

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ISITICI KONTROL YÖNTEMLERİNİN
ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN İRDELENMESİ**

Makine Mühendisi Hasan YÖRÜK

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Enerji Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS BİTİRME TEZİ

Tez Danışmanları: Prof.Dr. İsmail TEKE (YTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM (YTÜ)

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	xi
2. ALGORİTMALAR	1
2.1 Enerji Tasarrufu Sağlamaya Yönelik Algoritmalar	1
2.2 Hibrit Fırınlarda Isıtıcı Kontrol Algoritmaları	6
2.3 Gıda Bazlı Pişirme Uygulamaları	8
2.3.1 Et Pişirme Uygulamaları	8
2.3.1.1 Et Pişirme Patentleri	8
2.3.1.2 Et Pişirme ve Et Pişirme Modellemesine İlişkin Makaleler	12
2.3.2 Ekmek Pişirme Uygulamaları	14
2.3.2.1 Ekmek Pişirme Patentleri	14
2.3.2.2 Ekmek Pişirme ve Ekmek Pişirme Modellemesine İlişkin Makaleler	15
3. PİŞİRME MODELLEMESİ ÇALIŞMALARI	17
3.1 Modelleme ve Algoritma Denemeleri	19
3.1.1 Modelin Özellikleri	19
3.1.1.1 Şekil Faktörleri ve Kapalı Hacim Işınım Dengesi	21
3.1.1.2 Taşınım ile Isı Geçiş Katsayılarının Belirlenmesi	22
3.1.1.3 Isıtıcılar	23
3.1.1.4 İç Yüzeyler	24
3.1.1.5 İzolasyon	26
3.1.1.6 Kapak	27
3.1.1.7 Ara Hacim	28
3.1.1.8 Fırın İç Hacmi	28
3.1.2 Modele Ait Giriş Ekranları	30
3.2 Deney Düzeneği ve Tuğla Testi Standartı	33
3.2.1 Deney Laboratuvarı ve Kullanılan Fırınlarda	33
3.3 Enerji Tüketim Deneyi Standartı	35
3.4 Modelin Doğrulanması	40
4. ALGORİTMA ANALİZLERİ ve DENEYLERİ	42
4.1 Isıtıcıların Kapatılması Yerine Değişken Güçle Çalıştırılması (ALG 2)	42

4.1.1	Üst Isıtıcı.....	44
4.1.2	Izgara	45
4.1.3	Alt Isıtıcı	46
4.1.4	Sarmal Isıtıcı.....	46
4.2	Ön Isıtma Sürecinde Isıtıcıların Yüksek Güçle Çalışması (ALG 3)	48
4.2.1	Alt ve Üst Isıtıcının Çalıştığı Durum.....	48
4.2.2	Sarmal Isıtıcı ve Fanın Çalıştığı Durum	49
4.3	Ön Isıtmanın Kademelendirilmesi (ALG 4).....	50
4.4	Isıtıcıların Açık ve Kapalı Kalma Süreleri Arasındaki Orana Bağlı Olarak Çalışması (ALG 5).....	51
4.4.1	Ön Isıtma Sonrasında İtibaren ON/OFF Süreleri Eşit Olan Durum	51
4.5	Değişken Sıcaklık Değerinde Çalışma (ALG 6)	52
4.5.1	Düşük Set Sıcaklığı	53
4.5.2	Yüksek Set Sıcaklığı (ALG 6_2).....	54
4.6	Farklı Termostat Hassasiyeti ile Çalışma (ALG 7)	55
4.6.1	Farklı Termostat Hassasiyeti	55
4.6.2	İşlem Sırasında Termostat Hassasiyetinin Değiştirilmesi (ALG 7_2)	57
5.	SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....		64
ÖZGEÇMİŞ.....		67

SİMGE LİSTESİ

q_{net}	Net ısı transferi (kJ)
m	Kütleli debi (kg/s)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı (J/kg*K)
T	Sıcaklık (K)
t	Süre (s)
$q_{\text{üretilen}}$	Belirlenen hacimdeki ısı üretimi (kJ)
q_{giren}	Belirlenen hacme giren ısı miktarı (kJ)
$q_{\text{çıkan}}$	Belirlenen hacimden çıkan ısı miktarı (kJ)
J_x	x yüzeyi için radiosity
ϵ	Yayma oranı
E_b	Yüzeyin yayma gücü (W/m ²)
Nu	Nusselt sayısı
Re	Reynolds sayısı
Pr	Prandtl sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
ΔT	Sıcaklık farkı (K)
L	Karakteristik uzunluk (m)
h, H_{con}	Taşıyıcıyla ısı transferi katsayısı (W/m ² *K)
Δt	Zaman farkı (s)
$W_{\text{ısıtıcı}}$	Isıtıcı gücü (W)
$q_{\text{taşıyım}}$	Taşıyıcıyla transfer olan ısı miktarı (W)
$q_{\text{ışınım}}$	İşinimle transfer olan ısı miktarı (W)
V	Gerilim (Volt)
α	Düzeltilme katsayısı
$T_{\text{ısıtıcı}}$	Isıtıcı yüzey sıcaklığı (°C)
T_{referans}	Isıtıcı gücünün hesabında kullanılan referans sıcaklık değeri (°C)
Ω	Isıtıcının elektriksel direnci (ohm)
$A_{\text{ısıtıcı}}$	Isıtıcının yüzey alanı (m ²)
$T_{\text{üst hava}}$	Isıtıcı üzerindeki hava sıcaklığı (°C)
σ	Stefan Boltzman sabiti (5,67*10 ⁻⁸ W/m ² *K ⁴)

