

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ ARTTIRILMIŞ VAKUM
KATMANLI FIRIN ÖN CAM TASARIMI**

**Hazırlayan
Erdem YILDIZ**

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ**

Yüksek Lisans Tezi

**Ağustos 2017
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENERJİ VERİMLİLİĞİ ARTTIRILMIŞ VAKUM
KATMANLI FIRIN ÖN CAM TASARIMI**

(Yüksek Lisans Tezi)

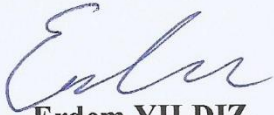
**Hazırlayan
Erdem YILDIZ**

**Danışman
Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ**

**Ağustos 2017
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.


Erdem YILDIZ

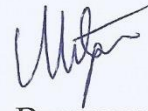
YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Enerji Verimliliği Arttırılmış Vakum Katmanlı Fırın Ön Cam Tasarımı” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

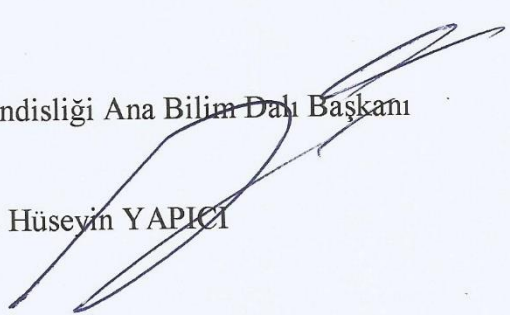
Erdem YILDIZ



Danışman

Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı



Prof. Dr. Hüseyin YAPICI

Doç. Dr. M. Serdar GENÇ danışmanlığında **Erdem YILDIZ** tarafından hazırlanan “**Enerji Verimliliği Arttırılmış Vakum Katmanlı Fırın Ön Cam Tasarımı**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

04.08.2017

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gülşah ELDEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hatice Sinem ŞAŞ ÇAYCI

[Handwritten signatures of the jury members]

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 08/08/2017 tarih ve 2017/33-14 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

[Handwritten signature of Prof. Dr. Mehmet AKKURT]
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında tecrübe ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ'e ve tüm ESM ailesine, projemin yürütülmesi sırasında vermiş oldukları destekten dolayı, teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamda; Java programlama dilinde vermiş olduğu desteklerden ötürü kadim dostum Bilgisayar Mühendisi Nurettin Uğur GÜVEN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca büyük sabır göstererek maddi ve manevi her daim yanımda olan başta kardeşim Makine Mühendisi Ercan YILDIZ olmakla birlikte tüm aileme en içten şükranlarımı sunarım. Desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli arkadaşlarıma ve tezimin ortaya çıkmasında katkısı bulunan herkese teşekkür ederim.

Erdem YILDIZ

Kayseri, Ağustos 2017

ENERJİ VERİMLİLİĞİ ARTTIRILMIŞ VAKUM KATMANLI FIRIN ÖN CAM TASARIMI

Erdem YILDIZ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2017

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

ÖZET

Ev tipi fırınların genel enerji tüketim bilançosu üstüne yapılan çalışmalar incelendiğinde ön camdan olan ısı kayıplarının toplam enerji tüketiminde önemli oranlara sahip olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında, ev tipi pişiricilerin; pişirme kalitesini etkilemeden, ön camda meydana gelen ısı kayıplarının, iki cam tabaka arasına vakum katman oluşturmak suretiyle ısı enerjisinin taşınım yoluyla dışarıya kaçması önleyerek adeta bir termos gibi ısıнын içerisinde kalması amaçlanmıştır. Vakum katmanı için 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm ve 21mm ara boşluğa sahip deney düzenekleri kurulmuştur. Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan fırında öncelikle mevcut duruma bakılmış ve bu durumda EN 50304 standardına göre enerji tüketimi hesaplanmıştır. Geliştirilen vakum tabakaya sahip camın enerji tüketimine etkisini belirlemek için, mevcut durum incelenerek enerji tüketim değerleri not edilmiştir. Daha sonra sonuçları etkileyen ve belirsizlik yaratan parametre sayısını minimuma indirilerek (fırınlar arası farklılıklar, termostat ayarı, fırın kütlesi vs.) uygulanan yöntemin sonucunda elde edilen enerji tüketim değeri mevcut durumdaki ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonrasında en iyi performans, 15 mm normal vakum katmana sahip deney düzeneğinden elde edilmiş ve EN 50304 standartlarına göre vakumsuz camda EEI Cavity değeri 134 iken vakumlu camda 116'ya düşürülmüştür. Bu da elektrikli fırının ortalama enerji tüketim değerinde %12.55' lik bir fark yaratmaktadır. Bir diğer önemli konu olan dış cam yüzey sıcaklıklarında ise mevcut duruma göre yaklaşık %20'lik bir düşüş sağlandığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakum Katmanlı Cam, Enerji Verimliliği, Fırın Ön Camı

DESIGN OF INCREASED ENERGY EFFICIENCY VACUUM LAYER DOMESTIC OVEN DOOR

Erdem YILDIZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, August 2017

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Serdar GENÇ

ABSTRACT

Studies on the energy consumption of the domestic furnace Show that the energy loss at the front window of the furnace constitutes a significant part of the total energy consumption. This study aims to improve the quality of household furnaces without affecting cooking heat losses that occurred on the oven door, two glass-layers, creating a vacuum which is between layers of heat energy convection preventing and escape out through the door(glass) that is occurring in almost reduced to a minimum level of thermal heat loss as heat in the contents of the flask was intended to keep the temperature of the outer surface. For experimental investigations, we have prepared different dimensions vacuum layer glass as 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm and 21mm. It's cover and reduction methods for in identified. First, with the primary experiments the current energy consumption of the selected furnace system will be evaluated according to the procedures of the EN 50304 standard. To determine the effect of the glass with the developed vacuum layer on energy consumption, the energy consumption values of the furnace in the control group are noted. Then, energy consumption tests are made on the furnaces with the developed vacuum layer by reducing the parameters (such as different furnace systems, thermostat settings, mass of the furnace system, etc.) which create ambiguity to minimum, and the results has been compared with the results which had been noted on tests of the control group. According to the results of these experiments and EN 50304 Standards were obtained from, the best performance is obtained from furnaces with 15mm normal vacuum layer. While the EEI cavity value related with the furnaces without the vacuum layer are about at 134, on the other hand, these furnaces have been equipped with the developed

vacuum layer and so the EEI cavity value has been reduced to 116. This makes considerable difference of about %12.55 on the energy consumption of the electric oven. It also has been observed that the temperature of the outer glass surface, which is another prominent issue, is reduced by about %20 compared to the present situation.

Keywords: Vacuum Layer Glass, Energy Efficiency, Glass of Domestic Oven Door



İÇİNDEKİLER

ENERJİ VERİMLİLİĞİ ARTTIRILMIŞ VAKUM KATMANLI FIRIN ÖN CAM TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
KABUL ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xiii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

KAYNAK, PATENT VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. Yalıtım Uygulamaları	6
1.2. Kapak uygulamaları	12

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Enerji Tüketim Deneyi	18
2.1.1. Tuğla testi standardı	18
2.1.1.1. Deney hazırlıkları.....	18
2.1.1.2. Ölçüm prosedürü	21

2.2. Deney laboratuvarı ve kullanılan ekipmanlar	25
2.3. Deney Düzeneginin Oluşturulması	28
2.4. Deney Sonuçları	34

3. BÖLÜM

MATEMATİKSEL MODEL

3.1. Ön Kapak Camında ve Kavitede Meydana Gelen Isı Kayıpları	41
3.1.1. Ön kapak camında meydana gelen ısıl taşınım katsayılarının hesaplanması.....	43
3.2. Modelin Çalıştırılması	52

4. BÖLÜM

TARTIşMA – SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKÇA	63
ÖZ GEÇMİş.....	67

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1.1. Yalıtım malzemeleri sınıflandırılması.....	7
Tablo 1.2. Isı yalıtım malzemelerinin maksimum kullanım sıcaklığı	10
Tablo 1.3. EN 60 335-2-6 standardına göre olması gereken kapak sıcaklıkları.....	12
Tablo 2.1. Ortalama fırın içi sıcaklığı hesaplama.....	24
Tablo 2.2. Enerji Verimlilik Sınıfı / Enerji Verimlilik Endeksi Tablosu	36



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 1.1.	Duvarda gerçekleşen ısı iletimi.....	6
Şekil 1.2.	Cam yünü.....	8
Şekil 1.3.	Taş yünü.....	8
Şekil 1.4.	Miele firmasının aerojel yalıtım uyguladığı fırın	9
Şekil 1.5.	AEG firması tarafından geliştirilen yalıtım uygulaması.....	11
Şekil 1.6.	Yansıtıcı yüzeye sahip fırın	11
Şekil 1.7.	James J. Nuss tarafından tasarlanan iki camlı fırın kapağı	13
Şekil 1.8.	J. A. White tarafından tasarlanan dört camlı fırın kapağı.....	14
Şekil 1.9.	Fırın kapağının tamamen izole edilmesi.....	15
Şekil 1.10.	Hava sirkülasyonlu kapak.....	15
Şekil 1.11.	Soğutma sistemine sahip pişirici uygulaması	16
Şekil 1.12.	Dört camlı hava soğutmalı kapak	17
Şekil 2.1.	Tuğla boyutları ve üzerine yerleştirilen termoelemanlar	19
Şekil 2.2.	Test odası sıcaklığının ölçümü için yerleştirilen termoelemanın konumu	20
Şekil 2.3.	Fırın kullanılabilir hacim hesabı	21
Şekil 2.4.	Deney tuğlalarının soğutulması	22
Şekil 2.5.	Soğutucudan çıkan tuğlanın nemli ağırlığının tartılması.....	22
Şekil 2.6.	Tuğlanın kaviteye yerleştirilmesi.....	23
Şekil 2.7.	Fırın sıcaklığının termik elemanlarla ölçülmesi	25
Şekil 2.8.	Kavite ve rezistanslar.....	26
Şekil 2.9.	Elektrik ve frekans regülatörü.....	27
Şekil 2.10.	Elektrik saati ve kronometre	27
Şekil 2.11.	Yüksek sıcaklığa dayanıklı temperli camlar	28
Şekil 2.12.	Camları birleştirmek için kullanılan içi boş alüminyum profil.....	29
Şekil 2.13.	Buhar oluşumunu engelleyen ‘Vitrimol’ maddesi.....	29

Şekil 2.14.	Alüminyum çerçevenin temperli cam üzerine yerleştirilmesi	30
Şekil 2.15.	300 °C' ye dayanıklı termal silikon	30
Şekil 2.16.	Oluşturulan 'Protoip' (Vakumlanmamış)	31
Şekil 2.17.	Vakumlama işlemi için oluşturulan aparat.....	32
Şekil 2.18.	Vakum pompası sistemi	32
Şekil 2.19.	Çok düşük iç basınca sahip 'Prototip 7' (10^5 mbar)	34
Şekil 2.20.	Mevcut durumdaki fırın camında gerçekleşen ısı transferi.....	37
Şekil 2.22.	Tüketilen Enerji Miktarı – Camlar Arası Mesafe	39
Şekil 2.23.	EEI – Camlar Arası Mesafe.....	39
Şekil 2.24.	Dış Cam Yüzey Sıcaklığı – Camlar Arası Mesafe.....	40
Şekil 2.25.	Fırın Çalışma Süresi – Camlar Arası Mesafe.....	40
Şekil 3.1.	Kavite içerisinde gerçekleşen ısı olaylar	41
Şekil 3.2.	Çift camlı fırın ön camında gerçekleşen ısı tranferi	43
Şekil 3.3.	Çift camlı kapakta gerçekleşen taşınımlı ısı transferi	45
Şekil 3.4.	Program veri giriş ekranı	53
Şekil 3.5.	Programa verilerin girilmesi	54
Şekil 3.6.	Sonuç ekranı	54
Şekil 3.7.	Hesaplama dizinleri	55
Şekil 3.8.	Hesaplama dizinleri	55
Şekil 3.9.	Hesaplama dizinleri	56
Şekil 3.10.	Camlar Arası Mesafe – Toplam Tüketilen Enerji Miktarı Grafiği	56
Şekil 3.11.	Camlar Arası Mesafe – EEI Grafiği	57
Şekil 3.12.	Camlar Arası Mesafe – Ön Kapakta Meydana Gelen Isı Kaybı.....	57
Şekil 3.13.	Camlar Arası Mesafe – Kazan Duvarında Meydana Gelen Isı Kaybı Grafiği.....	58
Şekil 3.14.	Camlar Arası Mesafe – Kullanıcı Girişi (Çoklu Değer) Grafiği	58
Şekil 4.1.	DeneySEL & MatematikSEL Model Karşılaştırması (Wh-mm).....	61
Şekil 4.2.	DeneySEL & MatematikSEL Model Karşılaştırması (EEI-mm).....	62

KISALTMALAR VE SİMGELER

α	: Isıl Yayılım Sayısı
$\alpha_{1,2}$	: Isıl Yayılma Oranı
α_1	: Katı Malzemelerin Isıl Yayılması
α_2	: Havanın Isıl Yayılması
A	: Alan
β	: Isıl Genleşme Katsayısı
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
C_p	: Özgül Isı
d	: Pişirme Hacmi Kullanılabilir Yüksekliği
D_{ϕ}	: Yayınım Katsayısı
E	: İç Enerji
e	: Pişirme Hacmi Kullanılabilir Genişliği
ϵ	: Yüzey Absorbe Yeteneği
f	: Pişirme Hacmi Kullanılabilir Derinliği
h	: Isı Taşınım Katsayısı
h_m	: Taşınım Kütle Transfer Katsayısı
$^{\circ}\text{K}$	: Kelvin Sıcaklığı
Δm	: Tuğlanın Emdiği Su Miktarı
ΔT	: Sıcaklık Farkı
m_w	: Tuğlanın Islak Kütlesi
m_d	: Tuğlanın Kuru Kütlesi
Nu	: Nusselt Sayısı
Pr	: Prandtl Sayısı

P	:	Basınç
Ra	:	Rayleigh Sayısı
Re	:	Reynold Sayısı
σ	:	Stefan-Boltzmann Sabiti
Sk	:	Stark Sayısı
T	:	Sıcaklık
T_{dış}	:	Dış Ortam Sıcaklığı
T_{iç}	:	Fırın İçi Sıcaklığı
ν	:	Kinematik Viskozite
$\lambda_{1,2}$	:	Termal İletkenlik Oranı
λ_1	:	Katı Malzemelerin Termal İletkenliği
λ_2	:	Havanın Termal İletkenliği

GİRİŞ

Enerjinin sınırlı ve tükenebilir olması tüm dünyada enerji üretmek için yapılan çalışmaların maliyetinin sürekli artmasına neden olmuştur. Diğer yandan küresel ısınma, fosil yakıtların hızla tükeniyor olması gibi etkenler enerji tüketiminin azalmasına yönelik bir bilinç oluşturmuş ve mevcut enerjinin daha verimli kullanılmasının gerekliliğini gözler önüne sermiştir. Bu nedenle, tüm ürünlerde olduğu gibi beyaz eşyalarda da enerji tüketimi düşük ürünler tercih edilir hale gelmiştir. Dolayısıyla fırın üreticilerinin de pazarda kendilerine yer bulabilmeleri açısından, yüksek enerji verimliliğine sahip fırın üretmek üzerine yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Dünya genelindeki birçok kuruluş ve standartlar, enerji tüketimi açısından düşük olan ürünleri sınıflandırmak için bazı tanımlamalar kullanmaktadır. Kullanılan bu normlardan en tanınmış ve yaygın olanı ise CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) tarafından yayınlanan EN 50304 numaralı standarttır. Bu standart ev tipi pişiricilerin enerji sarfiyatlarının hesaplanması için yapılan “Tuğla Testi” prosedürünü tanımlamaktadır. Bu testin sonuçlarına göre, teste tabi fırınların üzerlerine enerji sınıflarını göstermek için sırasıyla A, B, C, D ve E harfleri olan bir etiket yapıştırılır. Bu sayede alınan ürünün enerji tüketim performansı kolayca görülmüş olur [1].

Yapılan bu çalışmanın amacı ev tipi pişiricilerde pişirme performansını olumsuz yönde etkilemeyecek şekilde ön camlarından taşınım yoluyla gerçekleşen ısı transfer mekanizmasının incelenerek fırın ön camlarından gerçekleşen termal kayıpların minimuma indirilmesine yönelik yöntemlerin belirlenmesidir.

Yapılan literatür taramalarında fırının enerji sarfiyatını düşürmek adına çok çeşitli yöntemler görülmektedir. İncelenen yayınlarda alternatif yalıtım malzemeleri kullanılarak fırından ısı kabının azaltılması, değişik kapak konstrüksiyonlarının tasarlanması, farklı sayıda ve özellikte cam kullanımı gibi değişik yöntemler üzerinde

alışılmıştır. Bunların içerisinde en yaygın kullanıma sahip olan ise cam sayısını arttırmadır. Çift camlı,  camlı, dört camlı gibi birden fazla cama sahip cam uygulamaları; iki camın arasına delikli panel koymak suretiyle, camların arasında hava akışı oluşturarak hava geçişi sağlanır ve böylelikle doğal yollarla hava akışı sağlanarak dış camın yüzey sıcaklığı düşürülmüş olmaktadır. Böylece cam sayısı arttıka ısı kaybı azalmakta fakat maliyetini bir hayli arttırmaktadır.

Deneyler aynı model fırın üzerinde ve belirsizlik oluşturan parametreler en aza indirilecek şekilde yapılmıştır. Bu nedenle kapak deneylerinin kontrollü ve hızlı bir şekilde yapmak, gerçekleşen iyileşmelerin gözlemlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu deney düzeneği literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler ve akademik bilgilerin harmanlanmasıyla alternatif bir kapak tasarımı yapılmış ve bunun kapağın ısıl performansına etkisi incelenmiştir.

Ev tipi pişiricilerin enerji sarfiyatlarını belirlemek ve denenen yeni vakum katmanlı camın, pişiricinin mevcut tüketime etkisini gözlemleyebilmek için, öncelikle fırının mevcut konumu üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan enerji sarfiyat değerleri kayıt edilmiştir. Sonrasında uygulanan yeni yöntemin verileri ile mevcut durumun verileri karşılaştırılarak, kullanılan yeni yöntemin pişiricinin enerji sarfiyatına olan etkisinin pozitif mi negatif mi olduğu sayısal olarak açıklanmıştır.

1. BÖLÜM

KAYNAK, PATENT VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ev tipi pişiricilerde enerji sarfiyatının düşürülmesine yönelik çalışmalar ve firmaların patentleri incelendiğinde; pişirici izolasyon malzemelerinin ve ön kapaktaki enerji tüketimini azaltıcı uygulamaların ön plana çıktığı görülmüştür. Fırınlarda enerji sarfiyatının ülke ekonomisi ve üretici firmalar tarafından önemi çok büyüktür. Çünkü gerek milli servet gerekse firmalar açısından tercih sebebi olmak ve bu sayede pazar payını büyütmek açısından önemli bir kıstasdır. Fakat enerji sarfiyatını azaltırken pişirme kalitesinin olumsuz etkilenmemesi önemli bir husustur.

Termodinamiğin 2. Yasası şöyle der; sıcaklık farkı olan iki ortam arasında ısı, sıcaklığı yüksek olan ortamdaki sıcaklığı düşük olan ortama kendiliğinden geçer. Bu geçiş işlemi ortamlar arasındaki sıcaklık farkına bağlı olduğu kadar hem ortamın hem de yüzeylerin özelliklerine de bağlıdır. Buna bağlı olarak ısı transfer mekanizmaları temel olarak üç ana başlıkta incelenmektedir. [2].

Isı İletimi (Kondüksiyon): Bir cismin farklı sıcaklıklara sahip bölgelerinde, birbirleriyle etkileşim içerisindeki molekül ve parçacıklardan, enerji seviyesi yüksek olandan enerji seviyesi düşük olana doğru geçen enerjidir [3]. Soğuk havada arabanın camına dokunduğumuzda elimizin üşümesine sebep olan ısı, iletim yoluyla transfere örnektir.

