cu-Ni)	0 ile 750
K	Nikel-Krom (Fe-Cr)	Nikel- Alüminyum (Ni-Al)	-200 ile 1250

Fırının ve fırın kapak sıcaklık dağılımının belirlenmesi için çeşitli noktalara ısıl çiftler yerleştirilmiştir. Yerleştirilen ısıl çiftlerin yerleri ve tipleri aşağıda verilmiştir:

- Fırın içine, iç ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla konulan ızgara eleman üzerine 25 adet J tipi,
- Dış cam dış yüzeyine 9 adet J tipi,
- Dış cam iç yüzeyine 1 adet J tipi,
- İç cam iç yüzeyine 9 adet J tipi,
- İç cam iç yüzeyine 1 adet J tipi,
- Camlar arası havaya dikey pozisyonda 3 adet J tipi,
- Camlar arası çerçeve sağ-sol 2 adet J tipi,
- İç çerçeve alt,üst,sol,sağ yüzeyine toplam 4 adet J tipi,
- İç çerçeve sağ yan ve alt giriş kısmına birer adet J tipi,
- Menteşe üzerine 1 adet J tipi,
- Çerçeve boşluğunun sağ,alt ve üst kısmına 3 adet J tipi,
- Alt, üst ısıtıcı ile turbo rezistans üzerine toplam 3 adet K tipi olmak üzere toplam 63 adet ısıl çift mevcuttur.

Kapak iç camı ve çerçeve üzerine yerleştirilen ısıl çiftler Şekil 3.1-3'te görülmektedir. Buradan alınan ayrıntılı ölçümler kapak ısıl transfer mekanizması hesaplamalarında kullanılacaktır.



Şekil 3.1-3 Kapak iç yüzeyine yerleştirilen ısıl çiftler

3.2. Alternatif Kapak Deneyleri

Mevcut kapak ısı analiz deneyleri sonucunda elde edilen bilgiler ışığında, kapakta çeşitli iyileştirmelere gidilmesi düşünülmüştür. Bununla ilgili yön verici çalışmalar literatür araştırmaları sırasında belirlenmiştir. Ancak fırın üzerinde gerçek çalışma koşulları altında yapılan mevcut kapak deneyleri göstermiştir ki, fırında gerçekleşen prosesi etkileyen parametre sayısının çok oluşu ve bu parametrelerin her seferinde özdeş ayarlanamaması deney sonuçlarının incelenmesini güçleştirmektedir.

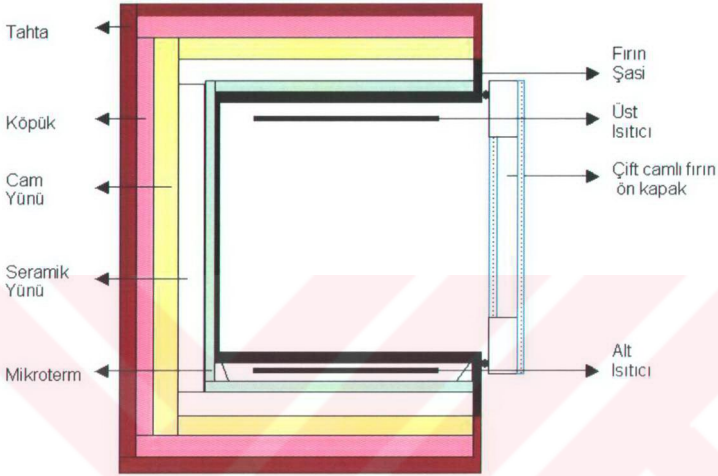
Termostat kontrolünün mekanik bir düğme ile yapılması ve bu düğmenin kalibre edilmiş skalasının çok hassas olmaması sebebiyle elde edilen farklı fırın içi sıcaklıkları, termostatin belirli bir hassasiyet aralığının olması, kararlı halde çok etkili olmayan fırın kütlesinin deney sonuçları (ön ısıtma ve çevrim süreleri) üzerindeki etkisi, farklı fırın içi, dış ortam, komponent başlangıç sıcaklıklarının ön ısıtma süresi ve ısıtıcıların açık/kapalı olduğu süre ve enerji tüketimi üzerinde etkili olması tekrarlanabilir ve birbiriyle uyumlu sonuçlar elde edilmesini engellemekte ve fırın üzerinde yapılan değişikliklerin etkilerinin değerlendirilmesi güçleşmektedir. Isıtıcıların güç değerlerinde de her deney, her sıcaklık için 100W'a yakın farklılıklar görülebilmektedir.[17]

3.2.1. Kapak Deney Düzeneği

Deneyler, fırın ön kapak deneyleri için tasarlanmış olan ve deneyler arasında özdeş çalışma koşulları oluşturması hedeflenen ön kapak deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney düzeneği ile sonuçları etkileyen ve belirsizlik yaratan parametre sayısının azaltılması (fırınlar arası farklılıklar, termostat ayarı, fırın kütlesi vs.), daha kontrollü deney yapma olanağı sağlaması hedeflenmiştir. Böylece kapaklarda ısı transfer mekanizmalarının daha kolay, hassas ve hızlı bir şekilde incelenmesi temin edilmiştir. Buna ek olarak denenmesi düşünülen farklı tasarımdaki kapaklar arasında kesin ve doğruluğu daha yüksek sonuçlar elde etmek mümkün olacaktır.

Bu amaca yönelik olarak BK6411 model fırının şasisi alınarak Şekil 3.2-1'de gösterildiği üzere ısı iletim katsayısı düşük ve sıcaklığa karşı ısı dayanımı yüksek olan malzemeler ile ideale yakın izole edilmiştir. Buradaki amaç deney düzeneğinde kapak bölgesi haricinde kalan bütün yüzeylerin ısı kayıplarının minimize edilmesidir. Böylece sisteme verilen güç yaklaşık olarak kapak kaybına eşit olacaktır

ve denenen kapak konstrüksiyonları arasında karşılaştırma kolaylıkla yapılacaktır. Deney düzeneğinde kullanılan izolasyon malzemeleri ve kalınlıkları Tablo 3.2-1’de verilmiştir.