$q_{\text{taşınım-izo}}$	Taşınlımla yüzeylerden izolasyona transfer olan ısı miktarı (W)
$q_{\text{iletim-yüzey}}$	Yüzeyler arasında iletimle olan ısı transferi (W)
k_{sac}	Sacın ısı iletim katsayısı (W/m*K)
d_1	Sac kalınlığı (m)
ℓ	Sac uzunluğu (m)
h_{rad}	Işınım ısı transfer katsayısı (W/m ² *K)
T_{izo}	İzolasyon yüzey sıcaklığı (K)
$T_{\text{izo_üst}}$	İzolasyon üstü yüzey sıcaklığı (°C)
$A_{\text{içcam}}$	İç cam yüzey alanı (m ²)
$\epsilon_{\text{iç cam}}$	İç cam yayma oranı
$T_{\text{iç cam}}$	İç cam yüzey sıcaklığı (K)
$J_{\text{içcam}}$	İç cam yayma oranı
k_{cam}	Cam ısı iletim katsayısı (W/m*K)
Δx	Camlar arasındaki mesafe (m)
A_{cam}	Cam yüzey alanı (m ²)
m_{hava}^i	i. zaman adımımda fırın hacmini terk eden hava (kg/s)
T_{hava}	Hava sıcaklığı (°C)
$q_{\text{inftoplam}}$	Fırın hacmini terk eden hava ile gerçekleşen ısı transferi (W)
$\text{minf}_{\text{deney}}$	Deneysel olarak belirlenen fırın hacmini terk eden hava debisi (kg/s)
$h_{\text{rad}_{\text{camarası}}}$	Camlar arasındaki ışınlımla ısı transfer katsayısı (W/m ² *K)
T_{cam_i}	i. Cam yüzey sıcaklığı (°C)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Pişirici içerisindeki doğal (1) ve zorlanmış (2) taşınımına ilişkin şematik görünüm...	xii
Şekil 2.1 Atıl ısıların pişirme sonunda kullanıldığı tasarıma ait sıcaklık-zaman grafiği [5]	3
Şekil 2.2 Sıcaklığın direk olarak ayar sıcaklığına çıkarıldığı (solda) ve sıcaklığın kademeli olarak ayar sıcaklığına çıkarıldığı algoritma(sağda)	3
Şekil 2.3 Üç farklı firmaya ait et pişirme algoritmalarına ilişkin sıcaklık-zaman grafikleri.....	9
Şekil 2.4 Farklı et miktarları için işlem süreleri (altta) ve iki kilogram et için işlem süresi-sıcaklık grafiği (üstte) [16]	10
Şekil 2.5 Buharlı fırında ekmek pişirmek için oluşturulan algoritmaya ait sıcaklık ile bağlı nemin zamanla değişimi [28]	15
Şekil 3.1 Pişirme sırasında gıdada eş zamanlı gerçekleşen taşınım olayları	18
Şekil 3.2 Model Akış Diyagramı	20
Şekil 3.3 Isı geçiş şeması	20
Şekil 3.4 Turbo ısıtıcının bulunduğu bölmedeki ısı transferi ilişkileri.....	22
Şekil 3.5 İzolasyona ait çok hücreli sıcaklık çözümü (solda) ve herhangi bir andaki sıcaklık dağılımı (sağda)	26
Şekil 3.6 Fırın kapağındaki ısı transferi ilişkileri	27
Şekil 3.7 Kullanılan deney düzeneğinin şematik görüntüsü (solda) ve gerçek görüntüsü (sağda)	34
Şekil 3.8 Fırındaki ısıtıcılara ait şematik görünüm.....	34
Şekil 3.9 Buzdolabında su içerisinde bekletilen tuğlalar	36
Şekil 3.10 Ortam sıcaklığının ölçümü için kullanılan termokupulun yerleşimi.....	37
Şekil 3.11 Tuğlanın fırın içerisine yerleştirilmesi	37
Şekil 3.12 Fırın kullanılabilir hacminin hesaplanması	39
Şekil 4.1 Modelde sarmal ısıtıcının off periyotlarında %50 güçle beslendiği durum için çevrim sayılarındaki azalmaya ait görünüm.....	43
Şekil 4.2 Üst ısıtıcı için modele ait ALG 2 analiz sonuçları özeti	44
Şekil 4.3 Algoritma deneysel uygulamalarındaki deneysel düzenek (solda) ve kullanılan röle (sağda)	45
Şekil 4.4 Alt ısıtıcı için modele ait ALG 2 analiz sonuçları özeti	46
Şekil 4.5 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için modele ait ALG 2 analiz sonuçları özeti.....	47
Şekil 4.6 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı modda ALG 3 için modele ait analiz sonuçları.....	49
Şekil 4.7 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için modele ait analiz sonuçları.....	50
Şekil 4.8 Modelde katsayı ve düşük sıcaklıkta çalışma süresine bağlı olarak regresyon enerjisindeki değişim.....	53
Şekil 4.9 Analiz sonuçlarından farklı termostat hassasiyetine göre 55K enerjileri değişimi ...	56
Şekil 4.10 ALG 7_2’de regresyon enerjisinde elde edilen kazançların değişimi.....	57

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Sıcaklık aralıklarına bağlı olarak ısıtıcı açık kalma süreçleri [15].....	7
Çizelge 2.2 Et cinsine, durumuna ve ağırlığına göre pişirme süre ve sıcaklıklarının değişimi [17] 11	
Çizelge 2.3 Sadece mikrodalga ısıtıcının bulunduğu sistemde “Kanatlılar modu” altındaki yiyeceklerin ağırlıklarına bağlı olarak pişirme süreleri ve frekans çıkış değerleri [21]12	
Çizelge 3.1 Isı taşınım katsayıları ile ilgili bağıntılar.....	23
Çizelge 3.2 İzolasyon grubu verileri.....	31
Çizelge 3.3 Şasi grubu verileri	31
Çizelge 3.4 Isıtıcı grubu verileri	32
Çizelge 3.5 Kapak grubu verileri.....	32
Çizelge 3.6 Çalışma grubu verileri	33
Çizelge 3.7 Hipor tuğlaya ait özellikler.....	35
Çizelge 3.8 Kullanılan pişirme moduna göre EN 5034 Standardında belirlenen enerji tüketim testi sıcaklıkları [47].....	38
Çizelge 3.9 Tuğla Testi Standardına Göre Belirlenen Fırın Hacimleri	39
Çizelge 3.10 Fırın enerji standardında orta hacimli fırınlar için belirtilen enerji sınıfları	40
Çizelge 3.11 Model doğrulama deneylerine ilişkin doğal taşınım için (solda) ve zorlanmış taşınım için (sağda) sonuçlar	41
Çizelge 4.1 Tasarlanan ve incelemeleri yapılan algoritmaların özellikleri	42
Çizelge 4.2 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı modda üst ısıtıcı için ALG 2 deney sonuçları	45
Çizelge 4.3 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 2 deney sonuçları	47
Çizelge 4.4 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı modda ALG 3 için deneysel çalışma sonuçları.....	49
Çizelge 4.5 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG3 deneysel çalışma sonuçları.....	50
Çizelge 4.6 Algoritmada kullanılan sıcaklık limitleri ile ısıtıcıların açık ve kapalı kalma yüzdeleri	51
Çizelge 4.7 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 5 modele ait analiz sonuçları ...	52
Çizelge 4.8 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda ALG 5 için modele ait analiz sonuçları	52
Çizelge 4.9 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 6’ya ait deneysel çalışma sonuçları	54
Çizelge 4.10 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 6_2’de katsayı ve yüksek sıcaklıkta çalışma süresine bağlı olarak regresyon enerjisindeki (%) kazançlar.....	54
Çizelge 4.11 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için Alg 6_2’ye ait deneysel çalışma sonuçları	55
Çizelge 4.12 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durumda ALG 7 için deneysel çalışma sonuçları57	
Çizelge 4.13 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 7_2’de yapılan deneysel çalışma sonuçları	58
Çizelge 5.1 Tasarlanan algoritmalara ilişkin modele ait analizler ile deneysel çalışma sonuçları	62

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. İsmail TEKE ve Sn. Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve çalışmaya destek olan Arçelik Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, başta Sn. Fatih ÖZKADI'nın şahsında teşekkür ederim. Çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, değerli fikirleri ve eleştirileriyle çalışmaya katkıda bulunan Sn. Dr. Levent AKDAĞ'a, Sn. Dr. Bekir ÖZYURT'a ve Sn. Aslı KAYIHAN'a, deneysel çalışmalarındaki katkılarından dolayı Sn. Mehmet MARAŞLI ve Sn. Barış ERDOĞAN'a yapılan çalışmaya katkılarından dolayı Arçelik ARGE Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak, tüm hayatım boyunca her adımda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiren sevgili AİLEM ve tüm dostlarıma şükranlarımı sunarım.

