

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISITILAN HACİMLERDE ENERJİ SAÇINIMI AZALTMA VE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI**

**MURAT KADAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. HASAN A. HEPERKAN**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISITILAN HACİMLERDE ENERJİ SAÇINIMI AZALTMA VE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI**

**MURAT KADAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISI PROSES PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. HASAN A. HEPERKAN**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISITILAN HACİMLERDE ENERJİ SAÇINIMI AZALTMA VE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI**

Murat KADAL tarafından hazırlanan tez çalışması 26.09.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Zeynep Düriye BİLGE  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Ebru MANÇUHAN  
Marmara Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Bu alışma, ARÇELİK A.ř tarafından desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

---

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince, bilgi ve tecrübeleri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hasan. A. HEPERKAN'a en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam için sağladıkları imkân ile bana destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Dr. Cemil İNAN, Sn. Mak. Yük. Müh. Fatih ÖZKADI, Sn. Dr. Faruk BAYRAKTAR ve Sn. Dr. Emre OĞUZ şahsında teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında gerekli desteklerini esirgemeyerek, değerli fikirleri ve olumlu eleştiri ile çalışmama katkı sağlayan Sn. Dr. Levent AKDAĞ'a, Sn. Dr. Bekir ÖZYURT'a ve Sn. Mak. Yük. Müh. S. Aslı KAYIHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında verdikleri desteklerden ötürü başta Sn. Mehmet MARAŞLI olmak üzere, Sn. Barış ERDOĞAN'a ve Arçelik A.Ş. Ar-Ge Akışkanlar Dinamiği Ailesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca beraber vakit geçirdiğim, sıkıntılı zamanlarımda bana destek olan Mehmet KALP'e, Onur POYRAZ'a, Alper KIRIMLI'ya, Gökmen PEKER'e, Özgün SAKALLI'ya, Çağlar ŞAHİN'e, Ahmet Burak TOP'a ve Ar-Ge lisans/yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca verdikleri emek ile bugünlere gelmemde katkısı olan, sevgili öğretmenlerime saygı ve şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen çok kıymetli AİLEME en derin duygularıyla teşekkür eder, bu tezi sevgili babam merhum Bekir KADAL'a adamaktan onur ve mutluluk duyarım.

Ağustos, 2011

Murat KADAL

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT.....	xiv
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür ve Patent Özeti.....	1
1.1.1    Literatür Özeti.....	1
1.1.2    Patent Özeti .....	13
1.1.2.1    Yapısal Çalışmalar ile İlgili Patentler .....	13
1.1.2.2    Algoritma Çalışmaları ile İlgili Patentler .....	19
1.2    Tezin Amacı .....	24
1.3    Orijinal Katkı.....	25
<b>BÖLÜM 2</b>	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	26
2.1    Deney Düzenegi .....	26
2.2    Enerji Tüketim Deney Standardı .....	31
2.2.1    Materyal ve Yöntem .....	32
2.2.2    Ölçüm Prosedürü .....	35
2.3    Belirsizlik Analizi.....	39
2.4    Ölçüm Sistemi Yeterlilik Analizi.....	40

## BÖLÜM 3

PARAMETRELERİN SAÇINIMA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ .....	42
3.1 Yapısal Parametrelerin Saçınımına Etkisi .....	43
3.1.1 Turbo Isıtıcı Gücü .....	44
3.1.2 Turbo Motor Devri .....	46
3.1.3 Havalandırma Motor Devri .....	51
3.1.4 Yalıtım .....	54
3.1.5 Mentеше .....	57
3.2 Deneysel Parametrelerin Saçınımına Etkisi .....	61
3.2.1 Tuğla Başlangıç Sıcaklığı .....	62
3.2.2 Ortam Sıcaklığı .....	64
3.2.3 Tuğla Su Emmesi .....	66
3.2.4 Gerilim Hassasiyeti .....	68
3.2.5 Fark Sıcaklık .....	70

## BÖLÜM 4

SAÇINIM AZALTMA ÇALIŞMALARI .....	75
-----------------------------------	----

## BÖLÜM 5

DENEYSEL PARAMETRELERİN İSTATİSTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ .....	78
--	----

## BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	84
KAYNAKLAR .....	87
ÖZGEÇMİŞ .....	89

## SİMGE LİSTESİ

---

A	Isıl yükün yüzey alanı, [m <sup>2</sup> ]
d	Isıtılan hacim kullanılabilir yüksekliği, [m]
e	Isıtılan hacim kullanılabilir genişliği, [m]
f	Isıtılan hacim kullanılabilir derinliği, [m]
$\bar{h}$	Etkin ısı transfer katsayısı, [W/m <sup>2</sup> ·K]
k	Isı iletim katsayısı, [W/m·K]
l	Karakteristik uzunluk, [m]
m	Kütle, [kg]
t	Süre, [s]
T	Sıcaklık, [°C]
Q	Isıl yüke transfer olan ısı miktarı, [W]
v	Hız, [m/s]
V	Cihazın kullanılabilir hacmi, [L]
$\rho$	Yoğunluk, [kg/m <sup>3</sup> ]
$\epsilon$	Yayma katsayısı

## KISALTMA LİSTESİ

---

ANSI	American National Standards Institute
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
PID	Proportional Integral Derivative
PTFE	Polytetrafluoroethylene

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Düşük yayma katsayısına sahip fırın prototipi ..... 2
Şekil 1. 2	ANSI-1986 ve CENELEC-1998 standartlarına göre yüklerin ısınma eğrileri ... 4
Şekil 1. 3	110 °C set sıcaklığında on/off kontrolü için farklı noktalardaki sıcaklık ölçümleri ..... 5
Şekil 1. 4	110 °C set sıcaklığında PID kontrolü için farklı noktalardaki sıcaklık ölçümleri ..... 5
Şekil 1. 5	Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi..... 6
Şekil 1. 6	Kapakta alüminyum levha ile yalıtımın birlikte uygulanması ..... 8
Şekil 1. 7	Işınım kalkanı kullanılan fırının şematik görünüşü..... 8
Şekil 1. 8	İncelenen geometrik durumlar ..... 11
Şekil 1. 9	Çeşitli ek yük durumlarında ve ek yüklerin sulu/susuz olmasına bağlı olarak yükün ısınma hızı..... 12
Şekil 1. 10	EP1674796 numaralı patentin önden görünüşü..... 13
Şekil 1. 11	EP1176366 numaralı patentin yan kesit görünüşü..... 14
Şekil 1. 12	EP1457740 numaralı patentin şematik görünüşü ..... 15
Şekil 1. 13	EP1731844 numaralı patentin yan kesit görünüşü..... 16
Şekil 1. 14	JP2006017389 numaralı patentin yandan görünüşü..... 17
Şekil 1. 15	WO2008148675 numaralı patentin yan görünüşü ..... 18
Şekil 1. 16	US7038179 numaralı patentin şematik görünüşü ..... 18
Şekil 1. 17	EP2005866 numaralı patentin yan görünüşü ..... 19
Şekil 1. 18	EP1213542 numaralı patentin güç-sıcaklık grafiği..... 20
Şekil 1. 19	US6388235 numaralı patent şematik görünüşü ..... 21
Şekil 1. 20	US6812433 numaralı patent sıcaklık-zaman grafiği ..... 21
Şekil 1. 21	CH678996 numaralı patent çalışma prensibi..... 22
Şekil 1. 22	KR20090061882 numaralı patent yan görünüşü ..... 23
Şekil 1. 23	EP2282128 numaralı patent fan-ısıtıcı çalışma grafiği..... 24
Şekil 2. 1	EN 50304 standardına göre enerji tüketim deney düzeneğinin görünüşü.. 27
Şekil 2. 2	Isıtılan hacimle birlikte enerji tüketim deney düzeneğinin görünüşü ..... 27
Şekil 2. 3	Isıtıcıların hacim içerisindeki konumu ve şasinin şematik görünüşü ..... 28
Şekil 2. 4	Isıtılan hacim gövdesi patlatılmış resmi ..... 29
Şekil 2. 5	Sıcaklık ölçüm kanalı ve veri toplama ünitesi ..... 30
Şekil 2. 6	Regülatörlerin konumu ..... 30
Şekil 2. 7	Standart enerji tüketim deneyi sonucunda elde edilen verilere ait grafik.. 31
Şekil 2. 8	Enerji tüketim testinde kullanılan tuğla ..... 32

Şekil 2. 9	Tuğla boyutları ve termoelemanların konumu .....	33
Şekil 2. 10	Ortam sıcaklığı ölçümü için kullanılan termoelemanın konumu .....	34
Şekil 2. 11	Cihazın kullanılabilir hacminin hesaplanması .....	35
Şekil 2. 12	Tuğlaların buzdolabında su içerisinde bekletilmesi .....	36
Şekil 2. 13	Tuğla kütlesinin ölçülmesi .....	36
Şekil 2. 14	Tuğlanın ısıtılan hacim içerisindeki konumu .....	37
Şekil 3. 1	Zorlanmış taşınım modu komponentleri (a) ve hava akış çizgileri (b) .....	42
Şekil 3. 2	Turbo ısıtıcı gücü ve enerji tüketiminin ısıtılan hacimlere göre değişimi ....	45
Şekil 3. 3	Turbo ısıtıcı gücü ile enerji tüketimi arasındaki ilişki .....	46
Şekil 3. 4	Turbo motor ve devir ölçümünde kullanılan manyetik sensörün gösterilişi	48
Şekil 3. 5	Motor devrinin belirlenmesinde kullanılan stroboskobun gösterilişi.....	48
Şekil 3. 6	Hacim merkez sıcaklığı ve turbo motor devrinin zamana bağlı değişimi.....	49
Şekil 3. 7	Turbo motor devri ile enerji tüketimi arasındaki ilişki.....	50
Şekil 3. 8	Hacim merkez sıcaklığı ve havalandırma motor devrinin zamanla değişimi	52
Şekil 3. 9	Havalandırma motor devri ile enerji tüketimi arasındaki ilişki.....	53
Şekil 3. 10	Mevcut durumda üst (a) ve alt kısım (b) yalıtımı .....	55
Şekil 3. 11	Yalıtımın sıkılaştırılması (a) ve üst taraf yalıtımı (b) .....	55
Şekil 3. 12	Yalıtımın yan (a) ve üst tarafta (b) daha gevşek sarılması .....	56
Şekil 3. 13	Yalıtım sarımının enerji tüketimine etkisi .....	57
Şekil 3. 14	Isıtılan hacim kapak çekme kuvvetinin ölçülmesi .....	58
Şekil 3. 15	Mevcut durumda (a) ve menteşe değiştirildikten sonra (b) kapağın görünümü .....	59
Şekil 3. 16	Saçınımı etkileyen yapısal parametrelerin dağılımı .....	60
Şekil 3. 17	Tuğla sıcaklığının enerji tüketimine etkisinin deneysel ve simülasyon programında incelenmesi .....	63
Şekil 3. 18	Şartlandırılmış odada ortam sıcaklığının zamana bağlı değişimi .....	65
Şekil 3. 19	Ortam sıcaklığının enerji tüketimine etkisinin deneysel ve simülasyon programında incelenmesi .....	66
Şekil 3. 20	Tuğlanın farklı su emmesi durumunda tuğlanın ısınma eğrileri .....	67
Şekil 3. 21	Gerilimdeki değişimin enerji tüketimine etkisi .....	69
Şekil 3. 22	Fark sıcaklığa bağlı olarak enerji tüketiminin değişimi .....	71
Şekil 3. 23	Saçınımı etkileyen deneysel parametrelerin dağılımı .....	72
Şekil 4. 1	Mevcut ve son durumda enerji tüketim saçınımı .....	77
Şekil 5. 1	Tuğla başlangıç sıcaklığı ile ilgili minitab analiz çıktısı.....	79
Şekil 5. 2	Tuğla başlangıç sıcaklığı ile enerji tüketim oranının ilişkisi .....	79
Şekil 5. 3	Ortam sıcaklığı ile ilgili minitab analiz çıktısı.....	80
Şekil 5. 4	Ortam sıcaklığı ile enerji tüketim oranının ilişkisi .....	81
Şekil 5. 5	Tuğla su emmesi ile ilgili minitab analiz çıktısı.....	81
Şekil 5. 6	Tuğla su emmesi ile enerji tüketim oranının ilişkisi .....	82
Şekil 5. 7	Gerilim ile ilgili minitab analiz çıktısı .....	83
Şekil 5. 8	Gerilim ile enerji tüketim oranının ilişkisi .....	83
Şekil 6. 1	Yapısal parametrelerin saçınıma etkisi .....	84
Şekil 6. 2	Deneysel parametrelerin saçınıma etkisi.....	85

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1	Farklı yalıtım kalınlıkları için fırın duvarlarının ısı iletim katsayıları ..... 10
Çizelge 2. 1	Isıtılan hacim boyutları ..... 28
Çizelge 2. 2	Tuğlanın termofiziksel özellikleri..... 33
Çizelge 2. 3	Çalışma moduna göre deney sıcaklıkları ..... 37
Çizelge 3. 1	Orijinal durumdaki ısıtıcı gücü ve enerji tüketim oranları ..... 44
Çizelge 3. 2	Farklı turbo ısıtıcı güçlerindeki enerji tüketim oranları..... 45
Çizelge 3. 3	Ön ısıtma sonucu ölçülen turbo motor devir oranları ..... 47
Çizelge 3. 4	Farklı turbo motor devirlerindeki enerji tüketim oranları ..... 50
Çizelge 3. 5	Ön ısıtma sonucu ölçülen havalandırma motor devir oranları ..... 51
Çizelge 3. 6	Farklı havalandırma motor devirlerindeki enerji tüketim oranları ..... 53
Çizelge 3. 7	Yalıtımın farklı şekilde sarılması sonucunda enerji tüketim oranları ..... 56
Çizelge 3. 8	Kapak sıklığının enerji tüketimine etkisi..... 58
Çizelge 3. 9	Farklı durumlardaki kapak çekme kuvvet oranları..... 59
Çizelge 3. 10	Menteşenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi ..... 60
Çizelge 3. 11	Tuğla başlangıç sıcaklık değerleri ..... 62
Çizelge 3. 12	Farklı tuğla başlangıç sıcaklıklarındaki enerji tüketim oranları ..... 63
Çizelge 3. 13	Ortam sıcaklığı değerleri ..... 64
Çizelge 3. 14	Farklı ortam sıcaklıklarındaki enerji tüketim oranları ..... 65
Çizelge 3. 15	Tuğla su emmesi değerleri ..... 66
Çizelge 3. 16	Tuğlanın emdiği farklı su miktarlarında enerji tüketim oranları ..... 67
Çizelge 3. 17	Gerilim değerleri ..... 68
Çizelge 3. 18	Farklı gerilimlerdeki deneysel sonuçlar..... 69
Çizelge 3. 19	Zorlanmış taşınım modunda fark sıcaklık değerleri ..... 70
Çizelge 3. 20	Farklı sıcaklıklardaki enerji tüketim oranları ..... 71
Çizelge 3. 21	Farklı sıcaklık değerlerindeki regresyon oran sonuçları ..... 72
Çizelge 3. 22	Deneysel parametrelerin en kötü ve en iyi değerleri..... 73
Çizelge 3. 23	Deneysel parametrelerin en iyi ve en kötü durumunda enerji tüketim oranları ..... 74
Çizelge 4. 1	Yapısal parametrelerin mevcut durumdaki kabul kriter limitleri..... 75
Çizelge 4. 2	Mevcut durumda ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim oranları..... 76
Çizelge 4. 3	Son durumda ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim oranları ..... 76
Çizelge 4. 4	Son durumdaki parametre limitleri..... 77
Çizelge 6. 1	Saçınım azaltma çalışmaları sonucunda özet tablo ..... 86

## ISITILAN HACİMLERDE ENERJİ SAÇINIMI AZALTMA VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Murat KADAL

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

Dünyadaki enerjinin daha verimli kullanılması ve üreticilerin pazarda kendilerine bir yer bulabilmeleri açısından, yüksek enerji verimine sahip ısıtılan hacimler üzerindeki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Isıtılan hacim performansını belirleyen en önemli unsurlardan birisi enerji tüketimidir. Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı, ürün ve deney şartları açısından ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim saçınıminin sebeplerinin incelenmesi ve saçınımi azaltacak önlemlerin ortaya konmasıdır. Isıtılan hacimlerde fan ve ısıtıcının birlikte çalıştığı zorlanmış taşınım modu incelenmiştir.

Elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji performansının iyileştirilmesi için yapılan çalışmaların belirlenebilmesi amacıyla patent ve literatür araştırması gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, enerji tüketim farklılığına neden olabileceği belirlenen yapısal ve deneysel parametrelerin enerji saçınımi üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Yapısal parametrelerin incelendiği çalışmalarda, komponent kabul kriterleri göz önüne alınmıştır. Turbo ısıtıcı gücü, turbo motor devri, havalandırma motor devri, yalıtım ve menteşenin enerji saçınımi üzerindeki dağılımı belirlenmiştir.

Deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımi üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde, ev tipi elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji tüketim deneylerinin gerçekleştirildiği EN 50304 standardındaki toleranslar göz önünde bulundurulmuştur. Deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımi üzerindeki etkileri belirlendikten sonra

parametrelerin enerji tüketimi açısından en iyi ve en kötü değerleri kullanılarak, bu iki durum arasındaki enerji tüketim farkının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapısal parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki dağılımının belirlenmesi sırasında, turbo ısıtıcı gücü, turbo motor devri ve havalandırma motor devri için enerji tüketimi açısından iyi değerlerin elde edildiği aralıklar dikkate alınarak saçınım azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Enerji tüketim saçınımına etkisi incelenen deneysel parametreler, istatistiksel açıdan da değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isıtılan hacim, zorlanmış taşınım, enerji saçınımı, yapısal parametre, deneysel parametre, dağılım, enerji verimliliği, istatistiki analiz

**REDUCTION OF ENERGY SCATTERING AND ENERGY EFFICIENCY  
IMPROVEMENT STUDIES ON HEATED VOLUMES**

Murat KADAL

Department of Mechanical Engineering

M. Sc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hasan Alpay HEPERKAN

Studies related to heated volumes with higher energy efficiency have increased steadily during the last decade due to the emphasis given to the efficient use of energy in the world and the demand of the manufacturers to increase their market share. One of the most important factors that determine the performance of the heated volume is its energy consumption. The aim of this thesis is to investigate the causes responsible for energy consumption scattering and expose the measures for reduction of scattering. Forced convection mode for the fan and heater operating together has been investigated in heated volumes.

A literature and patent survey has been carried out to determine the studies related to improving the energy performance of electrically heated volumes.

In these studies, experimental and structural parameters which could influence and alter the energy consumption and their individual effects on energy scattering have been examined in detail.

In the structural studies, acceptance criteria of the components were used for studies on these parameters. The distribution of parameters such as the power of the turbo heater, the speed of the turbo motor, the speed of the cooling motor, the insulation and the hinge on the energy scattering was determined.

During the determination of the individual effects of the experimental parameters on energy consumption scattering, standard EN 50304, used for energy consumption experiments of electrically heated volumes for household use, was considered. After the determination of the individual effects of the experimental parameters on energy consumption scattering, the difference in energy consumption between the two conditions, by using the best and worst values of the parameters in terms of energy consumption, was obtained.

In the course of determining the distribution of the structural parameters on energy scattering, studies were carried out to reduce scattering by taking into account the ranges of the power of the turbo heater, the speed of the turbo motor and the speed of the cooling motor which gave better values for energy consumption.

Experimental parameters examined to have an effect on energy consumption scattering, were also statistically evaluated.

**Key words:** Heated volume, forced convection, energy scattering, structural parameter, experimental parameter, distribution, energy efficiency, statistical analysis

#### 1.1 Literatür ve Patent Özeti

Enerjinin günden güne daha da önem kazanması diğer ürünlerle birlikte, fırınların enerji tüketiminin de detaylı olarak incelenmesini ve verimli, daha az elektrik tüketen fırın üretmek için üreticileri harekete geçirmiştir. Ülke ekonomileri, dünyadaki enerjinin daha verimli kullanılması ve fırın üreticilerinin pazarda kendilerine bir yer bulabilmeleri açısından yüksek enerji verimli fırınlar üzerindeki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Üreticiler, çeşitli yapısal ve algoritma uygulamaları ile fırının enerji tüketimini azaltmaya çalışmaktadırlar. Gerek üreticilerin birbiri ile rekabeti, gerekse uluslararası yönetmeliklerin enerji sınıfı limitlerini giderek düşürme eğilimleri sebebiyle üretimin kontrollü olması, ürünlerin enerji tüketim değerlerindeki saçınım değerinin azaltılması da önem kazanmıştır.

Belirlenen tez konusu ile ilgili, teknolojik olarak gelinen durumu belirlemek amacıyla patent ve literatür araştırması yapılmıştır. Literatür ve patent araştırması yapıldığında; direkt olarak ürünlerin enerji tüketim saçınımının azaltılması ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak, fırının enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmaların incelenmesi amacıyla literatür ve patent araştırması bu konu üzerine yoğunlaşarak gerçekleştirilmiştir.

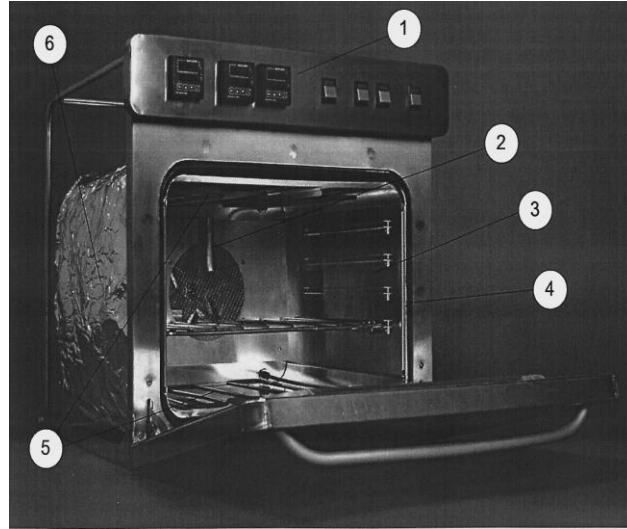
##### 1.1.1 Literatür Özeti

Literatür çalışmalarında, fırınların enerji tüketimini azaltmaya yönelik çeşitli uygulamalar ile karşılaşılmaktadır.

Düşük yayma katsayısına sahip fırınların enerji ve zaman açısından daha verimli oldukları görülmektedir. Geleneksel on/off kontrol sistemi yerine PID kontrol uygulaması ile hem verim hem de fırın içerisinde homojen sıcaklık dağılımının sağlanması açısından daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Fırınlarda kullanılan yalıtım malzemesinin kalınlığının artması ile ısı kayıpları azaldığından enerji tüketimi de azalmaktadır.

Shaughnessy ve Newborough [1] tarafından yapılan çalışmada düşük yayma katsayısına sahip elektrikli fırınların enerji performansından bahsedilmektedir. Bu çalışmada, düşük yayma katsayısına ( $\epsilon$ ) sahip elektrikli fırının yapısı gösterilmiş ve enerji performansı belirlenerek evsel ve test amaçlı kullanılan diğer elektrikli fırınlarla karşılaştırılmıştır.

Fırına verilen enerjinin büyük kısmı duvar, kapı ve izolasyon gibi yapılar tarafından absorbe edilmekte ve çevreye kayıp olarak gitmektedir. Bu fırınların yüksek  $\epsilon$  değerine sahip kaplamaları ısı radyasyonu absorbe etmekte, ısı köprü ve taşınımı olan kaçaklarla kayıp etmektedir. Evsel fırınların ısı verimlerinin iyileştirilmesi, enerji tasarrufuna katkıda bulunmakla beraber meydana gelen pik güç talebini de azaltacaktır. Bu amaçla yüksek verimli, düşük yayma katsayısına sahip prototip fırın tasarımı Şekil 1. 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. 1 Düşük yayma katsayısına sahip fırın prototipi

Prototip fırında, pişirme odasının yalıtılması için 0,15 mm kalınlığında iki alüminyum folyo arasına yerleştirilmiş 25 mm kalınlığındaki cam elyafı kullanılmıştır. Fırın duvarlarından 5 mm mesafede olacak şekilde, takılıp çıkarılabilen düşük yayma

katsayısına sahip paneller (3) takılmıştır. Bu paneller yayma katsayısı ( $\epsilon$ )  $0,07\pm 0,01$  olan alüminyum alaşımından üretilmişlerdir. Pişirme bölümünden çevreye ısıl köprüden dolayı oluşan ısı kaybını en aza indirebilmek için düşük ısı iletimine sahip PTFE kullanılmıştır. Kullanılan ısıtıcı 6,35 mm çapındadır.

Karşılaştırma için Electrolux firmasına ait Juno JEH 500E fırını tercih edilmiştir. Fırınların enerji tüketim değerleri üç ayrı deney standardına (CENELEC-1984, ANSI-1986 ve CENELEC-1998) göre değerlendirilmiştir.

CENELEC-1984 deney standardı ile sürekli rejimde çalışma durumunda, boş bir fırının saatte harcadığı enerji tüketimi belirlenmektedir. Fırının kullanılabilir hacminin geometrik merkezine yerleştirilen termoeleman aracılığıyla sıcaklık ölçülmektedir. Fırın sıcaklığındaki artış doğal taşınım durumunda  $180\pm 2$  K ve zorlanmış taşınım durumunda  $155\pm 2$  K olacak şekilde ayarlanmaktadır. Fırın, sürekli rejim sağlandıktan sonra en az iki saat çalıştırılır ve enerji tüketimi ölçülür.

Düşük yayma katsayısına sahip fırının sürekli rejimdeki enerji tüketimi, Juno fırının yaklaşık olarak %43'ü kadardır ve ısıl verim yaklaşık %10 daha fazladır.

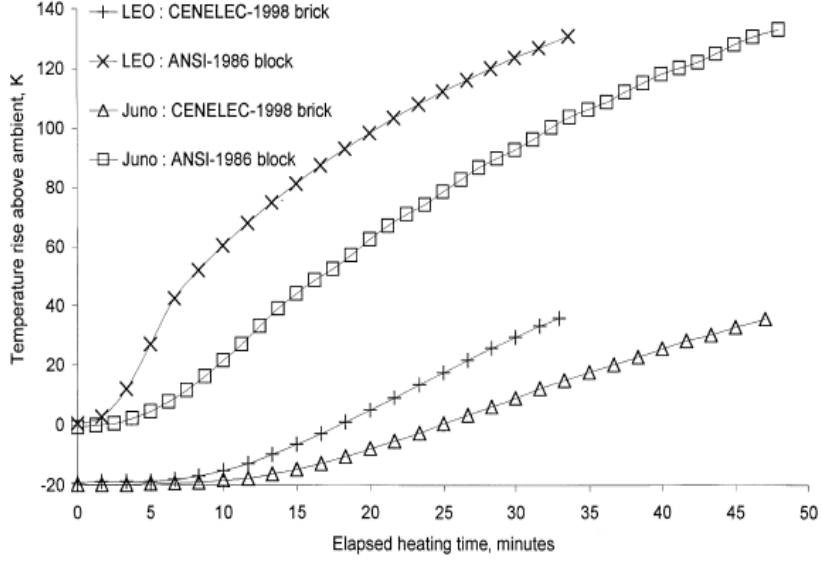
ANSI-1986 test prosedürü ise fırının ısıl verimini hesaplamak için bir yöntem sağlamaktadır. Test yükü olarak kullanılan silindirik alüminyum blok, fırın merkezine yerleştirilir ve istenilen sıcaklık değerine kadar yükseltilir. Doğal ve zorlanmış taşınım çalışma şartları için fırın sıcaklığındaki artış  $181\pm 3$  K olacak şekilde ayarlanmaktadır.

ANSI-1986 standardına göre, düşük yayma katsayısına sahip prototip fırında test süresinin %63 daha az olduğu bulunmuştur.

CENELEC-1998 standardı, Avrupa'nın enerji etiketi uygulamalarının kolaylaştırılmasını sağlayan yeni test prosedürüdür. CENELEC-1998 standardına göre, yapısı itibariyle yiyeceği simüle eden, su emdirilmiş bir tuğla kullanılmaktadır. Fırın kullanılabilir hacminin geometrik merkezine yerleştirilen tuğla, merkez sıcaklık artışı 55 K olana kadar fırın içinde tutulur ve bu süre içerisinde enerji tüketimi ölçülür.

CENELEC-1998 standardı göz önüne alındığında, Juno fırın 977 Wh enerji tüketimi ve 51 dakika pişirme zamanına sahip iken; düşük yayma katsayısına sahip fırın 624 Wh enerji tüketimi ve 34 dakika pişirme süresine sahiptir.

ANSI-1986 ve CENELEC-1998 standartlarına göre yüklerin Juno ve düşük yayma katsayısına sahip fırındaki ısınma eğrilerinin yer aldığı Şekil 1. 2 incelendiğinde, düşük yayma katsayısına sahip fırında yer alan yüklerin daha hızlı şekilde ısındığı görülmektedir.

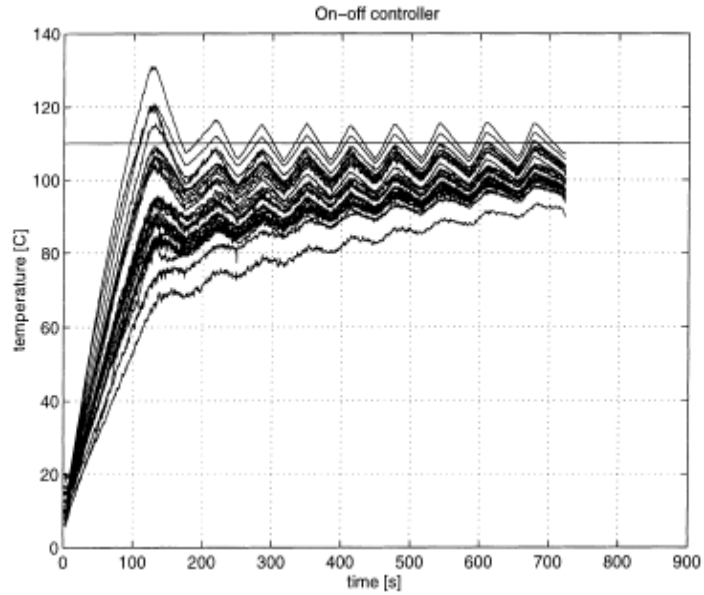


Şekil 1. 2 ANSI-1986 ve CENELEC-1998 standartlarına göre yüklerin ısınma eğrileri

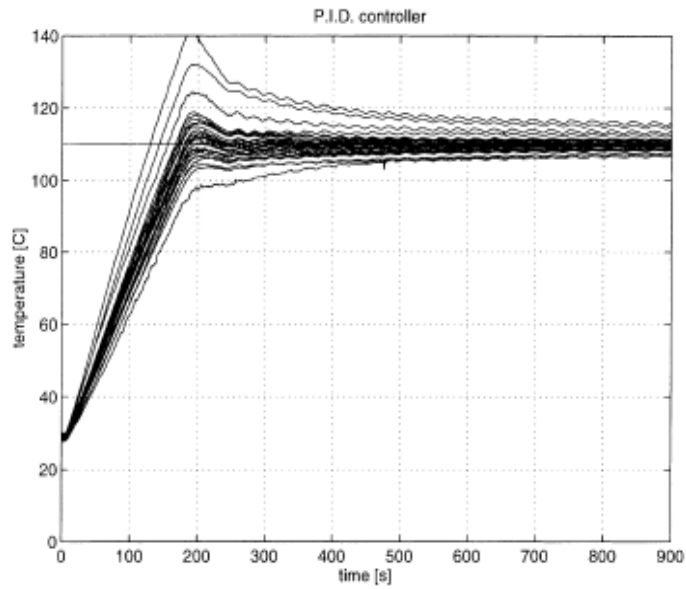
Sonuç olarak, yüksek yayma katsayılı fırınlarla düşük yayma katsayısına sahip fırınlar arasında kıyaslama yapıldığı zaman, düşük yayma katsayısına sahip fırınların enerji ve zaman açısından daha verimli oldukları, aynı zamanda daha az enerji tüketimine sahip oldukları söylenebilir.