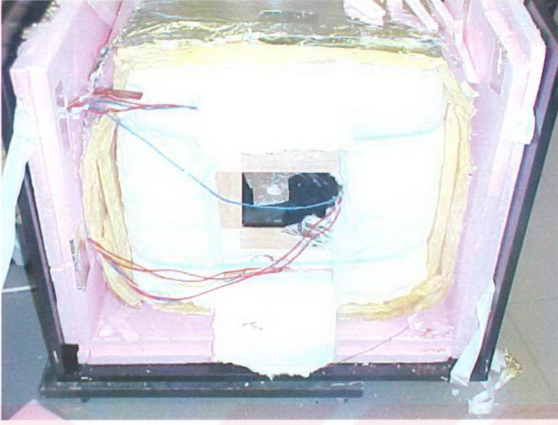


Şekil 3.2-1 Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Tablo 3.2-1 Kullanılan izolasyon malzemeleri ve kalınlıkları

Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/mK)*	Kalınlık (m)
Sac	60	0.0007
Microtherm	0.025	0.01
Seramik yünü	0.055	0.05
Cam yünü	0.06	0.04
Strafor (Foam board)	0.035	0.05
Tahta (MDF)	0.15	0.018

*Malzemelerin ısı iletim katsayıları, sıcaklıkla değişimleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2-2 Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Sistem denge konumuna geldikten sonra, duvarlar üzerinden kaybedilen ısı yükünün hesaplanmasına yönelik olarak duvarlar için genel ısı iletim katsayısı hesaplanmaktadır.

$$K = 1 / \left[\frac{1}{h_{iç}} + \frac{L_{saç}}{K_{saç}} + \frac{L_{mikroterm}}{K_{mikroterm}} + \frac{L_{seramikyünü}}{K_{seramikyünü}} + \frac{L_{camyünü}}{K_{seramikyünü}} + \frac{L_{starfor}}{K_{starfor}} + \frac{L_{tahta}}{K_{tahta}} + \frac{1}{h_{du}} \right]$$

Buradan elde edilen K ifadesi ile sistemde duvarlardan kaybedilen ısı iletim katsayısı hesaplanmaktadır.

$$Q_{duvar} = K \times A_{duvar} \times (T_{içhava} - T_{duşorta}) \quad (3-1)$$

$$K \cong 0.26 W / m^2.K$$

$$A_{duvar} = 0.8505 m^2$$



$$Q_{duvar} = 39.14 W$$

$$T_{içhava} = 200^\circ C$$

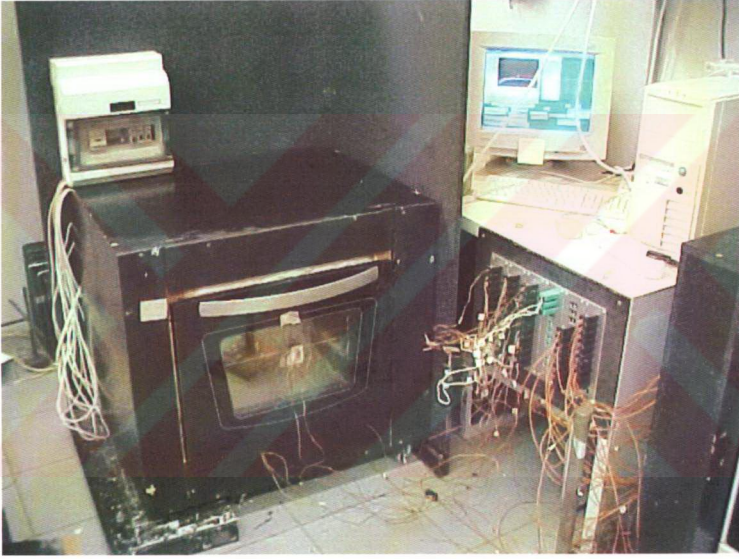
$$T_{duşorta} = 23^\circ C$$

Hesaplanan duvar ısı kaybı, deneylerde ölçülen güç değerinden düşülerek, kapak enerji kayıp değerleri elde edilmiştir.

$$Q_{kapak} = Q_{ısıtıcı} - Q_{du var}$$

(3-2)

Ön kapak deneylerinde, sabit sıcaklık (UA) deney metodolojisi [17] uygulanmıştır. Böylece deney prosesi sırasında oluşacak muhtemel farklılıklar; ön ısıtma süresi, on-off cycle süreleri, ısıtıcı güçleri ve farklı dış ortam, fırın içi ve başlangıç sıcaklıkları gibi parametrelerin önüne geçilmiş olunacaktır. Bunun getirisi olarak deneyler arasında özdeş çalışma koşullarının oluşması sağlanmış ve yapılan değişikliklerin etkileri daha güvenilir bir şekilde tespit edilmiş olacaktır.



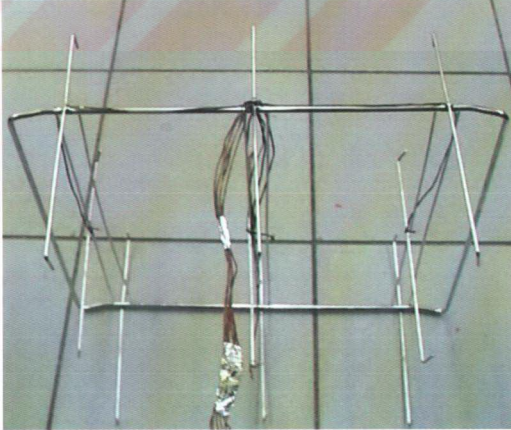
Şekil 3.2-3 Deney düzeneğinin şematik görünüşü

Sabit sıcaklık deneylerinde, fırın sıcaklığı sabit bir değerde tutularak fırının kararlı rejimdeki çalışması gözlenmiş ve fırın içinde çeşitli noktalarda sıcaklık ölçümleri yapılmış, fırının çektiği güç değeri kaydedilmiştir. Fırının iç sıcaklığının sabit tutulması için, ısıtıcıların güçlerini değiştirip kontrol etmek amacıyla reostalı güç kaynağı kullanılmıştır. Ölçülen değerler data toplama sistem tarafından bilgisayara aktarılmaktadır.

Fırın içi hava sıcaklığının belirlenmesinde, ön kapak üzerinde ve izolasyon üzerinde çeşitli noktalarda sıcaklık ölçümü J tipi ısıl çiftler yerleştirilmiştir;

- Fırın içine, iç ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla konulan ızgara eleman üzerine 19 adet J tipi,
- Fırın iç yüzeylerine 5 adet J tipi,
- İzolasyon ara yüzeylerine 5 adet J tipi,
- İç cama 1 adet J tipi,
- İç cam ve ikinci cam arasındaki ortama 1 adet J tipi,
- İkinci cam ve dış cam arasındaki ortama 1 adet J tipi,
- Dış cam orta ve üst yüzeyine 2 adet J tipi,
- Dış ortam havası 1 adet J tipi,
- Alt, üst ısıtıcı ile turbo rezistans üzerine toplam 3 adet K tipi olmak üzere toplam 38 adet ısıl çift mevcuttur.