Ağustos 2009

Hasan YÖRÜK

ÖZET

Günümüzde üretilen tüm elektronik ekipmanlarda komponentler arasındaki uyumun sağlanması komponent tasarımı kadar önemlidir. Bu amaçla üretici firmalar, komponentler arasındaki uyuma cevap verecek algoritmalar oluşturma yoluna başvurmuştur. Algoritmalar; herhangi bir değişiklik gerektirmeden enerji tasarrufu sağlama ve komponentler arasındaki uyumu sağlayarak yüksek kalitede ürünler elde edilmesi gibi avantajlara sahiptir. Elektrikli ısıtıcılarda doğru algoritmaların kullanılması düşük enerji sarfiyatları ile daha kaliteli pişirme ve yüksek ürün memnuniyetinin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu özelliği ile algoritmalar, elektrikli ısıtıcıların enerji sınıfının belirlenmesinde kilit önem sahiptir.

Bu çalışmanın ilk kısmında, algoritmaların bahsedilen etkileri göz önünde bulundurularak, algoritmalarla ilişkin patent ve literatür araştırması yapılmıştır. İkinci kısımda, elektrikli pişiricilerin enerji sınıfının belirlenmesinde kullanılan EN 50304 standardı hakkında ve çalışmanın diğer kısımlarında kullanılacak deney düzeneği ile Fırın Termal Simülasyon Programı (FIRSİM) hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın son bölümünde, ilk bölümde yapılan literatür araştırmasının sonuçlarından yararlanılarak enerji tüketimini azaltmaya yönelik algoritmalar tasarlanmıştır. Algoritmaların; deneysel çalışmada karşılaşılabilecek güçlükler göz önünde bulundurularak ve parametrik etkilerinin belirlenmesi için, ilk olarak modellenmesi yapılmıştır. Bir sonraki aşamada ise analizler sonucunda avantajlı bulunan algoritmalarla ilişkin deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Algoritmalarla ilişkin deneysel çalışma sonuçları ile pişirici üzerinde herhangi bir değişikliğin yapılmadığı durumun sonucu kıyaslanarak uygulanan yöntemlerin fırının enerji tüketimine olumlu ya da olumsuz etkileri sayısal olarak açıklanmıştır. Fırın üzerindeki tüm deneysel çalışmalar, EN 50304 standartlarına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji, enerji tüketimi, ısı geçişi

ABSTRACT

Nowadays, component harmony in an appliance is as important as component design. For this reason manufacturers choose algorithms for providing component harmony. Algorithms have such advantages like; reducing the energy consumption without any component change, and getting better product and component efficiency. Using true algorithms in cooking device result better cooking quality and product pleasure with low energy levels. Because of this features, algorithms have key role for determining the cooking device's energy class.

According to these effects, first part of this study, literature and patent survey are performed about algorithms. Second part of the study, detailed information is gave about EN 50304 standard, Oven Thermal Simulation Program (FIRSİM) and experimental set.

Last part of the study, by considering the algorithm literature and patent survey results, algorithms are designed for reducing energy consumption. Before experimental studies, algorithms are modeled on FIRSİM (Oven Thermal Simulation Program) for determining the parametric effects of algorithms and overcome possible difficulties of utilization of algorithms. After determination of advantageous algorithms by FIRSİM analyze results, experimental studies performed on an electric oven. After that, oven's original energy consumption values and energy consumption values after modifications were compared. The results of algorithms are explained in numerical values and compared with oven's original energy consumptions. All experimental studies for determining the energy consumption of oven is performed according to EN 50304 standards.

Key words: energy, energy consumption, heat transfer

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun ateşi bulmasıyla birlikte yiyeceklerin pişirilmesi günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu amaçla ilk önce gıdalar elle veya bir nesne yardımıyla ateş üzerinde tutularak pişirilmiş daha sonra yerleşik hayata geçilmesiyle insanlar ateşi yaşadıkları ortamda etkili olarak kullanmak için çeşitli yöntemlere başvurmuşlardır. Böylece yiyeceğin ateş üzerinde tutularak pişirilmesiyle başlayan yolculuk günümüzde birçok pişirme yönteminin kullanıldığı pişirme şekline evrimleşmiştir.

Pişirme, basit olarak gıdadaki belirli kimyasal reaksiyonların optimum seviyede oluşması için gıdaya ısı transfer edilmesi olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte ısı transferi farklı metotlarla gerçekleştirilebilmektedir. Doğrudan ateş kullanılabileceği gibi (ocakta pişirme), yüksek sıcaklıkta hava sirkülasyonu, buharla pişirme, sıvı içinde pişirme (haşlama, kızartma), radyasyon (infrared-kızılötesi, dielektrik), manyetik alan etkisiyle (mikrodalga, indüksiyon vb)) veya elektriksel yöntemler (ohmic-rezistans pişirme v.b.) kullanılarak pişirme sağlanabilir. Bahsedilen pişirme yöntemlerinin temel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Yüksek sıcaklıkta hava sirkülasyonu ile ısıtma; ısıtıcılardan havaya aktarılan ısıнын taşınım ve ışıınım yoluyla gıdaya aktarılmasıdır. Ev tipi fırınlarda yaygın olarak kullanılan prosestir. Fırınların fanlı tiplerinde zorlanmış taşınım, fansız olan tiplerinde doğal taşınım ısı transferi baskındır.
- İmpingement ısıtma, yüksek ısı transfer katsayısının sağladığı hızlı ve kaliteli prosesler nedeniyle fırında pişirme ve dondurma operasyonlarında kullanılmaktadır. Jet impingement fırınları pizza, kraker, kurabiye ve tahıl ürünlerini pişirmek ve kızartmak için kullanılmaktadır. Ev tipi kullanımı bulunmamaktadır.
- Buhar ve su ile ısıtma, doğal konveksiyonun kullanıldığı nemli pişirme prosesidir. Buharlı fırın ve hibrit mikrodalga buhar fırın olarak ev tipi kullanımı olan buhar ve su ısıtma, besin değeri en yüksek oranda korunduğu yöntemdir.
- Infrared ısıtma, ısıнын ışııkla gıda yüzeyine taşınma şeklidir ve yüzey ısıtmak için kullanılır fakat ısıнын gıdanın iç kısımlarına ilerlemesi zordur. Tek başına ev tipi kullanımına bulunmamaktadır, hibrit (birleştirilmiş uygulamalar) mikrodalga fırınlarda ev tipi kullanım sağlamaktadır.
- Mikrodalga ısıtma, moleküller arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan ısıнын gıdanın iç tarafından dışına doğru yiyeceğe verilmesidir. Hızlı ısıtma ve pişirme avantajı sağlayan yöntem, ev tipi fırınlarda kullanıldığı gibi sanayide de birçok alanda kullanılmaktadır.
- İndüksiyon ısıtma, bir manyetik alan içerisinde ısı ile temas etmeden iletken malzemeleri (genel olarak metalleri) ısıtmaya yarayan yöntemdir. Halojen, radiant, gaz ve elektrik pişirme metotları ile karşılaştırıldığında verimliliği daha yüksek olan indüksiyonla pişirme endüstriyel fırınlarda kullanılmaktadır.
- Radyo Frekansı (RF) ile ısıtma, ısıнын hacim içinde oluşumuyla gerçekleşen bir elektro ısıtma modelidir. Kapasitör sisteminde çalışan bu ısıtma yönteminde gıda kapasitördeki malzeme gibi davranmaktadır. Plastik, tekstil, kâğıt&ambalaj, ahşap ve gıda endüstrisinde kullanılan yöntemin ev tipi kullanımı bulunmamaktadır.
- Ohmic ısıtma, elektrik akımına karşı direnç gösteren sıvı-katı partikül karışımı bir gıdanın

içinden elektrotlar yardımıyla alternatif akım geçirilerek yapılmaktadır. Besin değeri yüksek hazır gıdaların sterilizasyon işlemleri, konserve gıdalarının ön pişirilmesi, yüksek asit içerikli gıdaların sterilizasyonu, katı-sıvı partiküllü gıdaların pişirilmesi proseslerinde kullanılan ohmic ısıtmanın ev tipi kullanımı bulunmamaktadır.