Ryckaert vd. [2] yaptıkları çalışmada fırındaki sıcaklık kontrol yöntemini incelemişlerdir. Fırın içerisindeki ısı performans daha ileri seviyede kontrol algoritmalarının uygulanması ile iyileştirilebilir. Deneysel sonuçlar, fırın içi dinamik davranışının PID uygulaması ile önemli bir şekilde değiştiğini göstermiştir. Bu amaçla, fırın içi ana sıcaklık dinamiğini temsil eden matematiksel bir model tanımlanmış ve bu model doğrulanmıştır. Daha sonra bu matematiksel model kontrol parametrelerinin ayarlanması için kullanılmıştır. Fırın içi sıcaklık kontrolü için uygulanan bu yaklaşımın oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar mevcut bir fırın ile karşılaştırılmıştır.

PID, endüstride kullanılan klasik bir geri besleme kontrolörüdür. 110 °C set sıcaklığı için on/off kontrol sistemi ile PID kontrolün farklı noktalandaki sıcaklık ölçümleri Şekil 1. 3 ve Şekil 1. 4'te gösterilmektedir.



Şekil 1. 3 110 °C set sıcaklığında on/off kontrolü için farklı noktalardaki sıcaklık ölçümleri



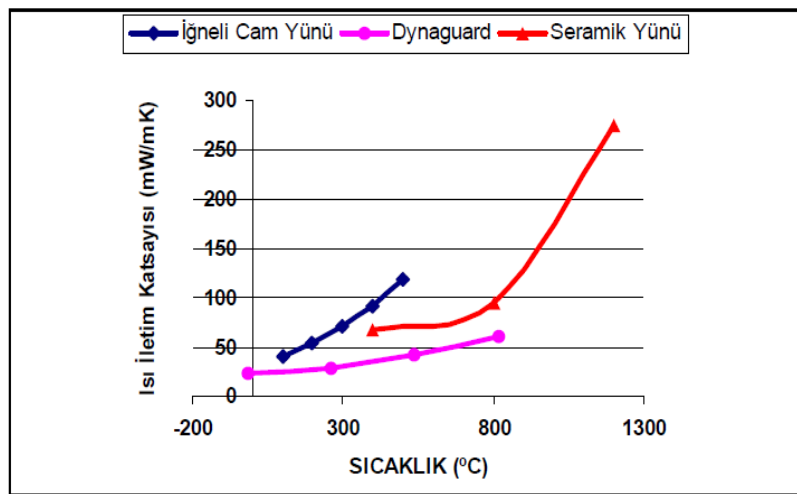
Şekil 1. 4 110 °C set sıcaklığında PID kontrolü için farklı noktalardaki sıcaklık ölçümleri  
PID kontrol ile elde edilen sıcaklığın on/off kontrol sistemine göre daha homojen olduğu görülmektedir (Şekil 1. 3 ve Şekil 1. 4). Ayrıca fırın içerisindeki ortalama sıcaklık, ayarlanan sıcaklık değeri ile daha uyumludur.

Geleneksel on/off kontrol sistemi yerine PID kontrolörü kullanılması, hem verim hem de fırın içerisinde homojen sıcaklık sağlanması açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

Bozgeyik [3] tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında, ev tipi elektrikli fırınlarda pişirme kalitesini olumsuz yönde etkilemeyecek enerji tüketimi azaltma yöntemlerinin deneysel olarak etkileri araştırılmış ve fırınların enerji tüketimi irdelenmiştir.

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

Farklı türlerde yalıtım malzemeleri ve bu yalıtım malzemelerinin bazılarının farklı kalınlıklarda denenmesiyle, yalıtım malzemesinin ve kalınlığının enerji tüketimine olan etkisi araştırılmıştır.



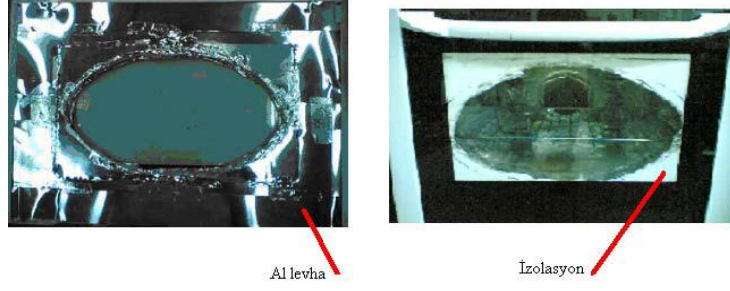
Şekil 1. 5 Yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayılarının sıcaklıkla değişimi

Yalıtım malzemeleri içerisinde en iyi sonuç içneli cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemesi ile alınmıştır. Fırınlarda yüksek sıcaklıkta çalışmaları için, kullanılan ısı iletim malzemesinin ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve özgül ısı değerlerinin sıcaklıkla fazla artmaması enerji tüketimi açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. ısı iletim katsayısı daha küçük ve artan sıcaklıkla daha az değişen Dynaguard yalıtım malzemesi, enerji tüketiminde olumsuz sonuç vermiştir (Şekil 1. 5). Bunun sebebi, yalıtım malzemesinin yoğunluğunun ( $\rho \approx 352 \text{ kg/m}^3$ ) yüksek olmasıdır. Fırın, çalışma esnasında yüksek sıcaklıklara çıktığı için bunun gibi yalıtım malzemeleri ağırlıklarından dolayı olumsuz ısı kütlesi oluşturmaktadır.

Yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılması ile fırının enerji tüketimi azalmaktadır. içneli cam yünü, sarı cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemelerinin iki farklı kalınlıktaki enerji tüketimi sonuçlarına bakıldığında, kalınlık arttıkça fırının enerji tüketiminin azaldığı görülmektedir. Kalınlığın belirli bir değerden fazla olması, fırın üzerinde olumsuz ısı kütlesi oluşturacağından enerji tüketimindeki azalma beklenenden az olacaktır.

Isıl köprü kayıpları, fırınlarda enerji tüketimini arttırmaktadır. Fırın sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, ısı köprü kayıpları fırınlarda o derecede önemli olmaktadır. Fırın şasisinin bağlantı vidalarına plastik rondela yerleştirilmesi, ısı köprü oluşturacak bölgelerin yalıtımla sarılması gibi çeşitli yöntemler bir araya getirilerek değişik konfigürasyonlar denenmiştir. Alt ve üst ısıtıcının beraber çalıştığı statik çalışma durumunda yapılan deneylerde, enerji tüketiminde %2,4 iyileşme olmaktadır.

Alüminyum levha ile birlikte 30 mm kalınlıkta içneli cam yünü yalıtım malzemesi kullanılarak, fırının iç görünümünü engellenmeden kapak cam yüzey alanının azaltılması sağlanmıştır. Kullanılan alüminyum levha, fırın içine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Yalıtım malzemesinin alüminyum levhanın arkasında bulunduğu yerleşim Şekil 1. 6'da gösterilmektedir.

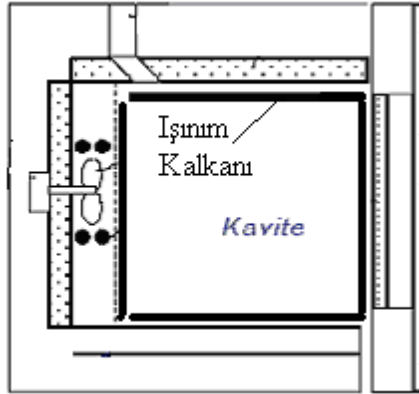


Şekil 1. 6 Kapakta alüminyum levha ile yalıtımın birlikte uygulanması

Bu uygulama ile enerji tüketimi ~20 Wh azalmıştır. Alüminyum levha ile ısının tekrar fırın içerisine yansıtılması sağlanırken, yalıtım malzemesi kullanılarak fırın pişirme bölgesinden çevreye olan ısı kaybı azaltılmıştır.

Fırınların enerji tüketimini azaltmak için kullanılan diğer bir yöntem ise kapakta üçüncü camın kullanılması ile ilgilidir. Üçüncü cam sayesinde, fırın içine bakan sıcak iç cam yüzeyinden kapak en dış camına doğru taşınım yolu ile gerçekleşen ısı transferi engellenmektedir. Ancak cam sayısının 4 olması ile enerji tüketiminde etkili bir azalma sağlanamamıştır.

Fırınlarda ışınım kalkanları kullanılmasıyla, ısıtıcıdan yayılan ısının yiyecek üzerine gitmeyen kısmı, bu yüzeyler vasıtasıyla tekrar yiyecek üzerine gönderilmektedir. Bu kalkanlar, yansıtıcı özelliğe sahip olduğundan dolayı daha az ısı yutar ve üzerine gelen ısıyı yansıtır.



Şekil 1. 7 Işınım kalkanı kullanılan fırının şematik görünüşü

Fırın pişirme bölgesinin alt, üst, sağ ve sol kenarlarında ışınım kalkanı kullanılmasıyla, turbo modunda çalışma durumunda fırının enerji tüketiminde ~%6,5 azalma görülmüştür.

Fırınlarda ısıtıcıdan yayılan ısının bir kısmı yiyecek üzerine gönderilirken, diğer bir kısmı fırın duvarları tarafından yutulur veya ısı kaybı olarak çevreye kaçar. Isıtıcılardan yayılan ısının fırın duvarları tarafından yutulmasını engellemek ve çevreye kaybı azaltmak için, ısıtıcılar üzerinde reflektör malzemeler kullanılabilir. Bu reflektör malzemelerin yansıtıcı özelliği yüksektir, yani yayma katsayısı düşüktür.

Reflektör olarak alüminyum levhanın kullanıldığı durumda fırının enerji tüketimi ~30 Wh azalmaktadır. Çinko kaplı sac malzeme kullanıldığı durumda ise fırının enerji tüketiminde herhangi bir değişiklik görülmemiştir.

Hancılar [4] tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında da elektrikli fırınlarda enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik patent araştırmaları sonucunda elde edilen bilgiler, teorik hesaplamalar ve deneysel sonuçlar ile desteklenmiş ve çalışmada gamın tamamını temsil edecek özellikteki ankastre elektrikli fırın modeli için enerji tüketimi %30 azaltılmıştır.

Çalışma için seçilen fırında mevcut durum analizi yapılarak, fırın yalıtımı, ön kapak yapısı ve infiltrasyon kayıpları detaylı olarak incelenmiştir. Seçilen fırında yalıtım kalınlığının artırılması, ön kapak cam sayısının artırılması ve infiltrasyon kayıplarının azaltılması amacıyla çalışılabileceği belirlenmiştir.

Yalıtımın etkisini incelemek için fırın duvarlarından olan ve ön kapak yapısının etkisini inceleyebilmek için ön kapaktan olan ısı kayıplarını kolay ve hızlı bir şekilde hesaplayabilmek amacıyla matematiksel model oluşturulmuştur.

Üç farklı yalıtım kalınlığı için hesaplanan değerler karşılaştırılarak, yalıtım kalınlığının artırılmasının ısı kayıplarına olan etkisi incelenmiştir. Emaye kaplı sac ve iğneli cam yünü sarılmış fırın duvarları için ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır.

(1.1) eşitliği yardımıyla emaye kaplı sac ve cam yünü sarılmış fırın duvarları için ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır.

$$K_{du\ var} = 1 / \left[ \frac{l_{sac}}{k_{sac}} + \frac{l_{emaye}}{k_{emaye}} + \frac{l_{camyünü}}{k_{camyünü}} \right] \quad (1.1)$$

Fırın duvarlarının ısı iletim katsayılarının, yalıtım kalınlığına göre değişimi Çizelge 1.1'de görülmektedir. Yalıtım için kullanılan cam yününün kalınlığı 0,02 m'den 0,03 m'ye

arttırıldığında, fırın duvarlarından olan ısı kayıpları %26 azalmaktadır. Yalıtım kalınlığı 0,02 m'den 0,04 m 'ye arttırıldığında ise ısıl kayıplardaki azalma %42 olmaktadır.

Çizelge 1. 1 Farklı yalıtım kalınlıkları için fırın duvarlarının ısı iletim katsayıları

Yalıtım kalınlığı (m)	K <sub>duvar</sub> (W/m <sup>2</sup> K)
0.02	2.050
0.03	1.367
0.04	1.025

Deney sonuçlarına göre yalıtım kalınlığının 20 mm'den 40 mm'ye çıkartılmasının enerji tüketimini %24, ön kapakta çift cam yerine 3 cam kullanımının ise enerji tüketimini %5 iyileştirdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, yalıtım kalınlığının arttırılması ve üç camlı ön kapak uygulaması ile üzerinde çalışılan elektrikli ankastre fırının ortalama enerji tüketim değeri %30 azaltılmıştır.

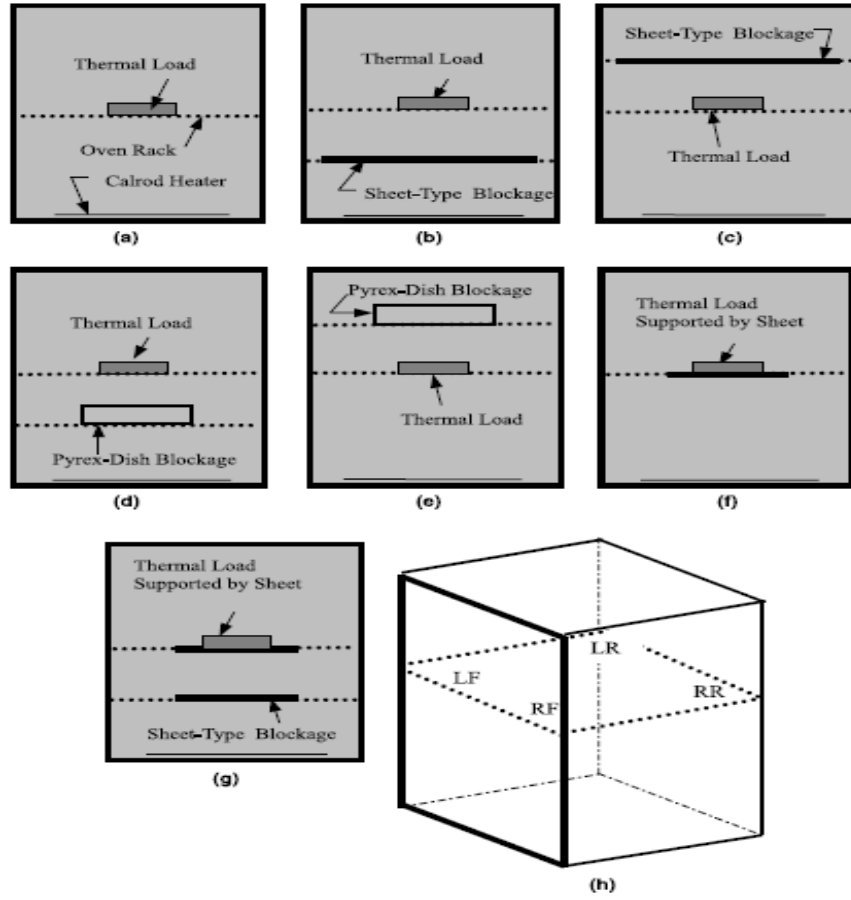
Sparrow ve Abraham [5] yaptıkları çalışmada fırın içindeki ısı transferini deneysel olarak derinlemesine incelemiş, siyah ve parlak yüzeye sahip ısıl yükler için ısı transfer katsayılarını ölçmüşlerdir. Bununla birlikte fırın içerisine yiyecek yerine konulan alüminyum bloğun sıcaklık değişimi, fırın içerisine yerleştirilen sulu ve susuz ek yüklerin konumları değiştirilerek gözlemlenmiştir. Ek yüklerin susuz olması durumunda hafif bir değişim olurken, daha büyük etki ek yüklerin sulu olması durumunda gerçekleşmiştir. Diğer taraftan yapılan kapsamlı çalışma, yükün fırın içerisinde farklı pozisyonlarda olmasının ısıl yük üzerinde düşük etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmada belirlenen koşullar için ısı transfer katsayıların ölçülmesi ile beraber bu koşulların ısıl yükün ısınma hızı üzerindeki etkisi de belirlenmiştir. Ayrıca, fırın içerisinde ve duvarlarda sıcaklık dağılımı ölçümleri yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan fırının alt kısmında 1 adet ısıtıcı bulunmaktadır. Yükün yüzey koşulları, siyah boyalı, parlak alüminyum folyo kaplama veya düz olmaktadır. Bu yüzeylerin  $\epsilon$  değerleri sırasıyla 0,9, 0,05 ve 0,15 olmaktadır. Ek yük olarak tepsi ve borcam kullanılmıştır.

Isı transfer katsayıları (1.2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\bar{h} = Q / A(T_{set} - T_{yük}) \quad (1.2)$$

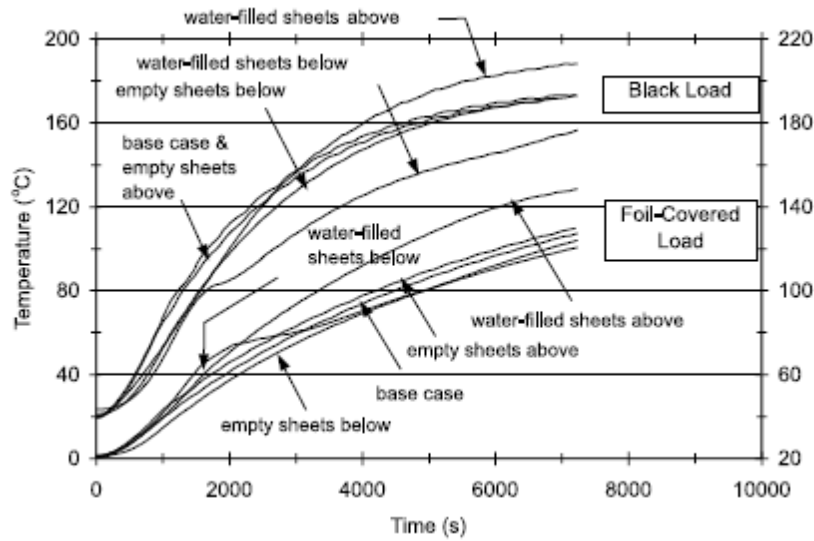


Şekil 1. 8 İncelenen geometrik durumlar

Isıl yükün üstüne ve altına yerleştirilen yükler, ek yüklerin kapsamı ve yapısı, ek yüklerin sulu/susuz olması, birden fazla ek yükün bulunması, yükün tepsi veya ızgara üzerine yerleştirilmesi gibi farklı durumların incelendiği geometriler Şekil 1. 8’de gösterilmektedir.

İncelenen durumlarda, yüksek  $\epsilon$  değerine sahip ısıl yükün diğer durumlara nazaran daha yüksek etkin ısı transfer katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bu bulgular, hem ışınım hem de taşınımın ısı transfer katsayısının sayısal değerine katkıda bulunduğu eğilimini güçlendirmektedir. Düşük  $\epsilon$  değerinin olduğu parlak yüzey ve düz yüzey için ısı transfer katsayısı değerleri  $6-11 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$  olmaktadır. Yüksek yayma katsayısına sahip ısıl yük için etkin ısı transfer katsayısı  $\sim 20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ ’dir. Siyah yüzeye sahip yükün en düşük ısı transfer katsayısı değeri  $14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$  olan durumda, geometrik olarak merkezlenen yükün altında su ile doldurulmuş ek yük bulunmaktadır.  $26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$  ile en

yüksek değerin elde edildiği durumda ise duvarları alüminyum folyo ile kaplanmış fırın içerisinde yük, geometrik olarak merkezlenmiştir.



Şekil 1. 9 Çeşitli ek yük durumlarında ve ek yüklerin sulu/susuz olmasına bağlı olarak yükün ısınma hızı

Isıl yükün, siyah ve parlak yüzeye sahip durumu için çeşitli ek yük durumlarında ve ek yüklerin sulu/susuz olmasına bağlı olarak ısınma hızı Şekil 1. 9'da gösterilmektedir. Yüzeyin siyah olması, fırın içerisinde ek yük olup olmamasına daha duyarlıdır. Temel durum ile karşılaştırsak, ısıl yükün üzerinde susuz ek yükün olması ısınma hızını hafif şekilde arttırmakta; susuz tepsinin aşağıda olması ise azaltmaktadır. Bununla birlikte ısıl yükün üstüne veya altına ek yük yerleştirilmesi, yükün ısınma karakteristiğinde önemli değişikliklere neden olmamaktadır. Diğer taraftan ek yük su içerdiğinde, önemli etkiler gözlemlenmektedir. Özellikle sulu ek yük, yükün altına yerleştirildiğinde daha düşük ısınma hızı elde edilirken; sulu ek yük, yükün üst kısmına yerleştirildiğinde bunun tersi etki ortaya çıkar. Bu davranışlar, fırın kontrol sıcaklık sensörünün ek yüklerden ve sensörün altına yerleştirilen ek yüklerin içindeki suyun kaynamasından oluşan sınır tabakadan etkilenmesi ve yüke olan ısı transfer mekanizmaları ile ilgilidir.

Deneyler, farklı bir ek yük olan borcam kabı ile de yapılmıştır. Ek yük olarak borcamın bulunması, tüm durumlar için yük sıcaklığında azalmaya neden olmaktadır.

Yükün fırın içerisindeki yerleşimi ve bu durumun ısıl davranışa olan etkisi de çalışma içerisinde incelenmiştir. Bu çalışma için 15 farklı konum seçilmiştir. Genel olarak siyah

yükün konumu, ısınma hızı belirlenirken başlıca etken değildir. Folyo kaplı yük için ise konumun etkisi biraz fazladır.

### 1.1.2 Patent Özeti

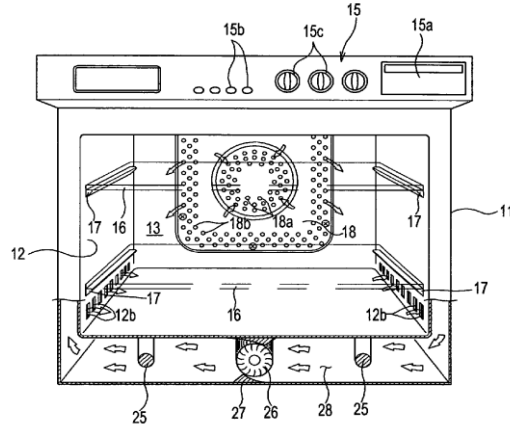
Enerji tüketiminin azaltılmasının üreticiler için giderek önem kazanması ve uluslararası yönetmeliklerin enerji sınıf limitlerini aşağı çekme eğilimleri sebebiyle, fırının enerji tüketiminin azaltılması konusunda oldukça fazla çalışma yapıldığı görülmektedir.

Fırında enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik incelenen patent başvuruları, yapısal ve algoritma çalışmaları olarak iki gruba ayrılabilir.

#### 1.1.2.1 Yapısal Çalışmalar ile İlgili Patentler

Fırın içerisinde yapısal olarak yapılacak değişiklik veya yenilikler ile fırın enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Fırından olan ısı kaybının azaltılması, fırın içerisinde sıcaklığın homojen olarak dağıtılması gibi çalışmalar enerji tüketiminde iyileşme sağlamaktadır.

2006 yılında Samsung firmasına ait olarak yayımlanan EP1674796 [6] numaralı patentte, alt ısıtıcıların arasına teğetsel fan yerleştirilmiştir. Alt ısıtıcının fan ile birlikte kullanımı ile alt ısıtıcının verimi artmakta, fırın enerji tüketimi azalmaktadır.



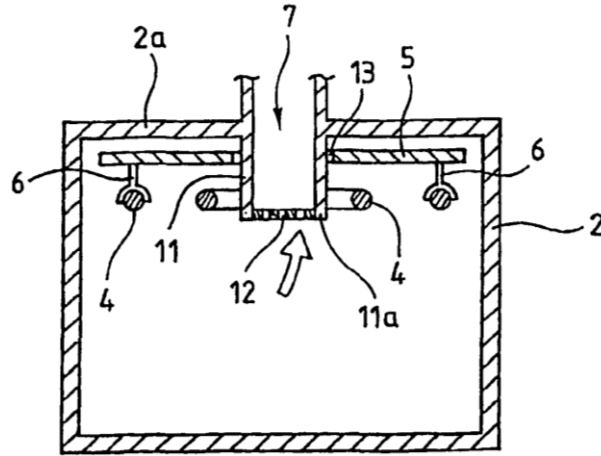
Şekil 1. 10 EP1674796 numaralı patentin önden görünüşü

Dış muhafaza ile pişirme odası arasına yerleştirilen alt ısıtıcılar (25), pişirme odası ile alt ısıtıcılar arasına yerleştirilen fan (26) ve pişirme odasındaki hava akışını sağlayan hava kanalı Şekil 1. 10'da gösterilmektedir. Pişirme odası ile hava kanalı arasındaki hava

akışı, şasinin (12) karşılıklı duvarlarının alt kısımlarında yer alan delikler aracılığıyla sağlanmaktadır.

Alt ısıtıcılar tarafından üretilen ısının bir bölümü iletim yoluyla şasinin alt bölümüne, ısının diğer bölümü de pişirme odası ve hava kanalı arasında hava sirkülasyonu sağlanarak taşınım yoluyla pişirme odasına iletilmektedir. Alt ısıtıcılar tarafından üretilen ısının pişirme odasına iletim ve taşınım yoluyla transfer edilmesinin neticesinde, hızlı bir ısı transferi sağlanarak pişirme süresinde önemli ölçüde azalma olmaktadır. Ayrıca pişirme odasına kayıpsız olarak büyük ölçüde ısı transfer edilmesiyle ısı verim artmakta ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

2005 yılında Brandt firmasına ait olarak yayımlanan EP1176366 [7] numaralı patent, üst ısıtıcıdan yayılan ısının etkin olarak kullanılabilmesi için fırın içerisinde reflektör kullanımı ile ilgilidir.



Şekil 1. 11 EP1176366 numaralı patentin yan kesit görünüşü

Yansıtıcı plaka (5), ısıtıcıya (4) bağlıdır (Şekil 1. 11) ve fırının üst kısmından olan ısı kaybını azaltmaktadır. Reflektörün şasiye herhangi bir bağlantı içermemesi sebebiyle ısı köprü oluşmadığından enerji kaybı önlenmiş olmaktadır. Reflektörün kullanılmasıyla enerji tüketiminde de azalma sağlanabilmektedir. Reflektör, ısıtıcıdan yayılan radyasyonu fırın içerisinde her yere yansıtabilecek uzunluktadır.

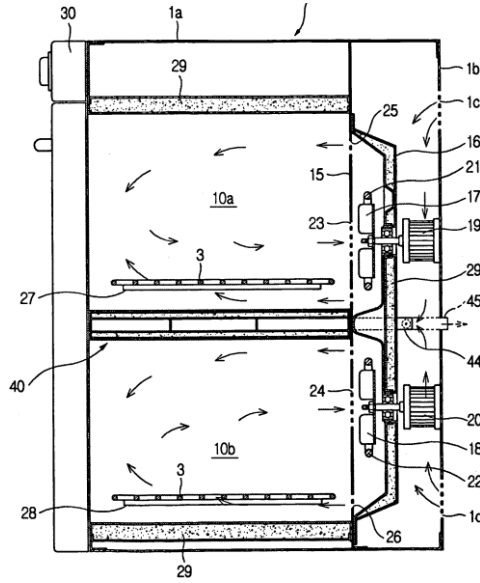
Reflektör, ısıtıcıdan dönen radyasyonu yiyeceğe doğru yönlendirmekle beraber şasinin (2) üst duvarında (2a) sıcaklığın çok fazla yükselmesini de önlemektedir. Paslanmaz yapıdan oluşan reflektörün yayma katsayısı 0,5'tir.



Havalandırma fanı kapatıldığında ventürü etkisi artık olmayacağından, buhar veya ısı çıkışı duracaktır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, buhar çıkışındaki artışın ısı transfer katsayısını düşürdüğü kanıtlanmıştır. Diğer bir deyişle buharın var olması, yiyecek yüzeyindeki (enerji verimliliği test koşullarında tuğla yüzeyinde) ısı transferinin artmasını sağlamaktadır. Bu şekilde ısı kaybı azaltılabilmektedir.

Söz konusu buluş, enerji verimliliğini çok fazla kaybetmeden buhar çıkışının nasıl optimize edilebileceği ile ilgilidir. Buluşun diğer amacı ise fırındaki estetik parçaları ve elemanları düşük sıcaklıkta tutmaya ve enerji verimini kaybetmeden soğutma kapasitesini optimize etmeye olanak sağlayan, soğutma fonksiyonuna bağlı bir havalandırma sağlamaktır.

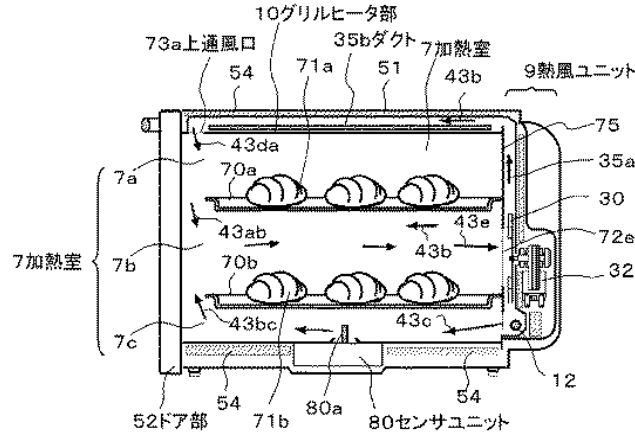
2009 yılında Samsung firmasına ait olarak yayımlanan EP1731844 [9] numaralı patent, pişirme odasını birden fazla bağımsız bölgeye ayıran ara bölmeli fırınla ilgilidir. Ara bölme (40), pişirme odaları arasındaki ısı transferini engellemek için ısı yalıtımlı yapıya sahiptir.



Şekil 1. 13 EP1731844 numaralı patentin yan kesit görünüşü

Her bir pişirme bölgesinde, turbo ısıtıcı ve turbo ısıtıcı ile pişirme odası arasındaki ısı transferini sağlayan turbo fan yer almaktadır (Şekil 1. 13). Birden fazla bölmede farklı sıcaklıklarda pişirme yapılmasını amaçlayan bu tasarım fırın ön ısıtma süresininin kısaltılmasını, dolayısıyla enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamaktadır.

2006 yılında Hitachi firmasına ait olarak yayımlanan JP2006017389 [10] numaralı patent, pişirme odasına yerleştirilen yiyeceğin fırının yüksek ısı verimi ile tam olarak pişirilmesi ve enerji tasarrufunun sağlanmasına yöneliktir. Fırın enerji tüketiminin azaltılması ve homojen sıcaklık dağılımı elde edilmesi amacıyla, turbo fanın hareketlendirdiği havanın bir kısmı gril ısıtıcısının üzerinden geçirilmektedir.



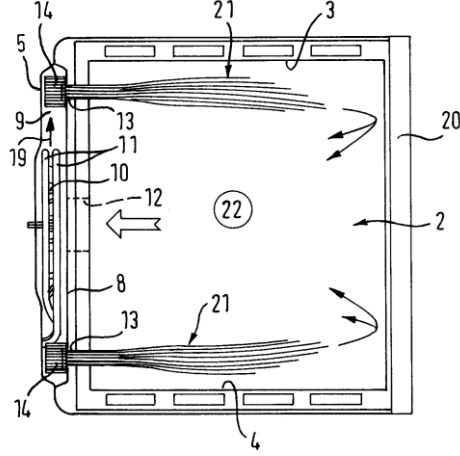
Şekil 1. 14 JP2006017389 numaralı patentin yandan görünüşü

Fırın, üst kısma yerleştirilmiş gril (10), pişirme odası içerisindeki havayı sirküle etmek için sıcak hava ünitesi (9), grilin üst bölümüne yerleştirilmiş hava kanalı (35b), grilin dış kısmını çevreleyen ve hava kanalı aracılığıyla fanın gelen havayı üfleyen hava akış deliklerinden oluşmuştur (Şekil 1. 14). Pişirme odası içerisinden emilen hava, sıcak hava ünitesinden geçerek kanallardan tekrar pişirme odasına üflenmektedir.

Gril ısıtıcısının kanaldan geçen havaya ısıyı vermesi ile fırının üst kısmından daha az ısı kaybı olacaktır. Pişirme odasına etkili sıcak hava üflenmesi ve fırının iyi bir ısı verimle ısıtılması ile enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

2008 yılında Bosch Siemens firmasına ait olarak yayımlanan WO2008148675 [11] numaralı patent, sıcak havanın fırın içerisine daha iyi yönlendirilmesi ile ilgilidir.