Isı Taşınımı (Konveksiyon): Sıvılar ve gazlar kolay hareket edebilen akışkan maddelerdir. Isınan maddelerin hacmi arttığı için yoğunluğu azalır. Yoğunlukları azalan sıvı ve gaz molekülleri yukarı doğru hareket ederler. Bu şekilde olan ısı geçişine taşınım denir. Taşınım ile ısı geçişi akışkan özelliklerine, akış hızına ve sıcaklık farkına bağlıdır.

Isı Işınımı (Radyasyon): Işınım olayında enerji, fiziksel ortama ihtiyaç duymadan elektromanyetik dalgalar ile yayılırlar. Bütün maddeler (katı, sıvı, gaz) sıcaklığın yüksek olduğu seviyelerde enerjiyi elektromanyetik dalgalar halinde hem yayar hem de

absorbe ederler. Yüzey kısmına gelen ışıının bir kısmı yüzeyden geçer ve yüzeyi geçen bu ışıın ince bir tabaka halinde absorbe edilir [3]. Güneş ışıının havayı ısıtması ışıınla ısı transferine örnektir.

Isı Taşınımı (Konveksiyon): Sıvılar ve gazlar kolay hareket edebilen akışkan maddelerdir. Isınan maddelerin hacmi arttığı için yoğunluğu azalır. Yoğunlukları azalan sıvı ve gaz molekülleri yukarı doğru hareket ederler. Bu şekilde olan ısı geçişine taşınım denir. Taşınım ısı geçişi akışkan özelliklerine, akış hızına ve sıcaklık farkına bağlıdır.

Isı Işınımı (Radyasyon): Işınım olayında enerji, fiziksel ortama ihtiyaç duymadan elektromanyetik dalgalar ile yayılırlar. Bütün maddeler (katı, sıvı, gaz) sıcaklığın yüksek olduğu seviyelerde enerjiyi elektromanyetik dalgalar halinde hem yayar hem de absorbe ederler. Yüzey kısmına gelen ışıının bir kısmı yüzeyden geçer ve yüzeyi geçen bu ışıın ince bir tabaka halinde absorbe edilir [3]. Güneş ışıının havayı ısıtması ışıınla ısı transferine örnektir.

Doğal taşınım ışıınla gerçekleşen ısı transferi zorlanış durumda gerçekleşen ısı transferinden daha azdır. Bazı sistemler bu handikapa rağmen doğal taşınımı sıklıkla tercih etmektedir. Bunun en önemli nedeni ise doğal taşınımın hiçbir ekipman gerektirmeden ve kendiliğinden gerçekleşmesidir. Oluşan bu sıcaklık farkları sayesinde hareket kabiliyeti kazanır ve yoğunluğu diğerlerine göre daha yüksek olduğu için aşağı doğru hareket etme isteğindedir [4].

Varol ve Özgen [5], tabandan ısıtılan kapalı bir hacim içerisindeki plakanın doğal taşınım ısı transferini incelerken; Rayleigh (Ra) sayısı artarken akım fonksiyonunun mutlak değerinin de arttığını ve bununla birlikte ısı transferi ve akış şiddetinde arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca ısı iletkenlik arttıkça ortalama Nusselt (Nu) sayılarının arttığı da gözlemlenmiştir.

Dalal ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda [6], alttan sürekli ısıtılan ve diğer üç kenarı daha düşük bir sıcaklık değerinde tutulan, içerisi hava dolu dikdörtgen biçiminde kapalı bir kapta doğal taşınım olayını sayısal olarak incelemiştir. Bunun sonucunda ise düşük Rayleigh sayılarında iletimle ısı transferinin etkin olduğu belirlemiştir.

Gill yaptığı çalışmada [7], yüksek boyutlara sahip dikdörtgen prizma hacme sahip ortamlarda, taşınımın baskın olduğu yüksek Rayleigh sayıları için düşey akışkan

hareketinin düşey plakalara yakın olan bölgelerde sınırlandığını kabul etmiş ve iç bölgelerdeki akışkanı durgun ve katmanlı şekilde dikkate almıştır.

Du ve Bilgen [8], birbirinden farklı şekilde yalıtılmış yatay duvarlarda oluşan doğal konveksiyon ve iletimle ısı transferini incelemiştir. Bunun sonucunda ise katı duvarlardaki ısı transferlerinin düşük Rayleigh sayılarında fazla, yüksek Rayleigh sayılarında ise daha az etkilendiğini gözlemlemiştir. Bu da duvardaki iletim ile akışkanın taşınımı arasında güçlü bir bağ olduğunu göstermiştir.

Ganguli ve arkadaşları [9], çift cama sahip bir pencere camında gerçekleşen doğal taşınım ile ısı transfer katsayısına etki eden parametreleri incelemiştir. Bu parametreler; cam iç ve dış yüzey yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı, camın yüzey alanı, camlar arası mesafe olarak belirlenmiştir ve bu parametrelerin ısı transfer katsayısına ne derece etki ettiği araştırılmıştır.

Sheremet tarafından yapılan deneylerde [10]; doğal konveksiyon ele alınıp, kapalı hacim ile hacim cidarları arasında gerçekleşen ısı transferleri ışıyım hesaba katılmadan yalnızca momentum ve akım fonksiyonları ile kütle geçişi ve ısı geçişinin gözlemlenmesi sağlanmıştır.

Bouali ve arkadaşları ise [11], doğal konveksiyonun yanı sıra ışıyım ile ısı geçişini de hesaba katarak kapalı hacim ortasına yerleştirilen dikdörtgen prizma şekline sahip cismi değerlendirmişlerdir. Hız momentum ve basınç denklemleri marifeti ile çözülmüştür. Yüzeylerdeki yama oranı değişimleri Nusselt sayısı hesaba katılarak hesaplanmış ve incelenmiştir. Akışkan olarak da hava seçilmiştir.

İncelenen patentlerde ve literatür araştırmasında yalıtım malzemesi uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Pişirici kavitesinden yayılan ısı iki farklı şekilde tükenmektedir. Bunlardan ilki direk yiyecek üzerine gönderilen diğeri ise kavite duvarları tarafından emilerek yutulan ve ön camdan çevreye geçerek kaybolan ısıdır.

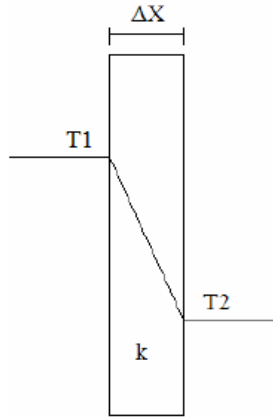
Ev tipi pişiriciler üzerine yapılan çalışmalara baktığımızda, cam sayısındaki artışın (çift cam, üçlü cam, dörtlü cam) ya da fırın kapağındaki cam yüzeyinin azaltılması suretiyle ısı transferinin düşürülmesi deneylerinde enerji tüketiminde olumlu bir düşüş sağlandığı ve buna bağlı fırın veriminin arttığı gözlemlenmiştir.

1.1. Yalıtım Uygulamaları

Yalıtım (izolasyon) kullanıldığı duruma göre dış etkenlerle olan etkileşimi en aza indirmek ve olası en iyi sonucu elde etme çabasıdır. Isı yalıtımı ise üretilen ısıнын çeşitli yollarla dışarıya kaçmasını önleyerek ısı ekonomisi sağlamak ve enerjinin daha verimli kullanılmasını sağlamaktır. Özetle ısı yalıtımı elemanlardan ısı geçişlerini en aza indirmek amacıyla yapılır. Isı yalıtımı, yapıyı oluşturan elemanların ısı geçirgenlik katsayılarının yeterli olmaması durumunda, uygulanmaktadır.

Isı iletim katsayısı, malzemelerin birbirine dik bir birim mesafedeki, bir birim karelik iki farklı yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğundaki birim zamanda geçen ısı miktarıdır [3]. Isı geçişine karşı gösterilen direnç, ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasına bağlıdır, yani yalıtım olayının temelinde ısı iletkenlik katsayısı yatmaktadır [12].

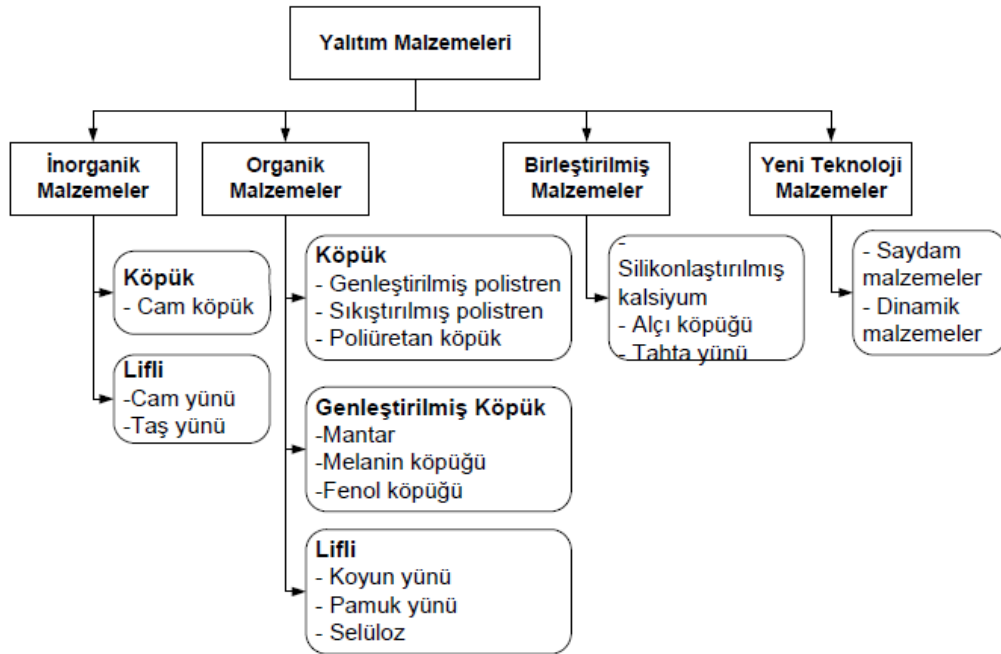
Şekil 1.1.'de “x” kalınlığında ve “k” ısı iletim katsayısına sahip bir duvarın iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık değişimi gösterilmiştir [13].



Şekil 1.1. Duvarda gerçekleşen ısı iletimi

Fırınlarda yalıtımla enerji tüketiminin azaltmada kullanılan en yaygın yöntem; fırın şasisi etrafı yalıtım malzemesiyle kaplanarak ısı kaybının engellenmesidir. Uygun kalınlıkta ve özelliklerde yalıtım malzemesi kullanılarak bir fırının enerji tüketimi % 2 ila % 20 arasında azaltıldığı bilinmektedir. İzolasyon malzemesi tasarımında, ısı direnç ve ısı kütle malzemenin veriminde kritik öneme sahiptir [13].

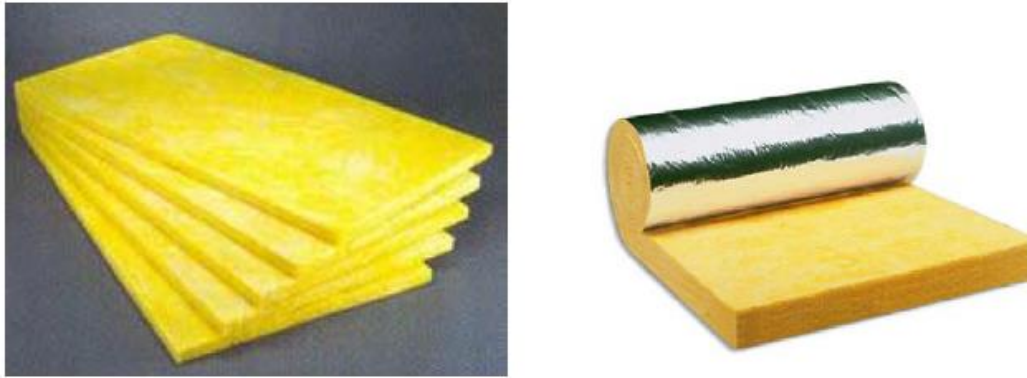
Yalıtım malzemelerinin türüne göre sınıflandırılması Tablo 1.1’ deki gibidir [13].

Tablo 1.1. Yalıtım malzemeleri sınıflandırılması

Çalışma koşulları yüksek sıcaklık olan ev tipi pişiricilerde kullanılan yalıtım malzemelerinin kullanım amaçları doğrultusunda yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı yüksek olmak zorundadır. Yani sıcaklık farkları karşısında düşük sıcaklık değişimine sahip olmalıdır. Isıl direnç ve küçük ısıl kütle bir arada hesaplanarak uygun yalıtım kalınlığı belirlenmektedir. Yalıtım malzemelerinin seçiminde bir diğer önemli parametre ise ısı iletim katsayısı ve yoğunluk değeridir [14].

Bu nedenle ev tipi fırınlarda cam yünleri, taş yünleri ve bunların alüminyum kaplı olanları sıklıkla kullanılmaktadır.

Cam yünü, inorganik hammadde olan silis kumunun 1200 °C – 1250 °C ergitilerek elyaf haline getirilmesiyle oluşmaktadır (Şekil 1.2). Isı İletkenlik değeri $\lambda \leq 0,040$ W/m°K' dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü, $\mu = 1$ 'dir. Kullanım sıcaklığı -50 °C / +250 °C aralığındadır. Bağlayıcısız ürünler ise 500 °C' ye kadar kullanılabilir. Sıcaklık ve rutubet ortamında boyutlarında kesinlikle bir değişme olmayacağı gibi zaman geçtikçe bozulmaya, çürümeye, küf tutmaya, korozyona ve paslanmaya uğramaz. Böcek, haşere ve organizmalar tarafından tahribata uğramaz. TS EN 13501-1 Türk Standardı uyarınca “yanmaz malzemeler” olarak tanımlanan A sınıfındadır [15].



Şekil 1.2. Cam yünü

Taş yünü, inorganik hammadde olan bazalt taşının 1350 °C – 1400 °C’ de ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil 1.3). Isı İletkenlik değeri $\lambda \leq 0,040$ W/m°K’ dir. Su buharı difüzyon direnç faktörü $\mu = 1$ ’dir. Kullanım sıcaklığı -50 °C / +700 °C’ aralığındadır. Sıcaklık ve rutubet ortamında boyutlarında kesinlikle bir değişme olmayacağı gibi zamanla bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve paslanma yapmaz. Böcekler ve mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez. TS EN 13501-1 Türk Standardı uyarınca “yanmaz malzemeler” olarak tanımlanan A sınıfındadır [16].



Şekil 1.3. Taş yünü

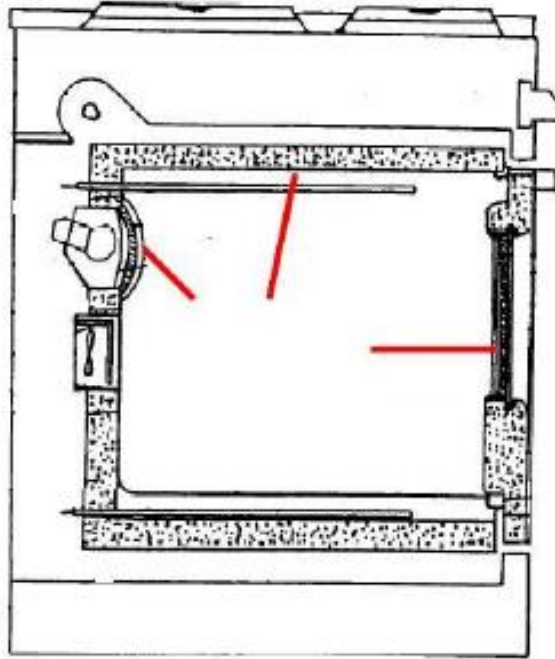
Seramik yünü, cam ve taş yününe kıyasla çok daha yüksek sıcaklıklarda kullanılan lifli bir malzemedir. Kullanım sıcaklığı -50 °C / +1400 °C aralığındadır. Çeşitli şekillerde (rulo, dökme, elyaf) uygulamaları mevcuttur. Genellikle renkleri beyazdır. Çoğunluğu malzemelerin aldığı şekle göre 100 – 160 kg/m³ arasında bir değere sahiptir. Yumuşak ve kolay şekil alabilen bir malzemedir [17].

Ev tipi pişiricilerin yalıtım uygulaması patentlerine bakıldığında genellikle cam yünü ve taş yününün kullanılmadığı, buna alternatif olacak malzemelerin denendiği sıkça görülmektedir.

Lif tabanlı izolasyon malzemeleri tarafından gerçekleştirilen ışınlı ısı geçişi mekanizmaları incelendiğinde, ısı geçişinin; lif çapı, lifin konumu ve yerleşimi gibi parametreler üzerinden değişiklikler yaparak yeni izolasyon materyalleri üretmek adına yapılan çalışmalar bir hayli artmakta ve güncelliğini korumaktadır [18, 19, 20].

Tasnim ve Collins [21], dikdörtgen prizma şekle sahip bir hacim içerisine ısıнын etki ettiği bölgelere levha yerleştirmek suretiyle oluşan ısı transferinin sayısal analizini yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda, sıcaklığı düşük olan yüzey üzerine yerleştirilmiş olan levhanın laminar doğal taşınım ısı transferine etkileri gözlemlenmiş ve bu durum levhasız duvara sahip düzenele kıyaslanmıştır.

Miele® firması alternatif yalıtım malzemesi olarak arojel kullanmış ve 1992 yılında patent almıştır. Arojel yalıtım malzemesi farklı bir formda fırın şasesi ve kapağında kullanılmıştır (Şekil 1.4) [22].



Şekil 1.4. Miele firmasının arojel yalıtım uyguladığı fırın [22]

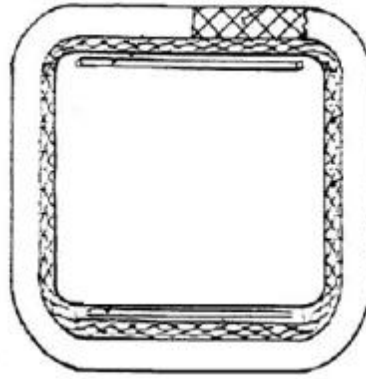
Isı yalıtım malzemelerinin maksimum kullanım sıcaklıkları Tablo 1.2’ de gösterilmiştir [23].

Tablo 1.2. Isı yalıtım malzemelerinin maksimum kullanım sıcaklığı

Isı Yalıtım Malzemesi	Max. Kullanım Sıcaklığı (C°)
Seramik Yünü	1800
Taşyünü	750
Cam Köpüğü	430
Camyünü (Bakalitli)	250
Elastomerik Kauçuk Köpüğü	170*
Melamin Köpüğü	150
Fenol Köpüğü	120
Poliüretan	110
Polietilen Köpüğü Flex Malz.	95
Expanded Polistren	75/80
Extrude Polistren	75/80
*: Özel tipler: Özel üretilen +170 °C'e kadar dayanıklı elastomerik kauçuk köpüğü	

Erçetin ve arkadaşları [24], fırın yüzeylerine ilave yalıtım yapılarak mevcut durumdaki kayıpların, yaklaşık olarak % 70 oranında azaltılabileceğini göstermişlerdir. Fırın yüzeylerinden kaybolan bu ısı enerjisinin doğrudan geri kazanımının mümkün olmadığı bilinmektedir ancak ilave yalıtım yapılırsa fırın içerisindeki ısının dış ortama geçişi biraz daha engellenerek, fırının gerekli sıcaklığa ulaşması için yakılacak yakıtın miktarında bir düşüş sağlanacaktır.

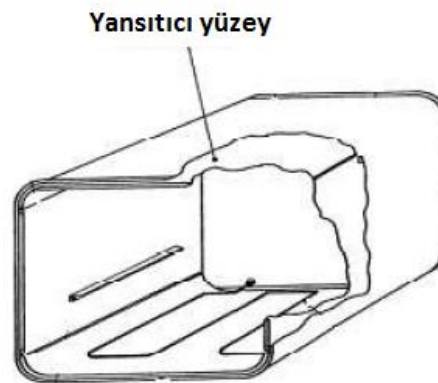
AEG firması tarafından 1996 yılında alınan bir patentte ise; fırın kavitesinin alüminyum folyo ve köpük malzeme ile kaplanmak suretiyle yalıtımı sağlanmıştır [26]. Oluşturulan yalıtım katmanının içerisinde mineral lifler veya herhangi bir organik bağlayıcı bulunmamaktadır. Yapılan uygulama Şekil 1.5’ de görülmektedir.