Bu çalışmada elektrikli pişiricilerde pişirme kalitesinden ödün vermeden tasarlanacak enerji tasarrufu sağlayıcı algoritmaların araştırılması ve pişirici enerji tüketimleri üzerindeki etkisinin irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde gerçekleştirilen aktivitelerin daha iyi anlaşılabilmesi için bu tip pişiriciler hakkında kısa bilgi vermek yararlı olacaktır. Elektrikli pişiriciler temel olarak; ısıtıcılar, pişirme haznesi, kapak ve üretilen ısıyı korumasını sağlayan izolasyona sahiptir. Pişirici içerisindeki ısı transferi ısı kaynağında üretilen ısıyı ışıma, zorlanmış ve/veya doğal taşınım ile yiyeceğe aktarılması şeklinde gerçekleşmektedir. Isı kaynağında üretilen ısı, kaynak yüzeyinden pişirici içi havaya ve havadan da yiyeceğe aktarılmaktadır. Pişiricinin özelliklerine göre üst ve alt yüzeylerde birer ısıtıcı bulunduğu durumda ısıtıcılarda üretilen ısı, sırasıyla pişirici içerisindeki havaya ve yiyeceğe doğal taşınım aktarılırken fan ve etrafında bulunan sarmal ısıtıcının kullanıldığı durumda ise ısı transferi zorlanmış taşınım ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1.1 Pişirici içerisindeki doğal (1) ve zorlanmış (2) taşınımına ilişkin şematik görünüm

Elektrikli pişiricilerde hem pişirici içerisindeki kütle transferi etkin kılmak hem de elektronik komponentlerin güvenli sıcaklık sınırları içerisinde çalışabilmesi sağlamak amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bahsedilen etki, bir fan yardımıyla zorlanmış taşınım ile sağlanabileceği gibi doğal taşınım ile de sağlanabilmektedir. Fan kullanılan tasarımlarda bir yandan baca yardımıyla fırın içerisinden sıcak hava çekmekte diğer yandan elektronik komponentlerin soğutulmasını sağlamaktadır. Daha sonra bu iki hava belirli debi oranları ile

kariştırılarak pişiriciden ortama atılmaktadır.

Pişirme sırasında pişirici içindeki hava sıcaklığının ölçümü için termostat veya sensörler kullanılmaktadır. Bir kontrol elemanı sensörlerden aldığı sinyallere göre pişirme işlemini yönlendirmektedir. Gelen sinyallerini hafızasındaki değerlerle karşılaştırmakta, değerlendirme yaparak çıkış sinyalleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın ilk aşamasında elektrikli pişiricilerde kullanılan algoritmalara ilişkin literatür araştırması yapılmıştır. Algoritmalar; enerji tasarrufu sağlayıcı, hibrit pişiricilerde komponentler arasında uyumu sağlayıcı ve gıda bazlı pişirme algoritmaları olmak üzere 3 ana başlık altında toplanmıştır. İkinci aşamada, çalışmada kullanılan model hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca elektrikli pişiricilerde enerji sarfiyatının belirlenmesi için kullanılan EN 5034 standardı hakkında kısa bilgilendirme yapılmıştır. Bundan sonraki aşamada, kullanılan modelin güvenilirliği tespit edildikten sonra ilk aşamada yapılan algoritma literatür çalışmasının sonuçlarından yola çıkılarak algoritmalar tasarlanmıştır. Tasarlanan algoritmaların parametrik etkilerinin belirlenmesi ve deneysel çalışmada karşılaşılabilecek güçlükler göz önünde bulundurularak, ilk olarak modelle analizleri yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Bir sonraki aşamada ise analizler sonucunda avantajlı bulunan algoritmalara ilişkin deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve gerçek durumda sağladıkları avantajlar sayısal olarak irdelenmiştir.

2. ALGORİTMALAR

Günümüzde üretilen tüm elektronik ekipmanlarda komponent tasarımlarının ayrı ayrı önemi olmasının yanı sıra, komponentlerin de uyum içinde çalışacak yapıda olması gerekmektedir. Bu amaçla üretici firmalar, komponentler arasındaki uyuma cevap verecek algoritmalar oluşturma yoluna başvurmuştur. Algoritmalar, komponentler arasındaki uyumu sağlayarak ekipman verimliliği arttırmakta ve üreticinin tasarımına uygun değerlerde bir ürün elde etmesini sağlamaktadır. Öte yandan algoritmalar komponentlerin ömürlerini uzatarak kullanıcıyı ek maliyetlerden kurtarmaktadır. Bunun yanı sıra algoritmalar, yapılan tasarımların pişirme kalitesi üzerindeki etkinliğini sağlamak ve kullanıcının ürün memnuniyetini arttırmaktadır.

Düşük enerji sarfiyatlı fırınlar ile enerjinin daha verimli kullanılması son yıllarda üzerinde yoğunlaşılan konuların başında gelmektedir. Küresel ısınma ile birlikte her tür elektronik veya elektronik olmayan cihazın minimum enerji girdisi ile çalışmasının önem kazanması üretici firmaları yüksek enerji verimine sahip tasarımlara yönlendirmektedir. Algoritmalar, fırın komponentlerinde herhangi bir değişiklik gerektirmeden enerji tasarrufu sağlayabilmeleri açısından büyük avantaj sağlamaktadırlar. Bu özellikleriyle algoritmalar daha çok enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte enerji tasarrufu sağlamak amacıyla tasarlanan algoritmaların pişirme kalitesini etkilememesi uygulamalardaki kilit noktayı oluşturmaktadır.

Bu çalışmada da yukarıda bahsedilen faktörler göz önünde bulundurularak algoritmalarla ilişkin enerji tasarrufu yoğunluklu olmak üzere literatür ve patent araştırması yapılmıştır. Literatür araştırmasında daha çok gıda bazlı pişirme uygulamalarında pişirme kalitesinin artırılmasına yönelik uygulamaların ağılıkta olduğu görülmüştür. Bununla birlikte patent araştırmasında üretici firmaların enerji tasarrufu sağlamaya yönelik çalışmalar üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

2.1 Enerji Tasarrufu Sağlamaya Yönelik Algoritmalar

Elektrikli fırınlarda enerji tasarrufu sağlamaya yönelik patent araştırmasında algoritmaların ısıtıcı elemanların kontrolü ile enerji tasarrufu sağlamaya yönelik çalışmalar üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Tasarlanan yöntemlerde ısıtıcıların çalışma karakteri (açık/kapalı kalma süreleri) düzenlenmektedir. Algoritmaların temelini; ısıtıcıların sürekli çalıştırılmak yerine belirlenen aralıklarla kapatılması ve fırın elemanları üzerinde biriken atıl ısının

pişirmede kullanılarak enerji tasarrufu sağlanması oluşturmaktadır. Isıtıcıların kapalı kalma süreçleri genellikle, pişirme kalitesinde değişim olamayacak şekilde, deneysel olarak belirlenmiştir.