Fırın iç kavite sıcaklığı, fırın içine konan ızgara eleman üzerinde bulunan 19 adet J tipi ısıl çiftin ölçtüğü sıcaklıkların ortalaması alınarak bulunmuştur. Üzerine ısıl çift yerleştirilen ızgara eleman Şekil 3.2-4'te verilmiştir.

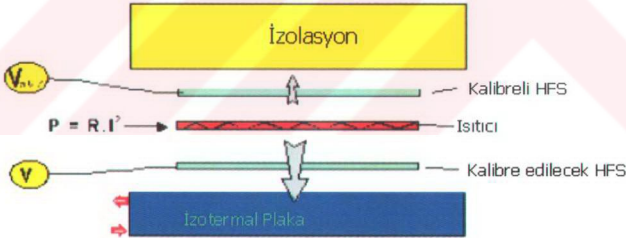


Şekil 3.2-4 Üzerine ısıl çift yerleştirilen ızgara

3.3. Isı Algılayıcı Deneyleri

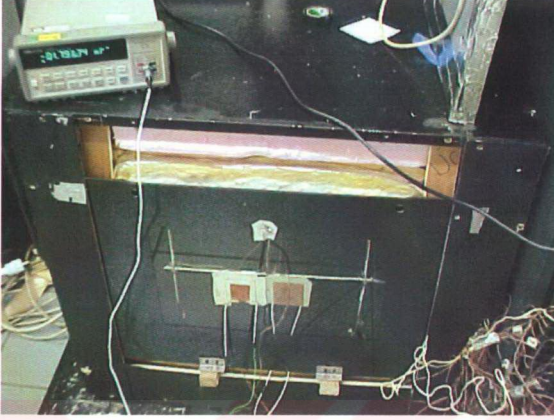
Yapılan literatür çalışmalarında fırın geometrisi için ısı taşınım katsayısına yönelik olarak yeterli bilgi edinilememiştir. Bu nedenle yapılacak çalışma, kapaklara taşınım yolu ile fırın içi havasından gelecek ısı transferi hesaplamalarında fayda sağlayacaktır. Fırın kavitesi içerisinde özellikle kapak önünde oluşan ısı taşınım katsayısının bulunması, oluşturulacak matematiksel modelleme içinde yararlı olacaktır.

Buna yönelik olarak ısı akısı algılayıcıları kullanılarak kapaktan geçen ısı akısının ölçülmesi ve oradan hareketle ısı taşınım katsayısının bulunması hedeflenmiştir. Isı akısı algılayıcıları üzerlerinden geçen ısı akısına göre μV cinsinden gerilim üreten ve bu gerilimin algılayıcı katsayısı ile çarpılması sonucunda ortamdaki ısı akısını veren ölçüm aygıtlarıdır. Deneylerde kullanılan ısı algılayıcılar üretici firma tarafından kalibrasyon edilerek her bir algılayıcıya kalibrasyon sabiti verilmektedir. Bu işlem Şekil 3.3-1'de verilen düzeneğe yapılmaktadır, kontrol maksatlı olarak algılayıcıların testi Arçelik Araştırma Geliştirme Laboratuvarında bulunan ısı iletim cihazında da ölçülmüş ve %4 yaklaşık sonuç verdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.3-1 Isı akısı algılayıcı test cihazı

Kapak deney düzeneğinde şasi önüne bir cam ve bu camın üzerine biri dış yüzeyde, diğeri iç yüzeyde olmak üzere birbirlerini görmeyecek şekilde ısı akısı algılayıcıları yerleştirilerek, kavite içerisinde kapak iç yüzeyinde oluşan ısı taşınım katsayısı bulunmasına yönelik deneyler yapılmıştır. (Şekil 3.3-2) Deney düzeneğinde kavite içinde 19 noktadan sıcaklık ölçümü alınarak kavitenin ortalama sıcaklık değeri, iç ve dış cam sıcaklıkları tespit edilmektedir. Ayrıca yine deney düzeneğinden, cama gelen ısı miktarı ölçülmektedir. Dolayısıyla cam üzerindeki iç ve dış ortamda ısı taşınım katsayısı belirlenmektedir.



Şekil 3.3-2 Taşınım katsayısı belirleme deneyleri

Isı taşınım katsayısı hesabında sıcaklık farkı alınırken ısı algılayıcısına en yakın grid noktası üzerindeki ısı çiftten ölçülen değer hesaplamalarda kullanılmaktadır. Örnek ısı taşınım katsayısı hesaplaması aşağıda verilmektedir.

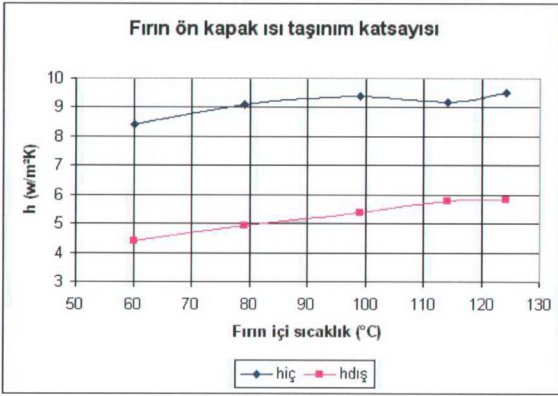
$$Q_{\text{algılayıcı}} = V.c.A \quad (3.4)$$

$$h_{\text{ic}} = \frac{Q_{\text{algılayıcı}}}{A.(T_{\text{fırın}} - T_{\text{cam}})} \quad (3.5)$$

$$h_{\text{dis}} = \frac{Q_{\text{algılayıcı}}}{A.(T_{\text{cam}} - T_{\text{ortam}})} \quad (3.6)$$

Burada c kalibrasyon sabitini belirtmekte olup, her bir ısı algılayıcı için ayrı bir kalibrasyon sabiti verilmiştir. Deneylerde kullanılan ısı algılayıcılar için $c_{17} = 0.075$ ve $c_{20} = 0.085$ 'tir. Yukarıdaki hesaba göre ısı algılayıcılarının her bir konumu ve farklı fırın içi sıcaklıkları için ısı taşınım katsayıları belirlenmiştir.

