

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ FIRINLARIN ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. S. Aslı KAYIHAN

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği

Programı: Enerji

Tez Danışmanı: Prof.Dr. A. Nilüfer EĞRİCAN

AĞUSTOS 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ FIRINLARIN ISIL PERFORMANSININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. S. Aslı KAYIHAN
503011018**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ağustos 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ağustos 2003**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. A. Nilüfer EĞRİCAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ (İ.T.Ü)
Prof.Dr. İsmail TEKE (Y.T.Ü.)**

AĞUSTOS 2003

Annem' e ve Babam' a...

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan Arçelik Araştırma ve Teknoloji Geliştirme Merkezi'ne, 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 Dr. Cemil İnan ve Sn Bekir Özyurt'a teşekkürlerimi sunarım.

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.

Her zaman yanımda, bana destek olan, yaptığım işlere sonuna kadar güvenen sevgili Ailem'e sonsuz destekleri ve sevgileri için teşekkür ederim...

İstanbul, Ağustos 2003

S. Aslı KAYIHAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Yansıtıcı Uygulamaları	4
2.2. Farklı Isıtıcı Uygulamaları	20
2.3. Diğer	36
3. DENEYLER	41
3.1. Deney Köşesi ve Test Fırını	42
3.2. Termostatik Çalışma Standart Deneyleri	44
3.2.1. Termostatik Çalışma Deney Düzeneği	45
3.3. Termostatik Çalışma Modifikasyon Deneyleri	51
3.3.1. Fırın Baca Çıkışının Kapatılması (İnfiltrasyon)	53
3.3.2. Baca Çıkışının Kapatılması ve Kapakta O Conta Kullanılması	55
3.3.3. Üst Isıtıcı Üzerine Yansıtıcı Plaka Konması	57
3.3.4. Fırın İç Yüzeylerinin Yansıtıcı Plakalarla Kaplanması	58
3.3.5. Kapak Çerçevesinin ve Cam Aralığının İzole Edilmesi	60
3.3.6. Alt Isıtıcı Koruma Sacının Cam Yünü ile İzole Edilmesi	62
3.4. Sabit Sıcaklık Standart Deneyleri	63
3.4.1. Sabit Sıcaklık Deney Düzeneği	64
3.5. Sabit Sıcaklık Modifikasyon Deneyleri	69
3.6. Tuğla Testi Standart Deneyleri	75
3.6.1. Tuğla Testi Deney Hazırlıkları ve İşlem Adımları	76
3.6.2. Tuğla Testi Deney Düzeneği	81
3.7. Tuğla Testi Modifikasyon Deneyleri	90
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR	103
ÖZGEÇMİŞ	105

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.2.1	Termostatik Çalışma Standart Deney Sonuçları	48
Tablo 3.2.2	Standart deney sonuçlarının ortalama değerlere göre % olarak farkı	50
Tablo 3.3.1	İnfiltrasyon deney sonuçlarının standart hale göre % farkı.....	54
Tablo 3.3.2	O Conta deney sonuçlarının standart hale göre % farkı.....	55
Tablo 3.3.3	Yukarı yansıtıcı deney sonuçlarının standart hale göre % farkı	57
Tablo 3.3.4	Komple Yansıtıcı deney sonuçlarının standart hale göre % farkı	59
Tablo 3.3.5	Cam izole deney sonuçlarının standart hale göre % farkı	61
Tablo 3.3.6	Alt Yüzey İzole deney sonuçlarının standart hale göre % farkı	62
Tablo 3.4.1	Sabit sıcaklık standart deney matrisi.....	67
Tablo 3.4.2	Üç sıcaklık ve üç çalışma modu için elde edilen UA değerleri	68
Tablo 3.5.1	Değişiklik yapılmış hal UA değerlerinin standart hale göre % farkı	72
Tablo 3.6.1	Ortalama fırın içi sıcaklığı	80
Tablo 3.6.2	Deneylerde kullanılan tuğlaların kuru ağırlıkları	85
Tablo 3.6.3	Mevcut hal deney sonuçları.....	86
Tablo 3.6.4	Mevcut hal tuğla kütle kayıpları	86
Tablo 3.6.5	On-off ve tuğla testleri 200 °C deney sonuçları	89
Tablo 3.7.1	Mevcut hal deney sonuçları.....	90
Tablo 3.7.2	İnfiltrasyon deney sonuçları.....	91
Tablo 3.7.3	Yukarı Reflektör deney sonuçları	91
Tablo 3.7.4	Komple Reflektör deney sonuçları.....	91
Tablo 3.7.5	Cam İzole deney sonuçları	91
Tablo 3.7.6	Alt İzole deney sonuçları	92
Tablo 3.7.7	Tuğla çıkarma süreleri, iç ortam sıcaklıkları ve enerji tüketimleri	92
Tablo 3.7.8	İnfiltrasyon deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı	93
Tablo 3.7.9	Yukarı Yansıtıcı deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı	93
Tablo 3.7.10	Komple Yansıtıcı deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı	94
Tablo 3.7.11	Cam İzole deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı	94
Tablo 3.7.12	Alt İzole deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı	95

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.1	Fırının genel görünüşü.....	5
Şekil 2.1.2	Fırının önden görünüşü	5
Şekil 2.1.3	Çeşitli yansıtıcı geometrileri.....	6
Şekil 2.1.4	Serbest haldeki yansıtıcılar.....	7
Şekil 2.1.5	Üst duvara gömülü yansıtıcılar	7
Şekil 2.1.6	Fırının ön perspektif görünüşü.....	8
Şekil 2.1.7	Çeşitli odaklayıcı formları.....	8
Şekil 2.1.8	Yiyecek taşıyıcısı ve yansıtıcı arasında bulunan radyant ısıtıcı eleman	9
Şekil 2.1.9	Çeşitli yansıtıcı ve ısıtıcı geometrileri	10
Şekil 2.1.10	Elektrikli ızgara ve kızartma fırını.....	10
Şekil 2.1.11	Fırının bir ısıtıcı üniteye sahip ikinci versiyonu	11
Şekil 2.1.12	Fırının mangal tipi versiyonu.....	12
Şekil 2.1.13	Yansıtıcı, yüksek verimli fırın	12
Şekil 2.1.14	Yansıtıcı, yüksek verimli fırının ön kesit görünüşü	13
Şekil 2.1.15	Düşük emisiviteli fırın elemanları	14
Şekil 2.1.16	DEF-standart fırın sıcaklık artışı-zaman grafikleri.....	15
Şekil 2.1.17	Düşük emisiviteli fırının şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.1.18	Duvar emisivitesinin boyutsuz ısı akısı üzerindeki etkisi	17
Şekil 2.1.19	Modellenen ısıtıcı konumları ve sayıları	18
Şekil 2.1.20	Modellenen ısıtıcı geometrileri.....	19
Şekil 2.2.1	Yüksek verimli bi-radyant fırın	21
Şekil 2.2.2	Geleneksel fırınlarda yiyeceğin soğurduğu güç miktarı	21
Şekil 2.2.3	Bi-radyant fırının soğurduğu ısı miktarı grafiği.....	22
Şekil 2.2.4	Radyant ısılı pişirme aparatı	22
Şekil 2.2.5	Radyant ısılı pişirme aparatının yandan görünüşü	23
Şekil 2.2.6	Ev tipi infrared radyasyon fırınının önden ve yandan görünüşleri.....	24
Şekil 2.2.7	Üniform pişirme sağlayan alt ısıtıcı.....	25
Şekil 2.2.8	Fırının yandan görünüşü.....	27
Şekil 2.2.9	Fırının önden görünüşü	28
Şekil 2.2.10	İnfrared ışık kullanarak hızlı pişirme sağlayan fırın.....	29
Şekil 2.2.11	Yansıtıcı plaka	29
Şekil 2.2.12	Çeşitli yiyeceklerin dalga boyu-yansıtma oranı grafiği.....	30
Şekil 2.2.13	Yansıtıcının dalga boyu-yansıtma oranı grafiği	31
Şekil 2.2.14	Farklı yüksekliklerde kullanılabilen infrared emisyon ızgaralı fırın.....	32
Şekil 2.2.15	Isıtıcı alt konumdayken fırının genel görünüşü	32
Şekil 2.2.16	Deneylerde kullanılan fırın kavitesi	33
Şekil 2.2.17	Isıtıcı konumlarına göre fırın içindeki hava hareketi	34
Şekil 2.3.1	Isıl köprü oluşumunu engelleyen fırın kapısı	37
Şekil 2.3.2	Dışı tamamen camla kaplı ısı köprü oluşumunu engelleyen kapı	38
Şekil 2.3.3	Kontrol penceresi olmayan fırın	39
Şekil 2.3.4	Isıl köprü kayıplarını engelleyen pişirme odası cihazı	39
Şekil 2.3.5	İki kademeli izolasyona sahip pişirme odası cihazı	40
Şekil 3.1.1	Deney köşesinin genel görünüşü	42
Şekil 3.1.2	Isıtıcıların ve fanın şematik gösterimi	43
Şekil 3.1.3	Fırın elemanlarının şematik gösterimi.....	44
Şekil 3.2.1	İç sıcaklığı ölçen termoelemanların yerleştirildiği ızgara eleman.....	46

Şekil 3.2.2	İki ısıtıcı çalışma modu standart hal sıcaklık ve güç eğrileri, 200 °C ...	47
Şekil 3.2.3	Üç fırının 150°C iki ısıtıcı standart hal ortalama sıcaklık-güç eğrileri...	50
Şekil 3.2.4	Üç fırının 200°C iki ısıtıcı standart hal ortalama sıcaklık-güç eğrileri...	51
Şekil 3.3.1	Fırın üzerinde yapılan değişikliklerin şematik gösterimi.....	52
Şekil 3.3.2	Fırın baca çıkışının kapatılması.....	54
Şekil 3.3.3	Isıtıcı üzeri yansıtıcı.....	57
Şekil 3.3.4	Fırın iç duvarlarında yansıtıcı.....	59
Şekil 3.3.5	Fırın kapağının tamamen izole edilmesi.....	60
Şekil 3.3.6	Alt ısıtıcı sacının ve ısıtıcı girişinin izole edilmesi.....	62
Şekil 3.4.1	Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	64
Şekil 3.4.2	Deney köşesinin genel görünüşü.....	65
Şekil 3.4.3	Sıcaklık-zaman grafiği / alt ve üst ısıtıcı açık 200 °C.....	66
Şekil 3.4.4	Sabit sıcaklık belirsizlik deney sonuçları.....	68
Şekil 3.5.1	UA deneylerinde fırın üzerinde yapılan değişiklikler.....	70
Şekil 3.5.2	Kapak çerçevesinin izole edilmesi.....	70
Şekil 3.5.3	İç tarafı yansıtıcı cam.....	71
Şekil 3.5.4	Yansıtıcı olmayan normal cam.....	71
Şekil 3.5.5	Değişiklik yapılmış fırın UA değerlerinin std hale göre fark grafiği.....	72
Şekil 3.6.1	Tuğla iç sıcaklık ölçümü.....	76
Şekil 3.6.2	Oda sıcaklığı ölçümü.....	77
Şekil 3.6.3	Fırın kullanılabilir hacmi.....	78
Şekil 3.6.4	Deney köşesi ve düzeneği.....	81
Şekil 3.6.5	Kütle kaybı ölçümü, tuğlayı taşıyan ızgara eleman ve tartı düzeneği..	83
Şekil 3.6.6	Tuğlaların deneye hazırlanması.....	83
Şekil 3.6.7	Mevcut hal Kütle kaybı- Sıcaklık grafiği (iki ısıtıcı modu).....	87
Şekil 3.6.8	Mevcut hal Kütle kaybı- Sıcaklık grafiği (turbo modu).....	87
Şekil 3.6.9	İki ısıtıcı 140 °C Mevcut hal Kütle kaybı- Zaman grafiği.....	88
Şekil 3.6.10	Turbo 135 °C Mevcut hal Kütle kaybı- Zaman grafiği.....	89
Şekil 3.7.1	Yükseklik merkezinde 25 noktadan delinmiş tuğla.....	96
Şekil 3.7.2	İki ısıtıcı 180 °C için tuğlanın sıcaklık dağılımı (üstten görünüş).....	97
Şekil 3.7.3	Turbo 175 °C için tuğlanın sıcaklık dağılımı (üstten görünüş).....	97
Şekil 3.7.4	Derinlik merkezinde yükseklik boyunca 10 noktadan delinmiş tuğla...	98
Şekil 3.7.5	İki ısıtıcı 180 °C için yükseklik boyunca sıcaklık dağılımı.....	98
Şekil 3.7.6	Turbo 175 °C için yükseklik boyunca sıcaklık dağılımı.....	99

SEMBOL LİSTESİ

ε	: Yayma katsayısı, emisivite
Δm	: Tuğla kütle kaybı, [g]
ΔT	: Sıcaklık farkı, [$^{\circ}\text{C}$]
D	: Derinlik, [cm]
d	: Fırın yüksekliği, [cm]
e	: Fırın genişliği, [cm]
$E_{5\text{çev.mod}}$	: Modifikasyon deneyinde 5.çevrim sonunda tüketilen enerji, [Wh]
$E_{5\text{çev.orj}}$	: Standart deneyde 5.çevrim sonunda tüketilen enerji, [Wh]
$E_{5\text{çev.frni}}$	: i. Fırının 5.çevrim sonunda tükettiği enerji, [Wh]
$E_{5\text{çev.ort}}$	: 5.çevrim sonunda tüketilen ortalama enerji, [Wh]
$E_{\text{önısıtma}}$	: Ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]
$E_{\text{önısıtma}+5\text{çev}}$	: Başlangıçtan 5. çevrim sonuna kadar tüketilen enerji, [Wh]
$E_{\text{önısıtma.frni}}$	: i. Fırının ön ısıtma süresi boyunca tükettiği enerji, [Wh]
$E_{\text{önısıtma.mod}}$	: Modif. deneyinde ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]
$E_{\text{önısıtma.orj}}$	: Standart deneyde ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]
$E_{\text{önısıtma.ort}}$	: Ön ısıtma süresi boyunca tüketilen ortalama enerji, [Wh]
$E_{\text{tuğla}}$	: Tuğla çıkarılana kadar tüketilen enerji, [Wh]
f	: Fırın derinliği, [cm]
G	: Genişlik, [cm]
m_i	: Islak tuğla kütlesi, [g]
m_k	: Kuru tuğla kütlesi, [g]
$P_{5\text{çev}}$	: 5.çev. sonuna kadar ısıtıcılara ve fana uygulanan ortalama güç, [W]
P_{fan}	: Fana uygulanan güç, [W]
$P_{\text{ısıtıcı}}$	: Isıtıcıya uygulanan güç, [W]
P_{lamba}	: Fırının aydınlatılmasında kullanılan lambaya uygulanan güç, [W]
P_{ortalama}	: Ön ısıtma süresi boyunca ısıtıcılara ve fana uygulanan ort. güç, [W]
$P_{\text{tuğla}}$	: Tuğla çıkarılincaya kadar uygulanan ortalama güç, [W]
$t_{5\text{çev}}$	: 5. Çevrim sonuna kadar toplam on-çev. süresi, [dak]
$t_{5\text{çev}}$	: Başlangıçtan itibaren, tuğla çıktıktan sonra 5. çevrim sonuna kadar toplam on-çev. süresi, [dak]
$T_{\text{dış}}$	: Dış ortam sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
$T_{\text{iç}}$	: Fırın içi sıcaklığı, [$^{\circ}\text{C}$]
T_{1-6}	: Fırın iç hava sıcaklıkları [$^{\circ}\text{C}$]
$t_{\text{önısıtma}}$	: Ön ısıtma süresi, [dak]
$t_{\text{önısıtma.frni}}$	: i. Fırının ön ısıtma süresi, [dak]
$t_{\text{önısıtma.orj}}$	: Standart deneyinin ön ısıtma süresi, [dak]
$t_{\text{önısıtma.ort}}$	: Ortalama ön ısıtma süresi, [dak]
$t_{\text{tuğla}}$	: Başlangıçtan tuğla çıkarılincaya kadar geçen süre, [dak]
UA	: Toplam ısı geçiş katsayısı, [W/m^2]
$UA_{\text{i.fırın}}$	: i. Fırının UA değeri, [W/m^2]
UA_{mod}	: Modifikasyon deneyinin UA değeri, [W/m^2]
UA_{orj}	: Orijinal hal UA değeri, [W/m^2]
UA_{ort}	: Ortalama UA değeri, [W/m^2]
V	: Fırın kullanılabilir hacmi, [cm^3]
Y	: Yükseklik, [cm]

ELEKTRİKLİ FIRINLARIN ISIL PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Uluslararası standartlara göre fırınların enerji tüketimine göre sınıflandırılmaya başlanması fırın üretici firmaları, fırının enerji tüketimi üzerinde de çalışmalar yapıp, yüksek verimli fırınlar üretmeye yönelmektedir. Bu çalışmanın amacı da elektrikli fırınların ısıl performansının deneysel olarak incelenmesi ve fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yöntemlerin belirlenmesi ve fırın üzerinde uygulanarak etkilerinin gözlenmesidir.

Elektrikli fırınlar üzerinde yapılan çalışmaların takip edilmesi amacıyla fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik alınan patentler ve çeşitli makaleler incelenmiştir. Literatür araştırmasından sonra fırının ısıl performansının belirlenmesi ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik deneyler yapılmıştır.

Günümüzde kullanılan elektrikli fırınlar termostat ayarıyla on-off çevrim yapacak şekilde çalışmaktadırlar. Deneylerde fırının mevcut hal çalışma karakterinin belirlenmesi için fırın on-off çevrim yapacak şekilde çalıştırılmış ve enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Termostatik çalışma deneylerinde sonuçları etkileyen parametre sayısının çok oluşu, deney sonuçlarından kesin bir sonuca varılamaması, yeni bir deney metodolojisinin gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle termostatik çalışma deneylerine alternatif olacak yeni bir deney metodolojisi ortaya konmuştur. Fırın içi sıcaklık dağılımlarının, çalışma karakterinin kontrollü biçimde belirlenmesi, sonuçları etkileyen parametre sayısının azaltılması amacıyla “Sabit Sıcaklık” deney metodolojisi belirlenmiş ve uygulanmıştır. Üçüncü grup deneylerde ise uluslararası standartlarla fırının enerji sınıfının belirlendiği “Tuğla Testleri” uygulanmış ve fırının enerji tüketimi ölçülmüştür.

Her üç grup deneyde de ilk olarak fırın, üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan çalıştırılmış, daha sonra ise yapılan literatür taraması sonucunda edinilen bilgiler doğrultusunda fırın üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak fırının enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır.

Aynı model fırınlar arasında üretimden gelen farkların bulunması için termostatik çalışma ve sabit sıcaklık deneyleri özdeş üç fırın üzerinde tekrarlanmıştır.

Bu yüksek lisans çalışmasının bir amacı da elde edilen sonuçlarla, Arçelik A.Ş. Araştırma Geliştirme Merkezi’nde hazırlanan fırının termal modellenmesi ve modüler simülasyon (Firsim) programına veri sağlamaktır.

EXAMINING THE THERMAL PERFORMANCE OF AN ELECTRICAL DOMESTIC OVEN EXPERIMENTALLY

SUMMARY

Since the ovens are being classified by international standards according to their energy consumption values, increasing demands of an energy efficient oven make the oven manufacturers study on energy consumption and produce high efficiency ovens. The aim of this study is to examine the thermal performance of an electrical oven experimentally, investigate methods to decrease the energy consumption of an oven and apply them on the oven.

In order to keep up with the studies on electrical ovens, some patents and articles concerning energy efficient ovens are studied. After the literature search, experiments for improving the thermal performance of an oven and decreasing the energy consumption are made.

Recently used electrical ovens and the ovens used in experiments are on-off cycling ovens. In this study, in order to determine the real working character, the oven is operated to make on-off cycles. Many parameters that affect the results of real working mode and the difficulties to get favorable results, indicated the need for a new experimental method so an alternative method is brought up. In order to determine the heat distribution in an oven by a controlled way and reduce the parameters affecting the results, "Constant Temperature" experimental method is built up and applied. In the third group of experiments, "Brick Tests" are applied according to international standards to determine the energy class of the oven and energy consumptions are calculated.

In every type of experimental method, the oven is operated without making any changes on it at first. After that, according to the literature search, some modifications for reducing the energy consumption of the oven are applied and the energy consumptions of these cases are calculated.

In order compare the performances of different ovens with same model and identify the uncertainties coming from production stage, the first two groups of experiments are repeated on three identical ovens.

Another aim of this study is to supply data for a computer program developed in Arçelik Company Research and Development Center, "Development of a thermal simulation, and modeling studies for domestic electrical ovens".

1. GİRİŞ

Enerji tüketimi son yıllara kadar fırın dizaynında ve üretiminde öncelikli parametrelerden biri olarak görülmemekteydi. Ancak uluslararası standartların artık fırınları enerji tüketim değerlerine göre sınıflandırıyor olması ve dolayısıyla fırınlarda da düşük enerji tüketimi gerektiriyor olması, diğer cihazlar gibi düşük verimli fırınlar sınıfına dahil olacak fırınların satışının engellenebilecek olması bu parametreyi fırın üreticileri için önemli bir konuma getirmekte ve onları yüksek verimli fırınlar üretmeye yönlendirmektedir. Yapılan araştırmalar, tüketicinin satın alma kararında düşük enerji tüketimine eskisine oranla daha çok dikkat ettiklerini göstermektedir. Bunun yanında elektriğin ülkemizde en pahalı enerji kaynağı olması, genel olarak dünyada da enerji kaynaklarının azalmakta olması üreticileri bu yönde çalışmalar yapmaya zorlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı elektrikli fırınların mevcut çalışma karakterlerinin belirlenmesi, esas olarak da enerji tüketimini azaltmaya yönelik çeşitli yöntemler belirlenmesi ve bunların fırın performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Yapılan literatür taramalarında fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çok sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak, fırından ısı kaybını önlemek, ısıyı yiyeceğin üzerine yönlendirmek için ısıtıcıların üzerine yansıtıcı tasarlandığı, fırın kapısı ve penceresi üzerinde durulduğu, fırın iç kavitesi ve dış gövde arasındaki ısı köprülerinin engellenmeye çalışıldığı ve hızlı ısıtma sağlayacak, ön ısıtma periyodunu kısaltacak çeşitli yöntemlerin ve homojen ve verimli pişirme sağlayacak farklı ısıtıcı tiplerinin, ısıtıcı geometrilerinin ve konumlarının denendiği görülmüştür.

Bu çalışmada incelenen fırın, termostat ayarıyla on-off çevrim yapacak şekilde çalışan bir elektrikli fırındır. Tez çalışması dahilinde yapılan deneylerin ilk kısmında (Termostatik çalışma deneyleri) fırın kendi çalışma pozisyonunda, on-off çevrim yaparak çalıştırılmış ve fırının ısı karakterinin, sıcaklık dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, iki sıcaklıkta ve üç çalışma modunda fırının enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Deneyler, fırınlar arası üretimden gelen farkların belirlenmesi için özdeş üç fırın üzerinde tekrarlanmıştır.

Deneylerin ikinci kısmında ise, “Termostatik Çalışma” deneylerinde sonuçları etkileyen çok fazla parametre olması ve çeşitli etkenlerle deney sonuçlarından kesin bir yargıya varılamaması sebebiyle tanımlanan “Sabit Sıcaklık (UA)” deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde sonuçları etkileyen parametre sayısının azaltılması ve fırın karakterinin kontrollü bir şekilde belirlenebilmesi için fırın içi sıcaklığı sabit tutulmuş ve fırının on-off çevrim yapması engellenmiştir. Deney sonuçlarıyla “Fırının toplam ısı geçiş katsayısı” olarak tanımlanan UA değerleri hesaplanmıştır. Bu deneyler de özdeş üç fırın üzerinde tekrarlanmıştır.

Üçüncü grup deneylerde ise fırının enerji sınıfının belirlenmesi amacıyla tuğla testleri yapılmıştır. Deneyler, prosedürü ayrıntılı olarak anlatılan ve CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) tarafından yayınlanan uluslararası EN 50304 numaralı standarda göre gerçekleştirilmiştir. Fırın içine yerleştirilen tuğlanın ısıtılması için gereken enerji tüketimi hesaplanarak fırının enerji sınıfı belirlenmektedir.

Her üç grup deneyde de fırının genel karakterinin araştırılmasından sonra literatür taraması sonucunda edinilen bilgiler doğrultusunda, fırın üzerinde çeşitli değişiklikler yapılmış ve fırının enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, üzerinde değişiklik yapılmamış fırının deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak yapılan değişikliklerin fırının enerji tüketimi üzerindeki etkileri belirlenmiştir.

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

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fırının ısı performansının artırılması, içindeki sıcaklık dağılımının homojenleştirilmesi geçmişte başlayıp, günümüzde hala üzerinde çalışılan bir konudur. Özellikle günümüzde uluslararası standartlarla fırınların enerji sınıflarının belirlenmeye başlanması, elektrikli fırın üreticilerini düşük enerji tüketimine sahip fırınlar üretmeye yönlendirmektedir. Bunun yanında kullanıcının istekleri doğrultusunda sıcaklık dağılımının, pişirmenin mümkün olduğunca homojen olması da fırın performansı açısından önemli bir noktadır. Bu yüksek lisans çalışmasında elektrikli fırınlarda verimin artırılmasına yönelik günümüze kadar yapılmış çeşitli makalelere ve patent çalışmalarına yer verilecektir.

İncelenen çalışmalarda en sık, ısıtıcılardan yayılan ısının fırın duvarları tarafından soğurulup, dışarı yayılmasını önlemek üzere ısıtıcıların etrafına yansıtıcı eleman (yansıtıcı) konulduğu görülmüştür. Yansıtıcı, çeşitli şekillerde ve çeşitli malzemelerde olabilmektedir ve fırından ısı kaybını azaltıp, ısıyı direk yiyeceğin üzerine yoğunlaştırdığı için fırının enerji tüketimini azaltmaktadır. Fırının enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yapılan çalışmalarda üzerinde durulan bir konu da fırın duvarlarıdır. Çalışmalarda duvarların ısıtıcılardan gelen ısıyı soğurması sebebiyle oluşan ısı kaybının azaltılması için duvarların emisiviteleri düşük (yansıtıcı) malzemelerden üretildiği gözlenmiştir.

Fırının üzerinde yapılan çalışmalarda, mevcut elektrik direnç şeklindeki ısıtıcılara alternatif olacak ısıtıcı tipleri üzerinde durulmuştur. İncelenen patentlerde, genellikle radyant enerji yayan ısıtıcılar kullanıldığı görülmüştür. Bu ısıtıcılar, yine elektrik direnç şeklinde olabileceği gibi, çeşitli dalga boylarında ışık yayan halojen lambalar da kullanılabilmektedir. Lamba şeklinde ısıtıcıların yaydığı ışığın dalga boyunun yiyecek ve genel olarak pişirme üzerindeki etkileri de bir çalışma konusudur. Farklı dalga boyu bölgelerindeki ışıklarla gerçekleştirilmiş pişirme denemelerinin sonuçları verilmiştir. Fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalarda, mevcut elektrik direnç şeklindeki ısıtıcılara alternatif olacak ısıtıcı tipleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmalarda yer alan önemli konulardan biri de fırının yiyecekleri pişirme süresidir. Pişirme süresini kısaltarak enerji tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalarda, esas olarak ön ısıtma periyodunun kısaltılması, hatta ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bunun yanında, hızlı ısıtma sağlayacağı düşünülen ısıtıcı geometrileri, farklı ısı kaynakları üzerinde de durulmuştur. Pişirme süresini artıran bir konu da fırının on-off çevrim yapacak şekilde çalışmasıdır. Bazı çalışmalarda fırının bu çalışma şekli değiştirilmiş ve fırın sürekli çalışır duruma getirilmiştir.

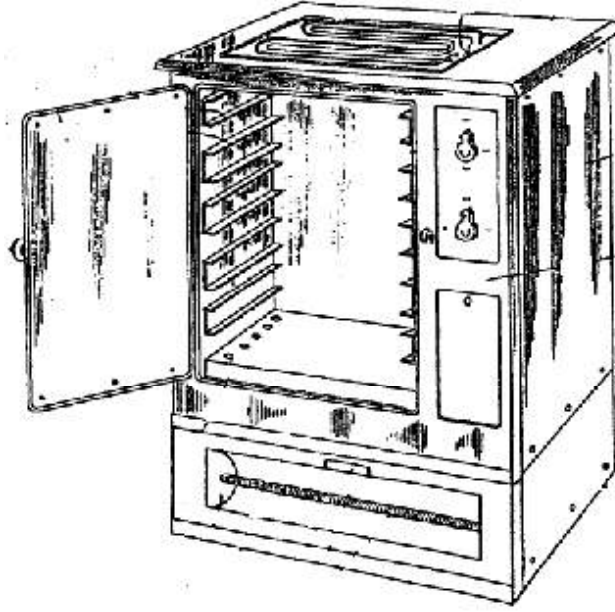
Fırının enerji tüketimini azaltmak amacıyla, fırının ısı kaybının yoğun olduğu bölgeler üzerinde durulduğu görülmüştür. Bu amaca yönelik, ısı kaybının baskın olduğu kapı üzerinde çalışmalar geliştirildiği, fırın içi kavitesi ile dış çerçeve arasında oluşan ısı köprülerinin engellenmeye çalışıldığı görülmüştür.

Bu yüksek lisans çalışmasında incelenen çalışmalar genel olarak iki başlık altında toplanmıştır. İlk olarak en sık rastlanan uygulama olan yansıtıcı uygulamalarını konu eden çalışmalardan bahsedilecek, daha sonra ise çeşitli geometrilerde, konumlarda ve tiplerde kullanılan ısıtıcılarla ilgili çalışmalara yer verilecektir. Bir çok çalışmada iki grubun bir arada çalışıldığı görülmektedir.

Bu iki grubun dışında kalan çalışmalar da 2.3 bölümünde yer alacaktır.

2.1. Yansıtıcı Uygulamaları

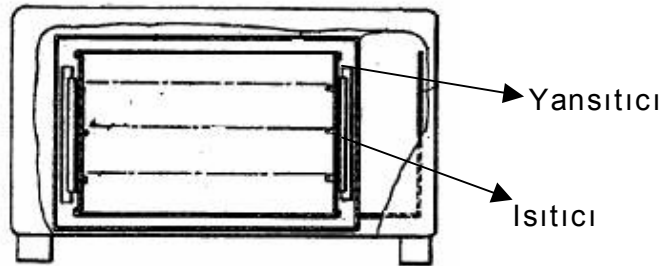
İncelenen çalışmalarda en sık karşılaşılan uygulama ısıtıcı üzerinde veya yüzeylerde ısıtıcılardan gelen ısıyı yansıtmak üzere yansıtıcı kullanılmasıdır. Bu konuda rastlanan en eski uygulamalardan biri 1937 yılında H. D. Fitzpatrick [1] tarafından alınan patenttir. Şekil 2.1-1’de gösterilen fırının üst tarafında plaka şeklinde bir ısıtıcı eleman bulunmaktadır ve bu eleman ısını aşağı, fırının içine, buradaki yiyecekler üstten ısı sağlamak üzere gönderebilmekte, aynı zamanda da kendisinin üzerine yerleştirilmiş, kaynatma gibi doğrudan kontak gerektiren işlemler için kullanılabilir. Eleman ile ayrıca ızgara işlemi de gerçekleştirilebilmektedir. Isıtıcı elemanın alt veya üst tarafında ısıtıcıdan gelen ısıyı her iki yönde de yansıtabilecek, çıkarılabilir bir yansıtıcı bulunmaktadır.



Şekil 2.1.1 Fırının genel görünüşü

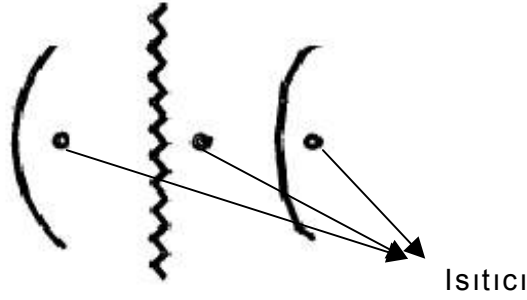
Isıtıcı eleman, akım taşıyan bir direnç elemanına veya bir iletkene sahiptir ve izolasyon malzemesinin içine yerleştirilmiştir. Aynı zamanda etrafında koruyucu, metalik bir kalkan bulunmaktadır. Yansıtıcı, ızgara veya fırın içinde pişirme sırasında kullanılmakta, kaynatma sırasında ise çıkarılabilmektedir.

Yansıtıcı uygulamasına bir diğer örnek ise ısıtıcıların iç kavitenin dışında, yan yüzeylere yerleştirildiği bir uygulamadır. (Norman, Walter [2]) Uygulamada, bir taraflarında yansıtıcıya sahip ısıtıcı eleman(lar), fırının iç ve dış odaları arasında kalan kapalı bir bölge içine yerleştirilmiştir (Şekil 2.1.2). Isıtıcı elemanlar yansıtıcının önüne yerleştirilmiş bir çubuğa sarılı spiral şeklinde olabilmektedir.



Şekil 2.1.2 Fırının önden görünüşü

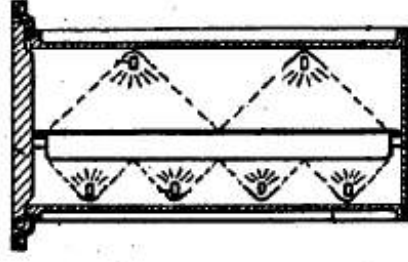
Yansıtıcı, ısıtıcıdan, iç bölgeden fırının dış duvarına doğru yayılmaya çalışan ısıyı tekrar bu bölgeye yansıtarak ısı kaybını azaltmaktadır. Böylece, fırının iç duvarı ısıtıcıdan gelen ve dış duvardan kaçıp geri yansıtılan ısı nedeniyle yüksek ısıya maruz kalmaktadır. Yansıtıcının alabileceği çeşitli formlar Şekil 2.1.3'te verilmiştir.



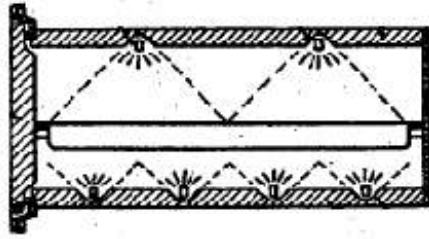
Şekil 2.1.3 Çeşitli yansıtıcı geometrileri

Fırın pişirme sıcaklığına geleneksel fırınlardan çok daha kısa bir zamanda, çok daha azaltılmış bir yük ile ulaşabilmektedir. Isıtıcıların iki duvar arasında olması, ısının bir duvarı geçerek fırının iç bölgesine ulaşması ise ısının direk olarak iç bölgeye yansıtılmasından daha düzgün bir ısı dağılımı sağlamaktadır.

Fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalarda kullanılan yansıtıcı uygulamalarına bir diğer örnekte amaç, cihazın çektiği akım değerini azaltmak, elektrik fırınlarında yiyeceği pişirmek için geçen süreyi kısaltmak, pişirilen yiyeceklerin kalitesini artırmak ve serbest monte edilmiş ısıtıcı kullanarak kısa devre ve herhangi bir kaza riskini ortadan kaldırmaktır. Carl August Steen [3] tarafından yapılan çalışmada fırının altında ve üstünde, serbest olarak, yani tamamen havayla çevrilmiş parlak ısıtıcı elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar ısıya dayanıklı izolasyon malzemesi ile çevrilmiş metal tel spirallerdir. Isıtıcı elemanlar kısmen, kanal şeklinde yansıtıcılarla sarılmıştır ve bu yansıtıcılar ısı ışınlarını düzgün olarak tepsinin üzerine yoğunlaştırmaktadırlar. Yansıtıcılar, Şekil 2.1.4'te görüldüğü gibi fırın duvarlarında serbest durabilecekleri gibi yer kazanmak maksadıyla duvarlara gömülü de olabilmektedirler (Şekil 2.1.5).