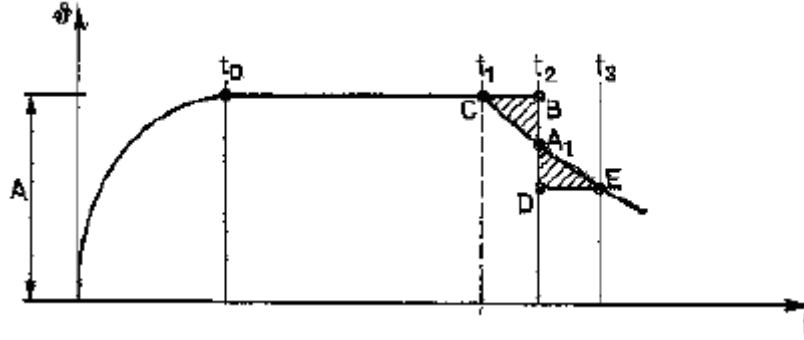
Fırınlardaki pişirme işlemi temel olarak ön ısıtma ve ön ısıtma sonrası süreç olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Ön ısıtma aşamasında fırın soğuk halden ayar sıcaklığına kadar ısıtılmakta ve bu süreçten sonra asıl pişirme işlemi başlamaktadır. Bu amaçla, pişirme işleminde ön ısıtma aşamasının pişirmenin bir an önce başlaması için olabildiğince çabuk ve minimum enerji sarfıyatı ile aşılması istenmektedir. Bazı pişirme işlemlerinin fırın ısıtıldıktan sonra gıdanın fırına yerleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmesinin temel nedeni de aslında budur. Bu amaçla üretici firmalar bu sürecin olabildiğince çabuk aşılabilmesi için çeşitli algoritmalara başvurmaktadır. Bu algoritmaların çoğunda ön ısıtma sürecinde ısıtıcılar yüksek güçle çalıştırılarak fırın içerisine ani olarak yüksek miktarda ısı verilmekte ve bu yolla ön ısıtma süre ve enerjisinin azaltılması hedeflenmektedir. Bu algoritmaların en tipik örneği Maytag firması tarafından tasarlanan, fırındaki ısıtıcıların tamamının yüksek güçle çalıştırılması sonucu ön ısıtma sürecinin kısaltıldığı hatta ortadan kaldırıldığı iddia edildiği uygulamadır. Patentte, firmanın tasarladığı algoritma ile 14 dakika süren bisküvi pişirme işleminin 7,5 dakikaya indiği belirtilmektedir [1].

Ön ısıtma sürecindeki bir başka uygulamada ise ısıtıcılar, belirlenen sıcaklık aralığına kadar sürekli çalıştırılmakta, fırın sıcaklığı ön ısıtma tamamlanmadan önce; $(T_{ayar}/2) < T_{fırın} < T_{ayar}$ koşulunu sağladığında ise 1,5 – 3 saniye gibi çok kısa süreler iki kez kapatılarak kademeli ısıtma yapılmaktadır. Sıcaklık artırımı adı verilen bu süreçte ısıtıcıların açık kalma süreleri, kapalı kalma sürelerinden fazla iken daha sonraki sıcaklık koruma modunda ise ısıtıcıların açık kalma süresi, kapalı kalma sürecinin yarısı mertebesinde. Bu yolla ısıtıcıların geleneksel çalışma karakteristiğine göre enerji tasarrufu sağlandığı belirtilmektedir [2].

Diğer bir uygulamada kullanıcı tarafından girilen ayar sıcaklığı, kavite sıcaklığı ile karşılaştırılmakta ve aradaki sıcaklık farkına bağlı olarak ısıtıcıların açık ve kapalı kalma süreleri belirlenmektedir. Fırın ayar sıcaklığından uzak bir sıcaklıkta iken ısıtıcıların açık kalma süreleri daha fazla iken ayar sıcaklığına yaklaşıldıkça açık kalma süreleri azalmaktadır. Algoritma bu özelliği ile elektronik termostat algoritması yazılımına yönelik uygulama niteliğindedir [3].

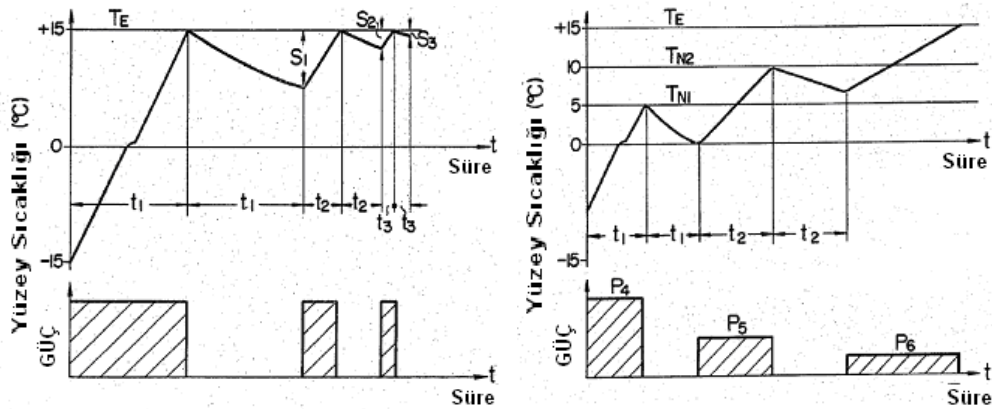
Isıtıcı kontrollü uygulamaların en temel halini yansıtan Electrolux firmasına ait uygulamada, belirlenen zamanlarda ısıtıcılar kapatılarak kavitede biriken ısı pişirmede kullanılmakta ve

sıcaklık belirlenen alt sıcaklık değerine ulaşınca ısıtıcılar tekrar çalıştırılmaktadır [4]. Aynı firmaya ait benzer bir uygulamada ise pişirme bitmeden belirli bir süre önce fırına güç uygulanması kesilmekte ve bu yolla pişirme, kavitede depolanan enerji yardımıyla sonlandırılmaktadır [5]. Bahsedilen algoritma Miele firmasına ait fırınlarında pişirme sonlandırma amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 2.1 Atıl ısının pişirme sonunda kullanıldığı tasarıma ait sıcaklık-zaman grafiği [5]

Isıtıcı kontrolü ile enerji tasarrufu sağlamaya yönelik bir diğer algorithmda ise pişirme sonuna yaklaştıkça ısıtıcıların açık kalma süreleri kısaltılmaktadır. Bu yöntemde, ısıtıcıların bir çevrimdeki açık ve kapalı kalma süreleri aynı olup bu değerler her çevrim için farklı değerdedir.



Şekil 2.2 Sıcaklığın direk olarak ayar sıcaklığına çıkarıldığı (solda) ve sıcaklığın kademeli olarak ayar sıcaklığına çıkarıldığı algoritma (sağda)

Patentte tasarlanan algoritmalarından bir diğerinde, yiyecek yüzey sıcaklığı ayar sıcaklığına kademeli olarak çıkarılmaktadır. Bu yöntemde kendi içinde iki kategoriye ayrılmaktadır. Bunlardan birincisinde belirlenen sıcaklık değerlerinde ısıtıcı güç değerleri belirlenen

oranlarda azaltılmakta ve ayar sıcaklığına ulaşılan kadar ısıtıcı kapatılmamaktadır. İkincisinde ise ısıtıcılar belirlenen sıcaklık değerlerinde kapatılmakta ve ısıtıcı gücü belirlenen oranda azaltılmaktadır. Isıtıcıların kapalı ve açık kalma süreleri eşittir [6].

