İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ FIRINLARIN ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTMAYA YÖNELİK YÖNTEMLERİN DENEYSEL OLARAK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina. Müh. Ahmet BOZGEYİK

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ISI-AKIŞKAN

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ FIRINLARIN ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTMAYA YÖNELİK YÖNTEMLERİN DENEYSEL OLARAK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Müh. Ahmet BOZGEYİK
(503031125)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006

Tez Danışmanı :	**Prof.Dr. Taner DERBENTLİ**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. Feridun ÖZGÜÇ**
	Doç.Dr. Altuğ ŞİŞMAN

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Taner DERBENTLİ'ye teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve çalışmaya destek olan Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, başta Sn. Şemsettin EKSERT ve Sn. Fatih ÖZKADI 'nın şahsında teşekkür ederim.

Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ve eleştirileriyle çalışmaya katkıda bulunan Sn. Dr. Levent AKDAĞ'a, Sn. Dr. Deniz ŞEKER'e, Sn. Bekir ÖZYURT'a, Sn. Alper SOYSAL'a ve Sn. Aslı KAYIHAN'a, deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sn. Mehmet MARAŞLI ve yapılan çalışmaya katkılarından dolayı Arçelik ARGE Akışkanlar Dinamiği ve Malzeme Laboratuarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca verdikleri destekten dolayı Sn. Sinan Eren YALÇIN, Sn. Barış PARILDAR, Sn. Özgür BİLGİÇ, Sn. Serdar DERİKESEN ve tüm Arçelik ARGE Yüksek Lisans Öğrencileri'ne teşekkür ederim.

Son olarak, tüm hayatım boyunca her adımımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiren sevgili AİLEM ve Sn. Murat ÖZKAYA, Sn. Mehmet Hayri KURT, Sn. İhsan UÇAR, Sn. Mehmet KOCA ve Sn. Ahmet OĞUZCAN 'a ve tüm dostlarıma şükranlarımı sunarım.

Haziran 2006 Ahmet BOZGEYİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **İİİ**
İÇİNDEKİLER **İV**
KISALTMALAR **V**
TABLO LİSTESİ **Vİ**
ŞEKİL LİSTESİ **Vİİ**
SEMBOL LİSTESİ **Vİİİ**
ÖZET **İX**
SUMMARY **X**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **3**
2.1. Yalıtım Uygulamaları 5
2.2. Kapak Uygulamaları 7
2.3. Farklı yayma katsayılı fırınlar ve Reflektör Uygulamaları 9
2.4. Diğer Uygulamalar 12
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **14**
3.1. Deney Laboratuarı ve Kullanılan Fırınlar 14
3.2. Enerji Tüketimi Deney Standardı 18
4. DENEYLER **24**
4.1. Ölçüm Sistemi Analizi (ÖSA) Çalışmaları 25
4.2. Yalıtım Uygulamaları 25
4.3. Isıl köprü Uygulamaları 32
4.4. Kapak Uygulamaları 35
4.5. Işınım Kalkanı Uygulamaları 40
4.6. Reflektör Uygulamaları 42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **45**
KAYNAKLAR **50**
ÖZGEÇMİŞ **53**

KISALTMALAR

ANSI : American National Standarts Institute

CENELEC : Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

ÇK : Çeşitlilik Katsayısı

FGM : Functionally Graded Material

FKS : Fan Koruma Sacı

LOW-E : Low Emissivity

TBC : Thermal Barrier Coating

TGF : Toplam Görüş Faktörü

VIP : Vacuum Insulation Panel

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 EN 50304 enerji tüketimi deney standartları ve sıcaklıkları..... 22
Tablo 4.1 Yalıtım malzemelerinin sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı değerleri [44] 27
Tablo 4.2 Yalıtım malzemelerinin yoğunluk ve özgül ısı değerleri [42,43]..... 27
Tablo 4.3 Yalıtım uygulamalarındaki fırının orijinal enerji tüketim sonuçları..... 28
Tablo 4.4 40 mm kalınlıkta iğneli cam yünü ile elde edilen enerji tüketimi 28
Tablo 4.5 20 mm kalınlıktaki taş yünü ile elde edilen enerji tüketimi..... 29
Tablo 4.6 30 mm kalınlıkta taş yünü ile elde edilen enerji tüketimi..... 29
Tablo 4.7 30 mm sarı cam yünü ile elde edilen enerji tüketimi..... 30
Tablo 4.8 40mm sarı cam yünü ile elde edilen enerji tüketimi..... 30
Tablo 4.9 25 mm seramik yünü ile elde edilen enerji tüketimi..... 31
Tablo 4.10 25 mm dynaguard yalıtım malzemesi ile elde edilen enerji tüketimi 31
Tablo 4.11 Isıl köprü uygulamaları için kullanılan fırının orijinal sonuçları..... 33
Tablo 4.12 Statik 180K sıcaklık farkında ısıl köprü deney sonuçları..... 34
Tablo 4.13 Isıl köprü deneylerinin yapıldığı fırınınorijinal enerji tüketimi..... 34
Tablo 4.14 Turbo 155K sıcaklık farkında ısıl köprü deney sonuçları..... 34
Tablo 4.15 Kapak deneylerinde kullanılan fırın için orijinal enerji ölçüm sonuçları 36
Tablo 4.16 3 camlı kapakta orta cam ve en iç camın yansıtıcı ile kaplanması 36
Tablo 4.17 Alüminyum levhalı kapak kullanılan fırının enerji tüketimi 37
Tablo 4.18 Kapakta Alüminyum levha ve yalıtım kullanılması 38
Tablo 4.19 Cam sayısının arttırılmasının fırının enerji tüketimine etkisi 38
Tablo 4.20 Çerçeveli kapak kullanılan fırının enerji tüketimi..... 39
Tablo 4.21 Tamamen izole edilen kapak için enerji tüketimi deney sonuçları..... 40
Tablo 4.22 Işınım kalkanı deneylerindeki fırının orijinal enerji tüketim sonuçları ... 41
Tablo 4.23 Turbo 155K sıcaklık farkında ışınım kalkanı uygulaması sonuçları 42
Tablo 4.24 Statik 180K sıcaklık farkındaki ışınım kalkanı uygulaması sonuçları 42
Tablo 4.25 Reflektör deneylerinde kullanılan fırının orijinal enerji tüketimi..... 43
Tablo 4.26 Reflektör kullanılarak elde edilen enerji tüketim deneyi sonuçları 44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 En sık kullanılan yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması [2] 5
Şekil 2.2 Farklı yalıtım malzemelerinin ısıl direnç değerleri [3] 6
Şekil 3.1 EN 50304 standartlarına göre deney düzeneğinin şematik görüntüsü..... 15
Şekil 3.2 Enerji tüketimi deney düzeneğinin görünüşü 15
Şekil 3.3 Fırının şematik görünüşü 16
Şekil 3.4 Fırının belirtilen elemanları ile birlikte şematik görüntüsü 17
Şekil 3.5 Data Logger ve sıcaklık ölçüm kanalının gösterilmesi..... 17
Şekil 3.6 Tuğla boyutları ve üzerine yerleştirilen termoelemanlar..... 18
Şekil 3.7 Test odası sıcaklığının ölçümü için yerleştirilen termoelemanın konumu . 19
Şekil 3.8 Fırının kullanılabilir hacmi 20
Şekil 3.9 Tuğlaların buzdolabında su içerisinde bekletilmesi..... 20
Şekil 3.10 Tuğla ağırlığının ölçülmesi 21
Şekil 3.11 Tuğlanın deney esnasındaki fırın içindeki konumu 21
Şekil 4.1 Fırının deney esnasında çalışma grafiği..... 24
Şekil 4.2 Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının değişimi [42, 43]..... 27
Şekil 4.3 İki farklı fırın için termal kamera ile ısıl köprülerin görüntülenmesi 32
Şekil 4.4 Ön ve arka bağlantı vidalarına plastik rondela yerleştirilmesi..... 33
Şekil 4.5 Şasi ön çerçevesine delik delinmesi..... 33
Şekil 4.6 Kapak deneylerinde kullanılan 3 camlı orijinal kapak 35
Şekil 4.7 Kapakta sadece siyah çerçeve boyunca Alüminyum levha kullanılması.... 37
Şekil 4.8 Alüminyum levha ile yalıtımın birlikte uygulanması 38
Şekil 4.9 Kapakta 3.cam kullanılmasının gösterilmesi 39
Şekil 4.10 Kapakta kullanılan çerçeve yüzeyi 39
Şekil 4.11 Fırın kapağının tamamen iğneli cam yünü ile izole edilmesi 40
Şekil 4.12 Işınım kalkanı kullanılan fırının şematik görünüşü 41
Şekil 4.13 Reflektör kullanılan fırın..... 43

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{c_p}$	**:** Özgül ısı (kJ/kgK)
d	**:** Fırın hacminin yüksekliği
e	**:** Fırın hacminin genişliği
f	**:** Fırın hacminin derinliği
ρ	**:** Yoğunluk (kg/m^3)
ε	**:** Yayma katsayısı
μ	**:** Mikro
°	**:** Derece
%	**:** Yüzde

ELEKTRİKLİ FIRINLARIN ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTMAYA YÖNELİK YÖNTEMLERİN DENEYSEL OLARAK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Dünyada enerjinin daha verimli kullanılması ve fırın üreticilerinin pazarda kendilerine yer bulabilmeleri açısından, yüksek enerji verimine sahip fırınlar üzerindeki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ev tipi elektrikli fırınlarda pişirme kalitesini olumsuz yönde etkilemeyecek enerji tüketimini azaltma yöntemlerinin deneysel olarak etkilerinin araştırılması ve fırınların enerji tüketiminin irdelenmesidir.

Elektrikli fırınların enerji tüketimini etkileyen yöntemlerin belirlenmesi amacıyla, deneysel çalışmalar öncesinde çeşitli makaleler ve patentler incelenmiştir. Yapılan inceleme sonrasında, fırınların enerji tüketimini azaltmaya yönelik uygulanacak yöntemler belirlenmiştir.

Deneyler yalıtım, ısıl köprü, kapak, ışınım kalkanı ve reflektör uygulamaları olmak üzere beş ana başlık altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, ilk olarak fırın pişirme bölgesinden çevreye olan ısı kaybını azaltmak için farklı yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Daha sonra, fırın bağlantı elemanları üzerinde iletim yoluyla oluşan ısıl köprülerin engellenmesi için farklı yöntemler denenmiştir. Deneylerin bir sonraki kısmında, farklı kapak tasarımları yapılmıştır ve ısıtıcı tarafından yayılan ısının fırın duvarları tarafından yutulmasının engellenmesi ve tekrar fırının pişirme bölgesine gönderilmesi için fırın pişirme bölgesinde farklı yayma katsayısına sahip ışınım kalkanları kullanılmıştır. Deneylerin son kısmında, üst ısıtıcı üzerinde değişik malzemelerden üretilen yansıtıcı yüzeyler kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan fırınların üzerinde değişiklik yapılmadan önce, mevcut durumlarında enerji tüketimi deneyleri yapılmıştır. Uygulanan yöntemlerin enerji tüketimine etkisini belirlemek için, mevcut durumdaki enerji tüketimi değeriyle uygulanan yöntemin sonucunda elde edilen enerji tüketim değeri karşılaştırılmıştır. Enerji tüketimindeki iyileşme veya kötüleşme, sayısal olarak açıklanmıştır.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION FOR THE REDUCTION OF THE ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRICALLY HEATED OVEN

SUMMARY

Studies about high energy efficiency ovens are increasing day by day for the reasons of country economies, efficient usage of energy and oven manufacturers' demand for market share. The aim of the study is to experimental investigation for reducing the energy consumption which will not effect the cooking quality.

Before the experimental studies, some articles and patents were studied for the definition of methods about energy consumption of electric ovens. After the study of the literature, the methods for reducing energy consumption of ovens are defined.

Experiments were done in five parts. These are insulation, thermal bridges, oven doors, radiation shields and reflector aplications. Firstly, in the experiments, different kinds of insulation materials were used in order to decrease the heat loss from the oven cavity to the ambient. Secondly, to prevent the thermal bridges that occur by heat conduction on the binding elements, alternative methods were tried. Afterwards, different oven door constructions were done. Then, in order to prevent the heat absorbtion by the oven walls and reflect the heat radiated by the heaters, radiation shields which have low emissivity were used in the oven cavity. Lastly, reflectors which are manufactured from different materials were tried on the upper heater.

Before doing the modifications in the ovens, some energy consumption experiments were done. Later, to examine the effect of the used methods to energy consumption, energy consumption values before modification and energr consumption values after modification were compared. The bettering or worsenig of the energy consumption were explained in numerical values.

1. GİRİŞ

Enerjinin günden güne önem kazanması ile birlikte fırınlar, enerji tüketimi açısından uluslararası standartlara göre sınıflandırılmıştır. Ülke ekonomileri, dünyadaki enerjinin daha verimli kullanılması ve fırın üreticilerinin pazarda kendilerine yer bulabilmeleri açısından, yüksek enerji verimli fırınlar üzerindeki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Enerji verimliliği kriteri, düşük satınalma maliyeti ve ürün kalitesi gibi düşünülürse, tüketicinin cihaz seçimi yaparken dikkat çeken etkin parametrelerden birisi olmuştur.

Bu çalışmanın amacı, ev tipi elektrikli fırınlarda pişirme fonksiyonunu olumsuz yönde etkilemeyecek enerji tüketimini azaltma yöntemlerinin deneysel olarak araştırılması ve fırınların enerji tüketiminin irdelenmesidir. Literatür çalışmalarında fırınların enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak çeşitli yöntemler ile karşılaşılmaktadır. Bu çalışmalarda alternatif yalıtım malzemeleri kullanarak fırından ısı kaybının azaltılması, ısıtıcıdan yayılan ısının yiyecek üzerine gitmeyen kısmının reflektörler yardımı ile tekrar yiyecek üzerine gönderilmesi, fırında farklı ve kritik bölgelere yalıtım uygulanması, değişik kapak konstrüksiyonlarının tasarlanması, fırın içinde farklı yayma katsayısına sahip kaplama malzemelerinin kullanılması gibi değişik yöntemler üzerinde çalışılmıştır.

Bu çalışmada aynı model, fakat birden fazla fırın üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan fırınların ortak özelliği, termostat ayarıyla açma-kapama çevrimi yapacak şekilde çalışan fırınlar olmasıdır. Bu çalışmanın ilk aşamasında, detaylı literatür ve patent araştırması yapılarak fırınlarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak denenen alternatif yöntemler hakkında bilgi toplanmıştır. Literatür çalışması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda, fırınlar üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak enerji tüketim deneyleri yapılmıştır.

Deneylerde ilk olarak yalıtım malzemelerinin enerji tüketimine etkileri incelenmiştir. Farklı yalıtım malzemeleri fırın şasisi etrafına sarılarak fırının enerji tüketim testleri

yapılmıştır. Bazı yalıtım malzemeleri farklı kalınlıklarda denenerek, kalınlık değişiminin fırının enerji tüketimine etkisi görülmüştür. Aynı zamanda, yalıtım malzemelerinin fiziksel özelliklerinin enerji tüketimine etkileri incelenmiştir.

Deneylerin ikinci kısmında, ısıl köprü yoluyla kaybolan ısının azaltılmasına yönelik deneyler yapılmıştır. Alternatif yöntemler uygulanmadan önce farklı iki fırın modeli için, fırınların termal kamera ile görüntüsü alınarak ısıl köprü yolları incelenmiş ve bu ısıl köprü yollarını engelleyici yöntemler üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneylerin üçüncü kısmında, kapak çalışmaları yapılmıştır. Farklı kapak konstrüksiyonları ve camlar üzerine uygulanan farklı kaplama malzemelerinin fırının enerji tüketimine etkisinin belirlemek için deneyler yapılmıştır. Camlarda yalıtım malzemesi kullanılmasının fırının enerji tüketimine etkisi belirlenmiştir.

Deneylerin dördüncü kısmında, fırın içerisinde ışınım kalkanı olarak Alüminyum levhalar kullanılarak yüksek yansıtma özelliğine sahip yüzeylerin fırının enerji tüketimine etkisini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Farklı fırın yüzeylerinde, ışınım kalkanı kullanılarak enerji tüketim deneyleri yapılmıştır.

Daha sonraki deneysel çalışmada, fırının üst ısıtıcısı üzerine farklı malzemelerden reflektörler takılarak enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Aynı formda, fakat farklı malzemelerden imal edilen reflektörlerin fırın enerji tüketimine etkisi belirlenmiştir.