Turbo ısıtıcısının çalışmasıyla ısınan sıcak havanın, fan aracılığıyla fan koruma sacındaki (8) açıklıklardan ve yönlendirici elemanlar (14) aracılığıyla pişirme odasına iletilerek yiyeceğin pişirilmesi sağlanmaktadır (Şekil 1. 15). Havayı yönlendiren elemanlar (14), pişirme bölümünün (2) merkezinden ve yanal duvarlarından belirli bir mesafede girdaplar meydana getirerek sıcak havanın akışını sağlarlar.

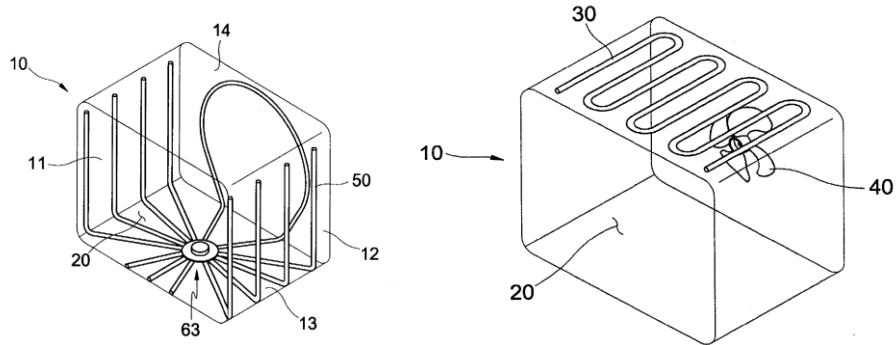


Şekil 1. 15 WO2008148675 numaralı patentin yan görünüşü

Turbo ısıtıcı ve turbo fanın etkin olduğu turbo modunda, hava üfleme açıklıklarında eğimli radyal kanatların kullanılması ile sıcak havanın pişirme odasına daha iyi bir şekilde iletilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde, fırın içerisinde daha homojen sıcaklık elde edilmektedir.

2006 yılında Samsung firmasına ait olarak yayımlanan US7038179 [12] numaralı patent, ön ısıtma süresinin kısaltılmasını sağlamaktadır.

Fırın, elektrikli ısıtıcı, yüksek frekanslı akım kullanan indüksiyonlu ısıtıcı ve bu iki üniteyi ön ısıtma sırasında aynı anda çalıştıran kontrol ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 1. 16). Yüksek frekanslı akım kullanımıyla elektrikli ve indüksiyonla ısıtmadan yararlanarak, kavitenin ön ısıtma sıcaklığına ulaşması için gerekli olan ön ısıtma süresi ve dolayısıyla toplam pişirme süresi azalmış olacaktır.



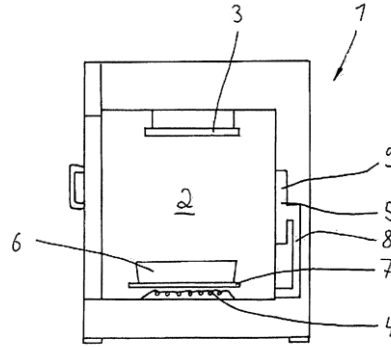
Şekil 1. 16 US7038179 numaralı patentin şematik görünüşü

### 1.1.2.2 Algoritma Çalışmaları ile İlgili Patentler

Daha düşük enerji tüketimine sahip ürünlerin elde edilme amacı, teknolojik gelişmelerle beraber son yıllarda algoritma çalışmalarına ağırlık verilmesini sağlamıştır. Firmalar, geliştirdikleri farklı algoritmalar ile daha düşük enerji tüketimine sahip ve daha kısa sürede pişirme sağlayan ürünler üzerinde çalışmaktadır. Özellikle ön ısıtma süresinin kısaltılması ve fırın içerisindeki ısıdan daha etkin bir şekilde yararlanılmasına yönelik algoritmalar dikkat çekmektedir.

2008 yılında Electrolux firmasına ait olarak yayımlanan EP2005866 [13] numaralı patent, fırın içerisindeki yiyeceğe temel olarak tüm yönlerde ışınım, iletim ve taşınım ile ısı transferinin homojen bir şekilde aktarılmasıyla ilgilidir.

Pişirme işlemi esnasındaki enerji tüketimini azaltmak için gril (3), alt ısıtıcı (4) ve turbo ısıtıcı (5) aynı anda çalışmaktadır (Şekil 1. 17). Yiyeceğin homojen bir şekilde ısıtılması ve iyi bir pişirme sonucuna ulaşmakla beraber, ön ısıtma süresini azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak da mümkün olmaktadır. Ayrıca, ısıtıcıların yüksek güçleri sayesinde kavitenin ön ısıtılmasına gerek kalmadan ve toplam pişirme süresi uzamadan pişirme işleminin gerçekleşmesi sağlanmaktadır.

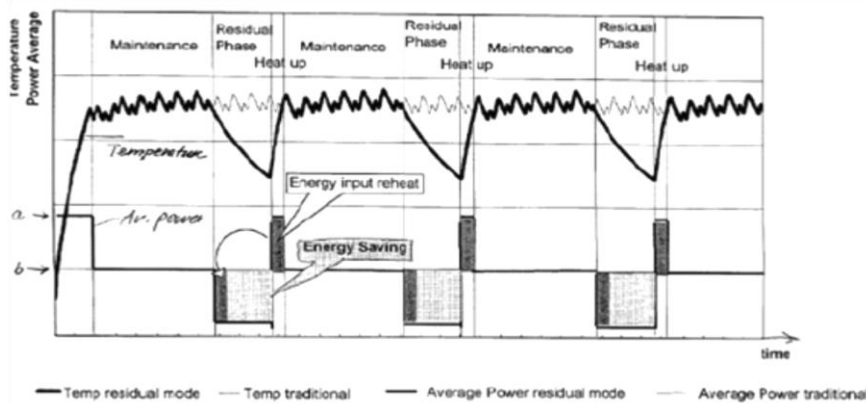


Şekil 1. 17 EP2005866 numaralı patentin yan görünüşü

Yapılan bu çalışma özellikle hazır gıdaların pişirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. 2005 yılında Electrolux firmasına ait olarak yayımlanan EP1213542 [14] numaralı patent, fırına gönderilen enerji miktarının kontrol edilmesine yöneliktir. Konvansiyonel fırınlarda pişirme işlemi tamamlandığında, güç kesilerek yiyecek alınır ve fırın soğumaya bırakılır. Fırın içerisinde özellikle metal parçalardaki enerji, pişirme işlemine katkısı olmadan odaya dağılır. Ancak bu enerji, pişirme işleminde tüketim olarak

ölçülmüştür. Bu yüzden enerji tasarrufuna gereksinim duyulmaktadır. Artık ısıdan yararlanmak için pişirme işlemi tamamlanmadan önce, güç kesilerek enerji tasarrufu sağlanabilir.

Kavite içerisinde depolanan enerji, alt sıcaklığa ulaşılan kadar kullanılmaktadır. Enerji temini kararlı çevrim sağlanarak kontrol edilir. Sonrasında sıcaklık önceden belirlenen değere düşer, kararlı hal etkili oluncaya kadar enerji beslemesi yapılır ve işlem bu şekilde kendini yineler (Şekil 1. 18). Bu şekilde kontrol ile önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır.



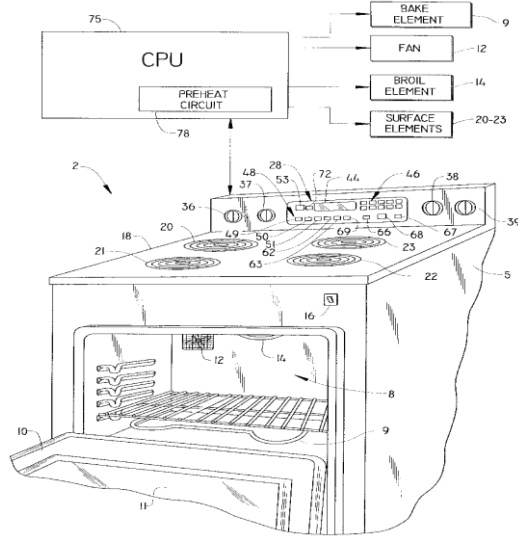
Şekil 1. 18 EP1213542 numaralı patentin güç-sıcaklık grafiği

Kontrol aygıtı, zamanlayıcı ile set sıcaklığa ulaşıldığında periyodik enerji temininin başlamasını geciktirir. Önceden belirlenen alt sıcaklık 100 °C civarındadır. Alt sıcaklığın 100 °C civarında olmasının sebebi, çoğu pişirme işleminin suyun ısınıp, buharlaşması ile gerçekleşmesidir.

2002 yılında Maytag firmasına ait olarak yayımlanan US6388235 [15] numaralı patent, hızlı ön ısıtma kontrol sisteminin bulunduğu pişirme cihazıyla ilgilidir.

Pişirme cihazında alt ısıtıcı, ızgara ısıtıcısı ve kavite içerisinde hava sirkülasyonunu sağlaması amacıyla fan bulunmaktadır. Cihaz, toplam doğrusal gücün arttırılmasına gerek kalmadan, pişirme işlemi boyunca kavitenin ön ısıtılması için gerekli zamanı kısaltmak amacıyla ızgara ısıtıcısının çalışma süresinin, alt ısıtıcıdan daha fazla olmasını sağlayan fonksiyonlardan oluşmaktadır.

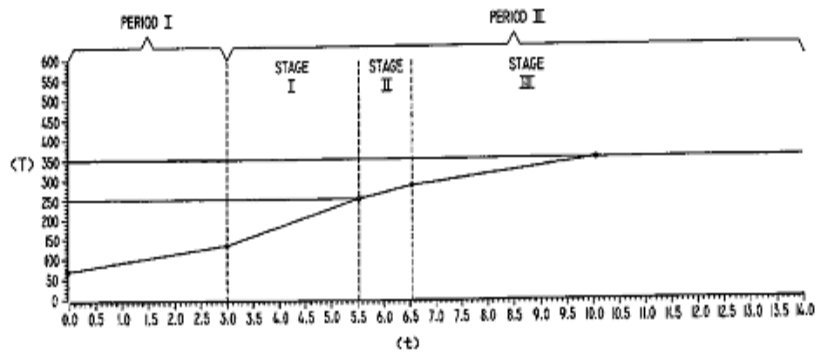
Ön ısıtma işlemi sırasında, fan sürekli olarak çalışmakta ve ısının önemli bir kısmı ızgara ısıtıcısından sağlanmaktadır. Bu şekilde bir algoritma ile ön ısıtma süresi kısalmaktadır.



Şekil 1. 19 US6388235 numaralı patent şematik görünüşü

2004 yılında Maytag firmasına ait olarak yayımlanan US6812433 [16] numaralı başka bir patente de, [15] ile benzer şekilde ön ısıtma olmaksızın pişirme işleminin gerçekleştirilmesi söz konusudur.

Pişirme işlemi, ön ısıtma olmadan iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Başlangıçta, fırın önceden belirlenen süreye kadar tam çıkış gücü kapasitesi ile çalıştırılır, sonra pişirme işlemi tamamlanana kadar her bir kademe sırasında farklı çıkış güçlerinde çalıştırılır. Böylelikle tüm pişirme işlemi boyunca ilave zamana gerek duyulmadan yiyecek tamamen pişirilmiş olmaktadır.



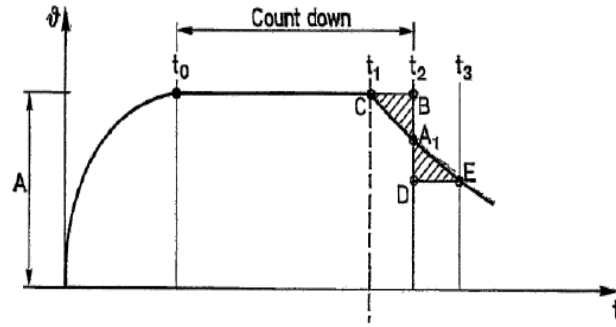
Şekil 1. 20 US6812433 numaralı patent sıcaklık-zaman grafiği

Genel olarak ön ısıtma işlemi 10-15 dakika sürmektedir. Fırın, ön ısıtma olmadığında pişirme işlemini iki kademeli olarak gerçekleştirmektedir (Şekil 1. 20). Kontrol sistemi, bir ya da daha fazla ısıtıcıyı önceden belirlenen sürede maksimum çıkış gücünde çalıştırır. Birinci periyottan sonra kontrol sistemi ısıtıcı/ısıtıcıları değişken güçlerde

çalıştırır. Tercihen ikinci periyot, yiyecek tarafından absorbe edilebilecek ısı kapasite seviyesine göre ısıtıcıların çıkış güçleri ayarlanarak birçok kademedен oluşabilir.

Bu şekilde, farklı zaman periyotlarında ısıtıcıların değişken güçlerde çalıştırılması ile ön ısıtma olmaksızın pişirme işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

1991 yılında Electrolux firmasına ait olarak yayımlanan CH678996 [17] numaralı patent, enerji tüketiminin azaltılmasıyla ilgilidir. Ocaklarda yiyeceğin ısıtılmasında, istenilen pişirme sıcaklığı önceden seçilir ve bu sıcaklık fırının ön ısıtmasının tamamlanmasıyla beraber sabit tutulur. Kısacası, seçilen pişirme süresinin tamamlanmasından önce fırının ısı kapasitesinin iyileştirilmesi ve enerji maliyetinde tasarruf sağlanabilmesi için fırına enerji temini azaltılır veya kaldırılır.



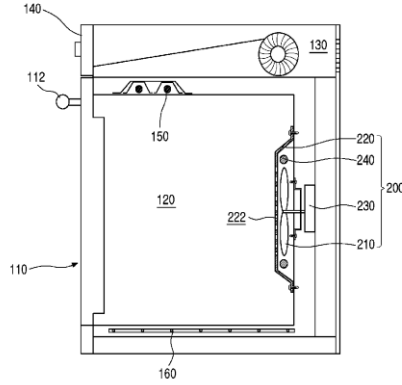
Şekil 1. 21 CH678996 numaralı patent çalışma prensibi

Yapılan çalışmada üretim kalitesini etkilemeden, pişirme süresinin sonunda fırın parçalarının ısı kapasitesinin iyileştirilmesi mümkün kılınarak, pişirmede ekonomiklik sağlanmış olmaktadır.

Belirlenen bir zamana kadar fırın içi sıcaklığının sabit kaldığı Şekil 1. 21'de görülmektedir. Fırın algoritmasına göre, zaman sayarak ısıtıcılar kapatılmakta ve güç azalmaktadır. Bunun sonucunda da fırının enerji tüketimi azalmaktadır. Burada depolanan ısıdan faydalanılmaktadır. Şekil 1. 21'de yer alan süreler için,  $t_1$  ısıtıcının kapatıldığı süreyi,  $t_2$  programlanmış pişirme süresini,  $t_3$  ise pişirmenin bittiği süreyi göstermektedir.

2009 yılında LG Electronics firmasına ait olarak yayımlanan KR20090061882 [18] numaralı patent, fırın ve fırın kontrol yöntemi ile ilgilidir. Burada, kullanım kolaylığını arttırmak için fırının çalışması sırasında turbo fanın dönme hızının ayarlanması ve bu

ayarlanan hıza göre turbo fanın çalıştırılarak enerji verimliliğinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 1. 22 KR20090061882 numaralı patent yan görünüşü

Turbo fanın dönme hızı, turbo motor devrinin kontrol edilmesiyle ayarlanmaktadır. Fanın çalışmasında düzenleme sağlayarak, enerji tüketiminde tasarruf sağlanması amaçlanmaktadır.

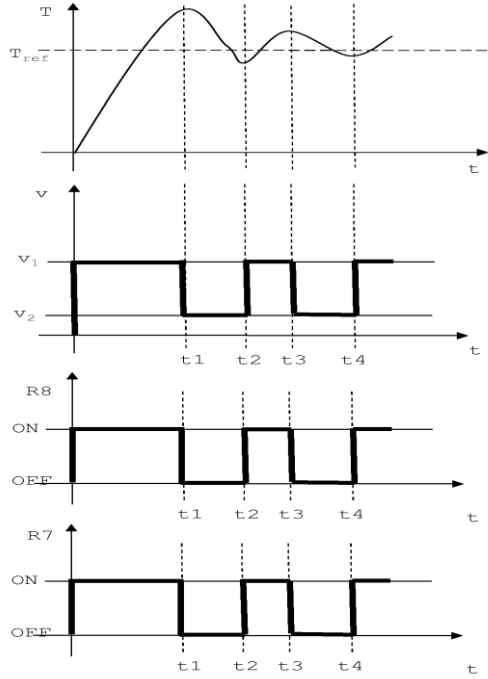
2011 yılında Indesit firmasına ait olarak yayımlanan EP2282128 [19] numaralı patent, ısıtıcının açık/kapalı durumuna göre farklı devirlerde dönen fanın kontrolü ile ilgilidir.

Turbo modunda ısıtıcı tarafından ısıtılan sıcak hava, fanın yönlendirmesiyle pişirme odasında sirküle eder. Bu açıdan fanın çalışmasının kontrol edilmesiyle, pişirme odası içerisindeki sıcaklık dağılımının iyileştirilmesi mümkün olmaktadır.

Pişirme odası içerisinde homojen sıcaklığın sağlanması ile birlikte fırının enerji verimliliği artmaktadır. Fırın ısındığında ve turbo ısıtıcı kesintisiz olarak çalıştığında, fan pişirme odası boyunca iyi bir sıcaklık dağılımı sağlayabilmek için yüksek hızda çalışmaktadır. Pişirme odasındaki sıcaklık istenilen değere ulaştığında, pişirme odası içerisindeki sıcaklığı mümkün olduğu kadar homojen tutmak önemlidir. Bu yüzden duvarlara ulaşan hava akışını ve dolayısıyla ısı dağılımını azaltmak için fan daha düşük hızda çalışmaktadır.

Fan, pişirme odası içerisinde ölçülen sıcaklık ile referans sıcaklık arasındaki farka bağlı olarak dönmektedir.  $t_0$  ve  $t_1$  zaman aralığında fan  $v_1$  hızında çalışmaktadır. Pişirme odasındaki sıcaklık  $T_{ref}$  sıcaklık değerinden büyük olduğunda, kontrol ünitesi ısıtıcıları kapatmakta ve fanı  $v_1$  hızından daha düşük olan  $v_2$  hızında çalıştırmaktadır.

Kontrol ünitesi pişirme odasındaki sıcaklığın  $T_{ref}$  sıcaklık değerinden düşük değere ulaştığını algıladığı anda ( $t_2$  zamanında), ısıtıcıları tekrar açmakta ve fan  $v_1$  hızında çalışmaktadır (Şekil 1. 23). Fanın ve ısıtıcıların kontrolü pişirme programının tamamlanmasına kadar bu şekilde devam etmektedir



Şekil 1. 23 EP2282128 numaralı patent fan-ısıtıcı çalışma grafiği

Fırın içerisindeki sıcaklığa göre fan devrinin kontrollü şekilde ayarlanması ile iyileştirilmiş bir sıcaklık dağılımı elde edilmektedir.

## 1.2 Tezin Amacı

Günümüzde enerjinin daha fazla önem kazanması, ısıtılan hacimlerin de enerji tüketiminin detaylı olarak incelenmesi ve buna bağlı olarak verimli ürün üretme gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan çalışmalarda, ürünlere ait enerji tüketim değerlerinde üretim veya ölçüm kaynaklı farklılıklar gözükmemektedir. Bu farklılıklar belli bir değerin üzerinde olduğunda, bu durum deklarasyon değerlerini de etkilemektedir. Bu açıdan tez çalışmasında, ürün ve ölçüm (deney şartları) açısından ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim saçıının sebeplerinin incelenmesi ve saçıını azaltacak önlemlerin ortaya konması amaçlanmaktadır.

### **1.3 Orijinal Katkı**

Yapılan çalışmalarda, ısıtılan hacimlerde enerji tüketim farklılığına neden olabileceği belirlenen yapısal ve deneysel parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki tekil etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapısal parametrelerden kabul kriter limitleri belirlenen turbo ısıtıcı, turbo motor ve havalandırma motorunun çalışma limitlerinde yapılacak iyileştirmeler ile mevcut enerji saçınımı %51 azaltılabilmektedir. Yalıtım, şasiden olan ısı kayıpları engellediğinden yalıtım sarımının iyileştirilmesi kayıpları azaltacağı gibi; yalıtım sarımından kaynaklanan problemler kayıpların artmasına neden olacaktır. Bu sebeple, yalıtım sarımının sıkılaştırılması ve üretimden kaynaklanabilecek problemlerin önüne geçilmesi ile enerji saçınımı azaltılabilir.

Ev tipi elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji tüketim deneylerinin gerçekleştirildiği EN 50304 standardındaki toleranslar göz önünde bulundurularak, deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki tekil etkisi belirlenmiştir. Deneysel parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki etkisi ile ilgili elde edilen veriler, ısıtılan hacimlerin deklarasyonu sırasında faydalı olacaktır. Kritik bir deklarasyon durumunda deneysel parametrelerin en kötü şartlarında elde edilen sonuçlar kullanılabilir gibi, standardın öngördüğü aralıktan yararlanmak istenildiğinde deneysel parametrelerin en iyi şartlarında elde edilen sonuçlar kullanılabilir.

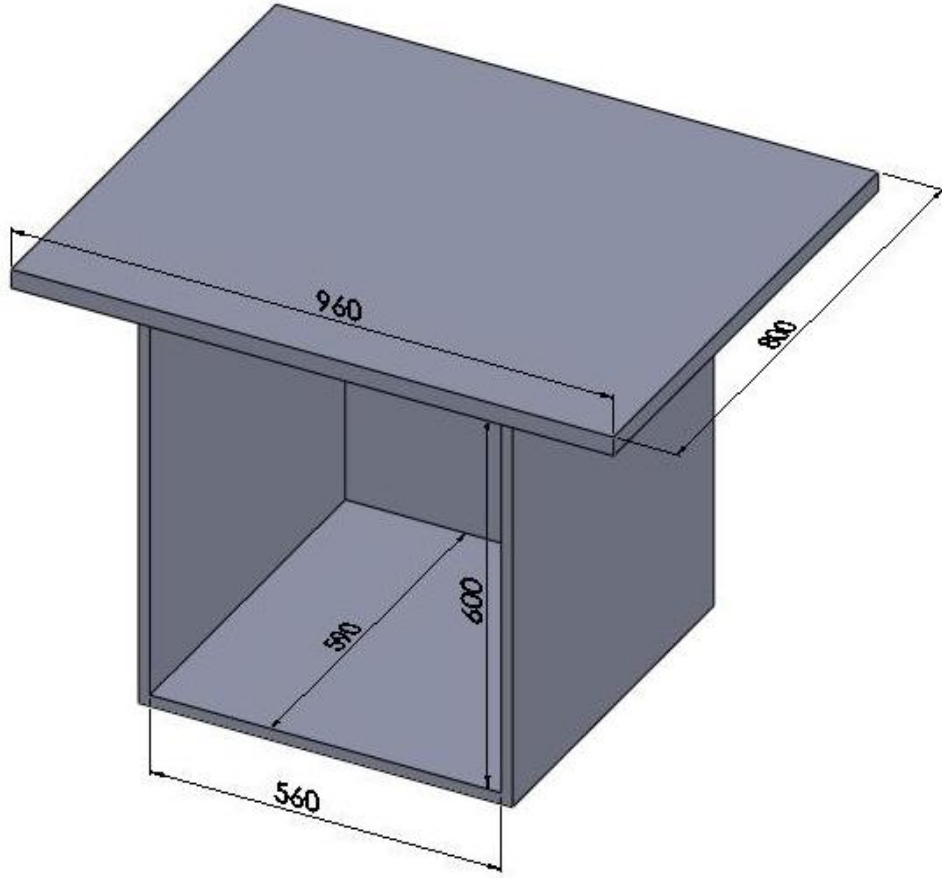
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Isıtılan hacimlerde meydana gelen enerji saçılımının belirlenmesi ve bu enerji saçılımının azaltılması amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel ve yapısal parametrelerin saçılım üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için standartlara uygun olacak şekilde, tuğla kullanılarak enerji tüketim deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar EN 50304 [20] enerji tüketim standardına uygun olacak şekilde, ölçüm düzeneklerinin bulunduğu laboratuvar içerisinde yapılmıştır. Çalışmalarda, aynı model 6 adet mekanik olarak kontrol edilen ürün kullanılmıştır. Isıtılan hacim içerisinde zorlanmış taşınım modu incelenmiştir.

#### 2.1 Deney Düzeneği

Isıtılan hacmin enerji tüketimini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen deneyler, EN 50304 [20] enerji tüketim deneyi standardına uygun şekilde, ısıtılan hacmin bulunacağı mutfak simgeleyen bir deney düzeneğinde yapılmaktadır. Deney yapılırken, ısıtılan hacim mutfaktaki mobilyayı temsil eden standart bir kabin içinde bulunmaktadır. Deney düzeneğinin ölçülerinin de yer aldığı görünüş Şekil 2. 1'de gösterilmektedir. Isıtılan hacmin deney düzeneği içerisindeki yerleşimi ise Şekil 2. 2'de görülmektedir.



Şekil 2. 1 EN 50304 standardına göre enerji tüketim deney düzeneğinin görünüşü



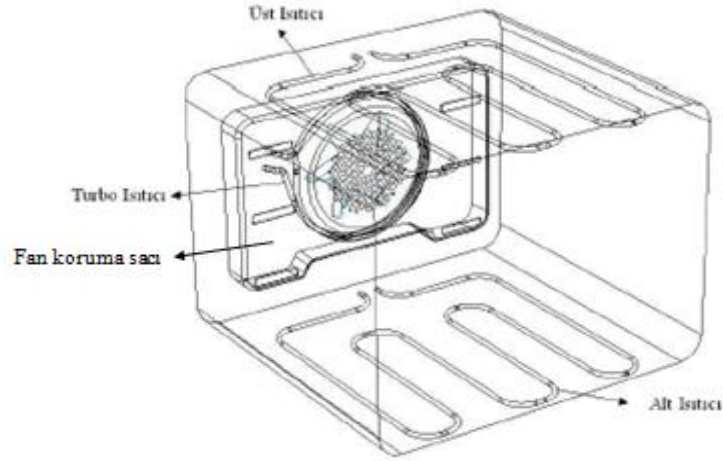
Şekil 2. 2 Isıtılan hacimle birlikte enerji tüketim deney düzeneğinin görünüşü

Yapılan deneylerde kullanılan ısıtılan hacim boyutları Çizelge 2. 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. 1 Isıtılan hacim boyutları

Boyut	Değer
Yükseklik [mm]	595
Genişlik [mm]	594
Derinlik [mm]	567
Hacim [L]	65

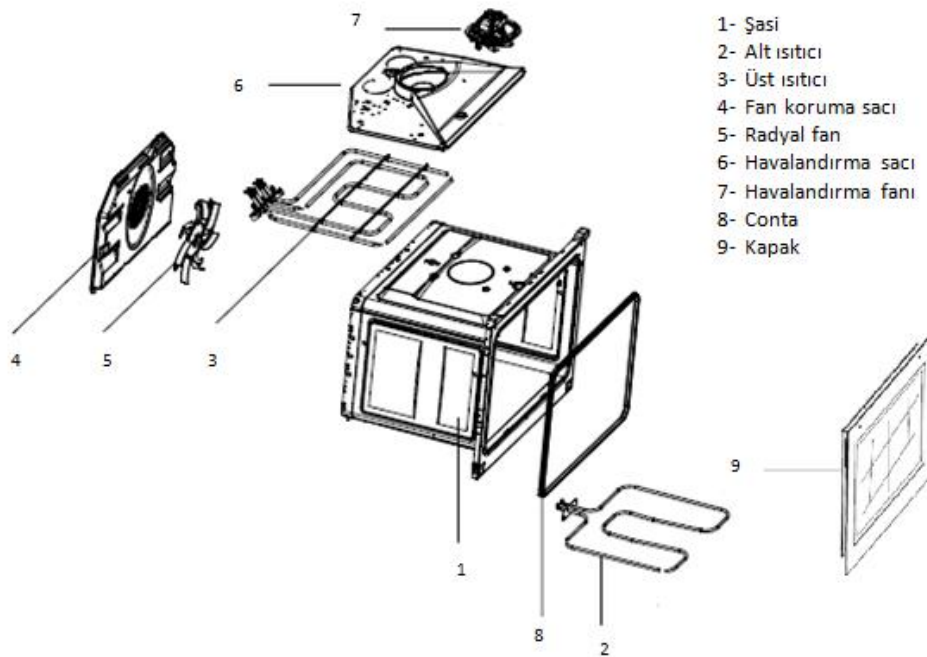
Deneylerde kullanılan ısıtılan hacimlerde bir pişirme bölgesi ve 3 adet ısıtıcı bulunmaktadır. Bu ısıtıcılarından turbo ısıtıcı olarak adlandırılan ve ısıtılan hacim pişirme bölgesinin arka tarafında bulunan ısıtıcı, pişirme bölgesinin dışındadır. Pişirme bölgesinin üst tarafına yerleştirilen üst ısıtıcı ise pişirme bölgesinin içerisindedir. Pişirme bölgesinin dışında bulunan alt ısıtıcı ise pişirme bölgesinin alt kısmında yer almaktadır. Isıtıcıların hacim içerisindeki konumu ve şasinin şematik görünüşü Şekil 2. 3'te yer almaktadır.



Şekil 2. 3 Isıtıcıların hacim içerisindeki konumu ve şasinin şematik görünüşü

Turbo ısıtıcı tarafından sağlanan güç ile ısınan sıcak havanın pişirme bölgesine gönderilmesini sağlayan ve turbo ısıtıcı ile eş merkezli bir adet radyal fan bulunmaktadır. Turbo ısıtıcı, fanı çevreleyecek şekilde yerleştirilmiştir. Radyal fan ve turbo ısıtıcı, üzerinde çeşitli noktalarında patlatmalar ve delikler bulunan fan koruma sacı (Şekil 2. 3) ile ısıtılan hacmin pişirme bölgesinden ayrılmıştır.

Isıtılan hacimde kapak ile şasi arasındaki açıklığı kapatmak ve sızdırmazlığın sağlanması amacıyla conta kullanılmıştır. Ayrıca ısıtılan hacimde, pişirme bölgesinin sağ üst köşesinde ısınmadan dolayı genişleyen havanın dışarı atılmasını sağlayan baca bulunmaktadır. Ankastre ürünlerde duvar, kapak ve komponent sıcaklıklarının belirli limitlerde kalabilmesi için havalandırma fanı kullanılmaktadır. Havalandırma fanı, ısıtılan hacim dış muhafazasındaki açıklıklardan ve kısmen bacadan emiş yapmaktadır. Hava, kontrol panosu ile ısıtılan hacim pişirme bölgesi arasındaki üfleme kanallarından dış ortama atılmaktadır. Isıtılan hacimden dış ortama olan ısı kaybını engellemek için hacmin etrafına iğneli cam yünü sarılmıştır. Isıtılan hacmin kapağı iki camlıdır ve iç camın iç yüzeyi düşük yayma katsayılı kaplamaya sahiptir. Isıtılan hacmin söz konusu elemanları ile birlikte patlatılmış görünüşü Şekil 2. 4'te yer almaktadır.