Electrolux firmasına ait uygulamada; pişirme sırasında fırın sıcaklığının düşük seviyelere inmesine izin verildiği, bu şekilde pişirme süresi uzamasına rağmen harcanan enerji miktarının azaltıldığı vurgulanmıştır. İşlem sırasında ısıtıcılar değişken güçlerde çalıştırılmakta ve çok sık olarak açılma kapanmaktadır. Patentte ısıtıcıların çalışma karakterinin deneysel sonuçlara bağlı olarak elde edildiği belirtilmekle birlikte çalışma karakteri hakkında bilgi verilmemiştir [7].

Isıtıcıların kontrolü ile enerji tasarrufu sağlanmasına yönelik bir başka uygulamada ise her ikisi de 2500W gücünde olan alt ve üst ısıtıcıların bulunduğu fırında pişirme işleminin %26'sında üst ısıtıcı ve %40'ında alt ısıtıcı açık kalmaktadır. Uygulamada işlemin %34'ünde her iki ısıtıcının da kapalı kaldığı, pişirmenin düşük sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmesine rağmen pişirme kalitesinde düşüş olmadığı belirtilmiştir [8].

Yukarıda da görüldüğü gibi üretici firmaların elektrikli fırınlarda enerji tasarrufu sağlamaya yönelik birçok algoritması mevcuttur. Algoritmaların çoğunda ısıtıcı kontrolü ile enerji tasarrufu sağlama yoluna gidilmiştir. Bununla birlikte fırının çalıştığı şebeke koşullarının da ısıtıcıların gücü ve dolayısıyla pişirme kalitesi üzerinde önemli bir rolü bulunmaktadır. İyi tasarlanmış bir algoritma, cihazın uygun şebeke koşullarında kullanılmaması nedeniyle işlevsiz bir hal alabilir. Özellikle ülkemiz gibi şebeke voltajındaki dalgalanmaların oldukça fazla olduğu ülkelerde fırın ekipmanlarının değişen şebeke koşullarından etkilenmesi oldukça doğaldır. Bu durum algoritmalar tasarlanırken değişken şebeke koşullarının da göz önüne alınmasını zorunlu kılmaktadır. LG firmasına ait bir tasarımda bu durum göz önüne alınarak tasarlanan paket programdaki pişirme süresinin şebekedeki gerilim değerine bağlı olarak yeniden belirlenmesi ve kullanıcının bu durumdan haberdar edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla fırın üzerindeki bir eleman yardımıyla şebeke gerilimi ölçülmekte ve elektronik kart yardımıyla pişirme süresi yeniden hesaplanmaktadır [9].

Pişirme işlemi hem ısı transferi hem de kütle transferi mekanizmalarının etkin olduğu bir prosestir. Şu ana kadarki uygulamalarda ısı transferini etkin hale getirip enerji tasarrufu sağlanmasına yönelik algoritmalar incelenmiştir. Bununla birlikte kütle transferi de pişirme dolayısıyla ısı transferi üzerinde etkin role sahiptir. Üretici firmalar bu etkiyi göz önünde bulundurarak kütle transferi mekanizmasının pişirme üzerindeki etkisini arttırmaya yönelik

algoritmalar da tasarlamışlardır. Tüm fırınlarda pişme sırasında kavite içerisinde açığa çıkan nemin kavite dışına aktarılması bir zorunluluktur. Kullanılan nem tahliye sistemleri yardımıyla kavite içerisinden nem çekilerek pişmenin daha etkin hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Kavite içerisindeki buharın bir bacadan doğal yollardan çıkışı sağlanabildiği gibi bir havalandırma fanı yardımıyla tahliyesi de sağlanabilmektedir. Günümüzde fırınlarda yaygın olarak baca ve fırın elektronik komponentleriyle ilişkilendirilmiş bir havalandırma fanı nem tahliyesi işleminde kullanılmaktadır. Fan bir yandan elektronik komponentleri soğuturken diğer yandan da kavite içerisindeki buharın tahliyesi işleminde kullanılabilmektedir. Buna ek olarak iki görev için iki veya daha fazla havalandırma fanının kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur.

Pişme sırasında, fırın içi hava ısınmakta ve bu ısı yiyeceğe aktararak pişme sağlanmaktadır. Pişme esnasında gerçekleşen ısı transferi ile yiyeceğin içerisindeki su ısınmakta ve buharlaşmaktadır. Fırın içerisinde artan nem belirli bir değere kadar ısı transferini artırıcı etkiye sahipken belirli bir değerden sonra ısı transferi üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Havalandırma fanının sürekli çalışması ise fırın içerisindeki sıcak havanın ve ısı transferini domine edici nemin dış ortama atılmasına neden olmakta ve enerji sarfiyatının artmasına sebep olmaktadır. Üretici firmalar, bahsedilen bu etkileri göz önüne alarak havalandırma fanının bulunduğu fırınlarda nem tahliyesi için çeşitli algoritmalar oluşturmuşlardır.

Whirlpool firmasına ait bir tasarımda havalandırma fanının seçilen pişirme modu ve fırın tip ve boyutlarına bağlı olmakla beraber 30–90 saniyelik periyotlarda iş çevriminin %30-%60 arasında aktif kalacak şekilde çalıştırılması ile elektronik komponentlerde herhangi bir sıcaklık problemi yaşanmadan ve fırın içinde herhangi bir yoğunlaşma olmadan enerji verimliliğinin artırıldığı iddia edilmiştir [10]. Aynı firmaya ait başka bir uygulamada ise havalandırma fan motoru yüksek ve düşük devir olmak üzere 2 kademede çalıştırılabilmektedir. Ayrıca fan motorunun çalışması manüel olarak da gerçekleştirilebilmektedir [11].

Bir başka uygulamada havalandırma fanı, seçilen pişirme moduna ve elektronik kart hafızasında bulunan en az bir parametre ile işlem sırasında gözlemlenen en az bir parametreye bağlı olarak kontrol edilmektedir. Tasarımda kavite içerisindeki nem miktarı bir nem sensörü ile ölçülmekte ve nem miktarı belirlenen bir üst limite ulaştınca havalandırma fanı devreye girmektedir [12].

Patentlerde her ne kadar değişken devirli fan uygulamaları bulunsun da değişken devirli sistem

için gereken elemanların maliyetlerinin yüksek olması bu metodun fazla tercih edilmemesine neden olmaktadır. Havalandırma fanının kavite içerisinden buhar çekmenin yanı sıra fırındaki elektronik komponentleri de soğutması havalandırma fanının uzun süreli kapatılmasını engellemektedir. Bu bağımlılığın giderilmesi amacıyla röle, yardımcı kanallar ya da birden fazla fanın kullanıldığı tasarımlar oluşturulmuştur. Bu yolla komponentler sürekli soğutulmakta röle veya sıcaklık hafızalı elemanlarla baca bölgesinden belirlenen zamanlarda hava çekilmesi gerçekleştirilmektedir.