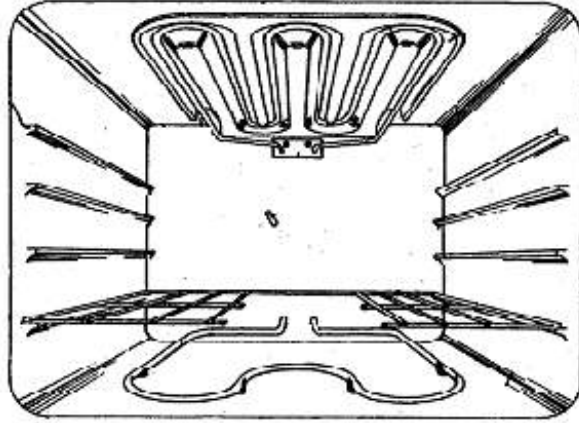
Şekil 2.1.4 Serbest haldeki yansıtıcılar



Şekil 2.1.5 Üst duvara gömülü yansıtıcılar

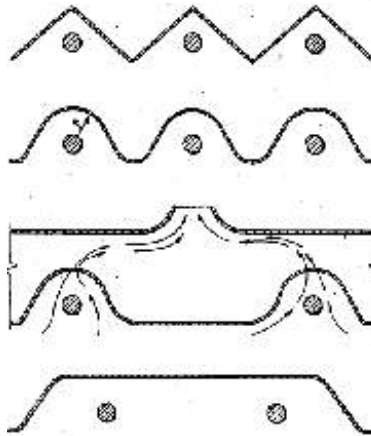
Duvarlarda hiçbir eleman olmadığı ve ısı ışınları tepsi üzerine yoğunlaştırıldığı için duvarlar sadece hava ile kontak sebebiyle yavaşça ısınmaktadır. Bununla beraber ısıtıcı elemanlar hızla ısınmakta, hava sadece tepsi ile kontak ettiği için yavaşça ısınmakta ve duvarları ısıtılan bir fırındakinden düşük bir sıcaklıkta kalmaktadır. Duvardan olan ısı kayıpları azaltıldığı için pişirme süreleri azalmakta ve böylece enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Isıtıcılar sadece dalga boyu 0.6-10 μm olan, penetre etme kapasitesi yüksek infrared ışınlar kullandığı için pişirme süresi azalmakta, yiyeceğin çok pişmesi önlenmekte ve ısı daha düzgün dağıtıldığı için yiyeceğin kalitesi artmaktadır.

Yansıtıcı uygulamasına rastlanan bir diğer çalışmada serpantin çubuk şeklinde ve ızgara işlemi için radyant enerji sağlayan bir ısıtıcı ve fırın boşluğunun üst kısmında ısıtıcının şeklinde, aşağı bakan serpantin şeklinde oyuklara sahip bir odaklayıcı mevcuttur. Freedman, Bowen ve Dudley [4] tarafından yapılan bu çalışmada odaklayıcı, ısıtıcıdan gelen radyant enerjinin duvarlara ve kapiya ulaşip bu elemanlar tarafından soğurulmasını engellemekte ve radyant ısının neredeyse tamamının yansıtılarak yiyeceğe ulaşmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.1.6 Fırının ön perspektif görünüşü

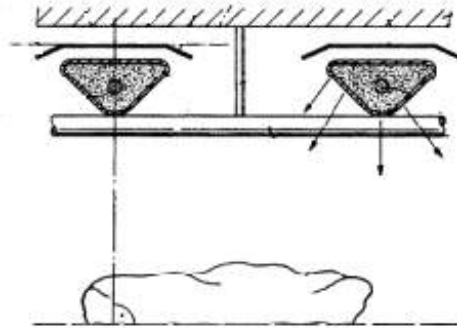
Odaklayıcı, gelişmiş yansıtma özellikleri göstermek üzere alüminyum kaplanmış çelik levhadan üretilmelidir. 900 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda bu malzeme yüzey bozulmasına maruz kalmakta ve alüminyum ve çelik aralarında intermetalik bir bileşik oluşturmaktadırlar. Bu bileşik olduğu yüzeyin kararmasına ve yansıtıcı özelliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Fakat, bu durumun düzelmesi için yapılan çalışmalar, ızgara performansını çok az değiştirmiştir. Bu durumun sebebi ise yansıtıcı özelliği azalan odaklayıcının soğurma özelliğinin artması ve kendisinin de yansıtıcı olmak yanında aşağı doğru ısı yayan bir kaynak durumuna gelmesidir. Izgaradan gelen radyant enerji, aşağıya doğru odaklanarak yiyeceğe gelen radyant enerji artırılmaktadır ve böylece iyi pişmiş yiyecekler, düşük enerji tüketimi ile elde edilmektedir.



Şekil 2.1.7 Çeşitli odaklayıcı formları

Odaklama işleminin en iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için odaklayıcının şeklinin tam parabolik olması önerilmektedir. Bununla beraber odaklayıcının alabileceği çeşitli şekiller ise yukarıda, Şekil 2.1.7’de verilmiştir.

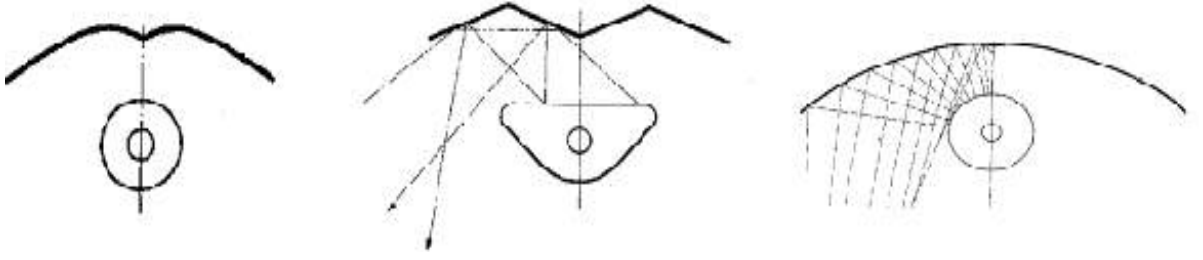
1990 yılında Bosch-Siemens Hausgerate firmasından Thaler Martin [5] tarafından yapılan çalışmada cihaz, yiyecek taşıyıcısı ve yansıtıcı arasında bulunan en az bir tane radyant ısıtıcı eleman içermektedir ve bu eleman boru şeklindedir (Şekil 2.1.8).



Şekil 2.1.8 Yiyecek taşıyıcısı ve yansıtıcı arasında bulunan radyant ısıtıcı eleman

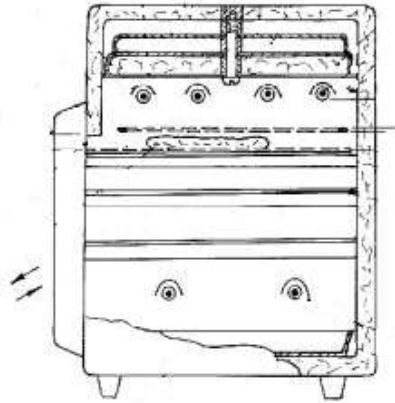
Yansıtıcı, yaklaşık 0.3 mm kalınlığında olup, radyant ısıtıcı elemanın sebep olduğu kısa dalga ikincil radyasyonun dağıtımını sağlamaktadır ve hem soğurma özellikleri, hem de yansıtıcı özellikleri taşıyan kısımlara sahiptir. Yansıtıcının ısıtıcı elemana bakan yüzeyi soğurma özelliğine sahip yüzeyidir. Böylece, yansıtıcı küçük bir ısı kütlesi ve ısı radyasyonu ile ilgili iyi soğurma özellikleri sergilemektedir.

Yansıtıcı, korozyon dirençli metalik tabaka malzemesine sahiptir. Radyant ısıtıcı elemanın ekseninden geçen ve yiyecek taşıyıcısı düzlemine paralel olan aksel düzleme her iki taraftan komşu olan yansıtıcı, bu düzleme bir açıyla ısı ışını yansıtan bir yansıtıcı bölüme sahiptir. Bu da yansıtıcının yansıtma özelliği gösteren diğer parçasıdır. Ayrıca yansıtıcının yiyecek taşıyıcıdan uzak olan yüzü ısı izolasyonu ile kaplanmıştır. Şekil 2.1.9, yansıtıcının ve boru şeklindeki ısıtıcının çeşitli geometrilerini göstermektedir.



Şekil 2.1.9 Çeşitli yansıtıcı ve ısıtıcı geometrileri

Yansıtıcılarla ilgili Victor Sherman [6] tarafından yapılan çalışmaya konu olan fırın, elektrikli ızgara ve kızartma fırınıdır. Çalışmada fırının verimli, hızlı ve çok temiz bir pişirme sağladığı, fırın içinde duman oluşmadığı ifade edilmektedir. Şekil 2.1.10'da gösterilen fırın, ısıyı yiyeceğe yönlendirecek bir yansıtma ünitesine sahiptir ve bu ünite, soğurucu bir plakadan ve bir dizi yansıtıcıdan oluşmaktadır. Fırının üst tarafındaki ısıtıcıların üstünde, yiyeceğin ısıtıcılarla direk temasını önleyen bir güvenlik rafı bulunmaktadır.



Şekil 2.1.10 Elektrikli ızgara ve kızartma fırını

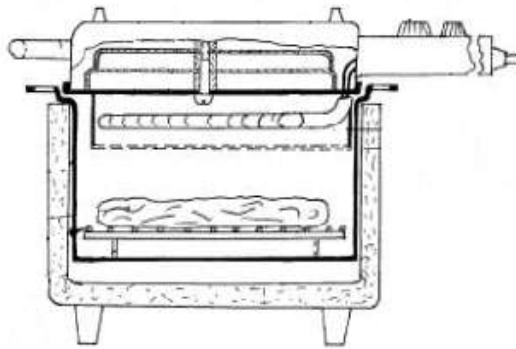
Elektrikli ısıtmada, elektrik hattından alınabilecek amper (genellikle 15 A) sınırlayıcı faktör olduğundan ızgara işleminde üst ısıtıcılar beraber çalıştırılırlar ve bu güç (1500 W) cihazın tam gücüdür. Izgara dışında, fırın ve kızartma işlemlerinde ise üst ısıtıcılar, alt ısıtıcılarla beraber kullanılırlar ve üst ısıtıcıların kapasitelerinin bir kısmı kullanılır. Bu durumda da kullanılan maksimum güç 1500W olmaktadır.

Konveksiyonla yukarı taşınan ısı yansıtıcılar tarafından yansıtılamaz. Pişirme sırasında gerçekleşen yağ sıçramaları ve yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon sebebiyle ısıtıcıların üstündeki ilk tabaka temiz ve yansıtıcı tutulamaz ve bu plaka, kırmızı ve infrared ışıkları etkili olarak yansıtamaz. Ayrıca, ısıtıcının etrafındaki lifli veya gözenekli izolasyonun zamanla bozulması ve yiyeceğin üstüne düşmesi engellenmelidir. Sayılan bu sebepler dolayısıyla ısıtıcıya en yakın bölgeye genellikle koyu, ısıtıcıdan hem radyasyonla hem taşınım ile gelen ısıyı soğurmak üzere bir soğurucu plaka konmuştur. İki yansıtıcı arasında kalan boşluk, ısıtıcının hemen üstündeki bölgelerden daha soğuktur ve yiyeceklerden sıçrayan maddeler ulaşamadığından yansıtıcılar yansıtıcı özelliklerini kaybetmezler.

Isıtıcıların radyasyonu aşağı ve yukarı eşit olarak yaydığı, taşınımın ısıtıcı gücünün yaklaşık % 20'sini yukarıya ulaştırdığı gerçeği ile soğurucu plaka toplam gücün yaklaşık % 60'ını almaktadır. Sonuç olarak soğurucu plaka ısınmakta ve aşağı, ısıtıcılara ve yiyeceğe doğru ısı (infrared ve kırmızı ışık) yaymaktadır. Soğurucu plakadan yayılan ısının bir kısmı da yukarı, ısıyı geri soğurucuya yansıtan ilk yansıtıcıya gitmektedir. İkinci yansıtıcı da aynı işi yapmakta ve böylece cihazın daha da verimli çalışmasını sağlayıp fırının üst kısmını da fazla ısıdan korumaktadır. Yansıtıcı ve soğurucu plaka arasındaki boşluk, parçalanmış alüminyum folyolarla doldurulabilir.

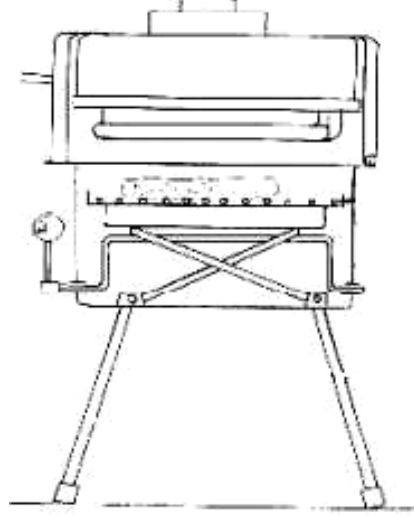
Yukarıda anlatılan dizayn, toplam gücün % 75-80'inin direk yiyecek üzerine gönderilmesini sağlamakta, böylece operasyonu hızlı ve verimli hale getirmektedir. Ayrıca, operasyonun temiz olmasını sağlamaktadır. Duman oluşmamakta, yiyecek temiz pişmekte ve pişirme sonrasında minimum temizlik gerekmektedir.

Cihazın Şekil 2.1.11'de gösterilen bir başka versiyonunda ise ısıtıcı ve yansıtıcı ünitesi, ana gövdeden ayrılabilir bir ısıtıcı ünite olacak şekilde bir araya getirilmiştir.



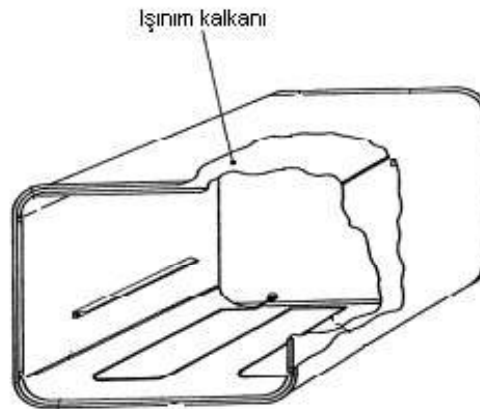
Şekil 2.1.11 Fırının bir ısıtıcı üniteye sahip ikinci versiyonu

Cihazın dışarıda kullanılmak üzere tasarlanan bir diğer formu da (mangal tipi) Şekil 2.1.12’de verilmiştir.



Şekil 2.1.12 Fırının mangal tipi versiyonu

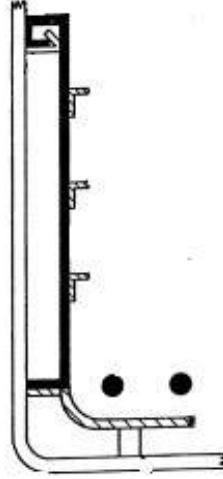
Fırında ısıtıcılardan yayılan ısıнын hem yüzeyler tarafından soğurulmasını, böylece bu ısıнын iletim yoluyla fırın dışına atılmasını engellemek, hem de ısıyı fırının içine, yiyeceğın üzerine yansıtmak amacıyla yapılan aşağıdaki çalışmada fırın duvarlarının emisivite değeri düşük (yansıtma katsayısı yüksek) plakalarla kaplandığı görölmektedir. Cranfield Üniversitesi’nden Marcus Newborough [7] tarafından geliştirilen ve Şekil 2.1.13’te görölen yansıtıcı, yüksek verimli fırın konu edilmektedir.



Şekil 2.1.13 Yansıtıcı, yüksek verimli fırın

Söz konusu fırın, emisivitesi 0.25'ten (hatta 0.1'den) daha düşük duvarlara, iç duvara paralel yerleştirilmiş, üzeri örtülmemiş ısıtıcı elemanlara ve duvarlar ve ısıtıcı elemanın ortasında yer alan, çıkarılabilir radyasyon kalkanlarına sahiptir. Kalkanlar, duvarla arasında minimum mesafe olacak şekilde yerleştirilmiştir. Radyasyon kalkanları duvarlardan geçen enerjiyi geri fırının içine, yiyeceğin üzerine yansıtmaktadır ve emisiviteleri 0.25'ten (hatta 0.1'den) düşük olmalıdır. Duvarlar ve kalkanların emisivitesinin aynı olması tercih edilmektedir.

Şekil 2.1.14'te verilen fırının ön kesit görünüşünden de görüleceği gibi her duvarın üzerinde birbirine ihmal edilebilir boşluklarla bağlanan radyasyon kalkanı bulunmaktadır. Bu şekilde, fırının içine yansıtılan radyasyon miktarı artacak ve çevreye olan ısı kaybı azaltılacaktır. Fırın gövdesinin dışında iletkenliği düşük, mikrogözenekli ısıl izolasyon olmalıdır. Fırın kapsının üzerinde çift veya üç camlı ve mümkün olduğu kadar küçük bir pencere bulunmaktadır. Isı kaybı pencereye radyasyon kalkanı eklenerek daha da azaltılabilir.



Şekil 2.1.14 Yansıtıcı, yüksek verimli fırının ön kesit görünüşü

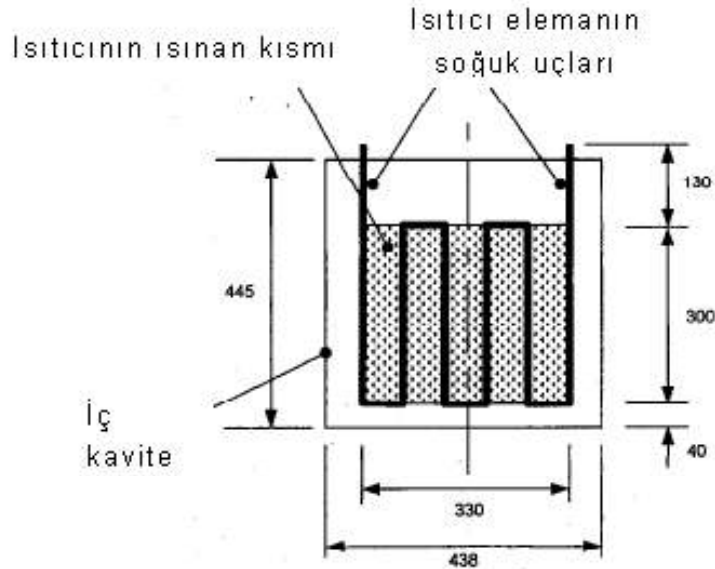
Fırının sıcaklık kontrol mekanizması ise:

- i) Hava için, kullanıcı tarafından belirlenen bir sıcaklık değeri etrafında kontrol mekanizması,
- ii) Fırın çalıştırıldıktan sonra, ısıtıcı elemanın sıcaklığı önceden set edilmiş değerine yükselmekte ve bunun üzerine ısıtıcı kontrol elemanı ısıtıcıyı kapalı ve açık (on-off), çevrime sokmaktadır. Bu sırada fırın içi hava sıcaklığı artmaktadır. Hava sıcaklığı ayarlanan değerine ulaştınca hava

sıcaklığı kontrol elemanı ısıtıcı elemanları kapatmaktadır. Bunun üzerine istenilen hava sıcaklığı elde edilene kadar on-off çalıştırılmaktadır.

Yazarın iddiasına göre, adı geçen fırın enerji tüketimini en az % 10, ön ısıtma süresini 3-4 dakika, pişirme periyotlarını ise % 50'ye kadar azaltmaktadır. Fırından çevreye olan ısı kaybı da yaklaşık % 75 azaltılmaktadır.

Düşük emisiviteli fırın uygulamalarına bir örnek de Shaughnessy ve Newborough [8] tarafından yapılan bir çalışmadır. Çalışmada düşük emisiviteli bir fırın prototipi üzerinde enerji performansı deneyleri yapılmıştır. Bu fırında, ısıtıcıdan yayılan ısınn fırın içindeki kütleye (yiyecek) ulaşma oranı geleneksel fırınlara göre daha yüksektir. Bu da fırının verimini artırmaktadır. Fırın duvarlarının da daha az ısı soğurması sebebiyle fırın hava sıcaklığının cevap verme süresi kısalmaktadır. Fırının ve elemanlarının şematik gösterimi aşağıda, Şekil 2.1.15'te verilmiştir.



Şekil 2.1.15 Düşük emisiviteli fırın elemanları

Deneylerde kullanılan prototip fırının toplam iç hacmi 63 l, kullanılabilir hacmi de 46-56 l'dir. Fırın düşük emisiviteli bölmeyi taşıyan çerçeveye ve sırlanmamış cama sahiptir. Pişirme bölmesi 25 mm kalınlığında, her iki tarafında 0.15 mm'lik alüminyum folyo ile sarılmış cam yünü ile izole edilmiştir. Fırın duvarlarından 5 mm uzakta bulunacak düşük emisiviteli ($\epsilon=0.07$) çıkarılabilir plakalar dizayn edilmiştir. Fırında kullanılan alt ve üst ısıtıcılar 6.35 mm çapındadır.

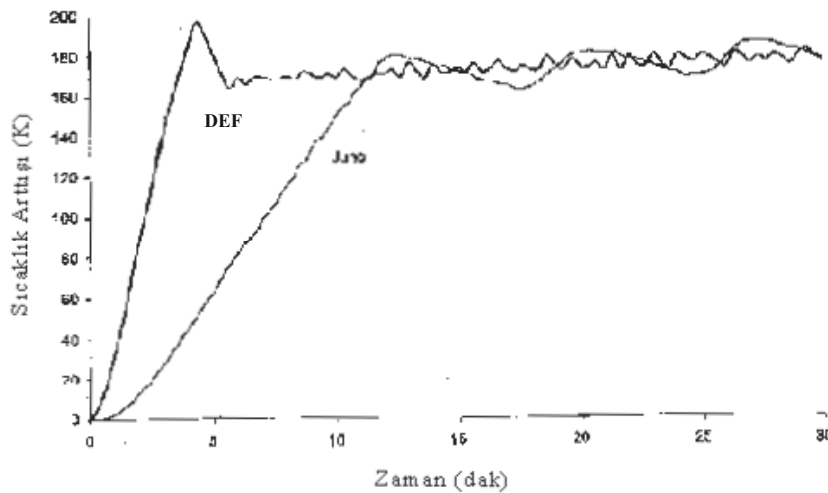
Düşük emisiviteli fırının performansının karşılaştırılması için Juno model bir fırın kullanılmıştır. İki fırının da enerji tüketimleri üç ayrı standarda göre hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu standartlar CENELEC-1984, ANSI-1986 ve CENELEC-1998 standartlarıdır.

ANSI 1986 standardında soğuk fırın içerisine siyah, alüminyum bir blok konmakta ve bloğun belirli bir ΔT sıcaklık artışı için fırının enerji tüketimi ölçülmektedir.

CENELEC 1984 standardında boş fırının saatlik enerji tüketimi ölçülmektedir. Fırın, iç sıcaklığındaki artış doğal taşınım için 180 ± 2 K, zorlanmış taşınım için 155 ± 2 K olacak şekilde ayarlanmaktadır. Fırın kararlı rejime oturduktan sonra minimum 2 saat çalıştırılmakta ve enerji tüketimi ölçülmektedir.

CENELEC 1998 standardında ise poroz yapısı ile yiyeceği simüle eden su emdirilmiş tuğla boş fırına konmakta ve iç sıcaklığındaki artış 55 K olana kadar içeride tutulmaktadır. Bu süre içinde fırının tükettiği enerji değeri ölçülmektedir.

Deneylerde fırının kararlı rejim enerji tüketiminin Juno'ya göre % 43, 180 K'lık bir iç sıcaklık artışı için gereken sürenin % 36 az olduğu, ANSI 1986 standardına göre test süresinin ise % 63 daha az olduğu bulunmuştur. Şekil 2.1.16'da iki fırının sıcaklık cevaplarının 180 K sıcaklık artışı ve doğal taşınım hali için CENELEC-1984'e göre karşılaştırıldığı grafik görülmektedir.



Şekil 2.1.16 DEF-standart fırın sıcaklık artışı-zaman grafikleri

Düşük emisiviteli fırının çevrimlerinin daha hızlı olduğu ve kararlı rejimde daha sabit bir sıcaklık elde edildiği yukarıdaki grafikten görülebilir. Zorlanmış taşınım halinde de iki deney prosedürüne göre de enerji tüketimi azalmış, fırın verimi artmış, test süreleri kısalmıştır.

CENELEC 1998 standardına göre uygulanan deneylerde 34 dakikalık test süresine sahip olan düşük emisiviteli fırının enerji tüketimi 624 Wh/h iken test süresi 51 dakika olan Juno 977 Wh/h enerji tüketmiştir.

Karşılaştırmalar sonucunda düşük emisiviteli fırının ön ısıtma süresinin 200 °C sıcaklığı için diğer fırına göre % 36 kısa olduğu, bu sıcaklıkta kararlı rejime ulaşması için, düşük emisiviteli fırının 270 Wh/h, diğer fırının ise 623 Wh/h enerji harcadığı tespit edilmiştir. Fırınların verimleri kıyaslandığında ise düşük emisiviteli fırının veriminin % 22.9, diğer fırının veriminin % 12.7 olduğu görülmüştür. CENELEC 1998 standardına göre hem test süresinde hem de enerji tüketiminde yaklaşık % 35 azalma kaydedilmiştir.

Sahughnessy ve Newbororugh [9] düşük emisiviteli fırınlar üzerine yaptıkları bir diğer çalışmada da ısıtıcının çeşitli konumları ve şekilleri için fırın performansı araştırılmıştır. Çalışmada Monte Carlo tekniğine dayanan üç boyutlu bir bilgisayar modeli üzerinde durulmuştur.

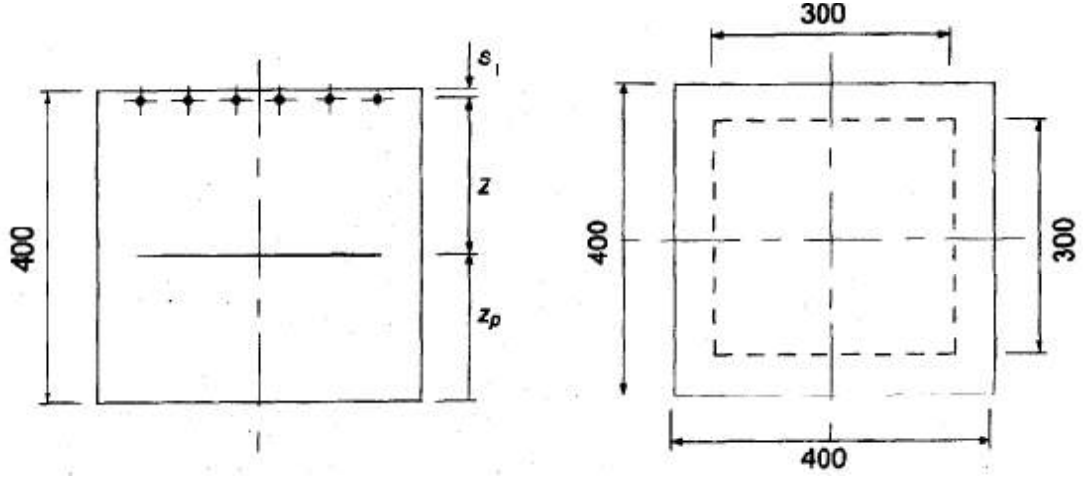
Fırına uygulanan toplam enerjinin büyük bir kısmı fırın yapısı tarafından soğurulmakta ve çevreye kaybedilmektedir. Bu yüzden simülasyonda düşük emisiviteli fırın kullanılmıştır. Düşük emisiviteli fırın yapısı daha az enerji soğurduğundan ısıya daha hızlı cevap vermektedir.

Simülasyonda çeşitli durumların karşılaştırılabilmesi için iki adet büyüklük kullanılmıştır:

- i. Toplam görüş faktörü (TGF): Isıtıcılardan yayılan ısıнын yükün belirli yüzeyleri tarafından soğurulan kısmı
- ii. Çeşitlilik katsayısı (ÇK): Yükün bir yüzeyindeki şekil faktörü dağılımının düzgünlük ölçüsü.

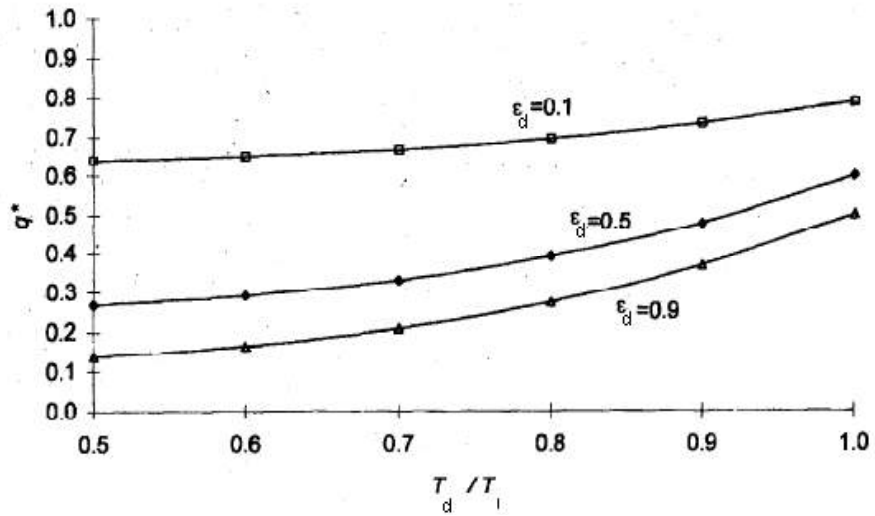
Yükün farklı yüzeyleri tarafından soğurulan radyasyonun eşit dağılması için TGF yüksek, yükün yüzeyindeki şekil faktörünün düzgün dağılması için ÇK düşük olmalıdır.

Çalışma 400 mm'lik düşük emisiviteli kübik bir kabin (Şekil 2.1.17) içinde bulunan 300x300 mm'lik kare bir plakanın alt ve üst yüzeylerindeki radyasyonla ısı transferi üzerinde durmaktadır. Kavite duvarlarının emisivitesi $\epsilon=0.1$, plakanınki ise $\epsilon=\alpha=1$ 'dir. Plaka 16x16 mm'lik alt yüzeylere bölünmüştür. Plakanın kavite tabanından olan yüksekliği ayarlanarak kavite içindeki radyasyon dağılımı incelenmiştir.



Şekil 2.1.17 Düşük emisiviteli fırının şematik gösterimi

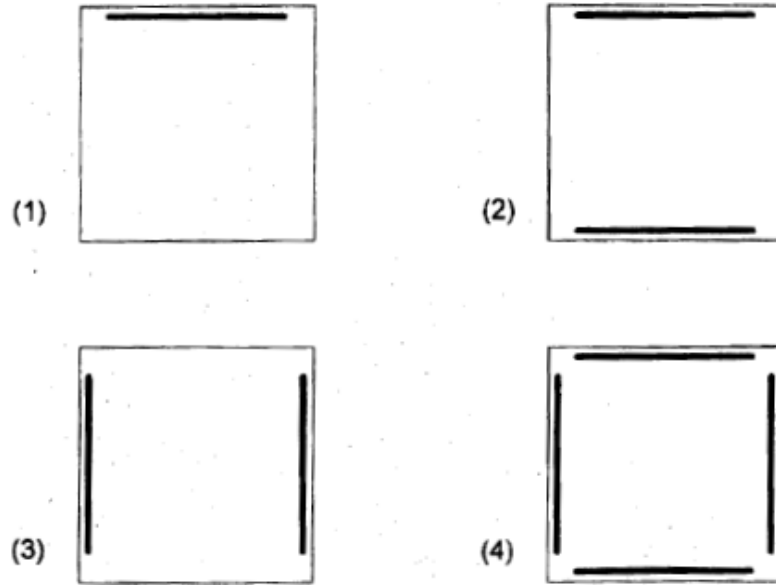
Duvarların emisivite değerlerinin fırın içindeki yüke olan etkisinin gözlenmesi amacıyla ısıtıcıdan plakaya olan boyutsuz ısı akısı değerleri hesaplanmış ve çeşitli emisivite değerleri için birbiriyle kıyaslanmıştır.



Şekil 2.1.18 Duvar emisivitesinin boyutsuz ısı akısı üzerindeki etkisi

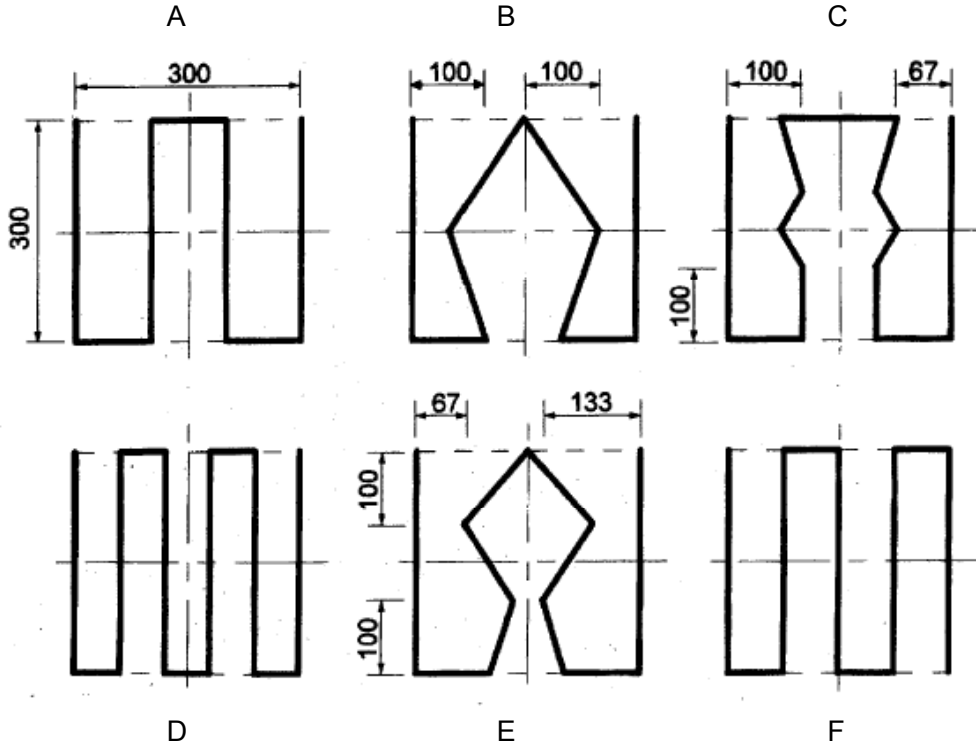
Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi $\varepsilon=0.1$ için ısı akısı $\varepsilon=0.5$ veya $\varepsilon=0.9$ durumlarına göre yüksektir.

Çalışmada Şekil 2.1.18'de görülen dört adet ısıtma konfigürasyonu üzerinde durulmuştur.



Şekil 2.1.19 Modellenen ısıtıcı konumları ve sayıları

Çalışmada ısıtıcının geometrisine, konumuna tipine, kavitede bulunan ısıtıcı sayısına, fırın içinde bulunan yiyeceğin tipine, miktarına göre yapılan analiz sonuçları da verilmiştir. Şekil 2.1.19'da simülasyonda çalışılan 6 adet ısıtıcı geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.1.20 Modellenen ısıtıcı geometrileri

Kavitede sadece üstte ısıtıcı varken (konfigürasyon 1), plaka ısıtıcı elemana yaklaştıkça yükün üst yüzeyine gelen radyasyon miktarı alt yüzeyine gelen radyasyon miktarından fazla olmaktadır ($TGF_U > TGF_A$). B ve D tipi ısıtıcı şekilleri için TGF_U değerleri A ve C tip ısıtıcılara göre daha yüksektir. Ayrıca yük ısıtıcıya yaklaştıkça şekil faktörü dağılımının düzgünlüğü de azalmaktadır. En düzgün şekil faktörü dağılımı ($z_i=355$ mm için) B tipi ısıtıcı durumunda elde edilmiştir.

Bu tip ısıtma konfigürasyonunda kalınlığı fazla olan yüklerde düzgün olmayan sıcaklık dağılımı elde edilir. Isıtıcının altta olması durumunda bu, artan konveksiyon etkisi ile karşılanır.

İkinci tip ısıtıcı konfigürasyonunda TGF_U ve TGF_A birbirine daha yakındır. Bu konfigürasyon pişirme açısından en uygun çözümdür. Bu konfigürasyonda ısıtıcı güçleri ayarlanarak çeşitli plaka yükseklikleri için TGF_U ve TGF_A birbirine yaklaştırılabilir.

Üçüncü tip ısıtıcı konumunda ısıtıcılar plakaya diktir. Herhangi bir plaka yüksekliği için ısıtıcının gördüğü plaka alanı küçük olduğundan TGF değerleri de daha düşüktür. Ayrıca bu durumda TGF_U ve TGF_A konfigürasyon 2'yle ters yönde değişir. Bu düzenleme ile desteklenen taşınım etkisi ile yüzeylere gelen toplam ısı geçişi

konfigürasyon 2'yle eşitlenir, yüzeylere gelen radyasyon kolay kontrol edilemez. Isıtıcılar plakanın merkezinden ziyade çevresini gördüğünden ÇK değerleri yüksektir.