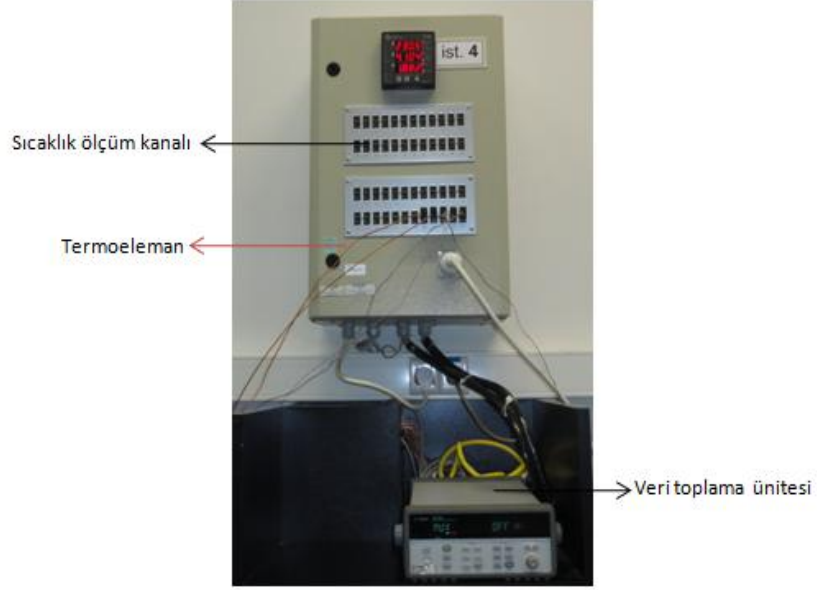


Şekil 2. 4 Isıtılan hacim gövdesi patlatılmış resmi

Isıtılan hacim, zorlanmış taşınım veya geleneksel durumda çalışabilmektedir. Deneysel çalışmaların da gerçekleştirildiği zorlanmış taşınım modunda, turbo ısıtıcı (Şekil 2. 3) ve radyal fan (Şekil 2. 4) birlikte çalışmaktadır. Geleneksel modda ise ısıtılan hacmin alt ve üst kısmına yerleştirilen alt, üst ısıtıcı (Şekil 2. 3) beraber çalışmaktadır.

Isıtılan hacimlerin enerji tüketim deneyleri için kullanılan istasyonlarda J tipi termoeleman kanalları bulunmaktadır. Bu termoelemanlar vasıtasıyla sıcaklık ölçümleri

gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık ölçüm kanallarından gelen sıcaklık değerlerinin deney boyunca takip edilebilmesi ve ölçülen bu değerlerin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için veri toplama ünitesi kurulmuştur. Sıcaklık ölçüm kanalı ve veri toplama ünitesi Şekil 2. 5'te gösterilmektedir. Isıtılan hacmin enerji tüketiminin ölçülmesi için yapılan deneyde iki adet tuğla, bir adet hacmin merkezi ve bir adet de ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla 4 adet termoeleman (Şekil 2. 5) kullanılmaktadır.



Şekil 2. 5 Sıcaklık ölçüm kanalı ve veri toplama ünitesi

Laboratuvarda test edilen cihazların, test süresince gerilimleri 3 adet regülatör ile kontrol edilmektedir.

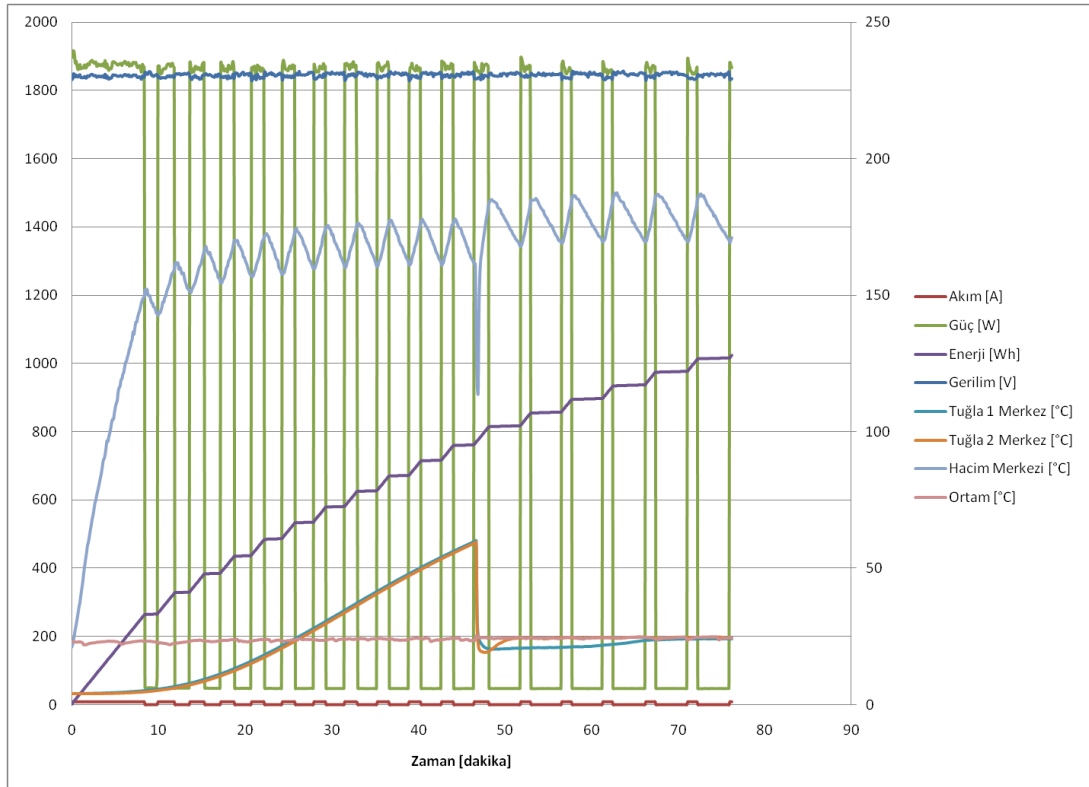


Şekil 2. 6 Regülatörlerin konumu

Regülatörlerin (Şekil 2. 6) kullanımı ile deney sırasında gerilim değerleri hassas bir şekilde ayarlanmakta ve tolerans değerleri arasında kalınması sağlanmaktadır.

Deneyler,  $23 \pm 2$  °C ortam sıcaklığında gerçekleştirilmelidir. Deneylerin yapıldığı laboratuvar içerisinde, ortam sıcaklığının bu değerler arasında kalması ve fazla değişmemesi için hava şartlandırma üniteleri kullanılmaktadır.

Deney süresince termoelemanlardan gelen veriler, veri toplama ünitesi; gerilim, akım, güç ile enerji ölçümleri de analiz cihazları aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmakta ve anlık olarak takip edilebilmektedir. Isıtılan hacimlerde yapılan standart enerji tüketim deneyi sonucunda elde edilen verilere ait grafik Şekil 2. 7'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 7 Standart enerji tüketim deneyi sonucunda elde edilen verilere ait grafik

## 2.2 Enerji Tüketim Deney Standardı

Enerjinin ilerleyen zamanla birlikte daha da önem kazanması sonucu uluslararası kuruluşlar ve standartlar, düşük enerji tüketimine sahip ürünleri ayırt edici tanımlamalar oluşturmuşlardır. Bu amaçla CENELEC tarafından yayımlanan EN 50304 numaralı standart [20], ev tipi elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji tüketiminin hesaplanması için yapılan tuğla testi ile ilgili prosedürü tanımlamaktadır.

Standarda göre yapılan deneylerde, özellikleri itibariyle yiyeceğe benzer olan özel bir tuğla kullanılmaktadır. Yapılan enerji tüketim testleri ile birlikte üretici firmaların ürünleri için deklare ettiği enerji tüketim değerleri kontrol edilmektedir. Enerji tüketimi ile beraber ısıtma fonksiyonu, incelenen ürün için hacim, ön ısıtma süresi, pişirme tepsileri kullanılabilir alanı gibi özel performans karakteristikleri de elde edilmektedir. Firmaların deklare ettiği değer, standarda göre ölçülen enerji tüketim değerinden  $\%10\pm0,040$  kWh'ten fazla olmamalıdır.

### 2.2.1 Materyal ve Yöntem

Standart enerji tüketim testinde, ısıtılan hacim içerisinde yiyecek olarak hipor adı verilen gözenekli bir yapıya sahip olan özel bir tuğla (Şekil 2. 8) kullanılmaktadır.



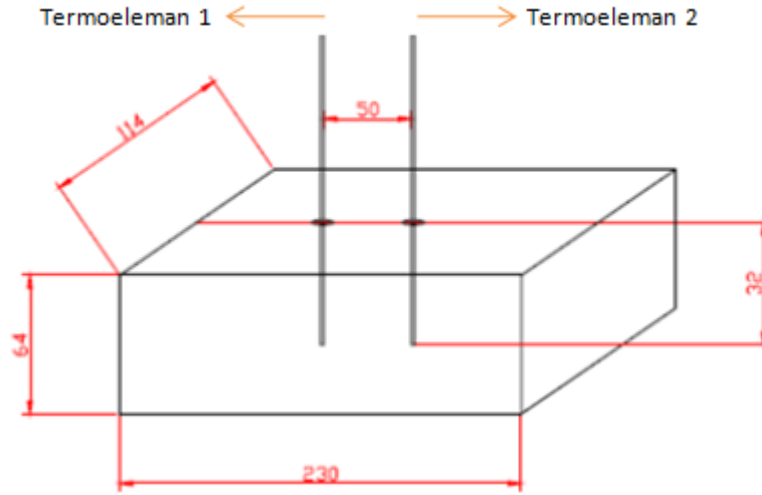
Şekil 2. 8 Enerji tüketim testinde kullanılan tuğla

EN 50304 standardına göre, evsel kullanıma yönelik elektrikle ısıtılan hacimlerde gerçekleştirilen standart enerji tüketim deneylerinde kullanılan tuğlanın sahip olması gereken özellik ve bunların toleransları Çizelge 2. 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. 2 Tuğlanın termofiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk [ $\text{kg/m}^3$ ]	550
Kuru kütlesi [g]	$920 \pm 75$
Su emme [g]	$1050 \pm 50$
Özgül ısı [ $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ]	800
Isıl iletkenlik [ $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ]	0,091
Gözeneklilik [%]	77
Yükseklik [mm]	$64 \pm 0,5$

Deney sırasında sıcaklık ölçümü yapılabilmesi amacıyla tuğla üzerinde 2 adet delik bulunmaktadır. Tuğla merkez sıcaklığının ölçümleri, 1 mm çapında çelik tüple sarılmış veya kılıflı iki adet termoeleman ile yapılmaktadır. Kullanılan termoelemanların hassasiyeti  $\pm 1,5$  K olmalıdır. Termoelemanlar tuğla üzerindeki deliklere, tuğla derinliğinin tam merkezine gelecek şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 2. 9).



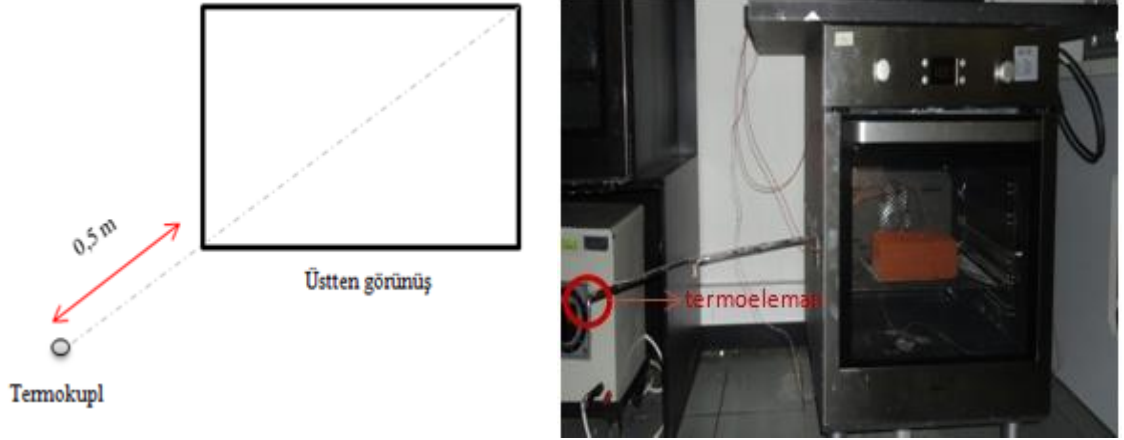
Şekil 2. 9 Tuğla boyutları ve termoelemanların konumu

Deney sırasında, termoelemanların başlangıçta yerleştirildiği konumda kalmaları sağlanmalıdır. Tuğlanın gözenekliliği sebebiyle termoelemanlar çıkarılıp takılırken, tuğla deliklerinin büyütülmemesine dikkat edilmelidir. Tuğla deliklerinin zamanla genişlemesi

ve termoelemanların okuduğu sıcaklık değerinin yanlış olmaması sebebiyle bir tuğla en fazla 20 test için kullanılabilir. Termoelemanlar, ısıtılan hacmin kapı aralığından cihaz içerisine yerleştirilmeli (Şekil 2. 10) ve kapı ek bir kuvvet uygulamadan kapatılabilmelidir.

Deneye başlamadan önce, cihaz ve komponentlerinin ortam sıcaklığında olmasına dikkat edilmelidir. Özellikle gün içinde yapılan tekrarlı deneylerde bu kriter önem kazanmaktadır. Isıtılan hacmin veya izolasyon vb. komponentlerinin başlangıçta kısmen yüksek sıcaklıkta olması, daha düşük enerji tüketimi ölçülmesine neden olabilir.

Deneyler, içerisinde havalandırma olmayan ve deney boyunca sıcaklığı  $23\pm 2$  °C olan bir ortamda yapılmalıdır. Ortam sıcaklığı, ısıtılan hacmin kullanılabilir hacminin merkezi ile aynı yükseklikte ve hacmin ön kenarlarından birinden köşegenel olarak 0,5 m mesafede bulunan bir termoeleman ile ölçülmektedir (Şekil 2. 10). Deney sırasında, ortam sıcaklığını ölçen termoelemanın başka bir cihaz tarafından etkilenmemesi gerekmektedir.

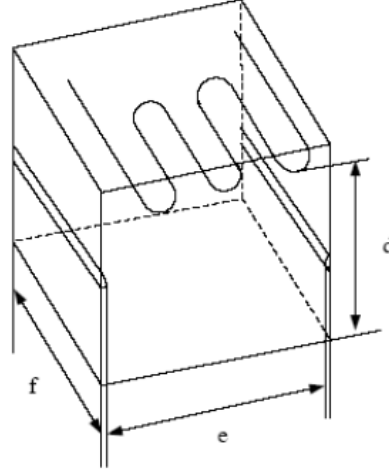


Şekil 2. 10 Ortam sıcaklığı ölçümü için kullanılan termoelemanın konumu

Ortalama ortam sıcaklığı, deneyin başladığı an ile tuğla merkezine yerleştirilen iki termoeleman arasındaki sıcaklık artışının 55 K olduğu an arasında ölçülen ortam sıcaklıklarının aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilmektedir.

Cihaz hacminin kullanılabilir yüksekliği, derinliği ve genişliğinin elde edilmesi Şekil 2. 11'de gösterilmektedir. (2.1) kullanılarak litre biriminde hesaplanan cihazın kullanılabilir hacmi en yakın tam litreye tamamlanmaktadır. En büyük pişirme tepsisinin yüzey alanı, kullanılabilir derinliğinin genişlikle çarpılmasıyla elde

edilmektedir. Isıtılan hacimde pişirme tepsisi yerine ızgara eleman kullanılması durumunda, ızgara elemanın alanı hesaplanır.



Şekil 2. 11 Cihazın kullanılabilir hacminin hesaplanması

$$\text{Cihazın kullanılabilir hacmi} \Rightarrow V = d \times e \times f \quad (2.1)$$

### 2.2.2 Ölçüm Prosedürü

Standart enerji tüketim testinde kullanılan tuğla, termofiziksel özellikleri ve su içeriği itibariyle yiyeceğe benzemektedir. Tuğla deneylerde kullanılmadan önce hacmi yaklaşık olarak 50 L olan bir cihazda, zorlanmış taşınım modunda 175 °C veya üstü bir sıcaklık değerinde üç saat kurutulmaktadır. Aynı anda, aynı ısıtılan hacimde en fazla iki adet tuğla kurutulabilir.

Kuru tuğla, ısıtılan hacimden çıkarıldıktan sonra ilk 5 dakika içerisinde üzerinde termoeleman olmaksızın kütlesi  $m_d$  ölçülerek not edilmelidir. Kurutulmuş tuğlanın sıcaklığının ortam sıcaklığına gelmesiyle beraber tuğla, 20 °C'den daha düşük sıcaklıkta tamamen suyla dolu bir kaba konulmaktadır. Tuğla buzdolabındaki su içerisinde en az 8 saat bekletilerek (Şekil 2. 12), termoelemanların yerleştirileceği merkez noktasındaki sıcaklıklar  $5 \pm 2$  °C olana kadar soğutulmaktadır.



Şekil 2. 12 Tuğlaların buzdolabında su içerisinde bekletilmesi

Merkez sıcaklığı  $5 \pm 2$  °C olan tuğla, deneyde kullanılmak üzere su dolu kap içerisinden çıkarıldıktan sonra 1 dakika boyunca fazla su miktarını damlatması beklenilir. Yaklaşık bir dakika sonra ıslak tuğlanın kütlesi  $m_w$  ölçülür (Şekil 2. 13) ve tuğlanın su dolu kap içerisinde emdiği su miktarı (2.2) eşitliği yardımıyla hesaplanır.

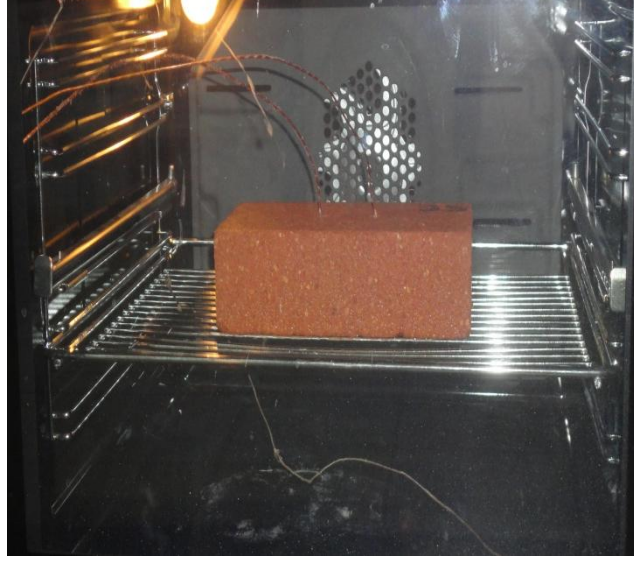


Şekil 2. 13 Tuğla kütlesinin ölçülmesi

$$\Delta m = m_w - m_d \quad (2.2)$$

Tuğla ısıtılan hacim içerisine yerleştirilmeden önce tuğla merkez sıcaklıklarının  $5 \pm 2$  °C, ısıtılan hacim ve komponentlerinin de oda sıcaklığında olmasına dikkat edilmelidir. Deneye hazırlanan tuğla, diğer cihazlar oda sıcaklığında iken ısıtılan hacmin geometrik merkezine, uzun kenarı cihazın önüne paralel olacak şekilde yerleştirilir (Şekil 2. 14).

Tuğla, ısıtılan hacim içerisinde raf tarafından desteklenen ızgara eleman üzerinde tutulur. Izgara eleman ve tuğlanın merkezi mümkün olduğu kadar cihazın kullanılabilir hacminin merkezine yakın olmalı, fakat üzerinde olmamalıdır.



Şekil 2. 14 Tuğlanın ısıtılan hacim içerisindeki konumu

EN 50304 [20] standardına göre yapılan deney, sıcaklığı  $5\pm 2$  °C olan tuğlanın buzdolabından çıkarılmasını takiben üç dakika içerisinde başlatılmalıdır. Termostat konumu, yapılacak deneyde istenilen fark sıcaklık ( $\Delta T$ ) göz önünde bulundurularak ayarlanır. Fark sıcaklık, ısıtılan hacim merkez sıcaklığının ortalaması ile ortalama ortam sıcaklığı arasındaki farktır. Çalışma moduna göre fark sıcaklık değerleri Çizelge 2. 3'te gösterilmektedir.

Çizelge 2. 3 Çalışma moduna göre deney sıcaklıkları

Sıcaklık Farkı [K]	Çalışma Modları		
	Geleneksel	Zorlanmış taşınım	Buharlı
$\Delta T_1$	140±10	135±10	135±10
$\Delta T_2$	180±10	155±10	155±10
$\Delta T_3$	220±10	175±10	175±10

Isıtılan hacim, seçilen çalışma modunda istenilen sıcaklık değerine ayarlandıktan sonra deney başlatılır.  $5\pm 2$  °C sıcaklığında hacim içerisine yerleştirilen tuğlanın merkezindeki

her iki deliğin de sıcaklığındaki artış 55 K değerine ulaştığı anda tuğla ısıtılan hacimden çıkarılır. 55 K sıcaklık artışının sağlandığı andaki enerji tüketim değeri, bu koşullar için elde edilen enerji tüketim değerini vermektedir.

Isıtılan hacimden çıkarılan tuğlanın kütlesi ölçülerek oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Tuğlanın merkez sıcaklığı oda sıcaklığına ulaştığında, tuğla bir sonraki deneyde kullanılmak üzere tekrar buzdolabı içerisindeki su kabına konulmaktadır.

Tuğla ısıtılan hacimden çıkarıldıktan sonra, cihaz ayarlanan koşullarda çalışmaya devam ederek kararlı hale gelmesi beklenir. Kararlı koşullarda, hacim merkez sıcaklığının en yüksek ve en düşük değerlerinin ortalaması alınarak hacmin sıcaklık değeri belirlenir. Kararlı koşul, termostatın beş çevrimi tamamlama durumudur. Bir çevrim, termostatın iki kapalı durumu arasındaki süre olarak tanımlanmaktadır. Isıtılan hacmin merkez sıcaklığı, ızgaraya yerleştirilen ve mümkün olduğu kadar hacim merkezine yakın olan bir termoeleman kullanılarak ölçülmektedir.

Deney süresince nominal gerilim (230 V) ve frekans (50 Hz) değerlerinin toleransı  $\pm 1\%$ 'den fazla olmamalıdır. Deneyler esnasında tuğla merkez sıcaklıkları, ısıtılan hacim merkez sıcaklığı, enerji tüketimi, tuğlanın ısıtılan hacimde kalma süresi ve ortam sıcaklığı ölçülür. Deneyler esnasında kaydedilmesi gereken veriler ise şu şekildedir:

- Isıtılan hacmin cinsi ve ısıtma fonksiyonu
- Cihaz kullanılabilir hacmi (L)
- Pişirme tepsisinin veya ızgaranın kullanılabilir alanı (cm<sup>2</sup>)
- Gerilim değeri (V)
- Test edilen fonksiyonlar ve çeşitleri
- Isıtılan hacmin ön ısıtması için tüketilen enerji (Wh)
- Ön ısıtma süresi (dk)
- Enerji tüketimi (Wh)
- Zaman (dk)
- Tuğlanın emdiği su miktarı (g)

### 2.3 Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalar sırasında ölçülen sıcaklık ve enerji değerleri için belirsizlik analizi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarla ilgili ölçüm belirsizliklerinin belirlenmesi, ölçüm sistemi ve sonuçlarının güvenilirliği açısından önem taşımaktadır.

Ölçüm belirsizliği hesabında Kline ve McClintock [21] tarafından ileri sürülen ve daha hassas olan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde ölçülmesi gereken büyüklük R, ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  olsun. Bu durumda R büyüklüğü (2.3) şeklinde ifade edilir. Her bir bağımsız değişkene ait belirsizlik değerleri  $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$  ve R büyüklüğünün toplam belirsizliği  $w_R$  ise R büyüklüğünün belirsizliği (2.4) ifadesi ile hesaplanmaktadır.

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2.3)$$

$$w_R = \pm \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

Yapılan deneysel çalışmalarda sıcaklık (T) ve enerji (W) değerleri önemli olmaktadır. Tuğla sıcaklığının ölçülmesi için kullanılan termoelemanların okuduğu değerdeki artış 55 K değerine ulaştığı andaki enerji tüketim değeri, bu koşullar için elde edilen enerji tüketimini vermektedir.

Sıcaklık ölçümü için üç adet belirsizlik bulunmaktadır. Bunlar;

- Kalibrasyondan gelen belirsizlik:  $\pm 0,19$  °C
- Ölçümden gelen belirsizlik:  $\pm 0,1$  °C
- Termoelemanların bağlantısından gelen belirsizlik:  $\pm 0,2$  °C

Sıcaklık ölçümünde meydana gelen belirsizlik (2.5) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$w_T = \pm \left[ w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

Bunlara göre sıcaklık ölçümü için belirsizlik değeri (2.6)'da elde edilir.

$$w_T = \pm 0,29 \text{ °C} \quad (2.6)$$

Deney sırasında analizör cihazı ile direkt olarak bilgisayara aktarılan enerji değeri için, istasyonlarda yapılan değerlendirmede oluşan en büyük fark değeri dikkate alınmıştır. Buna göre enerji değeri belirsizliği;

$$w_w = \% \pm 0,3 \quad (2.7)$$

olarak elde edilmiştir.

#### 2.4 Ölçüm Sistemi Yeterlilik Analizi

Isıtılan hacimlerde yapısal ve deneysel parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesinden önce, ölçüm sisteminin yeterliliği kontrol edilmiştir. Isıtılan hacimlerde enerji tüketim deneyleri EN 50304 [20] standardına göre 135 K, 155 K ve 175 K olmak üzere 3 farklı sıcaklık ayarında yapılmakta ve ısıtılan hacime ait enerji tüketim değeri bu 3 deneyden elde edilen sonuca göre, regresyon analizi kullanılarak belirlenmektedir. Bu durum ölçüm sistemini iyileştirici yönde etki yapmaktadır.

Deneylerin 155 K tek sıcaklık ayarında tekrarlı olarak yapılması hedeflenmiştir. Bunun gerçekleştirilebilmesi amacıyla ölçüm sisteminin yeterlilik analizi yapılarak, ölçüm sistemine bağlı değişkenliğin büyüklüğü ve yeterliliği kontrol edilmiştir.

Bir ölçüm sistemi,

- Ölçüm cihazlarını,
- Ölçüm yapan operatörleri,
- Ölçüm ortamını,
- Ölçüm prosedürlerini,
- Ölçüm için yardımcı ekipmanları içerir. [22]

Ölçüm sistemi yeterliliği analizi için, çalışmalarda kullanılan 6 adet ısıtılan hacimde 155 K fark sıcaklığında üç tekrarlı enerji tüketim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen enerji tüketim sonuçları ile Minitab programı kullanılarak Gage R&R analizi yapılmıştır.

%R&R, ölçüm sisteminin değişkenliğini sürecin parça değişkenliği ile karşılaştırılması olarak tanımlanmaktadır. %R&R, ölçüm sistemindeki toplam değişkenliği (parça-parça

+ ölçüm sistemleri değişkenliği) doğrultusunda, tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik problemlerinden ileri gelen bir standart sapma bulur. [22]

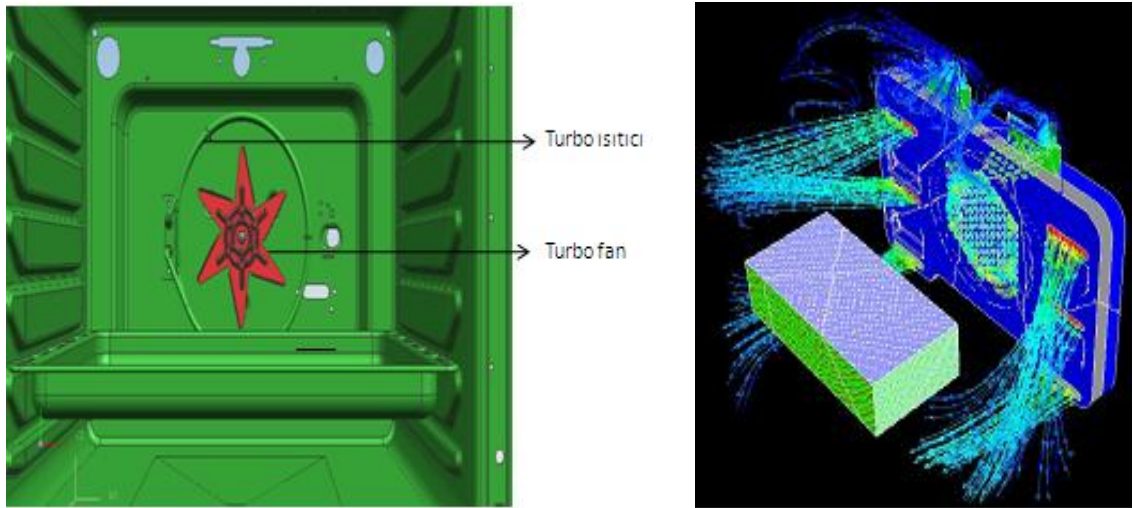
$$\%R\&R = \frac{S_{ölçümsistemi}}{S_{toplam}} \quad (2.8)$$

Ölçüm sisteminin yeterli olabilmesi için Gage R&R analizi sonucu elde edilen değer, kabul edilebilir sınırdan (%30) küçük olması gerekmektedir. %R&R değerinin küçük olması, deneyler sonucu elde edilen değerlerdeki değişkenliğin ölçüm sisteminden ziyade parça farklılığından kaynaklandığını göstermektedir.

Ölçüm sistemi analizi çalışmaları sonucunda, ölçümlerdeki toplam değişkenliğin %98,01'inin ısıtılan hacimlerdeki farklılıktan, %1,99'unun ise aynı ısıtılan hacmin tekrarlı ölçümlerinden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. %R&R değeri %14,1 olarak elde edildiğinden, ısıtılan hacimlerin enerji tüketimine yönelik olarak ölçüm sistemi yeterliliği doğrulanmıştır.

### PARAMETRELERİN SAÇINIMA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Ürünlere ait enerji tüketim değerlerinde ortaya çıkan üretim veya ölçüm kaynaklı farklılıklar, mekanik termostat ile kontrol edilen aynı model 6 adet ısıtılan hacimde detaylı olarak incelenmiştir. Isıtılan hacim içerisinde yapılan çalışmalar zorlanmış taşınım modunda gerçekleştirilmiştir



Şekil 3. 1 Zorlanmış taşınım modu komponentleri (a) ve hava akış çizgileri (b)

Zorlanmış taşınım modunda, turbo fan ve turbo fanı çevreleyecek şekilde yerleştirilmiş turbo ısıtıcı beraber çalışmaktadır (Şekil 3. 1 (a)). Turbo ısıtıcı, şasinin ve diğer komponentlerin ortam sıcaklığından set edilen sıcaklık değerine gelmesi için geçen ön ısıtma süresinde devamlı çalışırken, pişirme süresinde hacim içerisindeki sıcaklığa bağlı olarak açık/kapalı konumda çalışmaktadır. Turbo fan ise ısıtılan hacmin çalışma süresinde devamlı çalışmaktadır. Turbo ısıtıcı tarafından sağlanan güç ile ısınan sıcak hava, turbo fanın yönlendirmesi ile hava dağıtım kanalından hacim içerisine gönderilmektedir. Zorlanmış taşınım modundaki hava akış çizgileri Şekil 3. 1 (b)'de

gösterilmektedir. Zorlanmış taşınım modunda turbo ısıtıcı ve turbo fan ile beraber, duvar, kapak ve komponent sıcaklıklarının belirli limitlerde kalabilmesi için havalandırma fanı da çalışmaktadır. Havalandırma fanı, ısıtılan hacim dış muhafazasındaki açıklıklardan ve kısmen hacim içerisindeki bacadan emiş yapmaktadır. Bu şekilde ısıtılan hacim içerisindeki nemi de dışarı atmaktadır.

Zorlanmış taşınım modunda yapılan çalışmalarda, enerji tüketim farklılığına neden olabilecek yapısal ve deneysel parametreler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Deneysel ve yapısal parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki tekil etkilerinin belirlenmesi için  $\Delta T=155$  K fark sıcaklığında, tekrarlı ve kontrollü deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen değerler, nominal değere bölünerek elde edilmiş ve oran olarak yazılmıştır.

### **3.1 Yapısal Parametrelerin Saçınım Etkisi**

Yapısal parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla,

- Turbo ısıtıcı gücü,
- Turbo motor devri,
- Havalandırma motor devri,
- Yalıtım,
- Menteşe parametreleri üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Turbo ısıtıcı gücü, turbo motor devri ve havalandırma motor devri için yapılan çalışmalarda kabul kriterleri göz önünde bulundurulmuştur.