2.2 Hibrit Fırınlarda Isıtıcı Kontrol Algoritmaları

Gelişen teknoloji ve artan talep sayesinde pişirme teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedilmektedir. Bundan 10 sene önce evlerde mikrodalga fırın kullanımı düşük seviyelerde iken günümüzde neredeyse her evde bir adet mikrodalga fırın bulunmaktadır. Son yıllarda gıda mühendisliği alanında yapılan araştırmalar sonucunda pişirme sırasında besin kalitesini önemli ölçüde koruyan buharlı pişirme yöntemleri de tercih edilmeye başlanmıştır. Her bir pişirme yönteminin kendine has avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin; mikrodalga pişirme ile gıdanın içi çok iyi pişirilebilmesine karşın yüzeyde istenilen düzeyde kızarma sağlanamamaktadır. Doğal taşınım ile ısı transferinin gerçekleştiği pişirme yöntemlerinde ise yüksek pişirme kalitesi elde edilebilmesine karşın pişirme süreleri diğer yöntemlere göre daha uzun olabilmektedir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı üretici firmalar hem gelişen teknolojinin takipçisi olduklarını göstermek hem de müşteri memnuniyetini artırmak amacıyla aynı pişiricide birden fazla pişirme yönteminin kullanıldığı tasarımlar oluşturmaktadırlar. Yukarıda bahsedilen mikrodalga fırında gıdanın yüzeyinin pişirilmesi için geleneksel fırınlarda kullanılan ısıtıcılardan yararlanılabilmektedir. Buna benzer olarak buharlı fırınlarda kavite içerisine buhar gönderilmeden önce kavite sıcaklığının buharın yoğunlaşmayacağı bir sıcaklığa kadar artırılmasında da benzer yöntem kullanılmaktadır. Birden fazla pişirme teknolojisinin aynı fırın üzerinde kullanılması pişirme kalitesinin sağlanması amacıyla ısıtıcıların kontrolünü de beraberinde getirmektedir. Bu amaçla ısıtıcı kontrolü için çeşitli algoritmalar oluşturulmuştur.

Bu çerçevede incelenen algoritmaların ilkinde geleneksel pişirme mekanizmasına ek olarak mikrodalga ve buharlı pişirme mekanizmalarının bulunduğu fırında üç sistemin karma çalışması düzenlenmektedir. Pişirme iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada buharla pişirme, ikinci aşamada mikrodalga ile pişirme esas alınmıştır. Pişirme işlemine başlanmadan önce fırın içi hava geleneksel çevrim ve/veya mikrodalga sisteminin yardımıyla, buharın

yoğuşmadan kullanılabileceği bir sıcaklığa kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra buharlı pişirme sistemiyle sıcaklığın artması sağlanmaktadır. İkinci aşamanın tamamında mikrodalga ısıtıcı çalışırken, belirli bir kısmına kadar buharlı pişirme sistemi ona eşlik etmektedir [13]. Bir diğer uygulama mikrodalga ve konveksiyon pişirme sistemine sahip, hızlı pişirme gerçekleştirilebilen bir fırınla ilgilidir. Fırında, kavite sıcaklığı, $xxx^{\circ}\text{C}(150\text{F})$ 'ye eşit veya büyük olduğunda işlem için ısı dengeleme yapılmaktadır. Isıl dengeleme sürecinde üst ısıtıcıya, normal pişirme gücünün $1/3$ 'ü kadar güç uygulanırken alt ısıtıcı tamamen kapalı tutulmaktadır. Patentte; sıcaklığın çok kısa sürede çok yüksek değerlere ulaştığı duruma göre yiyeceğin aşırı pişmesinin önlendiği ve enerji sarfiyatının azaltıldığına değinilmektedir [14].

Buharlı ve konvansiyonel pişirme yönteminin birlikte kullanıldığı bir başka uygulamada ısıtıcıların açılıp kapanma süreleri, hedeflenen fırın içi sıcaklığının mevcut sıcaklık ile arasındaki farka bağlı olarak belirlenmektedir. Aradaki sıcaklık farkına bağlı olarak hedef sıcaklığa yaklaşıldıkça ısıtıcıların açık kalma süreleri kısaltılmaktadır [15].

Çizelge 2.1 Sıcaklık aralıklarına bağlı olarak ısıtıcı açık kalma süreçleri [15]

Delta T < 5K	(t _{3ON})= 0 saniye
5K < Delta T < 10K	(t _{3ON})= 3 saniye
10K < Delta T < 20K	(t _{3ON})= 10 saniye
20K < Delta T < 30K	(t _{3ON})= 30 saniye
30K < Delta T	(t _{3ON})= 60 saniye

Enerji kazancı sağlamaya ve komponentler arasındaki uyumu sağlamaya yönelik oluşturulan algoritmaların pişirme işleminin kalitesinde herhangi bir değişim yapmaması da oldukça büyük öneme sahiptir. Enerji tüketimi düşük değerlerde olan bir fırının pişirmede istenilen sonucu vermemesi müşteri memnuniyeti açısından büyük problemler doğuracaktır. Bu amaçla oluşturulan algoritmaların pişirme testleri ile pişirme üzerindeki etkisi de tespit edilmekte ve pişirme sonuçlarına göre algoritmalar yeniden yorumlanmaktadır.

2.3 Gıda Bazlı Pişirme Uygulamaları

Üretici firmalar, enerji tasarrufu sağlama amacının yanı sıra pişirme kalitesini arttırmak için de algoritmalar kullanmaktadır. Çalışmanın bu kısmında kullanılan algoritmaların özelliklerinin tespit edilebilmesi için gıda bazlı pişirme algoritmaları üzerine patent ve literatür araştırmaları yapılmış ve bu algoritmaların sağladığı avantajlar araştırılmıştır. Araştırma sonucunda gıda bazlı pişirme algoritmalarında enerji sarfiyatının ikinci plana atılarak, gıdanın homojen pişirilmesi üzerine yoğunlaşıldığı tespit edilmiştir. Son yıllardaki patentlerin yeni pişirme teknolojileri, mikrodalga ve hibrit fırınlarda pişirme ile pişirme aparatı tasarımı, makalelerin ise pişirmenin modellenmesi üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

2.3.1 Et Pişirme Uygulamaları

Et pişirme uygulamalarında, mevcut et pişirme yöntemlerinin çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirildiğinden, etin çok fazla su kaybettiğine ve yapısındaki proteinlerin hasara uğradığına değinilmiştir. Tasarlanan algoritmalar ile pişirme sürelerinin kısaltılmasına ve pişirme sıcaklıklarının düşmesine karşın homojen bir pişirmenin sağlandığı iddia edilmiştir.