Yapılan ısı taşınım katsayısı belirleme deneyleri, ısı algılayıcıların çalışma sıcaklıklarından dolayı, fırın içi sıcaklığı maksimum 125°C için gerçekleştirilmiştir. Farklı fırın içi sıcaklıkları için yapılan deney sonuçları Şekil 3.3-3'te verilmiştir, verilere göre kapak üzerinde orta nokta için ısı taşınım katsayısı kapak içinde $h_{\text{ic}} \cong 9 \text{ W} / \text{m}^2 . \text{K}$, kapak dışında ise $h_{\text{dis}} \cong 5.5 \text{ W} / \text{m}^2 . \text{K}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 3.3-3 taşınım katsayısının sıcaklığa göre değişimi

Deneylerin ikinci kısmında ısı taşınım katsayısının kapak üzerinde yükseklik ile değişiminin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Bunun için cam üzerine alt ve üst noktalara kapak içine ve dışına olmak üzere ısı algılayıcılar yerleştirilmiştir. Aşağıda Şekil 3.3-4'te 100° C fırın içi sıcaklığı için cam üzerindeki ısı taşınım katsayısı dağılımı verilmiştir. Görüleceği üzere ısı taşınım katsayısı kapak iç yüzeyinde ≈ 10 W/m².K, dış yüzeyinde ise ≈ 6.5 W/m².K bulunmuştur.

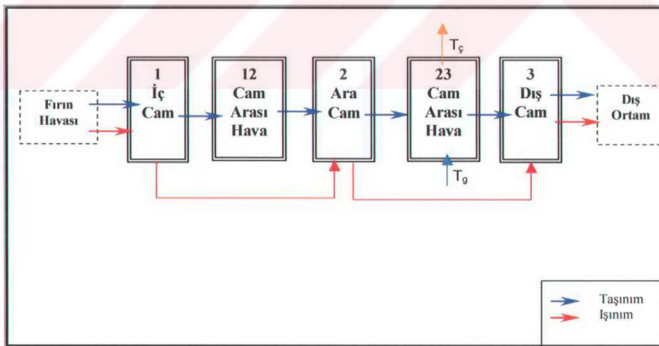


Şekil 3.3-4 Dikey düzlemde taşınım katsayısı değişimi

Fırın içinde ısı taşınım katsayısı üst kısımlarda daha yüksek bulunmaktadır, bunda en büyük etkenin üst ısıtıcıdan dolayı bu bölgedeki hava hareketlerinin artması görülmektedir.

4. MATEMATİKSEL MODEL

Yapılan deneyler sonucunda, kapak ısı transferi hakkında ayrıntılı bilgi edinilmiş ve kapağın farklı tasarımlar için sıcaklık haritası çıkarılmıştır. Elde edilen bu bilgilerin kapak ısı transfer mekanizmasının çıkarılmasında kullanılması düşünülmüştür. Kapakta farklı sayıda ve özellikte cam kullanımı, camlar arası mesafe ve kapakta hava akışı vs. gibi parametrelerin kapak ısı transferine getireceği faydaların görülmesi açısından kapak için bir matematiksel modelin oluşturulması hedeflenmiştir. Bu model sayesinde farklı tasarımlar için kolay ve hızlı karşılaştırma yapılabilmesi ve yaklaşık cam sıcaklıklarının tespit edilmesi istenmektedir. Model kontrol hacim esasına dayalı olarak çalışmaktadır, kontrol hacmine giren ve çıkan ısı akıları eşitliğinden hareket edilmektedir. Kapağın denge konumundaki durumu dikkate alındığından kontrol hacimlerinin depoladıkları ısı miktarı hesaplanmamıştır. Analiz bir boyutlu olarak yapılmaktadır.



Şekil 3.3-1 Ön kapak ısı akış şeması

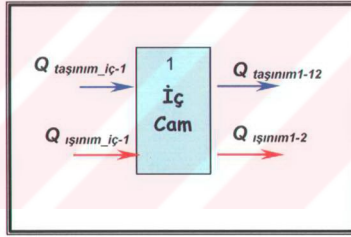
Fırın kapağı toplamdeş kontrol hacmine (3 camlı durum için) bölünmüştür. Bunlar sırasıyla iç cam, camlar arası birinci hava, ara cam, camlar arası ikinci hava ve dış camdır. (Şekil 4.1-1) Bu kontrol hacimlerinin ısı dengeleri yazılarak sıcaklıkları hesaplanmaktadır. Cam sıcaklıkları, camın iç yüzeyi ve dış yüzeyinde yapılan ölçümlerde yüksek bir farklılık göstermediği için yığın (lumped) olarak kabul

edilmiştir. Aynı şekilde camlar arası hava sıcaklıkları yığın (lumped) alınmıştır. Programa fırın içi ve dış ortam sıcaklığı, camların sayısı ve özellikleri, hava akışı ile ilgili bilgiler girilmektedir. Program ilk bilgiler ışığında adım adım iterasyon yaparak sistemin denge halindeki hacim sıcaklıklarını vermektedir. Program ısı iletim katsayısı, viskosite katsayısı, yoğunluk gibi parametrelerin sıcaklığa bağlı değişimlerini hesaplayarak her adımda yeni değerleri kullanmaktadır.

Literatürde farklı geometriler ve durumlar için verilen bir çok ısı taşınım bağıntısı bulunmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda, mevcut geometri açısından en uygun bağıntılar, J.P Holman'ın [20] ısı transferi kitabından alınmıştır.

4.1. Kontrol Hacmi 1: İç cam

İç camın diğer kontrol hacimleri ile ilişkileri şu şekildedir; İç cam fırının iç havası ile taşınım ve ısınım etkileşimi halindedir, camlar arası hava ile taşınım ve ikinci. cam ile ısınım ilişkisi içindedir. (Şekil 4.1-2)



Şekil 4.1-2 Kontrol Hacmi 1

Kontrol hacmi 1 için ısı akısı dengesi;

$$Q_{ışınım_iç-1} + Q_{taşınım_iç-1} = Q_{taşınım_1-12} + Q_{ışınım_1-2} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir.