Şekil 1.5. AEG firması tarafından geliştirilen yalıtım uygulaması [26]

Vakumlu izolasyon panelleri, gözenekli bir yapıya sahip olan dolgu malzemesinin, dolgu malzemesinin içsel bileşenine bağlı olarak gaz giderici kullanılarak veya kapalı bir hacim oluşturmak suretiyle vakumlanması ve sızdırmazlığın sağlanması yöntemiyle oluşturulur. Öz ve Deniz [27], yalıtım malzemelerinin içerisindeki havayı boşaltarak, teorik olarak ürünün ısı yalıtım özelliğinin de iyileştirilebileceğinin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

M. Newborough [28], yaptığı çalışmada, fırında rezistanslardan veya brülörlerden yayılan ısının hem kavite yüzeyleri tarafından emilmesini engellemek hem de ısının iletim yoluyla dışarıya geçişini önlemek için; kavite yüzeylerini yansıtma katsayısı yüksek plakalar tarafından kapatmıştır. Şekil 1.6’ da görülen yansıtıcı yüzeye sahip fırın görülmektedir.



Şekil 1.6. Yansıtıcı yüzeye sahip fırın [28]

1.2.Kapak uygulamaları

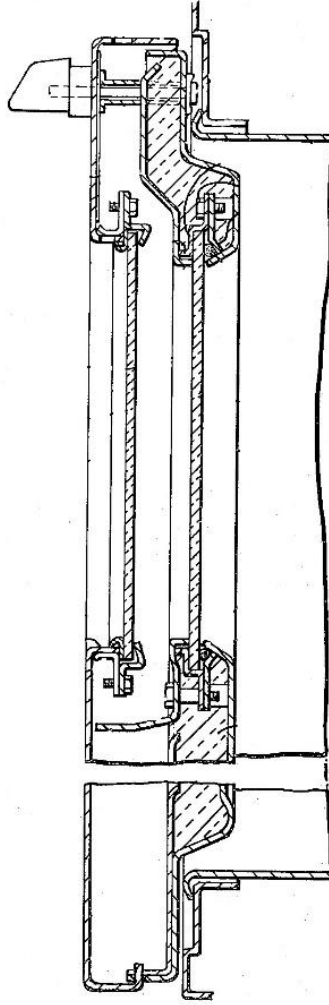
Enerji tüketimini azaltma üzerine yapılan çalışmalardan bir diğeri ise fırın kapağıdır. Fırın kapak konstrüksiyon tasarımı yapılırken enerji tüketiminin standartlarda belirtilen seviyede kalması ve ön kapak yüzey sıcaklıklarının olabildiğince düşük kalması sağlanmalıdır.

Ev tipi pişiricilerin ön camlarının sıcaklıkları, EN 60 335-2-6 nolu ev ve benzeri yerlerde kullanılan elektrikli cihazlar standardında güvenlik kuralları ve olması gereken kapak sıcaklıkları Tablo 1.3’ de detaylı olarak yer almaktadır [25]. Kavite merkez sıcaklığı $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ iken fırın dışına bu sıcaklığın minimum derecede kayıpla fırının maksimum enerji verimliliği ile çalışması gerekmektedir. Ayrıca dışarıya kaçan sıcaklık fırın kapak yüzeyinin sıcaklığını da doğrudan arttırdığı için standartlarda geçen yüzey sıcaklıklarını da olumsuz etkileyerek fırının standart dışı kalmasına sebep olmaktadır.

Tablo 1.3. EN 60 335-2-6 standardına göre olması gereken kapak sıcaklıkları

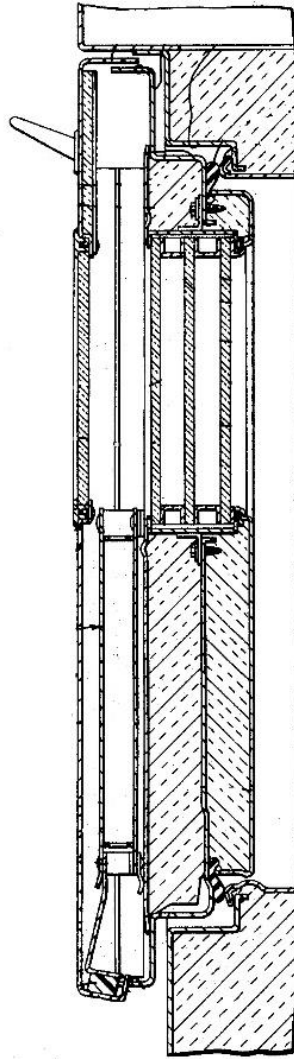
	Kapak Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
Kaplanmış Metaller	$45\text{ }^{\circ}\text{C} + \text{Ortam Sıcaklığı}$
Cam	$60\text{ }^{\circ}\text{C} + \text{Ortam Sıcaklığı}$

James J. Nuss yaptığı çalışmada fırın kapağı konstrüksiyonuna bir gözetleme penceresi dizayn ederek kapak ısısının kritik düzeylerde oluşan ısı geçişini azaltacak ve camlar arasında (çift cam, üçlü cam) iletimle ısı geçişine neden olacak bir boşluğa sahip olmasını engellemiştir. Yine James J. Nuss çalışmasında [30], Şekil 1.7’ de gösterilen iki camlı basit bir fırın kapağı ile kapakta gerçekleşen iletimsel ısı kayıpların azaltılmasını hedeflemiştir. İç camın kapağa bağlandığı yerler cam yünü ile izole edilerek ısısının kapak üzerine geçmesi engellenmiştir. Dış cam ise kapağın iç bölümünden tamamen bağımsız bir şekilde kapağa monte edilmiştir.



Şekil 1.7. James J. Nuss tarafından tasarlanan iki camlı fırın kapağı [30]

Fırın kapaklarında ve yüksek sıcaklıkta işlem gören fırınlarda rastlanan bir diğer konu ise çok camlı kapak uygulamalarıdır. J. A. White araştırmasında yüksek sıcaklık fırınlarından ısı kayıpların azaltılması ve dış cam sıcaklıklarının düşürülmesini incelemiştir [31]. Yüksek sıcaklık fırınlarında fırın iç sıcaklıkları 500 °C civarında olmaktadır ve bu nedenle normal fırın kapaklarına göre daha fazla önlem gerektirmektedir. White çalışmasında dört camdan oluşan kapak kullanmıştır ve ilk üç cam kapağın fırın içine bombe yaptığı kısım Şekil 1.8’ de açıkça görülmektedir. Kapağın bombeli olan kısmı şekilde de görüldüğü gibi iyi bir şekilde izole edilmiştir. Kapak ile şaseinin birleştiği yerde ise sızdırmazlık için cam elyaf conta kullanılmıştır.



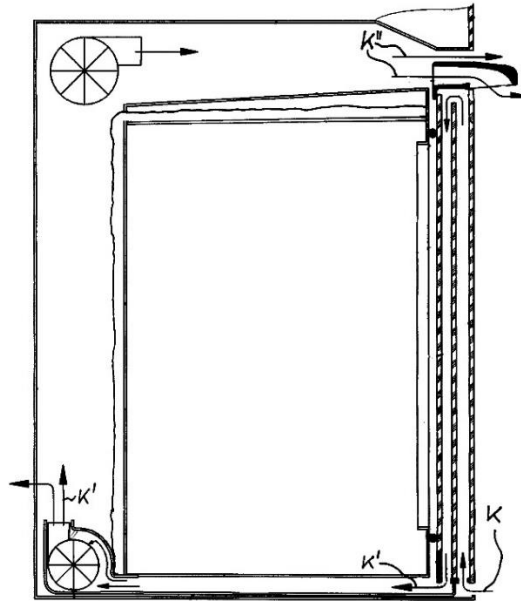
Şekil 1.8. J. A. White tarafından tasarlanan dört camlı fırın kapağı [31]

Kayıhan [32], yapmış olduğu çalışmada pişiricinin ön kapak çerçevesinden ve fırın içerisini görmeye yarayan gözetleme camından çevreye kaçan ısıнын azaltılması için, çerçeve içerisindeki camlar arasına cam yünü koymak suretiyle Şekil 1.9’ daki gibi izolasyon sağlamıştır. Bu çalışmada ön ısıtma süresinin çift rezistans birlikte çalışırken ve turbo modda azaldığı gözlenmiştir. Fırının çalışmaya başladıktan 5. çevrim sonuna kadar harcadığı enerjiye bakıldığında, çift rezistans birlikte çalışan modda tüketilen enerjinin düştüğü gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ise en büyük enerji kazanımının iki ısıtıcı birlikte çalıştığı modda olduğu gözlemlenmiştir (% 9.92).



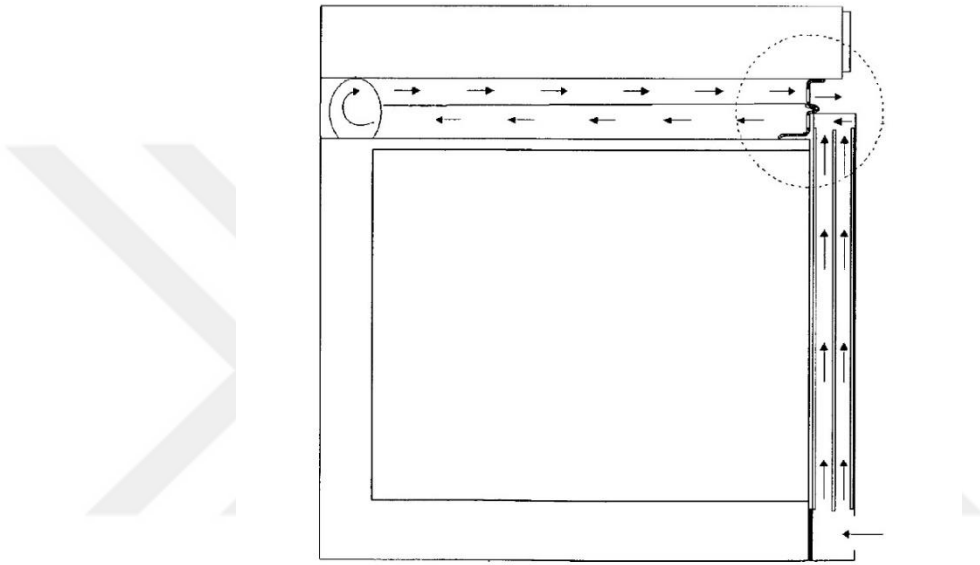
Şekil 1.9. Fırın kapağının tamamen izole edilmesi [32]

AEG firmasının 2002 yılında aldığı patentte, üç camlı kapakta zorlanmış hava dolaşımı uygulaması görülmektedir [33]. Şekil 1.10' de fırın ve kapaktaki hava sirkülasyonu gösterilmektedir. Çevreden gelen ortam sıcaklığındaki hava fırın kapağının sıcaklığının en yüksek olan bölgesi ile direkt temas ettirilmediği için ısı veriminde artış sağlanmıştır.



Şekil 1.10. Hava sirkülasyonlu kapak [33]

Kalaycı [34], ve arkadaşları 2006 yılında aldığı patentte, fırın ön panelden alınan soğuk havanın çalışmakta olan pişiricinin içerisinde Şekil 1.11’ de gösterildiği gibi hava kanallarıyla dolaştırılmasıyla oluşturulan soğutma sistemidir. Emme borusu yardımıyla dışarıdan emilen hava kanallarda ayırma plakası sayesinde birbirine temas etmeden dolaşır ve kapağın üst kısmından pişiriciyi terk eder. Böylece fırın ön kapak ve üzerindeki ocak kısmına geçen ısı düşürülmüş olur.

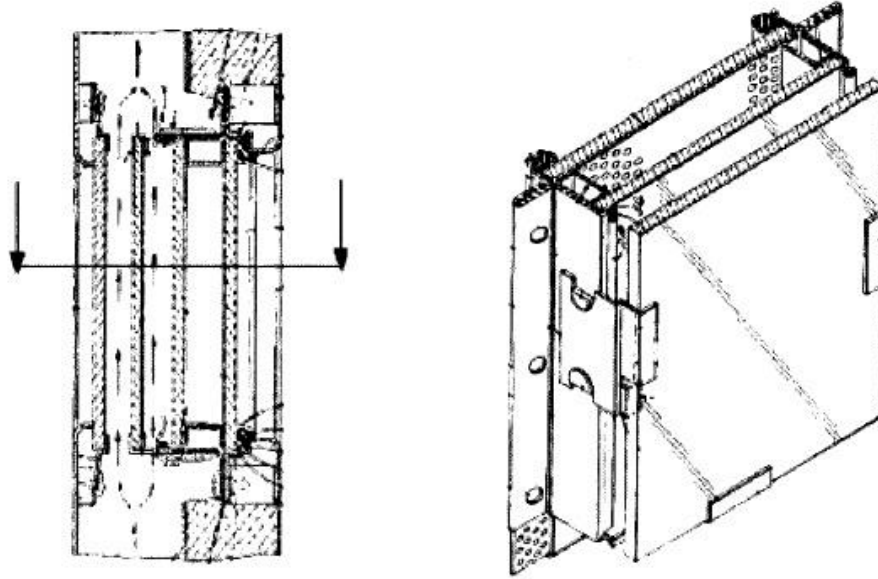


Şekil 1.11. Soğutma sistemine sahip pişirici uygulaması [34]

Tokyo Gas Co. Firması 1987 yılında aldığı patentte, fırın ön kapağının camında küçük bir panjur kullanmıştır. Bu sayede kavite içerisindeki yemeğin gözetlenmesi ve pişme durumu kolayca takip edilebilmektedir. Gözetleme işlemi bittikten sonra ise panjur kapatılarak kavite içerisindeki ısının dışarı kaçması engellenerek hatırı sayılır ölçüde enerji tasarrufu sağlanmıştır. Doğru orantılı bir şekilde, camdan kaybolan ısıyı düşürdüğü için fırın veriminde bu oranda artmıştır [35].

Katona [36], 1978 yılında enerji tüketimini azaltmak ve ön camlardaki sıcaklığı düşürmek için dört camlı bir sistem ile hava akış kanalları oluşturularak bir sistem kurmuştur. İlk üç cam, cam paketi oluşturularak bir araya getirilmiş, iç camın dış yüzeyinde ise petekli bir yapıda ısıyınım perdesi kullanılmıştır. Şekil 1.12’ de görüldüğü gibi iç camı çevreleyen bir conta sayesinde kapak ile kavite arasında sızdırmazlık

sağlanmıştır. Kapağa hava girişi alt kısımdan olmaktadır ve daha sonra ikiye ayrılan hava tekrar kapak üst kısmına geldiğinde birleşerek dışarı atılmaktadır. Dış cam temasla gerçekleşen kayıpların azaltılması için iç kısımdan tamamen ayrılmıştır. Bu da dış camın sıcaklığının düşülmesi açısından oldukça önemlidir.



Şekil 1.12. Dört camlı hava soğutmalı kapak [36]

Gürlek [37], 2004 yılında fırınların ön kapaklarını ısı performansları açısından incelemiştir. Bu incelemelerde iki camlı kapak deney düzeneği ve üç camlı kapak deney düzeneği olmak üzere iki farklı düzenek kurulmuştur. Mevcut iki camlı kapak üzerinde yapılan deneylerde; gerek enerji tüketimi gerekse de kapak dış yüzey sıcaklığı açısından düşük bir performans sergilemiştir. Bunun nedenleri ise; ısı taşınımı açısından kapakta camlar arası mesafenin fazla olması nedeni ile aradaki havanın türbülansa girmesi, ısıtım açısından yansıtıcı cam kullanılmaması ve iletimsel ısıtım için cam-metal temasının fazla olması olarak görülmektedir. Üç camlı kapak üzerinde yapılan deneylerde ise iki cam kullanımına göre avantajlı olduğu ve bu avantajın fırın iç sıcaklığı arttıkça buna paralel olarak arttığı görülmektedir. Fırın iç sıcaklığı 200 °C iken, iki camlı kapakta dış cam sıcaklığı 108 °C iken üç camlı kapaktaki dış cam sıcaklığı ise 50 °C olmaktadır.

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Enerji Tüketim Deneyi

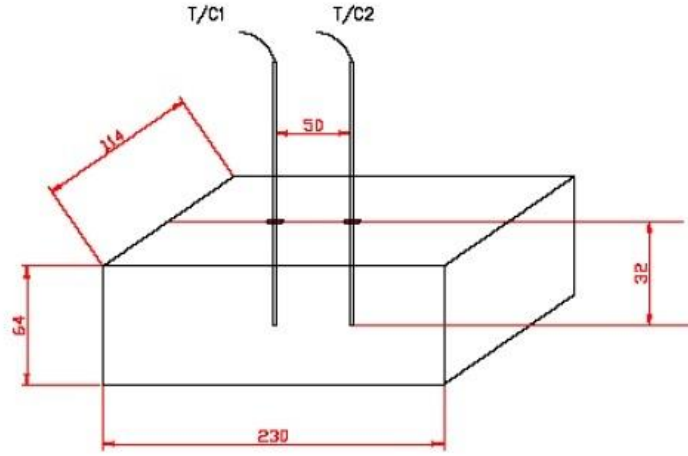
2.1.1. Tuğla testi standardı

CENELEC tarafından yayınlanan EN50304 numaralı standart gereğince uygulanan tuğla testi, ev tipi pişiricilerin (fırınların) enerji tüketim oranlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerin standart hale gelmesini ve uygulanan prosedürün yazılı hale gelerek sabit kalmasını sağlamıştır. Yapılan bu test sayesinde, üretici durumdaki firmaların ürettiği fırınların yasal değerlere ve izin verilen toleranslar dahilinde enerji tüketim değerleri kontrol edilebilmektedir [40].

2.1.1.1. Deney hazırlıkları

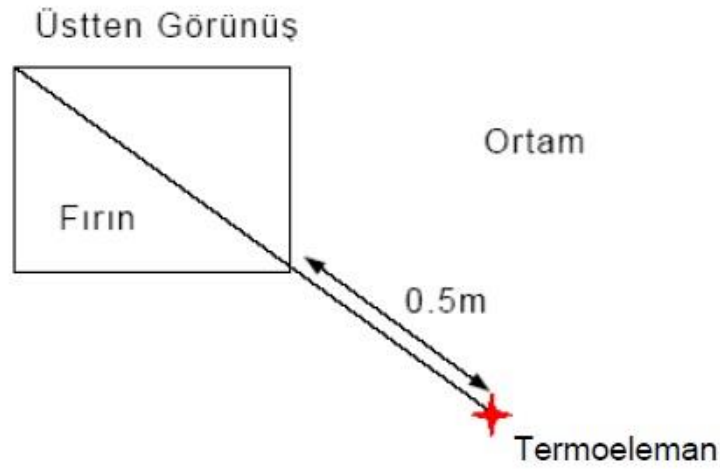
Uygulanan deneyde yemeği simüle etmesi için tuğla kullanılmaktadır. Tuğlanın belirlenen noktalarında ölçüm için 2 adet delik bulunmaktadır. Deneylerde kullanılan tuğla özel olarak üretilen ve gözenekli (su tutucu) bir yapıya sahiptir. Standartlara uygun olarak yapılan deneylerde kullanılan tuğlanın özellikleri aşağıdaki gibi olmak zorundadır.