Konfigürasyon 4'ün analizinde artan ısıtıcı sayısının TGF değerini artırmadığı gözlenmiştir. Bu durumda TGF_U/TGF_A oranı konfigürasyon 2 ve 3'ün arasındadır. Bu durumda tüm ısıtıcıların güçleri ayarlanarak yüke gelen radyasyon miktarı da ayarlanabilir.

Kavite içindeki yük sayısı arttıkça TGF değerleri azalmakta, yükün ısıtıcıyı gören yüzey alanı arttıkça artmaktadır.

Sonuç olarak yapılan incelemelerde fırın içinde oluşacak dengesiz radyasyon dağılımının:

- i. Yükün kendisi veya komşu yükler tarafından radyasyon patikasının kısmi olarak engellenmesi,
- ii. Yükün ısıtıcılara yakın yerleştirilmesi,
- iii. Yükün en geniş yüzeylerinin ısıtıcılara dik yerleştirilmesi

sebebiyle ortaya çıktığı ortaya konmuştur.

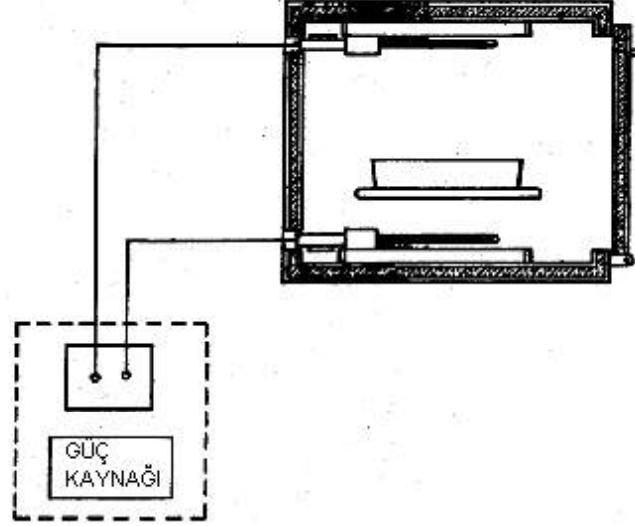
Yatay bir yüzeyi etkileyen radyasyonun büyüklüğü ve dağılımı, ısıtıcının şekli ve konumundan etkilenir. Radyasyonla ısı transferi, yük ısıtıcıya yaklaştıkça artar ancak dağılımın düzgünlüğü azalır.

2.2. Farklı Isıtıcı Uygulamaları

Fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalarda yaygın olarak üzerinde çalışılan bir diğer konu da ısıtıcı çeşitleri ve geometrileridir. Mevcut halde kullanılan rezistanslı ısıtıcılar yerine genellikle lamba şeklinde ısıtıcıların kullanıldığı gözlenmiştir.

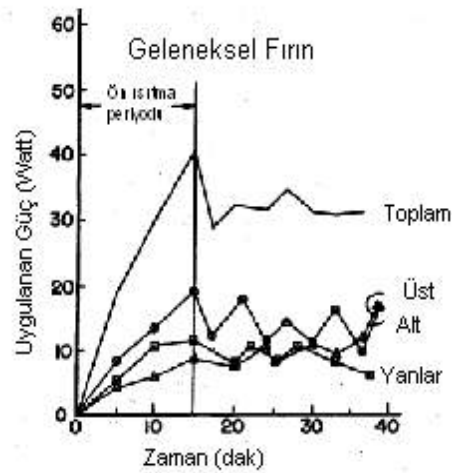
Böyle bir uygulamanın yer aldığı, David P Dewitt, Susan T Kern ve Virginia M Peart'ın [10] çalışmasında fırın (Şekil 2.2.1), iki adet düşük sıcaklıkta, düşük güçte infrared radyant ısıtıcıya, emisivite (ϵ) 0.1'den düşük yansıtıcı duvarlara, emisivitesi 0.7'den büyük pişirme tepsisine ve ısıtıcıların sürekli çalışmasını sağlayacak kontrol sistemine sahiptir. İki ısıtıcı, ayrı ayrı kontrol edilmektedir. Üst

Isıtıcı yiyeceğin üst kısmında meydana gelen buharlaşma kayıplarını karşılamak için alt ısıtıcıdan daha yüksek bir güçte çalıştırılmaktadır. Konulan yiyeceğin çeşidine göre ısıtıcılara verilecek güç değeri kurulup ısıtıcıların bu değerde sürekli çalışması sağlanmaktadır. Isıtıcı sıcaklıkları 350 °C'yi geçmemektedir. Böylece geleneksel fırınlardaki on-off devir ortadan kalkmaktadır.



Şekil 2.2.1 Yüksek verimli bi-radyant fırın

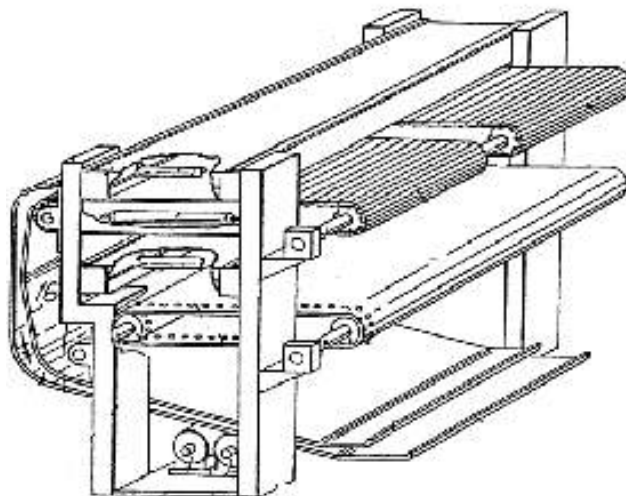
Şekil 2.2.2'de, geleneksel fırınlarda yiyeceğin soğurduğu güç miktarını gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 2.2.2 Geleneksel fırınlarda yiyeceğin soğurduğu güç miktarı

Şekil 2.2.3 ise patente konu olan fırının soğurduğu ısı miktarını göstermektedir. Grafikten de görüldüğü gibi, duvarların enerji soğurmaması, pişirme tepsisinin ısıtıcıdan gelen radyant enerjiyi soğurup yiyeceğe aktarması ve on-off devrin ortadan kalkması sebebiyle pişirme süreleri kısalmakta, ön ısıtma periyodu ortadan kalkmakta, pişirilen ürünün kalitesi artmakta ve enerji tüketimi azalmaktadır.

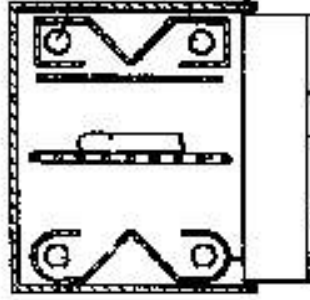
Şekil 2.2.3 Bi-radyant fırının soğurduğu ısı miktarı grafiği



Şekil 2.2.4 Radyant ısılı pişirme aparatı

Yiyecekleri ısıtmak için kullanılan radyasyon kaynağı ilk olarak yüksek bir seviyede, sonra ise daha düşük bir seviyede çalıştırılabilmektedir. İlk durumda maksimum yoğunluğu 0.72-2.5 μm dalga boyunda, ikinci durumda ise 2.5 μm 'den büyük dalga boyunda radyasyon yaratılmaktadır. Kaynak tarafından ilk durumda üretilen infrared dalga boyları hızlı bir ısıtmayı ve yiyeceğin kalitesinin iyileşmesini sağlamaktadır. İkinci durumda ise cihazın enerji tüketimi ilk duruma oranla azalır.

Yiyecekleri taşıyan bölme konveyör şeklinde yapılabilmektedir ve konveyör boyunca yan yana yiyecek ısıtma kanalları oluşturularak enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Yiyeceklerin taşındığı bantların alt ve üst taraflarında tüpler içinde yer alan infrared radyasyon kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların etrafında ise, radyasyonu yiyeceğin üzerine yönelten yansıtıcı ve yansıma haricinde yiyeceğe ulaşan radyasyonun önlenmesi için bir perde bulunmaktadır (Şekil 2.2.5). Cihaz ayrıca üzerinde yiyecek olduğunu hissetmesi amacıyla dönebilen bir kapağa sahiptir.

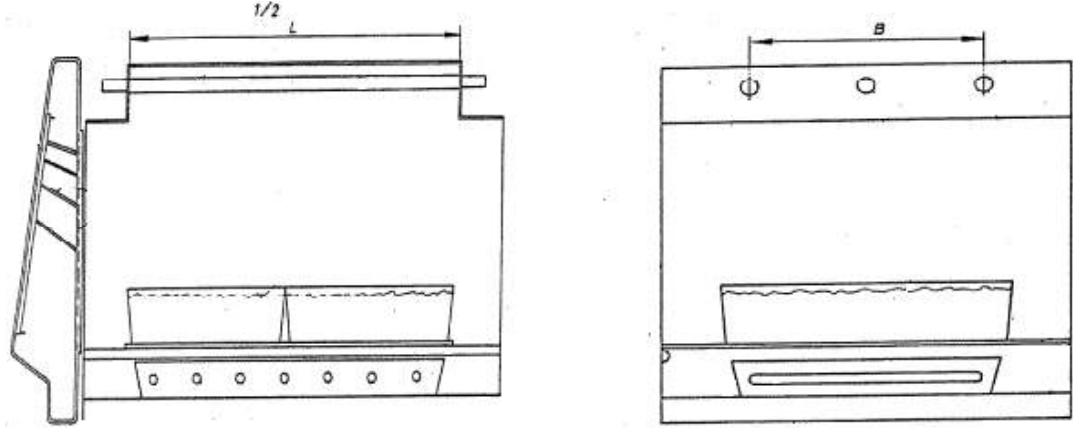


Şekil 2.2.5 Radyant ısıtma pişirme aparatının yandan görünüşü

Radyant ısıtıcı kullanılan bir diğer uygulamada [12] fırın, Şekil 2.2.6'da görüldüğü gibi altta ve üstte infrared radyasyon kaynaklarına sahiptir. Radyasyon elemanlarının avantajı, ısı transferinin hızlı olması ve dolayısıyla daha kısa işlem zamanlarıdır. Üstteki kaynak en az bir ya da iki tane 1.0-1.4 μm aralığında radyasyon yayan elemana sahiptir ve bu aralıkta radyasyon, yiyeceğin üst yüzeyine penetre edebilmektedir. Böylece ısıtma yiyeceğin altına doğru devam etmekte ve işlem zamanı kısalmaktadır. Alt radyasyon kaynağı ise 3-6 μm aralığında uzun dalga radyasyon yayan bir boru elemandır.

Bu eleman aşağı doğru yayılan radyasyonu, tepsiyi ısıtmak için tepsinin altına yansıtan yansıtıcı içinde bulunmaktadır. Isıtıcı eleman tepsiyi ısıtmakta ve ısı

buradan iletimle yiyeceğe geçmektedir. Isıtıcı elemanların konumu, kapıya veya duvarlara paralel olma durumları incelenmiştir. Fırın kapısı üzerine konulan bir kontrol penceresi ve sabit bir koruyuculu ekran yardımıyla içerideki yiyeceğin, üstteki radyasyon kaynağının kontrol penceresinden kaçan radyasyonuna direk maruz kalınmadan kontrol edilebilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.2.6 Ev tipi infrared radyasyon fırınının önden ve yandan görünüşleri

Farklı ısıtıcı geometrisi üzerinde durulan ve Joseph R. Adamski, Jey J. Kitabayashi, Wouter J. Wiersma [13] tarafından yürütülen çalışmada, fırın içinde homojen ısı dağılımı elde etmek amacıyla, günümüzde kullanılan klasik ısıtıcı geometrisine alternatif geometri çalışılmıştır. Çalışmada elektrikli fırınlar için, fırının aşağısında bulunan ısıtıcı eleman konu edilmektedir. Fırınlarda, fırın içi sıcaklık dağılımının, düzgün pişirme sağlamak için tüm fırında üniform olması istenir. Fakat geleneksel fırınlarda, çeşitli noktalarda sıcaklık farkı olduğu görülür. Fırın içinde üniform sıcaklık dağılımının olmaması düzgün olmayan pişirmeye ve fırın sıcaklığının kontrolünün zorlaşmasına sebep olmaktadır. Çünkü, sıcaklık probu, sıcaklığı fırının diğer bölgelerinin sıcaklıklarından farklı olan bir bölgeye yerleştirilmiş olabilir.

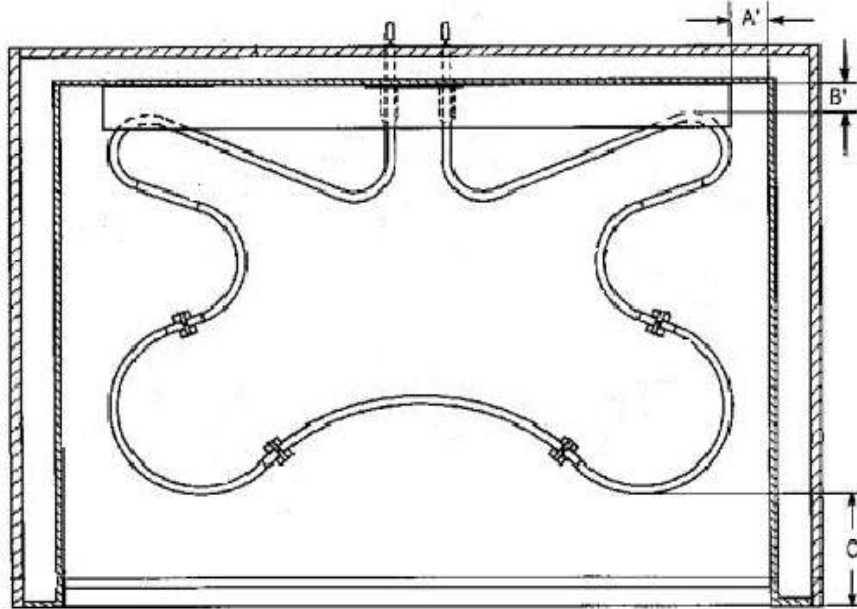
Çalışmanın amacı, fırının alt bölgesine yerleştirilecek olan ısıtıcı elemana, üniform ısıtma sağlamak üzere bir şekil sağlamaktır. Bu amaçla, ısıtıcı, fırının alt köşelerinden uzanan bölmelerden oluşturulmuştur ve kavite içinde yüksek sıcaklık bölgeleri oluşturulmadan üniform ısıtma sağlamak üzere ısıtıcının orta alanı açık bırakılmıştır.

Geleneksel fırınların alt kısmında bulunan 'kaktüs' adı verilen ısıtıcılar, fırının hızlı ısıtılması için yeterli uzunluğa sahiptirler ve fırın alt bölgesinde iyi dağıtılmış bir ısıtma sağlayabilirler. Bununla beraber, kaktüs şekilli alt ısıtıcı veya diğer geleneksel alt ısıtıcı şekilleri ile fırın içinde $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar sıcaklık farkı oluştuğu görülmektedir ve bu da fırın içinde üniform pişirmeyi olanaksız hale getirmektedir (Fırının alt kısmındaki sıcaklığın, sağ üst köşeye yerleştirilmiş olan probun ölçtüğü sıcaklıktan $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ daha yüksek olduğu bulunmuştur.).

Isıtıcı elemanın yan duvardan uzaklığı A, geleneksel fırınlarda yaklaşık 102 mm, arka duvardan uzaklığı B, 127 mm ve ön duvardan uzaklığı C de yaklaşık 127 mm'dir.

Geleneksel fırınlarda alt ısıtıcının üstünde bir sac bulunabilmektedir. Buluşta sözü geçen alt ısıtıcı ise tercihen doğrudan fırının içinde olmalıdır. Bu, fırını oda sıcaklığından istenen sıcaklığa getirme süresini kısaltmakta ama üniform sıcaklığı kötü yönde etkilememektedir.

Şekil 2.2.7'de görülen ve patente konu olan ısıtıcı, fırının tüm bölgelerinde üniform ısıtma sağlayacak şekle ve ölçülere sahiptir. Yaratıcının iddiasına göre fırının merkezi ve prob arasındaki sıcaklık farkı $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi geçmemektedir.



Şekil 2.2.7 Üniform pişirme sağlayan alt ısıtıcı

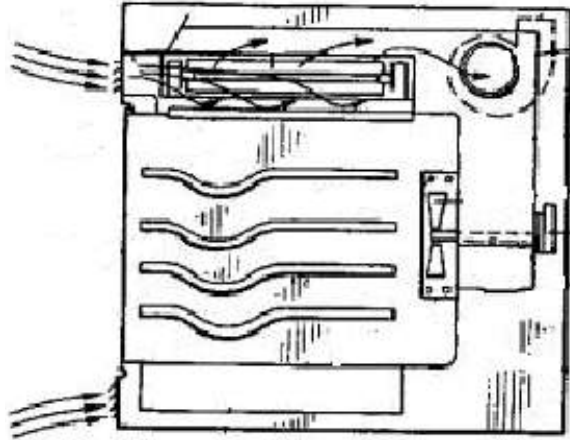
Isıtıcı eleman fırın alt yüzeyinin ortasından köşelere doğru uzanan ve arka ve ön duvarlar ve iki yan tarafından oluşturulan dört tane U şeklinde bacağa sahiptir. Bu bacakların arka duvar tarafından oluşturulan ikisi diğer iki taneye göre daha dardır. Isıtıcı, açık orta bölgeye sahiptir.

Buluştaki bahsedilen alt ısıtıcı eleman, geleneksel fırın ısıtıcılarına göre arka ve yan duvarlara daha yakın yerleştirilmiş uçlara sahiptir ve bu durumun üniform ısı dağılımına yardım ettiği düşünülmektedir. Bu ısıtıcıda A uzunluğu 33 mm, B uzunluğu 25.4 mm ve C uzunluğu ise 109 mm civarındadır fakat ön taraftaki konkav parça diğer ısıtıcıya göre daha içeridedir ve bu durum da havlu, tutacak yanmalarını önler.

Isıtıcının üniform ısıtma sağlama sebeplerinden biri, iki dar bölmenin, normalde fırın merkezinden daha soğuk olan arka köşelere çok yakın olmasıdır. Bir diğer sebep, arka duvardaki paralel parçaların yeterince içeri doğru uzamasıdır. Ayrıca, yan konkav parçaların yan duvarlardan yeterince uzak olması (ki normalde bu duvarlar çok ısınır.) ve fırın merkezinde ısıtma sağlaması da bir sebeptir. Geniş bölmelerin duvarlara yakın olması ama geniş oldukları için ısı konsantrasyonunu engellemeleri de bir sebeptir. Ön konkav parçanın ön duvardan uzak olması ön duvarın fazla ısınmasını önlemekte ve merkezin ısınmasını sağlamaktadır.

Buluştaki adı geçen ısıtıcı, geleneksel (kaktüs tipi) ısıtıcılara göre fırın içinde daha geniş bir alanı etkilemekte, fakat geometrisi sebebiyle (Örn. içeri doğru giren yan ve ön konkav parçalar) fırın içinde bazı bölgelerde yoğunlaşıp, bazı yerlerin ise soğuk kalmasına sebep olan üniform olmayan ısı dağılımına engel olmaktadır.

Isı kaynakları ile ilgili başka bir çalışma [14] bir radyasyon ısı kaynağına, bir de konveksiyon ısı kaynağına sahip bir fırınla ilgilidir. Radyasyon ısı kaynağı, düşük kütleli, yüksek güç yoğunluklu, hızlı ısıtma sağlayacak ısıtıcı elemandır. Konveksiyon ısı kaynağı ise fırında konveksiyonla ısıtma sağlamak üzere yerleştirilmiştir ve yüksek kütleli ısıtıcı elemana sahiptir. Ayrıca, kavitede havayı hareket ettirecek olan fanı kapsamaktadır. Şekil 2.2.8'de görülen fırın ayrıca, radyasyon ısı kaynağını soğutmak üzere bir soğutma fanı içermektedir.



Şekil 2.2.8 Fırının yandan görünüşü

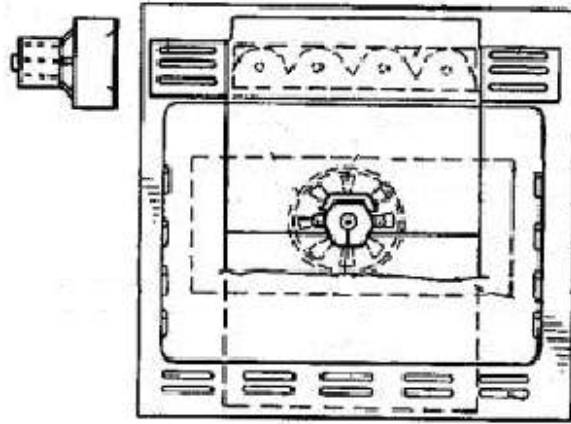
Fırında, radyasyon ısı kaynaklarını soğutmak için oluşturulan sisteme ait alt ve üst hava girişleri mevcuttur. Üst hava girişi, soğutma havasını üst ısıtma lambalarından, alt hava girişi ise soğutma havasını alt ısıtma lambalarından geçirmekte kullanılır.

Kontrol mekanizması, ilk konveksiyonla ısıtma esnasında iki ısı kaynağını birlikte çalıştırmaktadır ve radyasyon ısı kaynağı kaviteyi hızla ısıtmaktadır. Böylece ön ısıtma periyodu ortadan kalkmaktadır. Fırın kapısı, temperlenmiş transparan cama sahiptir ve bu cam, kullanıcıyı radyasyon kaynağı çalıştığında yoğun görünür ışıktan koruyacak yansıtıcı ince bir filme sahiptir.

Adı geçen fırının üst kısmındaki lamba kovanı, quartz halojen lamba gibi düşük kütleli, yüksek güç yoğunluklu ısıtma lambaları içermektedir. Bu lambalar, 2000 K'den yüksek sıcaklıklarda çalışan düşük kütleli tellere sahiptir. Düşük kütleli olmaları ve yüksek sıcaklıklarda çalışmaları sebebiyle, bu lambalar hemen yüksek güç yoğunluklu radyasyon yayarlar ve fırının çok hızlı bir şekilde ısıtılmasını sağlarlar. Ayrıca bu lambaların üstünde lambalardan gelen ısıyı kaviteye yansıtan yansıtıcı bulunmaktadır.

Bu lambaların yerleştirilmesine örnek olarak, dört çevresel, dört diyagonal lamba ve yansıtıcılar verilebilir. Aynı şekilde fırının alt kısmında da radyasyon ısı kaynakları bulunmaktadır. Alt radyasyon ısı kaynaklarını barındıran alt lamba kovanı üsttekine benzeyebilir veya paralel olarak yerleştirilmiş daha fazla sayıda lambadan oluşabilir.

Alt radyasyon ısı kaynaklarının üstünde, üst radyasyon ısı kaynaklarının ise altında bulunan alt ve üst levhalar, görünür ve infrared radyasyona transparan olan ama ultraviyole radyasyonu tutan seramik cam olabilir. Bu levhalar, alt ve üst lamba kovanlarını pişirme kavitesinden izole ederler.



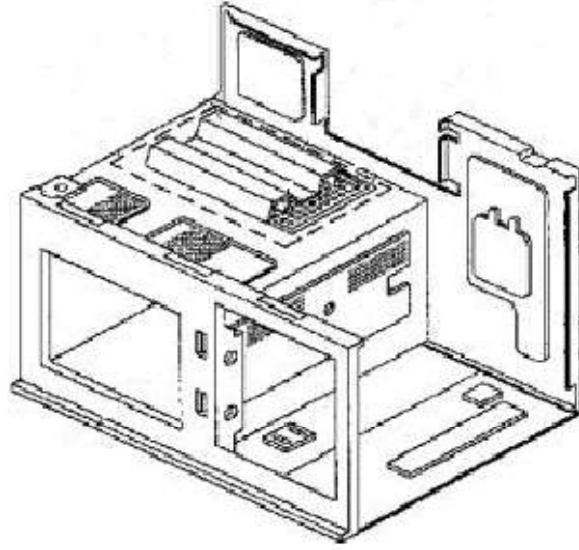
Şekil 2.2.9 Fırının önden görünüşü

Fırının arka duvarına konveksiyon fan kutusu yerleştirilmiştir (Şekil 2.2.9). Konveksiyonla ısıtma sırasında fan motoru çalıştırıldığında kutu üzerindeki deliklerden ve kaviteden hava sirküle ettirilir. Konveksiyon fan kutusunun içinde konveksiyon ısıtıcısı mevcuttur ve kavite içindeki havayı ısıtmak üzere konveksiyon ısıtması sırasında çalıştırılır. Bu ısıtıcı eleman, herhangi bir şekle sahip elektrikli direnç teli olabilir ve fan kanatlarının çevresine yerleştirilir.

Elektrikli direnç ısıtıcılar yüksek kütleli elemanlar olduğundan ilk çalıştırıldıklarında yavaş ısınırlar. İlk konveksiyonla ısıtmada alt ve üst lamba kovanlarındaki birkaç lamba da direnç elemanı ile beraber çalıştırılabilir. Böylece pişirme ivmelendirilir. Alt ve üst lambalar pişirme süresince herhangi bir zamanda çalıştırılarak yüksek sıcaklıktaki konveksiyon için ek güç sağlayabilirler. Konveksiyonla ısıtma yokken de lambalar çalıştırılarak, yüksek güç yoğunluklu pişirme enerjisi sağlanabilir. Böylece, kavite içindeki yiyecek hızla pişirilebilir.

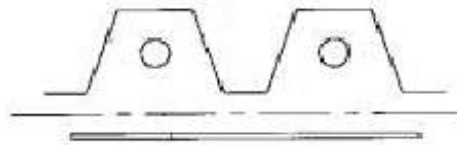
Fırının kapısı pişen yiyeceğin gözlenmesi için bir cama sahiptir. Kapının camının bir tarafı, kaviteye gelen toplam görünür ışığı % 2-6 engellemek üzere yansıtıcı ince bir filmle kaplanmıştır ve bu kaplama nikel krom kaplama olabilir. Bu film hem kullanıcıyı yoğun görünür ışıktan korumakta, hem de ısı kaynaklarından gelen infrared enerjiyi geri fırının içine yansıtmaktadır. Cam ayrıca, üç tane panele sahip olabilir. En dışta ve ortada temperlenmiş flotal cam, içte ise temperlenmiş yüksek sıcaklık borosilikat camdan oluşabilir. Film kaplama bu yüzeyin orta panele bakan kısmına uygulanabilir. Fırın içi kavitesi ve dış gövde arasında izolasyon bulunmaktadır.

LG Electronics firmasından Yang K. Kim, Jong G. Ryu, Wan S. Kim, Sung J. Han [15] tarafından 2001 yılında yayınlanan çalışmada hem farklı ısıtıcı tipi hem de yansıtıcı uygulaması üzerinde durulmuştur. Çalışma, infrared bölgede, dalga boyu $1.35\ \mu\text{m}$ 'den büyük ışık yayan bir lamba kullanarak, yiyecekleri hızla pişiren bir fırını konu etmektedir. Şekil 2.2.10'da verilen fırının ısıtıcıları görünür bölgede ışık yaymak yerine, yiyeceklerin ısıyı daha çok soğurma oranları gösterdikleri infrared bölgede ışık yaymaktadırlar. Böylece, görünür bölgedeki yavaş pişirme sorunu da ortadan kalkmaktadır.



Şekil 2.2.10 İnfrared ışık kullanarak hızlı pişirme sağlayan fırın

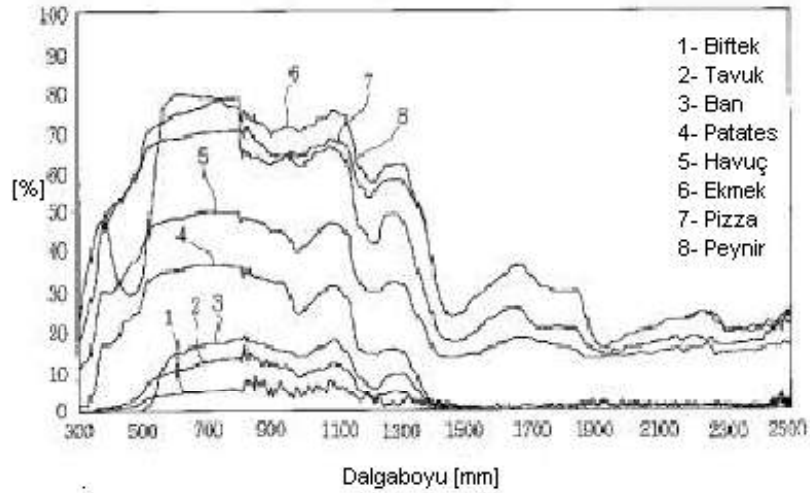
Sözü geçen fırın, toplam radyant enerjinin % 65'inin dalga boyu aralığı $1.35\ \mu\text{m}$ 'den büyük olan infrared ışık bölgesinde ışık yayan parlak bir üniteye sahiptir. Bu parlak ünitenin üzerinde bir hedefe ışığı yansıtmak üzere yansıtıcı bir plaka (Şekil 2.2.11) ve alt kısmına ise üzerinde bir çok nüfuz etme deliği olan ve parlak üniteden ve yansıtıcıdan gelen ışığı geçiren bir ünite yerleştirilmiştir. Bu ünitenin alt kısmında ise parlak üniteyi koruyan bir filtre bulunmaktadır.



Şekil 2.2.11 Yansıtıcı plaka

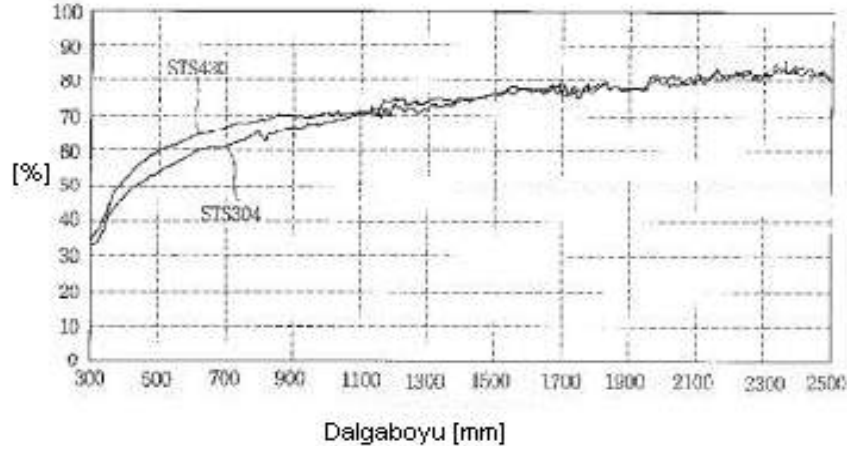
Parlak ünite, halojen lambalardan oluşmaktadır. Bunlar, dalga boyu aralığı 1.35 μm 'den büyük olan infrared ışık bölgesinde ışık yaymaktadır. Işığın dalga boyu bir ısı kaynağı olan tungsten telin sıcaklığına bağlıdır. Halojen lambanın renk sıcaklığı uygun pişirme açısından doğru dalga boyunda ışık yayması için 900 K ile 2400 K arasında olmalıdır. Halojen lambanın üzerindeki yansıtıcı plaka, lambadan gelen ışığı kavitenin içine yansıtmak için kullanılmaktadır. Böylece ışığın dışarı yayılması engellenmektedir. Bu levha, lambadan gelen ışığı soğurmak yerine yansıtsın, ısı kaybı olmasın diye paslanmaz çelik veya alüminyum ile kaplanabilir. Halojen lambanın altına yerleştirilen delikli ünite, lambadan direk gelen ve yansıtıcıdan yansıyan ışığı kavite içine geçirir. Delikli ünitenin altında bulunan seramik veya cam seramikten yapılmış filtre, halojen lambayı korumakta ve delikli üniteden gelen ışığı kaviteye göndermektedir.

Aşağıdaki grafikte (Şekil 2.2.12) çeşitli yiyeceklerin farklı dalga boylarında lambalardan gelen ışığı yansıtma oranları verilmiştir. Buna göre, yiyecekler, infrared bölgedeki ışıkları soğurmakta, görünür bölgedekileri ise yansıtmaktadırlar.



Şekil 2.2.12 Çeşitli yiyeceklerin dalga boyu-yansıtma oranı grafiği

Şekil 2.2.13 ise yiyeceklerle tam ters karaktere sahip yansıtıcı plakanın (paslanmaz çelik kaplı) çeşitli dalga boylarında lambalardan gelen ışığı yansıtma oranlarını göstermektedir.



Şekil 2.2.13 Yansıtıcının dalga boyu-yansıtma oranı grafiği

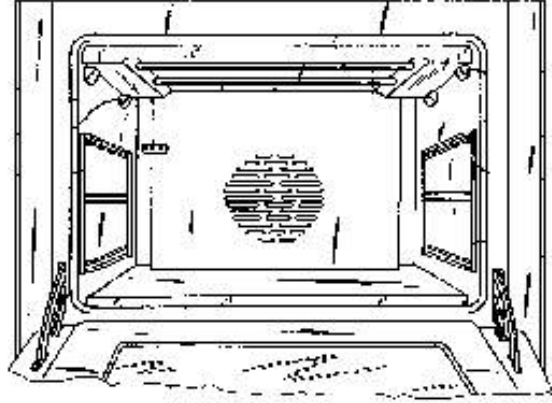
Grafiklerden de anlaşılacağı gibi yiyeceklerin ışığı soğurdukları bölgede (yani infrared bölgede) yansıtıcı eleman tam ters bir davranış sergilemekte yani bu bölgede ışığı yansıtmaktadır. Görünür bölgede ise yiyecekler gelen ışığı yansıtmakta, yansıtıcı eleman ise ışığı soğurarak görevini yerine getirmemektedir.

Isıtıcının fırın içindeki konumuna dair Roberto Bertazzoni [16] tarafından yapılan çalışmada, fırın içinde çeşitli yüksekliklerde kullanılabilen elektrikli infrared emisyon ızgaraya sahip fırın (Şekil 2.2.14) konu edilmiştir.

Geleneksel fırınlarda, ızgara tavanda sabit bir pozisyonda bulunmaktadır. Izgara yapılacak yiyecek bir kap içinde fırının tabanında pişirilmek zorundaysa (ağırlık sebebiyle) ızgara ile yiyecek arasındaki mesafe ızgara etkisini azaltır. Bunun yanında yiyecek fırının ortasında pişirilebiliyorsa bile, radyasyon yine de aynı hacmi etkileyecek, yani ısıtıcı, yiyeceği taşıyan rafın altını da ısıtacaktır. Bu yüzden radyasyon tarafından etkilenen hacmin, yani fırın boyutlarının azaltılması avantajlı olacaktır.

Çalışma quartz tüplerinden oluşan, infrared ışın yayan, hareket ettirilebilir, çeşitli yüksekliklerde kullanılabilir bir ızgara geliştirmeyi amaçlamaktadır.

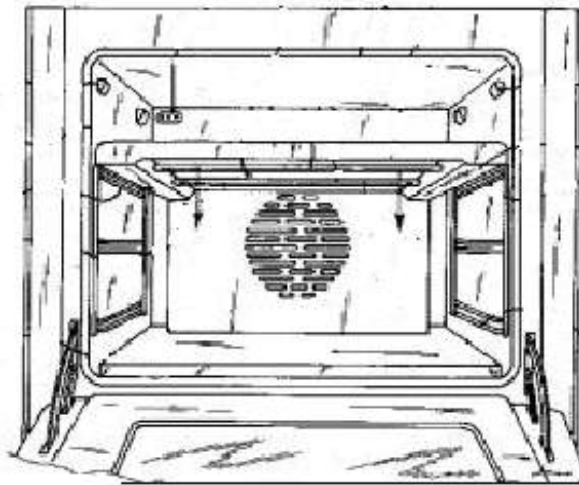
Izgara, fırın üst kısmını yiyeceklerden koruyan bir destek üzerine yerleştirilmiştir. Isıtıcı tüpleri taşıyan desteğin fırın içine bakan yüzeyi yansıtma sağlamak üzere paslanmaz çelikten bir levhaya sahiptir ve şekli tüplerin yaydığı radyasyonu en iyi ve daha üniform şekilde dağıtacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.2.14 Farklı yüksekliklerde kullanılabilen infrared emisyon ızgaralı fırın

Fırın arka duvarında ısıtıcının her yüksekliği için güç kaynağı soketleri bulunmaktadır. Izgara, zaten normalde tepsileri destekleyen yüzeyler üzerinde kayabilmektedir. Radyant tüplerin güç kaynaklarına ait tellerinin fırın içinde yüksek sıcaklıklara maruz kalmamaları için ısıtıcıyı izlemesi engellenmelidir. Bu amaçla fırın arka duvarında ızgaranın her pozisyonu için güç soketleri mevcuttur.