İç hava ile olan taşınım ilişkisi temel taşınım denkleminin bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemde taşınım katsayılarının hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Statik modda gerçekleşen doğal taşınım durumunda bu değer aşağıdaki bağlantıyla hesaplanmaktadır.

h_{ic} değerinin hesaplanması;

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot L^3 \cdot \Delta T}{\alpha \cdot \gamma} \quad (4.2)$$

$$\overline{Nu}_y = \left\{ 0.68 + \frac{0.67 \times Ra_y^{1/6}}{\left[1 + \left[0.492 / Pr \right]^{9/16} \right]^{4/9}} \right\}^2 \quad (4.3)$$

$$h_{ic} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.4)$$

$$q_{\text{tasinim_ic-1}} = h_{ic} \cdot (T_{ic} - T_1) \quad (4.5)$$

Fırın içi ortam ile iç cam arasındaki ışıınım bağıntısı ise, fırın içi ortam ve fırın duvarları siyah cisim ve sıcaklıkları aynı kabul edilmiştir. Buna göre fırın içi ortam ile iç cam arasındaki ışıınım transferi, şu şekilde ifade edilebilir;

$$q_{\text{ışınım_ic-1}} = \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot (T_{ic}^4 - T_1^4) \quad (4.6)$$

Cam arası hava boşluğu tek tarafından ısıtılan dar boşluklarda doğal taşınım problemidir. Durgun hava izolasyon malzemelerine yakın bir ısı iletim katsayısı değerine sahiptir. Camlar arası dar boşluklarda gerçekleşen doğal taşınım aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$Gr_{\delta} = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_1 - T_2) \cdot \delta^3}{\nu^2} \quad (4.7)$$

$$Nu_{\delta} = 0.42 \cdot (Gr_{\delta} \cdot Pr)^{1/4} \cdot Pr^{0.012} \cdot \left(\frac{L}{\delta} \right)^{-0.3} \quad (4.8)$$

$$h_{12} = \frac{Nu_{\delta} \cdot k}{\delta} \quad (4.9)$$

Hesaplanan ısı taşınım katsayısı değerinden yararlanılarak genel ısı taşınım denklemi ile iç camdan ara havaya geçen ısı miktarı hesaplanmaktadır.

$$q_{\text{tasinim_1-12}} = h_{12} \cdot (T_1 - T_{12}) \quad (4.10)$$

Camlar arası ışıınım ilişkisi için camlar arası paralel levha formülü kullanılmıştır. Burada camların sadece birbirlerini gördükleri kabul edilmiştir.

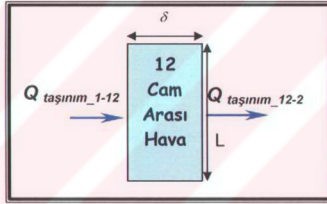
$$q_{ışınım_1-2} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (4.11)$$

Bütün bu hesaplamaların neticesinde iç cam sıcaklığı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$T_1 = \frac{\left(\frac{h_{ic}}{h_{12}}\right) \cdot T_{ic} + T_{12} + q_{ışınım_ic-1} - q_{ışınım_1-2}}{\left(\frac{h_{ic}}{h_{12}}\right) + 1} \quad (4.12)$$

4.2. Kontrol Hacmi 2: Camlar Arası Hava_1

Camlar arası hava hacmine gelen iki adet taşınım terimi vardır. Bunlar iç cam ve ara cam ile olan taşınım ilişkileridir. (Şekil 4.2-1)



Şekil 4.2-1 Kontrol Hacmi 2

$$Q_{taşınım_1-12} = Q_{taşınım_12-2} \quad (4.13)$$

İç cam ile hava arasındaki ilişki iç cam kontrol hacminde açıklanmıştı. Ara cam tarafına olan ısı ilişkisi de benzer şekilde hesaplanmaktadır.

$$q_{taşınım_1-12} = h_{12} \cdot (T_1 - T_{12}) \quad (4.14)$$

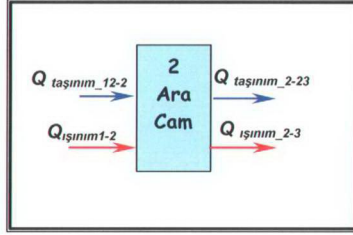
$$q_{taşınım_12-2} = h_{12} \cdot (T_{12} - T_2) \quad (4.15)$$

Bu bağıntılar kullanılarak birinci ara hava için sıcaklık bağıntısı;

$$T_{12} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (4.16)$$

4.3. Kontrol Hacmi 3: Ara Cam

Ara cam birinci ve ikinci camlar ile ışınlm ile ısı transferi yaparken, camlar arası birinci ve ikinci hava boşluğu ile taşınım ile ısı alış verışı gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.3-1 Kontrol Hacmi 3

$$Q_{ışnlım_1-2} + Q_{taşınım_12-2} = Q_{taşınım_2-23} + Q_{ışnlım_2-3} \quad (4.17)$$

Ara cam dengesinde yer alan $Q_{ışnlım1-2}$ terimi iç cam kontrol hacminde, $Q_{taşınım_12-2}$ terimi de cam arası birinci hava kontrol hacminde hesaplanmıştır. Ara camın cam arası ikinci hava ile taşınım ve 3. cam ile ışınlm ilişkileri:

2.camın ara hava ile olan taşınım ilişkisi;

$$q_{taşınım_2-23} = h_2(T_2 - T_{23}) \quad (4.18)$$

2. camın dış cam ile ışınlm ilişkisi

$$q_{ışnlım_2-3} = \frac{\sigma.(T_2^4 - T_3^4)}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1} \quad (4.19)$$

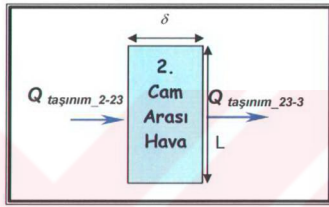
Yukarıdaki eşitliklerden faydalanarak ikinci cam sıcaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_2 = \frac{(h_{12}/h_{23}).T_{12} + T_{23} + q_{ışnlım_1-2} - q_{ışnlım_2-3}}{(h_{12}/h_{23}) + 1} \quad (4.20)$$

4.4. Kontrol Hacmi 4: Ara Hava_2

Camlar arası ikinci hacimde iki durum söz konusudur, ilk durumda bu bölgeden hava akışı olmadığı koşulu vardır. İkinci durumda ise bu bölgeden hava akışı olduğu kabulü vardır.

Öncelikle camlar arası ikinci hava hacminde hava akışı olmadığı durum için kontrol hacmine gelen iki adet taşınım terimi vardır. Bunlar iç cam ve ara cam ile olan taşınım ilişkileridir. (Şekil 4.4-1)



Şekil 4.4-1 Kontrol Hacmi 4-a

$$Q_{\text{taşınım}_2-23} = Q_{\text{taşınım}_23-3} \quad (4.21)$$

Camlar arası ikinci hava hacmine ara camdan gelen taşınım ve dış cama giden taşınım terimleri, bu bölmede hava akışı yoksa birinci hava hacminde olduğu gibi hesaplanır.

$$q_{\text{taşınım}_2-23} = h_{23} \cdot (T_2 - T_{23}) \quad (4.21)$$

$$q_{\text{taşınım}_23-3} = h_{23} \cdot (T_{23} - T_3) \quad (4.22)$$

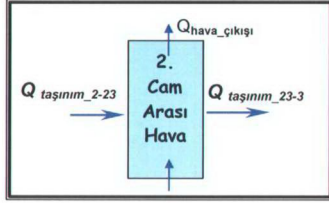
4.21 ve 4.22 denklemlerinden T_{23} çekildiği taktirde;

$$T_{23} = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad (4.23)$$

bulunur.