Yoğunluk : 55 kg/m^3
Kuru ağırlık : $920 \pm 75 \text{ gr}$
Su emmesi : $1050 \pm 50 \text{ gr}$
Boyutlar : $230 \times 114 \times 64 \text{ mm}$
Özgül ısı : 800 J/kgK
Isıl iletkenlik : $0.091 \text{ W/Mk (200 } ^\circ\text{C)}$



Şekil 2.1. Tuğla boyutları ve üzerine yerleştirilen termoelemanlar

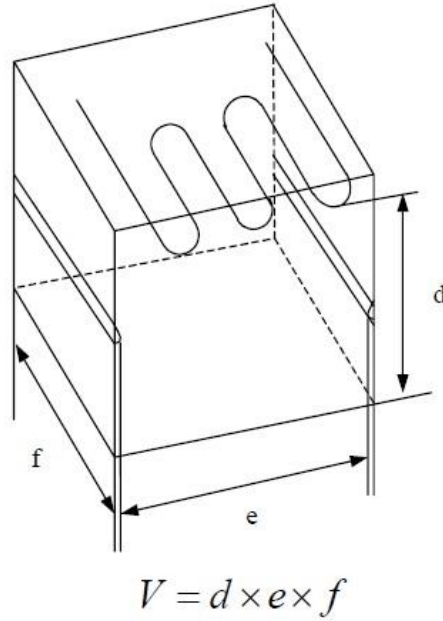
Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi tuğla üzerinde konumlanan termoelemanlar, gösterilen mesafelere uygun biçimde yerleştirilmelidir (mesafeler mm’ dir). Testlere geçilmeden önce personelin tüm cihaz ve malzemelerin ortam sıcaklığında olduğundan emin olması gerekir. Test ortamı, hava sirkülasyonuna izin vermeyen ve test boyunca sıcaklığı değişmeyen (23 ± 2) °C kapalı bir ortamda yapılmalıdır. Ortalama ortam sıcaklığının hesaplanması, teste başlanan ilk sıcaklıkla ısı çiftlerimizin merkez sıcaklıklarının 55K olana kadarki geçen zamanda ölçülen sıcaklıklarının tamamının toplanması ve bunların aritmetik ortalaması hesaplanarak bulunmaktadır. Oda sıcaklığının ölçülmesi; pişirici kavitesinin merkezi ile aynı yükseklikte ve fırının sağ veya sol köşesinden 0,5 m ilerisindeki bir noktadan olacak şekilde yapılmalıdır. Oda sıcaklığı ölçümü kendisi de dahil herhangi bir parametreden etkilenmeyecek biçimde aşağıdaki Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi olmalıdır.



Şekil 2.2. Test odası sıcaklığının ölçümü için yerleştirilen termoelemanın konumu

Deney tuğlasının ölçüm işlemleri, hassasiyetleri ± 1.5 K olan ve daha önceden tuğla merkezine açılmış olan deliklere yerleştirilen 2 adet termoeleman yardımı ile yapılmaktadır. Termoelemanlar tuğlaya açılan deliklerin yarısına kadar (32 mm) saplanmaktadır. Böylece tuğlanın merkez sıcaklıklarını en hassas ve doğru biçimde ölçmüş oluruz. Deney boyunca, tuğlanın içerisine yerleştirmiş olduğumuz termoelemanların yerinden çıkmamış olması gerekir. Kullanılan her bir tuğla ile en fazla 20 tekrar yapılabilir. Çünkü, termoelemanlar her bir çevrim de yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılıp deney bitiminde soğutulmaktadır. Bu da zamanla mekanik çözülme yoluyla tuğlanın deformasyonuna neden olmaktadır. Ayrıca tuğla sıcaklığını ölçmek için kullanılan termoelemanlar sürekli takıp çıkarma esnasında delikte genişleme ve ölçüm hassaslığını yitirme sorunuyla karşılaşmaktadır.

Pişiricilerin kavite hesabı; yükseklik, derinlik ve genişlik parametrelerinin çarpılmasıyla bulunur. Yapılan hesaplama sonucu çıkan değer bize kavitenin litre değerini verir ve rakam tam çıkmaz ise en yakın tam sayı değerine yuvarlanır. Şekil 2.3’ de kavite hesabının şematik görünümü gösterilmektedir. Fırında pişirme tepsisi yerine ızgara elemanı bulunuyorsa, ızgara elemanının alanı hesaplanır.



Şekil 2.3. Fırın kullanılabilir hacim hesabı

Yapılan bu tuğla deneyinin amacı; pişirme işlemini simule etmek için kullanılan tuğlanın ısınması için geçen süre ve bu süre tamamlanana kadar enerji sarfiyatını hesaplamaktır. Deneylerde kullanılan tuğla pişen yiyeceği temsil ettiği için hem yiyeceğin ısı değerlerini hem de su içeriğini taklit edebilecek suya doymuş bir tuğla kullanılmalıdır.

2.1.1.2. Ölçüm prosedürü

Tuğla, kullanılmadan önce 175 °C veya daha yüksek sıcaklıkta hacmi 50 lt olan bir fırında, turbo modda üç saat kurutulur. Kurutma işlemi aynı kavite içerisinde maksimum iki adetle sınırlıdır. Termoeleman takılmadan önceki kuru tuğlanın ağırlığı m_k , pişiriciden çıktıktan hemen sonra en geç 5 dakika içinde ölçülmeli ve gram cinsinden not edilmelidir. Kurutulmuş tuğla, serbest soğumaya bırakıldıktan sonra, hacmi tamamen suyla kaplanmış olana kadar 20 °C altında su dolu bir kaba konmalıdır. İçinde tuğla olan su kabı en az 8 saat buzdolabında bekletilmeli ve tuğla merkez sıcaklığı 5 ± 2 °C olana kadar soğutulmalıdır (Her iki termoeleman için).



Şekil 2.4. Deney tuğlalarının soğutulması

Soğumaya bırakılan ve bu süre esnasında suya doygunluğa erişen tuğla, Şekil 2.4’ de görüldüğü şekilde, kaptan çıkarıldıktan sonra bir dakika boyunca fazla suyu damlatılmalıdır. Böylece tuğla tarafından emilen su miktarı hataya sebebiyet vermeden Şekil 2.5’ deki gibi elektronik tartı ile ölçülür. (Termoeleman ağırlıkları da göz önünde bulundurulmalıdır).



Şekil 2.5. Soğutucudan çıkan tuğlanın nemli ağırlığının tartılması

Tuğlaların merkez sıcaklıkları hesaplanarak kaydedilir (Her iki termoeleman da (5 ± 2) °C okumalıdır). Tuğlanın emmiş olduğu su;

$$\Delta_m = m_l - m_k \quad (2.1)$$

Deneye hazır hale gelen tuğla, fırın oda sıcaklığında iken, üzerinde bulunan termoelemanlarla (termoelemanlar tuğlanın üstünde olacak şekilde), faydalı kavitenin tam ortasına yerleştirilmek suretiyle konulur. Kavite içerisindeki ızgara, tuğla merkezi ve fırın merkezine olabildiğince yakın bir konumda olacak şekilde raf destek seviyesine yerleştirilir. Dikdörtgen şekle sahip tuğlanın uzun kısmı fırın önüne paralel olmalıdır.



Şekil 2.6. Tuğlanın kaviteye yerleştirilmesi

Ölçüm işlemleri, tuğla soğutucudan çıktıktan en geç 3 dakika içerisinde fırının çalıştırılması ile başlatılır. Termostat pozisyonu, ortalama fırın içi sıcaklığı Tablo 2.1’de tanımlandığı gibi ΔT olacak şekilde ayarlanmalıdır. ΔT , fırının iç sıcaklığı ve ortalama ortam sıcaklığı arasındaki farktır. Pişirici daha önceden belirlenen moda ayarlanarak deney başlatılır. Deney başlangıcında not edilmesi gereken bazı parametreler şöyledir; voltaj değeri, çekilen güç miktarı, fırın içi sıcaklığı ve tuğla merkez sıcaklığıdır. 5 ± 2 °C sıcaklığında fırın içindeki tuğlanın iç sıcaklığındaki artış 55 K’ ya ulaştığında (her iki delik sıcaklığındaki artışın 55 K olması gereklidir.) tuğla fırından çıkarılır ve tuğlanın çıkarıldığı süre not edilir. En son olarak da fırından çıkarılan tuğlanın kütlesi ölçüler ve oda sıcaklığında yavaşça soğumaya bırakılır.

Tablo 2.1. Ortalama fırın içi sıcaklığı hesaplama

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

Tuğlayı pişiriciden çıkarttıktan sonra cihaz hemen kapatılmaz ve aynı sıcaklık ayarında bir müddet daha çalıştırılarak kararlı hale gelmesi beklenir. Kararlı koşul hesabı ise, kavite merkezine yerleştirilmiş termoelemanlar vasıtası ile sıcaklığın en yüksek ve en düşük değerleri kaydedilir ve bunların aritmetik ortalaması fırın merkez sıcaklığı olarak kaydedilir. Kararlı koşulun oluşması için, termostatin beş çevrim tamamlaması gerekmektedir. Bir çevrim, termostatin devreye girmesi ile çalışma ve devreye girmesi ile kapanması arasında geçen süredir. Fırın sıcaklığının ölçülmesi, kavite içerisinde bir şey yokken merkeze yerleştirilen termoeleman ile ölçülür. Bu termoeleman, ızgaradan 30 mm uzaktadır.

Deney süresi boyunca nominal voltaj ve frekans toleransı $\pm \%1$ olmalıdır. Deneyler yapıldığı sırada enerji sarfiyatı, süre, tuğla merkez sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı ölçülür. Deney sırasında kaydedilen parametreler şu şekildedir:

- Fırın cinsi ve rezistans özellikleri
- Fırın kavitesi
- Pişirme tepsisinin veya ızgaranın kullanılabilir alanı
- Voltaj değeri
- Test edilen fonksiyonlar ve çeşitleri
- Fırının ön ısıtması için tüketilen enerji
- Ön ısıtma süresi
- Enerji sarfiyatı
- Zaman
- Tuğlanın emdiği su miktarı

Hesaplamalar sonucunda bulunan enerji sarfıyatı, üretici firmalar tarafından beyan edilen değerlerin en fazla $\%10 + 40 \text{ Wh}$ değerinde olmalıdır. Fırın kavite değeri $\pm 5 \%$ ’den fazla değişkenlik göstermemelidir. Fırının ön ısıtma süresi ise, belirtilen değerin $\%15$ fazlasından daha fazla olmamalıdır. Belirtilen bu değerler aşıldığında ürünün beyan edilen değerlerde olmadığı anlaşılmakta ve deneylerin piyasadan rastgele seçilen 3 farklı fırınla tekrar denemesi gerekmektedir.

2.2. Deney laboratuvarı ve kullanılan ekipmanlar

Deneyisel çalışmalar için Kayseri’deki Kumtel fabrikası tarafından üretilen Luxell marka solo fırın kullanılmıştır.

Fırın kullanılabilir hacmi: 60 lt.

Fırın ölçüleri: 50 x 60 cm

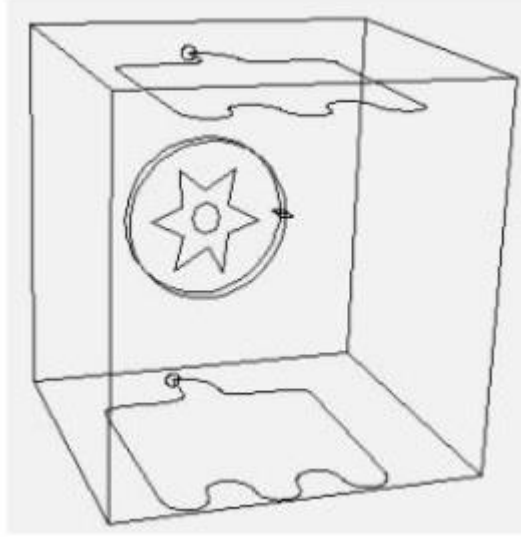
Fırın gücü: 2400 watt

Enerji tüketimini azaltmak için geliştirilen vakum katmanlı fırın ön camını takmadan önce, seçilen fırın modelinin mevcut enerji tüketim değerleri incelenmiştir ve fırına ait enerji tüketimi 1068 Wh ile “C SINIFI” olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.7. Fırın sıcaklığının termik elemanlarla ölçülmesi

Şekil 2.7’ de görseli bulunan fırın, her biri 1200 W gücünde olan ısıtıcılar kavitenin alt ve üst tarafında konumlanmıştır (statik mod). Ayrıca fırın pişirme bölgesinin arkasında bir adet de 2100 W gücünde turbo ısıtıcı bulunmaktadır (turbo mod).



Şekil 2.8. Kavite ve rezistanslar

Fırının kapağı ile şasisi arasındaki ısı kaçışlarını önlemek amacıyla “O” conta kullanılmıştır. Şekil 2.8’ de gösterilen fırının kazan şasisindeki ısı kayıplarını önlemek için ise, şasi 20 mm kalınlığında iğneli cam yünü ile kaplanmıştır. Cam yünü ile kaplama kapak kısmı hariç kazan şasisini üst, alt, her iki yan ve arka taraf olmak üzere yalıtılmaktadır.

Deney esnasında fırının ve tuğlanın sıcaklıklarını belirlemek için 4 adet ısı çifti kullanılmıştır. Bu ısı çiftleri ve tipleri şöyledir:

- Tuğla içi sıcaklık değişimini ölçmek için 2 adet J tipi,
- Fırın merkezindeki sıcaklık değişimini ölçmek için 1 adet J tipi,
- Dış ortam sıcaklığını ölçmek için 1 adet J tipi,

Fırının deney esnasında, hattan kaynaklı enerji dalgalanmalarından etkilenmemesi için ve sürekli sabit frekansta enerji çekmesi için Şekil 2.9’ da gösterilen regülatör kullanılmıştır. Deneyin standartlara uygun olarak yapılması için 230 V ve 50 Hz akım alınması gerekmektedir.



Şekil 2.9. Elektrik ve frekans regülatörü

Ayrıca fırın ile enerji kaynağı arasına da fırının çektiği güç, akım ve voltaj değerlerini ölçmek için Şekil 2.10’ da gösterilen elektrik saati bağlanmıştır. Bu saat harcanan toplam elektrik enerjisini zamana bağlı olarak kaydetmektedir. Bu düzenekler yardımıyla, fırın içerisine yerleştirilen tuğlanın merkez sıcaklığı 55 K arttığı andaki enerji tüketim değeri kaydedilerek fırın enerji sınıfı belirlenmektedir.



Şekil 2.10. Elektrik saati ve kronometre

2.3. Deney Düzeneğinin Oluşturulması

Deney düzeneği oluşturulurken, fırın ön camının ve bu camla ortam arasındaki ısı transferiyle kaybolan ısıнын enerji tüketiminde ve yemek pişirme kalitesine olan etkilerini incelemek amaçlandığı için mevcut olarak kullanılan deney düzeneği aynen korunarak kullanılmıştır. Ancak fırın kapak düzeneği, oluşturulan prototip ile tam uyumlu olmayacağı için fırın kapak mekanizması tamamen iptal edilmiştir ve bunun yerine deneyde kullanılacak camlar direkt olarak akıllı vida marifetiyle şasiye bağlanmıştır. Böylelikle şasi ile camlar arasındaki ısı kayıpları da önlenmiş olmaktadır.

Deneyler gerçekleştirilirken deneylerde belirsizlik oluşturabilecek parametre sayısının fazla olması, cam deneylerinin kontrollü ve hızlı bir biçimde yapılması ve yapılan bu deneylerin yüksek doğrulukla değerlendirilmesi amacıyla düzenek sabit kalarak sadece camların değişmesine izin veren bir kapak deney düzeneği oluşturulmuştur. Böylelikle bütün parametreler sabit kalacak ve sadece camların enerji tüketimine ve pişirmeye olan etkisi net olarak görülebilecektir.

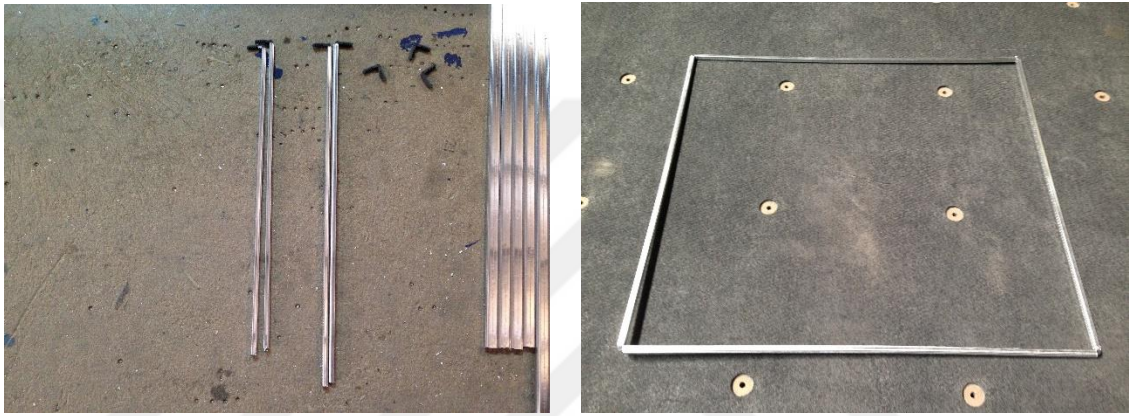
Oluşturulan prototipte fırın üreticilerinin mevcut olarak kullandığı yüksek sıcaklığa dayanıklı Şekil 2.11’ de gösterilen temperli camlar tercih edilmiştir.



Şekil 2.11. Yüksek sıcaklığa dayanıklı temperli camlar

400 °C' ye kadar dayanıklı 2 adet temperli cam, mevcut fırında kullanılan ölçülerdedir (4 x 433 x 470 mm). Bu camlar, vakum katmanının ön ve arka kısmı olacak şekilde daha sonra birleştirilecektir.

Camlar, aralarında 6 mm, 9 mm, 12 mm, 15 mm, 18 mm ve 21 mm boşluk olacak şekilde, içerisi boş alüminyum profillerden sırasıyla yukarıda belirtilen kalınlıklarda ve camın gerçek ölçüsüne göre her köşesinden 5'er mm daha kısa olacak şekilde kesilerek, dikdörtgen biçiminde birleştirilmiştir.



Şekil 2.12. Camları birleştirmek için kullanılan içi boş alüminyum profil

Yapılan bu alüminyum çerçeve, birleştirilmeden önce arasındaki boşluğa 'Vitrinol'adı verilen yüksek nem alma kapasitesine sahip, yuvarlak taneli alüminyum silikat kristallerinden oluşan malzeme ile doldurulmuştur. Bu sayede çift cam arasında buhar oluşumu engellenmiş ve fırın içerisini net olarak gözlemleyebilmemiz kolaylaşmıştır.



Şekil 2.13. Buhar oluşumunu engelleyen 'Vitrinol'maddesi

Hazırlanan alüminyum çerçeve, iki camın arasında kalacak şekilde ve üzerlerine hamur conta sürülerek birleştirilmiştir.



Şekil 2.14. Alüminyum çerçevenin temperli cam üzerine yerleştirilmesi

Aralarına hamur conta sürülerek birleştirilen alüminyum çerçeve daha sonra dikey pres makinasına girer. Burada camlar preslenerek hamur contanın eşit bir şekilde yayılarak hava kaçağını önlemesi sağlanmaktadır. Bu prosesi pres makinası olmadan el kuvvetiyle yapmak da mümkündür.

Camlar ile alüminyum çerçeve hamur conta ile birleştirilmiş olsa da, yüksek vakum ortamına dayanamayıp hava kaırması mümkün olabilir. Bu sebeple bırakmış olduğumuz 5mm' lik boşluk 300 °C' ye dayanıklı termal silikon ile doldurulmuştur.



Şekil 2.15. 300 °C' ye dayanıklı termal silikon

Oluşturulan prototipin, vakum katmanı (iki cam arasındaki havanın alınması) oluşturma işlemi yapılmadan önceki son hali aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Oluşturulan ‘Prototip’ (Vakumlanmamış)

Vakum katmanı oluşturma işlemi, öncelikle iki cam arasındaki alüminyum profilin önceden oluşturduğumuz delme aparatı ve hava çekme için kullanacağımız uca uygun olarak delerek başlamaktadır.

Delme aparatı aşağıda belirtilen malzemelerle oluşturulmuştur:

- 1 adet çift taraflı sibob (hava girişine olanak verip, çıkışına engel olan)
- 1 adet yeterli uzunlukta ve 1.5 cm genişliğinde çelik içi boş boru
- Yeterli miktarda sızdırmazlık sağlayan teflon
- Yeterli uzunlukta serum hortumu

Delinen alüminyum profile hazırlamış olduğumuz aparat takılmak suretiyle iki camın arasındaki havayı bir vakum pompası yardımıyla emerek arasında hiç hava kalmaması sağlanacaktır. Bu sayede havasız ortamda taşınım engellenmiş olacak ve enerji dışı kaçmadığı için verimli kullanılmış olacaktır.