Isıtıcı Şekil 2.2.15'teki gibi alt konumdayken ısıtıcının etkilediği hacim azalmakta ve böylece hem dikkate değer bir enerji tasarrufu sağlanmakta, hem de daha düzgün ızgara ve kızartma işlemleri gerçekleşmektedir. Isıtıcı bu konumdayken, quartz tüplerinin yeterli ışığı sağlaması sebebiyle fırını aydınlatmada kullanılan ve genelde fırının üst kısmında, köşede yer alan lambaya da gerek kalmamaktadır.



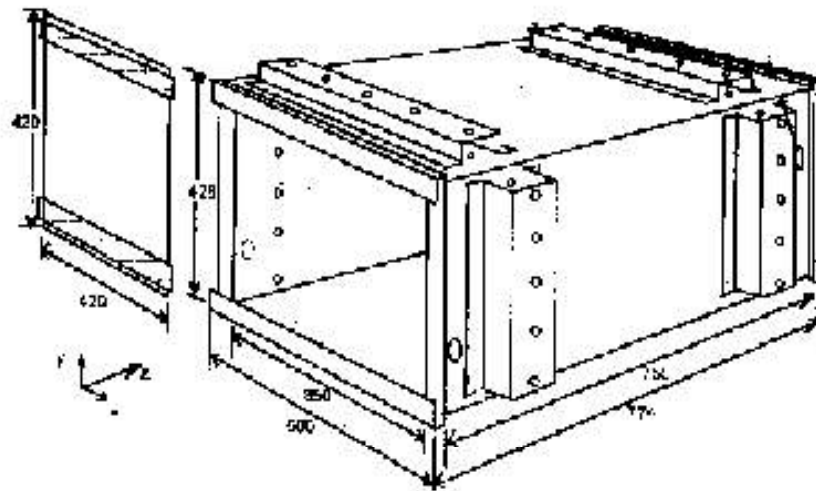
Şekil 2.2.15 Isıtıcı alt konumdayken fırının genel görünüşü

Isıtıcının konumuna göre kavite içindeki ısı transferinin incelendiği bir diğer çalışma Ekundayo, Probert ve Newborouh [17] tarafından yapılmıştır. Kavite içinde Nusselt sayısı ısıtıcının konumuna göre çok değişik değerler almaktadır ve ısıtıcı etrafındaki karışık ve komplike hava akışına dair yetersiz deney verisi bulunmaktadır. Bu çalışmada dikdörtgen bir kavitede ısıtıcının konumuna bağlı kararlı rejimde doğal taşınım miktarı araştırılmıştır.

İlk olarak çeşitli ısıtıcı konumları için akış görselleme gerçekleştirilmiş, daha sonra ısıtıcıya uygulanan toplam güç değerinden hesaplanan radyasyon ısısı çıkarılarak Nu hesaplanmıştır.

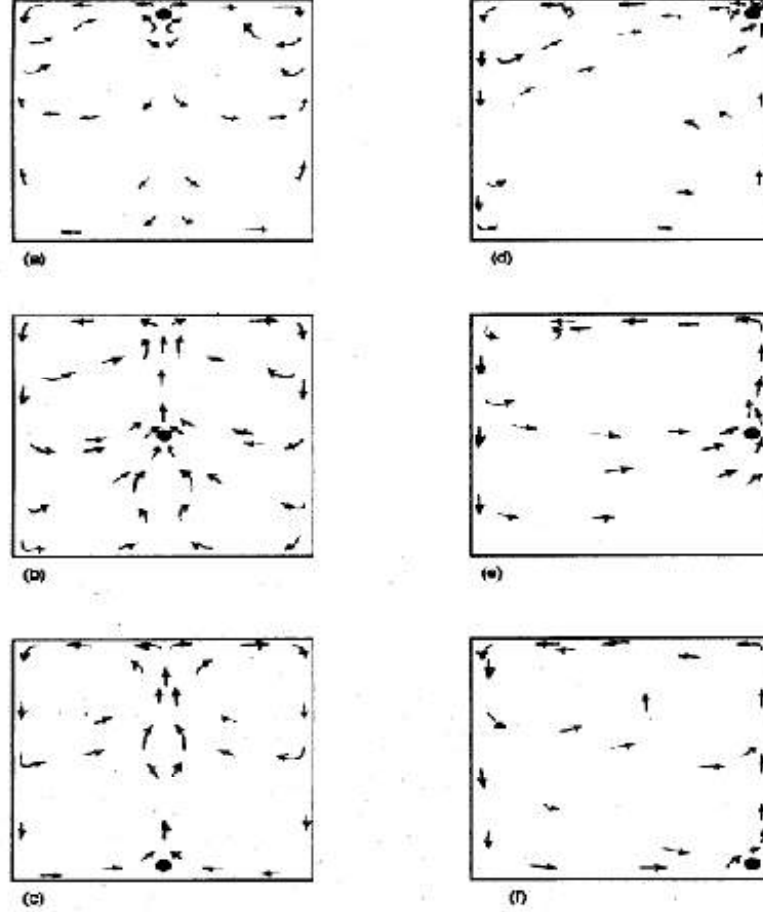
Kavitenin merkezine konan yatay ısıtıcı konumunda duvarlarla etkileşim en az olmaktadır ve bu durumda elde edilen Nusselt sayısı Nu^* olarak adlandırılmıştır. Isıtıcının diğer konumları için elde edilen sonuçlar Nu/Nu^* olarak ifade edilmiştir.

Şekil 2.2.16'da gösterilen kavite 350*350 mm kare kesitlidir, 750 mm uzunluğundadır ve duvarların emisivite değerleri 0.85'tir. Kavitenin izole edilmesinde ısı iletim katsayısı 0.06 W/mK olan kaya yünü kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan ısıtıcılar ise 50 mm soğuk uca sahip olup, 580 mm uzunluğundadır ve çapları 9.5 mm'dir. Deneylerde fırın içinde sıcaklık profilinin belirlenmesi için üzerinde yedi adet termoeleman bulunan dik bir prob kullanılmıştır. Kavite içindeki akışın görsellenmesi için ise duman yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.2.16 Deneylerde kullanılan fırın kavitesi

Aşağıda (Şekil 2.2.17) çeşitli ısıtıcı konumları için akış görselleme sonuçları verilmiştir.



Şekil 2.2.17 Isıtıcı konumlarına göre fırın içindeki hava hareketi

Akış görselleme, $Ra=9.1 \times 10^4$ değeri için yapılmış, diğer testler iki ayrı güç değerinde, yani $Ra=7 \times 10^4$ ve $Ra=1 \times 10^4$ değerleri için yapılmıştır. Karşılaştırmalarda boyutsuz X ve Y koordinatları kullanılmıştır. ($X=x/350$ ve $Y=y/350$)

$X=0.5$ değeri için Y'nin çeşitli değerlerinde akış incelendiğinde:

- $Y=0.1$ için yani ısıtıcı tabana yakinken ısıtıcı ve yüzey arasında taşınımın az olduğu, duvar ve ısıtıcı arasındaki iletim sebebiyle durgun bir katman olduğu
- $Y=0.5$ için kavitenin üst yarısında taşınımın simetrik olduğu
- $Y=0.9$ için aşağı doğru inen akışın tabana doğru yoğunlaştığı gözlenmiştir.

Isıtıcının yukarıdaki konumları için yapılan hesaplarda $Y=0$ için Nu/Nu^* 'ın minimum, $Y=0.25$ için ise maksimum olduğu görülmüştür. Isıtıcının yatay duvarlara yakın olduğu pozisyonlarda sınır tabakanın engellemesi sebebiyle hava hareketi ve taşınım azalmaktadır. $Y=0.25$ 'te maksimum olması ise ısıtıcı etrafında artan hava hareketine bağlanmıştır. Ra sayısı arttığında ise maksimum Nu/Nu^* $Y=0.5$ 'te elde edilmiştir.

$X=0.94$ hali, yani ısıtıcının yan duvara yakın olduğu durumda akış görselleme çalışmasında

- $Y=0.1$ için ihmal edilebilir bir tabakalaşma söz konusudur.
- $Y=0.5$ için devir yapan bir girdap mevcuttur ve akış miktarı maksimumdur. Isıtıcı ve duvar arasındaki hızlı hava hareketi baca etkisine bağlanabilir.
- $Y=0.9$ için oluşan girdap kavitenin üst yarısında meydana gelmektedir.

Bu hal için yapılan hesaplarda $Ra=7 \times 10^4$ için gelişigüzel dağılmış Nu/Nu^* oranları elde edilmiştir. Bu değer $Y=0.5$ 'te maksimum değerini almıştır. Bu durumda, kavite geometrisi sebebiyle hava hareketi tekrar ısıtıcı tabanına yönlendirilmekte ve Nu sayısı artmaktadır. $Y=0.5$ 'in altında ve üstünde taşınımın azalması yatay duvarların etkisinin artması ve ısıtıcı etrafındaki girdapların ısıtıcı etrafındaki hava hareketini engellemesindeki ters etkisi olabilir. Yatay duvarlara yakın yerlerde Nu/Nu^* oranı artmakta buna ise iletimin artması sebep olmaktadır. Ra arttıkça radyasyon oranı artmakta, taşınım oranı (Nu ve h) azalmaktadır.

$Y=0.5$ yüksekliği için ısıtıcı $X=0.7$ konumuna kaydırıldığında akış görsellemede sağ üst bölgede taşınımın arttığı görülmüştür. $X=0.88$ değeri için sağ üst köşeye yakın girdabın küçüldüğü ve etkisinin arttığı gözlenmiştir. Isıtıcı altındaki akışı artmakta ve duvarla ısıtıcı arasındaki akışı artırmaktadır. $X=0.9$ için girdabın kaybolduğu, $X=0.95$ için ise katmanlaşma olmadığı görülmektedir.

$0.06 < X < 0.94$, $Ra=7 \times 10^4$ ve $Y=0.1$ değeri için yapılan hesaplarda doğal taşınımın merkeze göre arttığı gözlenmiştir ($Y=0.9$ değeri için ise tam ters durum söz konusudur.). $X=0.25$ için Nu/Nu^* maksimum değerini almaktadır. Düşük Ra değerlerinde artan akış buna sebep olabilir. Ra arttıkça benzer bir profil elde edilmektedir, ancak Nu/Nu^* değeri daha düşüktür. Ra arttıkça tabakalaşan bölgeler artmaktadır. Tavanda ise, köşelerde Nu/Nu^* daha yüksektir. Ancak bu değer yine de birden küçüktür. Yatay ve dikey duvarlara yakınlık bunun sebebidir.

$0.06 < X < 0.94$ ve $Y = 0.25, 0.5, 0.75$ için yapılan hesaplarda her üç durum için de ısıtıcı ve duvar arasındaki boşluk arttıkça Nu/Nu^* oranının azaldığı, $X = 0.25$ için minimum değerini aldığı görülmüştür. Ra arttıkça profil aynı kalmakta, ancak Nu/Nu^* daha düşük olmaktadır.

Sonuç olarak yatay duvarların varlığı ısıtıcının konumu ne olursa olsun taşınımı azaltmaktadır. Dik duvarlar ise, ısıtıcı kavitenin ortasındayken taşınımı artırmaktadır. Sıcaklık farkı azaltılarak Ra sayısı azaltıldığında taşınım özellikle alt köşelerde azalmaktadır.

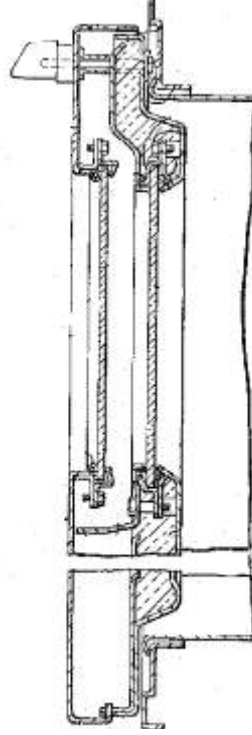
Dikey merkez için Ra arttıkça taşınım yukarı doğru artmaktadır. Yatayda minimum Nu/Nu^* $X = 0.25$ ($X = 0.75$) için elde edilmiştir. Isıtıcı tabana veya tavana yakinken ise $X = 0.5$ 'te minimum değerini almıştır. Isıtıcı dikey duvarlara yakinken bölgesel baca etkisi gözlenmiştir.

Aynı çalışma C.O. Ekundayo [18] tarafından Cranfield Üniversitesi'nde yapılan doktora tezinde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.3. Diğer

Yansıtıcı ve ısıtıcı uygulamalarının dışında üzerinde çalışılan bir diğer konu da fırın kapağıdır. Metal-metal bağlantıları ve fırın içindeki prosesin gözlenmesi amacıyla bulunan camlar sebebiyle fırın kapağından çevreye ısı kaybı çok olmaktadır.

Farklı fırın kapağı konstrüksiyonunun incelendiği çalışma (James J. Nuss [19]) bir fırına ait, gözetleme penceresi dizaynını konu etmektedir (Şekil 2.3.1). Pencere, kapının dış sıcaklığının tehlikeli seviyelere çıkmasına sebep olan ısı geçişini azaltacak ve iki cam arasındaki iletimle ısı geçişine sebep olacak direk bir patikaya sahip olmayacaktır. Pencere iki veya üç camlı olabilmektedir.



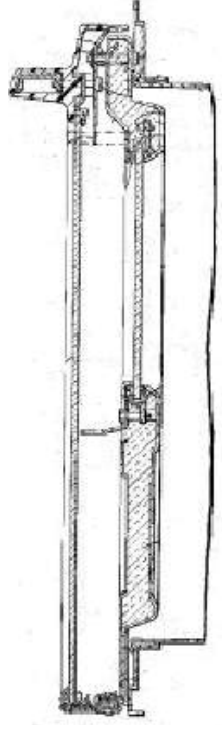
Şekil 2.3.1 Isıl köprü oluşumunu engelleyen fırın kapısı

Adı geçen kapı, bir pencere açıklığının iç tarafına yerleştirilmiş bir cam ve iç kapı çerçevesine yerleştirilmiş diğer bir camdan oluşmaktadır ve böylece iki cam arasında direk iletim patikası yoktur. Pencere açıklığını bir izolasyon tabakası kaplamaktadır. Gözetleme penceresi tüm kapının alanıyla karşılaştırıldığında küçültülmüştür ve genellikle gözetlemenin kolaylaştırılması açısından kapının üst yarısına monte edilmiştir. Kapının dış tarafı ve tutacağı arasında, tutacağı izole etmek amacıyla bir parça vardır.

İç kapı çerçevesinde iç camı çevreleyen cam elyaf bir izolasyon bulunmaktadır. Bu izolasyon, çevresindeki elemanlara da rahat uysun diye parçalara bölünmüştür. İzolasyonu yerinde tutmak için metal bir destek bulunmaktadır ve bu desteğin de iç camın görünmesini engellememesi için bir açıklığı mevcuttur.

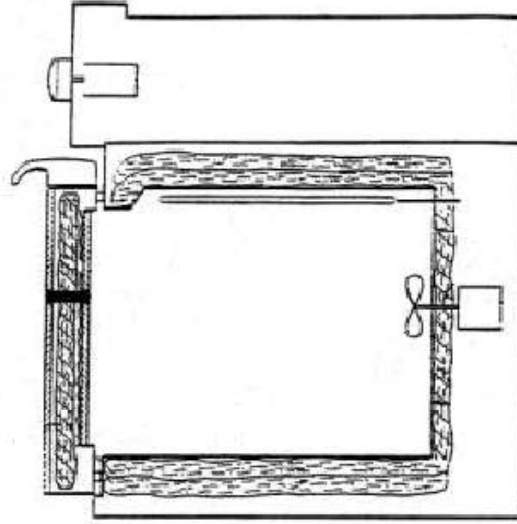
Kapının en sıcak yeri dış panelin üst kısmıdır (tutacağın olduğu bölge) ve bunu engellemek amacıyla bu bölgeye hava giriş delikleri açılabilir. Aynı amaçla kapının üst kısmının iç tarafına alüminyum folyo kaplanabilir.

Buluştaki adı geçen kapı üzerinde yapılabilecek bir değişiklik Şekil 2.3.2’de görüldüğü gibi dıştaki küçük cam yerine, kapının dış tarafının tamamen camla kaplanmasıdır.



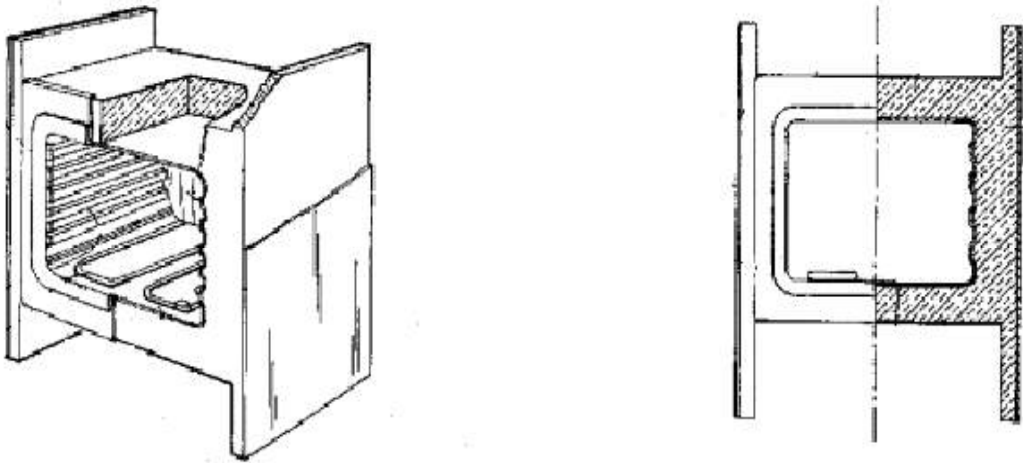
Şekil 2.3.2 Dışı tamamen camla kaplı ısı köprü oluşumunu engelleyen kapı

Kapaktan olan ısı kaybının engellenmesine yönelik Nachlinger Herbert, Has Uwe Dipl Ing [20] tarafından yürütülen bir diğer çalışmada fırındaki gözetleme camı tamamen kaldırılmakta, fırın içi proses optik yollarla gözlenmektedir. Çalışma, enerji tasarrufu sağlayan, tamamıyla ısı izolasyonlu, kontrol penceresi olmayan bir fırınla ilgilidir (Şekil 2.3.3). Fırının içinde gerçekleşen prosesin izlenmesi için ise görsel ve/veya elektronik kısımlar mevcuttur. Kontrol penceresi olmayan fırınlar, daha çok enerji tasarrufu sağlamaktadır. Üretim maliyetleri daha düşüktür. Isıtma işlemi daha düzgün şekilde gerçekleşir. Fırın içinde gerçekleşen proses, kablo veya fiber optik yoluyla fotoğraf çeken kameralarla izlenebilmektedir (CD CHIPS). Bu işlem aynı zamanda fırın duvarında yer alan geniş açı etkili optik minyatür bir piyonla da gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.3.3 Kontrol penceresi olmayan fırın

Piştirme prosesi süresince sıcaklığın yüksek değerlere çıkması sebebiyle, fırın iç kavitesi ve dış gövde arasında meydana gelen iletim patikası üzerinden yürüyen ısı miktarı fırın toplam ısı kayıp değerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu kaybı azaltmaya yönelik Maitenaz Paul, Gernez Alain [21] tarafından yapılan çalışmada adı geçen ve Şekil 2.3.4'te gösterilen fırın, genellikle dikdörtgen bir kasa ile sınırlandırılmış olan bir piştirme odasına ve kasayı destekleyen bir çerçeveye sahiptir.



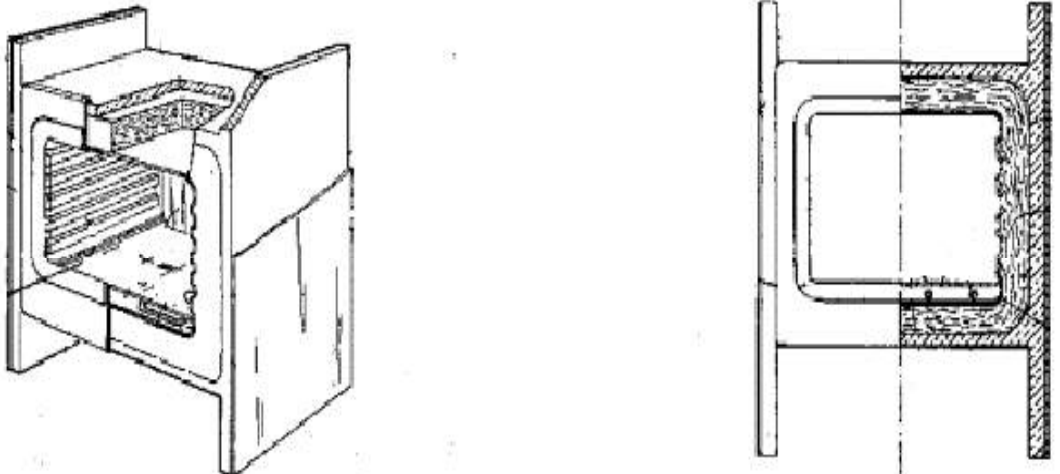
Şekil 2.3.4 Isıl köprü kayıplarını engelleyen piştirme odası cihazı

Isıtıcı elemanlar kasanın içinde veya dışında olabilirler. Kasanın yan duvarlarını kaplayan ısıl izolasyon malzemesi mevcuttur ve bu malzeme, cihaz için, bir çerçevenin merkezini ve yapının bir kısmını oluşturmaktadır. Isıl izolasyon

malzemesi, yan duvarların üzerine kalıplanmıştır ve kasayı bir arada tutmaktadır. Bu malzeme, tercihen köpük yapısında olmalıdır. Bu izolasyon malzemesi, çerçeve ile kasa arasında ısı köprü oluşumunu engellemekte, iletimle ısı kaybını azaltmakta ve cihazın mekanik mukavemetini artırmaktadır.

Kasayı arka saca bağlayan braket, iletimle ısı kayıplarını azaltmak üzere delikli olarak üretilmiştir. Kasa, en az dört yüzeyinden ısı izolasyonu ile kaplıdır. Üst yüzey ve yan yüzeyler dış izolasyonla, alt yüzey ise iç izolasyonla kaplıdır. İzole edilmiş yan yüzeyler ve dış çerçeve arasında baca kanalı bulunmaktadır. Bir başka alternatif yapıda ise arka yüzey, diğer dört yüzeyden ayrı olarak izolasyon ile kaplanmıştır. İzolasyon malzemesi, cihazın çerçevesinin çekirdeğini oluşturmaktadır. İzolasyon malzemesinin yan yüzeyleri, yapının rijitliğini artırmak üzere, dıştan metal veya plastik ile kaplanabilir. İzolasyon malzemesi genellikle H şeklindedir ve bu malzeme döküm veya enjeksiyon yöntemiyle, 300 °C sıcaklığına kadar dayanabilen köpükten üretilir.

Buluşun ikinci bir alternatifinde ise, aşağıdaki gibi (Şekil 2.3.5) kasa, birkaç katmandan oluşabilecek birincil izolasyon malzemesi ile kaplanmıştır. (Örn. İnorganik elyaf). Birincil izolasyon malzemesi alternatif olarak, sıkıştırılmış toz, inorganik köpük, köpüklenmiş cam (foamed glass) veya asbest, genişletilmiş mika granülleri veya diğer izolasyon granülleri olabilir.



Şekil 2.3.5 İki kademeli izolasyona sahip pişirme odası cihazı

3. DENEYLER

Fırının ısı performansının belirlenmesi ve çeşitli iyileşme yöntemlerinin etkilerinin görülmesi amacıyla yapılan deneyler üç grupta toplanmıştır:

1. Termostatik çalışma (On-off) deneyleri
2. Sabit sıcaklık (UA) deneyleri
3. Tuğla Testi deneyleri

İlk deney grubu olan “Termostatik Çalışma” deneylerinde fırınlar gerçek çalışma durumlarında, yani on-off çevrim yapacak şekilde çalıştırılmış ve fırınların gerçek performansları incelenmiştir.

Sabit sıcaklık deneyleri olarak adlandırılan ikinci deney grubunda fırının ısı performansının kolayca belirlenebilmesi için tanımlanan “UA Metodu” uygulanmıştır. Bu deneylerde ön ısıtma süresinin, fırın kütlelerinin sonuçlar üzerindeki etkilerinin ortadan kaldırılması amacıyla fırın kararlı rejimde çalıştırılmıştır.

Üçüncü deney grubunda ise fırının enerji sınıfının belirlenmesine yönelik uluslararası standartlarla belirlenmiş tuğla testleri uygulanarak fırının enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Tuğla testi prosedürü ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Her üç grup deneyde de ilk olarak fırının ısı performansının belirlenmesi amacıyla fırın, üzerinde bir değişiklik yapılmadan, standart halde çalıştırılmış ve aşağıda ayrıntılı olarak anlatılan yöntemlerle fırının performansı sorgulanmıştır.

Standart hal deneyleri tamamlandıktan sonra, mevcut fırının ısı performansının iyileştirilmesi amacıyla fırın üzerinde, incelenen literatür ve patentlerde görülen çeşitli değişiklikler yapılarak modifikasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Üç grupta toplanan deneylerde toplam dört adet fırın kullanılmıştır. Elektronik, multi fonksiyonlu olan ilk model fırın üzerinde UA testleri ve tuğla testleri gerçekleştirilmiştir. Diğer model üç adet özdeş fırın üzerinde ise UA ve termostatik çalışma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler üç fırın üzerinde de tekrarlanarak fırınlar

arasında üretim sırasında oluşabilecek farkların fırın performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

3.1. Deney Köşesi ve Test Fırını

Fırın 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

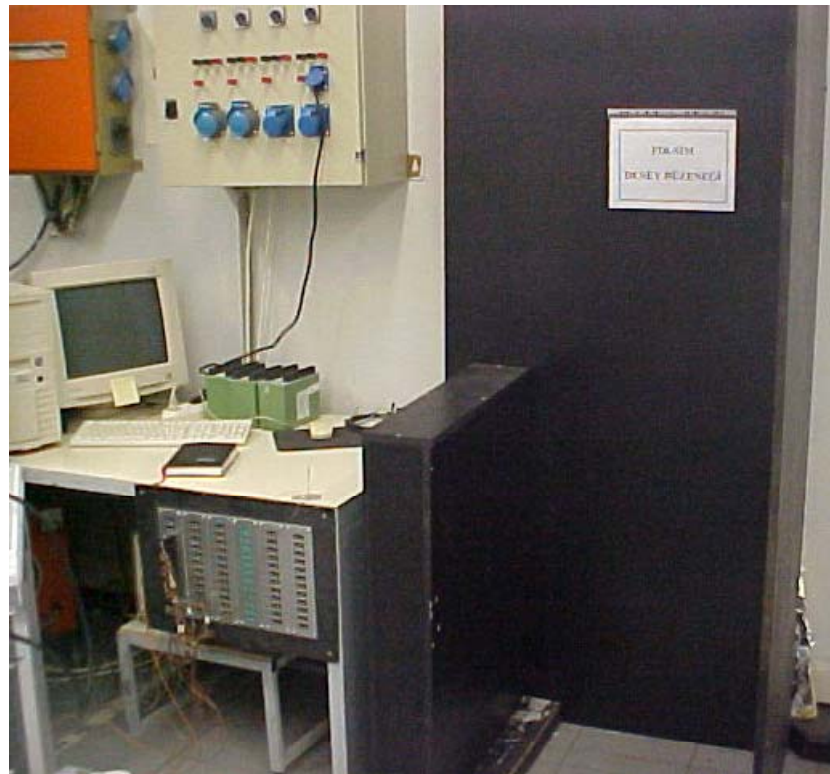
YxGxD: 85x15x70 cm

- Sağ yan duvar

YxG: 185x90 cm

- Arka duvar

YxG: 185x72 cm

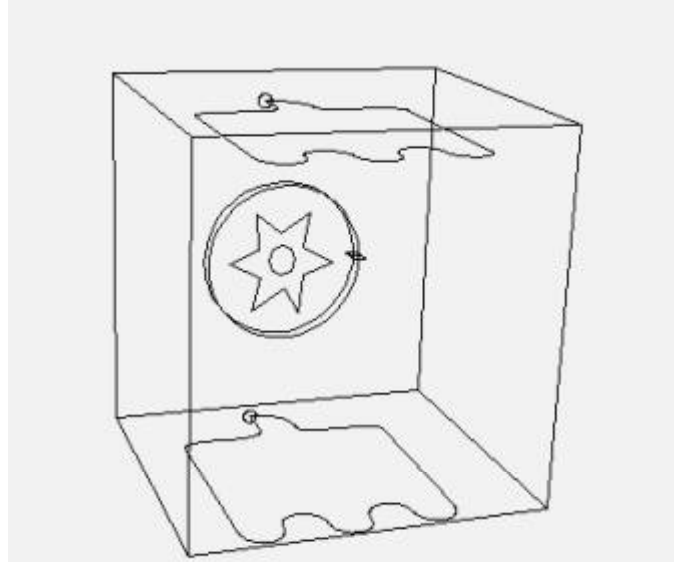


Şekil 3.1.1 Deney köşesinin genel görünüşü

Yapılan deneylerde kullanılan iki model fırının özellikleri şöyledir:

- Fırın hacmi: 58 lt
- YxGxD: 85x60x60 cm

Deneylerde kullanılan fırınlar, ana kavite, turbo ısıtıcı bölmesi ve alt ısıtıcı bölmesinden oluşmaktadır. Pişirmenin gerçekleştirildiği ana kavitenin üst kısmında üst ısıtıcı bulunmaktadır. Ana kaviteden üzerinde hava dağıtma delikleri bulunan bir sac ile ayrılan turbo ısıtıcı bölmesinde ise dairesel turbo ısıtıcı ve ısıtıcının ısıttığı havayı dağıtan radyal bir fan bulunmaktadır. Ana kavitenin altında bulunan alt ısıtıcı, kavite içinde pişirilen yiyeceklerden damlayacak maddelerden korunmak için ana kaviteden bir sac ile ayrılmaktadır. Aşağıda (Şekil 3.1.2) fırın bölmelerinin ve ısıtıcıların şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3.1.2 Isıtıcıların ve fanın şematik gösterimi

Fırında bulunan ısıtıcıların güçleri şöyledir:

- ✓ Üst ısıtıcı: 1100 W
- ✓ Alt ısıtıcı: 1300 W
- ✓ Turbo ısıtıcı: 2300 W

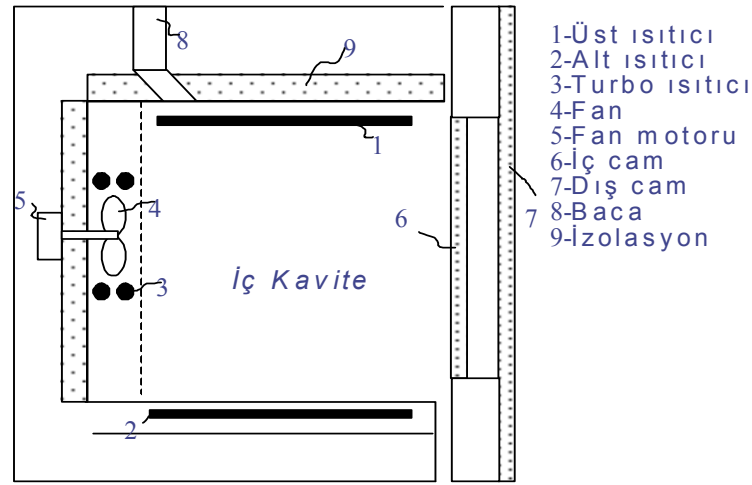
Fırınlar üç çalışma moduna sahiptirler:

- İki ısıtıcı Çalışma Modu: Alt ve üst ısıtıcı birlikte çalışmaktadır.
- Turbo Çalışma Modu: Turbo ısıtıcı ve fan çalışmaktadır.
- İki ısıtıcı ve fan Çalışma Modu: Alt, üst ısıtıcılar ve fan birlikte çalışmaktadır.

Fırın kavitesi ve kapağı arasındaki boşluk bir U conta yardımıyla kapatılmıştır. Fırının nefes alması için kapak aralığı kavitenin alt kısmında açık bırakılmıştır. İçeride ısınan ve genleşen havanın dışarı çıkması için ise fırın sağ üst köşesinde bir baca bulunmaktadır.

Fırının yalıtılması amacıyla kullanılan cam yünü, fırının dört yüzeyini kaplamaktadır. Sağ, sol ve üst yüzeyleri kaplayan bir parça ve arka yüzey için de bir parça cam yünü bulunmaktadır ve cam yünlerinin dış gövdeye bakan kısımları alüminyum bantlarla kaplanmıştır.

Fırın elemanları bir arada şematik olarak Şekil 3.1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1.3 Fırın elemanlarının şematik gösterimi

Üç grup deney de özellikleri yukarıda verilen deney köşesinde gerçekleştirilmiştir. Fakat deney düzenekleri, deney metodolojilerinin farklılıkları sebebiyle bazı farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple üç grup deneyin yapıldığı şartlara deneyler anlatılırken ayrı ayrı değinilecektir.

3.2. Termostatik Çalışma Standart Deneyleri

Termostatik çalışma deneylerinde, fırının gerçek çalışma karakterinin belirlenmesi amacıyla, fırın çevrim yapacak şekilde, yani on-off çalıştırılmıştır. Aynı model, farklı fırınlar arası belirsizliklerin belirlenebilmesi amacıyla deneyler üç fırın üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak fırınlar üzerlerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan standart halleriyle üç çalışma modunda çalıştırılmış, çeşitli noktalara yerleştirilen termoelemanlar ile ölçülen ve kaydedilen sıcaklıklar yardımıyla fırının çeşitli bölgelerindeki sıcaklık dağılımları incelenmiş, kaydedilen güç ve ön ısıtma süresi

değerleri ile fırınların enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Standart deneylerden sonra ise, sistemin enerji tüketimin azaltılmasına yönelik çalışmalara başlanmıştır. Bu deneyler, yapılan patent ve literatür taraması sonucunda oluşan fikirler ve edinilen bilgiler doğrultusunda fırının üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumlarda ortaya çıkan sıcaklık dağılımı, enerji tüketimi gibi değerler standart hal sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

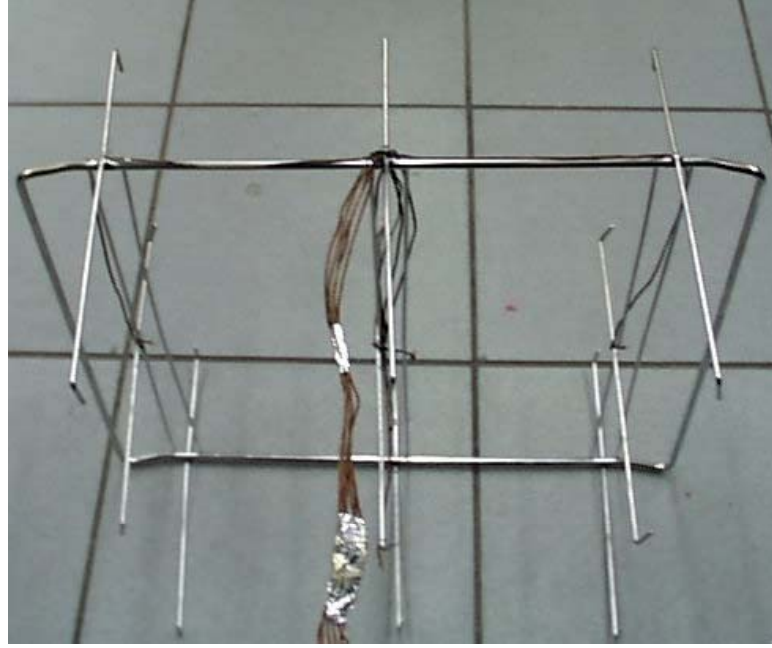
3.2.1. Termostatik Çalışma Deney Düzeneği

Termostatik çalışma deneyleri mutfaktaki mobilyaları simüle eden deney köşesinde yapılmıştır. Deney düzeneğinde ölçülen sıcaklık ve güç değerlerinin toplandığı data toplama ünitesi ve bu üniteye bağlı bir bilgisayar bulunmaktadır.