Bu parametreler dışında, ısıtılan hacimler yapısal açıdan da incelenerek birbirinden farklarının olup olmadığı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Enerji tüketim deneylerinde tuğlanın yerleştirildiği 2.rafın şasi alt duvarına olan mesafesi, bütün ısıtılan hacimlerde birbirine oldukça yakındır. Bu nedenle tuğlanın ısıtılan hacimlerdeki yerleşiminin benzer olduğu söylenebilir. Isıtılan hacim kapağının iç camının iç yüzeyinde yer alan düşük yayma katsayılı kaplama, bütün ürünlerde mevcuttur ve camın kullanım yönü açısından hacim içine doğru bakmaktadır. Isıtılan hacim kapak yüzey kaplamasından

kaplama kalınlığı hakkında görüş oluşturması için alınan direnç ölçüm değerleri, birbirine oldukça yakındır. Yapılan gözlemlerde contanın yerleşimi ile ilgili bir problem görülmemiştir. Fanın yalpa yapıp yapmadığıın belirlenmesi amacıyla fan kanadının şasi arka duvarına olan mesafesinin alt ve üst kısımlarından ölçülmesi sonucu ortaya çıkan farkın kabul edilebilir olduğu ve akışı değiştirmedeği düşünölmektedir.

Yapısal parametrelerin enerji saçınıını üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda, deneysel parametrelere dikkat edilmiştir.

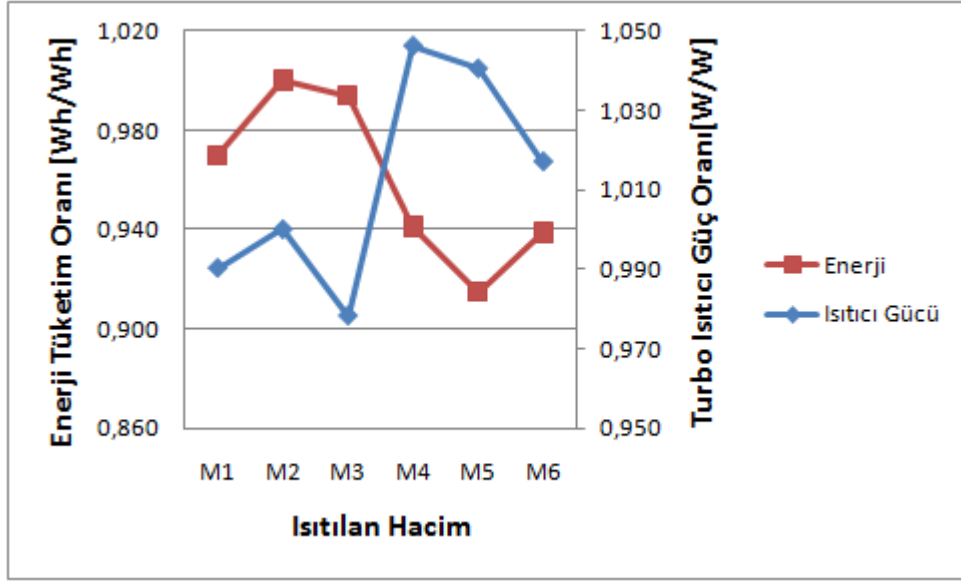
### 3.1.1 Turbo Isıtıcı Gücü

Isıtılan hacimler için orijinal durumda 155 K deneyleri yapılarak, turbo ısıtıcı güçleri belirlenmiştir. Turbo ısıtıcı gücü olarak, tuğla hacim içerisinde iken ısıtıcının açık olduğu durumdaki güç değerlerinin ortalaması ile ısıtıcının kapalı olduğu durumdaki güç değerlerinin ortalamasının farkı alınmıştır.

Çizelge 3. 1 Orijinal durumdaki ısıtıcı gücü ve enerji tüketim oranları

Isıtılan Hacim	Isıtıcı Güç Oranı [W/W]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
M1	0,990	0,970
M2	1,000	1,000
M3	0,978	0,994
M4	1,046	0,941
M5	1,041	0,915
M6	1,017	0,939

Isıtılan hacimlerde orijinal durumda yapılan 155 K deneylerinde elde edilen turbo ısıtıcı güçlerine bakıldığında, ısıtıcı güçleri arasında %6,8'lik fark olduğu görölmektedir (Çizelge 3. 1). Orijinal durumda yapılan 155 K deneylerindeki turbo ısıtıcı gücü ve enerji tüketimi değişimi arasındaki değişim (Şekil 3. 2) incelendiğinde, turbo ısıtıcı gücü ile enerji tüketimi arasında belirgin bir ilişki kurulamadığı görölmektedir.



Şekil 3. 2 Turbo ısıtıcı gücü ve enerji tüketiminin ısıtılan hacimlere göre değişimi

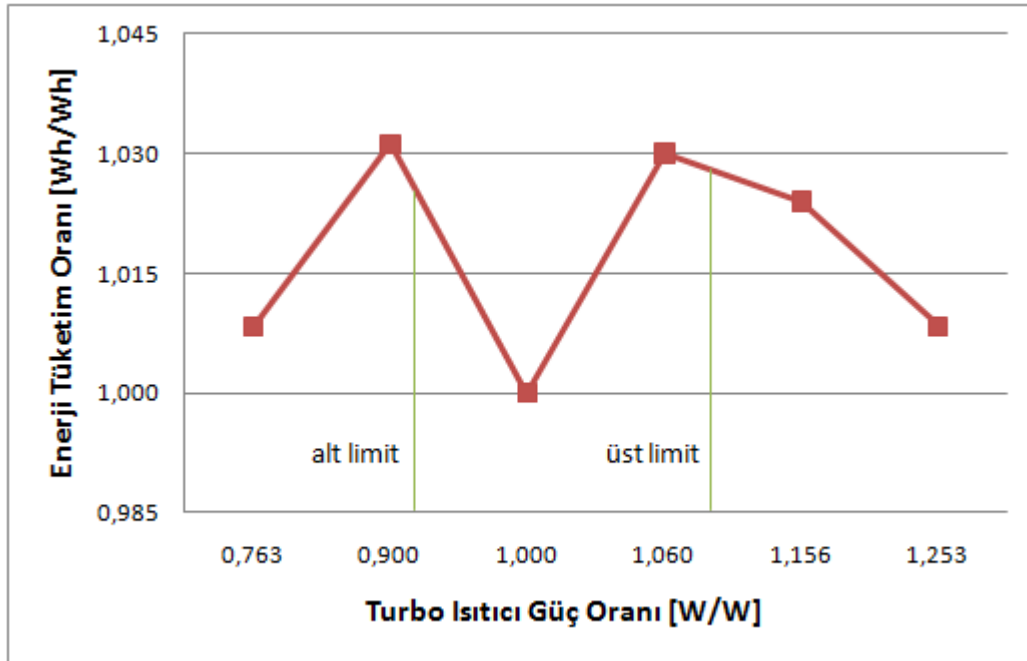
Turbo ısıtıcı gücü ve enerji tüketimi arasındaki değişimin belirlenebilmesi amacıyla M2 ısıtılan hacminde, farklı ısıtıcı güçlerinde tekrarlı ve kontrollü 155 K deneyleri yapılmıştır.

Isıtılan hacimlerde kullanılan turbo ısıtıcı kriterleri incelendiğinde, maksimum ve minimum ısıtıcı güçleri arasındaki farkın 270 W olduğu görülmüştür. Turbo ısıtıcı gücünün kabul limitleri ile birlikte, farklı güç değerlerinin de enerji tüketimine ne ölçüde etki ettiğini görebilmek amacıyla tekrarlı 155 K deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. 2 Farklı turbo ısıtıcı güçlerindeki enerji tüketim oranları

Isıtıcı Güç Oranı [W/W]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
0,763	1,008
0,900	1,031
1,000	1,000
1,060	1,030
1,156	1,024
1,253	1,008

Farklı turbo ısıtıcı güçleri kullanılarak yapılan 155 K deneylerinde, en düşük enerji tüketiminin referans turbo ısıtıcı gücünde elde edildiği görülmektedir (Çizelge 3. 2). Düşük ısıtıcı güçlerinde ön ısıtma süresi uzarken, yüksek ısıtıcı güçlerinde ısıtıcının açma/kapama sayısı artmaktadır.



Şekil 3. 3 Turbo ısıtıcı gücü ile enerji tüketimi arasındaki ilişki

Farklı turbo ısıtıcı güçlerinde enerji tüketimindeki değişim incelendiğinde, turbo ısıtıcı gücünün kabul limitleri arasındaki farkın enerji tüketimini %3 etkilediği görülmektedir (Şekil 3. 3). Turbo ısıtıcı gücü limitlerinin mevcut duruma göre daraltılması sonucunda, ısıtıcı gücünden dolayı oluşan enerji saçınımı azaltılabilir.

### 3.1.2 Turbo Motor Devri

Zorlanmış taşınım çalışma modunda turbo ısıtıcı ile beraber yiyeceğe ısı transferini sağlayan turbo fan, enerji saçınımını etkileyen önemli yapısal parametrelerden biridir. Turbo fan, turbo motor tarafından tahrik edilmektedir. Turbo motor devri, ısıtılan hacimlerde ön ısıtma sonucunda ölçülmüştür. Ön ısıtma, 155 K fark sıcaklığında 10 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

Turbo motor devirleri incelendiğinde, farklılık göze çarpmaktadır (Çizelge 3. 3). Ön ısıtma sonucu ölçülen turbo motor devirleri dikkate alındığında %40'lık bir fark vardır.

Çizelge 3. 3 Ön ısıtma sonucu ölçülen turbo motor devir oranları

Isıtılan Hacim	Turbo Motor Devir Oranı [d/d / d/d]
M1	1,000
M2	1,280
M3	1,158
M4	0,864
M5	0,968
M6	0,912

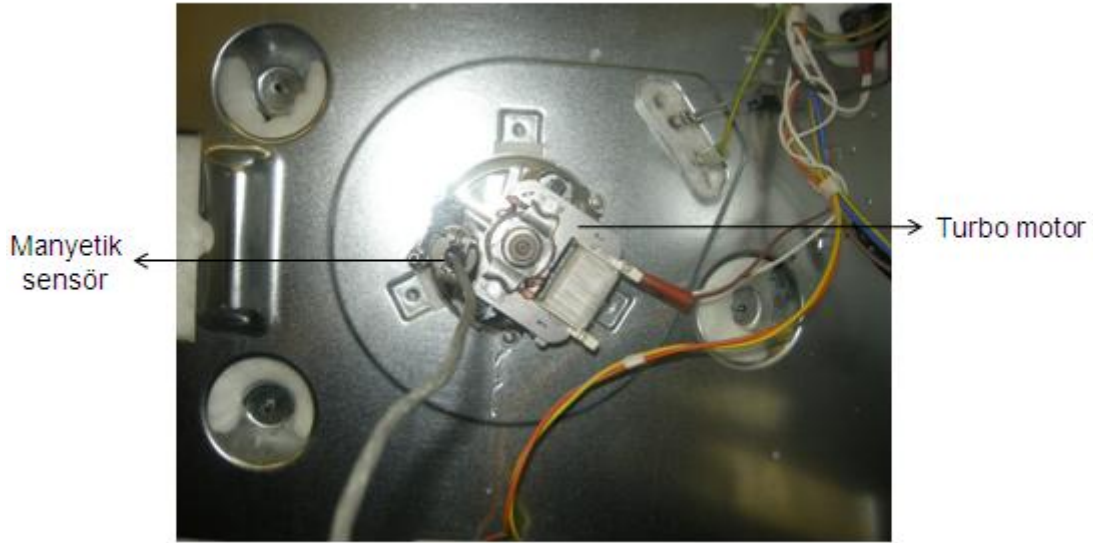
Isıtılan hacimlerde kullanılan turbo motor kriterlerine bakıldığında, maksimum ve minimum motor devirleri arasındaki farkın 300 d/d olduğu görülmüştür. En düşük enerji tüketiminin elde edildiği turbo ısıtıcı gücü kullanılarak M4 ısıtılan hacminde, farklı turbo motor devirlerinde tekrarlı ve kontrollü 155 K enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde, turbo motor devrinin enerji saçınımı üzerindeki tekil etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan deneylerde, turbo motor devrinin zamanla değişiminin görülebilmesi amacıyla sürekli devir ölçüm sistemi kullanılmıştır. Kullanılan sistem ile deney boyunca istenilen zaman aralıklarında devir ölçülerek bilgisayara kaydedilmektedir. Manyetik sensör kullanılan deney düzeneğinde bilgisayara bağlı olan sayaç yardımıyla, soğutma kanadının manyetik sensörün hizasından kaç kez geçtiği algılanabilmektedir. Bu şekilde, kanat sayısına bağlı bir hesap yapılarak devir sayısı elde edilmektedir. Turbo motor ve devir ölçümünde kullanılan manyetik sensörün yerleşimi Şekil 3. 4'te gösterilmektedir.

Manyetik sensörün çalışma prensibi şu şekildedir:

İçinden akım geçen bir bobinin çevresinde manyetik alan oluşur. Bu manyetik alanın içine metal bir cisim girerse, bu bobinin indüktansı değişir. Bu indüktans değişimi, sensörün içinde bulunan devrenin dengesini bozar. Sensörün içinde bulunan ölçüm yapan devre sayesinde metalin yaklaştığı ve ne kadar yakın olduğu tespit edilebilir.

Sayaç kullanıldığında, metalin sensörün yanından kaç kez geçtiği hesaplanabilmektedir [23].



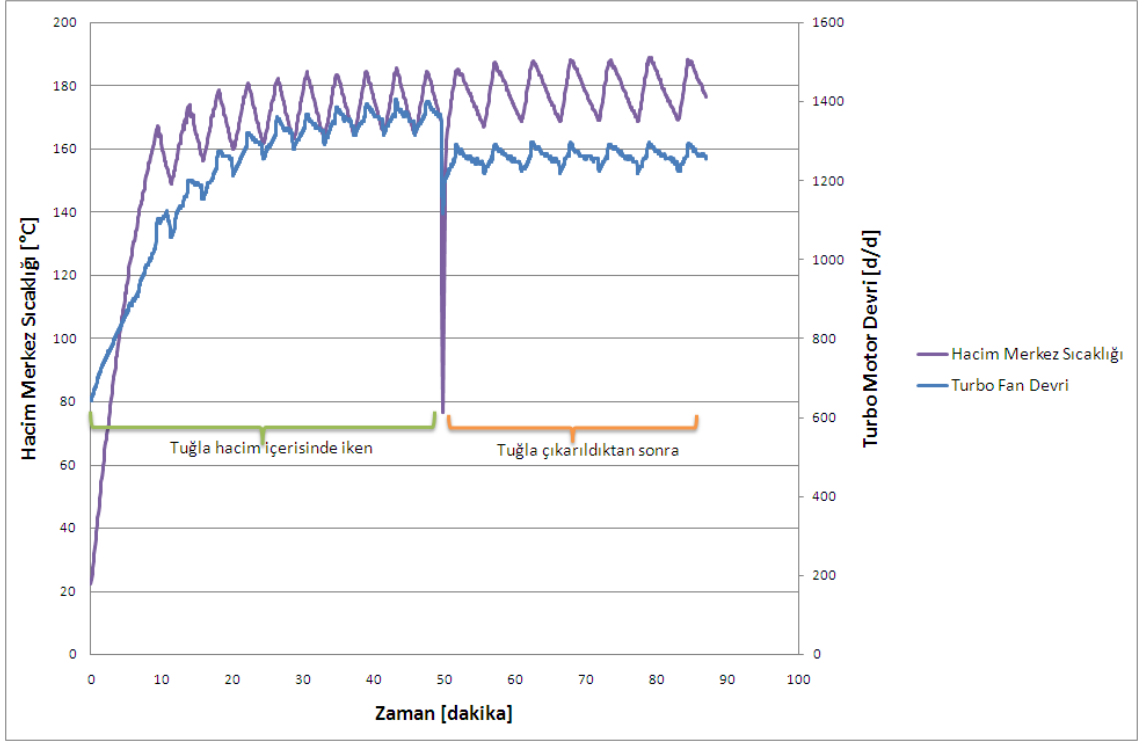
Şekil 3. 4 Turbo motor ve devir ölçümünde kullanılan manyetik sensörün gösterilişi

Kurulan düzeneden elde edilen devir değerlerinin stroboskop (Şekil 3. 5) ile doğrulaması yapılmıştır. Stroboskop, düzenli ve kısa çakışlarla kuvvetli ışık veren bir ölçüm aletidir. Bir cisim herhangi bir devirde dönerken stroboskopun çakma frekansı değiştirilerek, cismin duruyormuş gibi gözlemlendiği frekans belirlenir. Cismin duruyor gözlemlendiği anda, cismin dönme frekansı ile stroboskopun çakma frekansı birbirine eşittir. Bu durumda stroboskop göstergesinden okunan değer, cismin devir sayısıdır.



Şekil 3. 5 Motor devrinin belirlenmesinde kullanılan stroboskopun gösterilişi

Örnek bir 155 K enerji tüketim deneyinde, turbo motor devrinin ve ısıtılan hacim merkez sıcaklığının zamana bağlı değişimi Şekil 3. 6'da gösterilmektedir.



Şekil 3. 6 Hacim merkez sıcaklığı ve turbo motor devrinin zamana bağlı değişimi

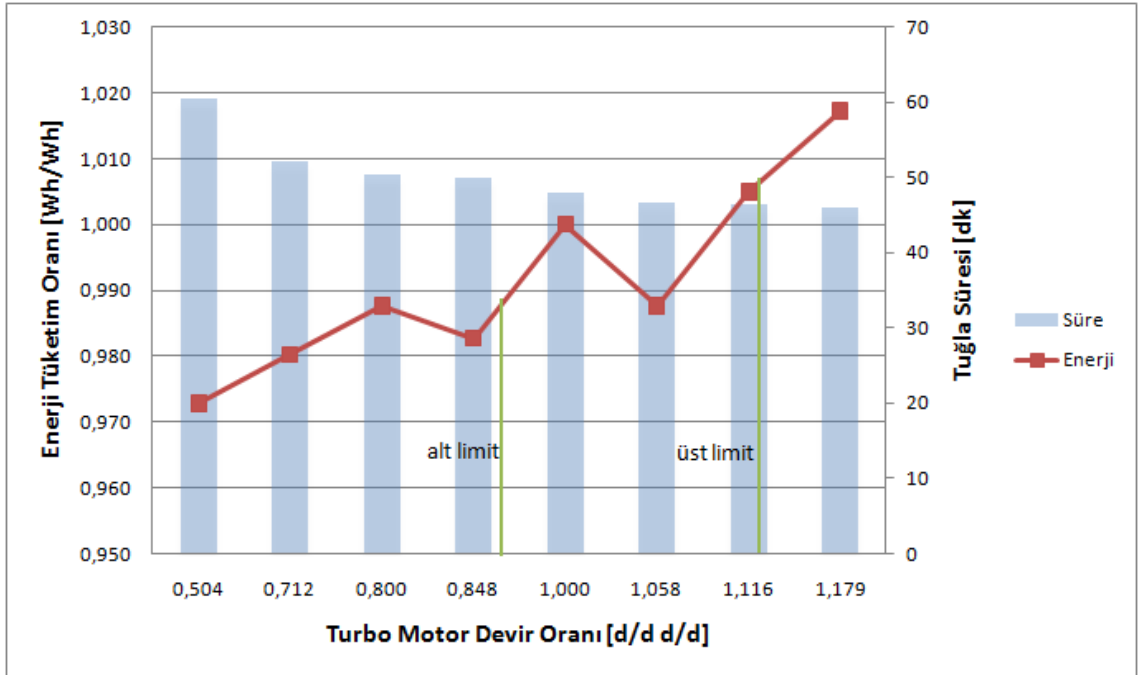
Turbo motor devrinde değişkenlikler gözlemlenmektedir (Şekil 3. 6). Turbo motor devri, ön ısıtma süresi boyunca ısıtılan hacim merkez sıcaklığına benzer şekilde artış göstermektedir. Turbo ısıtıcının açık/kapalı durumuna bağlı olarak değişen turbo motor devri, ayrıca ısıtılan hacim içerisinde yük bulunup bulunmamasından da etkilenmektedir. Tuğla ısıtılan hacimde iken yüksek devirlerde dönen turbo motor, tuğla ısıtılan hacimden çıkarıldıktan sonra daha düşük devirlerde dönmektedir (Şekil 3. 6). Bu sonuçlar dikkate alındığında, turbo motor devrinin ısıtılan hacmin çalışma süresi boyunca sürekli değiştiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda turbo motor devri olarak, tuğla ısıtılan hacimden çıkarıldıktan sonra kararlı durumun sağlandığı ve hacmin merkez sıcaklığının da ölçüldüğü 5 çevrimin ortalaması alınmıştır.

Farklı turbo motor devirlerinde yapılan 155 K deneylerinde, turbo motor devirleri arasındaki farkın enerji tüketimini %4,4 olarak etkilediği görülmektedir (Çizelge 3. 4).

Çizelge 3. 4 Farklı turbo motor devirlerindeki enerji tüketim oranları

Turbo Motor Devir Oranı [d/d / d/d]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
0,504	0,973
0,712	0,980
0,800	0,988
0,848	0,983
1,000	1,000
1,058	0,988
1,116	1,005
1,179	1,017

Turbo motor devrine bağlı olarak, enerji tüketiminde doğrusal olmayan değişiklikler görülmektedir. Referans devir değerine  $\pm 150$  d/d tolerans uygulandığında enerji tüketimi %1,9 değişmektedir. Turbo motor devrinin, tuğlanın ısıtılan hacimde kalma süresini de etkilediği dikkat çekmektedir (Şekil 3. 7).



Şekil 3. 7 Turbo motor devri ile enerji tüketimi arasındaki ilişki

### 3.1.3 Havalandırma Motor Devri

Isıtılan hacimlerde ilk çalışma anından itibaren devreye giren havalandırma motoru, çalışma süresi boyunca sürekli olarak çalışmaktadır. Havalandırma motor devri de, turbo ısıtıcı ve turbo motor devri gibi enerji tüketim saçınımını etkileyen önemli yapısal parametrelerden biri olarak dikkat çekmektedir.

Havalandırma motor devri, ısıtılan hacimlerde ön ısıtma sonucunda ölçülmüştür. Ön ısıtma, 155 K fark sıcaklığında 10 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

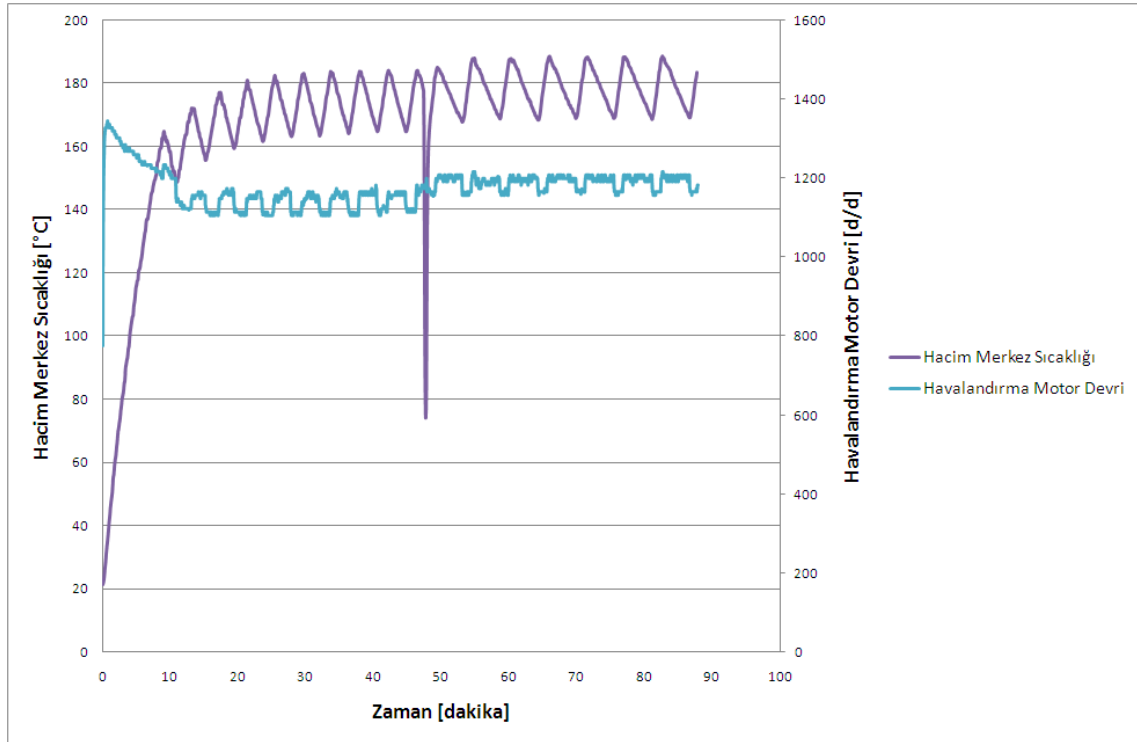
Havalandırma motor devirleri arasındaki farklılık (Çizelge 3. 5) dikkat çekmektedir. Ön ısıtma sonucu ölçülen havalandırma motor devirleri dikkate alındığında %75'lik bir fark söz konusudur. Bu farkın özellikle M2 ısıtılan hacminde havalandırma motor devrinin yüksek, bunun aksine M5 ısıtılan hacminde oldukça düşük olmasından kaynaklandığı görülmektedir (Çizelge 3. 5).

Çizelge 3. 5 Ön ısıtma sonucu ölçülen havalandırma motor devir oranları

Isıtılan Hacim	Havalandırma Motor Devir Oranı [d/d / d/d]
M1	0,945
M2	1,339
M3	1,000
M4	0,879
M5	0,592
M6	0,912

Isıtılan hacimlerde kullanılan havalandırma motoru kriterleri incelendiğinde, maksimum ve minimum motor devirleri arasındaki farkın 300 d/d olduğu görülmüştür. Havalandırma motor devrinin enerji tüketimi üzerindeki tekil etkisinin belirlenebilmesi amacıyla M4 ısıtılan hacminde, farklı havalandırma motor devirlerinde tekrarlı ve kontrollü 155 K enerji tüketim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde,

havalandırma motor devrinin zamanla değişiminin görülebilmesi için sürekli devir ölçüm sistemi<sup>1</sup> kullanılmıştır.



Şekil 3. 8 Hacim merkez sıcaklığı ve havalandırma motor devrinin zamanla değişimi

Örnek bir 155 K enerji tüketim deneyinde, ısıtılan hacim merkez sıcaklığının ve havalandırma motor devrinin zamana bağlı değişimi Şekil 3. 8'de gösterilmektedir. Havalandırma motor devri, ön ısıtma süresinin başlangıcında hızlı bir şekilde artmaktadır. Ön ısıtmanın sonuna kadar düşme eğiliminde olan havalandırma motor devrinin, ön ısıtma süresinden sonra turbo ısıtıcının açık/kapalı durumuna bağlı olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 3. 8). Yapılan çalışmalarda havalandırma motor devri olarak, tuğla ısıtılan hacimden çıkarıldıktan sonra kararlı durumun sağlandığı ve hacim merkez sıcaklığının da ölçüldüğü 5 çevrimin ortalaması alınmıştır.

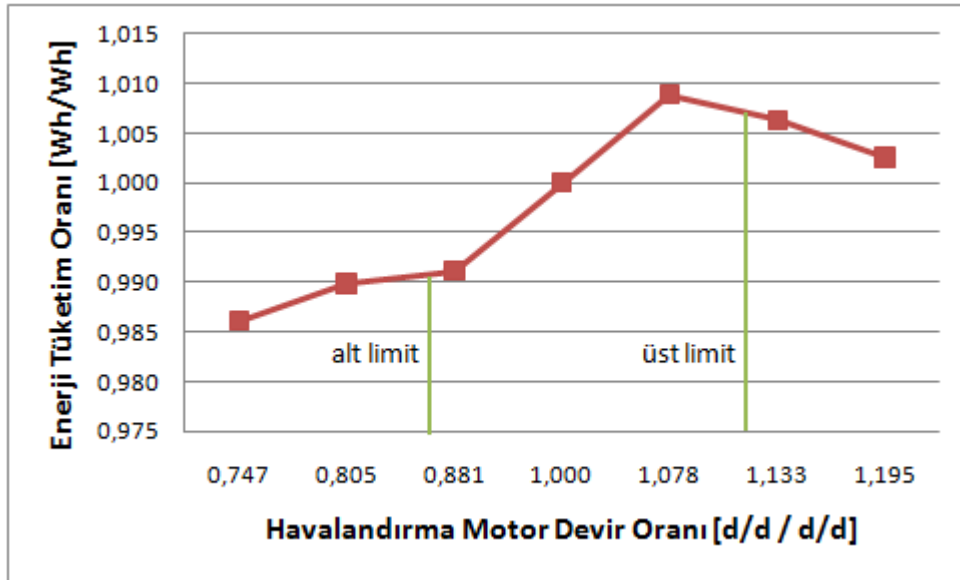
Havalandırma motor devrinin enerji tüketimine olan etkisini görebilmek amacıyla farklı havalandırma motor devirlerinde yapılan 155 K deneylerinde, havalandırma motor devirleri arasındaki farkın enerji tüketimini %2,3 etkilediği görülmektedir (Çizelge 3. 6).

<sup>1</sup> Turbo motor devir ölçümünde kullanılan manyetik sensör, havalandırma motoruna yerleştirilerek devir ölçümü yapılmıştır.

Çizelge 3. 6 Farklı havalandırma motor devirlerindeki enerji tüketim oranları

Havalandırma Motor Devir Oranı [d/d / d/d]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
0,747	0,986
0,805	0,990
0,881	0,991
1,000	1,000
1,078	1,009
1,133	1,006
1,195	1,003

Genel olarak, havalandırma motor devrinin artmasına bağlı olarak enerji tüketiminin arttığı görülmektedir. Referans havalandırma motor devir değerine  $\pm 150$  d/d tolerans uygulandığında enerji tüketimi %1,7 değişmektedir. Havalandırma motor devri limitlerinin daraltılması sonucunda enerji saçınımı azalacaktır (Şekil 3. 9).



Şekil 3. 9 Havalandırma motor devri ile enerji tüketimi arasındaki ilişki

### 3.1.4 Yalıtım

Yalıtım, ısıtılan hacimlerde enerji tüketimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Çalışma kapsamında incelenen ısıtılan hacimlerde, yalıtım malzemesi olarak 20 mm kalınlıkta iğneli cam yünü kullanılmaktadır. Yalıtım kalınlığı, yeterli ısıl direnç ile birlikte küçük ısıl kütleli sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Isıtılan hacimlerin yapısal incelemesinde, yalıtımda farklı durumlar göze çarpmıştır.

Üretimden çekilen ürünlerde gerek şasi duvarlarında formlar olması (duvarların düz olmaması), gerek seri üretimden gelebilecek problemler sebebiyle bazı durumlarda yalıtım malzemesinin şasi etrafına düzgün sarılmadığı gözlemlenmiştir. Isıtılan hacimlerin bazılarında üst ısıtıcı bölgesinde açıklık bırakılmışken, bazılarında bu bölge yalıtım malzemesiyle kapatılmıştır. Yalıtım açısından ısıtılan hacimlerin alt kısmı incelendiğinde, bazı ısıtılan hacimlerde yalıtımın üst üste bindiği veya yalıtımda açıklık olduğu dikkat çekmektedir.

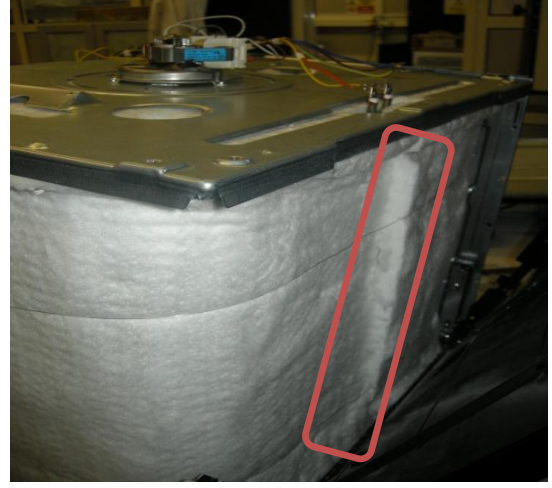
Yalıtım malzemesinin şasi yüzeylerine tam oturmaması, birleşme yerinde üst üste gelmesi veya uçlarının birleşmemesi ve ürün komponentlerinin montajı için yalıtımda açılan deliklerin uygun yerlere denk getirilememesi sebebiyle, yalıtımda açıklıklar meydana gelmektedir. Bu durum, şasiden çevreye olan ısı kaybını ve dolayısıyla ısıtılan hacmin enerji tüketimini arttırmaktadır.