Şekil 2.17. Vakumlama işlemi için oluşturulan aparat

Vakum pompası olarak enjektör kullanılmıştır. Böylelikle istenilen hassaslıkta basınç ayarı yapılabilmekte ve iç basıncın çok düşük seviyelere gelerek camların birbiri üzerine binmesi (yapışması) önlenmektedir.

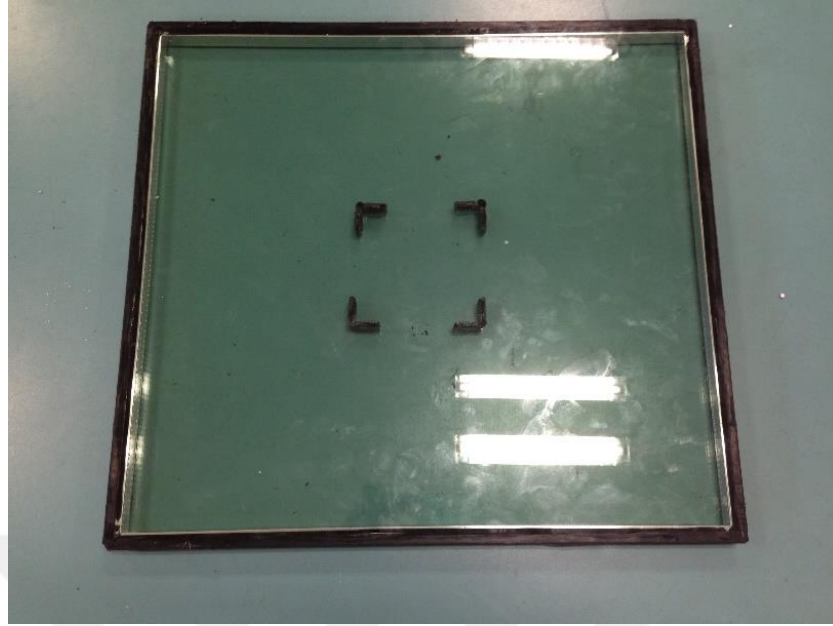


Şekil 2.18. Vakum pompası sistemi

Deneylerde kullanılmak üzere 12 adet prototip cam üretilmiştir. Bunlar, iki camın arasındaki mesafe ve basınç miktarlarına göre sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- Prototip 1 (6 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 2 (9 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 3 (12 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 4 (15 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 5 (18 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 6 (21 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 7 (6 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
- Prototip 8 (9 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
- Prototip 9 (12 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
- Prototip 10 (15 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
- Prototip 11 (18 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
- Prototip 12 (21 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)

Üretilen prototipler 7,8,9,10,11,12. Prototip hariç, çift cam arasında hiçbir ara eleman olmadan üretilmiştir. Prototip 7,8,9,10,11,12' de iki cam arasına, ekstra 4 adet sıcaklığa dayanıklı termal malzemeler konulmuştur (Şekil 2.19). Bu prototiplerin iç basıncı çok düşük olduğu için camlar birbirine yapışma eğilimi göstermektedir. Araya konulan bu malzeme ile camların birbirine yapışması engellenmiş ve daha sağlıklı deney verilerine ulaşmak amaçlanmıştır.



Şekil 2.19. Çok düşük iç basınca sahip ‘Prototip 7’ (10^{-5} mbar)

Düşük iç basınca sahip; Prototip 1, Prototip 2, Prototip 3, Prototip 4, Prototip 5, Prototip 6 ‘nın basıncı 10^{-2} mbar’ dır. Bu basıncı elde etmek için 50 ml’ lik şırınga ile 16 sefer hava alınmıştır ($16 \times 50 \text{ ml} = 800 \text{ ml}$). Çok düşük iç basınca sahip Prototip 7, Prototip 8, Prototip 9, Prototip 10, Prototip 11, Prototip 12’ nin basıncı ise 10^{-5} mbar’ dır. Bu basıncı elde etmek için 50 ml’ lik şırınga ile 20 sefer hava alınmıştır ($20 \times 50 \text{ ml} = 1000 \text{ ml}$).

2.4. Deney Sonuçları

CENELEC tarafından yayınlanan EN50304 numaralı standart uyarınca yapılan tuğla testleri 3 farklı kategoride yapılmıştır:

- Fırının mevcut durumunun görülmesi
 - Mevcut cam (6 mm araboşluklu, 1 atm iç basınç)
- Düşük vakum katmanlı durum (10^{-2} mbar)
 - Prototip 1 (6 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
 - Prototip 2 (9 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)

- Prototip 3 (12 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 4 (15 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 5 (18 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Prototip 6 (21 mm araboşluklu, düşük iç basınç, 10^{-2} mbar)
- Yüksek vakum katmanlı durum (10^{-5} mbar)
 - Prototip 7 (6 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
 - Prototip 8 (9 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
 - Prototip 9 (12 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
 - Prototip 10 (15 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
 - Prototip 11 (18 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)
 - Prototip 12 (21 mm araboşluklu, çok düşük iç basınç, 10^{-5} mbar)

Deneyler aynı model fırın üzerinde ve belirsizlik oluşturan parametreler en aza indirilecek şekilde yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda; vakum katmanın genişliğinin (camlar arası mesafenin) ve vakum katmanı basıncının fırın genel ısı performansına etkisi açık bir şekilde gözlemlenmiştir.

Mevcut durumda; 60 lt kavite hacmine sahip çift camlı kapak üzerinde yapılan deneylerde, enerji tüketiminin ve kapak dış yüzey sıcaklıklarının düşük performansta seyrettiği gözlemlenmiştir. EN 50304 standartlarına uygun olarak yapılan deney sonuçlarına göre tüketilen enerji miktarı 1068 Wh olarak hesaplanmıştır. Bu da ev tipi fırınların Enerji verimliliği Endeksi (EEI cavity) aşağıdaki formüller kullanılarak EEI değerine çevrilmiştir.

$$EEI_{cavity} = \frac{EC_{electric\ cavity}}{SEC_{electric\ cavity}} \times 100 \quad (2.2)$$

$$SEC_{electric\ cavity} = 0,0042 \times V + 0,55 \text{ (in kWh)} \quad (2.3)$$

EC, Ev tipi fırının Standard yük altında bir çevrim boyunca çalışırken tükettiği enerji değeri,

- Standard yükü ısıtma süresi
- Standard yükün işlem öncesi ve sonrası ağırlık vb. özellikleri
- Standard yük altında enerji tüketimi parametre olarak yer almaktadır.

SEC, Ev tipi fırının Standard yük altında bir çevrim boyunca çalışırken tükettiği Standard enerji değeri,

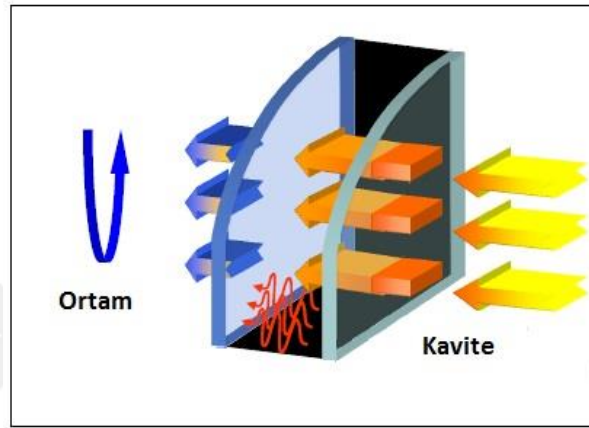
- Fırının Hacim değeri pozitif çarpan parametresi olarak yer almaktadır.

Bu formüllere göre fırının mevcut hali 134 EEI olarak hesaplanmıştır. Bu da Enerji Verimliliği Endeksine göre C Sınıfına tekabül etmektedir. Tablo 2.2' de Şekil verimlilik sınıfı / şekil verimlilik endeksi tablosu yer almaktadır.

Tablo 2.2. Enerji Verimlilik Sınıfı / Enerji Verimlilik Endeksi Tablosu

Enerji Verimlilik Sınıfı	Enerji Verimlilik Endeksi
A+++ (en verimli)	$EEI < 45$
A++	$45 \leq EEI < 62$
A+	$62 \leq EEI < 82$
A	$82 \leq EEI < 107$
B	$107 \leq EEI < 132$
C	$132 \leq EEI < 159$
D (En az verimli)	$EEI \geq 159$

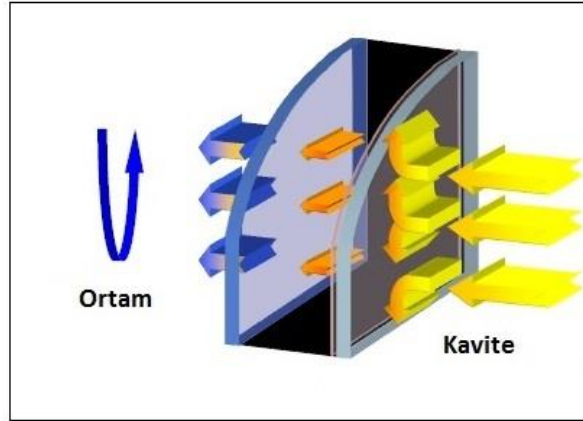
Bunun başlıca sebepleri olarak; ısı taşınımı açısından ön kapaktaki camlar arasındaki havanın serbest ve doğal taşınımıyla hareketi sonucu türbülansa girmesi ve iletimsel ısıtım açısından cam-hava-cam temasının fazlalığından dolayı ısı transferinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 2.20 çift cam arasında serbest halde bulunan havanın ısı transfer mekanizmasıdır.



Şekil 2.20. Mevcut durumdaki fırın camında gerçekleşen ısı transferi

Vakum katmana sahip deney düzenekleri incelendiğinde ise en iyi sonucun 15 mm araboşluklu düşük iç basınca sahip (10^{-2} mbar) Prototip 4' de olduğu gözlemlenmiştir. EN 50304 standartlarına uygun olarak yapılan deney sonuçlarına göre tüketilen enerji miktarı 934 Wh olarak hesaplanmış ve bu değer bahsi geçen formüller kullanılarak 116 EEI olarak hesaplanmıştır. Bu da Enerji Verimliliği Endeksine göre B Sınıfına tekabül etmektedir.

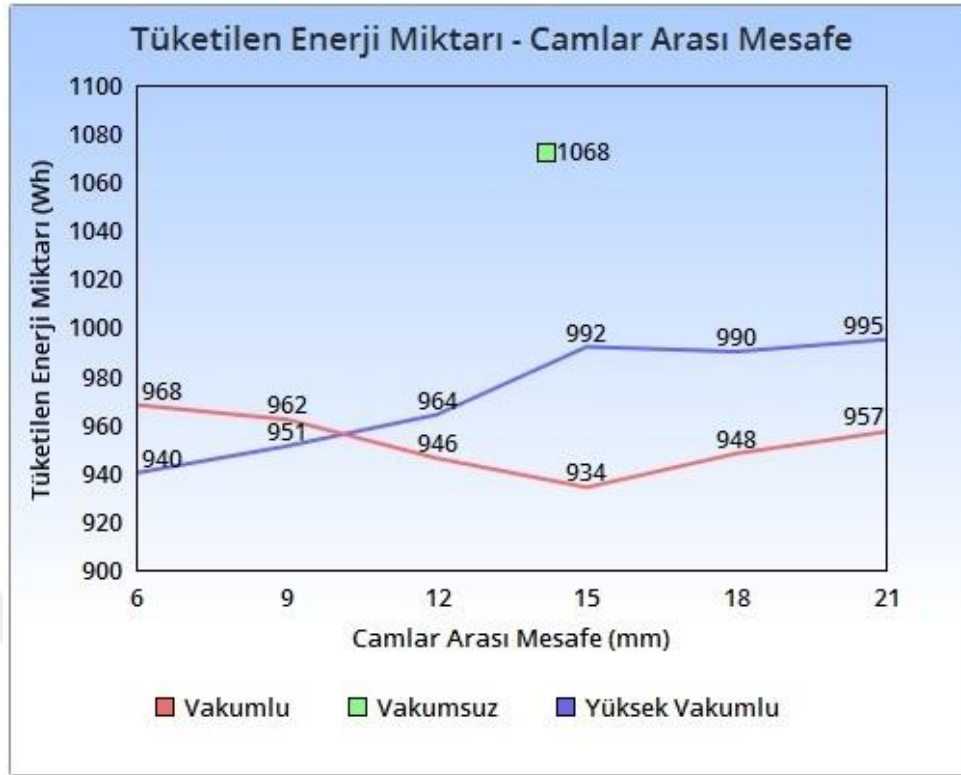
Bunun başlıca sebepleri olarak, deney düzeneğinde enerji düşürme ve tasarruf sağlama işlemi; iki tarafı farklı ısı değerlerine sahip ortamlarda bulunan camlar arasındaki hava (birbirleriyle temas halindeki hava molekülleri) olmadığı için, ısıtımın kondüksiyonu (iletimi) engellenerek sıcak ortamın soğuması önlenmiş yani ısıtımın istenilen ortamda hapsolması sağlanmıştır. Bu sayede iletimsel ısıtım açısından cam-hava-cam temasının düşük olması ve buna doğru orantılı olarak ısı transferinin azalması sağlanmıştır. Şekil 2.21' de çift cam arasında vakum katmanı oluşturulan düzeneğin ısı transfer mekanizması görülmektedir.



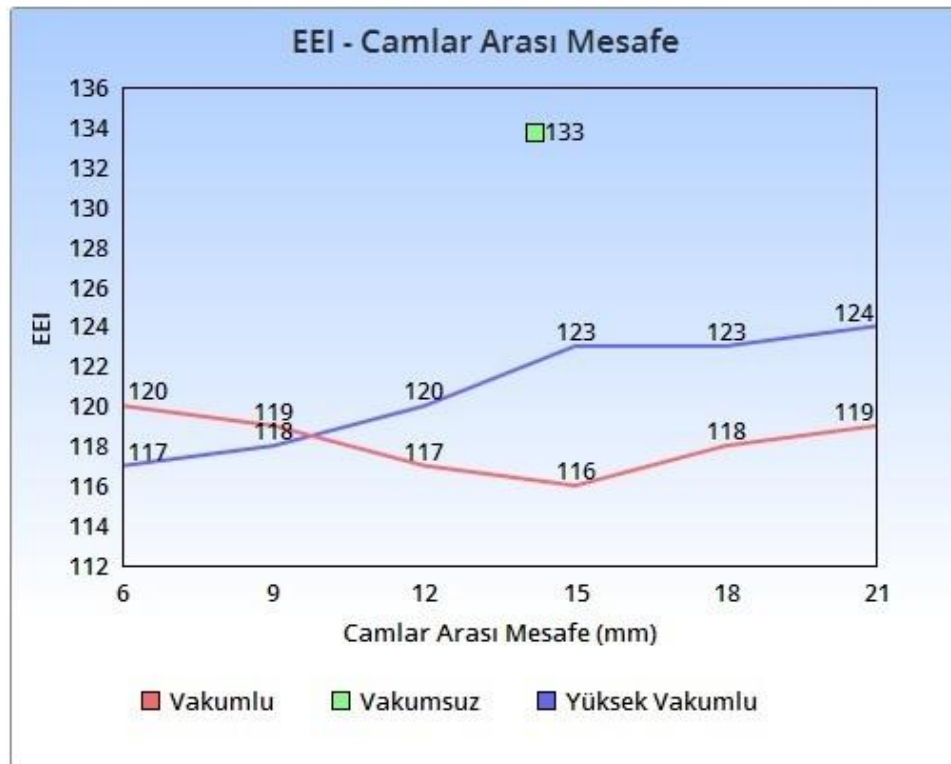
Şekil 2.21. Vakum katmanlı fırın camında gerçekleşen ısı transferi

Deney sonuçlarına göre fırın ısı performansına etki eden parametreler ve birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren tablolar aşağıdaki gibidir.

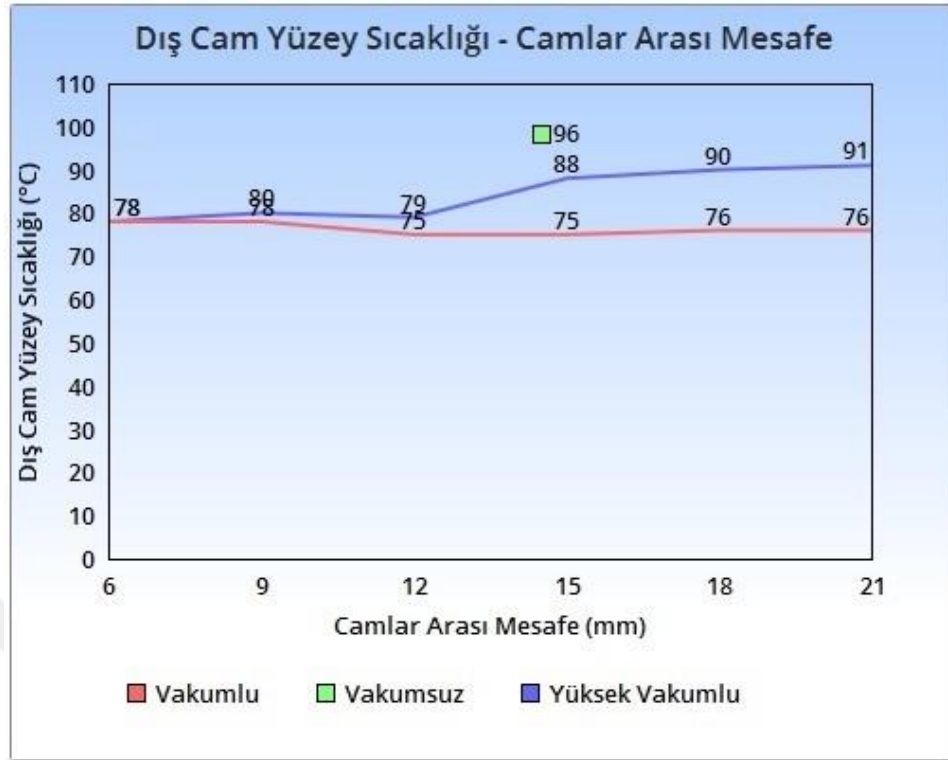
- Tüketilen enerji miktarı (Wh)
- EEI Değeri (Enerji Sınıfı)
- Kapak dış camının yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
- Fırın çalışma süresi (dk)



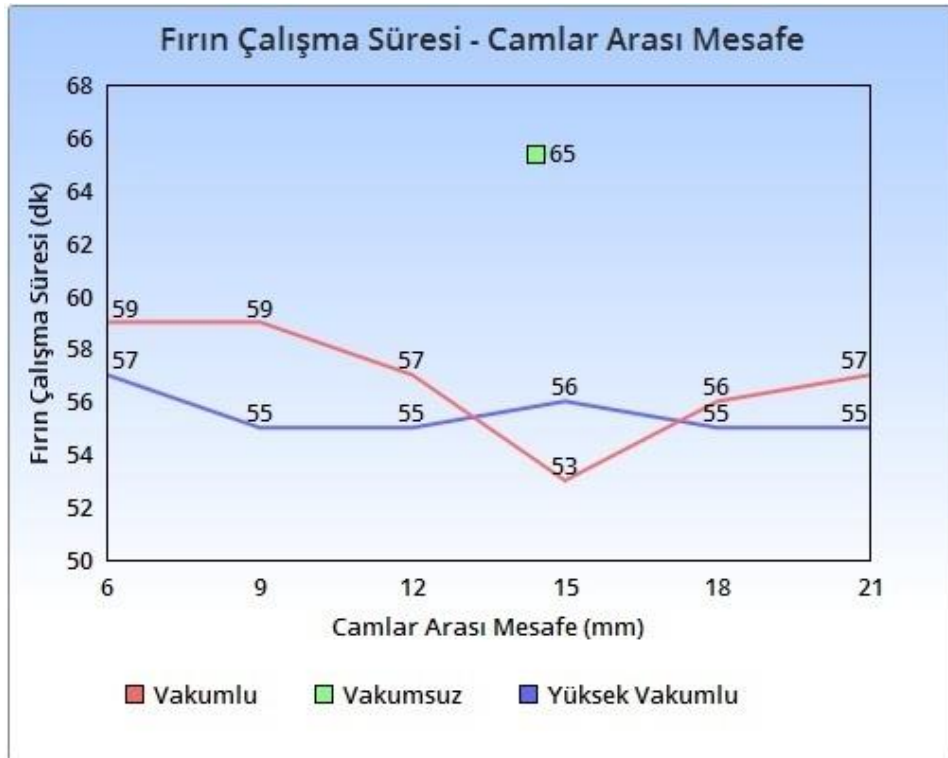
Şekil 2.22. Tüketilen Enerji Miktarı – Camlar Arası Mesafe