Fırınların enerji tüketimini belirlemek ve denenen yeni alternatif yöntemin fırının orjinal enerji tüketimine etkisini görebilmek için, fırınların üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan önce mevcut durumları ile enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Daha sonra uygulanan alternatif yöntemin sonucu ile mevcut durumun sonucu kıyaslanarak uygulanan yöntemlerin fırının enerji tüketimine olumlu veya olumsuz etkisi sayısal olarak açıklanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Fırınlarda enerji tüketimi üzerindeki çalışmalar günümüzde devam etmektedir. Fırınların uluslararası standartlar tarafından enerji tüketimlerine göre sınıflandırılması bu çalışmaların gelecekte artmasına sebep olacaktır. Fırınlarda enerji tüketimi, hem ülke ekonomisi açısından hem de fırın üretici firmaların kendilerine pazarda yer bulabilmeleri açısından en önemli kriterlerden birisi olmuştur. Enerji tüketimini azaltırken pişirme kalitesine de dikkat etmek gerekmektedir. Bu nedenle enerji tüketimini azaltma yöntemlerinin pişirme kalitesini kötüleştirmemesi gerekmektedir. Fırınlarda enerji tüketimini etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bu tez çalışmasında, bu parametreler ile ilgili makaleler ve yapılan patent çalışmalarından bahsedilmektedir.

İzolasyon ve yalıtım malzemesi uygulamaları, fırında ısı kaybını/kaçaklarını engellediği için uygulanan yaygın yöntemlerden birisidir. Yalıtım malzemesinin fırın üzerine uygulama yönteminin yanı sıra yalıtım malzemesinin tipi de önemlidir. Son zamanlarda, özellikle 2000 yılından sonra, VIP (vakum izolasyon panel) yönteminin fırınlarda uygulanması dikkat çekmektedir. Vakum izolasyon uygulamalarının geleneksel yalıtım yöntemlerine göre ısı kaybını önemli ölçüde azalttığı sonucu çıkarılabilir.

İncelenen patentlerde ve literatür araştırmasında karşılaşılan diğer önemli bir parametre yaygın olarak kullanılan reflektör uygulamalarıdır. Fırın içerisinde ısıtıcıdan yayılan ısının bir kısmı yiyecek üzerine gönderilir, bir kısmı fırın yapısı tarafından yutulur ve bir kısım ise duvardan çevreye ısı kaybı ve/veya kaçak olarak geçer. Reflektör ve kaplama malzemesinin kullanıldığı fırınlarda yüksek verim artışı olduğu gözlemlenmiştir.

Fırınlarda kapak bölgesi, cam kapak üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında, cam sayısı arttırılmış veya kapak üzerinde cam yüzey alanı azaltılarak ısı geçişi zorlaştırılmış örneklerle karşılaşılmaktadır. Ayrıca cam yüzeyler, fırın içini

gösterebilecek şekilde üzerine gelen ısıyı tekrar fırın içine yansıtacak bir kaplama malzemesi ile kaplanabilir.

Verimli bir pişirme sağlanmasına yönelik olarak turbo çalışma durumu için hava üfleme ile ilgili patentler de dikkat çekmektedir. Isıtıcı üzerinden geçen nispeten sıcak havadan maksimum şekilde faydalanmak için değişik üfleme patentlerine rastlanmıştır. Üfleme yolları yardımıyla havanın fırın içinde etkin sirkülasyonu sağlanarak enerji tüketimi anlamında verimli pişirmenin elde edildiği belirtilmiştir.

Fan-ısıtıcı uyumu, ısı transferinin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi açısından önemli bir konudur. Isıtıcı tiplerinin farklı konfigürasyonları sağlanarak ısıtıcıdan daha etkin şekilde faydalanılabilmektedir. Etkin bir ısıtıcı konfigürasyonu ve fırın içerisinde ısıtıcı konumunun optimizasyonu sağlanarak ısıtılacak hava ile ısıtıcı arasında maksimum ısı transferini sağlayacak durum elde edilebilir. Dolayısıyla verim artacaktır. Kızılötesi, halojen lamba uygulamaları gibi farklı dalga boylarında ısı yayan ısıtıcı tipleri de dikkat çekmektedir. Enerji tüketimi anlamında ısıtıcının bulunduğu hacim de önemlidir. Hacim ayarlamalı fırınlara bakıldığında yiyecek boyutuna göre hacmi ayarlayıp ısıtıcıdan daha etkin şekillerde faydalanan örnekler görülmüştür.

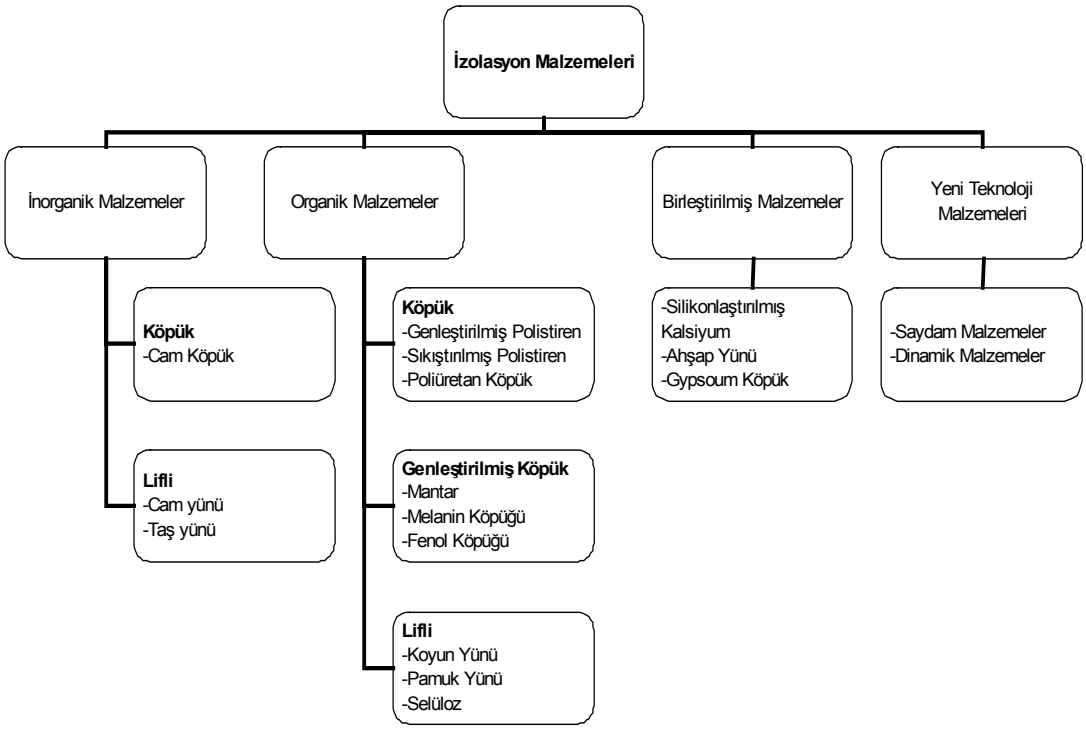
Kontrol algoritmaları ise hem yiyecek kalitesi açısından hem de enerji tüketimi açısından önemli bir parametredir ve bu konuyla ilgili çalışma ve patent veya patent başvurusu da bulunmuştur. Literatür çalışmalarında, fırınlarda geleneksel on/off kontrol sistemi yerine farklı bir kontrol sistemi uygulaması ile hem verim açısından hem de fırın içerisinde homojen sıcaklık sağlanması açısından daha iyi sonuçlar alınabileceği açıklanmıştır.

Düşük yayma katsayısının sağlanması durumunda, fırınlarda da ısı kaybı azaltılarak verim açısından daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Detaylı literatür ve patent araştırması yapılarak fırınlarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak denenen alternatif yöntemler hakkında bilgi toplanmıştır. Literatür çalışması sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda, fırınlar üzerinde çeşitli değişiklikler yapılarak enerji tüketim deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.1. Yalıtım Uygulamaları

Fırınlarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak en yaygın karşılaşılan yöntemlerden birisi fırın şasisi etrafında yalıtım malzemesi kullanarak ısı kaybının engellenmesidir. Yalıtım malzemeleri kullanılarak bir fırının enerji tüketimi %2-20 arasında azaltılabilmektedir. İyi yalıtılmış, küçük hacimli (~23 lt) bir fırın büyük hacimli (~60 lt) bir fırının yarısı kadar daha az enerji tüketebilir. Fırınları kısımlara ayırarak farklı pişirme bölgeleri oluşturulabilir ve enerji tüketimi azaltılabilir. İzolasyonun kalınlığı, yeterli ısıl direnç ile küçük ısıl kütleyi sağlayacak en iyi şekilde tasarlanmalıdır. İzolasyon malzemesinin kalınlığı arttırıldığında ısıl kütle artışından dolayı, fırındaki ısıl direnç artışı beklenenden daha az olabilir [1].

İzolasyon malzemeleri sınıflandırılırken fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre Şekil 2.1'deki gibi sınıflandırılır.

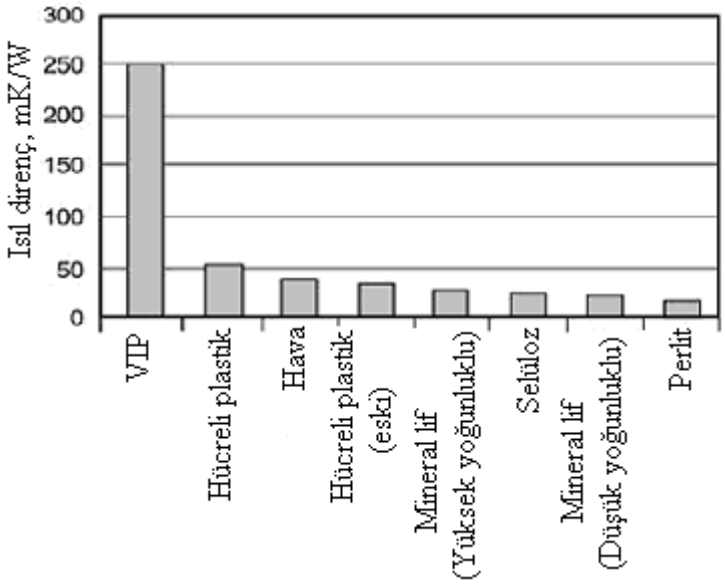


Şekil 2.1 En sık kullanılan yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması [2]

Cam yünleri kuvars kum, dolomite, resovit ve kireç taşından oluşur. Malzemenin mukavemetini arttırmak için yapışkan malzemeler eklenmiştir. Taş yünü ise, cam yünü gibi bazı temel malzemeler içermektedir. Ana fark ise üretim prosesi esnasında daha yüksek erime sıcaklığı ve farklı lif boyutlarından kaynaklanmaktadır. Bu

farklar, taş yününü daha ağır, daha yüksek erime sıcaklığı ve dolayısıyla yüksek sıcaklık uygulamaları için daha uygun özellikler kazandırmaktadır. İzolasyon malzemesini seçerken fiziksel özellikleri, sağlık ve çevre ile ilgili özellikleri, uygulanabilirliği ve maliyeti dikkate almak gerekir [2].

Vakum izolasyon paneli (VIP), dolgu malzemesi olarak bilinen mikro veya daha küçük yapıdaki gözenekli malzeme ile folyo malzemeden oluşmaktadır. Vakum izolasyon paneli, diğer yalıtım malzemelerinden 10 kat daha fazla yalıtım performansı gösterebilmektedir (Şekil 2.2). VIP kullanımında folyoya zarar vermek, yalıtım malzemesinin ısıl yalıtım performansını olumsuz yönde etkilemektedir [3].



Şekil 2.2 Farklı yalıtım malzemelerinin ısıl direnç değerleri [3]

VIP yalıtım malzemelerinin inşaat sektöründeki bir uygulamasında, enerji kayıplarını azaltma konusunda sağladıkları kazanımlar deneysel ve nümerik yöntemlerle saptanmaya çalışılmıştır. Deneysel düzenek olarak bir kapı sisteminin kullanıldığı bu çalışmada, VIP uygulandığı durumda enerji tüketiminde %25 iyileşme sağlandığı gösterilmiştir [4].

Deniz otomobilleri, nükleer füzyon reaktörleri gibi uygulamalarda kullanılan ısıl bariyer kaplamalarının (Thermal Barrier Coatings-TBCs) incelendiği bir çalışmada ise, bu kaplama malzemesinin bir değişik örneği olan FGM (Functionally Graded Material) kaplama malzemesinin farklı kalınlıklarda ısı akısı miktarının arttırılarak ısıl yalıtım performansı incelenmiştir. Belirli bir ısı akısında, kalınlık arttıkça daha

yüksek sıcaklık farkı ve daha yüksek efektif ısı iletim katsayısı alınmıştır. Efektif ısı iletim katsayısı; numuneye uygulanan ısı akısı değerinin, sıcaklık farkının numune kalınlığına oranına bölünmesiyle elde edilir [5].

Fırınlarda yalıtım malzemesi uygulamaları ile alınan patentlerde ise 2000 yılından sonra VIP uygulamaları dikkat çekmektedir. 2002 ve 2003 yılında Matsushita Electric firması tarafından alınan patentlerde fırınlarda alt ve üst ısıtıcılar üzerinde yalıtım malzemesi olarak VIP kullanılmıştır [6, 7]. 1993 yılında Zaki Gforge tarafından alınan patentte ise fırın duvarları çift kat yapılmıştır ve çift kat yalıtım malzemesi kullanılarak fırının enerji tüketiminin azaltıldığı iddia edilmektedir [8]. 1986 yılında Europ Equip Manager firması tarafından alınan patentte, bir adet ara bölme perdesi kullanılarak, yiyeceğin büyüklüğüne bağlı olarak bu perdenin fırın duvarlarında bulunan farklı yüksekliklerdeki raflara takılması ile fırın hacmi küçültülmüş ve fırının veriminin arttırıldığı iddia edilmektedir [9].

1997 yılında Aeg Hausgeraete firması tarafından alınan patentte, kat kat alüminyum levhalardan oluşan yalıtım sisteminden bahsedilmektedir. Alüminyum levhaların birbiriyle temasından kaynaklanacak olan ısıl köprü oluşumunu engellemek için levhalar üzerinde V şeklinde geometriler oluşturulmuştur [10]. Bu patentin devamı niteliğinde olan bir diğer patentte ise aynı şekilde kat kat alüminyum levhalar kullanılarak yalıtım sistemi oluşturulmuştur. Levhalar arasında mesafeyi korumak için yalıtım malzemesinden oluşan ek parçalar kullanılmıştır [11]. Her iki patentte de levhalar arasındaki havanın yalıtım özelliğinden faydalanılmıştır.

2.2. Kapak Uygulamaları

Fırınlarda kapak bölgesi enerji tüketimi açısından önemli bölgelerden biridir. Cam kullanılmayan, yalıtılmış bir kapı ile enerji korunumu sağlanmaktadır. Cam takılmadan, fırın içini görmek için bir gözetleme sistemi kullanılmasıyla %2-5 enerji korunumu sağlanmaktadır. Fırının kapı camının üzerinde Alüminyum levha kullanılarak yaklaşık %7 enerji korunumu sağlanabilir. Cam sayısının arttırılması ve fırın içi görünümünü engellemeden cam yüzeyinin azaltılması ile (eliptik şekilde cam kullanılması) fırının enerji tüketimi azalmaktadır [1].

1999 yılında Whirlpool firması tarafından alınan patentte, mümkün olduğu kadar az bağlama elamanı ve vida kullanılarak ısı kayıplarını en aza indirmek amaçlanmıştır. Kapak elamanları birbirine geçmeli olarak takılmıştır ve kapakta camlar arasında yalıtım malzemesi kullanılmıştır [12]. 1991 yılında Bosch Siemens Hausgeraete firması tarafından alınan patentte, kapakta 4 adet cam kullanılarak kapaktan gerçekleşen ısı kayıpları azaltılmıştır. 1988 yılında Saes Getter SPA firması tarafından alınan patentte ise cama kaplama malzemesi uygulanmıştır. Bu kaplama malzemesi ile camın geçirgenlik özelliği %15-20 arasında düşmektedir. Kaplama malzemesinin yansıtma özelliği yüksek olduğundan dolayı fırının ısı kaybı azaltılmıştır. Kaplama malzemesi olarak 0,1 μm kalınlığında CuO_2 kullanılmıştır [13]. 1975 yılında General Electric firması tarafından alınan patentte, camların kapakta ısıl köprü oluşturulduğu belirtilmiştir. Camların kapıya takıldığı yerlerde yalıtım malzemesi kullanarak ısının kapı üzerinden yürümesi engellenmiştir. Ayrıca kapakta camlar arasında yalıtım malzemesi kullanılmıştır [14].

1972 yılında General Electric firması tarafından alınan patentte, ısı kayıplarını engellemek için hareketli bir ışınım perdesi kullanılmıştır. Fırın içini görmek istenirse ışınım perdesi hareket ettirilerek fırın içi görünebilir. Işınım perdesi sayesinde fırının enerji tüketimi azaltılmıştır [15]. 1969 yılında Kelvinator firması tarafından alınan patentte ise, kepenkli bir fırın kapısından bahsedilmektedir. Kullanılan kepenk, yan yana sıralanmış kanatçıklardan oluşmaktadır. Fırın içi görülmek istendiği zaman kepenk kanatçıkları yönlendirilebilir ve görünüm sağlanmaktadır. Kullanılan kanatçıklar ısı yansıtma özelliğine sahiptir. Ancak sistemin dezavantajı ise, kepenk dolayısıyla sistemin ısıl kütlesinin artmasıdır [16].