Fırının sıcaklık dağılımının belirlenmesi için çeşitli noktalara termoeleman yerleştirilmiştir. Yerleştirilen termoelemanların yerleri ve tipleri aşağıda verilmiştir:

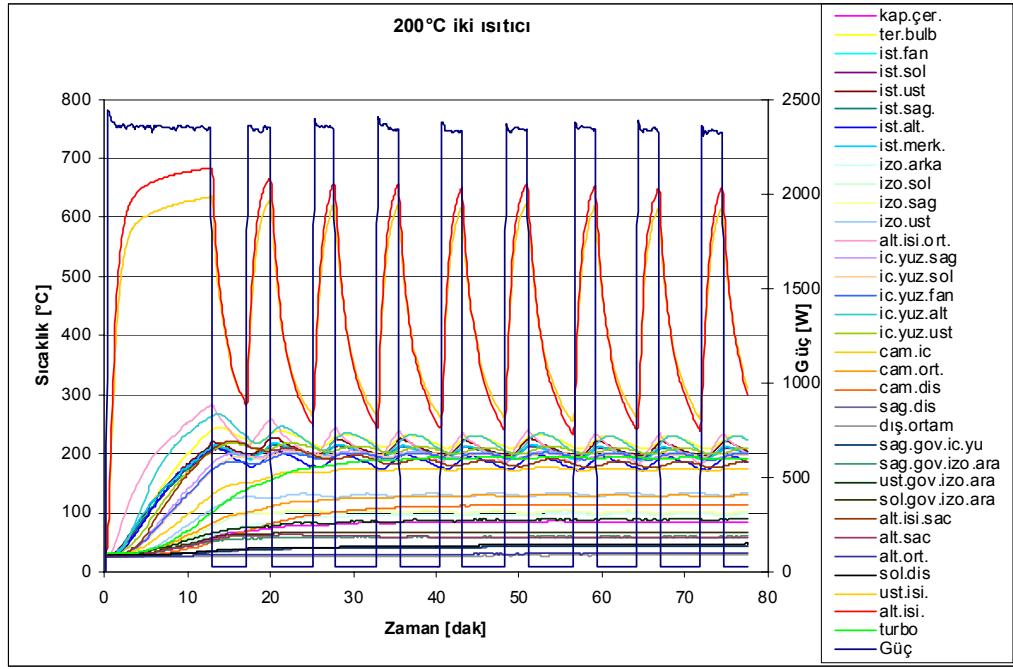
- Fırın içine, iç ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla konulan ızgara eleman üzerine 6 adet J tipi,
- Fırın iç yüzeylerine 5 adet J tipi,
- Fırın kapak camının iç ve dış taraflarına birer adet J tipi,
- İki cam arasındaki ortama 1 adet J tipi,
- Alt ısıtıcı bölmesine 1 adet J tipi,
- Alt ısıtıcı koruma sacına 1 adet J tipi,
- Fırın alt yüzeyine 1 adet J tipi,
- İç kaviteyi saran cam yünü izolasyon üzerine 4 adet J tipi,
- İzolasyon-dış gövde arasına 4 adet T tipi,
- Dış gövde üzerine 2 adet J tipi,
- Dış ortama 1 adet J tipi,
- Termostat bulbu üzerinde 1 adet J tipi ve
- Alt, üst ısıtıcı ile turbo rezistans üzerine toplam 3 adet K tipi olmak üzere toplam 32 adet termoeleman mevcuttur.

Fırın iç kavite sıcaklığı, fırın içine konan ızgara eleman üzerinde bulunan 6 adet J tipi termoelemanın ölçtüğü sıcaklıkların ortalaması alınarak bulunmuştur. Üzerine termoeleman yerleştirilen ızgara eleman Şekil 2.3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2.1 İç sıcaklığı ölçen termoelemanların yerleştirildiği ızgara eleman

Deneyleerde ısıtıcılara ve fana verilen güç değerleri, ön ısıtma süreleri, termoelemanların ölçtüğü sıcaklıklar kaydedilmiş, ön ısıtma süresinin ardından, fırın sürekli rejime girdikten sonra ısıtıcıların çalışır durumda olduğu 5 çevrim süresinin ortalaması alınarak ortalama on-çevrim süresi hesaplanmıştır. Bu süre ve yine kaydedilen güç değerlerinden hesaplanan ortalama güç değerleri kullanılarak enerji tüketimi değerleri hesaplanmıştır. İlk olarak ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, daha sonra da başlangıçtan itibaren 5. çevrim sonuna kadar tüketilen enerji değerleri hesaplanmıştır. Fırın içi sıcaklığı, kavite içinde bulunan ızgara eleman üzerindeki termoelemanların fırın dengeye geldikten sonra ölçtüğü sıcaklıkların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca ısıtıcı sıcaklıklarının aldığı maksimum değerler de kaydedilmiştir. Aşağıda iki ısıtıcı (statik) çalışma modu, 200 °C fırın içi sıcaklığı için kaydedilen grafik örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.2.2 İki ısıtıcı çalışma modu standart hal sıcaklık ve güç eğrileri, 200 °C

Termostatik çalışma deneyleri teknik özellikleri yukarıda verilen, “multi fonksiyonlu” olarak adlandırılan fırın üzerinde yapılmıştır. Bu deneyler, fırınlar arasında üretim farklılıkları sebebiyle oluşacak belirsizliklerin bulunabilmesi amacıyla aynı model üç fırın üzerinde tekrarlanmıştır. Deneyler, fırın içi sıcaklığı 150 °C ve 200 °C olmak üzere iki sıcaklıkta ve fırınların üç çalışma modunda tekrarlanmıştır. Fırın içi sıcaklık kavite içine yerleştirilen ızgara eleman üzerinde bulunan altı adet J tipi termoelemanın ölçtüğü sıcaklıkların ortalamasının alınması ile bulunmaktadır. Fırın içi sıcaklığını ayarlayan termostat fırın sağ üst arka köşesinde bulunmaktadır ve termostatın ayarladığı sıcaklık, hesaplanan fırın içi sıcaklığından farklı olmaktadır. Bu sebeple, fırın termostat düğmesi istenen fırın içi sıcaklığı elde edilecek şekilde ayarlanmaktadır.

Fırınların ısı karakterlerinin belirlenmesi ve farklı sıcaklıkların, fırınların birbiriyle karşılaştırılması için fırınların ön ısıtma süreleri, ön ısıtma süresince ve başlangıçtan itibaren 5. çevrim sonuna kadar tükettikleri enerji miktarları hesaplanmıştır. Aşağıda hesaplamada kullanılan formüller görülmektedir.

$$E_{\text{önısıtma}} = \frac{t_{\text{önısıtma}} \times P_{\text{ortalama}}}{60} \quad (3-1)$$

$$E_{\text{önısıtma}+5\text{çev}} = \frac{(t_{\text{önısıtma}} + t_{5\text{çevrim}}) \times P_{\text{ortalama}}}{60} \quad (3-2)$$

$t_{\text{önısıtma}}$: Ön ısıtma süresi, [dak]

$t_{5\text{çev}}$: 5. Çevrim sonuna kadar toplam on-çev. süresi, [dak]

$E_{\text{önısıtma}}$: Ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]

$E_{\text{önısıtma}+5\text{çev}}$: Başlangıçtan 5. çevrim sonuna kadar tüketilen enerji, [Wh]

Aşağıdaki tabloda fırınların ortalama iç sıcaklıkları, ön ısıtma süreleri, 5.çevrim sonuna kadar tükettikleri enerji, ön ısıtma süresi boyunca tükettikleri enerji, on-çevrim süreleri ve maksimum ısıtıcı sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 3.2.1 Termostatik Çalışma Standart Deney Sonuçları

Standart Deneyler		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
İki ısıtıcı		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
	Ortalama Sıcaklık	151.12	202.32	149.93	199.07	145.53	199.63
	Ön Isıtma Süresi (dak)	8.96	12.55	9.10	12.85	8.94	13.30
	Enerji.Tük. (Wh) (Önısı.+5.çev.)	816.29	1040.33	853.75	1062.53	867.37	1067.06
	Enerji Tük. (Wh) (Ön ısıtma)	349.47	493.00	353.12	497.95	350.31	525.61
	On-çevrim Süresi (Ort) [dak]	2.508	3.13	2.69	2.87	2.7	2.89
	Isıtıcı Sıcaklığı (Üst) (Maks.)	623.16	635.37	638.85	638.95	588.18	597.48
	Isıtıcı Sıcaklığı (Alt) (Maks.)	670.65	682.88	644.68	650.02	665.74	678.03
Turbo	Ortalama Sıcaklık	155.57	209.33	155.73	205.36	151.55	205.93
	Ön Isıtma Süresi (dak)	5.97	10.56	6.14	9.21	5.76	10.12
	Enerji.Tük. (Wh)(Önısı.+5.çev.)	377.72	596.79	391.35	539.35	386.76	574.33
	Enerji Tük. (Wh) (Ön ısıtma)	211.32	375.63	222.27	334.99	208.61	357.84
	On-çevrim Süresi (Ort) [dak]	1.074	1.394	1.06	1.27	1.11	1.35
	Isıtıcı Sıcaklığı (Maks.)	499.75	553.95	499.11	554.28	535.57	590.58
İki ısıtıcı ve fan	Ortalama Sıcaklık	154.31	210.19	154.19	208.05	159.02	204.59
	Ön Isıtma Süresi (dak)	7.76	12.17	8.14	12.30	8.34	12.10
	Enerji.Tük. (Wh)(Önısı.+5.çev.)	529.10	726.27	550.56	752.50	532.24	702.30
	Enerji Tük. (Wh) (Ön ısıtma)	310.86	484.4485	323.09	488.94	335.78	485.35
	On-çevrim Süresi (Ort) [dak]	1.19	1.35	1.23	1.43	1.13	1.23
	Isıtıcı Sıcaklığı (Üst) (Maks.)	570.26	591.58	554.55	647.84	504.31	522.88
	Isıtıcı Sıcaklığı (Alt) (Maks.)	658.24	671.59	631.14	639.89	662.74	670.88

Fırınlara arası üretim belirsizliklerinin ortaya konması amacıyla üç fırının ön ısıtma sürelerinin ve enerji tüketimi değerlerinin ayrı ayrı ortalaması alınarak her bir fırının ön ısıtma sürelerinin ve enerji tüketimlerinin ortalama değerlere göre farkı yüzde olarak hesaplanmıştır.

$$\%Fark = \frac{t_{\text{önısıtma.fri}} - t_{\text{önısıtma.ort}}}{t_{\text{önısıtma.ort}}} \times 100 \quad (3-3)$$

$$\%Fark = \frac{E_{\text{önısıtma.fri}} - E_{\text{önısıtma.ort}}}{E_{\text{önısıtma.ort}}} \times 100 \quad (3-4)$$

$$\%Fark = \frac{E_{5\text{çev.fri}} - E_{5\text{çev.ort}}}{E_{5\text{çev.ort}}} \times 100 \quad (3-5)$$

$t_{\text{önısıtma.fri}}$: i. Fırının ön ısıtma süresi, [dak]

$t_{\text{önısıtma.ort}}$: Ortalama ön ısıtma süresi, [dak]

$E_{\text{önısıtma.fri}}$: i. Fırının ön ısıtma süresi boyunca tükettiği enerji, [Wh]

$E_{\text{önısıtma.ort}}$: Ön ısıtma süresi boyunca tüketile ortalama enerji, [Wh]

$E_{5\text{çev.fri}}$: i. Fırının 5.çevrim sonunda tükettiği enerji, [Wh]

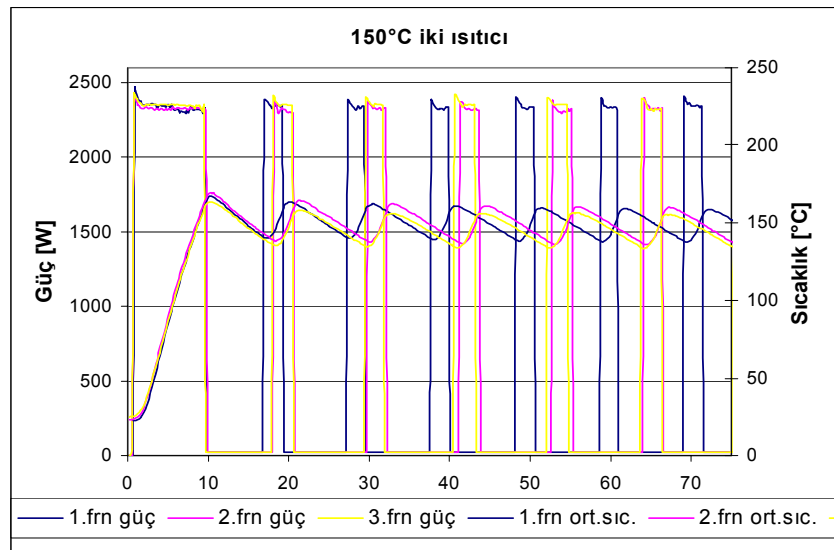
$E_{5\text{çev.ort}}$:5.çevrim sonunda tüketilen ortalama enerji, [Wh]

Tablo 2.3.2’de her bir fırının ön ısıtma sürelerinin ve 5 çevrim enerji tüketimlerinin ortalama değerlere göre yüzde olarak Formül (3-3,4,5)’e göre hesaplanan farkları verilmiştir.

Tablo 3.2.2 Standart deney sonuçlarının ortalama değerlere göre % olarak farkı

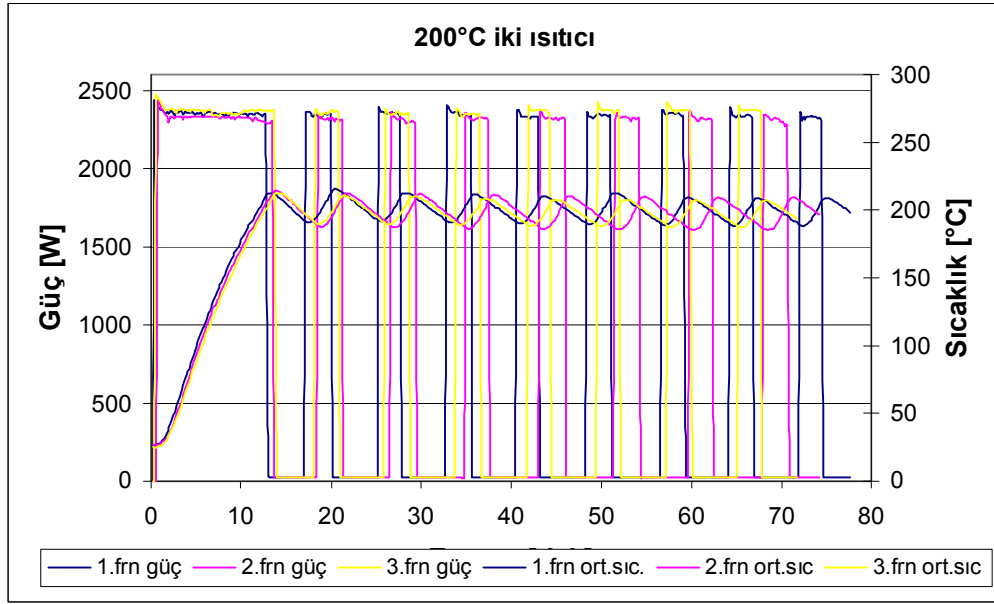
% = Fırın _i / Ortalama		150 °C			200 °C		
		1. Fırın	2. Fırın	3. Fırın	1. Fırın	2. Fırın	3. Fırın
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	-0.44	1.11	-0.67	-2.71	-0.39	3.10
	Turbo	0.22	3.08	-3.30	5.99	-7.56	1.57
	İki Isıtıcı ve Fan	-3.96	0.74	3.22	-0.16	0.90	-0.74
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-3.19	1.25	1.95	-1.54	0.56	0.99
	Turbo	-1.96	1.58	0.39	4.67	-5.40	0.73
	İki Isıtıcı ve Fan	-1.53	2.47	-0.94	-0.10	3.50	-3.40

Standart deneylerde fırın içi sıcaklığı 150 ve 200 °C olacak şekilde ayar yapılmıştır. Termostat düğmesinin hassasiyetinin yüksek olmaması sebebiyle burada da elde edilen ortalama sıcaklıklar arasında farklar bulunmaktadır. Elde edilen farklı fırın içi sıcaklıkları ve deneyi etkileyen bir çok parametre sebebiyle üç fırın arasında sıcaklığa veya çalışma moduna bağlı bir yargıya varmak mümkün değildir. Her sıcaklık ve çalışma modu için deney şartlarına bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ön ısıtma süreleri karşılaştırıldığında üç fırın arasındaki en yüksek farkın % 8 civarında gerçekleştiği, bu farkın enerji tüketiminde ise % 6 civarında kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.2.3 Üç fırının 150°C iki ısıtıcı standart hal ortalama sıcaklık-güç eğrileri

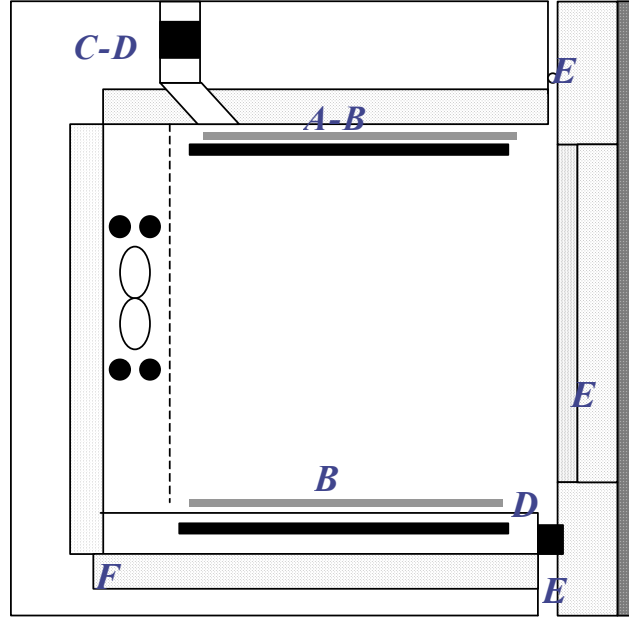
Yukarıdaki grafikte 150 °C fırın içi sıcaklığı, iki ısıtıcı durumu için üç fırının zaman bağılı güç ve ortalama fırın içi sıcaklıkları verilmiştir. Grafikten 1. fırında ısıtıcıların on ve off olduğu zamanların daha kısa olduğu, yani fırının iç havadaki değişimlere daha çabuk cevap verdiği görülmektedir. Bu durumun fırının enerji tüketimine de yansıdığı, bu hal için 1. fırının en az enerji tükettiği yukarıdaki tablodan da anlaşılmaktadır. Şekil 3.2.4'te ise 200 °C fırın içi sıcaklığı, iki ısıtıcı durumu için üç fırının zaman bağılı güç ve ortalama fırın içi sıcaklıkları verilmiştir. 200 °C sıcaklığında 1. fırının ön ısıtma süresinin en kısadır ve on çevrim süresi de en kısadır. Bu sebeplerle 200 °C'de de en az enerji tüketen fırın 1. fırındır.



Şekil 3.2.4 Üç fırının 200°C iki ısıtıcı standart hal ortalama sıcaklık-güç eğrileri

3.3. Termostatik Çalışma Modifikasyon Deneyleri

On-off çalışma deneylerinin ikinci aşamasında fırının ısı kaybını oluşturan parametrelerin belirlenmesi ve fırının enerji tüketiminin azaltılması amacıyla fırın üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak bu değişikliklerin fırın performansı üzerine etkilerinin gözlenmesi amaçlanmıştır. Aşağıda (Şekil 3.3.1) fırın üzerinde yapılan değişiklikleri şematik olarak gösteren şekil ve yapılan değişikliklerin listesi görülmektedir:



Şekil 3.3.1 Fırın üzerinde yapılan değişikliklerin şematik gösterimi

- A. Üst ısıtıcı üzerine yansıtıcı plaka konması
- B. Fırın iç yüzeylerinin yansıtıcı plakalarla kaplanması
- C. Fırın baca çıkışının kapatılması
- D. Fırın baca çıkışının kapatılması ve fırın kapağında O conta kullanılması (infiltrasyonun engellenmesi)
- E. Fırın kapak çerçevesinin ve cam aralığının cam yünü ile izole edilmesi
- F. Alt ısıtıcı koruma sacının cam yünü ile izole edilmesi

Modifikasyon deneyleri yine üç fırın üzerinde, 150 ve 200 °C ortalama fırın içi sıcaklıklarında ve üç çalışma modu için yapılmıştır. Bu deneylerde da termostat, istenen fırın içi ortalama sıcaklığı elde edilecek şekilde ayarlanmıştır. Kaydedilen güç, ön ısıtma süresi değerleri ve hesaplanan on-çevrim süreleri ile fırınların başlangıçtan itibaren 5. çevrim sonuna kadar tükettiği enerji miktarları hesaplanmıştır. Üzerinde değişiklik yapılan fırınların ön ısıtma süreleri ve enerji tüketimi değerleri standart fırın ile karşılaştırılmış, farklar yüzde olarak aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$\%Fark = \frac{t_{\text{önısıtma.mod}} - t_{\text{önısıtma.orj}}}{t_{\text{önısıtma.orj}}} \times 100 \quad (3-6)$$

$$\%Fark = \frac{E_{\text{önısıtma.mod}} - E_{\text{önısıtma.orj}}}{E_{\text{önısıtma.orj}}} \times 100 \quad (3-7)$$

$$\%Fark = \frac{E_{5\text{çev.mod}} - E_{5\text{çev.orj}}}{E_{5\text{çev.orj}}} \times 100 \quad (3-8)$$

$t_{\text{önısıtma.mod}}$: Modifikasyon deneyinin ön ısıtma süresi, [dak]

$t_{\text{önısıtma.orj}}$: Standart deneyinin ön ısıtma süresi, [dak]

$E_{\text{önısıtma.mod}}$: Modifikasyon deneyinde ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]

$E_{\text{önısıtma.orj}}$: Standart deneyde ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]

$E_{5\text{çev.mod}}$: Modifikasyon deneyinde 5.çevrim sonunda tüketilen enerji, [Wh]

$E_{5\text{çev.orj}}$: Standart deneyde 5.çevrim sonunda tüketilen enerji, [Wh]

Karşılaştırma yapılırken her fırının kendi ayarlı termostat pozisyonu ile 150 ve 200 °C sıcaklıklarında yapılan standart deney sonuçları kullanılmıştır. Aşağıda fırın üzerinde yapılan değişiklikler, her durumda elde edilen sıcaklık, hesaplanan güç değerleri ve üzerinde değişiklik yapılan fırınların standart hale göre hesaplanan % farkları verilmiştir.

3.3.1. Fırın Baca Çıkışının Kapatılması (İnfiltrasyon)

Fırın bacasından dış ortama çıkan havanın fırın içi sıcaklık dağılımına ve fırın enerji tüketimine etkisinin gözlenmesi amacıyla fırın sağ üst köşesindeki baca kapatılarak deney yapılmıştır.



Şekil 3.3.2 Fırın baca çıkışının kapatılması

Baca çıkışının engellenmesi sonucunda elde edilen sonuçların standart hale göre % farkı Tablo 3.3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.3.1 İnfiltrasyon deney sonuçlarının standart hale göre % farkı

% = Modifikasyon/Standart		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	-11.16	-1.59	-6.26	-7.39	-6.71	-12.03
	Turbo	0.34	-5.68	-6.35	5.65	-6.94	-3.95
	İki Isıtıcı ve Fan	7.35	3.12	-2.46	0.00	-2.52	6.61
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-7.22	-5.76	-9.14	-9.09	-10.87	-9.20
	Turbo	6.73	-2.55	-1.17	9.55	-5.71	-1.05
	İki Isıtıcı ve Fan	5.78	4.21	-2.22	-0.26	4.48	10.10

Fırın baca çıkışının kapatıldığı infiltrasyon deneylerinde iki ısıtıcı modunda üç fırın için de ön ısıtma süresinin azaldığı görülmektedir. Ön ısıtma süresinde elde edilen en yüksek kazanç 3. fırın için 200 °C iki ısıtıcı modunda gerçekleşmiştir (% 12). Diğer modlarda ise dağınık sonuçlar ortaya çıkmıştır. Turbo modunda iki durum

hariç ön ısıtma süresi azalmıştır fakat kazanç iki ısıtıcı durumundaki kazançtan azdır. Ön ısıtma süresinin uzadığı deneylerde deney başlangıç sıcaklıklarının standart hale göre düşük olduğu gözlenmiştir. İki ısıtıcı ve fan durumunda ise ön ısıtma süresi genel olarak standart hale göre uzundur. Kısa ön ısıtma süresi komponent başlangıç sıcaklıklarının yüksek olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır.

5. çevrim sonunda fırınların tükettikleri enerji değerlerinde iki ısıtıcı durumunda azalma olduğu, turbo durumunda ön ısıtma süresi yükselmiş deneyler dışında enerji tüketiminin azaldığı ama kazancın iki ısıtıcı durumuna göre yine az olduğu, gözlenmiştir. İki ısıtıcı ve fan durumunda genel olarak enerji tüketiminin arttığı ortaya çıkmıştır. On-çevrim süresinin iki ısıtıcı durumda orijinal hale göre kısaldığı, fanın açık olduğu durumlarda ise uzadığı, fırının cevap vermede geciktiği görülmüştür. Bu durum da enerji tüketim değerlerine yansımıştır.

Fırın baca çıkışının kapatılması, ısınan havanın genişip, dışarı çıkamaması ve dolayısıyla da kapak aralığından da hava girişinin engellenmesi sebebiyle iki ısıtıcı durumunda ön ısıtma süresi azalmıştır. Fanın çalıştığı durumlarda içeride oluşan zorlanmış hava hareketi nedeniyle infiltrasyonun kendiliğinden engelleniyor olması sebebiyle bu modlarda kayda değer iyileşme sağlanmamıştır.

3.3.2. Baca Çıkışının Kapatılması ve Kapakta O Conta Kullanılması

Fırın kapak aralığından fırın içine giren havanın da engellenmesi için fırın kapak açıklığı U conta yerine O conta ile kapatılmıştır. Baca çıkışının da kapatılmasıyla fırın içinde hava giriş-çıkışı tamamen önlenmiştir.

Tablo 3.3.2 O Conta deney sonuçlarının standart hale göre % farkı

% = Modifikasyon/Standart		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	-6.92	-2.39	-1.87	-5.76	-1.90	-7.52
	Turbo	6.37	-3.22	-3.09	1.19	-0.17	0.00
	İki Isıtıcı ve Fan	0.90	0.74	7.25	1.63	4.44	4.96
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-7.04	-6.85	-3.64	-4.11	-4.98	-4.74
	Turbo	9.29	0.72	2.79	2.17	-0.27	1.99
	İki Isıtıcı ve Fan	0.59	1.05	6.88	-0.06	7.80	6.97

Bu haldeki ön ısıtma süresi ve enerji tüketimi değerlerinin standart hale göre % olarak hesaplanan farkları yukarıda, Tablo 3.3.2'de verilmiştir.

Fırın baca çıkışının ve kapak aralığının kapatıldığı O conta deneylerinde de dağınık sonuçlar elde edildiği görülmüştür. İki ısıtıcı durumunda ön ısıtma süresi her durum için azalmıştır. 2. ve 3. fırın 150 °C iki ısıtıcı durumunda fırın içi sıcaklığın yüksek olması sebebiyle ön ısıtma süresindeki azalma daha düşüktür. Turbo modunda dağınık sonuçlar elde edilmiştir. Çok yüksek bir kazanç beklenmeyen bu durumda elde edilen fırın içi sıcaklıkları ve deney başlangıç sıcaklıkları sonuçları etkilemekte veya düşük bir kazanç elde edilmekte, ya da sıcaklıklara göre durum tersine dönmektedir. 1. fırın 150 °C'de deney başlangıç sıcaklığının düşük olması sebebiyle ön ısıtma süresi uzundur. İki ısıtıcı ve fan durumunda ise ön ısıtma süresinin yapılan değişiklikten çok etkilenmediği, standart hal ile yakın fırın içi sıcaklıklarında ön ısıtma süresinin sabit kaldığı, elde edilen yüksek fırın içi sıcaklıklarında ön ısıtma süresinin uzadığı görülmüştür (2. fırın 150 °C).

5. çevrim sonuna kadar tüketilen enerji miktarları ele alındığında iki ısıtıcı modunda miktarı elde edilen fırın içi sıcaklığı ile değişen iyileşme elde edilmiştir. İki ısıtıcı modunda en düşük iyileşme 2. fırın 150 °C sıcaklığında elde edilmiştir. Bunun sebebi yüksek ön ısıtma süresidir. Bu çalışma modunda hava çevriminin engellenmesi sebebiyle on-çevrim süresinin kısaldığı görülmüştür. Turbo ve iki ısıtıcı ve fan modlarında fırınların genel olarak standart hale göre daha fazla enerji tükettikleri, birkaç durum için ise enerji tüketiminin sabit kaldığı görülmüştür.

O Conta deneylerinde iyileşme iki ısıtıcı durumunda elde edilmiş, diğer modlarda iyileşme elde edilememiştir. On-off deneylerde fırın içi ortalama sıcaklığının, dış ortam sıcaklığının deneyler üzerindeki etkisinin yüksek olması ve bu değerlerin her deneyde farklılık göstermesi sebebiyle turbo ve iki ısıtıcı ve fan modlarında iyileşme elde edilememiştir. İki ısıtıcı durumunda fırın kapak girişinin ve baca çıkışının kapatılması, fırının daha çabuk ısınmasına ve enerji tüketiminin azalmasına sebep olmaktadır. Fanın açık olduğu durumlarda iyileşmenin azalması fırında fan açıkken kapalı bir hava çevrimi oluşabileceği ve bu sebeple infiltrasyonun engelleniyor olabileceğine bağlanmıştır.

3.3.3. Üst Isıtıcı Üzerine Yansıtıcı Plaka Konması

Üst ısıtıcıdan radyasyonla yayılan ısıнын fırının içine yansıtılıp, duvarlardan ve üst yüzeyden kaçmasının engellenmesi amacıyla fırın üst ısıtıcısının üstüne çelik levha yerleştirilmiştir. Şekil 3.3.3'te fırın üzerinde yapılan değişiklik görülmektedir.



Şekil 3.3.3 Isıtıcı üzeri yansıtıcı

Bu halde elde edile karşılaştırma sonuçları Tablo 3.3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3.3 Yukarı yansıtıcı deney sonuçlarının standart hale göre % farkı

% = Modifikasyon/Standart		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	-5.36	2.71	-6.70	-1.71	-5.82	-5.86
	Turbo	-3.18	-2.46	-9.61	1.09	0.69	-5.04
	İki Isıtıcı ve Fan	-3.35	2.05	-3.19	2.28	-1.20	4.13
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-12.37	-12.66	-17.77	-16.62	-18.21	-16.74
	Turbo	6.99	3.06	3.35	10.64	4.63	3.61
	İki Isıtıcı ve Fan	-4.27	2.68	-5.11	-0.58	2.16	9.58

Üst ısıtıcının üzerine ısıtıcıdan ayrılan radyasyon ısısının fırın içine yansıtılması amacıyla çelik bir levhanın konulduğu bu deneyde, çelik levhanın kalın ve ağır olmasına karşın, ön ısıtma süresinin iki ısıtıcı durumunda bir durum hariç azaldığı gözlenmiştir. Yansıtıcının ısıtıcıdan fırın tavanına doğru yayılan ısıyı fırın içine yansıtıp, üst yüzeye gelen radyasyonla ısı transferini azaltması buna neden olmaktadır. İki ısıtıcı durumunda 1. fırın 200 °C sıcaklığı için elde edilen fırın içi sıcaklığının yüksek olması ve deney başlama sıcaklığının standart hale göre düşük olması sebepler arasında sayılabilir. Yansıtıcı kullanılan fırınlarda iki ısıtıcı durumunda ön ısıtma süresinin % 5 civarında azaldığı görülmüştür. Turbo durumunda ise ön ısıtma süresinin iki durum hariç azaldığı, fakat değişimin de azaldığı görülmüştür. Azalmanın görülmeyen durumlarda ön ısıtma süresi yaklaşık sabit kalmıştır. İki ısıtıcı ve fan durumunda ayarlanan fırın içi sıcaklığına ve başlangıç sıcaklıklarına göre ön ısıtma sürelerinin kısa veya uzun olabildiği görülmektedir.

Baştan itibaren 5. çevrim sonuna kadar fırınların tükettikleri enerji miktarları karşılaştırıldığında, yansıtıcılı durumda, en yüksek kazancın iki ısıtıcı durumunda elde edildiği, turbo modunda tüketimin arttığı, iki ısıtıcı ve fan modunda da ön ısıtma sürelerinin kısaldığı durumlar hariç enerji tüketiminin arttığı gözlenmiştir. Turbo modunda radyasyonla ısı transferinin daha az etkin olması sebebiyle, enerji tüketiminde kazanç olmamıştır. İki ısıtıcı ve fan durumunda ısıtıcı üzerinde etkili ısı transferi mekanizması olan taşınımın yerleştirilen yansıtıcı sebebiyle engellendiği, dolayısıyla da iki ısıtıcı ve fan durumunda da modifikasyon ile çok kazanç elde edilmediği gözlenmiştir.

3.3.4. Fırın İç Yüzeylerinin Yansıtıcı Plakalarla Kaplanması

Isıtıcılardan gelen ısının fırın yüzeyleri tarafından soğurulması, daha sonra da iletim yoluyla dışarı atılmasını engellemek, yüzeylere gelen ısının fırın içine, yiyeceğin üstüne yansıtılmasını sağlamak amacıyla fırın iç yüzeyleri (arka yüzey hariç) emisiviteleri düşük alüminyum levhalarla kaplanmıştır (Şekil 3.3.4). Standart hale göre hesaplanan farklar Tablo 3.3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3.4 Fırın iç duvarlarında yansıtıcı

Tablo 3.3.4 Komple Yansıtıcı deney sonuçlarının standart hale göre % farkı

% = Modifikasyon/Standart		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	6.81	15.94	9.01	17.43	7.61	8.20
	Turbo	-10.55	-14.87	-16.12	-0.98	-13.72	-12.85
	İki Isıtıcı ve Fan	5.80	13.06	5.77	13.09	7.07	15.12
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-12.32	-10.22	-10.24	-9.75	-18.13	-13.78
	Turbo	4.07	-5.13	5.35	10.92	-3.63	-1.97
	İki Isıtıcı ve Fan	0.96	10.57	6.67	13.06	4.83	14.54

Fırın iç duvarlarının yansıtıcı bir malzemeye, alüminyum levhalarla kaplandığı bu deneyde, yerleştirilen levhaların fırın kütlesini artırması, ısıtıcılar açıkken etkin olan radyasyonla ısı transferinin etkisiyle levhaların ısınması sebebiyle iki ısıtıcı ve iki ısıtıcı ve fan durumlarında ön ısıtma sürelerinin arttığı, bu artışın 150 °C sıcaklığında % 6-8 olduğu, 200 °C sıcaklığında ise ısıtılan sıcaklığın artması sebebiyle artışın % 10'ların üstüne çıktığı gözlenmiştir. Artışın en yüksek (% 17.43) 2. fırın 200 °C sıcaklığında ve iki ısıtıcı modunda olduğu görülmektedir. Ön ısıtma süresi sonuçları incelendiğinde standart hale göre fırın iç sıcaklığının yüksek olduğu 1. ve 2. fırınlarda bu artış daha yüksek değerlere sahiptir. Turbo ısıtıcı ve fanın çalıştığı çalışma durumunda ise, radyasyonla ısı transfer mekanizmasının daha az etkin

olması, dolayısıyla levhaların ışınlama ile ısınmasının engellenmesi ve turbo ısıtıcıdan yayılan ısıya konveksiyonla iç havaya verilmesi sebebiyle ön ısıtma süreleri azalmıştır. İki ısıtıcı ve fan durumunda yine levhaların ısı kütlesi sebebiyle ön ısıtma süreleri artmıştır.