Şekil 2.23. EEl – Camlar Arası Mesafe



Şekil 2.24. Dış Cam Yüzey Sıcaklığı – Camlar Arası Mesafe



Şekil 2.25. Fırın Çalışma Süresi – Camlar Arası Mesafe

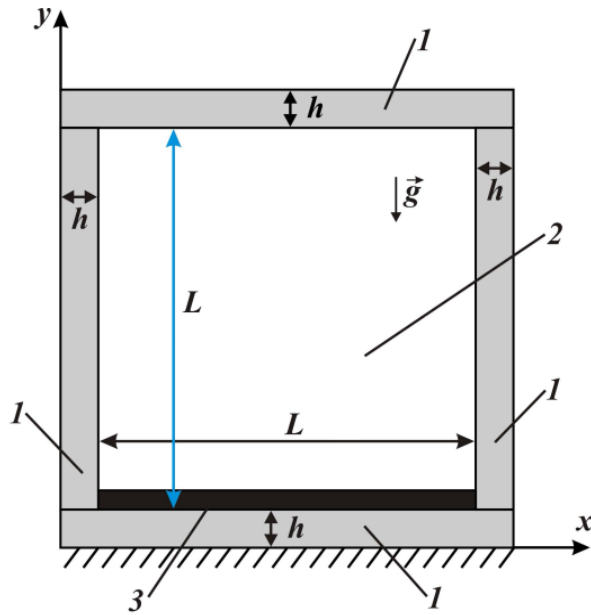
3. BÖLÜM

MATEMATİKSEL MODEL

3.1. Ön Kapak Camında ve Kavitede Meydana Gelen Isı Kayıpları

Fırın kapak camında meydana gelen ısı kayıpları; fırının kavite sıcaklığı ile fırının bulunduğu ortam sıcaklığı arasındaki fark $\Delta T = 155 \text{ K}$ olup sistem tamamen denge konumuna geldikten sonraki durum için hesaplanmıştır. Fırının fiziksel modeli aşağıda görülmektedir. Burada kavite içerisinde gerçekleşen ısı olaylar net olarak gösterilmektedir. Şemadaki rakamların açıklamaları şu şekildedir:

1. Katı yüzeyler
2. Serbest hava molekülleri
3. Isıtıcı



Şekil 3.1. Kavite içerisinde gerçekleşen ısı olaylar

Kavite duvarlarında gerçekleşen ısı kayıplarını hesaplamak için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Fırının statik konumda gerçekleşen doğal taşınım durumunda olduğu,
- Kavitenin duvarlarının (alt, üst, yanlar ve arka duvar) ve yalıtım malzemesinin homojen olduğu,

Camlarda gerçekleşen ısı kayıpları ise:

İki cam arasındaki hava boşluğu, tek taraftan ısıtılan dar boşluklarda gerçekleşen doğal taşınım olarak kabul edilmiş ve camlar arası ışıyım ilişkisi paralel levha formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Kavite yüzeylerinin sıcaklık değerlerinin ve ısı taşınım katsayılarının belirlenmesi için gerekli olan formüller çıkartıldıktan sonra, fırın duvarlarında meydana gelen toplam ısı geçiş katsayıları ve kayıp ısı miktarları hesaplanmıştır [39].

$$K = 1 / \left[\frac{l_{zac}}{k_{zac}} + \frac{l_{emaye}}{k_{emaye}} + \frac{l_{camyünü}}{k_{camyünü}} + \frac{1}{h_{disortam}} \right] \quad (3.1)$$

Kavitenin çevresi; yan duvarlar, alt, üst ve arka duvarlarda gerçekleşen ısı kayıpları ise aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır.

$$Q_{du\ var} = K \cdot A_{du\ var} \cdot (T_{du\ var} - T_{hava}) \quad (3.2)$$

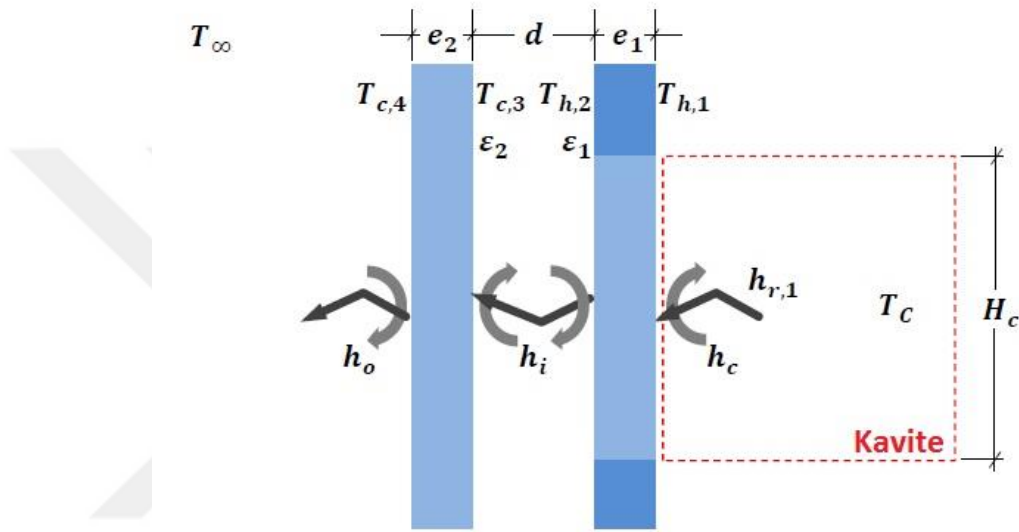
İki camlı fırın ön kapağı için prototiplere göre 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm, 21mm düşük iç basınçlı ve 15mm çok düşük iç basınçlı kapak kontrol hacimlerine göre ısı dengeler yazılmıştır.

Kavitede belirtilen sıcaklıklar, fırının standartlara uygun şekilde ilgili yerlere ısı çiftleri yerleştirilerek ve bu yerlerdeki sıcaklıklar ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu sıcaklık ölçümleri daha sonra karşılaştırılmak üzere kaydedilmiştir.

Yapılan deneylerde, camın kalınlığı boyunca sıcaklık değişimi; camın iç ve dış ölçümlerine göre düşük farka sahip olması nedeniyle sabit kabul edilmiştir.

3.1.1. Ön kapak camında meydana gelen ısı taşınım katsayılarının hesaplanması

Çift cama sahip fırın ön kapağındaki ısı akışı şekildeki gibidir.



Şekil 3.2. Çift camlı fırın ön camında gerçekleşen ısı transferi

Cam yüzeyindeki enerji dengesi aşağıdaki gibidir.

$$Q_{ışınım(kavite-1)} + Q_{taşınım(kavite-1)} = Q_{ışınım(1-2)} + Q_{taşınım(1-2)} \quad (3.3)$$

Fırının statik modda çalıştığı konumda, cam yüzeyinden doğal taşınım durumuna göre ısı taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [39].

$$q_{taşınım(kavite-1)} = h_{kavite} \times (T_{kavite} - T_1) \quad (3.4)$$

Kavite ile kazan duvarlarının sıcaklıkları aynı kabul edilmiştir. Buna göre kavite ile iç cam arasındaki ısıtım olayı şu şekildedir [37];

$$q_{ışınım(kavite-1)} = \epsilon_1 \times \sigma \times (T_{kavite}^4 - T_1^4) \quad (3.5)$$

Hesaplanan ısı taşınım katsayısından faydalananarak genel ısı taşınım denklemi ile iç camdan camlar arası boşluğa geçen ısı miktarı hesaplanmaktadır.

$$q_{taşınım(1-2)} = h_2 \times (T_1 - T_2) \quad (3.6)$$

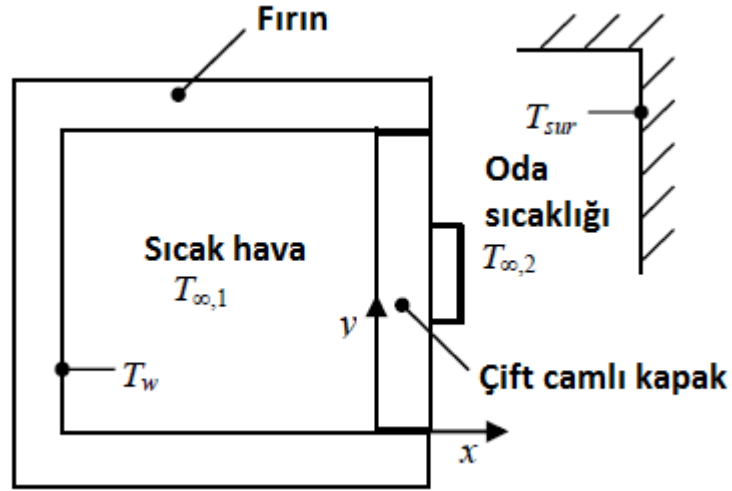
Buradaki ısıtım ilişkisi, camlar arası paralel levha formülü ile hesaplanmıştır. Buradaki kabulümüz, camlar sadece birbirlerini görmektedir.

$$q_{ışınım(1-2)} = \frac{\sigma \times (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (3.7)$$

Bu hesaplamaların sonunda dış cam sıcaklığı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$q_{ışınım(1-2)} = \frac{\sigma \times (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (3.8)$$

Churchill ve Chu [41], fırın ön kapak camının iç yüzeyinde gerçekleşen taşınım ile ısı transferi için belirlenen ortalama Nusselt (Nu) sayısına göre çalışmalarını yürütmüşlerdir.



Şekil 3.3. Çift camlı kapakta gerçekleşen taşınımli ısı transferi

Bu çalışmalarda kullanılan semboller aşağıdaki gibidir [38]:

- $Pr = \nu/\alpha_2$ - Prandtl sayısı
- ν – kinematik viskozite
- $Ra = g_y \beta \Delta T L^3 / \nu \alpha_2$ – Rayleigh sayısı
- σ – Stefan-Boltzmann sabiti
- $\lambda_{1,2} = \lambda_1 / \lambda_2$ – termal iletkenlik oranı
- λ_1 – katı malzemelerin termal iletkenliği
- λ_2 – havanın termal iletkenliği
- $\alpha_{1,2} = \alpha_1 / \alpha_2$ – ısı yayılma oranı
- α_1 – katı malzemelerin ısı yayılması
- α_2 – havanın ısı yayılması
- $Sk = \sigma L (\Delta T)^3 / \lambda_2$ – Stark sayısı

- $\zeta = T^e / T_{hs}$ – sıcaklık parametresi
- $Q_{rad,k}$ – çeperdeki kth elemanın boyutsuz net radiatif ısı akısı
- F_{k-i} – çeperdeki kth elemanından ith elemanına görüş faktörü
- R_k – çeperdeki kth elemanın boyutsuz radyositesi
- ε' – yüzey absorbe yeteneği

$$\overline{Nu}_y = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_y^{1/6}}{\left[1 + (0.492 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (3.9)$$

Bu formülde (Ra), film sıcaklığındaki Rayleigh sayısını ifade ederken; (Pr) ise Prandtl sayısını ifade etmektedir. Film sıcaklığı ise:

$$T_f = ((T_s)_{ave} + T_{\infty}) / 2 \quad (3.10)$$

Formülü ile hesaplanır. Burada $(T_s)_{ave}$ cam panel üzerindeki ortalama sıcaklığı, T_{∞} ise ortam sıcaklığıdır. Ortalama konveksiyonel ısı transfer katsayıları;

$$\bar{h}_y = \overline{Nu}_y \frac{k_f}{y} \quad (3.11)$$

formülünden elde edilmiştir. K_f ise bu formülde havanın ısı iletken katsayısıdır. Yerel konveksiyonel ısı transfer katsayıları ise aşağıdaki formülden elde edilebilir.

$$\bar{h}_{y+dy} = \frac{1}{y+dy} \left(\int_0^y h_y dy + \int_y^{y+dy} h_{dy} dy \right) \quad (3.12)$$

$$(y+dy)\bar{h}_{y+dy} = y \left(\frac{1}{y} \int_0^y h_y dy \right) + dy \left(\frac{1}{dy} \int_y^{y+dy} h_{dy} dy \right) \quad (3.13)$$

$$(y+dy)\bar{h}_{y+dy} = y\bar{h}_y + dy\bar{h}_{dy} \quad (3.14)$$

$$\bar{h}_{dy} = \frac{(y+dy)\bar{h}_{y+dy} - y\bar{h}_y}{dy} \quad (3.15)$$

Newton'un soğuma yasası, cam panel yüzeyi üzerindeki konveksiyonel ısı transfer oranlarını belirlemek için kullanılmıştır. 'w' cam panel genişliğini göstermek üzere, cam panel yüzeylerindeki ısı transfer oranları;

$$q_{dy} = \bar{h}_{dy} w dy (T_{\infty} - T_s) \quad (3.16)$$

Formülü ile hesaplanır.

Fırın yüzeyinden cam panel yüzeyine ve cam panel yüzeyinden kavite alanına, yayınımla ısı transferi gerçekleşmektedir. Lineer olmayan yayınımlı ısı transfer denklemleri lineer hale getirilmiştir. Böylece yayınımla ısı transfer denklemleri;

$$q_{r,w} = h_{r,1} A \left(T_w - T_{s,1}^{(k)} \right) \quad (3.17)$$

Ve

$$q_{r,sur} = h_{r,2} A \left(T_{s,2}^{(k)} - T_{sur} \right) \quad (3.18)$$

Formülleriyle hesaplanır. Bu dönüştürülmüş lineer formüllerde hr1, fırın çeper yüzeyi ile cam panel yüzeyi arasındaki ısı yayılım transfer katsayısını, hr2 ise cam panel

yüzeyi ile kavite alanı arasındaki yayınım ısı transfer katsayısını ifade eder. Yayınım ısı transfer katsayıları;

$$h_{r,1} = \varepsilon_1 \sigma \left(T_w + T_{s,1}^{(k-1)} \right) + \left(T_w^2 + T_{s,1}^{(k-1)2} \right) \quad (3.19)$$

Ve

$$h_{r,2} = \varepsilon_2 \sigma \left(T_{sur} + T_{s,2}^{(k-1)} \right) + \left(T_{sur}^2 + T_{s,2}^{(k-1)2} \right) \quad (3.20)$$

Formülleriyle hesaplanır. Bu formüllerde ise ε , absorbe etme yeteneğini; σ ise Stefan-Boltzmann sabitini ifade eder.

Cam panel yüzeyinin sağ ve sol tarafını çevreleyen oda havası ve sıcak havanın bütün özellikleri, polinomal eğri uydurma metodu kullanılarak NIST (National Institute of Standard and Technology)'den elde edilmiştir.

$$x = a_1 + a_2 T_f + a_3 T_f^2 + \dots + a_n T_f^{n-1} \quad (3.21)$$

Burada da 'x' hava özelliği, n. polinomal eğri uydurma katsayısı; T_f ise havanın film sıcaklığıdır. Eğri uydurmada yapılırken x üzerinde çıkan hatalar %0,1' den azdır. Kinematik viskozite, termal diffüzyon, termal iletkenlik ve Prandtl sayısı için n=5, yoğunluk için ise n=6 alınır.

Volümetrik ısı genleşme katsayısı aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (3.22)$$

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(a_2 + 2a_3 T_f + 3a_4 T_f^2 + \dots + (n-1)a_n T_f^{n-2} \right)_p \quad (3.23)$$

Cam panelin içinde ısı yayılma denklemi, ısı yayılım denklemi sıcaklık dağılımını hesaplamak için kullanılmıştır:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3.24)$$

Sonlu fark metodu kullanılarak oluşturulmuş bu denklem ayrıştırılarak aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$T_{i,j}^{(k)} = \left[\Delta y^2 \left(T_{i+1,j}^{(k-1)} + T_{i-1,j}^{(k)} \right) + \Delta x^2 \left(T_{i,j+1}^{(k-1)} + T_{i,j-1}^{(k)} \right) \right] / 2(\Delta y^2 + \Delta x^2) \quad (3.25)$$

Cam panelin üst ve alt kısmı yalıtılmış varsayılmaktadır. Üst ve alt kısım için sonlu fark denklemleri:

$$T_{i,1}^{(k)} = \frac{\Delta y^2 T_{i-1,1}^{(k)} + \Delta y^2 T_{i+1,1}^{(k-1)} + \Delta x^2 T_{i,2}^{(k-1)}}{2(\Delta y^2 + \Delta x^2)} \quad (3.26)$$

Ve

$$T_{i,m}^{(k)} = \frac{\Delta y^2 T_{i-1,m}^{(k)} + \Delta y^2 T_{i+1,m}^{(k-1)} + \Delta x^2 T_{i,m-1}^{(k)}}{2(\Delta y^2 + \Delta x^2)} \quad (3.27)$$

Cam panel yüzeyinde, yayınım, yayılım ve taşınım olmak üzere üç farklı transfer çeşidi vardır. Sonlu fark denklemleri:

$$\begin{aligned}
T_{m,j}^{(k)} = & \left[\frac{k\Delta x}{2\Delta y} T_{m,j-1}^{(k)} + \frac{k\Delta x}{2\Delta y} T_{m,j+1}^{(k-1)} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} T_{m-1,j}^{(k)} \right. \\
& \left. + (h_2)_j \Delta y T_{\infty,2} + (h_{r,2})_j \Delta y T_{sur} \right] / \\
& \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} + (h_2)_j \Delta y + (h_{r,2})_j \Delta y \right]
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Ve

$$\begin{aligned}
T_{1,j}^{(k)} = & \left[\frac{k\Delta x}{2\Delta y} T_{1,j-1}^{(k)} + \frac{k\Delta x}{2\Delta y} T_{1,j+1}^{(k-1)} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} T_{2,j}^{(k-1)} \right. \\
& \left. + (h_1)_j \Delta y T_{\infty,1} + (h_{r,1})_j \Delta y T_w \right] / \\
& \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} + (h_1)_j \Delta y + (h_{r,1})_j \Delta y \right]
\end{aligned} \tag{3.29}$$

Cam panelin dört köşesi için sonlu fark denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
T_{1,1}^{(k)} = & \left[\frac{k\Delta x}{2\Delta y} T_{1,2}^{(k-1)} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} T_{2,1}^{(k-1)} \right. \\
& \left. + (h_1)_j \Delta y T_{\infty,1} + (h_{r,1})_j \Delta y T_w \right] / \\
& \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} + (h_1)_j \Delta y + (h_{r,1})_j \Delta y \right]
\end{aligned} \tag{3.30}$$

$$\begin{aligned}
T_{1,jm}^{(k)} = & \left[\frac{k\Delta x}{2\Delta y} T_{1,jm-1}^{(k)} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} T_{2,jm}^{(k-1)} \right. \\
& \left. + (h_1)_j \Delta y T_{\infty,1} + (h_{r,1})_j \Delta y T_w \right] / \\
& \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} + (h_1)_j \Delta y + (h_{r,1})_j \Delta y \right]
\end{aligned} \tag{3.31}$$

$$T_{im,1}^{(k)} = \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} T_{im,2}^{(k-1)} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} T_{im-1,1}^{(k)} + (h_2)_j \Delta y T_{\infty,2} + (h_{r,2})_j \Delta y T_{sur} \right] / \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} + (h_2)_j \Delta y + (h_{r,2})_j \Delta y \right] \quad (3.32)$$

Ve

$$T_{im,jm}^{(k)} = \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} T_{im,jm-1}^{(k)} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} T_{im-1,jm}^{(k)} + (h_2)_j \Delta y T_{\infty,2} + (h_{r,2})_j \Delta y T_{sur} \right] / \left[\frac{k\Delta x}{\Delta y} + \frac{k\Delta y}{\Delta x} + (h_2)_j \Delta y + (h_{r,2})_j \Delta y \right] \quad (3.33)$$

Gauss Seidel iterasyonu, cam panel üzerindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için kullanılmıştır. İterasyon sıcaklıklardaki hatalar 0,001' den küçük olduğunda sonlandırılmıştır. Bu hatalar:

$$E = \left| T_{i,j}^{(k)} - T_{i,j}^{(k-1)} \right| \quad (3.34)$$

Formülünden elde edilmiştir.