1963 yılında General Electric firması tarafından alınan patentte, camların iç yüzeylerinin yansıtıcı özelliğe sahip kaplama malzemesi ile kaplandığı zaman, ısının tekrar fırın içine yönlendirilmesi mümkündür. Ancak, kaplama malzemesi zamanla dökülebilmektedir. Diğer bir faktör ise, kaplama malzemesinin neme karşı ne kadar dayanabileceği hususudur. Bu sebeplerden dolayı, yansıtıcı elaman olarak alüminyumdan yapılan delikli levha kullanılmaktadır [17]. 1990 yılında Huffer Russell tarafından alınan patentte ise, çift camlı pencere sisteminde dıştaki camın iç yüzeyine 4 tabakadan oluşan bir kaplama malzemesi uygulanmıştır. Cam yüzeyinden dışa doğru ilk olarak çinko veya kalay oksit kullanılmıştır. Daha sonra Ag kaplama

ve onun üzerine Alüminyum, Ti, Zn veya Sn malzemelerinden biri kaplanmıştır. Son tabaka ilk tabaka ile aynıdır. Camın saydamlık özelliği sabit kalarak ısı yansıtma özelliği arttırılmıştır. Bu kaplama malzemesinde, Ag yansıtma özelliğini arttırırken metal oksitler geçirgenliği yüksek tutmak için kullanılmıştır [18].

1987 yılında Tokyo Gas Co. firması tarafından alınan patentte, kapının cam penceresi üzerinde bir panjur kullanılmıştır. Fırın içerisindeki yemek, bu panjur sayesinde görülebilmektedir. Panjur kapalı olduğu durumlarda ısının camdan kaçması engellenmiş olur. Camdan ısı kaybı azaldığından fırın verimi artmıştır [19].

1989 yılında Matsushita firması tarafından alınan patentte ise ısıl verimi arttırmak ve yüksek hızda pişirme sağlamak için camın iç yüzeyine 50 angström ile 800 angström arasındaki bir kalınlıkta TiN kaplanmıştır. Kalınlık 50 Angström'den az olursa verimli yansıtma sağlanamamaktadır ve 800 Angström'den daha büyük olursa şeffaflık azalmakta ve fırın içi gözükmemektedir [20]. 1980 yılında Tokyo Electric Co firması tarafından alınan patentte ise, ısı kaybını azaltmak ve cam üzerinde sıcaklık yükselmesini engellemek için cam yüzeyine uygulanan 3 katlı bir kaplama malzemesinden bahsedilmektedir. Camın iç yüzeyine ilk olarak In_2O_3, sonra SiO_2 ve en son olarak yine In_2O_3 kaplanmıştır [21].

2.3. Farklı yayma katsayılı fırınlar ve Reflektör Uygulamaları

Düşük yayma katsayılı yüzeylere sahip fırınlarda, ısıtıcıdan yayılan ısının yiyecek üzerine giden kısmı geleneksel fırınlara göre daha yüksek olduğu için bu tip fırınların ısıl verimi yüksektir. Fırın duvarları geleneksel fırınlara göre daha az enerjiyi yutar ve fırın pişirme bölgesinin hava sıcaklığı daha hızlı yükselir. Bu tip fırınlarda %28-33 enerji korunumu sağlanabilir. Fırın duvarlarının yansıtma katsayısı yüksek olursa, ön ısıtma zamanı, geleneksel fırınlara göre daha kısa olmaktadır [1].

Düşük yayma katsayısına sahip bir fırın prototipi üzerinde enerji performansı deneylerinin yapıldığı bir uygulamada, prototip olarak pişirme bölgesi çevresinde her iki tarafında 0.15 mm kalınlıkta Alüminyum folyo bulunan, 25 mm kalınlıktaki yalıtım malzemesi olan bir fırın kullanılmıştır. Fırın duvarlarından 5 mm uzaklıkta bulunacak şekilde, takılıp çıkarılabilen düşük yayma katsayılı paneller takılmıştır. Bu plakaların yayma katsayısı (ε) 0.07±0.01'dir. Fırında kullanılan ısıtıcılar ise 6.35 mm

çapındadır. Karşılaştırma için Electrolux firmasına ait Juno JEH 500E fırını kullanılmıştır. Fırınların enerji tüketim değerlerini birbirleriyle kıyaslamak için üç ayrı deney standardı (CENELEC-1984, ANSI-1986 ve CENELEC-1998) kullanılmıştır.

CENELEC-1984 test yöntemi, sürekli rejimde çalışma durumunda boş bir fırının statik durumda saatte tükettiği enerji tüketimini belirlemek amacıyla kullanılır. Sıcaklık ölçmek için kullanılan termoelaman, fırının kullanılabilir hacminin geometrik merkezine yerleştirilir. Fırın sıcaklığındaki artış, doğal taşınım durumunda 180±2 K ve zorlanmış taşınım durumunda ise 155±2 K olacak şekilde ayarlanır. Fırında sürekli rejim sağlandıktan sonra en az iki saat çalıştırılır ve enerji tüketimi ölçülür. CENELEC-1984 standardına göre, düşük yayma katsayılı yüzeylere sahip fırında 180 K sıcaklık artışı için gereken sürenin Juno fırına göre %36 daha az olduğu bulunmuştur. Sürekli rejimdeki enerji tüketimi ise %43 daha az bulunmuştur.

ANSI-1986 standardına göre, test yükü olarak fırın içerisine silindirik şekilde Alüminyum blok konulmaktadır. Blok fırın içerisine yerleştirilir ve istenilen sıcaklık değerine kadar yükseltilir. Belirli bir sıcaklık artışı için fırının enerji tüketimi ölçülür. ANSI-1986 standardına göre, test süresinin %63 daha az olduğu bulunmuştur. Düşük yayma katsayılı yüzeylere sahip fırın ile kararlı rejimde daha az değişen bir sıcaklık değeri elde edilmiştir.

CENELEC-1998 standardına göre, yapısı itibari ile yiyeceği simgeleyen, su emdirilmiş bir tuğla kullanılır. Fırın içine konulan tuğlanın merkez sıcaklık artışı 55K olana kadar fırın içinde tutulur ve fırının enerji tüketimi ölçülür. Bu standarda göre düşük yayma katsayılı fırının enerji tüketimi 624 Wh ve test süresi 34 dk bulunurken, Juno fırının enerji tüketimi 977 Wh ve test süresi 51 dk olarak bulunmuştur [22].

Düşük yayma katsayılı yüzeylere sahip fırınlar üzerinde yapılan diğer bir çalışmada ise farklı ısıtıcı şekilleri ve farklı ısıtıcı konumlarının fırın performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analiz yapılırken iki farklı parametre tanımlanmıştır. Bu parametreler, toplam görüş faktörü (TGF) ve çeşitlilik katsayısı (ÇK)'dır. Toplam görüş faktörü; bir yükün tek bir yüzeyi ya da tüm yüzeyleri tarafından yutulan

radyasyon kısmını ifade etmektedir. Çeşitlilik katsayısı ise; yükün bir yüzeyindeki şekil faktörünün ne oranda homojen olarak dağıldığını ifade etmektedir.

Bu çalışmada, boyutları 400 mm ve duvarları 0.1 yayma katsayısı değerine sahip olan küp şeklindeki bir kabin ile 300 mm boyutlarında ve yayma katsayısı 1 olan bir plaka kullanılmıştır. Farklı yayma katsayısı değerlerindeki duvarların (0.1, 0.5, 0.9) fırın içindeki plakaya etkisini incelemek amacıyla ısıtıcıdan plakaya olan boyutsuz ısı akısı değerleri hesaplanmıştır. ε=0.1 için, boyutsuz ısı akısı en yüksek değerini almıştır.

Farklı ısıtıcı konumu ve geometrileri denenerek, fırın içinde bulunan yiyeceğin tipine ve miktarına göre analizler yapılmıştır. Sonuç olarak dengesiz radyasyon dağılımın sebepleri; yükün ısıtıcılara yakın yerleştirilmesi, yükün en geniş yüzeylerinin ısıtıcılara dik olarak yerleştirilmesi ve komşu yüklerin radyasyon yayılmasını kısmen etkilemesinden kaynaklanmaktadır [23].

2004 yılında Lee Jang Bum tarafından alınan patentte, aynı zamanda pişirme odasının sınırlarını oluşturacak şekilde tasarlanan tünel şeklindeki yansıtıcı plaka kullanılmıştır. Isıtıcıdan gelen ısı, yansıtıcı plaka vasıtasıyla tekrar yiyecek üzerine gönderilmektedir [24]. 2002 yılında Matsushita Electric firması tarafından alınan patentte, fırın duvarları kaplama malzemesi ile kaplanmıştır. Kaplama malzemesi olarak tetraflorüretilen-perflorür alkil vinil eter kullanılarak oluşturulmuştur [25]. 2000 yılında Daikin Ind. Ltd. Firması tarafından alınan patentte fırın duvar yüzeylerine uygulanan ısı yansıtıcı özelliğe sahip polimer içeren florür tabakadan bahsedilmektedir. Bu tabakanın kızıl ötesi ışın yansıtmasının %85 veya daha fazla olduğu iddia edilmektedir [26]. 1998 yılında General Electric firması tarafından alınan patentte, kızıl ötesi enerjiyi yansıtıcı bir emaye kompozisyondan bahsedilmektedir. Bu emaye kaplamanın içerisine TiO_2 gömülmüştür. Bu emaye kaplama ile %80 kızıl ötesi enerji yansıtma sağlandığı iddia edilmektedir. Emaye aynı zamanda metal oksit partikülleri içermektedir. Bu partiküller sayesinde yansıtma özelliği arttırılmaktadır [27].

1998 yılında Amana Company firması tarafından alınan patentte, fırın pişirme bölgesi içerisinde elips şeklinde reflektörler kullanılmıştır. Isıtıcıdan yayılan ısının yiyecek üzerine gitmeyen kısmı, bu reflektörlere çarparak tekrar yiyecek üzerine

gönderilmektedir [28]. 1980 yılında Matsushita Electric firması tarafından alınan patentte, ısıtıcı ile fırın duvarları arasına reflektör konulmasıyla pişirme süresinin azaltıldığı ve enerji tüketiminin azaltıldığı iddia edilmektedir. Reflektör, fırın içini tamamen örtmektedir [29]. Yine aynı firma tarafından 1986 yılında alınan patentte ise reflektör takılıp çıkarılabilir şekilde tasarlanmıştır. Üst ısıtıcı üzerinde kullanılan reflektörün yemek pişirilmesi esnasında yağ, tuz gibi maddelerin sıçramasıyla yansıtıcı özelliğini kaybettiğinden dolayı temizlenmesi gerekmektedir. Reflektör, kolaylıkla takılıp çıkarılabildiği için temizleme sorunu ortadan kaldırılmıştır [30]. 1993 yılında Miele firması tarafından alınan patentte, fırın içine emaye kaplama uygulaması ile ilgilidir. Bu emaye kaplama SnO_2'dir. Bu emaye kaplama ile fırının enerji tüketiminin azaltıldığı iddia edilmektedir. 1995 yılında Newbrough Marcus tarafından alınan patentte ise fırın içerisinde yayma katsayısı 0.1 olan ışınım kalkanları (Alüminyum alaşım tip 5251-H6) kullanılarak fırının enerji tüketimi azaltılmıştır. Yalıtım olarak mikroterm ve 3 camlı kapak kullanılmıştır [31].

2.4. Diğer Uygulamalar

Pişirici fırınların enerji verimliliği üzerine yapılan diğer bir çalışmada farklı bir kontrol yaklaşımından bahsedilmektedir. Fırın kontrolü, mevcut fırınlarda ısıtıcı elaman sıcaklığına göre veya fırın içi hava sıcaklığına göre yapılmaktadır. Bu çalışmada, fırın içerisinde pişirilecek bir hamura doğal taşınım durumunda ve zorlanmış taşınım durumunda pişirme yapılarak ekmek üzerine verilen ısı akıları ölçülmüştür. Zorlanmış taşınım durumunda hava hızı 0,6 m/sn olarak alınmıştır. Sonuç olarak, pişirme esnasında ışınımla ısı transferinin önemi tespit edilmiştir. Işınımla ısı transferi, doğal taşınım durumunda zorlanmış taşınıma göre daha etkili olmaktadır. Zorlanmış taşınım ile pişirme yapılması durumunda toplam ısı akısının, pişirilen ekmeğin farklı yüzeylerine homojen olarak dağıtılamadığı gözlenmiştir. Gerçekte, alt ve üst ısı akısı arasında %50 fark oluşması endüstriyel fırınlarda pişirme kalitesi açısından olumlu değildir. Kontrol stratejisi olarak, sıcaklık ölçümlerine dayanan geleneksel kontrol stratejilerinin yerine ısı akısına dayanan daha etkili bir yaklaşımın kullanılabileceği ifade edilmektedir [32].

1982 yılında Matsushita Electric firması tarafından alınan patentte, iki adet fan kullanılmıştır. Kenardan emiş yapılarak ortadan üfleme yapılmıştır. Isıtıcı tarafından

ısıtılan ısı ilk olarak ortadaki yiyeceğe üflendiği için fırının ısıl veriminin arttırıldığı ifade edilmektedir [33]. 1982 yılında yine aynı firma tarafından alınan patentte ise fırın arka bölmesinde bir adet fan ve fırın kavitesi üst kısmında bir adet ısıtıcı bulunmaktadır. Isıtıcı tarafından yiyecek üzerine direk olarak radyasyonla ısı gönderilmektedir. Ayrıca fan tarafından üflenen hava aynı ısıtıcı tarafından ısıtılmaktadır. Böylelikle fırının verimi arttırılmıştır [34]. 2004 yılında Samsung Electronics firması tarafından alınan patentte ise alt ısıtıcı olarak kullanılan ısıtıcı tepsi altına monte edilmiştir. Alt ısıtıcının yiyeceğe yaklaştırılması ile fırının verimi arttırılmıştır. Fırının arka duvarında, tepsilerin takılacağı yüksekliklerde güç beslemesinin yapılacağı terminaller bulunmaktadır [35].

1983 yılında Matsushita Electric firması tarafından alınan patentte ise M şeklinde ısıtıcı kullanılarak etkin bir fan-ısıtıcı uyumu sağlanmasıyla ısı transferinin arttırıldığı ve fırının veriminin arttırıldığı iddia edilmektedir [36]. Yine aynı yılda ve aynı firma tarafından alınan diğer bir patentte ise fırının arka kısmında ek bir ısıtma odası oluşturularak, ısıtıcı özel oluşturulan koridor içinde tutulmakta ve hava ile ısıtıcının etkin temasının sağlandığı ifade edilmektedir. Böylece fırının verimi arttırılmıştır [37]. 1982 yılında aynı firma tarafından alınan diğer bir patentte ise baca gazından faydalanılarak yüksek verimli bir fırın elde edilmiştir. Bacaya bir metal oksit, bir nitrit, bir karpit ve Al, Ti, Si, Zr, Ca, Cr, Ni, Co ve Fe içeren bir bileşimden oluşan ısı toplayıcı gövde yerleştirilmiştir. Bu ısı toplayıcı gövde ile toplanan ısının yiyeceğe kızılötesi ışın olarak gönderildiği iddia edilmektedir [38].

1983 yılında Sanyo Electric firması tarafından alınan patentte ise, ön ısıtma süresinin azaltılmasını sağlayan bir kontrol sistemi ile fırının enerji tüketiminin azaltıldığı iddia edilmektedir. Pişirme odası sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta ön ısıtma yapılarak enerji tüketiminin azaltıldığı iddia edilmektedir. Kontrol devresi sayesinde, fırın ısınmaya başladığında okunan sıcaklık ayarlanan sıcaklık değeri ile karşılaştırılmaktadır. Fırın içinden okunan sıcaklık değeri belirli bir yüzdelik değerinde arttırılmaktadır. Ön ısıtma sıcaklığı daima set edilen sıcaklık değerinden daha düşük sıcaklıkta olmaktadır ve enerji tüketiminin azaltıldığı iddia edilmektedir [39].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Fırınlar üzerinde çeşitli yöntemler uygulanarak enerji tüketimlerinin belirlenmesi amacıyla enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Fırınların enerji sınıfının belirlenmesi için standartlarda belirtildiği şekilde tuğla testi uygulanarak, kullanılan fırınların enerji tüketim değerleri belirlenmiştir.

Deneylerde farklı uygulama alanları (yalıtım, ısıl köprü gibi) için aynı model, fakat farklı fırınlar kullanılmıştır. Fırınların ilk olarak orijinal durumlarıyla enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Daha sonra uygulanan değişikliklerle, uygulanan değişikliğin fırının enerji tüketimine etkisini belirlemek için orijinal enerji tüketim değeri ile kıyaslama yapılmıştır.