Duvarların düşük emisiviteli levhalarla kaplanarak ısıya yiyeceğin üzerine yansıtılması ve fırın duvarlarından iletimle dışarı kaçmasının engellenmesi amaçlanan bu deneyde, enerji tüketimi iki ısıtıcı çalışma modunda azalmıştır. İki ısıtıcı durumunda on-çevrim sürelerinin standart hale göre düşük değerlere sahip olduğu, turbo durumunda ise fazla değişmediği görülmüştür. İki ısıtıcı durumunda yüksek ön ısıtma süresi değerlerine karşın, düşük on-çevrim değerleri sebebiyle enerji tüketimi azalmıştır. Turbo durumunda ise elde edilen farklı güç değerleri sebebiyle enerji tüketim değerleri farklılıklar göstermektedir. İki ısıtıcı ve fan durumunda ise ön ısıtma süresinin artması ile artan kayıp, radyasyonla ısı transferinin etkinleştirilmesi ile elde edilen kazançla karşılanamamış ve enerji tüketimi artmıştır.

3.3.5. Kapak Çerçevesinin ve Cam Aralığının İzole Edilmesi

Fırın kapağı çerçevesinden ve gözetleme penceresinden çevreye kaybedilen ısıya belirlenmesi amacıyla çerçeve ve cam aralığı cam yünü ile izole edilmiştir.



Şekil 3.3.5 Fırın kapağının tamamen izole edilmesi

Değiştirilmiş fırının orijinal hale göre % farkları Tablo 3.3.5'te görülmektedir.

Tablo 3.3.5 Cam izole deney sonuçlarının standart hale göre % farkı

% = Modifikasyon/Standart		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	-4.02	1.12	-10.88	-7.16	-3.69	-5.56
	Turbo	-0.67	-5.68	-15.64	-0.87	0.17	-7.41
	İki Isıtıcı ve Fan	6.31	1.40	-7.00	6.42	-2.52	2.73
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-0.59	-3.04	-9.92	-8.56	-9.58	-8.35
	Turbo	4.16	-1.96	-4.16	4.71	-0.82	-4.11
	İki Isıtıcı ve Fan	3.28	0.30	-3.08	2.64	1.33	4.22

Camdan dış ortama kaçan ısının engellenmesi amacıyla iki cam ve kapı çerçeve arasının cam yünü ile izole edildiği bu deneyde ön ısıtma süresinin iki ısıtıcı ve turbo çalışma modu durumlarında kısaldığı gözlenmektedir. 1. fırın 200 °C iki ısıtıcı durumu için deney başlangıç sıcaklığının düşük olması sebebiyle ön ısıtma süresi az da olsa artmıştır. 2. fırın turbo modu 150 °C sıcaklığında elde edilen yüksek iyileşmenin (% 15.64) sebebi deney başlatılırken fırının tamamen, oda sıcaklığına kadar soğumamış olmasıdır. Isıtıcılardan yayılan radyasyonun camlar arasına yerleştirilen camyünü sayesinde dışarı kaçması engellendiğinden iki ısıtıcı durumunda yüksek iyileşme değerleri elde edilmiştir.

İki ısıtıcı ve fan durumunda ise iki durum hariç ön ısıtma süresi uzamıştır. 2. ve 3. fırın 150 °C sıcaklığında fırın başlangıç sıcaklığının ve dış ortam sıcaklığının standart hale göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu da ön ısıtma süresinin azalmasına sebep olabilir.

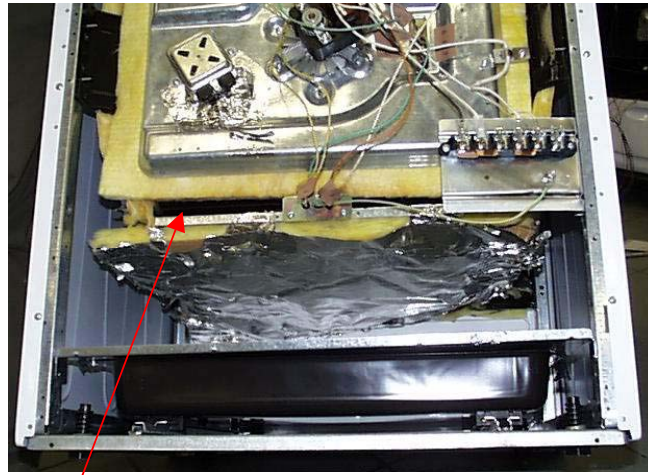
Baştan itibaren 5. çevrim sonuna kadar harcanan enerji değerleri ele alındığında, iki ısıtıcı çalışma modu için enerji tüketiminin azaldığı, en büyük enerji kazancının 2. fırın iki ısıtıcı durumunda ortaya çıktığı gözlenmiştir (% 9.92). Sistemin enerji kazancının en düşük olduğu çalışma modu ise iki ısıtıcı ve fan durumudur. İki ısıtıcı ve fan durumunda ön ısıtma süresi kısalan bir durum hariç enerji tüketimi artmıştır.

Alt ve üst ısıtıcının açık olduğu durumda etkin olan radyasyonun engellenmesi sebebiyle bu modda iyileşme elde edilmesi normaldir. Turbo modda da radyasyon kaynağı olan fan koruma sacı, kapağı dik olarak görmektedir. Bu nedenle turbo

modda da iki ısıtıcı modunda olduğu gibi enerji tüketim değerlerinde azalan kayıp radyasyon enerjisi nedeniyle bir azalma görülmektedir. Isı iletim katsayısı düşük olan cam yününün iletimi engellemesi de bir sebeptir. İki ısıtıcı ve fan durumunda beklenen iyileşme elde edilememiştir.

3.3.6. Alt Isıtıcı Koruma Sacının Cam Yünü ile İzole Edilmesi

Dört yüzeyi cam yünü ile izole edilmiş fırının izolasyona sahip olmayan tek yüzeyi, alt ısıtıcı koruma sacı da, bu sacdan dış ortama kaçan ısının engellenmesi amacıyla cam yünü ile izole edilmiştir.



Alt ısıtıcı koruma sacı

Şekil 3.3.6 Alt ısıtıcı sacının ve ısıtıcı girişinin izole edilmesi

Deney sonuçları ile hesaplanan % farklar aşağıdaki tabloda (Tablo 3.3.6) verilmiştir.

Tablo 3.3.6 Alt Yüzey İzole deney sonuçlarının standart hale göre % farkı

% = Modifikasyon / Standart		1. Fırın		2. Fırın		3. Fırın	
		150 °C	200 °C	150 °C	200 °C	150 °C	200 °C
Ön Isıtma Süresi [dak]	İki Isıtıcı	-5.13	2.15	0.33	-1.01	-3.91	-8.12
	Turbo	-0.50	-3.41	-0.49	4.02	-2.95	-9.29
	İki Isıtıcı ve Fan	5.80	0.58	4.05	4.23	-3.12	-0.33
Enerji Tüketimi [Wh]	İki Isıtıcı	-2.46	-0.81	-4.93	-6.08	-9.22	-7.21
	Turbo	6.07	1.42	5.30	6.92	-1.83	-4.27
	İki Isıtıcı ve Fan	2.37	0.99	3.50	2.50	0.37	2.61

Alt ısıtıcı koruma sacının cam yünü ile izole edildiği deneylerde iki ısıtıcı durumunda 1. fırın 200 °C hariç ön ısıtma süresinin kısaldığı görülmektedir. Bu deneyde de elde edilen fırın içi sıcaklığının standart haldeki fırın içi sıcaklığına göre yüksek olduğu ve deney başlangıç sıcaklığının standart hale göre düşük olduğu, bu sebeple de ön ısıtma süresinin arttığı belirlenmiştir. Turbo modunda ise yine ön ısıtma süresinin kısaldığı fakat bu azalmanın iki ısıtıcı durumundaki kadar olmadığı gözükmemektedir. 2. fırın 200 °C sıcaklığı için ön ısıtma süresinin uzaması elde edilen daha düşük güç değerlerine bağlı olabilir. İki ısıtıcı ve fan durumunda ise 3. fırın hariç ön ısıtma süresinin uzadığı görülmüştür. Bu durumda elde edilen yüksek güç değerleri ön ısıtma süresinin ksalmasına sebep olmuştur.

5. çevrim sonunda fırınların tükettikleri enerji değerleri iki ısıtıcı modunda her durum için azalmıştır. Alt ısıtıcı koruma sacının izole edilmesi, ısının alt ortama kaçmasının engellenmesi, bu bölgeden kaybın en fazla olduğu iki ısıtıcı durumunda etkili olmuştur. Turbo ve iki ısıtıcı ve fan durumunda beklenen iyileşme sağlanamamıştır.

3.4. Sabit Sıcaklık Standart Deneyleri

Termostatik çalışma deney sonuçlarında da görüldüğü gibi, fırında gerçekleşen prosesi etkileyen parametre sayısının çok oluşu ve bu parametrelerin her seferinde özdeş ayarlanamaması on-off deneylerinden beklenen sonuçların elde edilmesini güçleştirmektedir.

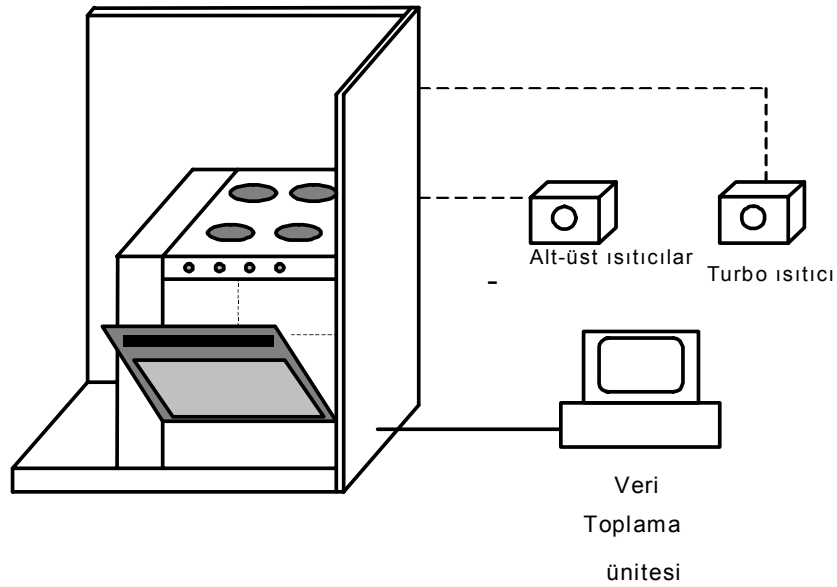
Termostat kontrolünün mekanik bir düğme ile yapılması ve bu düğmenin kalibre edilmiş skalasının çok hassas olmaması sebebiyle elde edilen farklı fırın içi sıcaklıkları, termostatin belirli bir hassasiyet aralığının olması, kararlı halde çok etkili olmayan fırın kütlesinin deney sonuçları (ön ısıtma ve 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. Isıtıcılara uygulanan güç değerleri bile her deney, her sıcaklık için 100 W'a yakın farklılıklar göstermektedir.

Sonuçları etkileyen ve belirsizlik yaratan parametre sayısının azaltılması, kontrollü deney yapma olanağını sağlaması, farklı fırınlar, sıcaklıklar ve çalışma modları arasındaki farkların kolayca belirlenebilmesine ve fırının ısı kaybı mekanizmalarının

daha kolay, hassas ve hızlı şekilde belirlenmesine olanak sağlaması ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalarda kolaylık sağlaması sebebiyle fırınların performanslarının araştırılmasında sabit sıcaklık (UA) deney metodolojisi geliştirilmiştir. Bu deney sistemi ile ilgili ayrıntılar, deney düzeneği, deney metodolojisi ve deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

3.4.1. Sabit Sıcaklık Deney Düzeneği

Sabit sıcaklık deneylerinde, fırın sıcaklığı sabit bir değerde tutularak fırının kararlı rejimdeki çalışması gözlenmiş ve fırın içinde çeşitli noktalarda sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Fırının çektiği güç, akım ve voltaj değerleri de kaydedilmiştir. Fırının iç sıcaklığının sabit tutulması için, ısıtıcıların ve fanın güçlerini değiştirip kontrol etmek amacıyla iki adet varyak ve güç, akım ve voltaj değerlerini hassas bir şekilde ölçmek için Siemens Wattmetre kullanılmıştır. Deneyler sırasında ölçülen sıcaklık verilerini toplamak için ise 20 kanallı taşınabilir veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.4.1 Deney düzeneğinin şematik gösterimi

Fırın karakteristiğini belirlemek üzere yapılacak sıcaklık ölçümleri için çeşitli noktalara J tipi termoeleman yerleştirilmiştir. Bu noktalar:

- Fırın iç havasında 6 adet,
- Fırın iç yüzeylerine 5 adet,

- Fırın kapak camının iç ve dış taraflarına birer adet,
- İki cam arasındaki ortama 1 adet,
- Fırının dört yüzeyi üzerinde bulunan izolasyonu kaplayan alüminyum folyo üzerine 4 adet,
- Alt ısıtıcı haznesine 1 adet,
- Fırının dış gövdesinin üzerine 1 adet olmak üzere toplam 20 adet termoeleman mevcuttur.

Fırının içinde bulunduğu ortamın sıcaklığı ise deney köşesinin sol üst köşesine yerleştirilen T tipi bir termoeleman ile ölçülmüştür.

Deney köşesinin genel görünüşü Şekil 3.4.2’de verilmiştir.



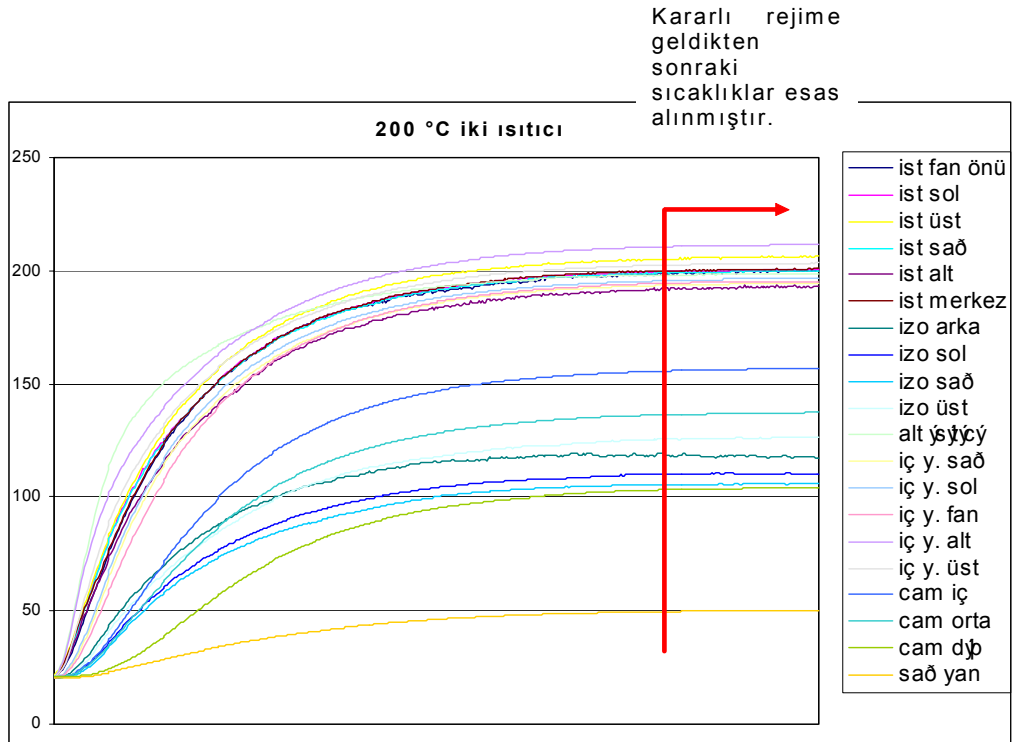
Şekil 3.4.2 Deney köşesinin genel görünüşü

Sabit sıcaklık deneyleri de on-off deneyleri gibi iki kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak fırın üzerinde değişiklik yapılmadan çalıştırılmış, daha sonra çeşitli değişikliklerle fırının enerji tüketiminin azaltılması amaçlanmıştır.

Sabit sıcaklık deneyleri 4 adet fırın üzerinde tekrarlanmıştır. İlk deneyler multi fonksiyon, elektronik fırın üzerinde, 200 °C ortalama fırın içi sıcaklığı için ve fırının

Üç modu için yapılmıştır. Daha sonra fırınlar arası belirsizliklerin bulunması amacıyla aynı modele sahip özdeş üç fırın üzerinde deney yapılarak farklı fırınlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu deneyler de yine fırının üç çalışma modunda, 150 °C ve 200 °C fırın içi sıcaklıkları için tekrarlanmıştır.

Sabit sıcaklık deneylerinde fırın içi sıcaklığı istenen değerde sabit kalacak şekilde ısıtıcı güçleri varyak yardımıyla ayarlanmakta ve bir transduser yardımıyla ölçülmektedir. Deneylerde yerleri ve tipleri yukarıda belirtilen termoelemanların ölçtüğü sıcaklıklar, ısıtıcılara ve fana uygulanan güç değerleri ve voltaj, akım değerleri kaydedilmiştir. Aşağıdaki şekilde iki ısıtıcı çalışma modu için sıcaklık, güç-zaman grafikleri örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.4.3 Sıcaklık-zaman grafiği / alt ve üst ısıtıcı açık 200 °C

Deneylerde sisteme ait UA değerleri tanımlanmıştır. Sistem kararlı hale geldikten sonraki bölgede sıcaklıkların ortalamaları alınarak her bir termoelemanın ölçtüğü ortalama sıcaklık elde edilmiştir. İstavroz üzerine konan termoelemanların ölçtüğü sıcaklıkların ortalaması ise iç ortam sıcaklığı olarak kabul edilmiş, dışarıda bulunan T tipi termoelemanın ölçtüğü sıcaklık da ortam sıcaklığı olarak alınmıştır. Fırının üç modu için wattmetreden ayrı ayrı okunan güç değerleri iç-dış ortam sıcaklık farkına

bölünerek sistem için tanımlanan UA değerleri (toplam ısı geçiş katsayısı) aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır. Bulunan bu UA değerleri de, farklı sıcaklıklarda, farklı modlarda ve fırın üzerinde modifikasyon yapıldığı durumlarda fırının enerji tüketimi davranışlarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

$$UA = \frac{\text{Toplam güç}}{(T_{iç} - T_{dış})} \quad (3-9)$$

$$\text{Toplam güç} = P_{ısıtıcı} + P_{fan} + P_{lamba} \quad (3-10)$$

$$T_{iç} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6}{6} \quad (3-11)$$

$T_{iç}$: Fırın içi sıcaklığı, [°C]

$T_{dış}$: Dış ortam sıcaklığı, [°C]

$P_{ısıtıcı}$: Isıtıcıya uygulanan güç, [W]

P_{fan} : Fana uygulanan güç, [W]

P_{lamba} : Fırının aydınlatılmasında kullanılan lambaya uygulanan güç, [W]

T_{1-6} : Fırın iç hava sıcaklıkları, [°C]

Sabit sıcaklık deneylerinin ilk kısmında fırınlar üzerinde hiç değişiklik yapılmadan fırınların UA değerleri hesaplanmıştır. Standart deneylerde ilk olarak farklı sıcaklıklarda fırın performansı sorgulanmış, özdeş fırınlar arasındaki farkların belirlenmesi için deneyler üç fırın üzerinde, 200 °C fırın içi sıcaklığında tekrarlanmıştır. Deney matrisi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.4.1 Sabit sıcaklık standart deney matrisi

		İki ısıtıcı	Turbo	Çok Fonk.
Standart Deneyler	Model 1	150 °C	150 °C	150 °C
		200 °C	200 °C	200 °C
		250 °C	250 °C	250 °C
	Model 2	200 °C	200 °C	200 °C

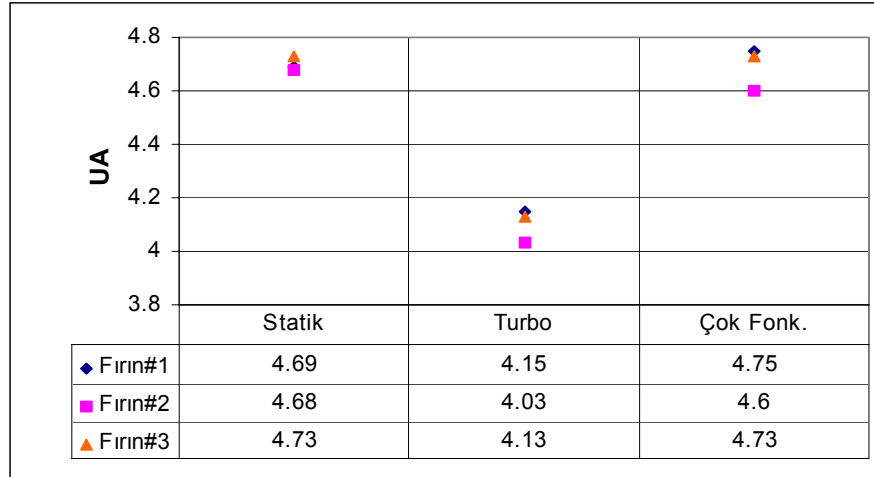
Farklı sıcaklıklarda fırının performansının incelenmesi için sabit sıcaklık deneyler bir fırın üzerinde, üç çalışma modunda ve 150 °C, 200 °C ve 250 °C fırın içi sıcaklıklarında yapılmıştır. Elde edilen UA değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Tablo 3.4.2 Üç sıcaklık ve üç çalışma modu için elde edilen UA değerleri

Deney	İki ısıtıcı	Turbo ısıtıcı ve fan	İki ısıtıcı ve fan
150 °C	4.48	3.75	4.33
200 °C	4.53	4.00	4.67
250 °C	5.56	4.51	5.34

UA değerlerinden sıcaklık arttıkça fırının enerji kaybının arttığı, en düşük UA değerinin ise turbo modunda ortaya çıktığı görülmektedir.

Fırınla arası belirsizliklerin bulunması için özdeş üç fırın üstünde, 200 °C sıcaklığında yapılan deneylere ait sonuçlar Şekil 3.4.4'te üç fırının 200 °C fırın içi sıcaklığı ve üç çalışma modu için hesaplanan UA değerleri grafiği halinde verilmiştir.



Şekil 3.4.4 Sabit sıcaklık belirsizlik deney sonuçları

Özdeş üç fırın üstünde, 200 °C sıcaklığında yapılan deneylerde elde edilen UA değerlerinin ortalaması alınmış ve her bir fırının ortalama UA değerinden farkı % olarak hesaplanmıştır.

$$\%Fark = \frac{UA_{i.fırın} - UA_{ort}}{UA_{ort}} \times 100 \quad (3-12)$$

$UA_{i.fırın}$: i. Fırının UA değeri

UA_{ort} : Ortalama hal UA değeri

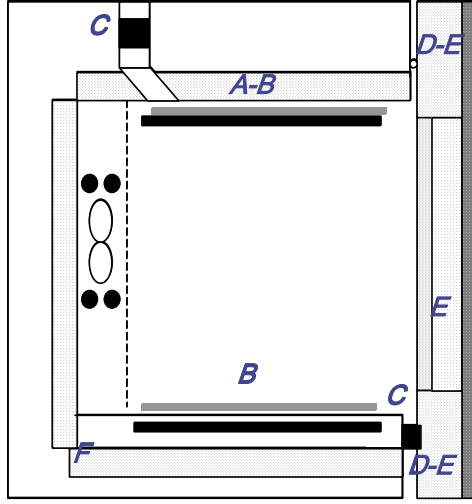
Yukarıdaki grafikten fırınlar arası en yüksek farkın % 2 olduğu ve bunun iki ısıtıcı çalışma modunda ortaya çıktığı görülmektedir. Bu fark termostatik çalışma durumunda % 6 civarında elde edilmiştir.

3.5. Sabit Sıcaklık Modifikasyon Deneyleri

Sabit sıcaklık standart deneylerinden sonra, fırın üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak fırının enerji tüketimi karakteri sorgulanmıştır. Fırın standart olarak kabul edilen 200 °C sıcaklığında ve üç çalışma modunda çalıştırılarak deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde de sıcaklıklar ölçülmüş ve ölçülen güç, akım, voltaj değerleri kaydedilmiştir. Yine her halde sistemin UA değerleri hesaplanmış ve bu değerler standart haldeki UA değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde, yani modifikasyon deneylerinde ise, toplam on yedi adet deney yapılmıştır.

Termostatik çalışma deneylerinden farklı olarak sabit sıcaklık deneylerinde yalnızca baca çıkışının kapatıldığı değişiklik yapılmamıştır. Bunun yanında fırın camından kaçan enerjinin belirlenebilmesi için tüm fırın kapağının izole edilmesinin yanında, yalnızca kapak çerçeve aralığı izole edilmiştir. Son olarak da normalde içi sırlanmış olan gözetleme camı normal camla değiştirilerek yansıtıcı katmanın ısı geçişini ne kadar engellediği bulunmak istenmiştir. Önceki deneylerden farklı olan değişiklikler aşağıda anlatılmıştır.

Ayrıntıları bir önceki bölümlerde verilen modifikasyonlardan uygulananların listesi ve şematik gösterimi şöyledir:



- A. Üst ısıtıcı üzerine reflektör yerleştirilmesi
- B. Fırın iç duvarlarının yansıtıcı plakalarla kaplanması
- C. Kapak aralığının ve baca çıkışının kapatılarak infiltrasyonun engellenmesi
- D. Kapak çerçevesinin izole edilmesi
- E. Kapağın izole edilmesi
- F. Alt ısıtıcı sacının izole edilmesi
- G. Kapıda reflektif olmayan gözetleme camı kullanılması

Şekil 3.5.1 UA deneylerinde fırın üzerinde yapılan değişiklikler

Kapak Çerçevesinin ve Cam Aralığının İzole Edilmesi

Kapı deneylerinin ikinci aşamasında ise, kapı üzerinde bulunan gözetleme penceresinin ısı kayıplar üzerindeki etkisinin gözlenmesi amacıyla ilk deneyden farklı olarak cam bölgesindeki cam yünü çıkartılarak deney tekrarlanmıştır.



Şekil 3.5.2 Kapak çerçevesinin izole edilmesi

Kapıda yansıtıcı olmayan klasik gözetleme camı kullanılması

Bu deneyde fırın iç tarafına bakan yüzü sırlanmış olan fırın camı, yansıtma özelliği bulunmayan bir camla değiştirilmiştir. Bu deneyle yansıtıcı camın ısıtıcılardan gelen radyasyonun ne kadarını içeri yansıttığı hakkında fikir edinmek amaçlanmıştır.



Şekil 3.5.3 İç tarafı yansıtıcı cam



Şekil 3.5.4 Yansıtıcı olmayan normal cam

Fırın üzerinde yapılan değişikliklerin enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi amacıyla değişiklik yapılmış haldeki UA değerinin standart halde elde edilen UA değerine göre % olarak farkı aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır:

$$\%Fark = \frac{UA_{mod} - UA_{orj}}{UA_{orj}} \times 100 \quad (3-13)$$

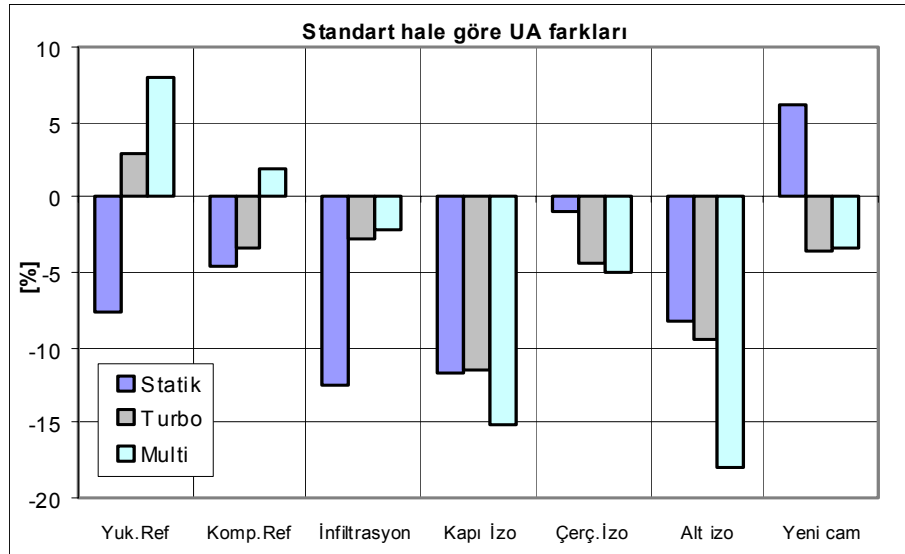
UA_{mod} : Modifikasyon deneyinin UA değeri

UA_{orj} : Orijinal hal UA değeri

Standart hale göre hesaplanan % farklar aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tablo 3.5.1 Değişiklik yapılmış hal UA değerlerinin standart hale göre % farkı

% FARK	İki ısıtıcı	Turbo ısıtıcı ve fan	İki ısıtıcı ve fan
Isıtıcı üzeri yansıtıcı	-7.7	3.0	7.9
Duvarlar yansıtıcı	-4.6	-3.3	1.9
İnfiltrasyon yok	-12.4	-2.8	-2.1
Kapı izole edilmiş	-11.7	-11.5	-15.2
Kapak izole edilmiş	-0.9	-4.3	-4.9
Alt yüzey izole	-8.2	-9.5	-17.9
Yeni (klasik) cam	6.2	-3.5	-3.4



Şekil 3.5.5 Değişiklik yapılmış fırın UA değerlerinin std hale göre fark grafiği

Yukarıda, Şekil 3.5.5'te yapılan değişiklikler ile elde edilen sonuçların orijinal hal ile karşılaştırıldığı grafik verilmiştir:

Fırının standart hali ile modifikasyon yapılmış halleri arasında hesaplanan farklar ise aşağıdaki gibi yorumlanmıştır:

- i. **Isıtıcının üzerine yansıtıcı plaka yerleştirilmesi hali:** Üst ısıtıcının üstünde yansıtıcı varken ve alt ve üst ısıtıcı açıkken sistemin UA değerinin standart sistemin UA değerine göre % 7.73 oranında azalarak iyileşme sağlandığı görülmüştür. Fanın açık olduğu durumlarda ise, turbo ısıtıcı ve fan açıkken % 3, iki ısıtıcı ve fan açıkken ise % 7.9 kötüleşme gözlenmiştir. Bu durumdaki kötüleşmeye, yansıtıcı malzemenin, fanın açık olduğu durumlarda etkin ısı transfer mekanizması olan, ısıtıcıların üstünde gerçekleşen konveksiyon mekanizmasını engellemesinin sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, yansıtıcı plakanın amacı ısıtıcılardan yükselen ısının fırının içine, yiyeceğin üzerine odaklanarak bu ısının yiyecek tarafından soğurulmasını sağlamaktır. Ancak, deney sırasında fırın içinde hiçbir kütle bulunmamasının da gerçek sonuçların elde edilmesini engellediği tahmin edilmektedir. Yansıtıcı plakayla ilgili bir önemli nokta da, deneyde kullanılan çelik plakanın kalın ve ağır olması, ısıtıcılardan gelen ısının bir kısmını da kendinin soğurması sonuçları bir miktar saptırmaktadır.
- ii. **Fırın iç duvarlarının yansıtıcı malzeme ile kaplanması hali:** Fırının duvarlarının emisivitesi düşük Al levha ile kaplandığı bu durumda, alt ve üst ısıtıcı açık halde % 4.64 iyileşme sağlanmıştır. Turbo ısıtıcı ve fan açıkken ise iyileşme değeri % 3.25'e düşmektedir. İki ısıtıcı ve fan açıkken ise sistemde % 1.93 kötüleşme gözlenmiştir. İyileşmelerin sebebinin fırın duvarlarının, ısıtıcılardan gelen ısıyı soğurmaması, yansıtması sebebiyle, sıcaklıklarının düşük kalması olduğu düşünülmektedir. Plaka sıcaklıklarının düşük kalması sebebiyle fan açıkken etkin olan konveksiyon ısı transferinin etkisi azalmakta ve bu durumdaki iyileşme azalmaktadır.
- iii. **Sistemde infiltrasyonun engellendiği hal:** Fırın kapağının alt kısmının ve baca çıkışının kapatılarak infiltrasyonun engellendiği bu durumda ise alt ve üst ısıtıcı açıkken % 12.36 iyileşme görüldüğü, turbo ısıtıcı ve fan açıkken iyileşmenin % 2.75'e, iki ısıtıcı ve fan açıkken ise % 2.14'e düştüğü görülmüştür. Fırının içinden hava ile birlikte ısı kaçıışı da engellendiği için her üç durumda da iyileşme görülmesi normaldir. Fanın açık olduğu durumlarda

iyileşmenin azalması ise, fırında fan açıkken kapalı bir hava çevrimi oluşabileceği ve bu sebeple infiltrasyonun minimize ediliyor olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

iv. **Fırın kapağının izole edilmesi hali:** Kapı çerçevesi ve iki cam arasına cam yünü izolasyon malzemesi konularak oluşturulan bu durumda, yalnız alt ve üst ısıtıcı açıkken sistem UA değeri % 11.7 daha az hesaplanmıştır. Turbo ısıtıcı ve fan açıkken iyileşme, % 11.5, iki ısıtıcı ve fan açıkken ise % 15 olmaktadır. Çerçeveden ve camdan ortama ısı geçişi engellendiği için bu modifikasyonla kayda değer iyileşme elde edilmiştir. Konulan izolasyonla, fırın kapısından ısı iletimi yoluyla kaçan enerji engellendiği gibi, gözetleme camına konan cam yünü sebebiyle fırından çevreye radyasyon yolu ile kaçan enerji de engellenmiştir. Bu sebeple sistemden her üç çalışma modunda da yüksek iyileşme elde edilmiştir.

v. **Fırın kapı çerçevesinin izole edilmesi hali:** Bu durumda ise kapının sadece çerçeve kısmı izole edilmiş, camlar arası izolasyon ise çıkarılmıştır. Alt ve üst ısıtıcı açıkken belirgin bir değişme gözlenmemiş, turbo ısıtıcı ve fan açıkken % 4.25, iki ısıtıcı ve fan açıkken ise % 4.93 iyileşme sağlanmıştır. İki ısıtıcının devrede olduğu durumda, baskın ısı transferinin ışıınım olması ve camdan kaybedilen ısıнын çok yüksek olması sebebiyle, çerçeveden ısı kaçışının engellenmesi sistemde çok etkili olmamıştır.

Bir önceki maddeyle karşılaştırma yapıldığında ise, kapıda bulunan gözetleme penceresinden kaçan ısıнын % 8-9 mertebesinde olduğu söylenebilir.

vi. **Alt ısıtıcı koruma sacının izole edilmesi hali:** Fırının izole edilmemiş tek yüzeyi olan alt ısıtıcı koruma sacının izole edildiği bu durumda alt ısıtıcı bölmesinden ortama kaçan ısı kaybı engellendiği için tüm çalışma modlarında kayda değer iyileşme elde edilmiştir. Yapılan tüm modifikasyonlar içinde en yüksek iyileşme bu modifikasyonun iki ısıtıcı ve fan çalışma modunda elde edilmiştir. (% 18)

vii. **Gözetleme penceresinde klasik cam kullanılması hali:** Yansıtıcı olan fırın kapak camının normal cam ile değiştirildiği bu durumda, iki ısıtıcı durumunda % 6.18'lik bir kötüleşme gözlenmiştir. Turbo ısıtıcı ve fan açıkken % 3.5, iki ısıtıcı ve fan açıkken ise % 3.43'lük iyileşme görülmüştür. Yine radyasyonla ısı transferinin etkili olması ve yüksek sıcaklıklı ısıtıcıların sırlanmamış cam

sebebiyle ortamı görmesinin kötüleşmeye sebep olabileceği düşünülmektedir.

3.6. Tuğla Testi Standart Deneyleri

Fırın enerji tüketiminin standardize edilmesi ve enerji sınıfının belirlenmesi amacıyla uygulanan tuğla testi CENELEC tarafından yayınlanan uluslararası EN 50304 [24] numaralı standarda göre yapılmıştır. Deneylerde ilk olarak fırın, üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan çalıştırılmış ve fırın ve tuğla üzerinde çeşitli noktalara yerleştirilen termoelemanlar yardımıyla, sıcaklık değişimleri gözlenmiştir.

Deneyler fırının iki ısıtıcı (statik) ve turbo modlarında yapılmıştır. Sıcaklıklar statik hal için 140, 180 ve 220 °C, turbo mod için ise 135, 155 ve 175 °C' dir. Bu sıcaklıklar deney başlangıcında ortam sıcaklığında olan fırın iç havasının sıcaklığındaki artış değerleridir. Deneyden önce buzdolabında suda bekletilen tuğlalar fırına yerleştirilmekte ve iç sıcaklıklarında 55 K artış olduğunda fırından çıkarılmaktadır. Bu zaman zarfında ve tuğla çıktıktan sonra fırın 5 tam çevrim yapana kadar geçen sürede fırının enerji tüketimi hesaplanmakta ve bu değerler standartlarla karşılaştırılarak fırının enerji sınıfı belirlenmektedir.(A/B/C/D/E/F/G) .