3x300, 5x500 ve 10x1000 değerleriyle kafesten bağımsız bir test yapılmıştır. Bu araştırmadaki varsayımlar aşağıdaki gibidir.

1. Bu araştırma kararlı durumdadır.
2. Bu araştırmadaki cam paneldeki iletim iki yönlüdür.
3. Bu araştırmadaki cam panelin üst ve alt kısmı yalıtılmıştır.
4. Cam panel özellikleri sabittir.
5. Fırının kavitesiyle karşılaştırıldığında, cam panel daha küçük bir yüzeydir.
6. Radyasyon ile iletim çeşidi bu çalışmada ihmal edilmiştir.

3.2. Modelin Çalıştırılması

Kontrol hacmi ve kavite için çıkartılan bağıntılar yardımıyla; kavite duvarlarıyla fırın arasında gerçekleşen ısı transferleri ve dış kapak camıyla ortam arasında gerçekleşen ısı transferleri, enerji denge denklemleri yazılarak ısı taşınım katsayıları ve kaybedilen ısı miktarları hazırlanan matematiksel model yardımıyla hesaplanabilecektir. Java programlama diliyle yazılan bu kod ile deney ortamını simule eden veriler girilerek (fırın içi, ortam sıcaklığı, cam kalınlığı...), ön kapakta meydana gelen ısı kaybı, ön kapaktaki ısı iletim katsayısı, kazan duvarında meydana gelen ısı kaybı, kazan duvarındaki ısı iletim katsayısı, toplam tüketilen enerji miktarı ve EEI değerleri hesaplanmaktadır. Program arayüzündeki parametre değiştirme özelliği sayesinde hesaplamalardaki değişimler ve farklar kolaylıkla görülebilmektedir.

Programa girilmesi gereken değerler şunlardır;

- Cam kalınlığı
- Camın iletim katsayısı
- Camlar arası mesafe
- Camlar arası basınç
- Sac kalınlığı (kazan)
- Emaye kalınlığı (kazan)
- İzolasyon kalınlığı (cam yünü)
- Sac iletim katsayısı (kazan)
- Emaye iletim katsayısı (kazan)
- İzolasyon iletim katsayısı (cam yünü)
- Ortam sıcaklığı
- Fırın içi sıcaklık

Veri girişinin yapıldığı program arayüzü Şekil 3.4' de görülmektedir.

Oven Heat Transfer Math Model

Cam Kalınlığı: mm

Camın İletim Katsayısı: W/m²K

Camlar arası mesafe: mm

Camlar arası basınç: mbar

Sac Kalınlığı: m

Emaye Kalınlığı: m

İzolasyon Kalınlığı: m

Sac İletim Katsayısı: W/mK

Emaye İletim Katsayısı: W/mK

İzolasyon İletim Katsayısı: W/mK

Ortam Sıcaklığı: °C

Fınn içi sıcaklık: °C

Hesapla

Şekil 3.4. Program veri giriş ekranı

Programa girilen değerlerden kavite ile ilgili olan kısımdaki veriler çok değişkenlik göstermediği ve bütün kazanlarda aynı olduğu için sabit alınmıştır. (Üretimden ve kullanılan makine/ teçhizatdan kaynaklı yüzey hataları ve emaye kalınlığı hataları ihmal edilmiştir.) Böylelikle;

- Sac kalınlığı = 0.0008 m
- Emaye kalınlığı = 0.00006 m
- İzolasyon kalınlığı = 0.025 m
- Sac iletim katsayısı = 55 W/m²K
- Emaye iletim katsayısı = 1.05 W/m²K
- İzolasyon iletim katsayısı = 0.04 W/m²K

Owen Heat Transfer Math Model

Cam Kalınlığı: 4 mm
Camın İletim Katsayısı: 5.5 W/m²K
Camlar arası mesafe: 15 mm
Camlar arası basınç: 0.001 mbar

Sac Kalınlığı: 0.0008 m
Emaye Kalınlığı: 0.00006 m
İzolasyon Kalınlığı: 0.025 m
Sac İletim Katsayısı: 55 w/mK
Emaye İletim Katsayısı: 1.05 w/mK
İzolasyon İletim Katsayısı: 0.04 w/mK

Ortam Sıcaklığı: 23 °C
Fırın içi sıcaklık: 200 °C

Hesapla

Şekil 3.5. Programa verilerin girilmesi

Hesapla butonuna bastıktan sonra açılan sonuç ekranı Şekil 3.6’ da görülmektedir.

Owen Heat Transfer Math Model

Results

ÖN KAPAKTA MEYDANA GELEN ISI KAYBI	KAZAN DUVARINDA MEYDANA GELEN ISI KAYBI	TOPLAM TÜKETİLEN ENERJİ MİKTARI
65,00 W 65,00 W	301,97 W 301,97 W	925,00 Wh 925,00 Wh
ÖN KAPAKTAKİ ISI İLETİM KATSAYISI	KAZAN DUVARINDAKİ ISI İLETİM KATSAYISI	EEI
3,30 W/m²K 3,30 W/m ² K	5,43 W/m²K 5,43 W/m ² K	115,34 → B SINIFI 115,34 → B SINIFI

Şekil 3.6. Sonuç ekranı

Programın altında çalışan hesaplama dizinleri Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’ da görülmektedir.

```

26 static double hesapla_EEI(double tuketilen_enerji_miktari){
27     double EEI = (tuketilen_enerji_miktari / 0.802) / 10;
28     return EEI;
29 }
30
31 static String hesapla_sinif(double EEI){
32     String sinif;
33     if (EEI >= 159){
34         sinif = "D SINIFI";
35     }
36     else if (EEI >= 132){
37         sinif = "C SINIFI";
38     }
39     else if (EEI >= 107){
40         sinif = "B SINIFI";
41     }
42     else if (EEI >= 82){
43         sinif = "A SINIFI";
44     }
45     else if (EEI >= 62){
46         sinif = "A+ SINIFI";
47     }
48     else if (EEI >= 45){
49         sinif = "A++ SINIFI";
50     }
51     else {
52         sinif = "A+++ SINIFI";
53     }
54     return sinif;
55 }
56
57 static double hesapla_toplam_enerji_miktari(int camlar_arasi_mesafe, double camlar_arasi_basinc){
58     double toplam_enerji_miktari = 0.0;
59     if (camlar_arasi_basinc < 0.001){
60         toplam_enerji_miktari = n1_min_out + ((n1_max_out - n1_min_out) / (n1_max_in - n1_min_in)) * (camlar_arasi_mesafe - n1_min_in);
61     }
62 }

```

Şekil 3.7. Hesaplama dizinleri

```

59 static double hesapla_toplam_enerji_miktari(int camlar_arasi_mesafe, double camlar_arasi_basinc){
60     double toplam_enerji_miktari = 0.0;
61     if (camlar_arasi_basinc < 0.001){
62         toplam_enerji_miktari = n1_min_out + ((n1_max_out - n1_min_out) / (n1_max_in - n1_min_in)) * (camlar_arasi_mesafe - n1_min_in);
63     }
64     else if (camlar_arasi_basinc >= 0.001){
65         if (camlar_arasi_mesafe < 15){
66             toplam_enerji_miktari = n2_max_out - ((n2_max_out - n2_min_out) / (n2_max_in - n2_min_in)) * (camlar_arasi_mesafe - n2_min_in); //inverse
67         }
68         else if (camlar_arasi_mesafe > 15){
69             toplam_enerji_miktari = n3_max_out + ((n3_max_out - n3_min_out) / (n3_max_in - n3_min_in)) * (camlar_arasi_mesafe - n3_min_in);
70         }
71         else if (camlar_arasi_mesafe == 15){
72             toplam_enerji_miktari = 925;
73         }
74         if (camlar_arasi_basinc >= 1){
75             toplam_enerji_miktari = toplam_enerji_miktari + 150;
76         }
77     }
78     return toplam_enerji_miktari;
79 }
80
81 static double hesapla_on_kapak_isi_iletim_katsayisi(double tuketilen_enerji_miktari){
82     double on_kapak_isi_iletim_katsayisi = u_min_out + ((u_max_out - u_min_out) / (u_max_in - u_min_in)) * (tuketilen_enerji_miktari - u_min_in);
83     return on_kapak_isi_iletim_katsayisi;
84 }
85
86 static double hesapla_on_kapak_isi_kaybi(double tuketilen_enerji_miktari){
87     double on_kapak_isi_kaybi = o_min_out + ((o_max_out - o_min_out) / (u_max_in - u_min_in)) * (tuketilen_enerji_miktari - u_min_in);
88     return on_kapak_isi_kaybi;
89 }
90
91 static double hesapla_kazan(double sac_kalinligi, double sac_iletim_katsayisi, double emaye_kalinligi, double emaye_iletim_katsayisi, double izolasyon_kalinligi, double izolasyon_iletim_katsayisi){
92     double kazan = 0.0;
93     kazan = (sac_kalinligi / sac_iletim_katsayisi) + (emaye_kalinligi / emaye_iletim_katsayisi) + (izolasyon_kalinligi / izolasyon_iletim_katsayisi);
94     return kazan;
95 }

```

Şekil 3.8. Hesaplama dizinleri

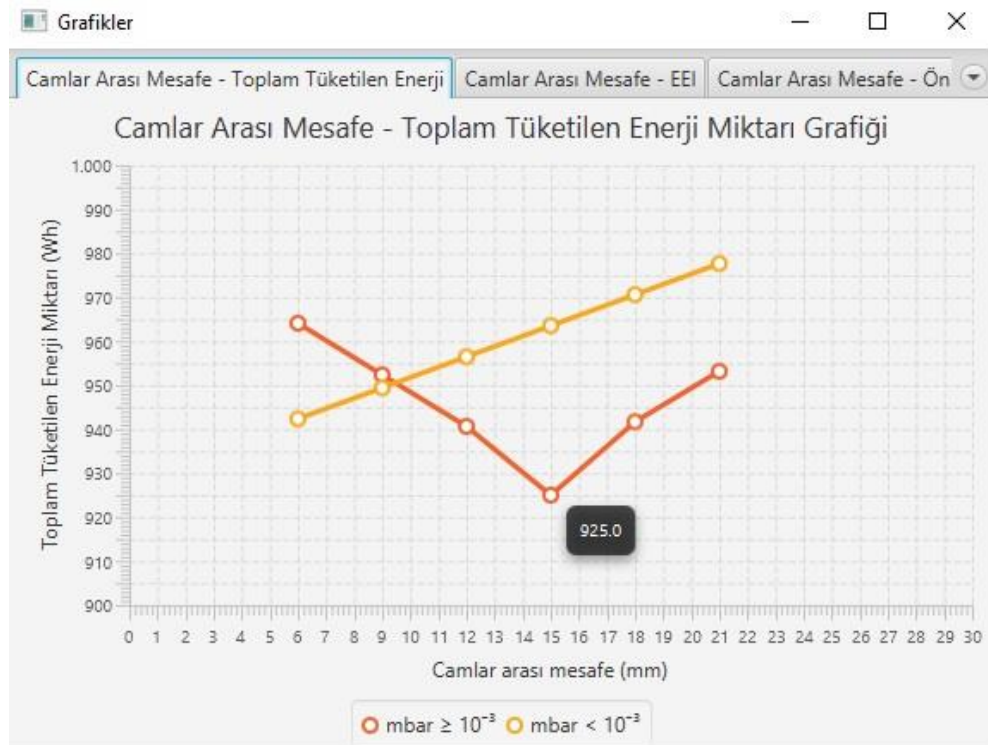

```

20  static double hesapla_on_kapak_isi_kaybi(double tuketilen_enerji_miktari){
21      double on_kapak_isi_kaybi = o_min_out + ((o_max_out - o_min_out) / (u_max_in - u_min_in)) * (tuketilen_enerji_miktari - u_min_in);
22      return on_kapak_isi_kaybi;
23  }
24
25  static double hesapla_kazan(double sac_kalinligi, double sac_iletim_katsayisi, double emaye_kalinligi, double emaye_iletim_katsayisi, double izolasyon_kalinligi, double izolasyon_iletim_katsayisi){
26      double kazan_katsayisi = 1 / ((sac_kalinligi / sac_iletim_katsayisi) + (emaye_kalinligi / emaye_iletim_katsayisi) + (izolasyon_kalinligi / izolasyon_iletim_katsayisi));
27      return kazan_katsayisi;
28  }
29
30  static double hesapla_kazan_duvarinda_meydana_gelen_isi_kaybi(double kazan_katsayisi){
31      double E_giren = 0, E_cikan = 0, q_iletim = 0, q_tasinim = 0, k_duvar = 0, T_sag = 0, T_izo_sag = 0, h_d_sag = 0, T_hava = 0, Ra = 0, gama = 0, beta = 0, delta_T = 0, Nu = 0, Pr;
32      double alfa = 1, velocity = 1, L = 1.0;
33
34      Ra = ((gama * beta * Math.pow(L, 3) * delta_T) / (alfa * velocity));
35
36      Nu = 0.68 * ((0.67 * Math.pow(Ra, 0.25)) / Math.pow(1 + Math.pow(0.492 / Pr, 9 / 16), 4 / 9)); // Ra <= 1e09
37
38      h_d_sag = (Nu * k) / L;
39
40      double kazan_duvarinda_meydana_gelen_isi_kaybi = 188.75 * kazan_katsayisi;
41      return kazan_duvarinda_meydana_gelen_isi_kaybi;
42  }
43
44  static double hesapla_kazan_duvarinda_isi_iletim_katsayisi(double kazan_katsayisi){
45      double kazan_duvarinda_isi_iletim_katsayisi = 3.3941 * kazan_katsayisi;
46      return kazan_duvarinda_isi_iletim_katsayisi;
47  }
48  }

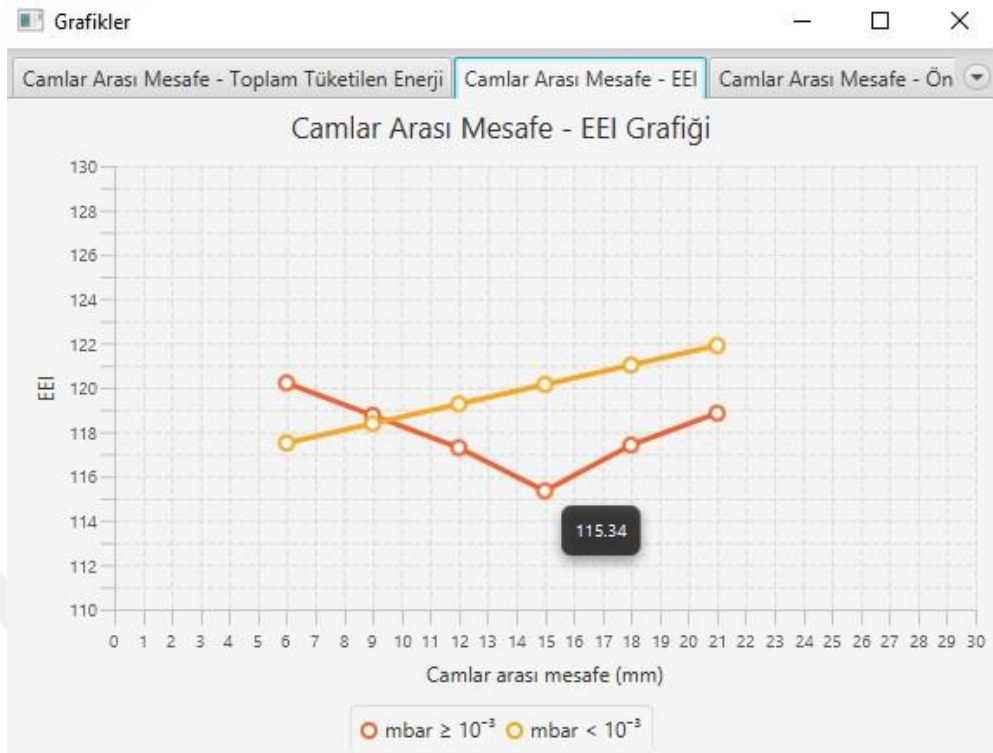
```

Şekil 3.9. Hesaplama dizinleri

Yazılan program yardımıyla sonuçlar analiz edilmiş ve çıkan sonuçlar grafik halinde çizdirilmiştir. Programın grafik ekranları Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’ de görülmektedir.



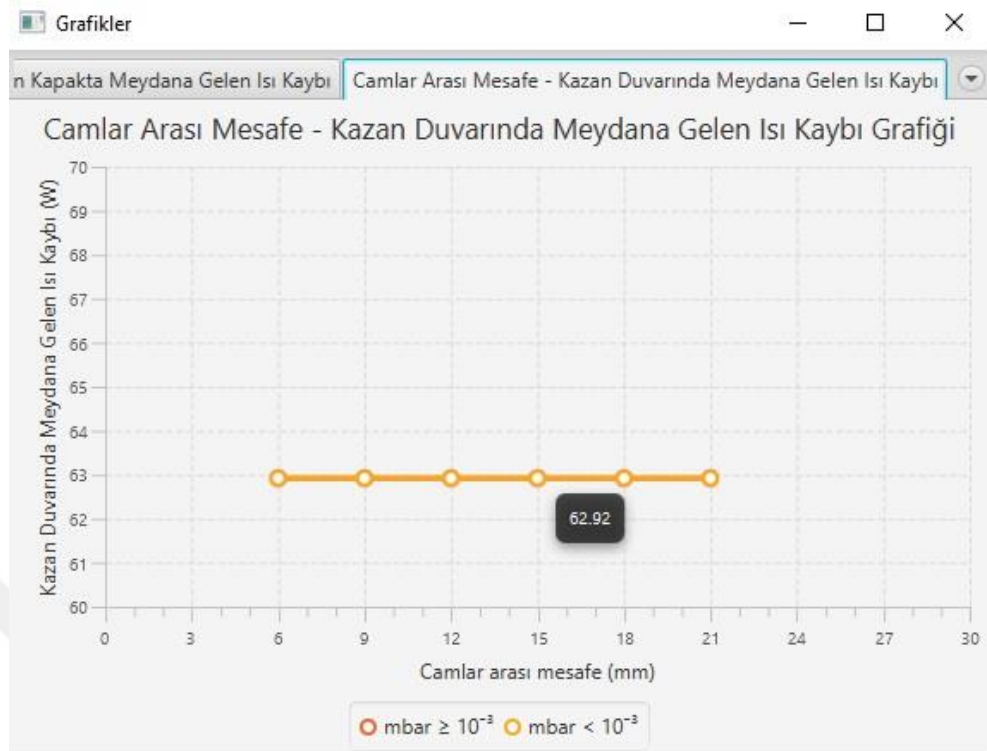
Şekil 3.10. Camlar Arası Mesafe – Toplam Tüketilen Enerji Miktarı Grafiği