3.1. Deney Laboratuarı ve Kullanılan Fırınlar

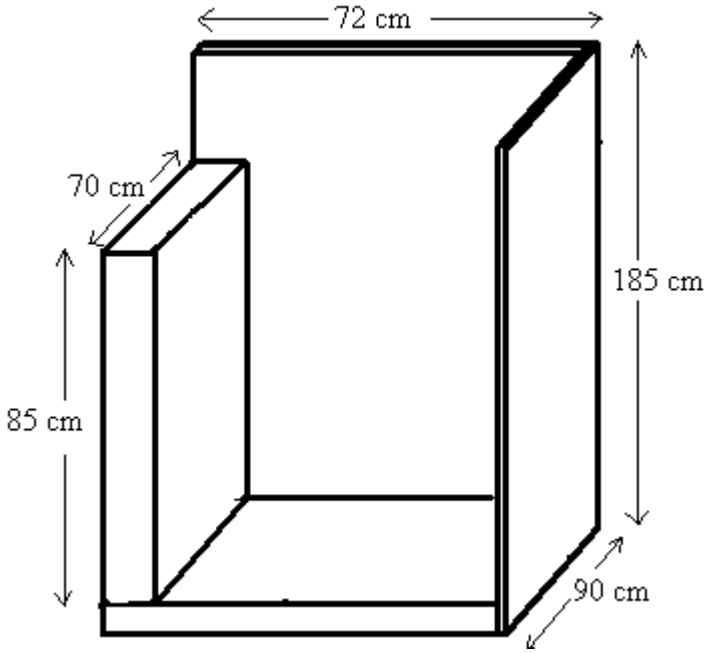
Fırının enerji tüketimini belirlemek amacıyla, deneyler fırının bulunacağı mutfağı simgeleyen EN 50304 fırın enerji tüketim deneyi standartlarına uygun bir deney düzeneğinde yapılmaktadır. Deney yapılırken, fırın mutfaktaki eşyaları temsil eden bir kabin içinde bulunmaktadır. Kullanılan kabinin boyutları aşağıda verilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

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

Yapılan deneylerde kullanılan fırınların genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Hacim : 58 lt
- Yüksekli : 85 cm

- Genişlik : 60 cm
- Derinlik : 60 cm



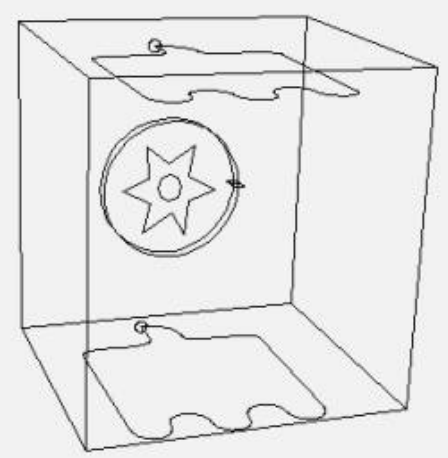
Şekil 3.1 EN 50304 standartlarına göre deney düzeneğinin şematik görüntüsü



Şekil 3.2 Enerji tüketimi deney düzeneğinin görünüşü

Deneylerde kullanılan fırınlarda bir pişirme bölgesi ve 3 adet ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcıların bir tanesi turbo ısıtıcı olarak adlandırılır ve fırın pişirme bölgesinin

arka tarafında bulunmaktadır, pişirme bölgesinin dışındadır. Diğer bir ısıtıcı üst ısıtıcı olarak adlandırılır ve pişirme bölgesinin üst tarafında ve pişirme bölgesi içerisindedir. Diğer ısıtıcı ise alt ısıtıcı olarak adlandırılır ve alt ısıtıcı pişirme bölgesinin altında ve dışında bulunmaktadır. Fırının şematik görünüşü Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Fırının şematik görünüşü

Turbo ısıtıcının merkezine yerleştirilen, ısınan havanın fırın içerisine gönderilmesini sağlayan bir adet radyal fan bulunmaktadır. Radyal fan ve turbo ısıtıcı, üzerinde çeşitli noktalarında patlatmalar ve delikler bulunan bir sac parça ile fırın pişirme bölgesinden ayrılmıştır. Turbo ısıtıcı vasıtasıyla ısınan ısı, sac parça üzerinde bulunan delikler arasından fırın pişirme bölgesine gönderilmektedir. Fırında kullanılan ısıtıcıların güçleri aşağıdaki gibidir.

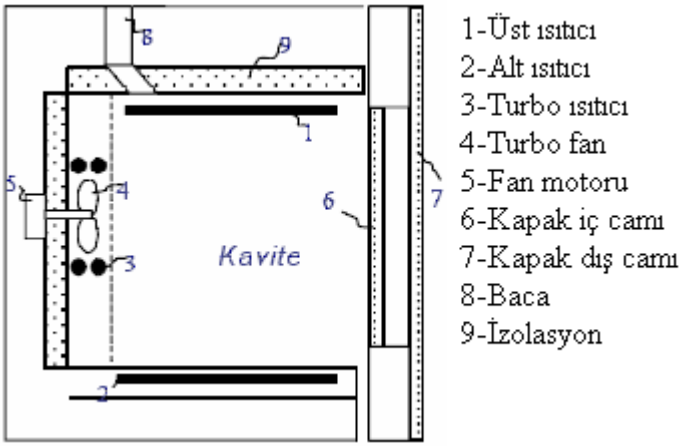
Turbo ısıtıcı: 2100 W

Üst ısıtıcı : 1100 W

Alt ısıtıcı : 1300 W

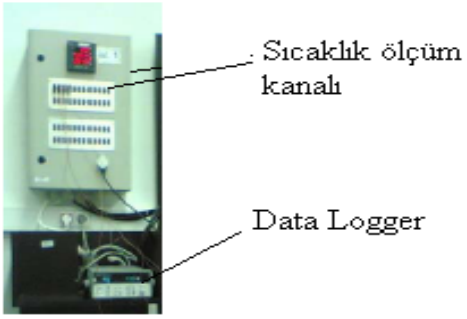
Fırında kapak ile fırın şasisi arasındaki açıklık, O conta kullanılarak kapatılmıştır. Ayrıca, fırının sağ üst köşesinde ısınmadan dolayı genleşen havanın dışarı atılmasını sağlamak amacıyla baca bulunmaktadır. Fırının ısı kaybını engellemek amacıyla, fırın pişirme bölgesinin etrafı yalıtım malzemesi ile sarılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan fırınlarda iğneli cam yünü kullanılmıştır.

Fırınlar, turbo durumda veya statik durumda çalışabilmektedir. Turbo çalışma durumunda, turbo ısıtıcı olarak adlandırılan ısıtıcı ve fan birlikte çalışır. Statik durumda ise, alt ve üstte bulunan ısıtıcılar çalışır, fan çalışmaz. Bu fırınlarda ayrıca, alt ve üst ısıtıcılarla birlikte fanın da beraber çalıştığı elektro-turbo olarak adlandırılan çalışma durumu ve tüm ısıtıcılarla birlikte fanın beraber çalıştığı 3-D durumu da bulunmaktadır. Fırın, elemanları ile birlikte Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Fırının belirtilen elemanları ile birlikte şematik görüntüsü

Fırınların enerji tüketim deneyleri için hazırlanan istasyonların her birinde J tipi termoelaman kanalları bulunmaktadır. Bu termoelamanlar vasıtasıyla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ölçümler Data Logger ile alınmaktadır. Enerji, güç, gerilim ve akım ölçümleri ise analiz cihazları ile yapılmaktadır. Laboratuarda test edilen cihazların, test süresince gerilimleri 3 adet regülatör ile kontrol edilmektedir. Data Logger ve sıcaklık ölçüm kanalı Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Data Logger ve sıcaklık ölçüm kanalının gösterilmesi

3.2. Enerji Tüketimi Deney Standardı

Fırınların enerji tüketim deneyleri CENELEC tarafından yayınlanan EN 50304 [40] standartlarına göre yapılmaktadır. Bu tuğla testinin amacı, fırının enerji tüketimi deneylerinin belirli bir prosedüre uygun şekilde yapılmasını sağlamaktır. Bu test sayesinde, fırın üretici firmaların ürettiği fırınlar için açıkladığı enerji tüketim değerleri kontrol edilebilmektedir.

Testte yük olarak tuğla kullanılmaktadır. Tuğla üzerinde sıcaklık ölçümü için 2 adet delik bulunmaktadır. Kullanılan tuğla gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu tuğlanın fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir.

Yoğunluk : 550 kg/m^3

Kuru ağırlık : 920 ± 75 gr

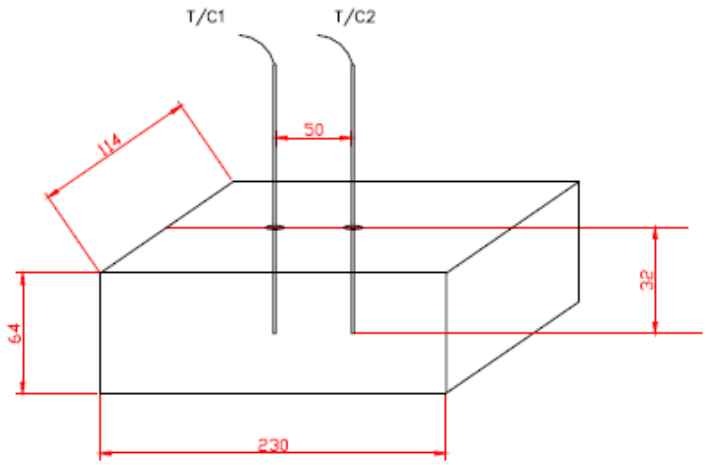
Su emmesi : 1050 ± 50 gr

Boyutlar : 230 x 114 x 64 mm

c_p (özgül ısı) : 800 J/kgK

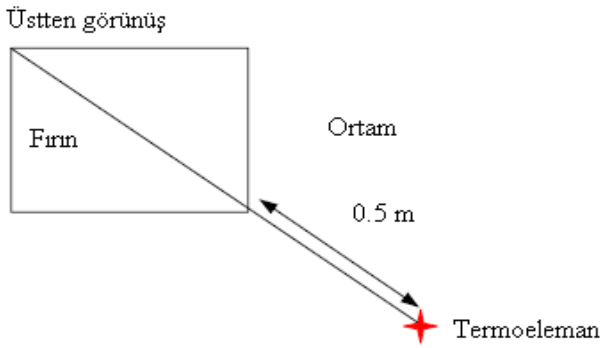
Isıl iletkenlik : 0.091 W/mK (200 ºC)

Tuğla ve üzerinde sıcaklık ölçümü için bulunan termoelemanlar Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Tuğla boyutları ve üzerine yerleştirilen termoelemanlar

Testlerin yapıldığı ortamda havalandırma olmaması gerekmektedir. Test odasının sıcaklığı 23±2 ºC'dir. Test başlamadan önce tüm test cihazları ortam sıcaklığında olmalıdır. Ortam sıcaklığı hesaplanırken, test süresi boyunca kaydedilen ortam sıcaklığı değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Oda sıcaklığı, fırının merkezi ile aynı yükseklikte bulunan bir termoeleman ile ölçülmektedir ve bu termoeleman fırının ön kenarlarından birinden köşegensel olarak 0.5 m mesafede bulunmaktadır (Şekil 3.7). Oda sıcaklığı ölçümü yapılırken, termoelemanın diğer bir cihaz tarafından etkilenmemesi gerekmektedir.



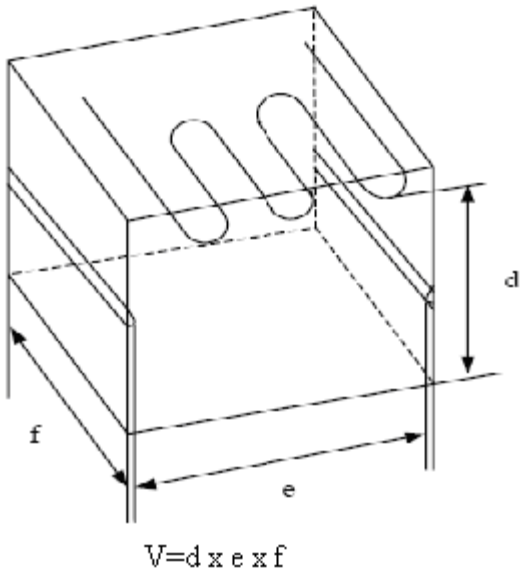
Şekil 3.7 Test odası sıcaklığının ölçümü için yerleştirilen termoelemanın konumu

Tuğla sıcaklık ölçümleri, hassasiyetleri ±1.5 K olan ve tuğlanın merkezine yerleştirilen 2 adet termoelaman ile yapılır. Termoelemanlar tuğla derinliğinin yarısına kadar (32 mm) saplanmaktadır. Böylelikle tuğlanın merkez sıcaklığı ölçülmüş olur. Deney süresince, tuğla içerisine yerleştirilen termoelemanların yerinden çıkmaması gerekmektedir. Bir tuğla en fazla 20 sefer kullanılmalıdır. Çünkü, termoelemanlar tuğla içine takılıp söküldüğü zaman tuğla delikleri genişleyecek ve termoelemanların okuduğu sıcaklık değeri gerçek tuğla sıcaklık değeri olmayacaktır.

Fırının kullanılabilir hacmi yüksekliği, derinliği ve genişliğinin çarpılmasıyla elde edilir, litre cinsinden belirlenir ve en yakın tam litre değerine tamamlanır (Şekil 3.8). Kullanılabilir derinlik ile genişliğin çarpılmasıyla en büyük pişirme yüzey alanı hesaplanır. Fırında pişirme tepsisi yerine ızgara elemanı bulunuyorsa, ızgara elemanının alanı hesaplanır.

Testte kullanılan tuğla, hem yiyeceğin ısıl özelliklerini hem de su içeriğini simgeleyen, suya doymuş bir tuğladır. Tuğla kullanılmadan önce 175 ºC ve üstü

sıcaklıkta hacmi 50 lt olan bir fırında, fan ile ısıtıcının beraber çalıştığı zorlanmış taşınımlı durumda üç saat kurutulur. Aynı fırında en fazla iki adet tuğla kurutulabilir.



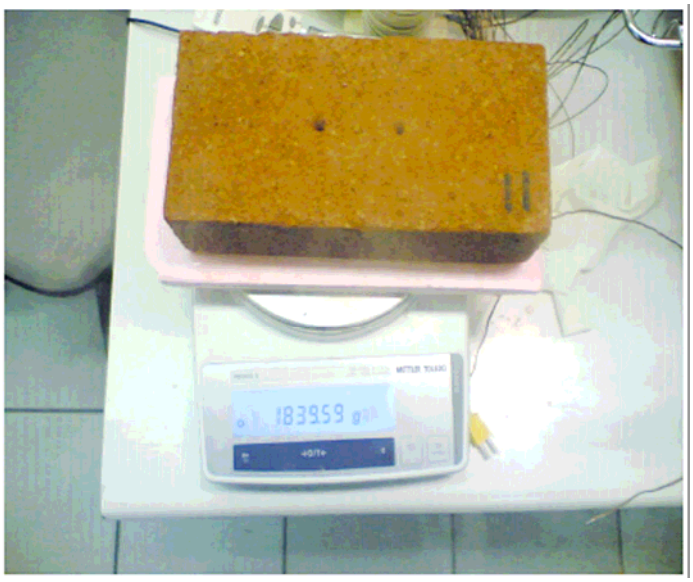
Şekil 3.8 Fırının kullanılabilir hacmi

Tuğlalar çıkarıldıktan sonra 5 dk içinde kuru ağırlığı ölçülür ve kaydedilir. Tuğla, daha sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Tuğlalar soğuduktan sonra, sıcaklığı 20 ºC'den daha düşük olan su dolu bir kaba konularak Şekil 3.9'daki gibi en az 8 saat buzdolabı içerisinde bekletilir ve sıcaklığının 5±2 ºC olana kadar soğuması beklenir.



Şekil 3.9 Tuğlaların buzdolabında su içerisinde bekletilmesi

Tuğla deney için buzdolabından çıkarıldıktan sonra yaklaşık 1 dk üzerindeki fazla su miktarını atması beklenir. Islak tuğlanın ağırlığı 1 dk geçtikten sonra ölçülür ve tuğlanın emdiği su miktarı ıslak ağırlık ile kuru ağırlık arasındaki fark ile hesaplanır.



Şekil 3.10 Tuğla ağırlığının ölçülmesi

Fırına konmadan önce tuğlanın merkez sıcaklıklarının 5±2 ºC olmasına dikkat edilmelidir. Deneye hazırlanan tuğla, diğer cihazlar oda sıcaklığında iken, fırının geometrik merkezine yerleştirilir (Şekil 3.11). Tuğla, fırın içerisinde ızgara elaman üzerinde tutulur. Bu ızgara elaman, mümkün olduğu kadar fırın merkezinde olmalıdır ve tuğla uzun kenarı, fırının önüne paralel olacak şekilde fırına yerleştirilir.



Şekil 3.11 Tuğlanın deney esnasındaki fırın içindeki konumu

Tuğlalar, buzdolabından çıkarıldıktan sonra 3 dk içinde deney başlatılmalıdır. Termostatın pozisyonu deney yapılacak sıcaklık değerine ayarlanır. Fırın, seçilen durumda istenilen sıcaklık değerine set edildikten sonra deney başlatılır. Fırınların enerji tüketim deneyleri EN 50304 standartlarına göre, Tablo 3.1'de gösterilen durumlarda ve sıcaklık değerlerinde yapılmaktadır.