İkinci kısımda ise termostatik çalışma ve sabit sıcaklık deneylerinde fırın üzerinde yapılan değişiklikler uygulanarak, bu değişikliklerin fırının enerji seviyesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Değiştirilmiş halde elde edilen enerji tüketim değerleri, mevcut haldeki değerlerle karşılaştırılmıştır.

Her iki grup deneyde de fırın içinde oluşturulan bir düzenele tuğla ağırlığı ölçülmekte ve bu sayede su emdirilmiş tuğlanın deney boyunca kaybettiği su miktarı bulunmaktadır.

Son olarak tuğlanın sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi amacıyla tuğlanın çeşitli noktaların termoeleman yerleştirilerek standart deney prosedürü uygulanmıştır.

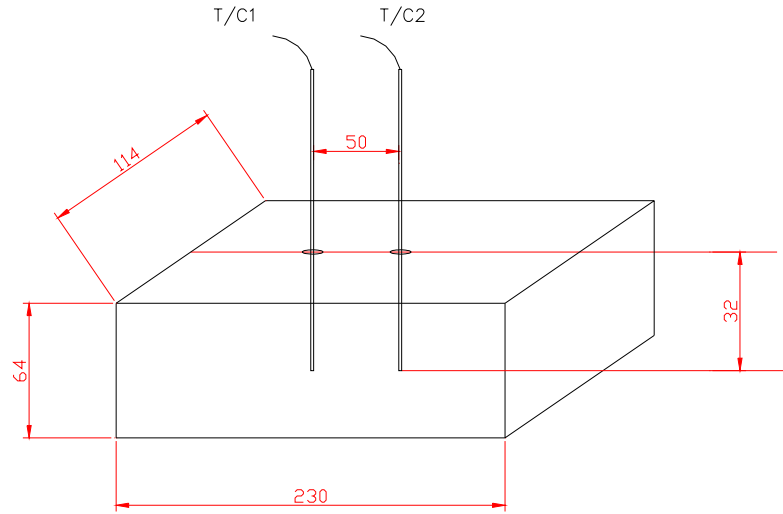
CENELEC tarafından yayınlan EN50304 numaralı standart uyarınca yapılan tuğla testinin amacı;

- ✓ Standartlaştırılmış bir test prosedürü boyunca, standartlaştırılmış bir yük kullanılarak enerji tüketiminin hesaplanması,

- ✓ Hacim, bir yükü ısıtmak için gerekli süre, pişirme tepsileri alanı gibi özel performans karakteristiklerinin elde edilmesi,
- ✓ İmalatçının deklere ettiği değerlere izin verilen toleranslar ve bu değerlerin kontrol edilmesi için kontrol prosedürlerinin elde edilmesi.

Testte kullanılan yük, Şekil 3.6.1'de gösterildiği gibi üzerinde sıcaklık ölçümü için iki adet delik bulunan, tuğla olarak adlandırılan gözenekli bir malzemedir. Standart tuğlanın özellikleri;

Yoğunluk,kuru	: 550 kg/m ³
Kuru ağırlık	: (920 ± 75) g
Su emmesi	: (1050 ± 50) g
Boyutlar	: 230*114*64 mm

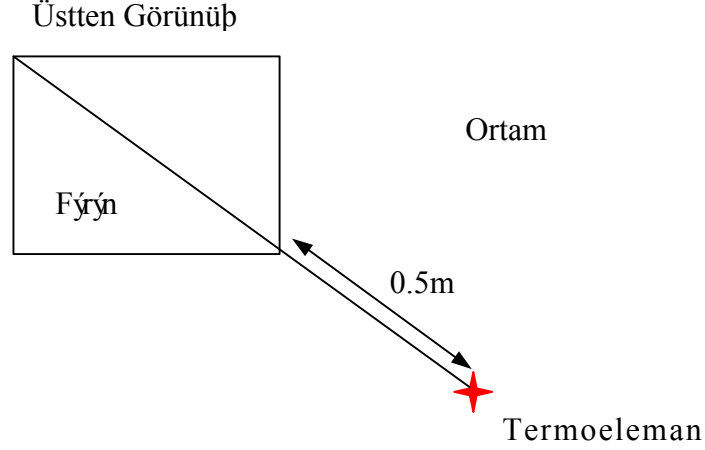


Şekil 3.6.1 Tuğla iç sıcaklık ölçümü

3.6.1. Tuğla Testi Deney Hazırlıkları ve İşlem Adımları

Her testten önce tüm cihaz (malzeme ve izolasyon), ortam sıcaklığında olmalıdır. Testler, içinde havalandırma olmayan ve tüm test boyunca sıcaklığı $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ olan bir odada gerçekleştirilmelidir. Ortalama ortam sıcaklığı, testin başı ile, iki termoelemanda da merkez sıcaklık artışının 55 K olması arasında ölçülen ortam sıcaklıklarının aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilir. Oda sıcaklığı, fırın

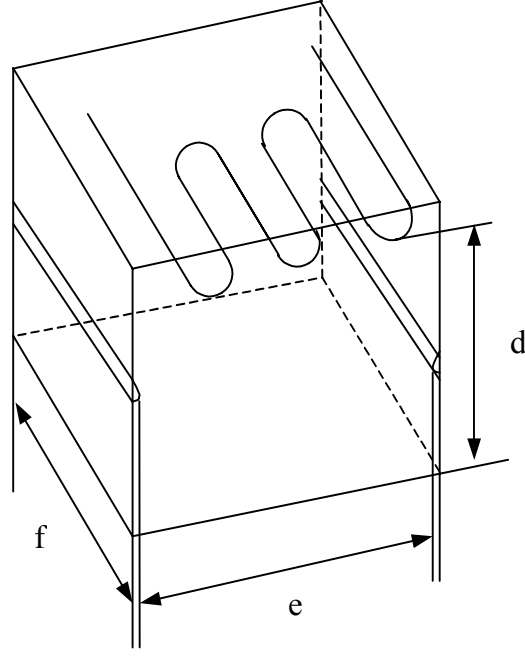
kavitesinin kullanılan hacminin merkezi ile aynı yükseklikte ve cihazın ön kenarlarından birinden köşegenel olarak 0.5 m mesafede bir noktadan ölçülecektir. Oda sıcaklığının ölçümü fırının kendisinden veya başka bir cihazdan etkilenmeyecektir (Şekil 3.6.2).



Şekil 3.6.2 Oda sıcaklığı ölçümü

Tuğla sıcaklığı ölçümleri, 1 mm çapında çelik tüple sarılmış iki adet termoeleman ile yapılır. Termoelemanların hassasiyetleri ± 1.5 K olmalıdır ve termoelemanlar tuğla derinliğinin tam ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilmelidir (32 mm). Deney süresince termoelemanların konumlarının sabit kalması sağlanmalıdır. Kılıflı termoelemanlar ile aynı sonucu verdikleri gösterildiği takdirde bunlar yerine başka tip termoelemanlar da kullanılabilir (Termoelemanlar silikon damlası veya uygun başka bir yolla tuğlanın yüzeyine yapıştırılabilirler. Tuğlanın porozitesi sebebiyle termoelemanlar çıkarılıp takılırken tuğla deliklerinin büyütülmemesine dikkat edilmelidir. Bir tuğla maksimum 20 test için kullanılabilir.).

Fırın hacminin kullanılabilir yüksekliği, derinliği ve genişliği Şekil 3.6.3'te gösterildiği gibi ölçülür ve kullanılabilir hacim bu üç boyut kullanılarak litre cinsinden hesaplanır ve en yakın tam litreye tamamlanır. En büyük pişirme tepsisinin yüzey alanı kullanılabilir derinliğin genişlikle çarpılmasıyla bulunur. Fırında pişirme tepsi yerine ızgara eleman bulunuyorsa ızgara elemanın alanı hesaplanır.



$$V = d \times e \times f$$

Şekil 3.6.3 Fırın kullanılabilir hacmi

Tuğla testi prosedüründe uygulanan üç adet deney vardır:

i. Boş Fırının Ön Isıtması

Bu testin amacı boş bir fırını ortam sıcaklığından belirlenen bir sıcaklığa çıkarmak için tüketilen güç değerini ve ön ısıtma için geçen süreyi belirlemektir.

Termoeleman kapı aralığından fırın içine gelmeli ve kapı hiç bir ek kuvvet uygulanmadan kapatılabilmelidir. Fırın, sıcaklığındaki artış geleneksel ısıtma için 180 K ve zorlanmış hava çevrimi durumu için 155 K olana kadar ısıtılacaktır. Sıcaklık artışı test başında ve sonundaki fırın içi sıcaklıkları arasındaki farktır.

Zaman t_{01} (dakika ve saniye olarak) ve enerji tüketimi E_{01} (kWh olarak) ölçülecektir. Fırın içindeki lamba, fan gibi otomatik olarak çalışan elemanların enerji tüketimleri de ölçüme eklenecektir.

ii. Bir yükü ısıtmak için gereken süre ve enerji tüketimi

Bu testin amacı, bir yükü ısıtmak için geçen süreyi ve tüketilen enerji değerini ölçmektir. Testlerde kullanılacak yük, yiyeceğin hem ısı özelliklerini, hem de su içeriğini simüle eden, suya doymuş bir tuğladır.

Tuğlalar kullanılmadan önce sıcaklığı 175 °C ve üstü, hacmi 50 lt olan fırında, zorlanmış taşınım halinde üç saat kurutulurlar. Aynı anda en fazla iki adet tuğla kurutulabilir. Termoelemanlı tamamen kuru tuğlanın kütlesi m_k , fırından çıkarıldıktan sonra ilk 5 dakika içinde ölçülmeli ve gram olarak not edilmelidir. Kurutulmuş tuğla oda sıcaklığına soğutulduktan sonra, tuğla tamamen suyla kaplanmış olana kadar 20 °C altındaki bir suyla dolu bir kaba konmalıdır. İçinde tuğla bulunan su kabı en az 8 saat buzdolabı içinde kalmalı ve tuğla merkez sıcaklığı 5 ± 2 °C olana kadar soğutulmalıdır (Her iki termoeleman için). Soğutulan ve su emdirilen termoelemanlı tuğla, su kabından çıkarıldığında 1 dakika boyunca fazla su miktarı damlatılmalıdır. Islak tuğlanın m_i kütlesi ölçülmeli ve tuğla tarafından emilen su miktarı belirlenmelidir (Termoeleman ağırlıkları da göz önünde bulundurulmalıdır.). Tuğlanın merkez sıcaklıkları ölçülerek kaydedilir (Her iki termoeleman da (5 ± 2) °C okumalıdır.). Burada tuğlanın emdiği su miktarı;

$$\Delta_m = m_i - m_k \quad (3-14)$$

Hazırlanan tuğla, cihaz oda sıcaklığındayken, üstündeki termoelemanlar ile birlikte (termoelemanlar tuğlanın üst kısmında olmak üzere), kullanılabilir fırın kavitesinin geometrik merkezine yerleştirilir. Tuğlanın üstüne konacağı ızgara, tuğlanın merkezi, fırın merkezine mümkün olduğunca yakın olacak şekilde bir raf destek seviyesine yerleştirilir. Tuğlanın uzun eksenini fırın önüne paralel olmalıdır.

Ölçümler, tuğla buzdolabından çıkarıldıktan sonra 3 dakika içinde fırının çalıştırılmasıyla başlar. Termostat pozisyonu, ortalama fırın içi sıcaklığı Tablo 3.6.1’de tanımlandığı gibi ΔT olacak şekilde ayarlanmalıdır. ΔT , fırın içi sıcaklığı ve ortalama ortam sıcaklığı arasındaki farktır. Fırın, seçilen modda istenilen fırın içi sıcaklığına set edildikten sonra deney başlatılır. Şebekeden alınan voltaj değerleri, ısıtıcılara verilen güç değerleri, fırın içi ve tuğla sıcaklıkları deney sırasında kaydedilir. 5 ± 2 °C sıcaklığında fırına konan tuğlanın iç sıcaklığındaki artış 55 K’ya ulaştığında (her iki delik sıcaklığındaki artışın 55 K olması gereklidir.) tuğla fırından çıkarılır. Tuğlanın çıkarıldığı süre kaydedilir. Fırından çıkarılan tuğlanın kütlesi ölçülerek oda sıcaklığına soğumaya bırakılır.

Tablo 3.6.1 Ortalama fırın içi sıcaklığı

Sıcaklık Farkı	Çalışma Modları	
	İki ısıtıcı	Turbo
$\Delta T1$	$(140 \pm 10) K$	$(135 \pm 10) K$
$\Delta T2$	$(180 \pm 10) K$	$(155 \pm 10) K$
$\Delta T3$	$(220 \pm 10) K$	$(175 \pm 10) K$

Tuğla, suya her konduğunda aynı miktarda su emer. Bu yüzden, tuğlayı iki kullanım arasında tamamen kurutmak gerekmez.

Her ısıtma fonksiyonu için üç test gerçekleştirilir: Her bir sıcaklık ayarı için bir test ve her ısıtma fonksiyonu için bir test.

Deneyler esnasında aşağıdaki değerler ölçülür:

- Enerji tüketimi ve süre
- Tuğlanın merkez sıcaklıkları
- Test başında ve sonunda ortalama sıcaklık

Yukarıdaki test tamamlandıktan sonra tuğla fırından çıkarılır ve fırın boş halde, ayarlar değiştirilmeden bir süre daha çalıştırılır. Fırın sıcaklığı dengeli hal koşullarında maksimum ve minimum sıcaklıkların arasındaki aritmetik ortalamadır. Dengeli halin, termostatin 5 çevriminden veya daha az da olsa bir saat sonunda elde edildiği düşünülür. 5 çevrim veya 1 saat sonunda deney tamamlanır.

Deney sırasında kaydedilecek datalar şunlardır:

- Fırının cinsi, mevcut ısıtma fonksiyonları
- Fırının kullanılabilir hacmi, [lt]
- Piştirme tepsisinin veya ızgaranın kullanılabilir alanı, [cm²]
- Ölçümlerin yapıldığı voltaj değerleri
- Test edilen fonksiyonlar veya çeşitler
- Boş fırının ön ısıtması için tüketilen enerji, E_{0i}
- Ön ısıtma süresi, t_{0i}

- viii. Enerji tüketimi(leri), [kWh]
- ix. Zaman, [dak]
- x. Tuğlanın emdiği su miktarı

Bu veriler, her ısıtma fonksiyonu ve her sıcaklık için not edilecektir.

Bulunan enerji tüketimi, imalatçının bildirdiği değerin yüklü hal için % 10 + 0.040 kWh üstünde olmamalıdır. Boş fırın için ise bu değer % 15' tir.

Fırının ön ısıtma süresi imalatçının bildirdiği değerin % 15 fazlasından fazla olmamalıdır (Yüklü hal).

Hacim imalatçının bildirdiği değerden ± 3 'ten fazla değişmemelidir.

Yüzey alanı imalatçının bildirdiği değerden ± 5 'ten fazla değişmemelidir.

Yukarıda belirtilen değerler aşıldığında, testler piyasadan rastgele seçilmiş 3 fırın üstünde tekrarlanmalıdır.

3.6.2. Tuğla Testi Deney Düzeneği

Tuğla deneyleri de diğer deneyler gibi mutfağı simüle etmek üzere hazırlanmış deney köşesinde yapılmıştır. (Şekil 3.6.4).



Şekil 3.6.4 Deney köşesi ve düzeneği

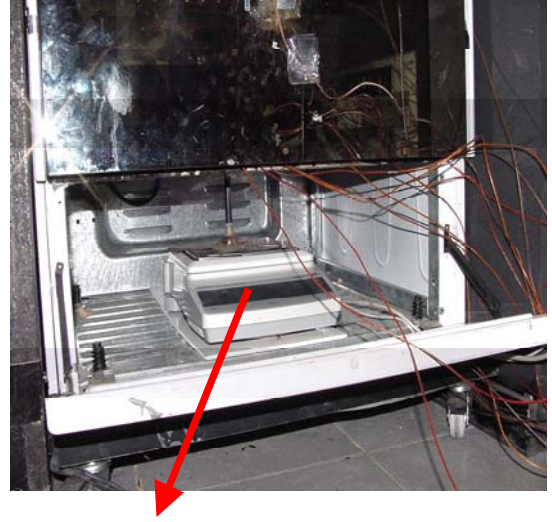
Deney düzeneğinde ölçülen sıcaklık, güç ve kütle değerlerinin kaydedildiği bir data toplama ünitesi ve buna bağlı bir bilgisayar bulunmaktadır. Tuğla testlerinde, tuğlanın işlem boyunca kütlelerinin ölçülmesi için fırın delinerek, tuğla bir ayak yardımıyla fırın alt boşluğunda bulunan terazi üstüne konmaktadır.

Fırın ve tuğla sıcaklık dağılımlarının belirlenmesi amacıyla yerleştirilen termoeleman yerleri ve tipleri şöyledir:

- Tuğla iç sıcaklığını ölçmek için 2 adet J tipi,
- Fırın merkezinde 1 adet J tipi,
- Fırın iç yüzeylerinde 5 adet J tipi,
- Fırın kapak camının iç ve dış taraflarına birer adet J tipi,
- İki cam arasındaki ortama 1 adet J tipi
- İç kaviteyi saran cam yünü izolasyon üzerine 4 adet J tipi,
- Dış gövde üzerine 1 adet J tipi,
- Dış ortama 1 adet J tipi,
- Alt ısıtıcı bölmesine 1 adet J tipi

olmak üzere toplam 18 adet termoeleman mevcuttur. Tuğlanın sıcaklık dağılımının belirlenmesi için yapılan deneylerde de 35 adet J tipi termoeleman kullanılmıştır.

Daha önce yapılan deneylerde veri elde edildiği için boş fırının ön ısıtma deneyleri yapılmamıştır. Standartta tarif edilen deney prosedürüne ek olarak, tuğlanın kütlelerinin proses boyunca değişiminin gözlemlenmesi amacıyla fırın alt yüzeyi delinmiş ve fırının altında tepsi saklamak için yer alan bölmede bulunan hassas terazi üzerine konan ızgara eleman fırın içine yerleştirilmiştir. Tuğla bu ızgara eleman üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.6.5).



Hassas Terazi

Şekil 3.6.5 Kütle kaybı ölçümü, tuğlayı taşıyan ızgara eleman ve tartı düzeneği

Data toplama ünitesine bağlanan hassas terazi yardımıyla belirli zaman aralıklarıyla tuğlanın kütlesi ölçülerek, tuğlanın su kayıp karakteristiği belirlenmektedir. Belirlenen bu karakteristikler tuğla testinin modellenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca tuğla fırından çıkarıldıktan sonra fırın 5 çevrim yapmakta ve ilk andan 5. çevrim sonuna kadar tüketilen enerji miktarı da hesaplanmaktadır.



Şekil 3.6.6 Tuğlaların deneye hazırlanması

Deney boyunca ısıtıcılara ve fana verilen güç değerleri ve çeşitli noktalardan alınan sıcaklık değerleri data toplama ünitesi yardımıyla kaydedilmekte ve kaydedilen güç

değerleri, ölçülen ön ısıtma süresi, tuğlanın ısıtılması için geçen süre, tuğla çıktıktan sonra 5 çevrimin tamamlanması için geçen süre değerleri yardımıyla, ön ısıtma süresince, tuğla çıkarılana kadar ve tuğla çıkarıldıktan sonra 5 çevrim boyunca tüketilen enerji değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu enerji tüketimi değerleri yardımıyla fırının enerji sınıfı belirlenmektedir.

Kaydedilen sıcaklık ve güç değerlerinin bir çevrim boyunca ortalaması alınmaktadır. Isıtıcıların ve fanın çalışır durumda oldukları süreler de hesaplanarak fırının enerji tüketimi aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$E_{\text{önısıtma}} = \frac{t_{\text{önısıtma}} \times P_{\text{önısıtma}}}{60} \quad (3-15)$$

$$E_{\text{tuğla}} = \frac{t_{\text{tuğla}} \times P_{\text{tuğla}}}{60} \quad (3-16)$$

$$E_{5\text{çev}} = \frac{t_{5\text{çev}} \times P_{5\text{çev}}}{60} \quad (3-17)$$

$t_{\text{önısıtma}}$: Ön ısıtma süresi, [dak]

$t_{\text{tuğla}}$: Başlangıçtan tuğla çıkarılincaya kadar geçen toplam on-çevrim süresi, [dak]

$t_{5\text{çev}}$: Başlangıçtan, tuğla çıktıktan sonra 5. çevrim sonuna kadar toplam on çevrim süresi, [dak]

P_{ortalama} : Ön ısıtma süresi boyunca ısıtıcılara ve fana uygulanan ortalama güç, [W]

$P_{\text{tuğla}}$: Tuğla çıkarılincaya kadar ısıtıcılara ve fana uygulanan ortalama güç, [W]

$P_{5\text{çev}}$: Başlangıçtan 5. çevrim sonuna kadar ısıtıcılara ve fana uygulanan ortalama güç, [W]

$E_{\text{önısıtma}}$: Ön ısıtma süresi boyunca tüketilen enerji, [Wh]

$E_{\text{tuğla}}$: Başlangıçtan tuğla çıkarılincaya kadar tüketilen enerji, [Wh]

$E_{5\text{çev}}$: Başlangıçtan 5. çevrim sonuna kadar tüketilen enerji, [Wh]

Ayrıca deney süresince kaydedilen tuğla kütlesi değerleri yardımıyla tuğlanın deney boyunca kütle kaybı grafikleri çizilmekte ve bu grafikler yardımıyla tuğla kütle kaybı denklemleri çıkarılmaktadır. Çıkarılan bu denklemler tuğla testinin modellenmesi çalışmalarında ilgili modülün “tuğlanın enerji dengesi” hesaplamalarında kullanılmaktadır.

Deneylerde beş adet tuğla kullanılmıştır. Deneyler başlatılmadan önce tuğlalar standarda uygun olarak 200 °C’ lik fırında 3 saat boyunca kurutulmuş ve kurutma işlemi sonunda kuru ağırlıkları ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca, tuğlalar 10 adet deneyde kullanıldıktan sonra tekrar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları tekrar ölçülmüştür. Aşağıda beş tuğlanın son ölçümde elde edilen kuru ağırlıkları Tablo 3.6.2’de verilmiştir.

Tablo 3.6.2 Deneylerde kullanılan tuğlaların kuru ağırlıkları

	Tuğla#1	Tuğla#2	Tuğla#3	Tuğla#4	Tuğla#5
Kütle [g]	942.48	930.35	931.70	935.7	956.68

Fırın yüzeylerinde kullanılan J tipi termoelemanlar ile standartlarda belirtilen kılıflı termoelemanlar kullanılarak yapılan tuğla iç sıcaklık ölçümleri karşılaştırılarak, kılıflı tip termoeleman yerine kullanımı daha rahat olan standart J tipi termoeleman kullanılabileceği görülmüş ve deneylerde bu tip termoelemanlar kullanılmasına karar verilmiştir.

Mevcut hal tuğla testi deneyleri, EN50304 numaralı standart uygulanarak, fırının enerji sınıfının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut hal deneyleri yukarıda belirtildiği gibi tuğlanın iki çalışma modunda (statik ve turbo) ve her mod için üç fırın içi sıcaklık değerinde gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda deneyler sırasında kaydedilen sıcaklık ve güç değerleri, ön ısıtma süreleri, ortalama sıcaklık değerleri ile hesaplanan enerji tüketim değerleri sırasıyla tablo halinde verilmiştir. (Tablo 3.6.3).

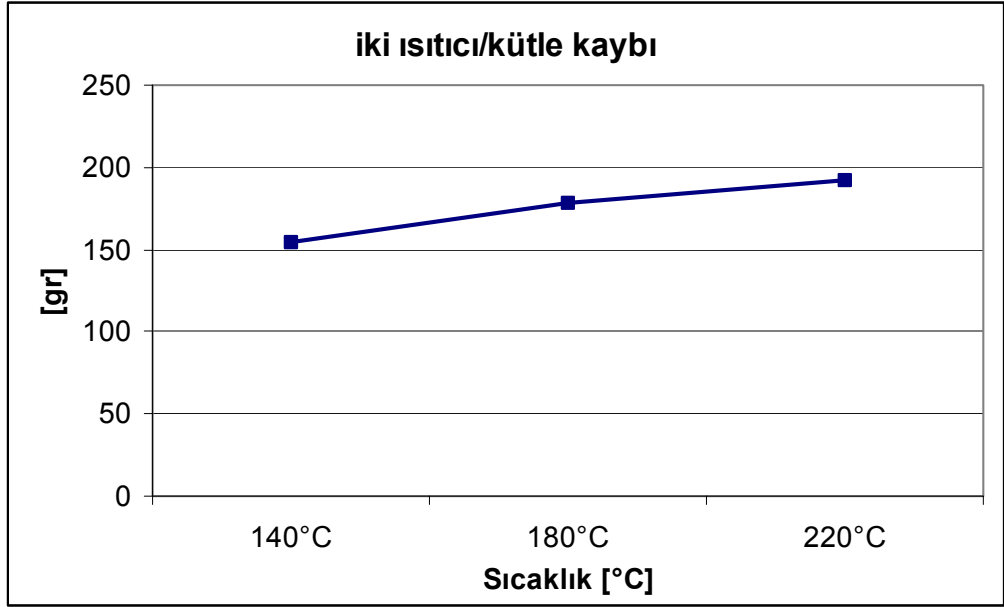
Tablo 3.6.3 Mevcut hal deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
Mevcut Hal	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi (dak)	11.99	16.72	23.70	9.00	10.87	13.34
Fırın içi sıcaklığı (°C)	171.84	207.25	239.89	165.39	185.34	195.82
Ortam sıcaklığı (°C)	24.61	21.46	20.43	22.49	23.91	19.5
55K Süresi (dak)	58.81	50.9	45.74	46.89	43.87	43.94
Enerji tüketimi (tuğla)	1142.98	1271.03	1404.92	865.96	966.07	1036.10
Enerji tüketimi (5çev)	1616.46	1883.33	2198.39	1099.11	1149.78	1309.32

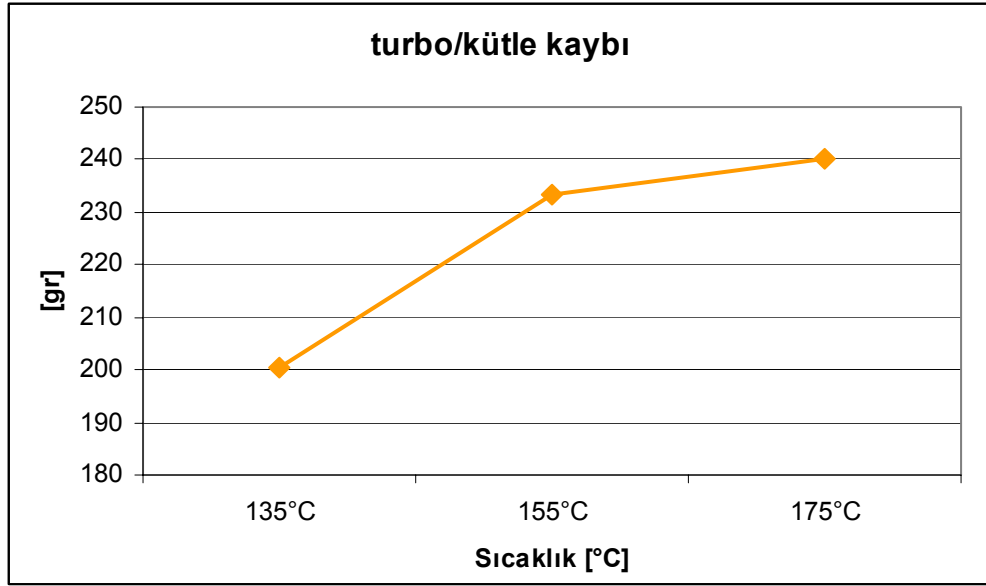
Fırının alt bölümünde kurulan düzenek yardımıyla deneylerin başlangıcında ve deney sonunda, tuğla fırından çıkarılmadan önce tuğlaların kütleleri ölçülmekte ve deney süresince, bu değerler zamana bağlı olarak kaydedilmektedir. Bu değerler kullanılarak tuğlaların su kaybı-zaman grafikleri çizilmekte ve bu grafiklerden regresyon metoduyla eğri türetilerek tuğlaların zamana bağlı kütle kaybı denklemleri çıkarılmaktadır. Çıkarılan bu denklemler Fırın Termal Simülasyon programının tuğla testi modellenmesi bölümünde tuğlanın ısı dengesi hesaplarında kullanılmaktadır. Aşağıdaki tablolarda, referans olarak alınan mevcut hal deneyi için, iki çalışma modunda ve üç sıcaklıkta deney başlangıcında ve sonunda tuğla çıkarılmadan termoelemansız olarak kaydedilen tuğla kütleleri ve bu değerler yardımıyla hesaplanan tuğlaların kaybettikleri su miktarları verilmiştir. Ayrıca her iki mod için de tuğlaların sıcaklığa bağlı kütle kaybı grafikleri de aşağıdadır (Tablo 3.6.4), (Şekil 3.6.7, Şekil 3.6.8).

Tablo 3.6.4 Mevcut hal tuğla kütle kayıpları

İki ısıtıcı		m ₁	m ₂	m ₂ -m ₁
	140 °C	1958.22	1804.03	154.19
	180 °C	1981.81	1802.8	179.01
	220 °C	1953.35	1760.63	192.72
Turbo		m ₁	m ₂	m ₂ -m ₁
	135 °C	1955.69	1755.4	200.29
	155 °C	1984.41	1751.11	233.3
	175 °C	1948.7	1708.5	240.2



Şekil 3.6.7 Mevcut hal Kütle kaybı- Sıcaklık grafiği (iki ısıtıcı modu)



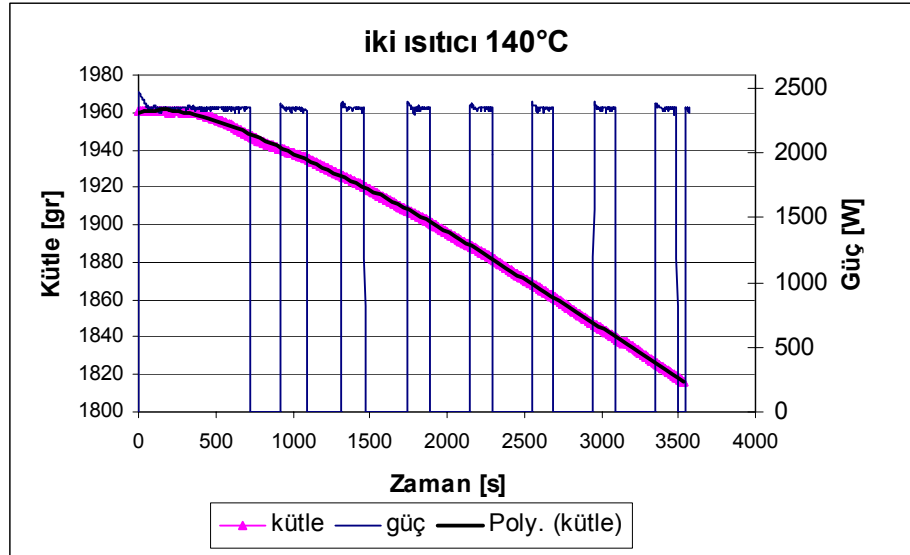
Şekil 3.6.8 Mevcut hal Kütle kaybı- Sıcaklık grafiği (turbo modu)

İki ısıtıcı ve turbo çalışma modlarında tuğlaların kütle kaybı değerleri karşılaştırıldığında, fırın içi sıcaklık farkı daha düşük olmasına rağmen, tuğlaların kütle kaybının turbo modunda daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Turbo modunda zorlanmış taşınım sebebiyle ortaya çıkan yüksek hava hızları ve ısı taşınım katsayıları tuğlaların bu modda daha fazla su kaybetmelerine yol açmaktadır. İki

ısıtıcı modunda tuğla etrafındaki yüksek nem konsantrasyonuna sahip bir hava tabakası oluşmaktadır. Turbo modda fanın etkisiyle bu tabaka dağılacığından havaya difüzyonla nem kaybı bu modda artacaktır.

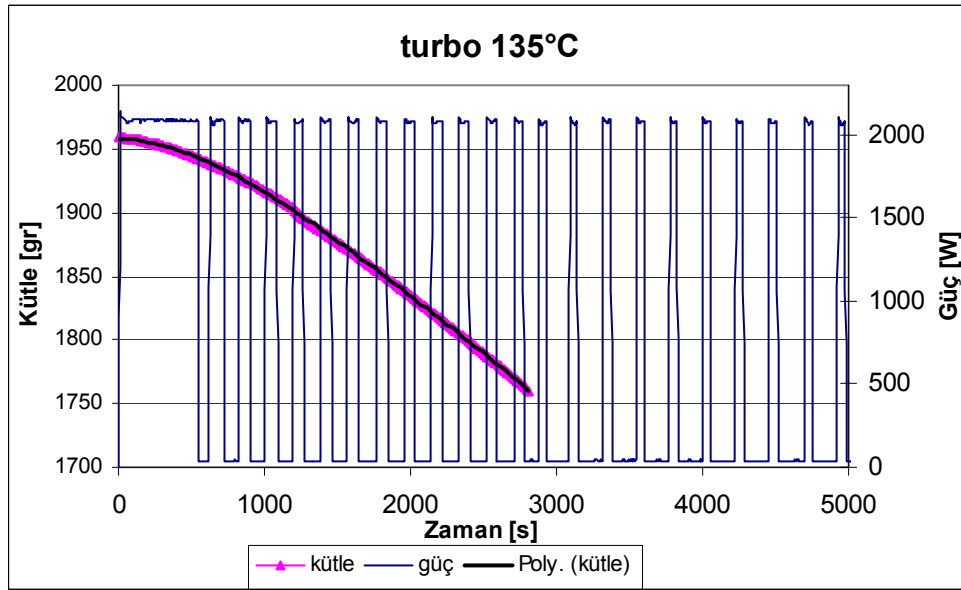
Deneylerde kullanılan tuğlaların kuru ağırlıklarının ve suda bırakıldıklarında emdikleri su miktarının farklı olması ve tekrarlanan deneylerde termostat ile ayarlanan fırın içi sıcaklık farklarının değişmesi sebebiyle deney boyunca tuğlaların kaybettikleri su miktarı değerleri de farklar göstermektedir.

Deney süresince iki ısıtıcı 140 °C ve turbo 135 °C durumları için zamana bağlı kaydedilen tuğlanın kütle kaybı grafikleri ve bu grafikler yardımıyla bulunan kütle kaybı-zaman denklemleri aşağıda verilmiştir (Şekil 3.6.9 ve Şekil 3.6.10).



$$m = -65.10^{-20}t^6 + 77.10^{-16}t^5 - 35.10^{-12}t^4 + 79.10^{-9}t^3 - 98.10^{-6}t^2 + 25.10^{-3}t + 1959.57$$

Şekil 3.6.9 İki ısıtıcı 140 °C Mevcut hal Kütle kaybı- Zaman grafiği



$$m = -16.10^{-13}t^4 + 14.10^{-9}t^3 - 5.10^{-5}t^2 - 42.10^{-4}t + 1958.13$$

Şekil 3.6.10 Turbo 135 °C Mevcut hal Kütle kaybı- Zaman grafiği

İki ısıtıcı çalışma modunda 180 °C sıcaklık farkı için yapılan mevcut hal deneylerinde, fırının deney başlangıcındaki sıcaklığı, ortam sıcaklığı da eklenince fırın iç sıcaklığı 200 °C civarında elde edilmektedir. Bu durumda tuğla testinden elde edilen sonuçlar, orijinal on-off halde 200 °C sıcaklığında elde edilen değerlerle karşılaştırmak için kullanılabilir. Aynı işlem ortalama sıcaklık 195 °C elde edilen turbo modu 175 °C sıcaklık farkı için yapılan deneyler için de yapılabilir. Üç fırın üzerinde yapılan on-off deneylerinde 200 °C sıcaklığında elde edilen ortalama sonuçlar ve referans olarak alınan ikinci tuğla testi sonuçları ise şöyledir (Tablo 3.6.5):

Tablo 3.6.5 On-off ve tuğla testleri 200 °C deney sonuçları

	On-off		Tuğla	
	İki ısıtıcı	Turbo	İki ısıtıcı	Turbo
Ön ısıtma süresi (dak)	13.29	10.23	16.8	13.42
Enerji tüketimi (ön ısıtma süresi, Wh)	518.94	367.46	656.83	464.11

Fırının içinde tuğla olan durumlarda her iki hal için de ön ısıtma sürelerinin yaklaşık olarak 3 dakika arttığı gözlenmektedir. İçinde tuğla olduğu durumda fırının ön ısıtma süreleri ve ön ısıtma süresi boyunca tükettiği enerji değerleri karşılaştırıldığında iki

modda da bu değerlerin tuğlalı halde enerji tüketiminin yaklaşık % 30 arttığı gözlenmektedir. Bu sonuç, yüklü haldeki fırın ve boş fırından elde edilen sonuçların yorumlanmasında fikir verebilir.