İkinci bir durumda camlar arası hava kısmından zorlanmış veya doğal hava akışı söz konusu olabilir. Bu bölgeden geçirilecek hava ile dış cam yüzey sıcaklığı daha

düşük derecelere düşürülebilir. Bu taktirde hesaplamalar aşağıdaki bağıntılara göre yapılmaktadır.



Şekil 4.4-2 Kontrol Hacmi 4-b

$$Q_{\text{taşınım}_2-23} = Q_{\text{taşınım}_23-3} + Q_{\text{hava_cikis}} \quad (4.24)$$

Burada camlar arası bölgede gerçekleşen hava akışından dolayı, ısı taşınım katsayısı artacaktır. Bunun yanı sıra camlar arası bölmeden akan hava, söz konusu kontrol hacminde ısı kayıplara neden olacaktır. Buna göre;

$$m_{\text{hava}} = U \cdot A \cdot \rho \quad (4.25)$$

$$Q_{\text{hava_cikis}} = m_{\text{hava}} \cdot (h_g - h_c) \quad (4.26)$$

$$Nu = 0,664 \cdot Re^{(1/2)} \cdot Pr^{(1/3)} \quad (4.27)$$

$$h_{23} = \frac{Nu \cdot k}{\delta} \quad (4.28)$$

$$q_{\text{taşınım}_2-23} = h_{23} \cdot (T_2 - T_{23}) \quad (4.29)$$

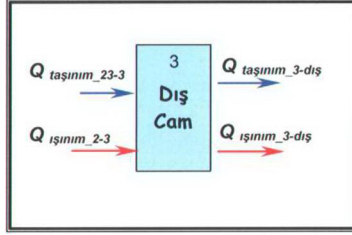
$$q_{\text{taşınım}_23-3} = h_{23} \cdot (T_{23} - T_3) \quad (4.30)$$

Yukarıdaki bağıntılardan hareketle camlar arası ikinci havanın sıcaklığı hesaplanır.

$$T_{23} = \frac{(T_2 + T_3)}{2} - \frac{m_{\text{hava}} \cdot (h_g - h_c)}{2 \cdot h_{23} \cdot A} \quad (4.31)$$

4.5. Kontrol Hacmi 5: Dış cam

Dış cam camlar arası ikinci hacim ile taşınım, ara cam ile ısınım ve dış ortam ile ısınım ve taşınım yolu ile ısı transferi yapmaktadır. (Şekil 4.5-1)



Şekil 4.5-1 Kontrol Hacmi 5

Isı transfer bağıntılarından ara cam ve ikinci ara hava ile olan ısı transfer bağıntıları daha önceki kontrol hacimlerinde belirtilmiştir. Dış ortam ile ilgili ısı transfer bağıntıları aşağıda verilmiştir.

$$Q_{ışınım_2-3} + Q_{taşınım_23-3} = Q_{taşınım_3-dis} + Q_{ışınım_3-dis} \quad (4.32)$$

$$T_3 = \frac{(h_{23}/h_{dis}).T_{23} + T_{dis} + q_{ışınım_2-3} - q_{ışınım_3-dis}}{(h_{23}/h_{dis}) + 1} \quad (4.33)$$

Böylece bütün kontrol hacimleri için sıcaklık bağıntıları çıkarılmış olmaktadır.

4.6. Program Sonuçları

Kontrol hacimlerinin her biri için yapılan hesaplamalar sonunda her bir kontrol hacminin sıcaklıklarını ifade eden denklemler çıkarılmıştır. Ms. Excel programında yazılan bu kod kullanıcı tarafından girilmesi gereken fırın içi dış ortam sıcaklık değerlerine göre kontrol hacim sıcaklıkları için ilk tahmin değerlerini hesaplamaktadır. Sonraki adımlarda ise sıcaklık değerlerine karşılık gelen ısı özellikler ($k_v, Pr..$) ve fiziksel özellikler (ρ) hesaplanmaktadır. Her bir adımda değişen bu değerlere göre kontrol hacimlerinin sıcaklıkları tekrar hesaplanmaktadır. İterasyon işlemi sıcaklıklar dengeye oturana kadar devam etmektedir. Kullanıcın programa girmesi gereken değerler şunlardır;

- Fırın içi sıcaklığı
- Ortam sıcaklığı
- Cam yüzey alanı
- Cam malzeme özellikleri (ε)
- Camlar arası mesafeler
- Hava kanalı kesiti
- Kapak arası hava akış hızı

Bu değerler ışığında program çalışmaktadır. Şekil 4.6-1'de programdan bir görünüş verilmektedir.

Şekil 4.6-1 Kapak programından bir görünüş

Programın hesapladığı taşınım katsayıları Tablo 4.6-1'de verilmiştir. Isı akısı algılayıcısı deneylerinde fırın içi sıcaklık 100°C'de iken, ısı taşınım katsayısı ortalama değer kapak içinde $h_{ic} \cong 9.5 W / m^2.K$, kapak dışında ise $h_{dis} \cong 6.5 W / m^2.K$ olarak bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.3-4). Ancak ısı algılayıcıların ölçtüğü değerlerin ışıınım ve taşınım ile geçen ısı akılarının toplamı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Model ise 100°C fırın içi sıcaklığı için ısı taşınım

katsayısını ortalama değer kapak içinde $h_{iç} \cong 5.94 \text{ W / m}^2.K$, kapak dışında ise $h_{dis} \cong 3 \text{ W / m}^2.K$ olarak bulmaktadır. Model sadece taşınım katsayılarını hesaplamakta olup, ışıının da hesaba katılması gerekmektedir. Buna yönelik olarak camlarda ışıının ile ısı transferi incelenirse;

$$Q_{ışınım} = \varepsilon_{cam} \cdot \sigma \cdot A_{cam} \cdot (T_{cam}^4 - T_{ortam}^4) \quad (4.34)$$

burada ışıının ısı transfer katsayısı tanımlanırsa $h_{ışınım}$,

$$Q_{ışınım} = h_{ışınım} \cdot A_{cam} \cdot (T_{cam} - T_{ortam}) \quad (4.35)$$

(4.34) ve (4.35) nolu ifadelerden $h_{ışınım}$ terimi çekilecek olursa;

$$h_{ışınım} = (T_{cam}^2 + T_{ortam}^2) \cdot (T_{cam} + T_{ortam}) \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{cam} \quad (4.36)$$

ifadesi elde edilir.