Tablo 3.1 EN 50304 enerji tüketimi deney standartları ve sıcaklıkları

ISITMA MODU	ISITMA FONKSIYONLARI		
	Statik	Turbo	Buharlı
Δt1	(140±10) K	(135±10) K	(135±10) K
Δt2	(180±10) K	(155±10) K	(155±10) K
Δt3	(220±10) K	(175±10) K	(175±10) K

Sıcaklığı 5±2 ºC olan tuğla fırın içine konulduktan sonra, üzerindeki termoelemanlar ile merkez sıcaklığı okunur. Tuğladaki her iki deliğin sıcaklığındaki artış 55 K'ya ulaştığında tuğla fırından çıkarılır ve tuğlanın çıkarıldıktan sonraki ağırlığı ölçülür, deney süresi kaydedilir ve tuğla oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.

Tuğla fırından çıkarıldıktan sonra sıcaklık ayarı değiştirilmeden fırının kararlı hale gelmesi beklenir. Kararlı koşullarda, fırın merkez sıcaklığının en yüksek ve en düşük değerlerinin aritmetik ortalaması fırın merkez sıcaklığı olarak kaydedilir. Kararlı koşul, termostatın beş çevrimi tamamlama durumudur. Bir çevrim, termostatın iki kapama durumu arasındaki süredir. Fırın sıcaklığı, fırın boş iken merkezine yerleştirilen termoeleman ile ölçülür. Bu termoeleman, ızgaradan 30 mm uzaktadır.

Deney süresi boyunca nominal voltaj ve frekans toleransı %±1 olmalıdır. Deneyler esnasında enerji tüketimi, süre, tuğla merkez sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı ölçülür. Deney sırasında kaydedilen datalar ise şunlardır:

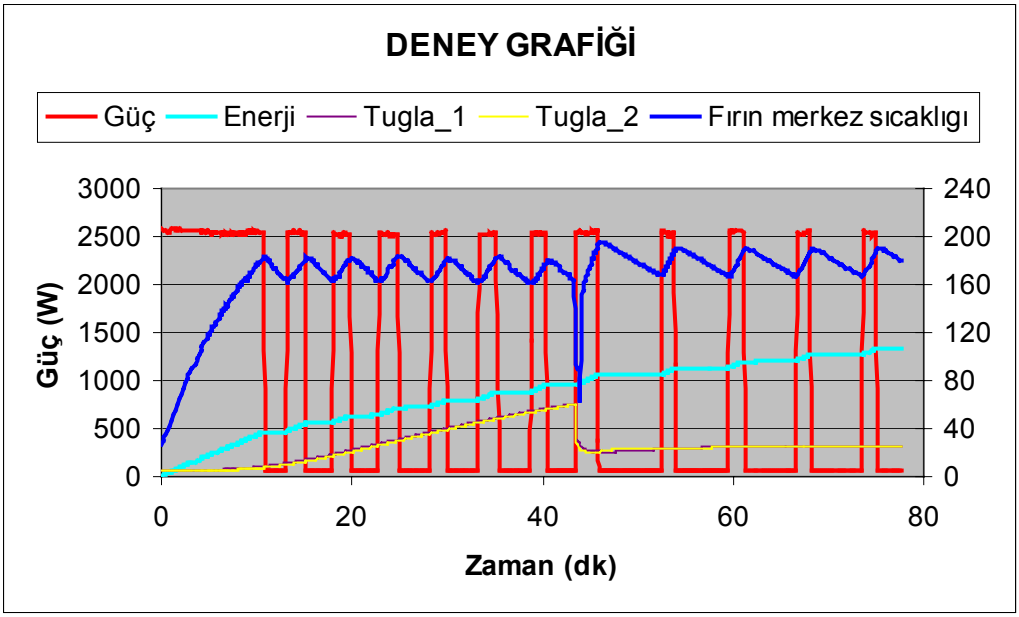
- Fırının cinsi ve ısıtma fonksiyonu
- Fırının kullanılabilir hacmi
- Pişirme tepsisinin veya ızgaranın kullanılabilir alanı
- Voltaj değeri
- Test edilen fonksiyonlar ve çeşitleri

- Fırının ön ısıtması için tüketilen enerji
- Ön ısıtma süresi
- Enerji tüketimi
- Zaman
- Tuğlanın emdiği su miktarı

Bulunan enerji tüketimi, fırın üretici firmanın bildirdiği değerin %10 + 40 Wh üstünde olmamalıdır. Bildirilen hacim değeri ±3'ten fazla değişmemelidir. Fırının ön ısıtma süresi ise, belirtilen değerin %15 fazlasından daha fazla olmamalıdır.

4. DENEYLER

Fırınlarda yapılan enerji deneyleri sonucunda elde edilen sonuç grafiği Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Mavi çizgi, fırın içi sıcaklık değişimini göstermektedir. Kırmızı çizgi, ısıtıcının gücünü göstermektedir. Fırın içi sıcaklığı ± tolerans aralığında çalışan termostat ile okunmaktadır. Fırın içi sıcaklığı üst limite çıktığında ısıtıcı devreden çıkmakta ve alt limite düştüğünde ısıtıcı tekrar devreye girerek sıcaklığın ayarlanan değerde rejimde kalması sağlanmaktadır.



Şekil 4.1 Fırının deney esnasında çalışma grafiği

Tuğlanın sıcaklığı, standartda belirtilen şartları sağladığı anda tuğla fırından çıkarılmakta ve fırın içi sıcaklığında kapak açıldığından dolayı aşırı azalma görülmektedir. Tuğla fırından çıktıktan sonra (~40 dk), fırın merkez sıcaklığının kontrolü için ısıtıcının en az 5 çevrim (açma-kapama) yapması beklenerek deney tamamlanmaktadır. 5 çevrim sonunda okunan ortalama sıcaklık, fırının ayarladığı sıcaklığı göstermektedir. Bu sıcaklık değerinden ortam sıcaklığının çıkarılmasıyla deneyin yapıldığı sıcaklık farkı (K) değeri hesaplanmaktadır.

4.1. Ölçüm Sistemi Analizi (ÖSA) Çalışmaları

Fırınlarda farklı uygulamalarla enerji tüketimi deneyleri yapmadan önce sistemin ölçüm sisteminin yeterliliğinin sağlanması gerekir. Deneysel çalışmalar öncesinde enerji tüketimine yönelik ölçüm sistemi analizi yapılmıştır. Bir ölçüm sistemi; ölçüm cihazlarını, ölçüm yapan operatörleri, ölçüm ortamını, ölçüm kurallarını ve ölçüm için yardımcı ekipmanları içerir. Ölçüm sistemi analizi uygulamaları,

- Yeni bir ölçüm cihazı alındığında
- Bir ölçüm cihazını diğeri ile karşılaştırırken
- Kötü olduğundan endişe duyulan ölçüm sistemini gözden geçirirken
- Ölçüm cihazını tamir öncesi ve sonrası karşılaştırırken kullanılır [41].

Ölçüm sistemi analizi için, farklı model fırınlar ile turbo çalışma durumunda 155K sıcaklık farkında 2 operatör tarafından iki kez tekrar yapılarak enerji deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bulunan deney sonuçları ile MINITAB programı kullanılarak Gage R&R analizi yapılmıştır.

Ölçüm sistemi analiz çalışmaları sonucunda, ölçümlerdeki toplam değişkenliğin %99,92 kadarının fırından fırına farklardan, %0,08 kadarı ise aynı fırının tekrarlı ölçümleri arasındaki farklardan kaynaklandığı sonucu çıkarılmıştır. Ölçüm sisteminin parçaları birbirinden ayırma yeterliliği $\%2{,}91 < \% 30$ olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma sonucunda ölçüm sisteminin parçaları birbirinden ayırma yeterliliğinin çok iyi düzeyde olduğu sonucu çıkarılmıştır. Bu sonuç ile fırının enerji tüketimine yönelik olarak ölçüm sistemi yeterliliği doğrulanmıştır.

4.2. Yalıtım Uygulamaları

Fırınlarda enerji tüketimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi yalıtım uygulamalarıdır. Farklı türlerde yalıtım malzemeleri ve bu yalıtım malzemelerinden bazılarının farklı kalınlıklarda denenmesiyle yalıtım malzemesinin ve kalınlığının

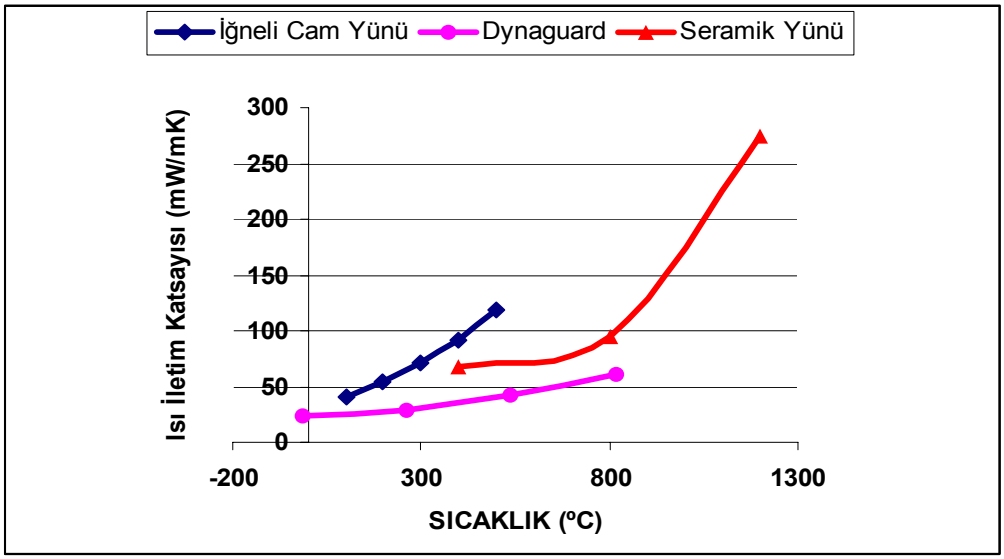
enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan yalıtım malzemesi türleri şunlardır:

- İğneli cam yünü
- Üzerinde Alüminyum folyo bulunan sarı cam yünü
- Taş yünü
- Seramik yünü
- Dynaguard

Deneyler, EN 50304 standardına göre turbo 155K ±10 sıcaklık farkında yapılmıştır. Deneylerde kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısı değerleri Şekil 4.2 ve Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Taş yünü için 25 °C'de ısı iletim katsayısı değeri 40 mW/mK'dir [42].

Cam yünü yalıtım malzemeleri 300 ºC sıcaklığa kadar kullanılabilirken taş yünü yalıtım malzemesi ise 750 ºC sıcaklıklara kadar kullanılabilmektedir. Yüksek sıcaklıktaki uygulamalar için taş yünü yalıtım malzemeleri cam yününe tercih edilebilir [43].

Dynaguard yalıtım malzemesi ve seramik yünü ise daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için diğer yalıtım malzemelerine göre daha uygundur.



Şekil 4.2 Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayısının değişimi [42, 43]

Tablo 4.1 Yalıtım malzemelerinin sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı değerleri [44]

Cam Yünü		**Dynaguard**		**Seramik Yünü**	
Sıcaklık (ºC)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Sıcaklık (ºC)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Sıcaklık (ºC)	Isı İletim Katsayısı (W/mK)
100	0.041	-17	0,024	400	0.068
200	0.055	260	0,028	800	0.0946
300	0.072	538	0,042	1200	0.2752
400	0.092	816	0,061	***	***
500	0.118	***	***	***	***

Bu yalıtım malzemelerine ait özgül ısı ve yoğunluk değerleri Tablo 4.2'de gösterilmektedir. Kullanılan yalıtım malzemeleri içerisinde en düşük yoğunluk değerine sahip olan yalıtım malzemesi sarı cam yünü, en yüksek özgül ısı değerine sahip yalıtım malzemesi ise seramik yünüdür.

Tablo 4.2 Yalıtım malzemelerinin yoğunluk ve özgül ısı değerleri [42,43]

İzolasyon Malzemesi	**Yoğunluk (kg/m3)**	**Özgül Isı (j/kgK)**
İğneli cam yünü	55	1030
Sarı cam yünü	32	1030
Taş yünü	70	800
Dynaguard	352	800
Seramik yünü	160	1200

Yalıtım uygulamaları iki adet farklı fırında denenmiştir. Bu fırınların öncelikle orijinal durumlarında enerji deneyleri yapılmıştır. Uygulanan alternatif yöntemler, orijinal enerji tüketim deneyi sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Deneylerde kullanılan fırın şasilerinin kenar ve arka yüzeylerinde 30 mm kalınlıkta iğneli cam yünü kullanılmıştır. Fırınlar, alt-üst ısıtıcının birlikte çalıştığı "statik" ve turbo ısıtıcı ile turbo fanın birlikte çalıştığı "turbo" durum olarak adlandırılan iki farklı durum ile çalışabilmektedir. Fırınların kapakları 3 camlı ve en iç cam yansıtıcı malzeme ile kaplanmıştır. Bu yansıtıcı malzeme sayesinde, ısı tekrar fırın içine yansıtılmaktadır. Bu deneylerde kullanılan fırına ait orijinal enerji tüketim değerleri Tablo 4.3'de verilmektedir.

Tablo 4.3 Yalıtım uygulamalarındaki fırının orijinal enerji tüketim sonuçları

Orjinal	TURBO 135K±10	TURBO 155K±10	TURBO 175K±10
Süre (dk)	42,6	39	36,5
Enerji tüketimi (Wh)	**735**	**801**	**878**

Fırının tam olarak 155K sıcaklık farkındaki test süresi ve enerji tüketimi ise 39.1 dk ve 810 Wh'tir. Yapılan değişiklikler ile elde edilen enerji tüketimi sonuçları tam olarak 155K sıcaklık farkında elde edilen enerji tüketimi sonucu ile karşılaştırılmıştır.

İlk uygulama deneyinde, fırının orijinal yalıtım malzemesi (30 mm kalınlıkta iğneli cam yünü) yerine yalıtım malzemesinin kalınlığı arttırılarak enerji deneyi yapılmıştır. Yeni yalıtım kalınlığı 40 mm'dir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 40 mm kalınlıkta iğneli cam yünü ile elde edilen enerji tüketimi

Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	40 mm iğneli cam yünü
Sıcaklık(K)	155	155
Süre (dk)	39	38.5
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**789**

40 mm iğneli cam yünü kullanılarak fırının enerji tüketimi 810 Wh değerinden 789 Wh'e düşmüştür. Enerji tüketimi %~2.6 azalmıştır. İzolasyon malzemesinin

kalınlığının artmasından dolayı, ısı geçişine karşı direnç artmaktadır. Fırının ısı kaybı azaldığından dolayı enerji tüketimi de azalmaktadır.

Diğer bir uygulamada ise, yalıtım malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Taş yünü 20 mm ve 30 mm kalınlıklarda denenerek, kalınlık değişiminin enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır (Tablo 4.5). Taş yünü yalıtım malzemesinin ısıl özellikleri cam yününe yakındır.

Tablo 4.5 20 mm kalınlıktaki taş yünü ile elde edilen enerji tüketimi

Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	20 mm taş yünü
Sıcaklık(K)	155	153
Süre (dk)	39	38.4
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**817**

20 mm kalınlıkta taş yünü kullanılarak orijinal duruma göre, yalıtım malzemesi ve kalınlık değiştirilmiştir. Fırının enerji tüketimi 810 Wh değerinden 817 Wh ‘e yükselmiştir. Enerji tüketimi %~0.9 artmaktadır. Orijinal duruma göre daha kötü sonuç elde edilmiştir.

Aynı taş yünü yalıtım malzemesinin, kalınlığını 10 mm arttırarak toplam 30 mm kalınlıkta taş yünü kullanılmasıyla enerji tüketim deneyi yapılmıştır (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 30 mm kalınlıkta taş yünü ile elde edilen enerji tüketimi

Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	30 mm taş yünü
Sıcaklık(K)	155	151
Süre (dk)	39	38.3
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**793**

30 mm kalınlıkta taş yünü kullanıldığında fırının enerji tüketimi orijinal duruma göre %~2 azalmıştır. Ancak, sıcaklık farkı dikkate alındığı zaman bu farkın oldukça küçük değerlerde kalacağı açıktır. Taş yünü kullanılan fırının merkez sıcaklığı 4K daha küçük olduğu için, iğneli cam yünü ile taş yünü arasında enerji tüketimi açısından bir fark görülmemiştir. Ancak, 30 mm kalınlıktaki taş yünü ile 20 mm kalınlıktaki taş yünü arasında %~3 fark vardır. Taş yünü kullanılan fırınlar

incelendiği zaman, iğneli cam yününde olduğu gibi enerji tüketiminin kalınlığın artmasıyla azaldığı görülmektedir.

Yalıtım malzemesi olarak üzerine ince Alüminyum folyo yapıştırılan 30 mm ve 40 mm kalınlıklarda sarı cam yünü kullanılan fırının enerji tüketimi deney sonuçları Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de gösterilmektedir.