Yalıtımın enerji saçınımı üzerindeki tekil etkisinin belirlenebilmesi amacıyla orijinal durumda enerji tüketimi yüksek<sup>1</sup> olan M3 ısıtılan hacminde, mevcut yalıtım durumuna göre yalıtım malzemesi daha iyi ve daha kötü sarılarak tekrarlı ve kontrollü 155 K enerji tüketim deneyleri yapılmıştır.

Mevcut durumda, üst ısıtıcının olduğu bölümde yalıtımdaki açıklık göze çarpmaktadır (Şekil 3. 10 (a)). Alt taraf yalıtımına bakıldığında ise yalıtımın birleşme noktasında üst üste bindiği görülmektedir (Şekil 3. 10 (b)). Yalıtımda olan açıklık, ısıl kayıplara neden olacağından enerji tüketimini arttıracaktır. Benzer şekilde yalıtımın üst üste binmesi, açıklık yaratması sebebiyle enerji tüketiminin artmasına neden olacaktır.

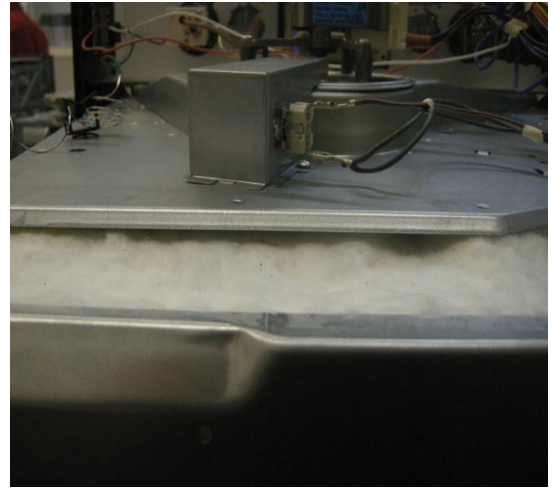
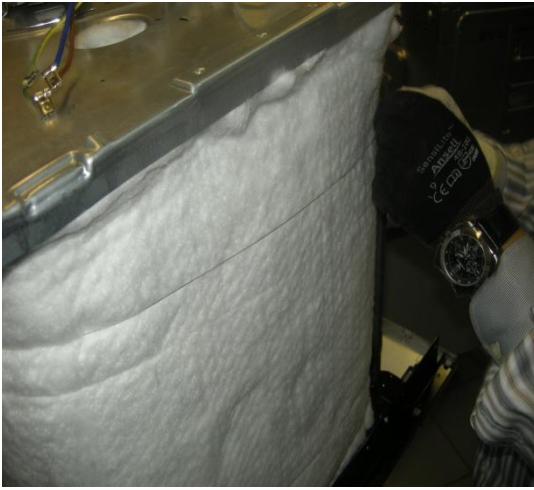
---

<sup>1</sup> Isıtılan hacimlerin orijinal durumdaki enerji tüketim oranları saçınım azaltma çalışmaları kapsamında yer almaktadır.



Şekil 3. 10 Mevcut durumda üst (a) ve alt kısım (b) yalıtımı

Mevcut durumdaki yalıtım incelendikten sonra, yalıtım daha iyi şekilde sarılarak deneyler tekrarlanmıştır. Bu amaçla, açık olan kısımlar yalıtım malzemesiyle kapatılmıştır. Ayrıca yalıtımı tutturan tellerin sıkılığı kontrol edilerek, yalıtımın çeşitli bölgelerde bolluklar oluşturması engellenmiştir. Yalıtımın sıkılaştırılması Şekil 3. 11 (a)'da ve üst taraf yalıtımı Şekil 3. 11 (b)'de gösterilmektedir

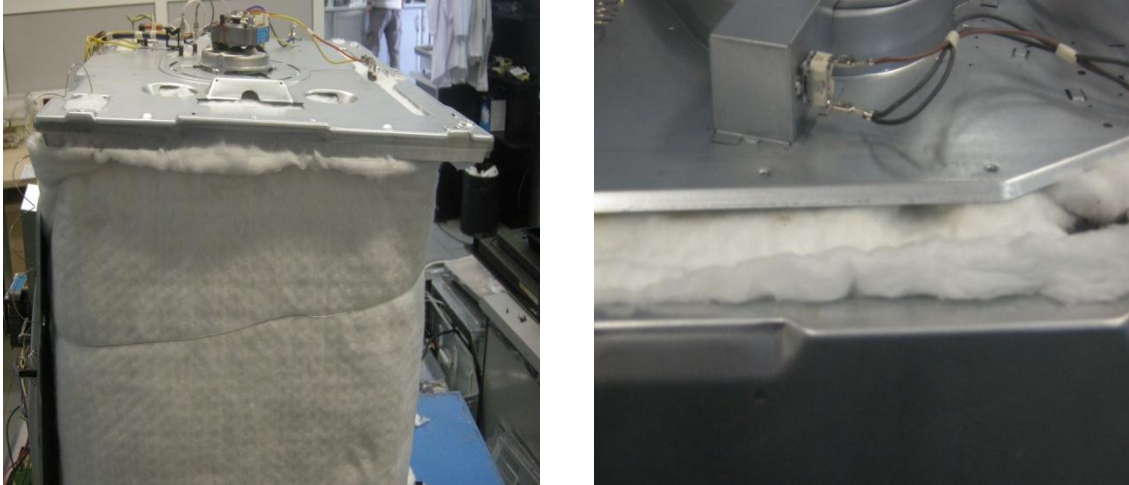


Şekil 3. 11 Yalıtımın sıkılaştırılması (a) ve üst taraf yalıtımı (b)

Yalıtımın, şasi yüzeyinde boşluk oluşturmayacak etkin bir şekilde sarılması ile enerji tüketiminin ne şekilde değiştiğinin görülmesi amaçlanmıştır.

Yalıtımın daha iyi şekilde sarılması ile yapılan deneylerden sonra, yalıtım malzemesi bu sefer daha gevşek şekilde sarılmış ve ilave olarak kapatılan kısımlardan yalıtım malzemesi çıkarılmıştır. Yalıtımın mevcut duruma göre kötü sarılması, yalıtımın

üretimde sarılması sırasında ve zamanla oluşabilecek durumlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 12 Yalıtımın yan (a) ve üst tarafta (b) daha gevşek sarılması

Kötü sarımdaki yan taraf yalıtımı Şekil 3. 12 (a)'da, üst taraf yalıtımı ise Şekil 3. 12 (b)'de gösterilmektedir. Yalıtımda kısmen boşluklar olduğu ve yalıtımın şasi yüzeyine tam olarak oturmadığı sarımda, şasiden çevreye olan ısı kayıplarının ve enerji tüketiminin artması beklenmektedir.

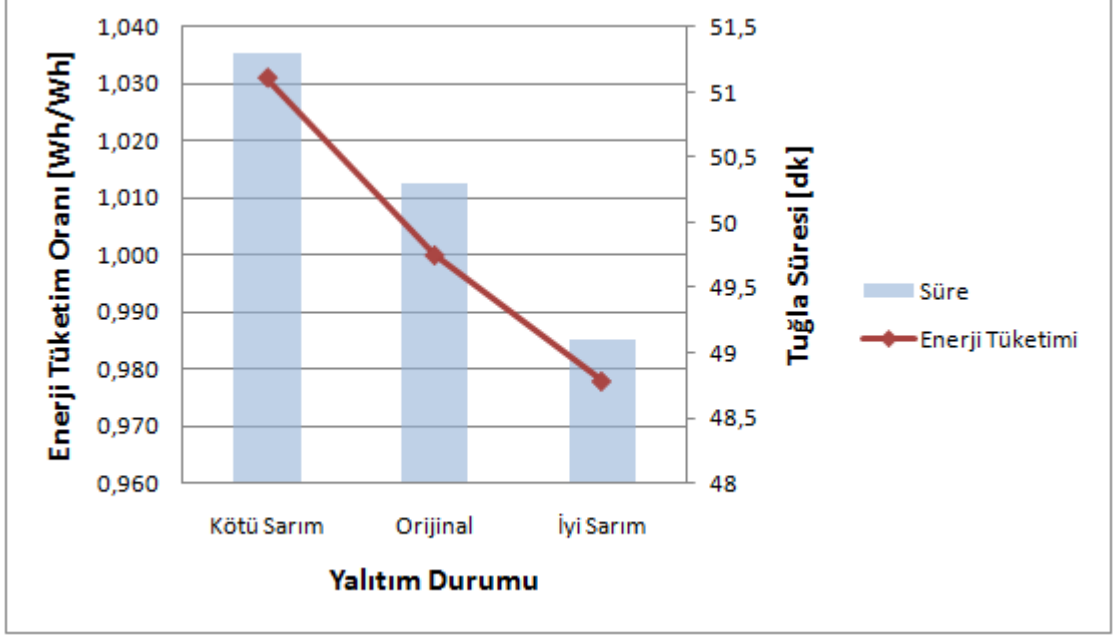
Çizelge 3. 7 Yalıtımın farklı şekilde sarılması sonucunda enerji tüketim oranları

Yalıtım Durumu	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
Mevcut sarım	1,000
İyi sarım	0,978
Kötü sarım	1,031

Yalıtım malzemesinin sarımı enerji tüketimini %5,3 etkilemektedir (Çizelge 3. 7). Yalıtımın daha sıkı ve etkin bir şekilde sarılması sonucunda mevcut duruma göre enerji tüketimi azalırken; üretimden gelebilecek ve zamanla oluşabilecek durumlar göz önüne alınarak yapılan kötü sarımda enerji tüketiminin arttığı görülmektedir.

Yalıtım sarımı ile enerji tüketiminin doğrusal olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 3. 13). Yalıtım sarımının iyileştirilmesi ve daha sıkılaştırılması ile enerji tüketimi %2,4

azaltılabilmektedir. Yalıtım sarımının iyileştirilmesi, daha sıkı ve etkin bir şekilde yapılması, şasiden çevreye olan kayıpları azaltacağından enerji tüketimini olumlu yönde iyileştirecektir.



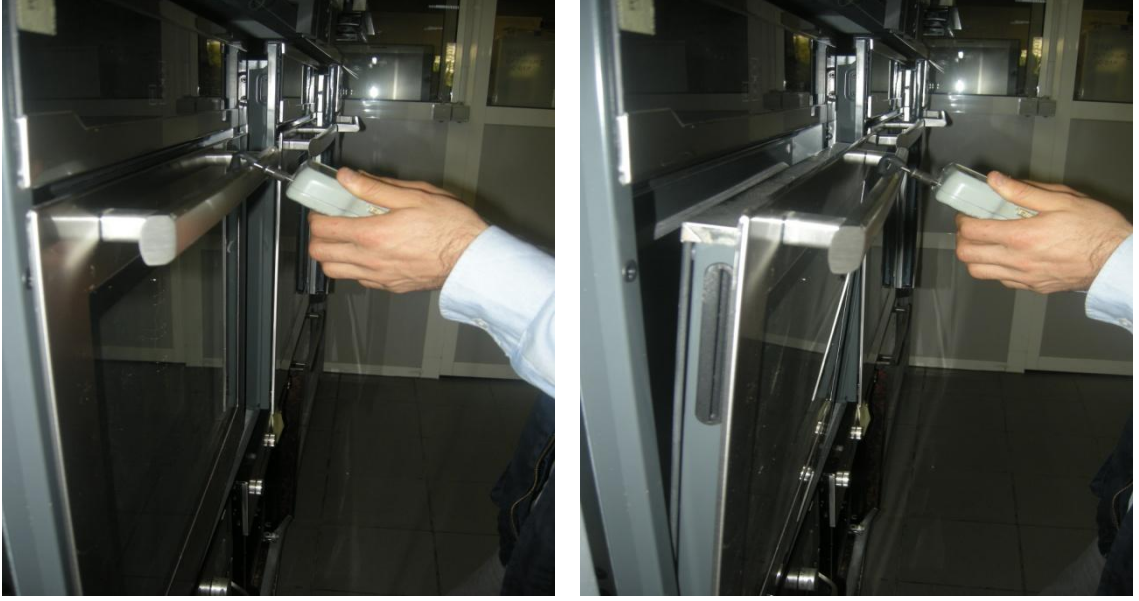
Şekil 3. 13 Yalıtım sarımının enerji tüketimine etkisi

Yalıtım sarımının, tuğlanın ısıtılan hacimde kalma süresini de etkilediği ve kötü sarımda tuğlanın ısıtılan hacimde daha uzun süre kaldığı dikkat çekmektedir (Şekil 3. 13). Ayrıca yalıtımın mevcut duruma göre daha kötü sarılması, ön ısıtma süresini 0,5 dakika arttırmaktadır.

### 3.1.5 Menteşe

Isıtılan hacimlerin orijinal durumunda, kapakların basma kuvvetleri arasında herhangi bir farklılık olup olmadığının belirlenebilmesi amacıyla, kapak çekme kuvvetlerine bakılmıştır. Ölçülen kapak çekme kuvvetlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Kapak çekme kuvvetleri, dijital çekme kuvvet ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Isıtılan hacim kapak çekme kuvvetlerinin ölçülmesi Şekil 3. 14'te gösterilmektedir. Kapağın kapalı durumundan, açık duruma gelmesi için gerekli kuvvet değeri ölçülmüştür.



Şekil 3. 14 Isıtılan hacim kapak çekme kuvvetinin ölçülmesi

Isıtılan hacimlerde mevcut durumda kapak sıklığının yeterli olup olmadığını görülebilmesi için M1 ısıtılan hacminde, sıkılaştırılmış durumda tekrarlı 155 K deneyleri yapılarak mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Sıkılaştırılmış durumda, kapak üst kısmından iki adet klips ile tutturulmuştur.

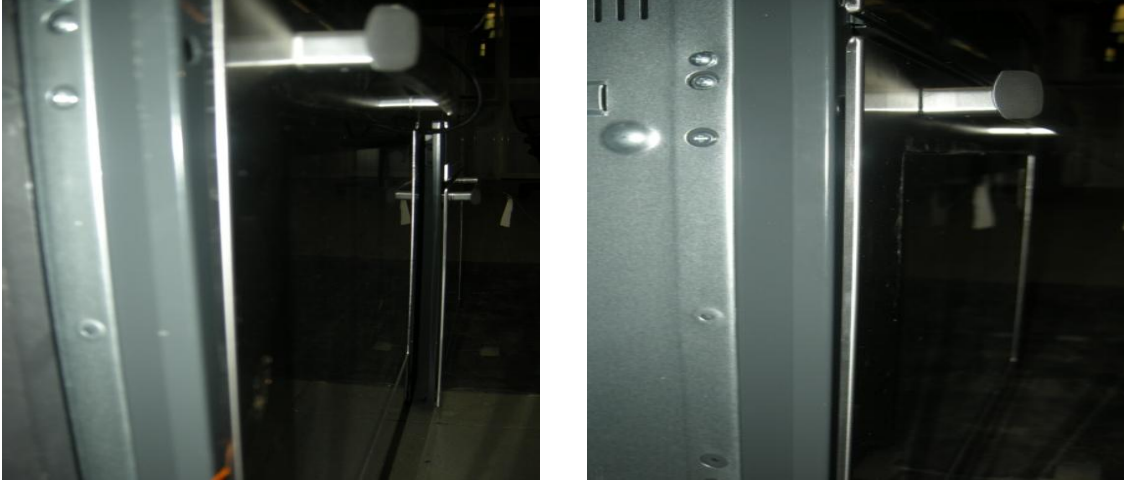
Çizelge 3. 8 Kapak sıklığının enerji tüketimine etkisi

Kapak Durumu	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
Mevcut	1,000
Sıkılaştırılmış	1,000

Klips kullanılarak yapılan deneyde enerji tüketiminin, mevcut duruma göre değişmediği görülmektedir (Çizelge 3. 8). Bu durumda, mevcut kapakların yeterli sıklıkta olduğu söylenebilir.

Yapılan deneysel çalışmalar sırasında herhangi bir değişiklik yapılmamasına rağmen, M2 ısıtılan hacim kapağında açıklık gözlemlenmiştir. Bu durumun enerji tüketimi üzerindeki etkisinin görülebilmesi amacıyla, mevcut durumda ve bu problemin menteşeden kaynaklandığı düşünülerek menteşe değiştirildikten sonra tekrarlı ve

kontrollü 155 K deneyleri yapılmıştır. Bu şekilde, menteşeden kaynaklanan problemin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin görülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3. 15 Mevcut durumda (a) ve menteşe değiştirildikten sonra (b) kapağın görünümü

Mevcut durumda kapaktaki bariz açıklık (Şekil 3. 15 (a)) dikkat çekerken, menteşe değiştirildikten sonra kapağın gerektiği şekilde kapandığı (Şekil 3. 15 (b)) görülmektedir.

M2 ısıtılan hacminde, orijinal durumda, mevcut durumda ve menteşe değiştirildikten sonra ölçülen kapak çekme kuvvet değerleri Çizelge 3. 9'da yer almaktadır. Kapağın tam olarak kapanmaması durumunun, kapak çekme kuvvetine de yansıdığı görülmektedir. Menteşede zamanla oluşan problem, kapak çekme kuvvetinin %10 azalmasına neden olmaktadır.

Çizelge 3. 9 Farklı durumlardaki kapak çekme kuvvet oranları

Menteşe Durumu	Kapak Çekme Kuvvet Oranı [N/N]
Orijinal	1,000
Mevcut	0,9
Yeni	1,000

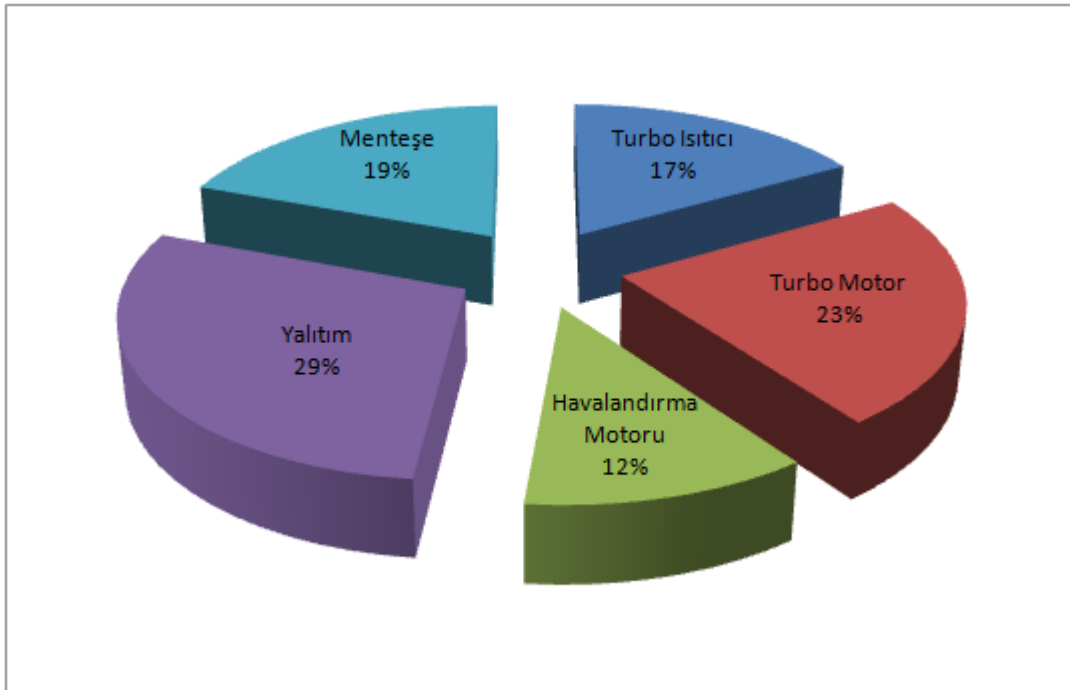
Menteşede zamanla oluşan ve kapağın tam olarak kapanmamasına neden olan problemin enerji tüketimini %3,5 arttırdığı görülmektedir (Çizelge 3. 10). Menteşe

değiştirildikten sonra yapılan 155 K deneyinde, ön ısıtma süresi mevcut duruma göre 0,6 dakika kısalmıştır. Ön ısıtma süresinin kısılması, enerji tüketiminin azalmasını sağlamıştır.

Çizelge 3. 10 Menteşenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi

Menteşe Durumu	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
Mevcut	1,035
Yeni	1,000

Menteşede zamanla oluşan problemin enerji tüketimini artırması sebebiyle, menteşenin de ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim saçınımları üzerinde önemli tekil etkiye sahip parametrelerden biri olduğu söylenebilir.



Şekil 3. 16 Saçınımları etkileyen yapısal parametrelerin dağılımı

Enerji saçınımlarını etkileyen yapısal parametrelerin yüzdesel dağılımı Şekil 3. 16'da gösterilmektedir. Kabul kriterleri belirlenen turbo ısıtıcı, turbo motor ve havalandırma motorunun enerji saçınımları üzerindeki toplam etkisinin %50'den fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bu açıdan turbo ısıtıcı gücü, turbo motor ve havalandırma motor devirleri

için belirlenen limitlerin mevcut duruma göre daraltılmasıyla, bu komponentlerden kaynaklanan saçınım azaltılabilir. Yalıtım, enerji tüketim saçınımını etkileyen en önemli yapısal parametredir. Yalıtım şasiden olan ısı kayıpları engellediğinden, yalıtım sarımının iyileştirilmesi kayıpları azaltacağı gibi; yalıtım sarımından kaynaklanan problemler kayıpların artmasına neden olacaktır. Bu sebeple yalıtım sarımının sıkılaştırılması ve üretimden kaynaklanabilecek problemlerin önüne geçilmesi ile enerji saçınımı azaltılabilir. Menteşede orijinal durumda bir problem olmamasına karşın, zamanla kapağın tam olarak kapanmasına engel olabilecek bir problem görülmüştür. Menteşeden kaynaklanan problem, kapağın tam olarak kapanmasına engel olacağından kapaktan olan ısı kayıpları önemli ölçüde arttıracaktır.

### **3.2 Deneysel Parametrelerin Saçınımına Etkisi**

Ev tipi elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji tüketim deneyleri EN 50304 standardına [20] göre yapılmaktadır. Deneysel çalışmalar, standart tarafından belirlenen parametrelerin toleransları dâhilinde yapılmaktadır. Isıtılan hacimlerin enerji tüketim deneylerinde, içerik ve özellik açısından yiyeceğe benzeyen özel bir tuğla<sup>1</sup> kullanılmaktadır.

Deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki tekil etkisinin belirlenmesinde, ev tipi elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji tüketim deneylerinin gerçekleştirildiği EN 50304 standardındaki [20] toleranslar göz önünde bulundurulmuştur.

Deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki etkileri belirlendikten sonra parametrelerin enerji tüketimi açısından en iyi ve en kötü değerleri kullanılarak, parametrelerin en olumsuz koşullarının birlikte olduğu durum ile en olumlu koşullarının birlikte olduğu durum arasındaki enerji tüketim farkının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi amacıyla,

- Tuğla başlangıç sıcaklığı,
- Ortam sıcaklığı,

---

<sup>1</sup> Tuğla ile ilgili termofiziksel özellikler Çizelge 2. 2'de gösterilmektedir.

- Tuğla su emmesi,
- Gerilim hassasiyeti,
- Fark sıcaklık parametreleri üzerinde detaylı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Tuğla başlangıç sıcaklığı ve ortam sıcaklığının enerji tüketim saçınımları üzerindeki etkileri belirlenirken, simülasyon ve gerçek durum karşılaştırılmıştır. Simülasyon programında ısıtılan hacim çeşitli kabullerle fiziksel olarak modellenerek, bu modele bağlı olarak ısı akış şeması ve kontrol hacimleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu kontrol hacimleri için enerjinin korunumu prensibi uygulanarak matematiksel model hazırlanmıştır. Matematiksel modele göre, ısıtılan hacmin geometrik özellikleri ve çalışma şartlarının girilmesi ile sonuçların sayısal ve grafiksel olarak takip edilebildiği simülasyon programında yapılan çalışmalar gerçek durum ile kıyaslanmıştır.

### 3.2.1 Tuğla Başlangıç Sıcaklığı

Tuğla sıcaklığının enerji saçınımları üzerindeki etkisinin görülebilmesi amacıyla M3 ısıtılan hacminde, farklı tuğla başlangıç sıcaklıklarında tekrarlı ve kontrollü 155 K deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde ortam sıcaklığı  $\sim 23$  °C, gerilim  $\sim 230$  V ve tuğla su emmesi  $\sim 1050$  g olacak şekilde diğer deneysel parametrelere de dikkat edilmiştir.

Çizelge 3. 11 Tuğla başlangıç sıcaklık değerleri

Değer	Tuğla Başlangıç Sıcaklığı [°C]
Minimum	3
Nominal	5
Maksimum	7

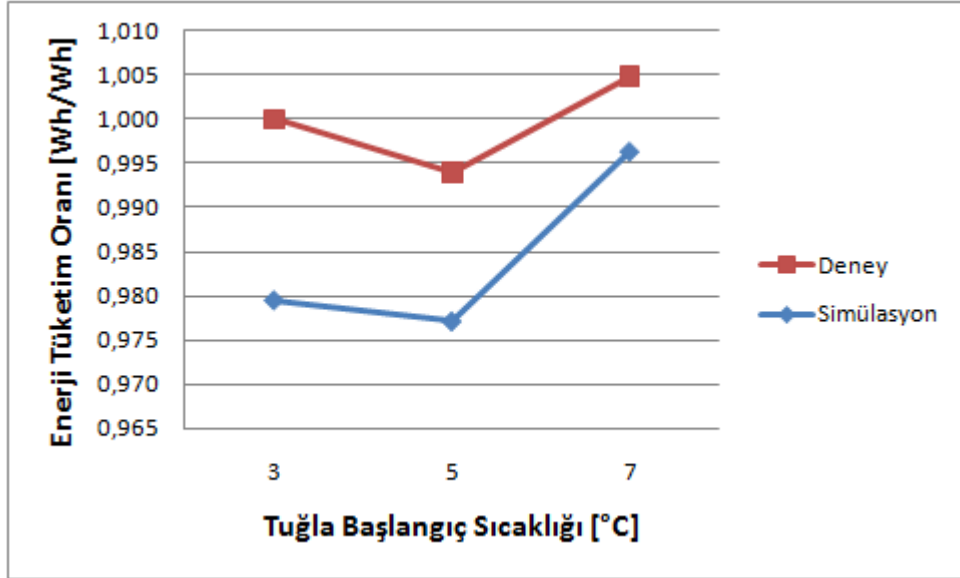
Tuğla başlangıç sıcaklık değerleri Çizelge 3. 11’de gösterilmektedir. Tuğla başlangıç sıcaklık değerleri arasında 4 °C’lik fark olabilmektedir. Standart enerji tüketim deneyinde tuğla merkezindeki sıcaklık artışının 55 K olduğu andaki enerji tüketim değeri, bu koşullar için elde edilen enerji tüketim değerini vermektedir.

Tuğla başlangıç sıcaklıklarındaki fark, enerji tüketimini %1,1 etkilerken; en düşük enerji tüketimi tuğla başlangıç sıcaklığı 5 °C iken elde edilmektedir (Çizelge 3. 12).

Çizelge 3. 12 Farklı tuğla başlangıç sıcaklıklarındaki enerji tüketim oranları

Tuğla Başlangıç Sıcaklığı [°C]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
3	1,000
5	0,994
7	1,005

Farklı tuğla başlangıç sıcaklıkları ile yapılan deneysel çalışmalar, simülasyon programında da tekrarlanarak karşılaştırma yapılmıştır. Tuğla başlangıç sıcaklığının enerji tüketimine olan etkisinin, deneysel çalışmada ve simülasyon programında yapılan analizde karakter olarak birbirine benzediği görülmektedir (Şekil 3. 17). Simülasyon programında yapılan analizlerde, tuğla başlangıç sıcaklığı enerji tüketimini %1,9 etkilemektedir.



Şekil 3. 17 Tuğla sıcaklığının enerji tüketimine etkisinin deneysel ve simülasyon programında incelenmesi

### 3.2.2 Ortam Sıcaklığı

Ortam sıcaklığı, enerji tüketimi üzerinde etkili olan önemli deneysel parametrelerden biridir. Isıtılan hacimlerin enerji tüketim deneyi yapılırken, ortam sıcaklığının belirli limitler (Çizelge 3. 13) içerisinde kalması gerekmektedir.

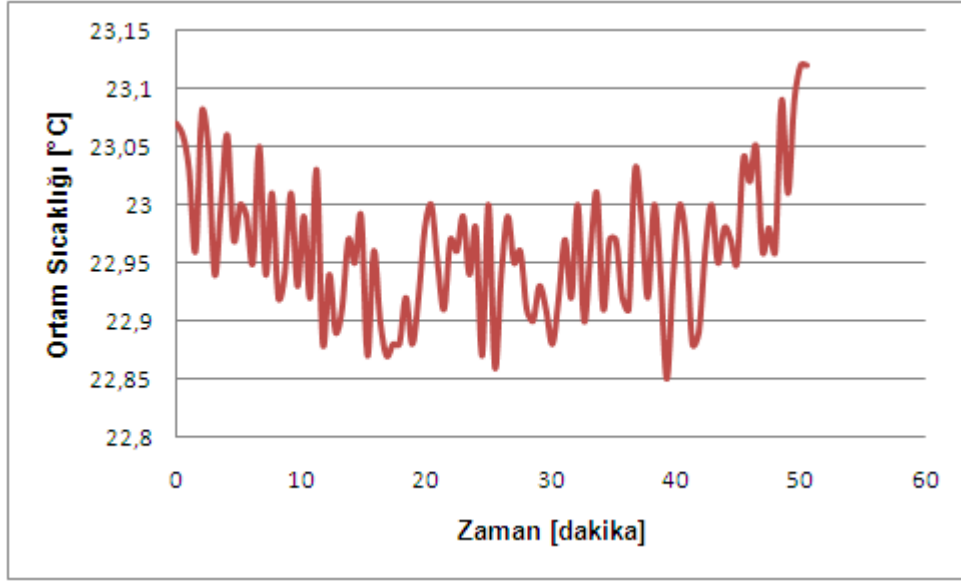
Çizelge 3. 13 Ortam sıcaklığı değerleri

Değer	Ortam Sıcaklığı [°C]
Minimum	21
Nominal	23
Maksimu	25

Ortalama ortam sıcaklığı, deneyin başladığı an ile tuğla merkezine yerleştirilen iki termoelemandaki sıcaklık artışının 55 K olduğu an arasında ölçülen ortam sıcaklıklarının aritmetik ortalamasının alınmasıyla elde edilmektedir.

Ortam sıcaklığının enerji saçınımı üzerindeki etkisinin görülebilmesi amacıyla M4 ısıtılan hacminde, farklı ortam sıcaklıklarında tekrarlı ve kontrollü 155 K deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde tuğla başlangıç sıcaklığı ~5 °C, gerilim ~230 V ve tuğla su emmesi ~1050 g olacak şekilde diğer deneysel parametrelerin de nominal değerlerinde olmasına dikkat edilmiştir.

Ortam sıcaklığının enerji tüketimi üzerindeki tekil etkisinin belirlenebilmesi ve başlangıçta komponent sıcaklıklarının ortam sıcaklığında olabilmesi için, deneyler şartlandırılmış ortamda gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirildiği şartlandırılmış odada sıcaklık hassasiyeti oldukça yüksektir.