Dış cam için fırın içi sıcaklık 100°C iken $h_{ışınım}$ değeri bulunacak olursa;

$$h_{ışınım-dis} = (T_{discam}^2 + T_{ortam}^2) \cdot (T_{discam} + T_{ortam}) \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{discam} \quad (4.37)$$

$$h_{ışınım-dis} = (308^2 + 296^2) \cdot (308 + 296) \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,68$$

$$h_{ışınım-dis} = 4.25 \text{ W / m}^2.K$$

İç cam için fırın içi sıcaklık 100°C iken $h_{ışınım}$ değeri bulunacak olursa;

$$h_{ışınım-iç} = (T_{fırın}^2 + T_{içcam}^2) \cdot (T_{fırın} + T_{içcam}) \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{içcam} \quad (4.38)$$

$$h_{ışınım-iç} = (373^2 + 367^2) \cdot (373 + 367) \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4$$

$$h_{ışınım-iç} = 4.5 \text{ W / m}^2.K$$

Sonuç olarak bulunan ışıının ısı transfer katsayıları, taşınım katsayıları ile toplanarak toplam ısı transfer katsayıları bulunacak olursa; kapak içinde $h_{iç} \cong 10.5 \text{ W / m}^2.K$, kapak dışında ise $h_{dis} \cong 7.25 \text{ W / m}^2.K$ bulunur. Bu durumumda

model sonuçlarının deney sonuçları ile yaklaşık sonuç verdiği görülmektedir. Camlar arası hava ortamında ise yaklaşık olarak $h_{ara} \cong 2.5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ bulunmaktadır. Görüleceği üzere sıcaklıkların artmasına bağlı olarak ısı taşınım katsayıları da artmaktadır.

Tablo 4.6-1 Model h katsayıları

İç sıcaklık (°C)	$h_{iç}$ (W/m ² .K)	h_{12} (W/m ² .K)	h_{23} (W/m ² .K)	$h_{dış}$ (W/m ² .K)
100	5,94	2.45	2.51	3.00
200	6,83	2.87	3.00	3.92
300	7,15	3.00	3.29	4.50
400	7,73	3.16	3.47	4.95

Tablo 4.6-2’de ise modelin farklı fırın içi sıcaklıkları için hesapladığı cam ve ara hava sıcaklıkları verilmektedir. Verilen bu değerler ilk iki camı yansıtıcı cam olan kapak tasarımı için elde edilen sonuçlardır. Tablo da görüldüğü gibi kapak arası hacimden hava geçirmek, dış cam sıcaklığının düşürülmesi açısından, fırın içi sıcaklığı yüksek olduğu zaman daha etkili olmaktadır.

Tablo 4.6-2 Model farklı fırın içi sıcaklıkları için cam sıcaklıkları

İç sıcaklık (°C)	T ₁ (°C)		T ₁₂ (°C)		T ₂ (°C)		T ₂₃ (°C)		T ₃ (°C)	
	K	A	K	A	K	A	K	A	K	A
200	185	181	151	139	117	96	83	68	50	46
300	276	269	222	200	169	132	116	83	66	53
400	366	355	294	263	222	170	150	102	77	62
500	455	443	366	328	277	212	184	125	91	72

K : Kapaktan hava geçişi olmayan durum (Kapalı)

A : Kapaktan 3m/s ile hava akışı olduğu durum (Açık)

Tablo 4.6-3 Model iki ve üç camlı kapak karşılaştırma

Fırın içi sıcaklık (°C)	İki camlı kapak		Üç camlı kapak	
	İç cam (°C)	Dış cam (°C)	İç cam (°C)	Dış cam (°C)
200	173	108	185	50
300	256	161	276	66
400	338	216	366	77

Tablo 4.6-3'te programda iki ve üç cam kullanımı ile ilgili karşılaştırma yapılabilmesi açısından farklı fırın içi sıcaklıkları için hesaplama yapılmıştır. Sonuçlardan da görüleceği üzere kapakta üçüncü camın kullanılmasının getirdiği fayda açıkça görülmektedir. İki camlı sistemin gerek enerji tüketimi açısından gerekse de dış cam sıcaklığı açısından kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Yapılan deneylerde de üç camlı sistemin iki camlı sisteme göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Son olarak model sonuçlarından elde edilen verilerin, deney sonuçları ile karşılaştırılması açısından aşağıdaki tablolar verilmiştir. Tablo 4.6-4' te Model ile ısı algılayıcı deneylerinde elde edilen ısı transfer katsayılarının karşılaştırılması verilmiştir. Görüldüğü üzere modelde elde edilen ısı transfer katsayıları deney sonuçlarına göre yüksek çıkmaktadır. Bunda modelde ısı iletiminin ihmal edilmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.6-4 Model – Deney Isı Taşınım Katsayısı Karşılaştırma

<i>Fırın içi sıcaklık [100°C]</i>	$H_{iç}$ [W/m ² .K]	$H_{dış}$ [W/m ² .K]
Deney	9.5	6.5
Model ısı taşınım katsayısı	6	3
Model ısı ışıınım katsayısı	4.5	4.25
Model toplam ısı transfer katsayısı	10.5	7.25

Tablo 4.6-5' te ise iki camlı ve üç camlı kapak tasarımlarının deney ve model sonuçlarının karşılaştırılması verilmektedir.

Tablo 4.6-5 Model – Deney Dış Cam Sıcaklık Karşılaştırma

Fırın içi sıcaklık [200°C]	Dış Cam Sıcaklık Model [°C]	Dış Cam Sıcaklık Deney [°C]
İki Camlı Kapak	108	107
Üç Camlı Kapak (İki adet yansıtıcı cam)	60	71
Üç Camlı Hava Akışlı Kapak (İki adet yansıtıcı cam)	46	50

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu yüksek lisans çalışmasında, elektrikli fırınların ön kapaklarının ısı performansını deneysel olarak incelenmiş, fırının enerji tüketiminin azaltılmasına ve kapak dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve olası yeni tasarımların performansını incelemeye yönelik matematiksel model hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında fırın kapak deneylerinin yapılacağı ve deneyler arasında özdeş çalışma koşulları oluşturması hedeflenen ön kapak deney düzeneği hazırlanmıştır.