Tablo 4.7 30 mm sarı cam yünü ile elde edilen enerji tüketimi

Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	30 mm sarı cam yünü_üst Al folyo
Sıcaklık(K)	155	152
Süre (dk)	39	38,7
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**806**

30 mm kalınlıkta sarı cam yünü (üzerinde ince Alüminyum folyo) kullanılarak yapılan enerji tüketim deneyinde sıcaklık 3K kadar düşük olmakla birlikte enerji tüketimi açısından önemli bir değişiklik görülmemiştir. Yine aynı kalınlıktaki taş yünü ile yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Sarı cam yününün kalınlığını 10 mm daha arttırarak 40 mm kalınlıkta sarı cam yünü (üzerinde ince Alüminyum folyo) ile enerji tüketim deneyi yapılmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8 40mm sarı cam yünü ile elde edilen enerji tüketimi

Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	40 mm sarı cam yünü_üst Al folyo
Sıcaklık(K)	155	153
Süre (dk)	39	38,7
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**801**

40 mm sarı cam yünü kullanılması ile orijinal duruma göre kıyaslama yapıldığında enerji tüketiminde herhangi bir iyileşme görülmemiştir. Aynı şekilde 30 mm sarı cam yünü ile 40 mm sarı cam yünü arasında da enerji tüketimi açısından bir fark yoktur.

Diğer bir uygulamada ise yalıtım malzemesi olarak 25 mm kalınlıkta seramik yünü kullanılmıştır. Seramik yünü yalıtım malzemesinin diğer yalıtım malzemelerinden farkı yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı olmasıdır. Bu yalıtım malzemesi 1200-

1300 °C sıcaklıklara kadar kullanılabilmektedir. Isı iletim katsayısı ise 400°C için 0.068 W/mK, 800 °C için 0.0946 W/mK, 1200 °C için ise 0.2752 W/mK olmaktadır. Yoğunluğu ise cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemelerine göre daha yüksektir (ρ=160 kg/m^3) [43]. Seramik yünü kullanılarak yapılan enerji tüketimi deney sonucunda Tablo 4.9'da gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.9 25 mm seramik yünü ile elde edilen enerji tüketimi

Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	25 mm seramik yünü
Sıcaklık(K)	155	153
Süre (dk)	39	41
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**860**

Seramik yünü yalıtım malzemesi ile yapılan enerji tüketimi deneyinde fırının enerji tüketimi %~6.2 artmıştır. Seramik yününün yoğunluğu (ρ=160 kg/m^3) bu kısma kadar bahsedilen yalıtım malzemelerinin(cam yünü, taş yünü) yoğunluğundan daha yüksek olduğu için fırın üzerinde önemli derecede olumsuz ısıl atalet oluşturmaktadır. Isıtıcı tarafından sağlanan ısı, yoğunluğu yüksek olan yalıtım malzemesi üzerinde depolanmakta ve dolayısıyla fırının enerji tüketimi artmaktadır.

Diğer bir uygulamada ise, Dynaguard yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Dynaguard yalıtım malzemesinin fiziksel özellikleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.10 25 mm dynaguard yalıtım malzemesi ile elde edilen enerji tüketimi

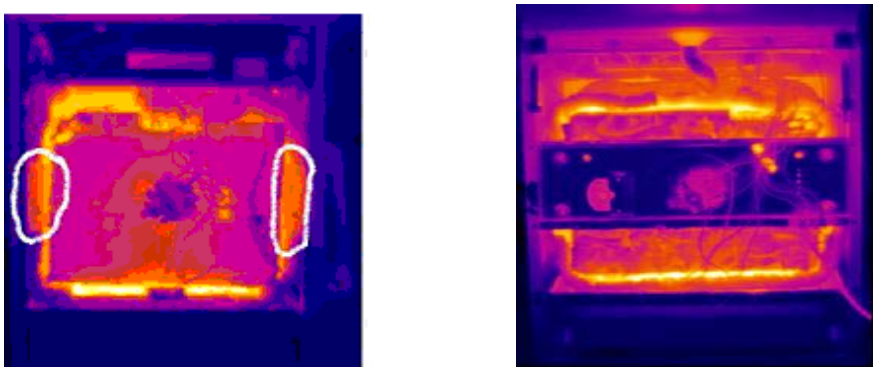
Yalıtım	30 mm iğneli cam yünü (Orijinal)	25 mm dynaguard yalıtım
Sıcaklık(K)	155	158
Süre (dk)	39	41.4
Enerji tüketimi (Wh)	**810**	**839**

25 mm kalınlıkta Dynaguard yalıtım malzemesi ile yapılan enerji tüketimi deneyinde fırının enerji tüketimi %~3.6 artmıştır. Bu yalıtım malzemesinin yoğunluğu 352 kg/m^3 olduğu için olumsuz ısıl ataletten dolayı enerji tüketimi artmıştır. Aynı yalıtım malzemesi yarı kalınlıkta denendiğinde (12.5 mm) ise 155K sıcaklık farkında, 41.3 dk ve 831 Wh enerji tüketimi (orijinal duruma göre %~2.6 artış) elde edilmiştir.

Dynaguard yalıtım malzemelerinin fırınlarda kullanılması enerji tüketimini olumsuz yönde etkilemiştir (Tablo 4.10).

4.3. Isıl köprü Uygulamaları

Isıl köprü kayıpları, fırınlarda enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu kayıpların iyileştirilmesi enerji tüketimini azaltacaktır. Fırının sıcaklığı ne kadar yüksek olursa ısıl köprü kayıpları fırınlarda o derecede önemli olmaktadır. İki farklı fırın modeli için, ısıl köprülerin termal kamera ile görüntüleri verilmiştir (Şekil 4.3). Bu kayıplar engellenerek fırının enerji tüketimi azaltılabilir. İki farklı arka bağlantı için oluşan ısıl köprü farkı, termal kamera görüntülerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.3 İki farklı fırın için termal kamera ile ısıl köprülerin görüntülenmesi

Fırının bağlantı elamanları, kapak-şasi ön çerçevesi teması gibi bölgelerden ısıl köprü kayıplarını engellemek için değişik yöntemler denenmiştir. Fırın şasisinin bağlantı vidalarına plastik rondela yerleştirilmesi, ısıl körü oluşturacak bölgelerin izolasyonla sarılması ve şasi ön çerçeve kısmına delik delinmesi gibi çeşitli yöntemler bir araya getirilerek değişik konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Uygulanan değişik yöntemlere ait bazı örnekler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Ön ve arka bağlantı vidalarına plastik rondela yerleştirilmesi



Şekil 4.5 Şasi ön çerçevesine delik delinmesi

Yukarıda gösterilen ısıl köprü kayıplarını azaltma yöntemlerinin etkisini görmek için fırının statik çalışma durumunda (alt-üst ısıtıcı çalışması) ve turbo çalışma durumunda orijinal enerji deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan fırın için orijinal enerji deneyi sonuçları Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11 Isıl köprü uygulamaları için kullanılan fırının orijinal sonuçları

Orjinal	STATİK 140K±10	STATİK 180K±10	STATİK 220K±10
Süre (dk)	50.3	43.5	39
Enerji tüketimi (Wh)	**761**	**931**	**1052**

Fırının tam olarak 180K sıcaklık farkındaki test süresi ve enerji tüketimi ise 43.8 dk ve 911 Wh'tir. Yapılan değişiklikler ile elde edilen enerji tüketimi sonuçları tam olarak 180K sıcaklık farkında elde edilen enerji tüketimi sonucu ile karşılaştırılmıştır. Yukarıda bahsedilen yöntemlerin enerji tüketimine etkisini

görebilmek için, bazı yöntemler bileşke bir şekilde uygulanmıştır ve sonuçlar Tablo 4.12'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 Statik 180K sıcaklık farkında ısıl köprü deney sonuçları

Isıl Köprü Deneyleri	**Sıcaklık (K)**	**Süre (dk)**	**Enerji tüketimi (Wh)**	**% Değişim**
Orjinal durum	180	43.8	911	0,0
Konfigürasyon-1	180	42.7	917	-0,7
Konfigürasyon-2	180	43.5	906	0,6
Konfigürasyon-3	184	43.7	890	2,4

Konfigürasyon-3 olarak belirtilen yöntemlerin hepsinin birlikte uygulanması durumunda enerji tüketiminde %2.4 iyileşme olmaktadır.

Statik durum deneylerinden sonra yukarıda gösterilen bazı yöntemler için turbo çalışma durumunda 155K sıcaklık farkında da enerji deneyleri yapılmıştır. Kullanılan fırın için orijinal enerji ölçümleri Tablo 4.13'de verilmektedir.

Tablo 4.13 Isıl köprü deneylerinin yapıldığı fırınınorijinal enerji tüketimi

Orjinal	TURBO 135K±10	TURBO 155K±10	TURBO 175K±10
Süre (dk)	44,5	39,5	38
Enerji tüketimi (Wh)	**750**	**810**	**876**

Bu fırın için tam olarak turbo 155K sıcaklık farkındaki süre ve enerji tüketimi 40.4 dk ve 810 Wh'tir. Yapılan değişiklikler ile elde edilen enerji tüketimi sonuçları tam olarak 155K sıcaklık farkında elde edilen enerji tüketimi sonucu ile karşılaştırılmıştır.

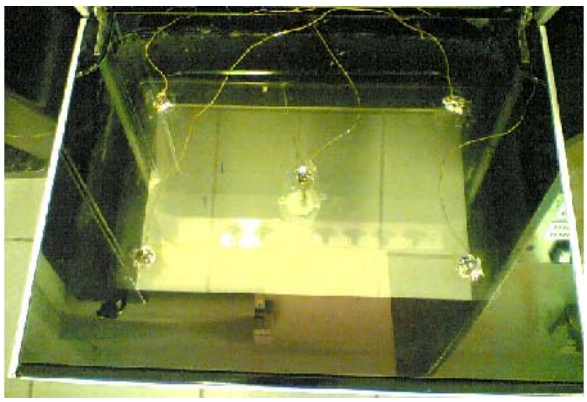
Tablo 4.14 Turbo 155K sıcaklık farkında ısıl köprü deney sonuçları

Isıl Köprü Deneyleri	**Sıcaklık (K)**	**Süre (dk)**	**Enerji tüketimi (Wh)**	**% Değişim**
Orjinal durum	155	40.4	810	0,0
Konfigürasyon-1	155	40,2	808	0,2
Konfigürasyon-3	160	40	817	-0,9

Turbo çalışma durumunda aynı yöntemler uygulandığında, statik duruma göre fırının enerji tüketiminde daha az bir iyileşme olmuştur (Tablo 4.14). Turbo çalışma durumunda yapılan deneyler, daha düşük sıcaklıklarda yapıldığı için enerji tüketimindeki değişiklik daha az seviyelerde olmaktadır.

4.4. Kapak Uygulamaları

Kapak, fırınlarda enerji tüketimi açısından en kritik bölgelerden birisidir. Kapak üzerinde bulunan camlar vasıtasıyla fırın içindeki ısı çevreye kolaylıkla kaçabilmektedir. Patent çalışmaları incelendiğinde, kapak üzerinde çeşitli yöntemler uygulandığı görülmektedir. Kapakta yalıtım malzemesi kullanılması, yansıtıcı yüzeyler kullanılması, cam sayısının arttırılması gibi yöntemlerle karşılaşılmaktadır. Deneylerde kullanılan fırının orijinal kapağı 3 camlı, en iç camın fırın içine bakan yüzeyi yüksek yansıtma katsayısına sahip malzeme ile kaplanmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kapak deneylerinde kullanılan 3 camlı orijinal kapak

Kapaktan ısı kaybını engellemek için aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır:

- 3 camlı kapakta orta camda yansıtıcı malzeme ile kaplı cam kullanılması
- Kapakta Alüminyum levha (0.3 mm kalınlıkta) kullanılarak cam yüzeyinin yansıtıcı levha ile kapatılması
- Alüminyum levha ile birlikte yalıtım malzemesi kullanılarak camın yüzey alanının azaltılması
- Cam sayısının arttırılması (2, 3 ve 4 camlı)

- Kapakta 3.camın takılması için çerçeve kullanılması
- Kapak yüzeyinde tamamen yalıtım malzemesi kullanılması

Kapak deneylerinde kullanılan fırın için yapılan orijinal enerji tüketimi deney sonuçları Tablo 4.15'de gösterilmektedir.

Tablo 4.15 Kapak deneylerinde kullanılan fırın için orijinal enerji ölçüm sonuçları

Orjinal	TURBO 135K±10	TURBO 155K±10	TURBO 175K±10
Süre (dk)	41	38	37
Enerji tüketimi (Wh)	**734**	**807**	**877**

Bu fırın için tam olarak turbo 155K sıcaklık farkındaki süre ve enerji tüketimi 38.7 dk ve 806 Wh'tir. Yapılan değişiklikler ile elde edilen enerji tüketim sonuçları, tam olarak fırının 155K sıcaklık farkındaki elde edilen enerji tüketimi sonucu ile karşılaştırılmıştır.

İlk olarak orijinal 3 camlı, en içteki camı yansıtıcı malzeme ile kaplı olan kapakta orta camın fırın içine bakan yüzeyi de yansıtıcı malzeme ile kaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.16'da gösterilmektedir.

Tablo 4.16 3 camlı kapakta orta cam ve en iç camın yansıtıcı ile kaplanması

Kapak	3 camlı kapak_iç cam yansıtıcı (Orjinal)	3 camlı kapak_iç cam ve orta cam yansıtıcı
Sıcaklık(K)	155	155
Süre (dk)	38.7	39.8
Enerji tüketimi (Wh	**806**	**804**

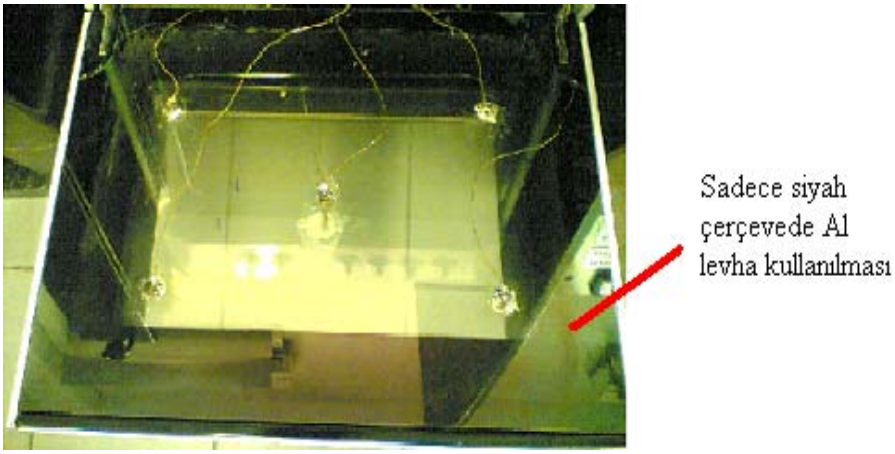
Kapakta kullanılan ikinci bir yansıtıcı malzeme ile kaplanmış cam ile fırının enerji tüketiminde azalma görülmemiştir.

İkinci bir kapak uygulamasında, kapağın iç yüzeyinde en iç camda kullanılmak üzere;

- Sadece iç camın siyah çerçevesi boyunca Alüminyum levha kullanılması (Şekil 4.7)

- İç cam yüzeyinde tamamen Alüminyum levha kullanılması

uygulamaları denenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.17'de gösterilmektedir.



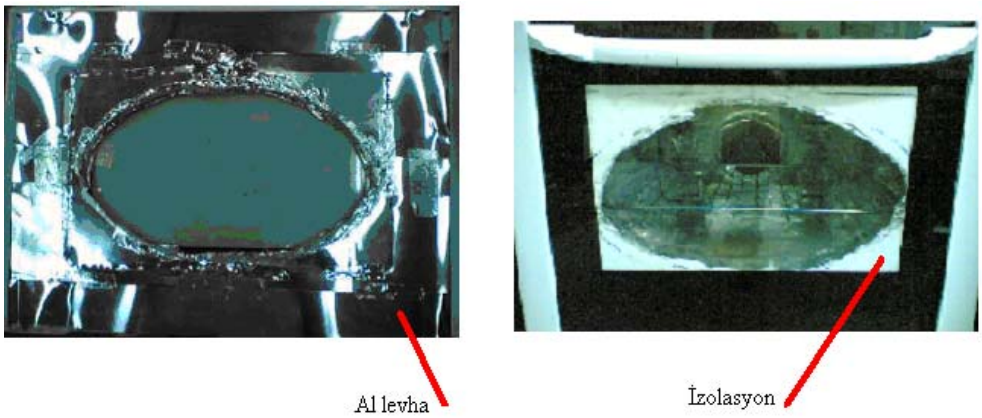
Şekil 4.7 Kapakta sadece siyah çerçeve boyunca Alüminyum levha kullanılması

Siyah çerçevede Alüminyum levha kullanılması, fırın iç görünümünü engellememiştir. Kapakta tamamen Alüminyum levha kullanılması ile fırının enerji tüketimi ~20 Wh azalmaktadır.