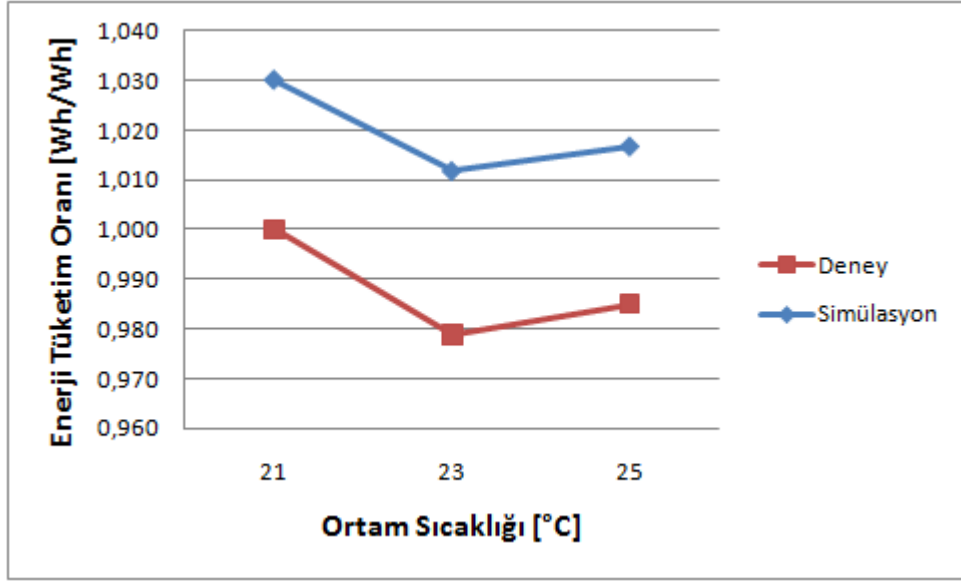
Şekil 3. 18 Şartlandırılmış odada ortam sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Ortam sıcaklığının 23 °C olduğu durum için yapılan 155 K deneyinde, ortam sıcaklığının zamana bağlı değişimi Şekil 3. 18’de gösterilmektedir. Ortam sıcaklığındaki değişimin oldukça küçük olduğu dikkat çekmektedir.

Çizelge 3. 14 Farklı ortam sıcaklıklarındaki enerji tüketim oranları

Ortam Sıcaklığı [°C]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
21	1,000
23	0,979
25	0,985

Standardın öngördüğü şekilde ortam sıcaklığında olabilecek farklılık, enerji tüketimini %2,1 etkilemektedir. En yüksek enerji tüketimi ortam sıcaklığı 21 °C, en düşük enerji tüketimi ise ortam sıcaklığı 23 °C iken elde edilmiştir (Çizelge 3. 14). Düşük ortam sıcaklığında, şasinin ve ısıtılan hacim komponentlerinin ısınması için gereken ön ısıtma süresi ve enerjisi artmaktadır. 21 °C ortam sıcaklığında ön ısıtma süresinin uzaması, diğer ortam sıcaklıklarındaki deneylere göre tuğlanın ısıtılan hacimde kalma süresini de arttırmaktadır.



Şekil 3. 19 Ortam sıcaklığının enerji tüketimine etkisinin deneysel ve simülasyon programında incelenmesi

Farklı ortam sıcaklıklarında yapılan deneysel çalışmalar, simülasyon programında yapılan analizler sonucu elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak elde edilen sonuçlarla, simülasyon programındaki sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3. 19). Simülasyon programında yapılan analizlerde, tuğla başlangıç sıcaklığı enerji tüketimini %1,8 etkilemektedir.

### 3.2.3 Tuğla Su Emmesi

Standart enerji tüketim deneylerinde özellikleri itibariyle yiyeceğe benzer, su emdirilmiş tuğla kullanılmaktadır. Tuğlanın standartlar dâhilinde emmesi gereken su miktarları Çizelge 3. 15'te yer almaktadır.

Çizelge 3. 15 Tuğla su emmesi değerleri

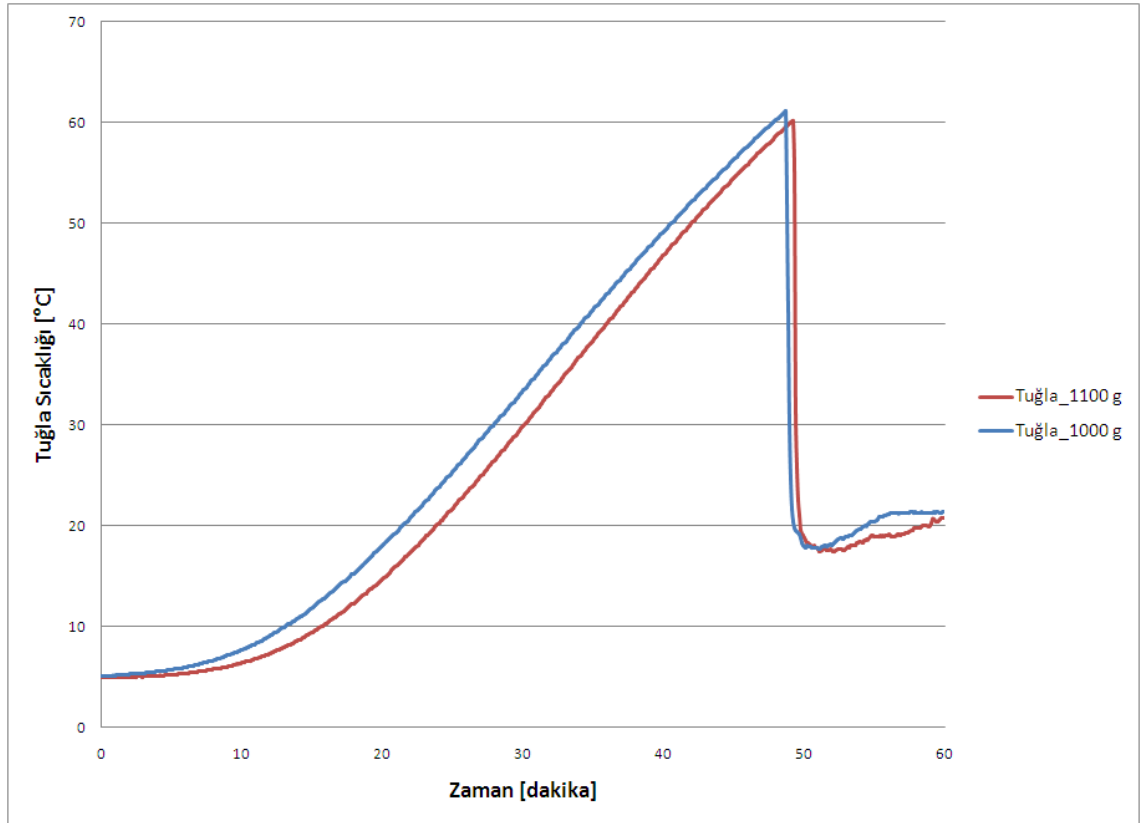
Değer	Tuğla Su Emmesi [g]
Minimum	1000
Nominal	1050
Maksimum	1100

Tuğla su emmesinin enerji tüketim saçınımlı üzerindeki tekil etkisinin belirlenebilmesi amacıyla M5 ısıtılan hacminde, tuğlanın minimum ve maksimum su emmesinde tekrarlı ve kontrollü 155 K deneyleri yapılmıştır. Deneylerde tuğla sıcaklığı ~5 °C, ortam sıcaklığı ~23 °C ve gerilim ~230 V olacak şekilde diğler deneysel parametrelere de dikkat edilmiştir. Bu şekilde elde edilen değerlerde, diğler parametrelerin etkisi mümkün olduğu ölçüde azaltılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 3. 16 Tuğlanın emdiği farklı su miktarlarında enerji tüketim oranları

Tuğla Su Emmesi [g]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
1000	1,000
1100	1,009

Tuğlanın emdiği su miktarındaki maksimum farklılığın, enerji tüketimini %0,9 etkilediği görülmektedir (Çizelge 3. 16). Tuğlanın emdiği su miktarı arttığında enerji tüketimi de artmaktadır.



Şekil 3. 20 Tuğlanın farklı su emmesi durumunda tuğlanın ısınma eğrileri

Tuğlanın emdiği su miktarı arttıkça tuğlanın daha geç ısındığı Şekil 3. 20’de görülmektedir. Tuğlanın ısıtılan hacimde kalma süresi de ~0,6 dakika artmaktadır. Bu durum, ısıtılan hacim içerisindeki ıslak kütlelerin artmasından kaynaklanmaktadır.

### 3.2.4 Gerilim Hassasiyeti

Standart enerji tüketim testinde, ısıtıcının açık konumda olduğu durumda gerilimdeki değişim  $\pm\%1$  olabilmektedir. Gerilim değerindeki değişim, başta turbo ısıtıcı olmak üzere ısıtılan hacim komponentlerinin çalışma gücünü değiştireceğinden, enerji tüketim saçınımı üzerinde etkili olan deneysel parametrelerden biridir.

Standardın öngördüğü şekilde, gerilim değerinde olabilecek değişimin enerji saçınımı üzerindeki tekil etkisinin görülebilmesi amacıyla M4 ısıtılan hacminde, farklı gerilim değerlerinde tekrarlı ve kontrollü 155 K deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde tuğla sıcaklığı  $\sim 5$  °C, ortam sıcaklığı  $\sim 23$  °C ve tuğla su emmesi  $\sim 1050$  g olacak şekilde diğer deneysel parametrelere de dikkat edilmiştir.

Mevcut enerji tüketim deney standardında gerilimdeki farklılık 4,6 V olabilmektedir (Çizelge 3. 17). Gerilim değerleri, deneyin başladığı an ile tuğla merkezine yerleştirilen iki termoelemandaki sıcaklık artışının 55 K olduğu an arasında, ısıtıcının açık olduğu sürelerde ölçülen gerilim değerlerinin ortalamasının alınmasıyla elde edilmektedir.

Çizelge 3. 17 Gerilim değerleri

Değer	Gerilim [V]
Minimum	227,7
Nominal	230
Maksimum	232,3

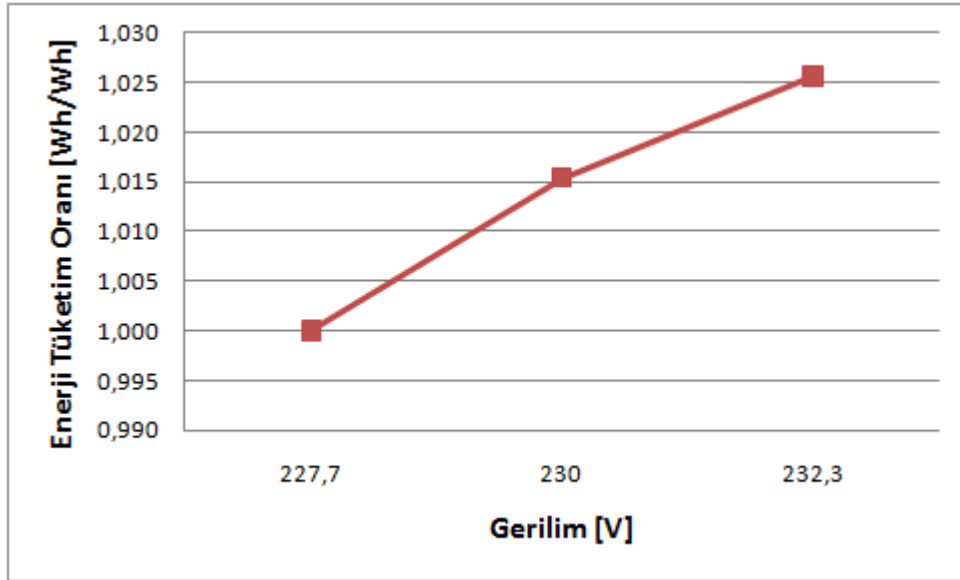
Farklı gerilim değerinde yapılan 155 K deney sonuçları Çizelge 3. 18’de yer almaktadır. Gerilimde standardın öngördüğü şekilde olabilecek farklılık turbo ısıtıcı gücünü %4,5, komponentlerin toplam gücünü ise %4,6 etkilemektedir. Buradaki enerji tüketim

değerleri ile farklı turbo ısıtıcı güçlerinde elde edilen değerler<sup>1</sup> birbiri ile uyum içerisindedir. Çizelgede yer alan güç değeri olarak, 155 K deneyinde tuğla ısıtılan hacimde iken ısıtıcının açık olduğu durumdaki güç değerlerinin ortalaması alınmıştır. Turbo ısıtıcı gücü olarak ise, tuğla ısıtılan hacimde iken ısıtıcının açık olduğu durumdaki güç değerlerinin ortalaması ile ısıtıcının kapalı olduğu durumdaki güç değerlerinin ortalamasının farkı alınmıştır.

Çizelge 3. 18 Farklı gerilimlerdeki deneysel sonuçlar

Gerilim [V]	Güç Oranı [W/W]	Turbo Isıtıcı Güç Oranı [W/W]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
227,7	1,050	1,022	1,000
230	1,070	1,042	1,015
232,3	1,096	1,067	1,026

Gerilim değeri ile enerji tüketimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 3. 21). Gerilim değerlerindeki farklılık enerji tüketim saçınımını %2,6 etkilemektedir.



Şekil 3. 21 Gerilimdeki değişimin enerji tüketimine etkisi

<sup>1</sup> Farklı turbo ısıtıcı güçlerinde yapılan enerji tüketim oranları Çizelge 3. 2 'de verilmiştir.

### 3.2.5 Fark Sıcaklık

Deneyleerde termostat konumu, istenilen fark sıcaklık ( $\Delta T$ ) göz önünde bulundurularak ayarlanmaktadır. Fark sıcaklık, kararlı durumdaki ısıtılan hacim merkez sıcaklığının ortalaması ile ortalama ortam sıcaklığı arasındaki farktır.

Isıtılan hacim enerji tüketim deneyleri, fan ve ısıtıcının beraber çalıştığı zorlanmış taşınım modu için 135 K, 155 K ve 175 K fark sıcaklık değerlerinde<sup>1</sup> yapılmaktadır. Standart bu sıcaklıklarda  $\pm 10$  K farklılığı kabul etmektedir. Standarda uygun şekilde yapılan üç nokta enerji tüketim deney sonuçları, regresyon analizi kullanılarak 155 K fark sıcaklığındaki enerji tüketim değeri elde edilmektedir. Bu durum, ölçüm sistemini iyileştirici yönde etkilemektedir. Regresyon analizi kullanılarak elde edilen bu enerji tüketim değeri, ısıtılan hacimde çalışılan mod için belirli limitler dâhilinde ( $\pm 10,040$  kWh) deklarasyon değeridir.

Standardın öngördüğü şekilde, fark sıcaklıkta olabilecek değişimin enerji saçınımı üzerindeki tekil etkisinin görülebilmesi amacıyla M3 ısıtılan hacminde, tekrarlı ve kontrollü 125 K, 135 K, 145 K, 155 K, 165 K, 175 K ve 185 K deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde tuğla sıcaklığı  $\sim 5$  °C, ortam sıcaklığı  $\sim 23$  °C, gerilim  $\sim 230$  V ve tuğla su emmesi  $\sim 1050$  g olacak şekilde diğer deneysel parametrelerin de nominal değerlerinde olmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 3. 19 Zorlanmış taşınım modunda fark sıcaklık değerleri

Değer	Fark Sıcaklık [K]		
	$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	$\Delta T_3$
Minimum	125	145	165
Nominal	135	155	175
Maksimum	145	165	185

Zorlanmış taşınım çalışma modunda standart deney sıcaklıkları ve toleransları Çizelge 3. 19'da gösterilmektedir.

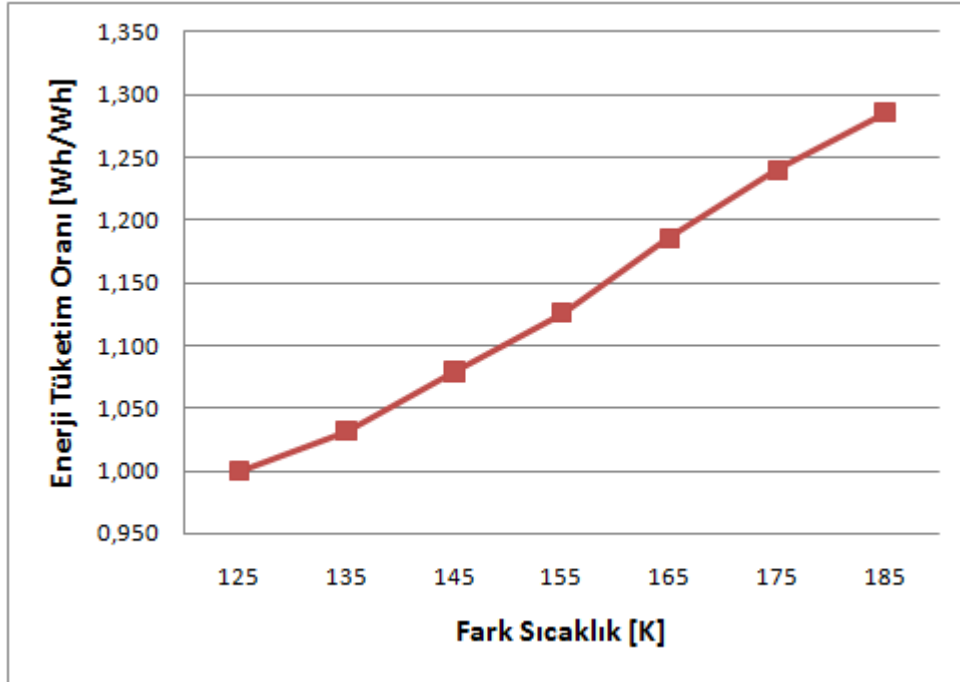
<sup>1</sup> Çalışma moduna göre deney sıcaklıkları Çizelge 2.3'te yer almaktadır.

Zorlanmış taşınım çalışma modunda, set edilen sıcaklık değerine bağlı olarak 1 K sıcaklık artışı enerji tüketimini %0,3 - %0,6 etkilemektedir (Çizelge 3. 20).

Çizelge 3. 20 Farklı sıcaklıklardaki enerji tüketim oranları

Fark Sıcaklık [K]	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
125	1,000
135	1,032
145	1,079
155	1,126
165	1,186
175	1,240
185	1,285

Fark sıcaklık arttıkça enerji tüketiminin de lineer olarak arttığı Şekil 3. 22'de görülmektedir.

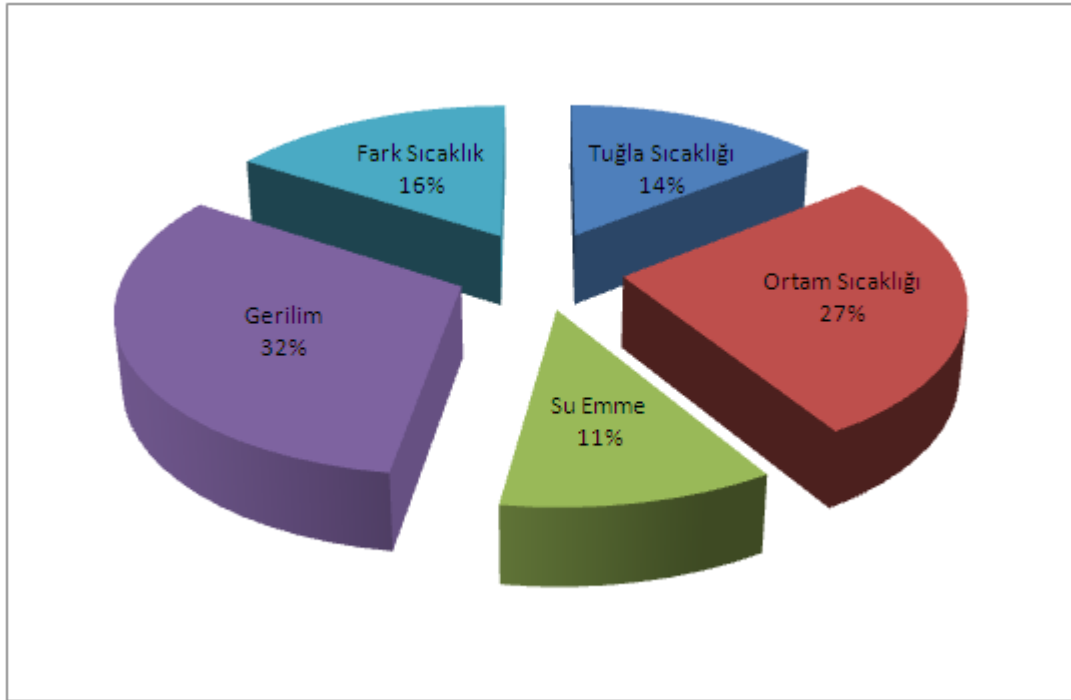


Şekil 3. 22 Fark sıcaklığa bağlı olarak enerji tüketiminin değişimi

Fark sıcaklığın standartta belirtildiği şekilde minimum, nominal ve maksimum değerleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda %0,6'lık bir ortaya çıkmaktadır (Çizelge 3. 21). Regresyon analizinde, sıcaklık değerleri olarak farklı kombinasyonların kullanılması durumunda bu fark maksimum %1,2 olmaktadır. Burada, standart üç nokta enerji tüketim deneylerinin orijinal sıcaklığa yakın yapılmasının daha uygun olduğu söylenebilir.

Çizelge 3. 21 Farklı sıcaklık değerlerindeki regresyon oran sonuçları

Fark Sıcaklık [K]			Regresyon Oranı [Wh/Wh]
$\Delta T_1$	$\Delta T_2$	$\Delta T_3$	
125	145	165	1,006
135	155	175	1,000
145	165	185	1,004



Şekil 3. 23 Saçınımı etkileyen deneysel parametrelerin dağılımı

Enerji saçınımını etkileyen deneysel parametrelerin yüzdesel dağılımı Şekil 3. 23'te gösterilmektedir. Gerilim hassasiyeti, enerji saçınımını etkileyen en önemli deneysel parametredir. Gerilim hassasiyeti başta turbo ısıtıcı olmak üzere, ısıtılan hacim

komponentlerinin çalışma gücünü değiştirdiğinden enerji sağınımlarını direkt olarak etkilemektedir. Ortam sıcaklığı ve fark sıcaklığın regresyon analizi üzerindeki etkisi de sağınım üzerinde etkili olan deneysel parametrelerdendir. Tuđla sıcaklığı ve tuğla su emmesi, diğer parametrelere nazaran sağınım üzerinde daha dűřük etkiye sahiptir.

Deneysel parametrelerin enerji tűketim sađınımlarını üzerindeki etkileri belirlendikten sonra, parametrelerin enerji tűketimi ađısından en iyi ve en kűtű deđerleri kullanılarak tekrarlı 155 K deneyleri yapılmıřtır. Bu řekilde, parametrelerin en olumsuz kořullarının birlikte olduđu durum ile en olumlu kořullarının birlikte olduđu durum arasındaki enerji tűketim farkının belirlenmesi amaçlanmıřtır. Yapılan deneylerde tuđla sıcaklıđı, ortam sıcaklıđı, gerilim hassasiyeti ve tuđla su emmesi deneysel parametreleri gűz űnűnde bulundurulmuř, fark sıcaklık 155 K olacak řekilde termostat konumu ayarlanmıřtır.

Deneysel parametrelerin enerji tűketimi ađısından en kűtű ve en iyi deđerleri izelge 3. 22'de gűsterilmektedir.

Çizelge 3. 22 Deneysel parametrelerin en kűtű ve en iyi deđerleri

Parametre	Değer	
	En Kűtű	En İyi
Gerilim [V]	232,3	227,7
Ortam Sıcaklığı [°C]	21	23
Tuğla Sıcaklığı [°C]	7	5
Tuğla Su Emmesi [g]	1100	1000

Deneysel parametrelerin en olumsuz koşullarının birlikte olduğu durum ile en olumlu koşullarının birlikte olduğu durum arasındaki enerji tűketim farkının belirlenmesi için yapılan çalışmalar, iki adet ısıtılan hacimde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. 23 Deneysel parametrelerin en iyi ve en kötü durumunda enerji tüketim oranları

Isıtılan Hacim	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]	
	En Kötü	En İyi
M3	1,000	0,955
M5	1,000	0,961

Zorlanmış taşınım modunda deneysel parametrelerin en olumsuz koşullarının birlikte olduğu durum ile en olumlu koşullarının birlikte olduğu durum, enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde ~%4'lük bir fark söz konusudur (Çizelge 3. 23).

### SAÇINIM AZALTMA ÇALIŞMALARI

Yapısal ve deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki dağılımı belirlendikten sonra, enerji saçınımı azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Enerji saçınımı azaltma çalışmaları, turbo ısıtıcı gücü, turbo motor devri ve havalandırma motor devri olmak üzere üç yapısal parametre esas alınarak yapılmıştır. Çalışmalar, tez kapsamında incelenen tüm ürünlerde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde tuğla sıcaklığı  $\sim 5$  °C, ortam sıcaklığı  $\sim 23$  °C, gerilim  $\sim 230$  V ve tuğla su emmesi  $\sim 1050$  g olacak şekilde, saçınım üzerinde etkili olan deneysel parametrelere dikkat edilmiştir.

Saçınım azaltma çalışmalarından önce, tüm ısıtılan hacimlerde tekrarlı 155 K deneyleri yapılarak mevcut saçınım durumu belirlenmiştir. Saçınım azaltma çalışmalarında incelenen yapısal parametrelerin mevcut durumdaki kabul kriter limitlerinin maksimum-minimum farkı Çizelge 4. 1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 1 Yapısal parametrelerin mevcut durumdaki kabul kriter limitleri

Komponent	Maksimum Minimum Fark
Turbo Isıtıcı Gücü [W]	270
Turbo Motor Devri [d/d]	300
Havalandırma Motor Devri [d/d]	300

Yapısal parametrelerin limitleri (Çizelge 4. 1) daraltılarak, mevcut saçınım değerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4. 2 Mevcut durumda ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim oranları

Isıtılan Hacim	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
M1	1,000
M2	1,018
M3	0,995
M4	0,957
M5	0,932
M6	0,920

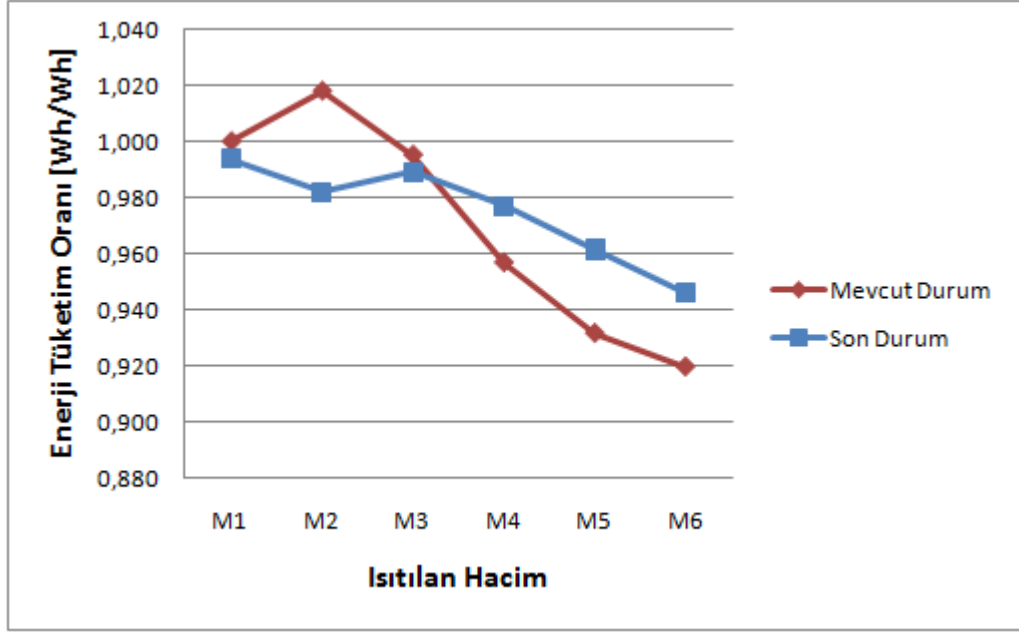
Mevcut durumda, 6 ürün içerisindeki enerji saçınımının %9,8 olduğu görülmektedir (Çizelge 4. 2). Yapısal parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki dağılımının belirlenmesi sırasında, turbo ısıtıcı gücü, turbo motor devri ve havalandırma motor devri için enerji tüketimi açısından iyi değerlerin elde edildiği aralıklar dikkate alınarak saçınım azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4. 3 Son durumda ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim oranları

Isıtılan Hacim	Enerji Tüketim Oranı [Wh/Wh]
M1	0,994
M2	0,982
M3	0,989
M4	0,977
M5	0,962
M6	0,946

Turbo ısıtıcı gücü, turbo motor devri ve havalandırma motor devri için mevcut limitlerin daraltılması ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen enerji tüketim oranları Çizelge 4. 3'te gösterilmektedir. Son durumda, ısıtılan hacimlerin enerji tüketimleri

arasındaki fark %4,8 olarak elde edilerek, mevcut duruma göre enerji saçınımları %51 azalmıştır.



Şekil 4. 1 Mevcut ve son durumda enerji tüketim saçınımları

M1, M2 ve M3 ısıtılan hacimlerinde son durumda enerji tüketimi azalırken; M4, M5 ve M6 ısıtılan hacimlerinde arttığı dikkat çekmektedir (Şekil 4. 1).

Çizelge 4. 4 Son durumdaki parametre limitleri

Komponent	Maksimum Minimum Fark
Turbo Isıtıcı Gücü [W]	60
Turbo Motor Devri [d/d]	200
Havalandırma Motor Devri [d/d]	100

Turbo ısıtıcı, turbo motor ve havalandırma motoru yapısal parametrelerinin çalışma limitlerinde yapılacak iyileştirmeler (Çizelge 4. 4) sonucu, mevcut enerji saçınımları %51 azalmaktadır.

### DENEYSEL PARAMETRELERİN İSTATİSTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Enerji tüketim saçınımına etkisi incelenen deneysel parametreler, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Minitab programında Anova metodu kullanılarak, deneysel parametrelerin enerji saçınımı üzerinde istatistiksel olarak etkili olup olmadığı belirlenmiştir.

Herhangi bir deneysel parametrenin enerji saçınımı üzerindeki etkisi belirlenirken, saçınım üzerinde etkisi olan diğer deneysel parametrelerin nominal değerlerinde olmasına dikkat edilmiştir. Bu şekilde saçınımına etkisi incelenen deneysel parametrenin enerji tüketimine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, aynı koşullarda tekrarlı 3 adet 155 K deneyleri<sup>1</sup> yapılmıştır.

Her bir deneysel parametre için Minitab programı kullanılarak, Anova metodunda tek faktörlü varyans analizi yapılmıştır. İstatistiksel çalışmaların sonuçları genellikle P değeri kullanılarak değerlendirilmektedir. P değeri ya da önemlilik seviyesi, 0,05 değerinden küçükse, incelenen parametre etkilidir. İstatistiksel açıdan incelenen deneysel parametreler;

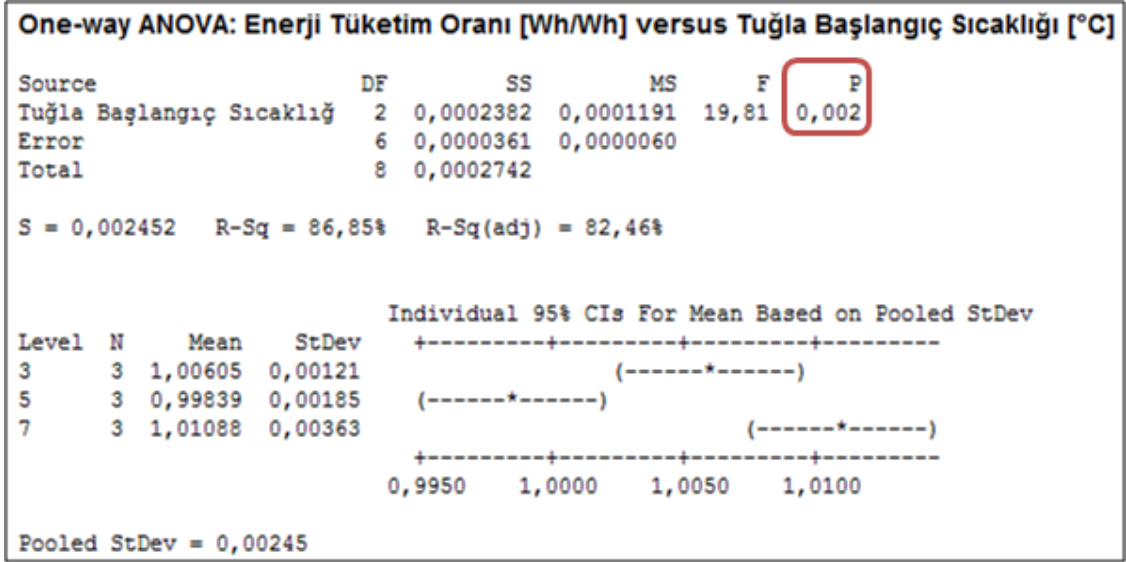
- Tuğla başlangıç sıcaklığı,
- Ortam sıcaklığı,
- Tuğla su emmesi,

---

<sup>1</sup> 3. 2 bölümde yapılan deney sonuçları istatistiksel analizde kullanılmıştır.