İncelenen patent ve makalelerde fırın kapaklarından gerçekleşen ısı kayıplarda; ısı ışıınımı için yansıtıcı camlar ve ışıınım perdesi uygulamalarına, ısı taşıınımı için çok camlı kapak ile sağlanan ölü hacim tasarımlarına ve iletimsel ısı kayıpları için yalıtım, sızdırmazlık, cam-metal temasının kesilmesi, ısı köprülerinin önlenmesi gibi çalışmalar tespit edilmiştir. Ayrıca kapak dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik kapak içerisinde hava akışı uygulamalarına rastlanmıştır.

İlk olarak deneyler için toplanan iki camlı kapak deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler gerçek fırın üzerinde on-off çevrim yapacak şekilde çalıştırılmış ve kapağın mevcut hal performansının incelenmiştir. Bu durumda deney sonuçlarını etkileyen parametre sayısının çok olmasının, elde edilen deney sonuçlarından genel bir sonuç çıkarılmasını güçleştirdiği gözlenmiştir. Sonraki deneyler ön kapak deney düzeneğinde yapılmıştır. Bu deney düzeneği ile sonuçları etkileyen ve belirsizlik yaratan parametre sayısının azaltılmış (fırınlar arası farklılıklar, termostat ayarı, fırın kütlesi vs.), daha kontrollü deney yapma olanağı sağlanmıştır. Böylece kapaklarda ısı transfer mekanizmalarının daha kolay, hassas ve hızlı bir şekilde incelenmesi temin edilmiştir. Bu durumda ısıtıcılar bir reostalılı güç kaynağı ile kontrol edilerek fırın iç sıcaklığı sabit tutulmuştur.

Deneyler üç gruba ayrılmıştır, ilk olarak mevcut kapağın gösterdiği ısı performansını incelenmiş, daha sonra ise kapak enerji tüketiminin azaltılmasına ve kapak dış yüzey sıcaklığının düşürülmesine yönelik çalışmaları içeren literatür taraması

doğrultusunda kapak üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak, değişikliklerin kapak enerji tüketimi ve dış yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Son olarak hesaplamalarda kullanılmak üzere teknik fizibilite deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan üç grup deney sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Mevcut iki camlı kapak üzerinde yapılan deneyler göstermiştir ki, gerek enerji tüketimi gerekse de kapak dış yüzey sıcaklığı açısından düşük bir performans sergilemektedir. Bunun başlıca sebepleri olarak; ısı taşınımı açısından kapakta camlar arası mesafenin fazla olması nedeni ile aradaki havanın türbülansa girmesi, ışıyım açısından yansıtıcı cam kullanılmaması ve iletimsel ısıyım için cam-metal temasının fazla olması görülmektedir.
- Elde edilen bilgiler ışığında kapak ısı transfer mekanizması ile ilgili Ms Excel programında kapakta cam sıcaklıklarını hesaplayan bir kod yazılmıştır. Bu program sayesinde farklı kapak tasarımları arasındaki karşılaştırma kolay bir şekilde hesaplanabilecektir.
- Programda elde edilen bilgiler ışığında kapakta üç cam kullanımının iki cam kullanımına göre avantajlı olduğu ve bu avantajın fırın içi sıcaklık artıça buna paralel arttığı görülmektedir. Fırın içi sıcaklık 200°C iken, iki camlı kapakta dış cam sıcaklığı 108°C, üç camlı kapakta ise 50°C olmaktadır.
- Program ısı taşınım katsayıları çıktıları da deneylerde ölçülen değerlere yaklaşık sonuçlar vermektedir.
- Kapakta hava akışının etkilerinin görülmesi açısından yapılan hesaplamada fırın içi sıcaklık 300°C için, kapakta hava akışı yokken dış cam sıcaklığı 66°C, hava akışının olduğu durumda ise 53°C' ye düştüğü görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Wong Cyril**, 1991. Thermal design aspects of electric-oven doors, Cranfield Institute of technology
- [2] **Nuss James J.**, 1975. Simplified oven door window, US3996710, General Electric Company
- [3] **White James A.**, 1972. Flow-through shutter for oven door window, US3760792, General Electric Company
- [4] **Sulicz Edward F.**, 2000. Oven Window design considerations to meet cool door requirements and save energy, IATC Proceedings
- [5] **Fabrizio Doni**, 1988. A domestic oven window having a low temperature external surface, EP0299935, Saes getters S.p.A
- [6] **Knikle Robert A.**, 1965. Oven door window, US3177334, General Electric Company
- [7] **Chase William B. And Jendrisak Joseph E.**, 1972. Windowed doors for self-cleaning ovens, US3433213
- [8] **Nuss James J.**, 1974. Oven door with air-cooling system, US3893442 General Electric Company
- [9] **McFarland Robert H.**, 1976. Self-through oven door with reticulated heat shield, US4084571
- [10] **Dills Raymond L.**, 1974. Oven ventilating system, US3889100
- [11] **Mikalauskas George A.**, 1995, Cool multi-section oven door for a large window oven, US5441036, Whirlpool Corporation
- [12] **Silvano Fumagalli**, 1999. Door for Pyrolytic oven, EP1022517, Candy S.p.A
- [13] **Katona Joseph W.**, 1978. Self-contained window unit for oven doors, US4206338, Mills Product
- [14] **Stahlmann Rolf and Harald Pörner.**, 2000. Procedure for cooling an oven door and a furnace with cooling, DE10047016, AEG Company
- [15] **Puricelli Orio.**, 1992. Oven door, EP0549933, Fulgor S.p.A
- [16] **Kayihan A.S., Özyurt B., İnan C and Eğrican N.E.**, 2003. A Method for Determining the Heat Loss Characteristics of an Oven, *IATC Proceedings*.

- [17] **Kayihan A.S.**, 2003. Elektrikli fırınların ısı performanslarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek lisans Tezi, i.T.Ü
- [18] **Özyurt Bekir, Gürlek M. Zihni**, 2003, ANN-384, Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi.
- [19] **Holman J.P.**, 1989. Heat transfer, McGraw-Hill pres, New York.



ÖZGEÇMİŞ

M. Zihni GÜRLEK, 1980 yılında Kayseri' de doğdu. 1997 yılında orta öğrenimini Kayseri Aydınlık Evler Lisesi' nde tamamladı. 2002 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi' nden Makina Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Enerji Programı' nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen İ.T.Ü. Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı' nda yüksek lisans öğrencisi olup, İ.T.Ü. ve ARÇELİK A.Ş. arasında imzalanmış özel bir anlaşma çerçevesinde ARÇELİK A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi' nde çalışmalarına devam etmektedir.