Tablo 4.17 Alüminyum levhalı kapak kullanılan fırının enerji tüketimi

Kapak	3 camlı kapak_iç cam yansıtıcı (Orjinal)	3 camlı kapak_siyah çerçeve boyunca Al levha	3 camlı kapak_iç cam tamamen Al levha
Sıcaklık(K)	155	158	157
Süre (dk)	38.7	38.8	38.7
Enerji tüketimi (Wh	**806**	**810**	**787**

Sonraki bir kapak uygulamasında ise, Alüminyum levha ile birlikte 30 mm kalınlıkta iğneli cam yünü yalıtım malzemesi kullanılarak fırının içi görünümünün engellenmeden kapağın cam yüzeyinin azaltılması sağlanmıştır. Kullanılan Alüminyum levha fırın içine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. İzolasyon malzemesi Alüminyum levhanın arkasında bulunmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 Alüminyum levha ile yalıtımın birlikte uygulanması

Alüminyum levha ve yalıtımın birlikte uygulanmasıyla elde edilen enerji tüketim değerleri Tablo 4.18'de gösterilmektedir. Bu uygulama ile fırının enerji tüketimi ~20 Wh azalmıştır. Alüminyum levha ile ısının tekrar fırın içine yansıtılması sağlanırken, yalıtım malzemesi kullanılarak fırın pişirme bölgesinden çevreye olan ısı kaybı azaltılmıştır. Cam yüzeyler fırınlarda ısı kaybının yoğun olduğu kritik bölgelerden birisidir.

Tablo 4.18 Kapakta Alüminyum levha ve yalıtım kullanılması

Kapak	3 camlı kapak_iç cam yansıtıcı (Orjinal)	3 camlı kapak_Al levha ve izolasyon birlikte kullanılması
Sıcaklık(K)	155	157
Süre (dk)	38.7	39.5
Enerji tüketimi (Wh	**806**	**788**

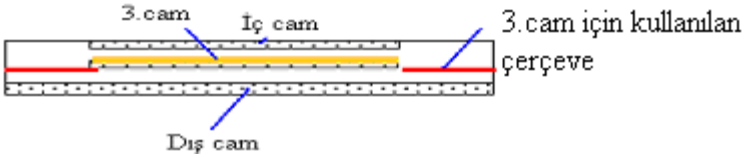
Cam sayısının arttırılmasının fırının enerji tüketimine etkisini görebilmek için 2 camlı, 3 camlı ve 4 camlı kapaklar kullanılarak turbo 155K sıcaklık farkında fırın enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.19'da gösterilmektedir.

Tablo 4.19 Cam sayısının arttırılmasının fırının enerji tüketimine etkisi

Kapak	2 camlı kapak	3 camlı kapak	4 camlı kapak
Sıcaklık(K)	153	156	157
Süre (dk)	44.74	39.1	38.9
Enerji tüketimi (Wh	**835**	**809**	**808**

Cam sayısının arttırılmasının fırının enerji tüketimini azalttığı literatürden bilinmektedir. Ancak cam sayısının 4 olması ile enerji tüketiminde etkili bir azalma sağlanamamıştır.

Fırınların enerji tüketimini azaltmak için kullanılan diğer bir alternatif yöntem ise kapakta üçüncü camın kullanılması ile ilgilidir. Üçüncü cam sayesinde, fırın içine bakan sıcak iç cam yüzeyinden kapak en dış camına doğru taşınım yolu ile gerçekleşen ısı transferi engellenmektedir [45].



Şekil 4.9 Kapakta 3.cam kullanılmasının gösterilmesi

Yapılan deneylerde iki farklı alternatif denenmiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Bunlardan birincisinde 3.cam takılmadan sadece cam çerçevesinin kullanılması, diğer bir alternatifte ise çerçeve ile birlikte 3.cam kullanılmasıdır.



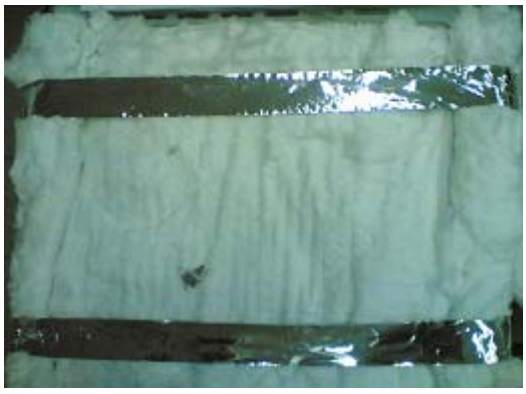
Şekil 4.10 Kapakta kullanılan çerçeve yüzeyi

Çerçeve kullanılan fırının enerji tüketimi sonuçları Tablo 4.20'de gösterilmektedir. Üçüncü camın takılması için çerçeve yüzeyinin kullanıldığı kapak ile fırının enerji tüketimi 806 Wh'ten 845 Wh ve 832 Wh'e yükselmiştir.

Tablo 4.20 Çerçeveli kapak kullanılan fırının enerji tüketimi

Kapak	3 camlı kapak_iç cam yansıtıcı (Orjinal)	2 camlı kapak + çerçeve uygulaması	3 camlı kapak + çerçeve ile birlikte orta camın kullanılması
Sıcaklık(K)	155	157	157
Süre (dk)	38.7	40.48	39.7
Enerji tüketimi (Wh)	**806**	**845**	**832**

Kapak ile ilgili olarak yapılan diğer bir uygulamada ise fırının kapağı tamamen izole edilmiştir. Kapakta yalıtım malzemesi olarak 30 mm kalınlıkta iğneli cam yünü kullanılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Fırın kapağının tamamen iğneli cam yünü ile izole edilmesi

Fırın kapağının tamamen izole edilmesiyle elde edilen enerji tüketimi deney sonuçları Tablo 4.21'te gösterilmektedir.

Tablo 4.21 Tamamen izole edilen kapak için enerji tüketimi deney sonuçları

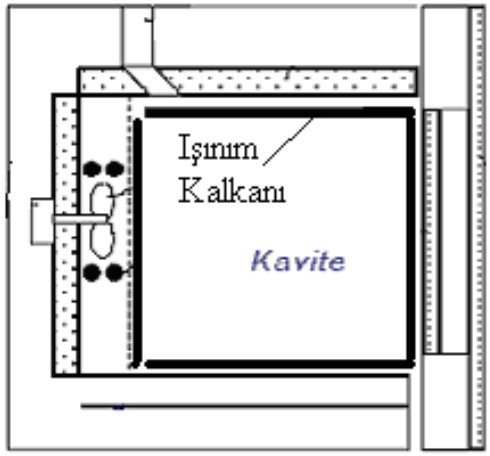
Kapak	3 camlı kapak_iç cam yansıtıcı (Orjinal)	Tamamen izole edilen kapak
Sıcaklık(K)	155	153
Süre (dk)	38.7	38.7
Enerji tüketimi (Wh)	**806**	**755**

Fırın kapağının tamamen izole edilmesi ile fırının enerji tüketimi ~50 Wh azalmaktadır. Kapakta yalıtım malzemesi kullanılması fırının enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemektedir.

4.5. Işınım Kalkanı Uygulamaları

Işınım kalkanı kullanılan fırınlar, geleneksel fırınlara göre daha yüksek verimli fırınlardır [22]. Fırınların duvarlarında yüksek yansıtma özelliğe sahip ışınım kalkanı plakaların kullanılmasıyla fırınların verimi arttırılmaktadır. Işınım kalkanı kullanılması, enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak uygulanan en yaygın yöntemlerden birisidir. Fırınlarda ışınım kalkanları kullanılmasıyla, ısıtıcıdan çıkan ısının yiyecek (pişirilecek kütle) üzerine gitmeyen kısmı bu yüzeyler vasıtasıyla

tekrar yiyecek üzerine gönderilmektedir. Bu kalkanlar, yansıtıcı özelliğe sahip olduğundan dolayı daha az ısı yutar ve üzerine gelen ısıyı yansıtır.



Şekil 4.12 Işınım kalkanı kullanılan fırının şematik görünüşü

Şekil 4.12'te ışınım kalkanı kullanılan bir fırın ve fırına ait fan koruma sacı gösterilmiştir. Işınım kalkanı olarak Alüminyum plaka kullanarak, ısı yansıtma katsayısı yüksek yüzeyler elde edilebilir [46].

Işınım kalkanı kullanılan fırın deneylerinde kullanılan fırın için turbo 155K sıcaklık farkında ve statik 180K sıcaklık farkında orijinal enerji tüketim değerleri Tablo 4.23'de gösterilmektedir. Yapılan değişiklikler ile elde edilen enerji tüketimi sonuçları tam olarak Tablo 4.22'deki enerji tüketimi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.22 Işınım kalkanı deneylerindeki fırının orijinal enerji tüketim sonuçları

Orjinal	TURBO 155K	STATİK 180K
Süre (dk)	39.9	44
Enerji tüketimi (Wh)	**826**	**930**

Işınım kalkanı uygulamaları turbo ve statik çalışma durumunda yapılmıştır. Fırın içinin farklı bölümlerinde ışınım kalkanı kullanılarak değişik alternatifler oluşturulmuştur. Turbo durum için elde edilen enerji tüketimi deney sonuçları (5 farklı deneme için) Tablo 4.23'de gösterilmektedir. Tablo 4.24'de kavite içi olarak belirtilen bölge, fırın pişirme bölgesinin alt, üst, sağ ve sol duvarlarıdır.

Tablo 4.23 Turbo 155K sıcaklık farkında ışınım kalkanı uygulaması sonuçları

Işınım Kalkanı	Kavite içi	FKS ön	Cam	Sıcaklık (K)	Süre (dk)	Enerji (Wh)	Değişim %
Orjinal	YOK	YOK	YOK	155	39.9	**826**	0,0
1	*I.K.*	YOK	YOK	153	38.7	**772**	6,5
2	*I.K.*	*I.K.*	*I.K.*	155	38.7	**772**	6,5
3	*I.K.*	*I.K.*	YOK	155	40.2	**800**	3,1
4	YOK	YOK	*I.K.*	155	40	**780**	5,6

Tablo 4.23'de fırının değişik bölgelerinde kalkan kullanımı gösterilmektedir. Tabloda "I.K." yazan yerlerde ışınım kalkanı kullanılmıştır,"YOK" yazan yerlerde ise kalkan kullanılmamıştır. Işınım kalkanının fırının enerji tüketimine etkisi deney sonuçlarından açıkça görülmektedir.

Statik 180K sıcaklık farkında yapılan ışınım kalkanı deney sonuçları Tablo 4.24'de gösterilmektedir. Statik 180K sıcaklık farkında yapılan ışınım kalkanı deneylerinde turbo duruma benzer sonuçlar alınmıştır. Fırının enerji tüketimi ışınım kalkanı uygulamaları ile azalmaktadır.

Tablo 4.24 Statik 180K sıcaklık farkındaki ışınım kalkanı uygulaması sonuçları

Işınım Kalkanı	Kavite içi	Cam	Sıcaklık (K)	Süre (dk)	Enerji (Wh)	Değişim %
Orjinal	YOK	YOK	180	44	**930**	0,0
1	*I.K.*	YOK	177	40.8	**889**	4,4
3	YOK	*I.K.*	179	43.5	**912**	1,9

Statik durumda ışınım kalkanı uygulaması ile fırının enerji tüketimi %~4.4 azalmaktadır. Sadece camda ışınım kalkanı kullanılırsa, camdan çevreye kaçmaya çalışan ısı, kalkan vasıtasıyla fırın içine yönlendirilerek fırının enerji tüketimi azalmıştır.

4.6. Reflektör Uygulamaları

Fırınlarda ısıtıcıdan yayılan ısının bir kısmı yiyecek üzerine gönderilirken, diğer bir kısmı ise fırın duvarları tarafından yutulur veya ısı kaybı olarak çevreye kaçar. Isıtıcılardan yayılan ısının fırın duvarları tarafından yutulmasını engellemek için ve

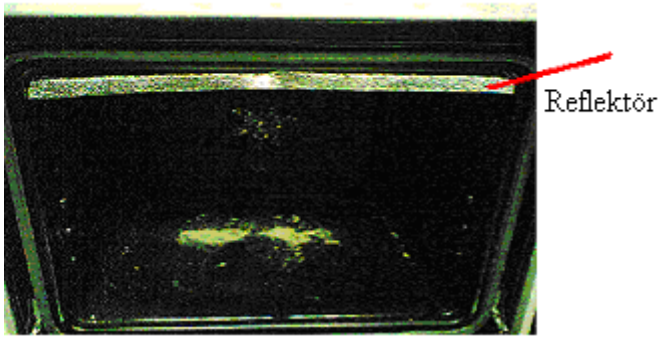
çevreye kaybı azaltmak için, ısıtıcılar üzerinde reflektör malzemeler kullanılabilir. Bu reflektör malzemelerin yansıtıcı özelliği yüksektir, yani yayma katsayısı düşüktür.

Reflektör deneylerinde kullanılan fırına ait orijinal enerji tüketim değerleri Tablo 4.25'de verilmektedir. Reflektör deneyleri statik 180K sıcaklık farkında yapılmıştır.

Tablo 4.25 Reflektör deneylerinde kullanılan fırının orijinal enerji tüketimi

Orjinal	STATİK 140K±10	STATİK 180K±10	STATİK 220K±10
Süre (dk)	53.5	37	38
Enerji tüketimi (Wh)	**724**	**860**	**1057**

Fırının tam olarak Statik 180K sıcaklık farkında test süresi ve enerji tüketim değeri 41.6 dk ve 880 Wh'tir. Yapılan değişiklikler ile elde edilen enerji tüketimi sonuçları 880 Wh'e göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.13 Reflektör kullanılan fırın

Reflektör uygulamalarında iki farklı reflektör malzeme denenmiştir (Şekil 4.13). İlk olarak Alüminyum levha, fırının üst ısıtıcısı üzerine yerleştirilerek fırında statik çalışma durumunda 180K sıcaklık farkında enerji deneyi yapılmıştır. Daha sonra farklı bir malzeme (iki yüzeyinde çinko kaplanmış sac) kullanılarak bu levhanın fırının enerji tüketimine etkisi irdelenmiştir. Deney sonuçları Tablo 4.26'da gösterilmektedir.

Tablo 4.26 Reflektör kullanılarak elde edilen enerji tüketim deneyi sonuçları

Reflektör	(Orijinal)	Al reflektör levha	Çinko reflektör
Sıcaklık(K)	180K	178K	179K
Süre (dk)	41.6	40.5	41.5
Enerji tüketimi (Wh)	**880**	**852**	**878**

Reflektör malzeme olarak Alüminyum levha kullanıldığında fırının enerji tüketimi %~3.2 azalmaktadır. Çinko reflektör kullanılması halinde fırının enerji tüketiminde bir değişiklik görülmemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ev tipi elektrikli fırınların enerji tüketimini azaltmaya yönelik yöntemlerin etkilerinin deneysel olarak araştırılması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar, EN 50304 standartlarına [40] uygun olacak şekilde hazırlanan deney düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar öncesinde çeşitli konularda ve sayılarda makaleler ve patentler incelenerek, enerji tüketimini azaltma yöntemleri hakkında bilgi edinilmiştir. Bu araştırma sonucunda, fırının enerji tüketimini azaltmak için çeşitli yalıtım malzemelerinin farklı yöntemlerle fırın şasisi etrafına uygulanması, farklı kapak kostrüksiyonları ve camlarla ilgili yöntemler dikkat çekmektedir. Diğer önemli uygulamalar ise, fırın şasisi üzerinde oluşan ısıl köprüler üzerinden çevreye kaybolan ısıyı azaltmak için uygulanan yöntemler ve ısıtıcı tarafından yayılan ısının yiyecek üzerine gitmeyen kısmının yansıtıcı yüzeyler vasıtasıyla tekrar yiyecek üzerine gönderilmesini sağlayacak şekilde tasarımlar ve bu amaçla kullanılan malzemelerdir. Farklı yayma katsayısına sahip yüzeyler ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik olarak etkin bir şekilde hava-ısıtıcı uyumunun sağlanabilmesi için tasarlanan farklı ısıtıcı tipleri ve farklı hava üfleme yöntemleri de dikkat çekmektedir.

Fırınların enerji tüketimini belirlemek ve denenen yeni alternatif yöntemin fırının orijinal enerji tüketimine etkisini görebilmek için, fırınların üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan önce mevcut durumları ile enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Daha sonra uygulanan alternatif yöntemin sonucu ile mevcut durumun sonucu kıyaslanarak uygulanan yöntemlerin fırının enerji tüketimine olumlu ya da olumsuz etkileri sayısal olarak açıklanmıştır.

Deneylerde ilk olarak yalıtım malzemeleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Farklı yalıtım malzemeleri fırın şasisi etrafına sarılarak fırının enerji tüketim testi gerçekleştirilmiştir. Bazı yalıtım malzemeleri farklı kalınlıklarda denenerek, kalınlık

değişiminin fırının enerji tüketimine etkisi görülmüştür. Yalıtım malzemelerinin enerji tüketimine etkisi açıklanmıştır.