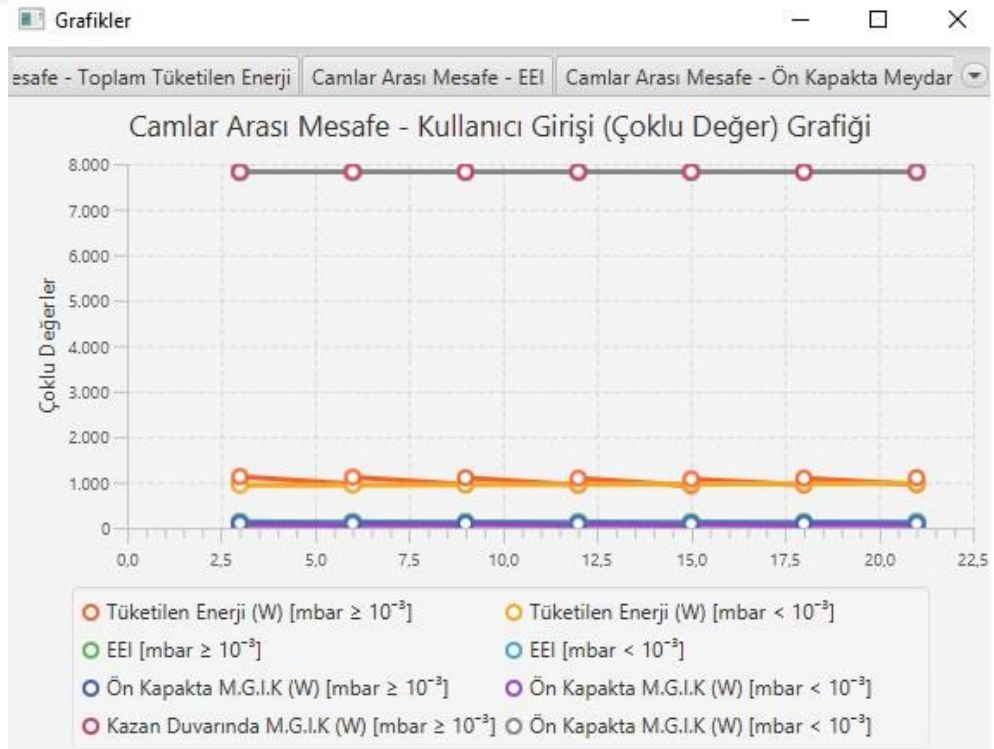
Şekil 3.11. Camlar Arası Mesafe – EEI Grafiği



Şekil 3.12. Camlar Arası Mesafe – Ön Kapakta Meydana Gelen Isı Kaybı



Şekil 3.13. Camlar Arası Mesafe – Kazan Duvarında Meydana Gelen Isı Kaybı Grafiği



Şekil 3.14. Camlar Arası Mesafe – Kullanıcı Girişi (Çoklu Değer) Grafiği

4. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; ev tipi elektrikli fırınların ön kapaklarının ısıl performansı incelenmiş, enerji tüketiminin azaltılmasında ve fırın dış yüzey sıcaklıklarının düşürülmesinde fırın ön kapağının etkilerini gözlemlemek ve bu etkileri minimuma indirerek enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Deneysel çalışmalardan önce çeşitli konularda ve sayılarda makaleler ve patentler incelenmiş ve bunların enerji tüketimine olan etkileri öğrenilmiştir. Bu araştırmalar sonucunda farklı kapak konstrüksiyonları ve camlarla ilgili yöntemler dikkat çekmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında tüketilen enerji miktarını hesaplamak ve uygulanacak yeni yöntemin orijinal enerji tüketimine etkisini görebilmek için öncelikle mevcut durum analizi yapılmıştır ve özdeş çalışma ve ortam koşulları sağlanarak sadece fırın ön kapağın enerji tüketimine olan etkisini hesaplamak için sabit bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Böylelikle mevcut durum ile yeni yöntem arasındaki farklar sayısal olarak açıklanmıştır.

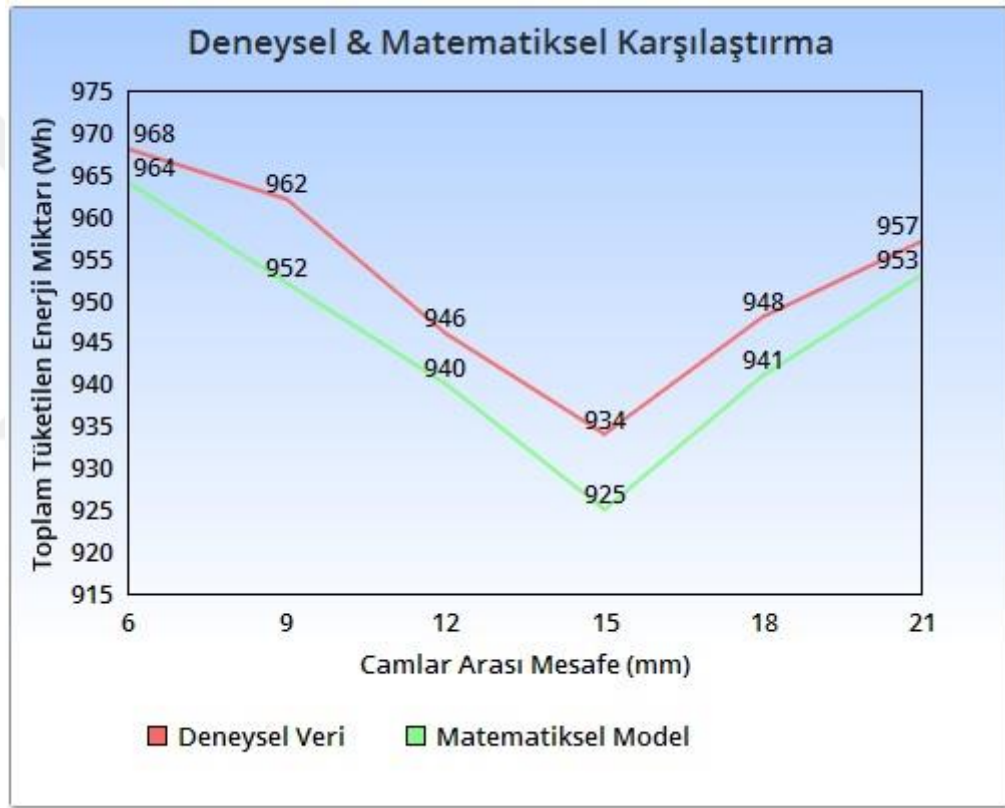
Yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Mevcut durumdaki iki camlı kapak üzerinde yapılan deneylerde, enerji tüketiminin ve kapak dış yüzey sıcaklıklarının düşük performansta seyrettiği gözlemlenmiştir. EN 50304 standartlarına uygun olarak yapılan deney sonuçlarına göre EEI Cavity değeri 134 EEI, 1068 Wh olarak hesaplanmıştır. Bu da Enerji Verimliliği Endeksine göre C Sınıfına tekabül etmektedir. Bunun başlıca sebepleri olarak; ısı taşınımı açısından ön kapaktaki camlar arasındaki havanın serbest ve doğal taşınım ile hareketi sonucu türbülansa girmesi ve iletimsel ısıtım açısından cam-hava-cam temasının fazlalığından dolayı düşük U değerine $5.8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ sahip olmasıdır. (U Değeri, 1 m^2 cam yüzeyinde içerisi

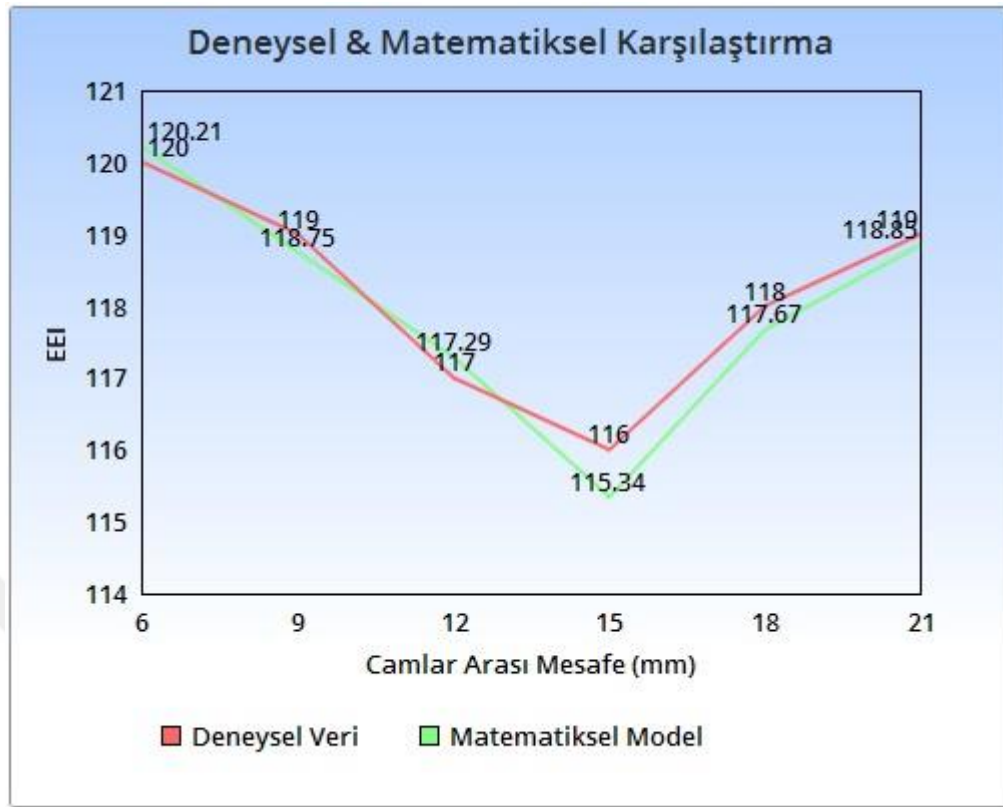
- ile dışarıyı arasındaki her 1 derecelik ısı farkını karşılamak için harcanması gereken enerji miktarıdır. Birimi Watt' dır.)
- Kurulan deney düzeneğinde ise, iki cam tabaka arasına vakum katman oluşturmak suretiyle ısı enerjisinin taşınım yoluyla dışarıya kaçması önlenerek camlarda meydana gelen termal ısı kaybının minimum düzeylere indirilerek adeta bir termos gibi ısıнын içeride kalması amaçlanmıştır. Taşınım yoluyla iletilemeyen ısı, kapak dış yüzey sıcaklığının düşmesini de sağlamaktadır. Bunun için 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm ve 21mm ara boşluğa (normal vakum katmana) sahip deney düzenekleri ve 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, 18mm ve 21mm yüksek vakum katmana sahip deney düzenekleri kurulmuştur.
- Yapılan deneyler sonrasında en iyi performansın, 15 mm normal vakum katmana sahip deney düzeneğinden elde edildiği saptanmıştır. EN 50304 standartlarına uygun olarak yapılan deney sonuçlarına göre EEI Cavity değeri 116 EEI, 934 Wh olarak hesaplanmıştır. Bu da Enerji Verimliliği Endeksine göre B Sınıfına tekabül etmektedir. Bunun başlıca sebepleri olarak, deney düzeneğinde enerji düşürme ve tasarruf sağlama işlemi; iki tarafı farklı ısı değerlerine sahip ortamlarda bulunan camlar arasındaki hava (birbirleriyle temas halindeki hava molekülleri) olmadığı için, ısıнын kondüksiyonu (iletimi) engellenerek sıcak ortamın soğuması önlenmiş yani ısıнын istenilen ortamda hapsolmesi sağlanmıştır. Bu sayede iletimsel ısınım açısından cam-hava-cam temasının düşük olması ve buna doğru orantılı olarak U değerinin düşmesi sağlanmıştır ($3.3 \text{ W/m}^2\text{K}$). Ayrıca, ön kapaktan gerçekleşen ısı kaybı daha az olduğu için fırın içinde homojen bir ısı dağılımı ve buna bağlı olarak pişen yiyeceğin de homojen olarak pişmesi sağlanmıştır.
- Sonuç olarak, hazırlanan deney düzeneği ile mevcut ön kapak uygulaması karşılaştırıldığında; $200 \text{ }^\circ\text{C}$ fırın içi ile $20 \text{ }^\circ\text{C}$ mutfak sıcaklığı arasındaki fark 180°C . Vakum katmanlı cam yerine düz cam kullanıldığında 1 m^2 için fazladan harcanacak enerji; $5.8 \text{ W/m}^2\text{K} - 3.3 \text{ W/m}^2\text{K} = 2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $180 \text{ }^\circ\text{C} \times 2.5 \text{ W/m}^2\text{K} = 450 \text{ Watt/m}^2$ olarak hesaplanır. Fırının cam yüzeyi 0.3 m^2 ise 135 W daha az güç ile fırın ısıtılabilir. Bu da elektrikli fırının ortalama enerji tüketim değerinde %12.55' lik bir fark yaratmaktadır. Bir diğer önemli konu olan dış

cam yüzey sıcaklıklarında ise mevcut duruma göre yaklaşık %20' lik bir düşüş sağlandığı gözlemlenmiştir.

Java programlama diliyle yazılan, Matematiksel Model yardımı ile hesaplanan parametreler ile deneysel veriler karşılaştırıldığında; model ile ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür (% 7 Hata). Şekil 4.1 ve Şekil 4.2' de Matematiksel Model ile Deneysel Sonuçlar arasındaki farklar görülmektedir.



Şekil 4.1. Deneysel & Matematiksel Model Karşılaştırması (Wh-mm)



Şekil 4.2. Deneysel & Matematiksel Model Karşılaştırması (EEI-mm)

KAYNAKÇA

1. European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), Household and similar electrical appliances - Safety, EN 60335 (2002)
2. Altınışık, K. (2006). Isı Yalıtımı (1. Basım). Ankara: Nobel Basımevi.
3. Türker, A. (2003). Soğuk Hat Yalıtımında Elastomerik Kauçuk Köpüğü. VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 15-18 Ekim.2003, İzmir. Eylül 2008
4. Cengel, Y. A., 2002: Heat Transfer , A Practical Approach, McGraw-Hill Science, 2nd edition
5. Varol,Y. and Özgen,F. (2011). Effect of Inclined Plate on Natural Convection in Enclosure Heated From Bottom. 6. International Advanced Ttechnologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ. May 2011
6. Dalal, A. and Das, M. K., 2006: Natural convection in a rectangular cavity heated from below and uniformly cooled from the top and both sides, **Numerical Heat Transfer, Part A**, 49: 301–322
7. Gill, A.E., 1966. The boundary-layer regime for convection in a rectangular cavity. **J. Fluid Mech.** 26, 515–536.
8. Du, Z. G. and E. Bilgen (1992). Coupling of wall conduction with natural convection in a rectangular enclosure. **Int. J. Heat Mass Transf.** 35, 1969–1975.
9. Ganguli, A. A., Pandit, A. B., and Joshi, J. B., 2009: CFD simulation of heat transfer in a two-dimensional vertical enclosure, Chem Eng Res Des, doi:10.1016/j.cherd.2008.11.005
10. G.V. Kuznetsov, M.A. Sheremet, 2009, Conjugate natural convection with radiation in an enclosure, **International Journal of Heat and Mass Transfer** 52 (2009) 2215–2223

11. A. Mezrhab, H. Bouali, H. Amaoui, M. Bouzidi, 2006, Computation of combined natural-convection and radiation heat-transfer in a cavity having a square body at its center, **Applied Energy** **83** (2006) 1004– 1023
12. Evcil, N. (Şubat 2000). Isı İzolasyonu ve Dış Duvarların Enerji Etkin Yenilenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul : İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü Yüksek Lisans Tezi
13. Kasanen P., 2000. Efficient Domestic Ovens Save II Project (4.1031/D/97-047), Helsinki.
14. Papadopoulos A. M., 2004. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments, **Energy and Buildings**, **37**, 77-86.
15. İzocam, Camyünü, <http://www.izocam.com.tr/f1-camyunu.html>.(2016)
16. İzocam, Taşyünü, <http://www.izocam.com.tr/f2-tasyunu.html>.(2016)
17. <http://www.izocam.com.tr/v1-yalitim-urunleri.html>.(2016)
18. Arambakam, R., Hosseini, S.A., Tafreshi, H. V., Pourdeyhimi, B., (2011). Monte Carlo simulation of radiative heat through fibrous media: Effects of boundary conditions and microstructural parameters, *International Journal of Thermal Sciences*, Cilt.50, Sf: 935-941.
19. Tahir M. A, Vahedi Tafreshi H., Hosseini S.A, Pourdeyhimi B. (2010). Modeling the role of microstructural parameters in radiative heat transfer through disordered fibrous media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Cilt 53, Sf: 4629–4637.
20. Milandri A., Asllanaj F., Jeandel G., Roche J. R. (2002). Heat transfer by radiation and conduction in fibrous media without axial symmetry, **Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer** **74**, Sf: 585–603.
21. S.H. Tasnim, and M.R. Collins, “Numerical analysis of heat transfer in a square cavity with a baffle on the hot wall,” **Int. Comm. Heat Mass Transfer**, vol. **31**, pp. 639-650, 2004.

22. [http://www.cellubor.com/Literatür/Isı Yalıtım Malzemelerinde Temel Seçim Kriterleri](http://www.cellubor.com/Literatür/Isı_Yalıtım_Malzemelerinde_Temel_Seçim_Kriterleri)
23. S. Ulrich, Oven with baking muffle, EP 0475285 A3, Miele & CIE (1992).
24. Ü. Erçetin, Bir Porselen Fabrikasında Kullanılan Fırınlara Isıl Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniv. Fen Bil. Enst., 2000.
25. Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, 2003. Household and similar electrical appliances safety - particular requirements for stationary cooking ranges, hobs, ovens and similar appliances, EN 60 335-2-6.
26. Schönweiss H., 1996. Baking and roasting oven with heat insulating coating, DE4439384, AEG Haugerate GmbH.
27. Öz, E.S. ve Deniz E., 2006. Vakumlama Tekniği ile Çeşitli Yalıtım Malzemeleri Kullanarak Yüksek Performanslı Yalıtım Malzemeleri Üretimi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Devlet Pplanlama Teşkilatı (DPT) Proje Sunumu, 2008, w3.karaelmas.edu.tr/c
28. Dr Jeremy Jones and Dr J. Ray Ballinger, "Spin Echo Sequences," *Radiopaedia*. Online.. Available: [\(2016\)](http://radiopaedia.org/articles/spin-echo-sequences)
29. Newborough Marcus, 1995. High efficiency oven using reflector, GB2289607, Cranfield University.
30. Nuss James J., 1974. Simplified oven door window, US3996710 A, General Electric Company
31. White James J., 1972. Flow-through shutter for oven door window, US3760792 A , Gen Electric
32. Kayıhan A. S., 2003. Elektrikli fırınların ısı performanslarının deneysel olarak incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü
33. Stahlmann R; Poerner H., 2002. Cooler for cooking oven with oven muffle opening and door has outer and inner chambers and outer and inner door cavities, suction and blower openings., DE10047016 A1, AEG Hausgerate GmbH.

34. Kalaycı C.; Gürlek Z., 2006. A cooking appliance, WO2006064457 A1, Arçelik Anonim Şirketi.
35. Mamoru I., Masao M., 1989. Heating and cooking unit, JP1041726, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.
36. Katona Joseph W., 1978. Self-contained window unit for oven doors (common cavity), US4206338A, Mills Product, Inc.
37. Gürlek M.Z., 2004. Fırın ön kapaklarında ısı transfer mekanizmasının deneysel ve teorik incelenmesi, Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü
38. DeWitt D. P., Incropera F. P., 1996. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer, pp.493.**, John Wiley and Sons
39. Hancılar N., 2007. Elektrikli Ankastre Fırınlarda Enerji Tüketiminin Deneysel ve Teorik İnceleme ile Azaltılması, Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü
40. Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), 1998. Electric Ovens for Household Use- Methods for Measuring the Energy Consumption, EN 50304.
41. Churchill, S. W., and H. H. S. Chu (1975), Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate, **International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 18**, pp. 1323-1329.

ÖZ GEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Erdem YILDIZ
 Uyruğu : Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 01 Ocak 1990, Ankara
 Medeni Durumu : Bekâr
 Tel : +90 538 925 4165
 E-mail : yildzerdem@gmail.com
 Yazışma Adresi : Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
 Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü,
 38039, Melikgazi/KAYSERİ.

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisansüstü	Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD	2017
Lisansüstü	Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı	(Tez Döneminde)
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü	2014
Lisans	University of Debrecen / HUNGARY Mechanical Engineering	2013
Lise	NKV Beypazarı Anadolu Lisesi	2008

YABANCI DİL

İngilizce, Almanca, Macarca

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014-2015	TUBİTAK	Proje Asistanı
2015- 2016	Simfer	Arge Mühendisi