3.7. Tuğla Testi Modifikasyon Deneyleri

Daha önce fırının ısı kaybını oluşturan parametrelerin incelenmesi amacıyla fırın üzerinde yapılan değişikliklerin bazıları, yüklü fırında etkilerinin gözlenmesi için tuğla testinde de uygulanmıştır. Yapılan modifikasyonlar:

- i. İnfiltrasyonun engellenmesi
- ii. Isıtıcı üzerinde reflektör
- iii. Fırın duvarlarında reflektör
- iv. Fırın kapağının izole edilmesi
- v. Fırın alt yüzeyinin izole edilmesi
- vi. Alt ısıtıcı koruma sacının ve ısıtıcı girişinin izole edilmesi

Aşağıda modifikasyon deneyleri ile elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilmiştir. Tablolarda, ön ısıtma süreleri, fırın içi ve ortam sıcaklıkları, tuğla çıkarılınca ve tuğla çıkarıldıktan sonra beş çevrim boyunca tüketilen enerji değerleri verilmiştir.

Tablo 3.7.1 Mevcut hal deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
ORJİNAL	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi (dak)	11.99	16.72	23.70	9.00	10.87	13.34
Fırın içi sıcaklığı (°C)	171.84	207.25	239.89	165.39	185.34	195.82
Ortam sıcaklığı (°C)	24.61	21.46	20.43	22.49	23.91	19.5
55K Süresi	58.81	50.9	45.74	46.89	43.87	43.94
Enerji tüketimi (tuğla)	1142.98	1271.03	1404.92	865.96	966.07	1036.10
Enerji tüketimi (5çev)	1616.46	1883.33	2198.39	1099.11	1149.78	1309.32

Tablo 3.7.2 İnfiltrasyon deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
İnfiltrasyon	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
<i>Ön ısıtma süresi (dak)</i>	11.18	14.90	21.07	8.39	10.17	11.97
<i>Ortam sıcaklığı (°C)</i>	25.64	27.84	25.87	24.41	26.99	27.00
<i>Fırın içi sıcaklığı (°C)</i>	177.74	220.88	249.12	161.55	182.32	193.21
<i>55K Süresi</i>	44.53	41.07	43.96	41.84	38.84	37.95
<i>Enerji tüketimi (tuğla)</i>	881.50	1055.35	1326.73	775.16	853.25	902.13
<i>Enerji tüketimi (5çev)</i>	1393.37	1662.76	2028.99	923.05	1026.32	1179.93

Tablo 3.7.3 Yukarı Reflektör deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
Reflektör Yuk	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
<i>Ön ısıtma süresi (dak)</i>	10.79	17.08	26.13	9.00	12.07	13.86
<i>Ortam sıcaklığı (°C)</i>	20.04	23.26	22.11	22.35	21.78	24.17
<i>Fırın içi sıcaklığı (°C)</i>	153.86	207.78	252.98	162.62	184.18	198.07
<i>55K Süresi</i>	69.44	47.64	43.68	60.9	50.89	48.84
<i>Enerji tüketimi (tuğla)</i>	1046.76	1210.30	1413.27	1062.30	1110.23	1153.05
<i>Enerji tüketimi (5çev)</i>	1486.55	1759.28	2069.95	1323.76	1425.44	1475.21

Tablo 3.7.4 Komple Reflektör deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
Komple Reflektör	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
<i>Ön ısıtma süresi (dak)</i>	13.86	20.33	29.61	7.82	10.48	13.97
<i>Ortam sıcaklığı (°C)</i>	22.04	204.58	23.82	18.95	22.14	20.64
<i>Fırın içi sıcaklığı (°C)</i>	166.28	19.57	258.34	151.15	183.29	204.99
<i>55K Süresi</i>	63.01	50.3	43.42	63.61	50.87	46.74
<i>Enerji tüketimi (tuğla)</i>	1150.69	1296.74	1488.95	1042.70	1058.05	1124.13
<i>Enerji tüketimi (5çev)</i>	1577.19	1719.53	2055.03	1302.45	1336.36	1466.29

Tablo 3.7.5 Cam İzole deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
Cam İzo	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
<i>Ön ısıtma süresi (dak)</i>	10.58	16.08	20.32	9.20	10.90	13.33
<i>Ortam sıcaklığı (°C)</i>	23.42	23.15	22.07	22.54	19.74	25.00
<i>Fırın içi sıcaklığı (°C)</i>	161.64	210.09	242.49	163.78	179.98	202.58
<i>55K Süresi</i>	72.78	51.28	46.11	46.33	44.43	42.19
<i>Enerji tüketimi (tuğla)</i>	1067.35	1215.72	1323.83	820.20	915.94	970.16
<i>Enerji tüketimi (5çev)</i>	1599.96	1877.47	2044.41	1098.13	1172.96	1234.34

Tablo 3.7.6 Alt İzole deney sonuçları

	İki ısıtıcı			Turbo		
Alt İzo	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi (dak)	10.91	15.67	22.54	7.62	10.91	12.83
Ortam sıcaklığı (°C)	24.57	25.06	16.73	23.79	23.34	22.52
Fırın içi sıcaklığı (°C)	168.03	204.73	240.39	151.67	180.56	193.24
55K Süresi	68.48	50.91	46.26	51.37	44.16	44.08
Enerji tüketimi (tuğla)	1093.82	1170.20	1428.431	829.90	881.50	1009.34
Enerji tüketimi (5çev)	1617.03	1802.62	2111.3	1075.63	1170.11	1256.71

Yukarıda sonuçları verilen üzerlerinde değişiklik yapılmış tuğla testlerinde, tuğla iç sıcaklığının deney başındaki sıcaklığından 55 K artmasına kadar geçen süreleri, kavite sıcaklıkları ve tuğla çıkarılıncaya kadar tükettikleri enerji miktarları toplu halde aşağıda, Tablo 3.7.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7.7 Tuğla çıkarma süreleri, iç ortam sıcaklıkları ve enerji tüketimleri

İki ısıtıcı	140 °C			180 °C			220 °C		
	Tuğla (dak)	Kavite (°C)	Tuğla Enerji [Wh]	Tuğla (dak)	Kavite (°C)	Tuğla Enerji [Wh]	Tuğla (dak)	Kavite (°C)	Tuğla Enerji [Wh]
Mevcut	58.81	171.84	1142.98	50.9	207.24	1271.03	45.74	239.89	1404.92
İnfiltrasyon	44.53	177.74	881.50	41.07	220.88	1055.35	43.96	249.12	1326.73
Ref. Yuk	69.44	153.86	1046.76	47.64	207.78	1210.30	43.68	252.98	1413.27
Komp. Ref	63.01	166.28	1153.05	50.3	202.51	1296.74	43.42	258.34	1488.95
Cam İzo	72.78	161.64	1067.35	51.28	210.09	1215.72	46.11	242.49	1323.83
Alt İzo	68.48	168.03	1093.82	50.91	204.73	1170.20	46.26	240.39	1428.43
Turbo	135 °C			155 °C			175 °C		
	Tuğla (dak)	Kavite (°C)	Tuğla Enerji [Wh]	Tuğla (dak)	Kavite (°C)	Tuğla Enerji [Wh]	Tuğla (dak)	Kavite (°C)	Tuğla Enerji [Wh]
Mevcut	46.89	165.39	865.96	43.87	185.34	966.07	43.94	195.82	1036.10
İnfiltrasyon	41.84	161.55	775.16	38.84	182.32	853.25	37.95	193.21	902.13
Ref. Yuk	60.9	162.62	1062.30	50.89	184.18	1110.23	48.84	198.07	1153.05
Komp. Ref	63.61	151.15	1042.70	50.87	183.29	1058.05	46.74	204.99	1124.13
Cam İzo	46.33	163.78	820.21	44.43	179.98	915.94	42.19	202.58	970.16
Alt İzo	51.37	151.67	829.90	44.16	180.56	881.50	44.08	193.24	1009.34

Fırının mevcut hali ile yapılan modifikasyonlara ait tuğla enerji tüketimi deney sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmekte ve yorumlanmaktadır. Ancak dikkat edilmesi gereken konu, her bir deney için elde edilen sıcaklık farklılıklarının, standartta belirlenen kabul edilebilir sıcaklık fark aralığında olmakla beraber, yapılan modifikasyonlardan beklenen etkiyi sönmüleyecek veya ters çevirebilecek seviyede farklı olabilmesidir. Bu gibi beklenmeyen sonuçlar gerekli yerlerde belirtilmektedir.

Tablo 3.7.8 İnfiltrasyon deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı

İnfiltrasyon	İki ısıtıcı			Turbo		
	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi	-6.76	-10.89	-11.10	-6.78	-6.44	-10.27
Enerji tüketimi (tuğla)	-22.88	-16.97	-5.57	-10.49	-11.68	-12.93

Fırın kapak aralığının ve baca çıkışının izole edildiği bu deneyin sonuçları incelendiğinde ön ısıtma süresinin iki çalışma modunda da her sıcaklık için azaldığı gözükmemektedir. Fırına dışarıdan soğuk havanın girmesi ve bacadan sıcak havanın çıkışı engellendiği için ön ısıtma süreleri azalmıştır. Kayıplar azaldığından fırının set edilen sıcaklığa çıkma süresi de azalmış, bu durum tuğlanın iç sıcaklığındaki 55 K'lık artış için gereken süreyi de etkilemiştir. İki ısıtıcı 220 °C sıcaklığında fırın içi sıcaklığının olması gerekenden fazla olması sebebiyle tuğlanın çıkarılma süresi kısalmıştır.

Tablo 3.7.9 Yukarı Yansıtıcı deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı

Ref. Yuk (%)	İki ısıtıcı			Turbo		
	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi	-10.01	2.15	10.25	0.00	11.04	3.90
Enerji tüketimi (tuğla)	-8.42	-4.78	0.59	22.67	14.92	11.29

Üst ısıtıcının üstüne, ısının üst duvarlardan kaçışını engellemek ve ısıtıcıdan gelen ısıyı yiyeceğin üzerine yansıtmak için reflektör konarak yapılan deneylerde iki ısıtıcı 140 °C durumu hariç ön ısıtma süresinin arttığı görülmektedir. Bu sonuç termostatik çalışma deneylerinde de elde edilen sonuçtur. Isıtıcının üstüne konan plaka, kütlesi sebebiyle fırın içinde ısı yük haline gelmekte ve ön ısıtma süresini artırmaktadır. İki ısıtıcı 140 °C sıcaklığı deneyinde ise, fırın içi sıcaklık farkı (153 °C), mevcut hale göre (171 °C) düşük elde edildiğinden ön ısıtma süresi azalmış ve tuğlanın iç sıcaklığındaki artış süresi de artmıştır. Bu da enerji tüketiminde bu modifikasyondan beklenen kazancı azaltmıştır. Fanın açık olduğu durumlarda ise yine UA deneylerinde elde edilen sonuçlara paralel olarak enerji tüketiminin arttığı gözlenmektedir. Her iki durumda da içeri reflektör konulmasının sisteme ön ısıtma süresini artıracak şekilde olumsuz etkisi varken, iki ısıtıcı durumunda kazanılan ilave radyasyon ile bu etki ortadan kalkmaktadır. İki ısıtıcı 220 °C sıcaklığında ayarlanan

fırın içi sıcaklık farkı standart hale göre yüksek olduğundan ön ısıtma süresi çok artmış (% 10) bu da enerji tüketiminin aynı kalmasına sebep olmuştur (% 0.59).

Tablo 3.7.10 Komple Yansıtıcı deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı

Komple Ref. (%)	İki ısıtıcı			Turbo		
	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi	15.60	21.59	24.94	-13.11	-3.59	4.72
Enerji tüketimi (tuğla)	0.67	2.02	5.98	20.41	9.52	8.50

Fırın duvarlarının yansıtıcı plakalarla kaplandığı komple reflektör deneylerinde eklenen plakalarının ısı kütleleri sebebiyle ön ısıtma sürelerini artırması beklenmektedir. İki durum hariç iki çalışma modunda ve tüm sıcaklıklarda bunun gerçekleştiği görülmüştür. Turbo 135 °C sıcaklığında ise fırın içi sıcaklığının mevcut hale göre çok düşük elde edilmesi ön ısıtma süresinin azalmasına sebep olmuştur. Düşük fırın içi sıcaklığı sebebiyle tuğlanın iç sıcaklığının artışı gecikmiştir ve bu da tuğla çıkarılana kadar harcanan enerji değerini artırmıştır. 155 °C'de ise elde edilen güç değerleri standart hale göre biraz daha yüksektir. Fırın yüzeylerinin yansıtıcı plakalarla kaplanması yine fırın içerisine ilave kütle konmasına yol açmaktadır. Bu ise enerji tüketimini artırıcı etki göstermektedir. Turbo modda yoğun olarak görülen bu etki, iki ısıtıcı modunda ise radyasyon artmasından gelen olumlu etkilerle zayıflamıştır.

Tablo 3.7.11 Cam İzole deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı

Cam İz. (%)	İki ısıtıcı			Turbo		
	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi	-11.76	-3.83	-14.26	2.22	0.28	-0.07
Enerji tüketimi (tuğla)	-6.62	-4.35	-5.77	-5.28	-5.19	-6.36

Fırın kapısında bulunan camların ve çerçeve aralığının camyünü ile izole edildiği bu deneylerde iki ısıtıcı çalışma modunda ön ısıtma sürelerinin azaldığı görülmektedir. İki ısıtıcı çalışma modunda baskın ısı transfer mekanizmasının radyasyonla ısı transferi olması ve cam izole edildiğinde buradan radyasyonla dışarı kaçan ısı engellendiği için fırın kavite sıcaklığı mevcut hale göre daha kısa sürede istenen değere çıkmaktadır. Turbo modda radyasyon kaynağı olan fan koruma sacı, kapağı dik olarak görmektedir. Bu nedenle Turbo modda da ön ısıtma sürelerinin

uzamasına rağmen iki ısıtıcı modunda olduğu gibi enerji tüketim değerlerinde azalan kayıp radyasyon enerjisi nedeniyle bir azalma görülmektedir. Ek olarak ön kapak iç bölgesine yerleştirilen ve ısı iletim katsayısı havadan daha düşük olan cam yünü sayesinde bu bölgede oluşan kayıp da azaltılmıştır.

Tablo 3.7.12 Alt İzole deney sonuçlarının mevcut hale göre farkı

Alt İzö (%)	İki ısıtıcı			Turbo		
	140 °C	180 °C	220 °C	135 °C	155 °C	175 °C
Ön ısıtma süresi	-9.01	-6.28	-4.89	-15.33	0.37	-3.82
Enerji tüketimi (tuğla)	-4.30	-7.93	1.67	-4.16	-8.75	-2.58

Alt ısıtıcı koruma sacının cam yünü ile izole edildiği bu deneylerde ön ısıtma süresinin, turbo modu 155 °C hariç kısaldığı görülmektedir. Bu deneyde deney başlangıç sıcaklığının mevcut hal deneyine göre düşük olması ön ısıtma süresinin sabit kalmasına (% 0.37) sebep olmuştur. Fırın içi sıcaklıkları her durumda mevcut hale göre düşük elde edilmiştir, dolayısıyla tuğla çıkarılma süreleri de artmıştır. Enerji tüketim değerleri bir durum haricinde her durum için azalmakta, azalma miktarı ise çalışma moduna ve fırın içi sıcaklıklarına göre farklar göstermektedir. Ancak özellikle iki ısıtıcı modundaki iyileşme beklendiği miktarda görülmemiştir. Bunda farklı fırın iç ve dış sıcaklıklarının etkisi olduğu düşünülmektedir.

Deney sonuçları incelendiğinde sonuçlarla ilgili aşağıdaki yorumlar yapılmıştır:

Tuğla deneylerinde de daha önce yapılan termostatik çalışma deneylerinde olduğu gibi, fırın içi sıcaklığın ayarlandığı termostat düğmesinin hassasiyetinin yüksek olmaması sebebiyle deneylerde ayarlanan sıcaklıklar farklılıklar göstermektedir. Ayarlanan fırın içi ortalama sıcaklıkları, deney başlangıç sıcaklıkları, dış ortam sıcaklıklarındaki farklılıkların deney sonuçlarında etkin olduğu, elde edilen sonuçları değiştirebildiği görülmüştür. Bu durum birbirini tekrarlayan sonuçlar elde edilmesini ve yapılan değişikliklerin fırın üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesini güçleştirmektedir. Bunlara ek olarak fırın içinde bir yük bulunması fırın çalışma karakterini etkilemektedir. Kullanılan tuğlaların kuru ağırlıkları, emdikleri su miktarları tuğladan tuğlaya ve deneyden deneye çeşitlilik göstermekte, bu da termostatik çalışma modunda mevcut olan belirsizlikleri ve sonuçları etkileyen parametreleri artırmaktadır.

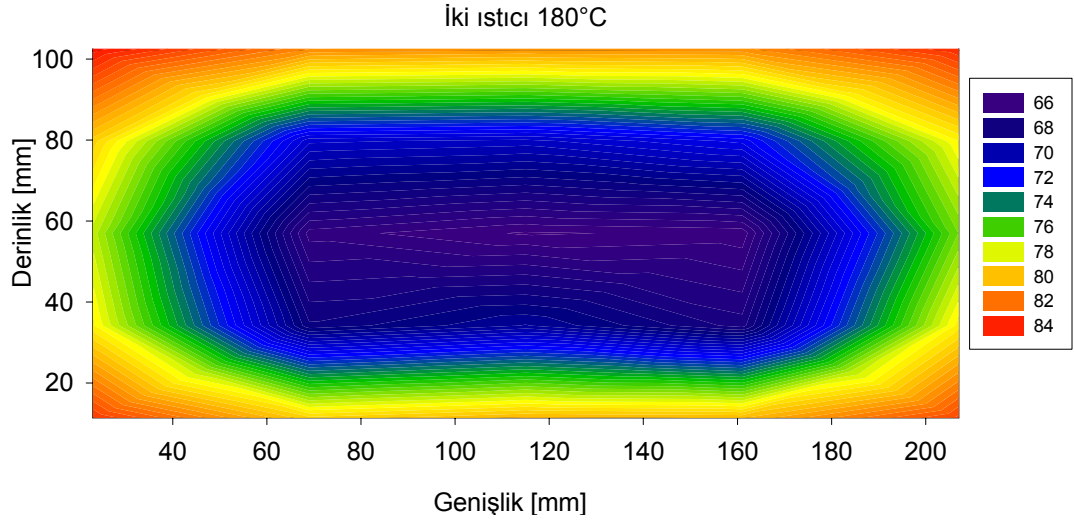
Tuğla testlerinin son aşamasında ise tuğlanın sıcaklık haritasının çıkarılması amacıyla tuğlanın çeşitli noktalarına termoeleman yerleştirilerek deney yapılmıştır. Bu deneylerde de standart tuğla testi prosedürü uygulanmış, ancak deney boyunca tuğlanın kütle değişimi ölçülmemiştir. Tuğlanın iç sıcaklığındaki artış 55 K olduğunda tuğla çıkarılarak deney sonlandırılmıştır. Tuğlanın çıkarıldığı anda kaydedilen sıcaklık değerleriyle de tuğlanın sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Deneyler iki ısıtıcı 180 °C ve turbo 175 °C halleri için yapılmıştır.

Tuğlanın sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi için ilk olarak yükseklik merkezinde ($h=32$ mm) tuğlaya 25 adet delik delinmiş ve bu deliklere termoeleman yerleştirilmiştir. (Şekil 3.7.1)



Şekil 3.7.1 Yükseklik merkezinde 25 noktadan delinmiş tuğla

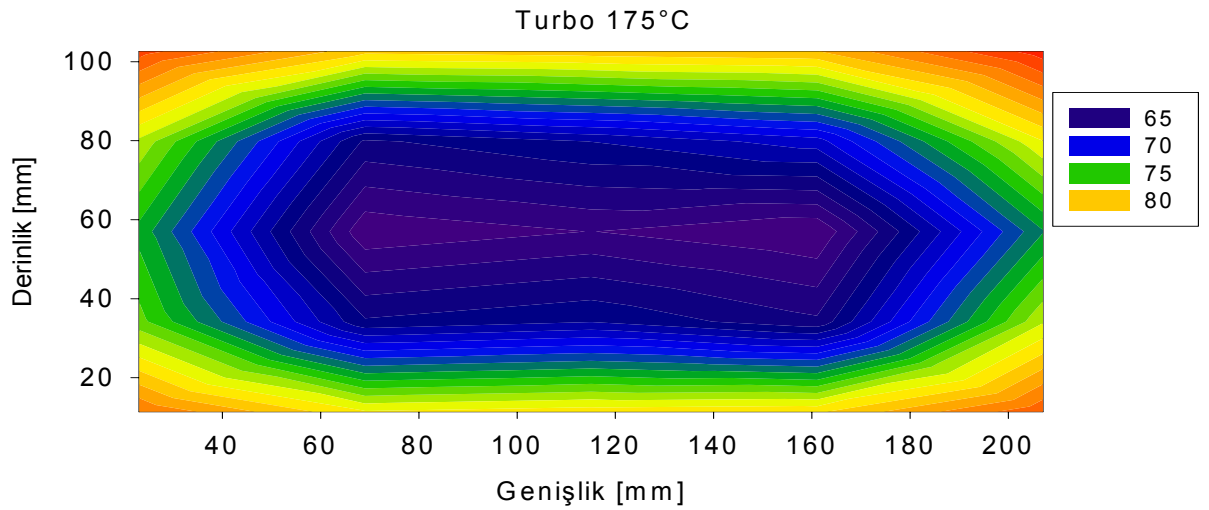
İki ısıtıcı çalışma modu, 180 °C deney sonuçlarından elde edilen tuğla sıcaklık dağılımı Şekil 3.7.2’de verilmiştir.



Şekil 3.7.2 İki ısıtıcı 180 °C için tuğlanın sıcaklık dağılımı (üstten görünüş)

Tuğla sıcaklığının kenarlardan merkeze doğru gittikçe azaldığı, en çok konveksiyon alanına sahip köşelerde maksimum sıcaklık olduğu gözlenmektedir. Elde edilen maksimum sıcaklık 85 °C'dir.

Turbo modu 175 °C sıcaklığı için ortaya çıkan sıcaklık dağılımı ise Şekil 7.2.3'te gösterilmiştir:



Şekil 3.7.3 Turbo 175 °C için tuğlanın sıcaklık dağılımı (üstten görünüş)

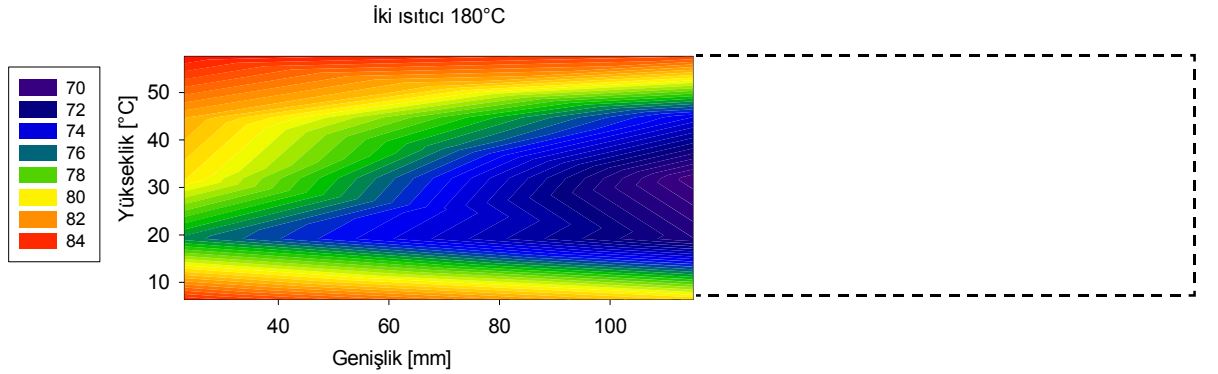
İkinci kısımda ise tuğla yüksekliği boyunca sıcaklık dağılımının belirlenebilmesi için tuğla ön yüzeyinden yükseklik boyunca 5 adet delik delinmiş ve termoelemanlar

tuğlanın derinlik merkezine yerleştirilmiştir. Delikler ön yüzeyin sol köşesinde ve ortasında olmak üzere 10 tanedir. 10 noktadan delinmiş ve termoeleman yerleştirilmiş tuğla aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.7.4):



Şekil 3.7.4 Derinlik merkezinde yükseklik boyunca 10 noktadan delinmiş tuğla

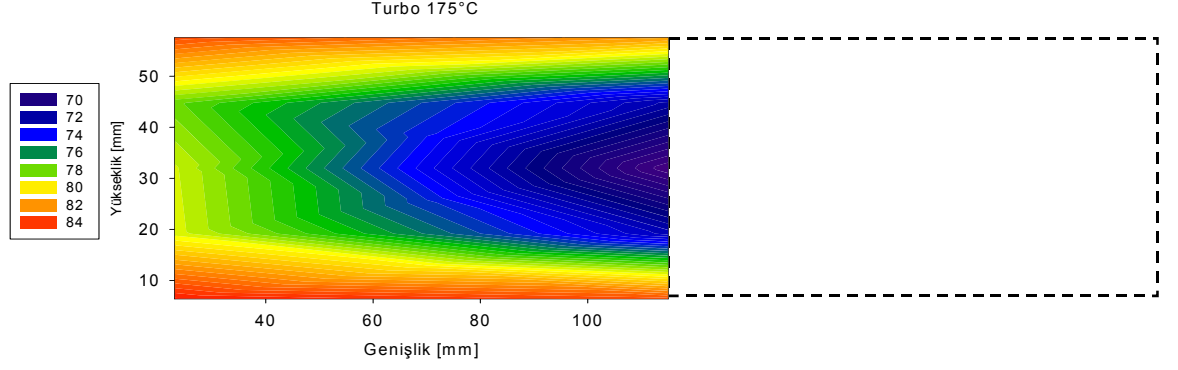
Yine iki ısıtıcı 180 °C için sıcaklık dağılımı Şekil 3.7.5'te verilmiştir:



Şekil 3.7.5 İki ısıtıcı 180 °C için yükseklik boyunca sıcaklık dağılımı

Tuğlanın üst yüzeyi üst ısıtıcıyı görmesi sebebiyle alt yüzeyden daha sıcaktır. Tuğla yüksekliği boyunca simetrik bir sıcaklık dağılımı gözlenmiş, tuğlanın iç kısımlarının yüzeye yakın bölgelerden soğuk olduğu görülmüştür. Tuğla genişliği boyunca yine tuğlanın iç taraflarına doğru sıcaklıkların düştüğü görülmektedir.

Turbo 175 °C sıcaklığı için elde edilen sıcaklık dağılımı ise aşağıdaki gibidir (Şekil 3.7.6):



Şekil 3.7.6 Turbo 175 °C için yükseklik boyunca sıcaklık dağılımı

Turbo çalışma modunda tuğla alt yüzeyinin üst yüzeyine göre daha sıcak olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu yüksek lisans çalışmasında, elektrikli fırınların ısı performansını deneysel olarak incelenmiş ve fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında fırının deneylerinin yapılacağı, mutfak simüle eden bir deney köşesi hazırlanmıştır.

İncelenen patent ve makalelerde ağırlıklı olarak ısıtıcılardan yayılan ısıya duvarlar tarafından soğutulup dış ortama kaybedilmesini engellemek için yansıtıcı plakalar kullanıldığı, kaybın yüksek olduğu fırın kapısı üzerinde durulduğu, ısı köprülerinden kaçan ısıya engellenmeye çalışıldığı, farklı ısıtıcı geometrileri üzerinde durulduğu görülmüştür.

Deney köşesinde ilk olarak fırının mevcut hal deneyleri yapılmıştır. Bu grupta fırın orijinal durumunda yani on-off çevrim yapacak şekilde çalıştırılmış ve fırının mevcut hal performansı incelenmiştir. Bu durumda deney sonuçlarını etkileyen parametre sayısının çok olmasının, elde edilen deney sonuçlarından genel bir sonuç çıkarılmasını engellediği gözlenmiş ve “Sabit Sıcaklık Deney Metodolojisi” geliştirilmiştir. Bu durumda ısıtıcılar bir varyakla kontrol edilerek fırın iç sıcaklığı sabit tutulmuş ve sistemin toplam ısı geçiş katsayısı hesaplanmıştır.

Deneylerin üçüncü grubunda ise fırının enerji sınıfının uluslararası standartlara göre belirlenmesi için tuğla testleri yapılmıştır. Yiyeceği simüle etmek üzere soğuk suda bekletilen tuğlayı ısıtmak için harcanan enerji değerine göre fırınlar sınıflandırılmaktadır.

Her üç grup deneyde de ilk olarak fırının üzerinde değişiklik yapılmadan fırının ısı performansını incelenmiş, daha sonra ise fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmaları içeren literatür taraması doğrultusunda fırın üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak, değişikliklerin fırın performansı ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Yapılan üç grup deney sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Tekrarlanabilir deney üretmedeki zorluklar ve çeşitli belirsizlikler, termostatik çalışma deney sonuçlarının yorumlanmasını güçleştirmektedir.
- Termostatik çalışma ve sabit sıcaklık deneylerinde fırın davranışları benzerlik gösterse de termostatik çalışma deneylerinde saçınık sonuçlar elde edilmektedir. Bu da fırın üzerinde yapılan değişikliklerin beklenen etkilerinin gözlenmesini zorlaştırmaktadır.
- Sabit sıcaklık deney metodu fırın karakterinin, fırın ısı kayıp mekanizmalarının belirlenmesinde, kontrollü deney yapılmasını ve kolay, hızlı ve tutarlı sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu da muhtemel düşük enerji tüketen fırın çalışmaları dahilinde fırın üzerinde yapılacak değişikliklerin fırın performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi açısından önemli bir noktadır.
- Ön ısıtma periyodunun ve on-off çevrim periyotlarının göze alınmaması sebebiyle sabit sıcaklık deney metodu uluslararası standartlarla birebir örtüşmemektedir.
- Fırının enerji sınıfının belirlendiği tuğla testlerinde fırın içinde yük olması fırının ön ısıtma süresini ve dolayısıyla enerji tüketimini artırmaktadır. Tuğlanın suda bekletilmiş olması ve tuğlanın emdiği suyun deney boyunca buharlaşması ısı transferinin yanında kütle transferini de etkin kılmaktadır.
- Tuğla testinde de on-off çevrim yapacak şekilde çalıştırılan fırında, tuğlanın kütlesi, suda bekletilme süresi, tuğla sıcaklığı gibi parametreler de eklenince bu deneylerde de tekrarlanabilen, tutarlı sonuçlar elde etmek güçleşmektedir. Ayrıca tuğla testi standardının enerji, kütle, sıcaklık, hacim gibi karşılaştırma parametrelerinde geniş değer aralıkları vermesi, deney değerleri standarda uysa da deneylerden beklenen sonuçların, iyileştirmelerin gözlenmesini zorlaştırmaktadır. Ancak tuğla testlerinde yapılan değişikliklerle elde edilen sonuçların genel olarak sabit sıcaklık deney sonuçlarını izlediği söylenebilir.

Fırın performansını etkileyen parametrelerin çok oluşu fırının, pişirmenin modellenmesini güçleştirmektedir. Fırın içindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi, kayıpların azaltılması, sadece enerji tüketimi değil, yemek pişirme performansı açısından da önemlidir. Fırın içi sıcaklıklarının yüksek olması, sistemde çok sayıda ısı kayıp mekanizmasının olması (ısı köprüler, cam, kapak, infiltrasyon) fırın enerji

tüketimini ve bu değerin önemini artırmakta ve diğer beyaz eşyalara göre yüksek olan enerji tüketim değerinde elde edilecek kazançları önemli kılmaktadır. Yüksek sıcaklıklar ve ortaya çıkan yüksek ısı ev içi güvenliğinde de yüksek öneme sahiptir. Kolayca uygulanacak çeşitli yöntemlerle fırın ısı kaybı azaltılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bickell S.F. and Gillot W.A.**, 1937. Improvements relating to electric hot plates and the like, GB485603, H. D. Fitzpatrick & CO.
- [2] **Lees N.E and Clarke W.**, 1947. Improvements in or relating to electric cooking apparatus, GB485603, G. F. Redfern & CO.
- [3] **Steen, C.A. and Villa Solbacken**, 1958. Electric heating apparatus, US2860225.
- [4] **Freedman G., Bowen R.F and Dudley K.W.**, 1986. Electric oven with improved broiler, US4629865, Raytheon CO.
- [5] **Thaler Martin**, 1990. Cooker with a radiant heater, EP0399178, Bosch Siemens Herbert.
- [6] **Sherman Victor L.**, 2001. Cooking apparatus, US6288369.
- [7] **Newborough Marcus**, 1995. High efficiency oven using reflector, GB2289607, Cranfield University.
- [8] **Shaughnessy, B.M. and Newborough Marcus**, 2000. Energy Performance of a Low-Emissivity Electrically Heated Oven, *Applied Thermal Engineering*, **20**, 813-830.
- [9] **Shaughnessy, B.M. and Newborough Marcus**, 1998. Radiative Heat Transfer In Low-Emissivity Ovens, *Applied Thermal Engineering*, **18**, 619-641.
- [10] **Dewitt D.P, Kern S.T. and Peart V.M.**, 1979. Energy-efficient bi-radiant oven system, US4164643.
- [11] **Masters A.G and Munden J.E.**, 1983. Radiant heat cooking apparatus, US4421015, United Biscuits Ltd.
- [12] **Bergendal Lars**, 1986. Domestic Infra-Red Domestic Oven, US4575616.
- [13] **Adamski, J.R., Kitabayashi and J.J. Wiersma W.J.**, 2000. Electric heating element for cooking oven, US6104005, Distinctive Appliances.
- [14] **Cook; E.R. and Adamski; J.R.**, 2000. Oven with combined convection and low mass, high power density heating, US6114664, Amana Copmany.
- [15] **Yang, K.K., Jong G.R., Wan S.K. and Sung J.H.**, 2001. Rapid cooking device using infrared light, US2001032838, LG Electronics.

- [16] **Bertazzoni, Roberto**, 1992. Household cooking oven provided with an electric infra-red emission grill which is arrangeable at different heights., EP0526435, SMEG.
- [17] **Ekundayo, C.O., Probert S.D. and Newborough M.**, 1998. Heat Transfers From a Cylinder in a Rectangular Enclosure, *Applied Energy*, 61, 57-78.
- [18] **Ekundayo, C.O.**, 1994. Heat Transfer in Enclosures: Ovens, *Doktora Tezi*, Cranfield University.
- [19] **Nuss J.J.**, 1976. Simplified oven door window, US3996710, General Electric Copmany.
- [20] **Nachlinger Herbert and Has U.D.I.**, 1995. Arrangement for observing and monitoring cooking processes in cookers, DE4333443, Bosch Siemens Herbert.
- [21] **Maitenaz Paul and Gernez Alain**, 1990, Cooking chamber apparatus, US4590360, Cepem.
- [22] **Özyurt B., Kayıhan A.S., İnan C, Eğrican N.E. and Gürel S.**, 2003. Thermal Modelling of an Electrical Domestic Oven, *IATC Proceedings*.
- [23] **Kayıhan A.S., Özyurt B., İnan C and Eğrican N.E.**, 2003. A Method for Determining the Heat Loss Characteristics of an Oven, *IATC Proceedings*.
- [24] **Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC)**, 1998. Electric Ovens for Household Use- Methods for Measuring the Energy Consumption, EN 50304.

ÖZGEÇMİŞ

S. Aslı Kayıhan, 1979 yılında Ankara’da doğdu. Ortaöğrenimini 1997 yılında Ankara Gazi Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 1997 yılında girdiği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.