Deneylerin ikinci kısmında, ısıl köprü yoluyla kaybolan ısının azaltılmasına yönelik deneyler yapılmıştır. Alternatif yöntemler uygulanmadan önce fırının termal kamera ile görüntüsü alınarak ısıl köprü yolları incelenmiş ve bu ısıl köprü yollarını engelleyici yöntemler üzerine deneyler yapılmıştır.

Deneylerin üçüncü kısmında, kapak çalışmaları yapılmıştır. Farklı kapak konstrüksiyonları ve camlar üzerine uygulanan farklı kaplama malzemelerinin fırının enerji tüketimine etkisinin belirlemek için deneyler yapılmıştır. Camlarda yalıtım malzemesi kullanılmasının fırının enerji tüketimine etkisi belirlenmiştir.

Deneylerin dördüncü kısmında, fırın içerisinde farklı yansıtma katsayısına sahip Alüminyum levhalar kullanılarak yansıtma katsayısı yüksek yüzeylerin fırının enerji tüketimine etkisini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Farklı fırın yüzeylerinde ışınım kalkanı olarak Alüminyum levha kullanılarak farklı alternatifler denenmiştir.

Daha sonraki deneysel çalışmada, fırının üst ısıtıcısı üzerine farklı malzemelerden reflektörler takılarak enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Aynı formda, fakat farklı malzemelerden imal edilen reflektörlerin fırın enerji tüketimine etkisi belirlenmiştir.

Yapılan deneylerin sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

Deneysel olarak incelenen yalıtım malzemeleri içerisinde en iyi sonuç mevcut iğneli cam yünü (810 Wh-155K) ve taş yünü (793 Wh-151K) yalıtım malzemesi ile alınmıştır . Bu yalıtım malzemelerinin dezavantajı ise, artan sıcaklıkla birlikte ısı iletim katsayılarının fazla değişmesidir. Fırınlar yüksek sıcaklıklarda çalıştıkları için, kullanılan yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla fazla artmaması enerji tüketimi açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yalıtım malzemesinin kalınlığının arttırılması ile fırının enerji tüketimi azalmaktadır. İğneli cam yünü, sarı cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemelerinin iki farklı kalınlıktaki enerji tüketimi deneyi sonuçlarına bakıldığında, kalınlık arttıkça fırının enerji tüketiminin azaldığı görülmektedir. Sarı cam yünü kullanıldığında, kalınlık artışıyla (30 mm'den 40 mm'ye) enerji tüketimindeki azalma miktarı diğer

yalıtım malzemelerine göre daha azdır. Kalınlık artışıyla fırının enerji tüketimi azalacaktır. Kalınlığın belirli bir değerden fazla olması, fırın üzerinde olumsuz ısıl kütle oluşturacaktır ve enerji tüketimindeki azalma miktarı beklenenden daha az olacaktır. Kalınlığın arttırılması ile yalıtım malzemesinin maliyetinin de artacağı bilinmektedir. Yalıtım malzemesinin kalınlığını belirlerken, enerji tüketimi ve maliyeti bir arada değerlendirmek gerekmektedir.

Dynaguard gibi yalıtım malzemeleri kullanıldığında, fırının enerji tüketiminin orijinal enerji tüketim değerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Özellikle dynaguard yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısının daha küçük ve artan sıcaklıkta daha az değişmesine rağmen enerji tüketiminde olumsuz sonuçlar vermesinin sebebi, bu yalıtım malzemelerinin yoğunluğunun yüksek (ρ=~352 kg/m^3) olmasından kaynaklanmaktadır. Fırın çalışma esnasında yüksek sıcaklıklara çıktığından, (T=~250-300 ºC) bunun gibi yalıtım malzemeleri ağırlıklarından dolayı olumsuz ısıl kütle oluşturmaktadır. Bundan dolayı fırının enerji tüketimi orijinal duruma göre artmaktadır.

Bu çalışmada denenen yalıtım malzemeleri içerisinde en yüksek enerji tüketimi seramik yünü ile alınmıştır (860 Wh-153K). Seramik yünü yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ve yoğunluğu diğer yalıtım malzemelerine göre daha yüksektir. Yüksek ısı iletim katsayısı ve yüksek yoğunluğundan dolayı, fırında seramik yünü kullanıldığında fırının enerji tüketimi orijinal duruma göre en olumsuz sonucu vermiştir.

Yalıtım malzemelerinin kalınlığı arttıkça fırının enerji tüketimi azalacaktır. Ancak, yalıtım malzemesinin kalınlığının belirli bir değerden fazla olması durumunda, kalınlık artışıyla fırının enerji tüketiminde kayda değer bir iyileşme görülemeyebilir. Kalınlığın arttırılmasıyla kullanılan yalıtım malzemesinin ağırlığı arttığından dolayı, yalıtım malzemesi olumsuz ısıl kütle oluşturacak ve kendisi ısınacaktır.

Fırın arka bağlantı kulaklarında oluşan ısıl köprü, termal kamera ile görüntülenmiştir. Isıl köprü kayıplarını azaltmak için değişik yöntemler denenmiştir. Bu değişik yöntemler, ısıl köprü etkisinin enerji tüketimine etkisini görebilmek için farklı kombinasyonlar oluşturularak uygulanmıştır. Isıl köprü deneyleri statik ve turbo çalışma durumunda yapılmıştır. Statik çalışma durumunda, enerji tüketimini

%~2.4 azalırken turbo çalışma durumunda bir azalma görülmemiştir. Isıl köprü ile kayıpların oranı, sıcaklık arttıkça artmaktadır. Statik çalışma durumunda 180K sıcaklık farkı olduğundan dolayı enerji tüketiminde turbo duruma göre daha fazla azalma görülmüştür.

Fırınlarda kullanılan kapak pişirme süreci boyunca fırın içerisinin gözlenmesi ve fırına gıda malzemesinin yüklenmesi veya boşaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Görsellik, estetik, temizlik vb konular düşünülerek cam ve metal çerçevelerden oluşan fırın kapak geometrileri tasarlanmakta ve kullanılmaktadır. Fırının çalışması süresince oluşan ısı kayıp veya kaçak mekanizmaları düşünüldüğünde fırın iç sıcaklığının ortam ile olan farkının büyük olması nedeniyle ışınım yolu ile oluşan ısı geçişi önem kazanmaktadır. Bu nedenle özellikle kapaklar üzerinde bulunan camlar üzerinden oluşan ışınımın engellenmesiyle (Örnek: Alüminyum levha ile kaplama, kısmi yalıtım kullanarak cam yüzeyinin azaltılması, kapağa tamamen yalıtım uygulaması) enerji tüketiminin azaldığı deneysel çalışmalarla da gösterilmiştir.

Kullanılan kapak geometrilerinde yer alan cam, metal çerçeveler, menteşeler vb. elemanlar sahip oldukları kütleleriyle orantılı şekilde ısıl ataletleri de bulunmaktadır ve bu enerji tüketiminde olumsuz etki yaratabilmektedir. Bu nedenle diğer ısı kayıp mekanizmalarını iyeleştirmek amaçlı olarak yapılan ilave cam ekleme, çerçeve ekleme gibi uygulamalar ısıl atalet değerinin daha baskın olduğu durumlarda olumlu sonuç göstermemektedir. Çerçeve yüzey uygulaması ve kapağa dördüncü cam takılması bu duruma örnek gösterilebilir.

3 camlı kapak kullanılarak fırının enerji tüketimi 2 camlı kapağa göre ~26 Wh azalmıştır. 4 camlı kapak ile 3 camlı kapak kullanılan fırının enerji tüketimi arasında fark görülmemiştir. 4. camın takılmasıyla kapağa ilave kütle eklendiğinden dolayı olumsuz ısıl kütle oluşmaktadır.

Fırın pişirme bölgesi içerisinde yüksek ısı yansıtma özelliğine sahip ışınım kalkanları kullanılarak fırınların enerji tüketimi azalmaktadır. Fırın pişirme bölgesinin alt, üst, sağ ve sol kenarlarında ışınım kalkanı kullanılmasıyla turbo çalışma durumunda fırının enerji tüketiminde %~6.5 azalma görülmüştür. Sadece cam yüzeyinde ışınım kalkanı kullanılması durumunda %~5.6 azalma görülmüştür. Fırın duvarlarında ışınım kalkanı kullanılması ile, ısıtıcı tarafından yayılan ısının

yiyecek üzerine gitmeyen kısmının tekrar yiyecek üzerine gönderilmesi sağlanmaktadır. Bu yüzeyler vasıtasıyla, fırın duvarları üzerine gelen ısıyı daha az yutmakta ve yansıtmaktadır.

Işınım kalkanı deneyleri statik durum için ayrı yapılmıştır. Statik çalışma durumunda yapılan deneylerde, fırın pişirme bölgesinin alt, üst, sağ ve sol duvarlarında ışınım kalkanı kullanılması ile turbo duruma benzer sonuçlar alınmıştır (%~4.4). Işınım kalkanının fırın duvarlarında kullanılmayıp, sadece camda kullanılması durumunda fırının enerji tüketimi %~1.9 azalmaktadır.

Reflektör yüzeylerin kullanılması fırınların enerji tüketimini azaltmaktadır. Kullanılan reflektörün yüzey yayma katsayısı ve kütlesi, fırının enerji tüketimini etkilemektedir. Reflektör uygulamalarında Alüminyum levha ve çinko kaplı sac malzeme olmak üzere iki farklı reflektör denenmiştir. Reflektörler üst ısıtıcıdan yayılan ısının tekrar fırın içine yönlendirilmesini sağlamak amacıyla üst ısıtıcının üzerine, ön tarafı üst ısıtıcının camı gören yüzeyini kapatacak şekilde bükülerek yerleştirilmiştir ve statik çalışma durumunda deneyler yapılmıştır. Reflektör olarak Alüminyum levhanın kullanıldığı durumda fırının enerji tüketimi ~30 Wh azalmaktadır. Çinko kaplı sac malzeme kullanıldığı durumda fırının enerji tüketiminde herhangi bir değişiklik görülmemiştir.

Fırının enerji tüketimini etkileyen bir çok parametre bulunmaktadır. Sadece fırın şasisinin ağırlığı değil, fırında kullanılan tüm elemanlar (kapak çerçeve elemanı, cam, vidalar, şasi bağlantı elemanları, reflektörler gibi) fırında olumsuz ısıl kütle olarak fırının enerji tüketimini etkilemektedir. Bundan dolayı fırın bir bütün sistem olarak düşünülmelidir. Fırın içerisinde herhangi bir kayıp mekanizmasını azaltmak amaçlı yapılan bir değişikliğin, diğer kayıp ve kaçak mekanizmalarında da kısmen farklılığa yol açabileceği bilinmelidir. Enerji tüketimini düşürmeye yönelik olumlu etkisi gözlenen önlemler bir araya getirildiğinde enerji tüketimindeki azalmanın, bu önemlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve aynı kayıp/kaçak mekanizmasına etki etmeleri, vb. nedenlerle bireysel olarak elde edilen iyileştirmelerin toplamının altında kalma olasılığı da bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Kasanen P., 2000. Efficient Domestic Ovens Save II Project (4.1031/D/97-047), Helsinki

[2] Papadopoulos A. M., 2004. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments, *Energy and Buildings*, **37**, 77-86.

[3] Mukhopadhyaya P., 2004. High performance insulation materials-NRCC 47618

[4] Nussbaumer T., Bundi R., Tanner Ch., Muehlebach H., 2005. Thermal analysis of a wooden door system with integrated vacuum insulation panels, *Energy and Buildings*.

[5] Hua-Ping X., Kawasaki A., Yan-Sheng K., Watanabe R., 2005. Experimental study on heat insulation performance of functionally graded metal/ceramic coatings and their fructure behavior at high surface temperatures, *Surface & Coatings Technology*, **194**, 203-214

[6] Yasuhisa M., 2003. Cooking device, JP2003109725, Matsushita Electric Ind. CO. LTD.

[7] Yasuhisa M., 2003. Cooker, JP2002267182, Matsushita Electric Ind. CO. LTD.

[8] Gforge Z., 1993. Improving heat efficiency of ovens etc. heated by halojen tubes by providing double walls contg. insulated material to reduce heat loss from the unit, FR2692026

[9] Gerard L., 1986. Electric oven for domestic use, FR2581165, Europ Equip Menager.

[10] Greiner P., 1997. Heat insulating coating for thermal apparatus, EP0775867, Aeg Hausgeraete.

[11] Greiner P., 1997. Baking and roasting oven muffle with a heat insulating coating, EP0775871, Aeg Hausgeraete.

[12] Kenneth D., Keith R., 1999. Oven door and method of assembly therefor, EP0893654, Whirlpool CO.

[13] Rohrl F., Jager S., 1991. Oven door, FR2653861, Bosch Sıemens Hausgeraete.

[14] James N., 1976. Simplified oven door window, US3996710, General Electric.

[15] White J., 1973. Flow-through shutter for oven door window, US3760792, General Electric.

[16] Herbert H., Donald S., 1969. Shutter for window in oven door, US3433213, Kelvinator Inc.

[17] Robert K., 1965. Oven door window, US3177334, General Electric

[18] Russell H., 1990**.** Low emissivity, low shading coefficient low reflectance window, EP0775867, Viracon Inc.

[19] Kenjiro F., 1997**.** Convection oven, JP9170761, Tokyo Gas Co.

[20] Mamoru I., Masao M., 1989**.** Heating and cooking unit, JP1041726, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.

[21] Tsuneo K., 1980**.** Cooker, JP55140044, Tokyo Electric Co.

[22] Shaughnessy B. M., Newborough M., 2000**.** energy performance of a low emissivity electrically heated oven, *Applied Thermal Engineering*, **20**, 813-830.

[23] Shaughnessy B. M., Newborough M., 1998**.** Radiative heat transfer in low emissivity oven, *Applied Thermal Engineering*, **18**, 619-641.

[24] Jang L., 2004**.** Electric oven, AU2003288775.

[25] Mamoru I., 2002**.** Cooker, JP2002267175, Matsushita Electric Ind. Co.Ltd.

[26] Takayuki A., 2000**.** Structure having transparent layer composed of fluıorine containing polymer and reflecting sheet using it, JP2000062105, Daikin Ind. Ltd.

[27] Subramani V., Dwight G., 1998**.** Infrared energy reflecting composition and method of manufacture, WO9853118, General Electric.

[28] Gary J., Guy D., 1998**.** Electronically-controlled heater, US5805767

[29] Atsuo O., Nobuyuki I., 1980**.** Electric cooker, JP55072732, Matsushita Electric Ind. Co.Ltd.

[30] Takonori G., Toshiyuki Y., 1986. Electric cooking unit, JP61022134, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.

[31] Marcus N., 1995. High efficiency oven using reflector, GB2289607, Univ. Cranfield.

[32] Carvalho M. G., Nogueira M., 1997. Improvement of energy efficiency in glass melting furnaces, cement kilns and baking ovens, *Applied Thermal Engineering,* **17***,* 921-933.

[33] Toyoji H., 1982. Cooking heater, JP57155039, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.

[34] Masatomo O., Jıyunzou T., 1982. Heating cooker, JP57134633, Matsushita Electric Ind. Co.Ltd.

[35] Koboyashi S., Eui H., 2004. Cooking apparatus, EP1460342, Samsung Electronics Co. Ltd.

[36] Satoshi K., 1983. Heating device, JP58200935, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.

[37] Haruo M., Yoshio M., 1983. Hot air circulating type heating cooker, JP58006334, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.

[38] Tadashi S., Atsushi N., 1982. Heating oven, JP57077833, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.

[39] Takashi M., Masaki Y., 1983. Cooking Method, Sanyo Electric Co.

[40] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, 1998. Electric ovens for household use- methods for measuring the energy consumption, EN 50304.

[41] Bozgeyik A., Akdağ L., Maraşlı M., 2005. Fırın laboratuarı ölçüm sistemi analizi raporu, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul

[42] www.izocam.com.tr, 2006

[43] www.armilcfs.com, 2006

[44] http://www.kimyamuhendisi.com/arsiv/kimyasalteknolojiler, 2006

[45] Gürlek Z., Özyurt B., 2003. Çok camlı ve hava akışlı kapak çalışmaları, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul.

[46] DeWitt D. P., Incropera F. P., 2004. Isı ve kütle geçişinin temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Bozgeyik, 1982 yılında Gaziantep'in Oğuzeli ilçesinde doğdu. 1992 yılında Yavuz Sultan Selim Lisesi'nde başladığı ortaokul ve lise öğrenimini 1998 yılında tamamladı. 1998 yılında girdiği Erzurum Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği'nden 2002 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı yıl Akteks Akrilik İplik Fabrikaları A.Ş'de Makina Mühendisi olarak göreve başladı. 2003 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi Isı-Akışkan programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Isı-Akışkan programında yüksek lisans öğrencisi olup, "Endüstride Uygulama Destekli Tez Programı" kapsamında Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Direktörlüğü'nde çalışmalarına devam etmektedir.