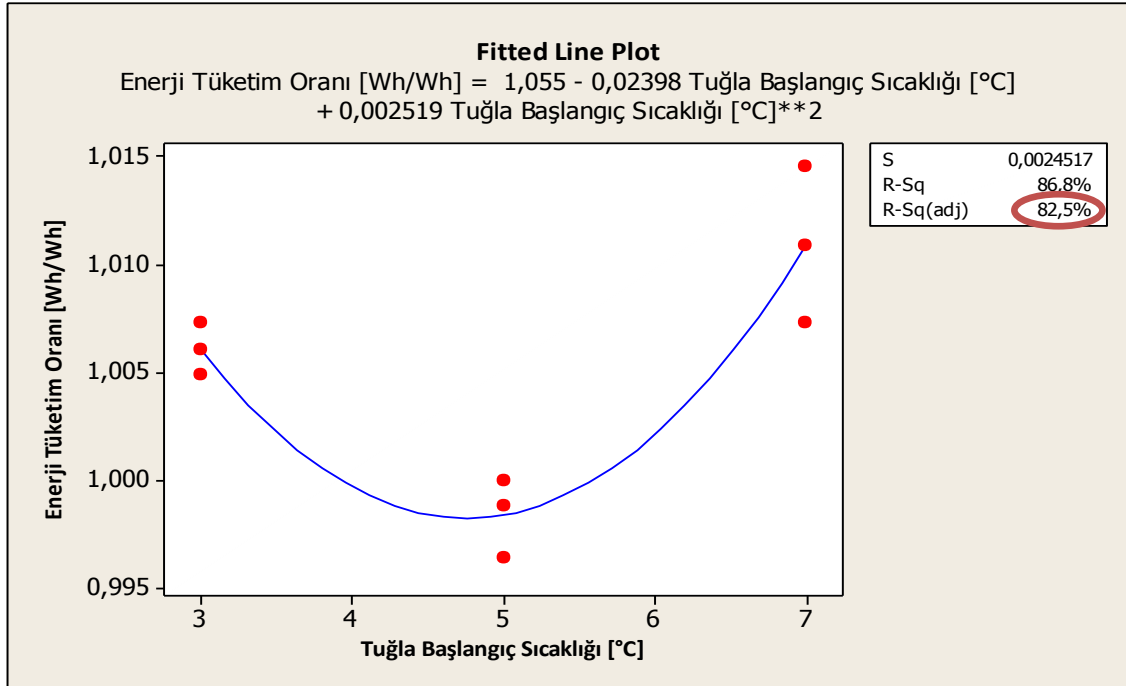
- Gerilim hassasiyetidir.

**Tuğla Başlangıç Sıcaklığı:** Tuğla başlangıç sıcaklığının enerji saçınımına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan 155 K deney sonuçları kullanılarak, tuğla başlangıç sıcaklığı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki istatistiksel açıdan incelenmiştir.



Şekil 5. 1 Tuğla başlangıç sıcaklığı ile ilgili minitab analiz çıktısı

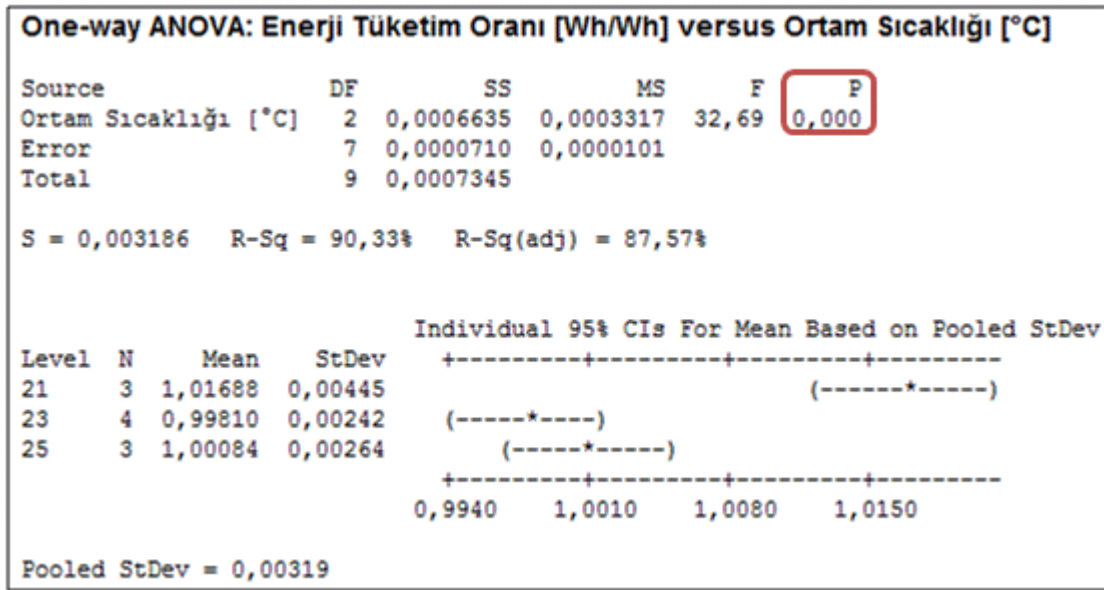
$P < 0,05$  olduğundan, tuğla başlangıç sıcaklığının enerji tüketimi üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu söylenebilir (Şekil 5. 1).



Şekil 5. 2 Tuğla başlangıç sıcaklığı ile enerji tüketim oranının ilişkisi

Tuğla başlangıç sıcaklığı ile enerji tüketim oranı arasındaki ilişki 2. dereceden bir denklem ile ifade edilebilir (Şekil 5. 2). Bu model ile enerji tüketim oranındaki değişkenliğin %82,5'i açıklanmaktadır.

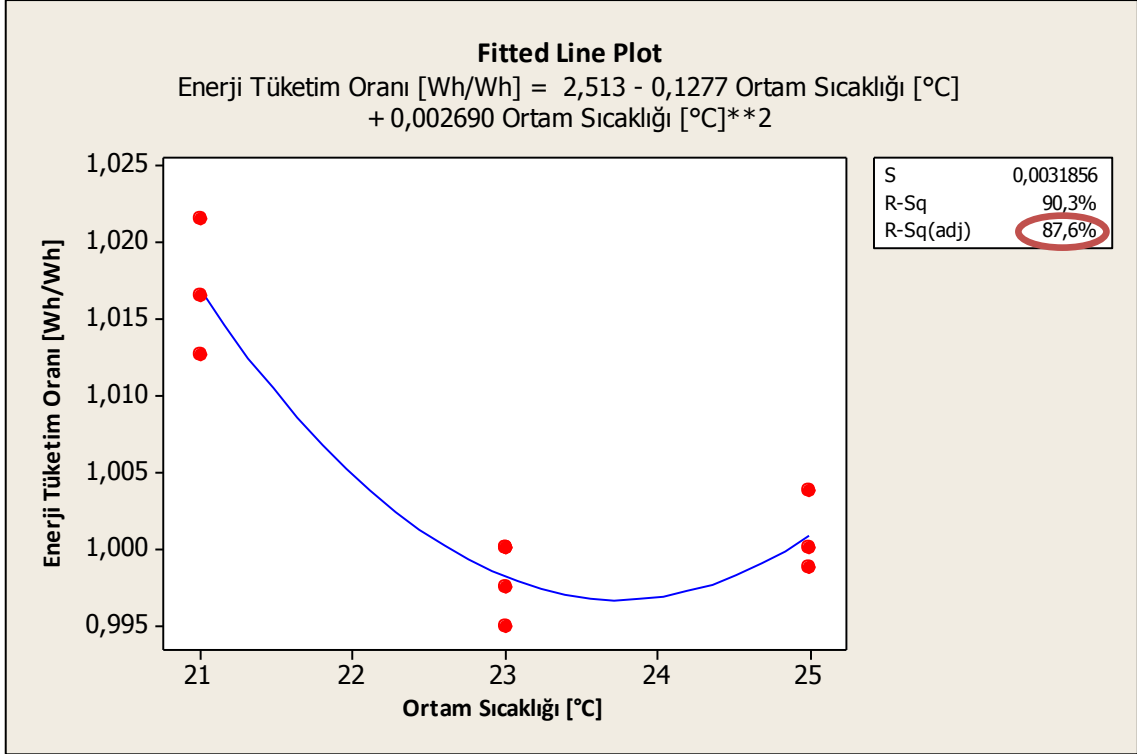
**Ortam Sıcaklığı:** Ortam sıcaklığının enerji saçınımına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, diğer deneysel parametrelerin nominal değerlerinde olmasına dikkat edilerek yapılan 155 K deney sonuçları kullanılarak, ortam sıcaklığı ile enerji tüketimi arasındaki ilişki istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir.



Şekil 5. 3 Ortam sıcaklığı ile ilgili minitab analiz çıktısı

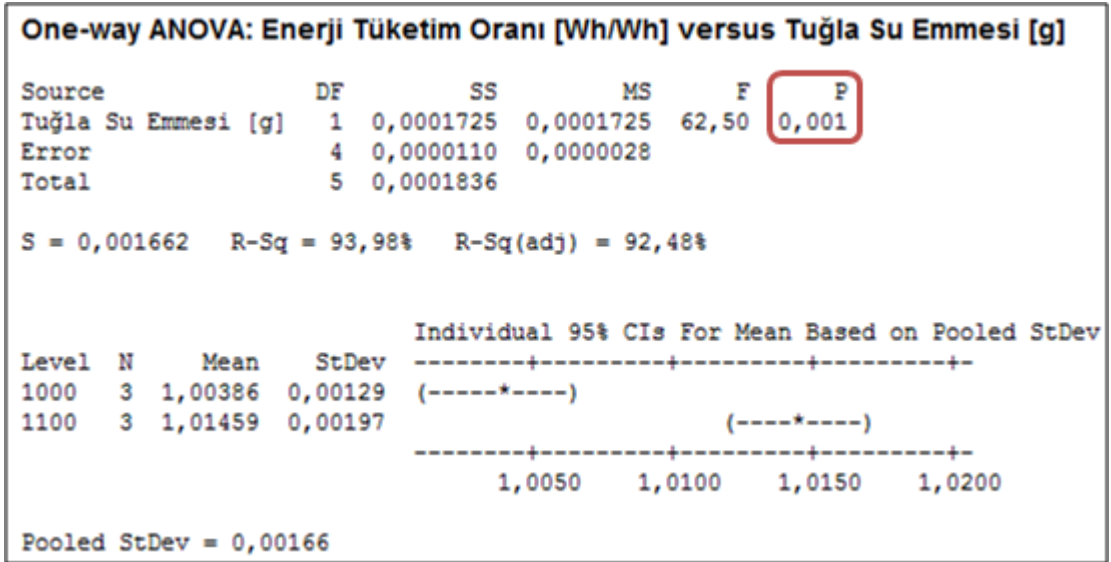
P değerine bakıldığında, ortam sıcaklığının enerji tüketimi üzerinde istatistiksel açıdan etkili bir parametre olduğu görülmektedir (Şekil 5. 3).

Yapılan regresyon analizi sonucu, ortam sıcaklığı ile enerji tüketim oranı arasındaki ilişki 2. dereceden bir denklem ile ifade edilmektedir (Şekil 5. 4). Bu model ile enerji tüketim oranındaki değişkenliğin %87,6'sı açıklanmaktadır.



Şekil 5. 4 Ortam sıcaklığı ile enerji tüketim oranının ilişkisi

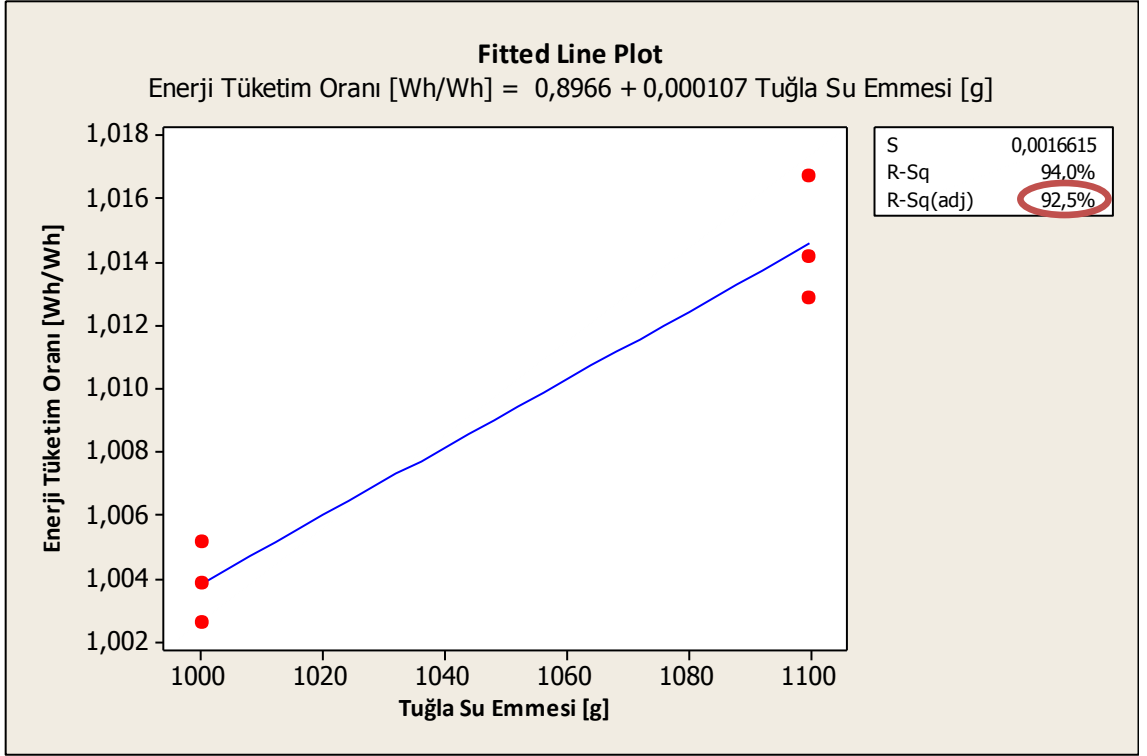
**Tuğla Su Emmesi:** Tuğlanın standartlar dâhilinde maksimum ve minimum su emmesi durumunda, enerji tüketiminin nasıl değiştiği istatistiksel açıdan incelenmiştir.



Şekil 5. 5 Tuğla su emmesi ile ilgili minitab analiz çıktısı

Tuğla su emmesinin enerji tüketimi üzerinde istatistiksel olarak etkili olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılan analiz sonucu, P değeri 0,001 (<0,05) olarak elde

edildiğinden tuğla su emmesinin enerji tüketimi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. (Şekil 5. 5).

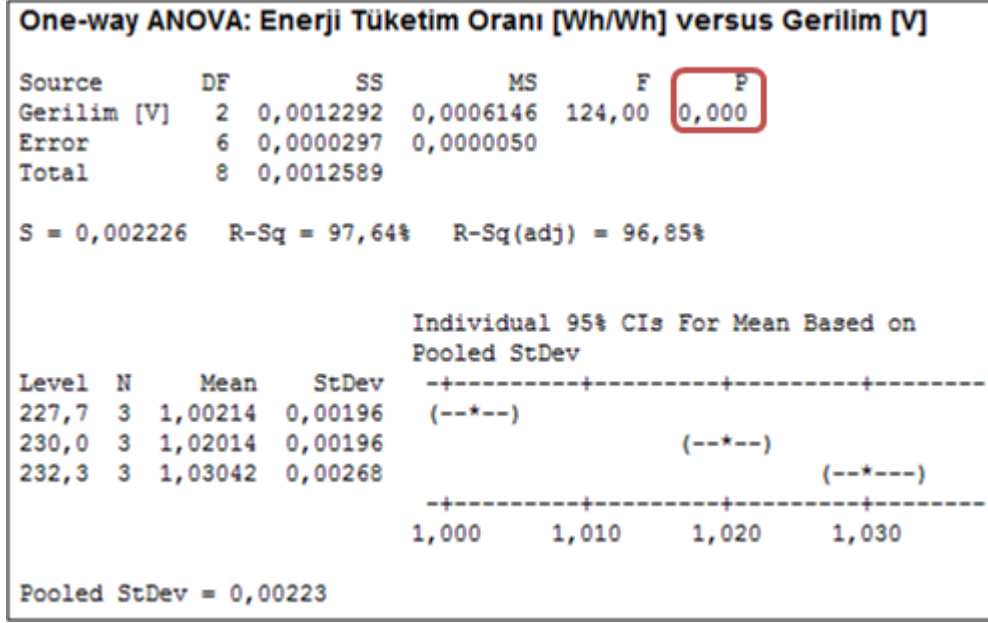


Şekil 5. 6 Tuğla su emmesi ile enerji tüketim oranının ilişkisi

Yapılan regresyon analizi sonucu, ortam sıcaklığı ile enerji tüketim oranı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 5. 6). Bu model ile enerji tüketim oranındaki değişkenliğin %92,5'i açıklanmaktadır.

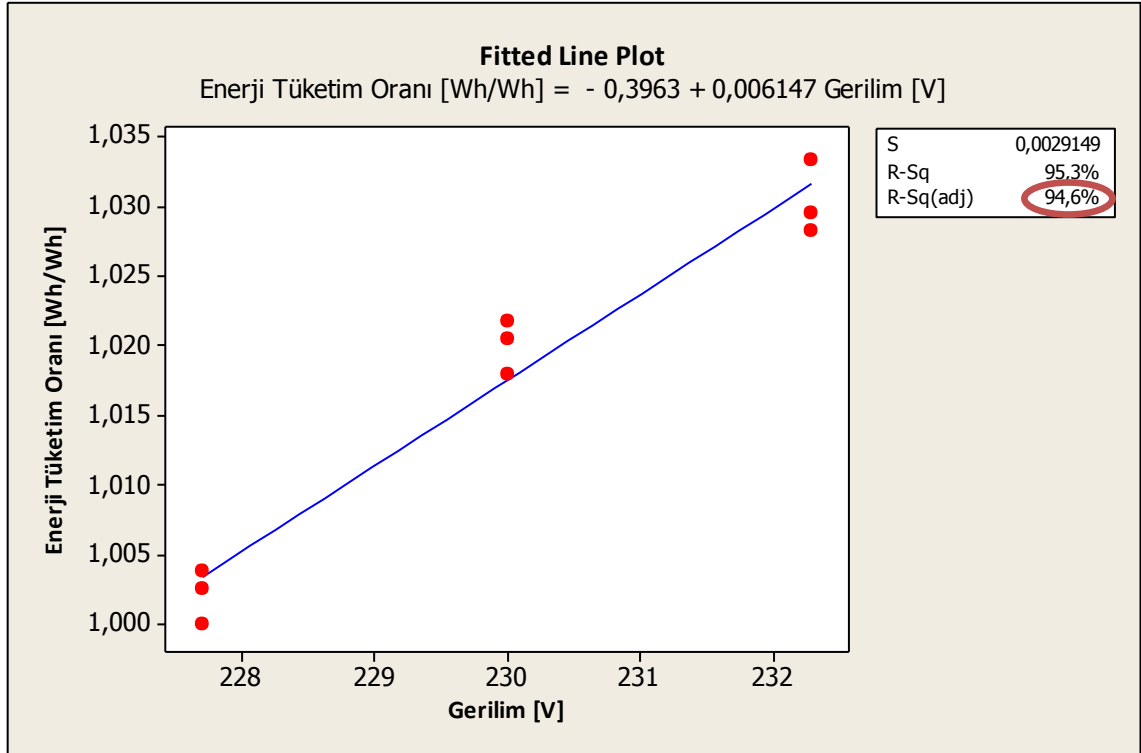
**Gerilim Hassasiyeti:** Standardın öngördüğü şekilde gerilimde olabilecek değişimin enerji saçınımına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, diğer deneysel parametrelerin nominal değerlerinde olmasına dikkat edilerek yapılan 155 K deney sonuçları kullanılarak, istatistiksel analiz yapılmıştır.

P<0,05 olduğundan, gerilimdeki değişimin enerji saçınımı üzerinde istatistiksel olarak etkili olduğu söylenebilir (Şekil 5. 7).



Şekil 5. 7 Gerilim ile ilgili minitab analiz çıktısı

Gerilimdeki değişim ile enerji tüketim oranı arasındaki ilişki 2. dereceden bir denklem ile ifade edilebilir (Şekil 5. 8). Bu model ile enerji tüketim oranındaki değişkenliğin %94,6'sı açıklanmaktadır.



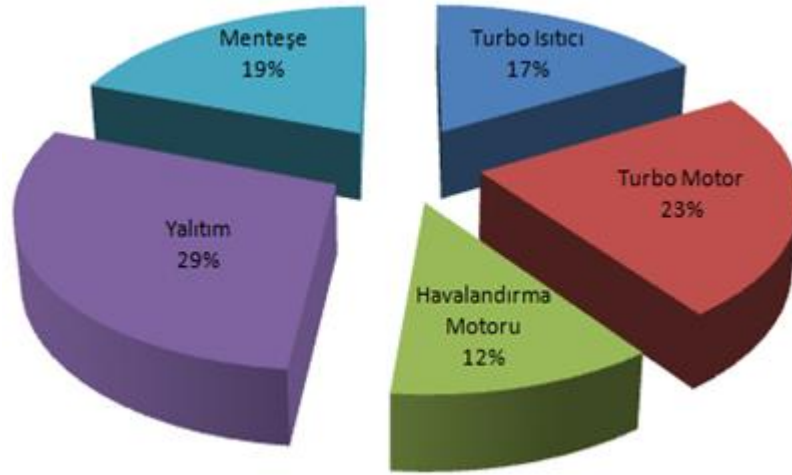
Şekil 5. 8 Gerilim ile enerji tüketim oranının ilişkisi

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, ürün ve ölçüm (deney şartları) açısından ısıtılan hacimlerdeki enerji tüketim saçınıminin sebepleri incelenmiş ve saçınımi azaltacak yöntemler ortaya konmuştur.

Deneysel çalışmalar öncesinde enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik makaleler ve patentler incelenerek, enerji tüketimi azaltma yöntemleri hakkında bilgi edinilmiştir.

Yapılan çalışmalarda, ısıtılan hacimlerde enerji tüketim farklılığına neden olabileceği belirlenen yapısal ve deneysel parametrelerin enerji saçınımi üzerindeki tekil etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

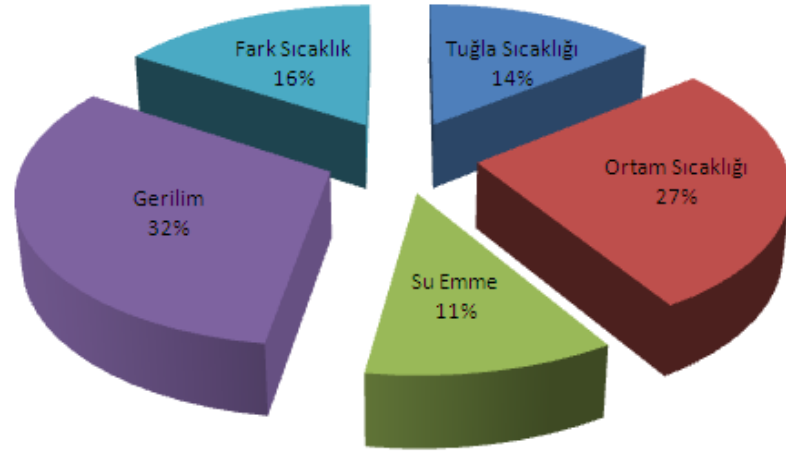


Şekil 6. 1 Yapısal parametrelerin saçınıma etkisi

Kabul kriterleri belirlenen turbo ısıtıcı, turbo motor ve havalandırma motorunun enerji saçınımina olan etkisi %50'den fazladır. Bu açıdan turbo ısıtıcı gücü, turbo motor ve havalandırma motor devirleri için belirlenen limitlerin mevcut duruma göre daraltılmasıyla, bu komponentlerden kaynaklanan saçınımi azaltılabilir. Yalıtım, enerji

tüketim saçınımını etkileyen en önemli yapısal parametredir. Yalıtım şasiden olan ısı kayıpları engellediğinden, yalıtım sarımının iyileştirilmesi kayıpları azaltacağı gibi; yalıtım sarımından kaynaklanan problemler de kayıpların artmasına neden olacaktır. Bu sebeple, yalıtım sarımının sıkılaştırılması ve üretimden kaynaklanabilecek problemlerin önüne geçilmesi ile enerji saçınımı azaltılabilir. Menteşede orijinal durumda bir problem olmamasına karşın, zamanla kapağın tam olarak kapanmasına engel olabilecek bir problem görülmüştür. Menteşeden kaynaklanan problem, kapağın tam olarak kapanmasına engel olacağından kapaktan olan ısı kayıpları önemli ölçüde arttıracaktır.

Ev tipi elektrikle ısıtılan hacimlerin enerji tüketim deneylerinin gerçekleştirildiği EN 50304 standardındaki [20] toleranslar göz önünde bulundurularak, deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki tekil etkisi belirlenmiştir.



Şekil 6. 2 Deneysel parametrelerin saçınımına etkisi

Gerilim hassasiyeti, enerji saçınımını etkileyen en önemli deneysel parametredir. Gerilim hassasiyeti turbo ısıtıcı başta olmak üzere, ısıtılan hacim komponentlerinin çalışma gücünü değiştirdiğinden enerji saçınımını direkt olarak etkilemektedir. Farklı gerilim değerlerinde yapılan deneyler ile farklı turbo ısıtıcı güçlerinde elde edilen değerler, sonuç olarak birbiri ile uyum göstermektedir. Ortam sıcaklığı ve fark sıcaklığın regresyon analizi üzerindeki etkisi de, saçınım üzerinde etkili deneysel parametrelerdendir. Tuğla sıcaklığı ve tuğla su emmesi, diğer parametrelere nazaran saçınım üzerinde daha düşük etkiye sahiptir.

Deneysel parametrelerin en olumsuz koşullarının birlikte olduğu durum ile en olumlu koşullarının birlikte olduğu durum, enerji tüketim saçınımı açısından değerlendirildiğinde ~%4'lük bir fark söz konusudur.

Deneysel parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki etkisi ile ilgili elde edilen veriler, ısıtılan hacimlerin deklarasyonu sırasında faydalı olacaktır. Kritik bir deklarasyon durumunda, deneysel parametrelerin en kötü şartlarında elde edilen sonuçlar kullanılabileceği gibi, standardın öngördüğü aralıktan yararlanmak istenildiğinde, deneysel parametrelerin en iyi şartlarında elde edilen sonuçlar kullanılabilir.

Yapısal ve deneysel parametrelerin enerji tüketim saçınımı üzerindeki dağılımı belirlendikten sonra, enerji saçınımı azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yapısal parametrelerden kabul kriter limitleri belirlenen turbo ısıtıcı, turbo motor ve havalandırma motorunun enerji tüketimi açısından iyi değerlerinin elde edildiği aralıklar göz önüne alınarak, mevcut duruma göre limitleri daraltılmıştır.

Çizelge 6. 1 Saçınım azaltma çalışmaları sonucunda özet tablo

Değer	Maksimum Minimum Fark	
	Mevcut Durum	Son Durum
Turbo Isıtıcı Gücü [W]	270	60
Turbo Motor Devri [d/d]	300	200
Havalandırma Motor Devri [d/d]	300	100
Enerji Saçınımı [%]	9,8	4,8

Sonuç olarak, yapısal parametrelerin enerji saçınımı üzerindeki tekil etkisinde %50'den fazla etkiye sahip olan turbo ısıtıcı, turbo motor ve havalandırma motoru yapısal parametrelerinin çalışma limitlerinde yapılacak iyileştirmeler ile mevcut enerji saçınımı %51 azaltılmıştır.

Enerji saçınımına etkisi incelenen deneysel parametreler istatistiksel açıdan değerlendirildiğinde, enerji saçınımını etkilediği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Shaughnessy, B.M. ve Newborough, M., (2000). "Energy performance of a low-emissivity electrically heated oven", *Applied Thermal Engineering*, 20:813-830.
- [2] Ryckaert, V.G., Claes, J.E. ve Van Impe, J.F., (1999). "Model-based temperature control in ovens", *Journal of Food Engineering*, 39:47-58.
- [3] Bozgeyik, A., (2006). Elektrikli Fırınların Enerji Tüketimini Azaltmaya Yönelik Yöntemlerin Deneysel Olarak Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Hancılar, N. (2007). Elektrikli Ankastre Fırınlarda Enerji Tüketiminin Deneysel ve Teorik İnceleme ile Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Sparrow, E.M. ve Abraham, J.P., (2002). "Heat transfer coefficients and other performance parameters for variously positioned and supported thermal loads in ovens with/without water-filled or empty blockages", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45:3597-3607.
- [6] Oh K.S., (2006). "Electric oven", Samsung Electronics Co. Ltd., EP1674796.
- [7] Sauton, J., (2005). "Electric cooking oven with reflecting screen", Brandt Ind., EP1176366.
- [8] Frasnetti, L., Lattuada F. ve Baranzelli F., (2008). "Method of operating a domestic oven and cooking oven having a cooling fan", Whirlpool Co., EP1457740.
- [9] Kim, S.K., Ha, Y.J., Kim, K.H., Hong, S.W., Lee, K.Y., Kim, C.J., Hwang, Y.I., Kang, S.H., Park, S.S., Kim, T.H. ve Cho, P.Y., (2009). "Oven", Samsung Electronics Co. Ltd., EP1731844.
- [10] Honma, M., Kimura, H., Horikiri, Y. ve Ishii, T., (2006). "Cooker", Hitachi Home&Life Solutions, JP2006017389.
- [11] Brunner, F., (2008). "Oven", Bosch Siemens Hausgeraete, WO2008148675.
- [12] Kim, T.S., Cho, Y.W. ve Hahm, K.H., (2006). "Electric oven and method of controlling the same", Samsung Electronics Co. Ltd., US7038179.

- [13] Turek, R., (2008). "Method for cooking a dish", Electrolux Home Prod. Corp., EP2005866.
- [14] Kohn, B. ve Grevet, F., (2005). "A controller for the energy uptake for an oven", Electrolux AB, EP1251342.
- [15] Sauter, K. ve McFarland J.C., (2002). "Convection cooking appliance with rapid preheat system", Maytag Corp., US6388235.
- [16] Barritt, W., (2004). "No preheat system for a cooking appliance", Maytag Corp., US6812433.
- [17] Keller, E., (1991). "Procedure and device for heating food in oven - where oven is automatically switched off shortly before completion of cooking and heat is recovered while allowing temp. to fall", Electrolux AG., CH678996.
- [18] Son, C.H., (2009). "Oven And Controlling Method Of The Same", LG Electronics Inc., KR20090061882.
- [19] Morbidelli, L., (2011). "Method for a heating a cooking chamber of an oven", Indesit Co. Spa., EP2282128.
- [20] BSI EN 50304, (2001). Electric ovens for household use-Methods for measuring energy consumption, British Standards Institution, London.
- [21] Genceli, O.F., (2005). Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [22] Arçelik A.Ş., (2005). Altı Sigma Yeşilkuşak Eğitim Notları, İstanbul.
- [23] Kantaş, M. ve Yalçınkaya, N., (2009). "Fırın Fan-Turbo Isıtıcı Uyumu (Fan-Heater) Projesi Çalışmaları", Arçelik A.Ş. Proje Raporları, ARN-356.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Murat KADAL  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 06.03.1986 / Şişli  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : muratkadal86@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans <sup>1</sup>	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
	Makine Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2007
Lise	Fen Bilimleri	Nişantaşı Nuri Akın Lisesi	2004

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011	Arçelik A.Ş. Arge Direktörlüğü	Proje Yardımcısı

---

<sup>1</sup> 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne yatay geçiş yapılmıştır.