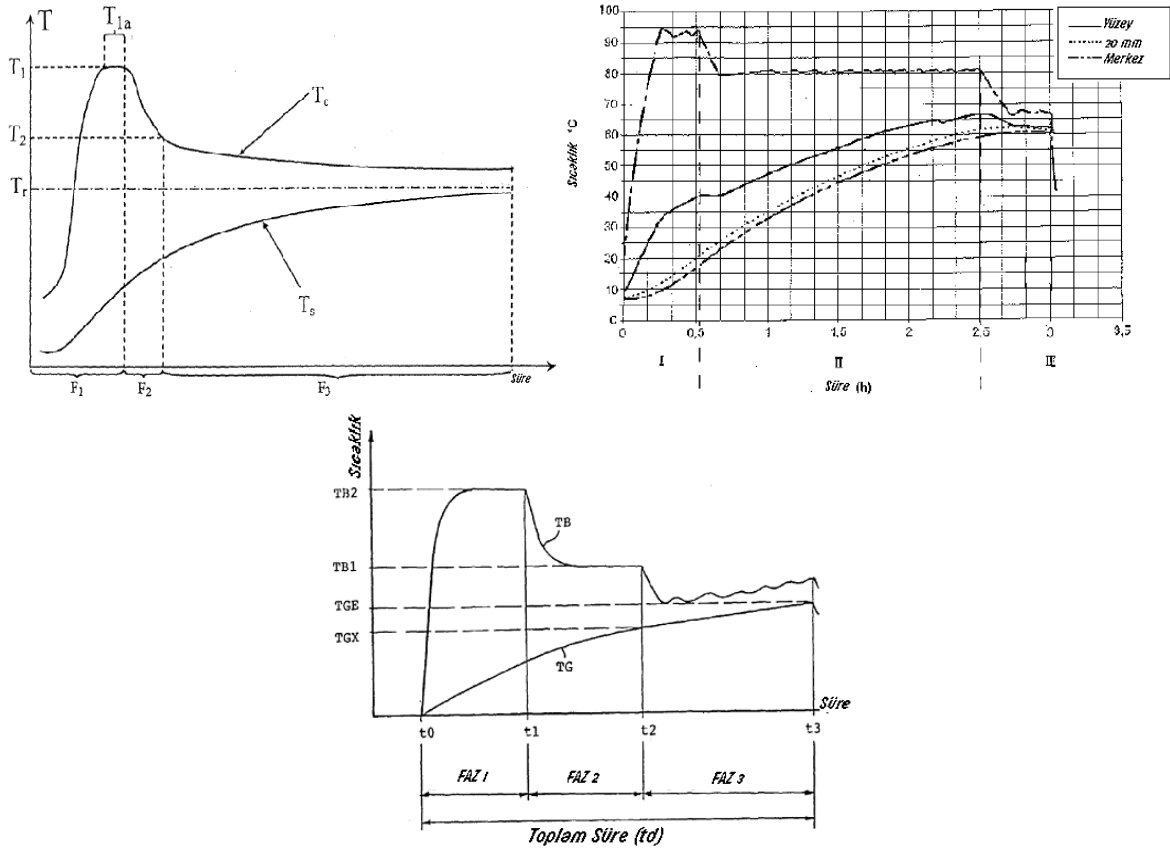
İncelenen patentlerden, et pişirme uygulamalarında temel olarak 3 aşamalı pişirme algoritmalarının kullanıldığı belirlenmiştir. Algoritmalarda sıcaklık ilk olarak yüksek sıcaklık değerlerine yükseltilmekte ve et yüzeyinde kabuk oluşumu sağlanmaktadır. Bundan sonraki aşamalarda ise sıcaklık kademeli olarak düşürülmekte ve pişirme süreleri uzatılarak et içerisindeki su kaybı önlenmeye çalışılmaktadır. Bahsedilen pişirme süreleri etin cinsi ve miktarına göre 4 saate kadar uzayabilmektedir.

Et pişirme makalelerinde daha çok pişirme modellemesine ilişkin çalışmalar tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda, etin pişmesi sırasında gerçekleşen sadece ısı, sadece kütle veya ısı ve kütle transferi mekanizmalarının ikisinin birlikte göz önünde bulundurulmasıyla modellemeler yapılmaya çalışılmıştır. Bunun yanı sıra pişirme yöntemlerinin etin pişirme kalitesi (renk, sertlik, su içeriği) üzerindeki etkisi üzerinde incelemeler yapıldığı görülmüştür.

2.3.1.1 Et Pişirme Patentleri

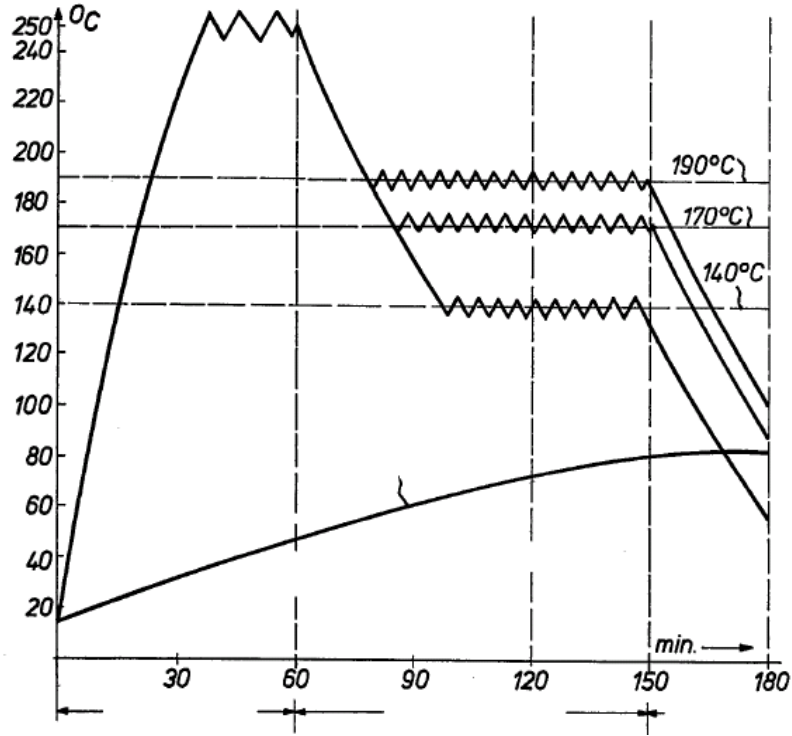
Elektrikli fırında et pişirmeye ilişkin tasarlanan algoritma araştırmasında pişirme işleminin temelde 3 aşamadan geçtiği tespit edilmiştir. Birinci aşamada; kavite sıcaklığı, kullanıcı tarafından seçilebilen referans sıcaklıktan daha yüksek bir değere çıkarılmakta ve belirli bir süre ulaşılan sıcaklık değerinde sabit tutulmaktadır. Bu şekilde et yüzeyinde bir kabuk

oluşumu hedeflenmektedir. Son aşamada ise sıcaklık düşürülerek etin içerisindeki suyu kaybetmeden pişmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 2.3 Üç farklı firmaya ait et pişirme algoritmalarına ilişkin sıcaklık-zaman grafikleri

Et pişirmeye yönelik bir diğer uygulamada yukarıda bahsedilen algoritma kullanmakla birlikte etin cinsine ve miktarına bağlı olarak pişirme işlemi programlanabilmektedir. Pişirme işlemi etin miktarına göre 1,5- 4 saat arasında değişmektedir [16].



Etin Ağırlığı (kg)	Ön Pişirme Fazı Süresi (dk)	İkinci Pişirme Fazı Süresi (dk)	Pişirme Sonlandırma Fazı Süresi (dk)	Toplam Pişirme Süresi (dk)
0,5	60	0	30	90
1	60	30	30	120
1,5	60	60	30	150
2	60	90	30	180
2,5	60	120	30	210
3	60	150	30	240

Şekil 2.4 Farklı et miktarları için işlem süreleri (altta) ve iki kilogram et için işlem süresi-sıcaklık grafiği (üstte) [16]

Etin ağırlığının göz önüne alındığı bir başka uygulamada ise etin cinsi ve fiziksel durumu da (donmuş, taze vs) pişirmenin yönlendirilmesinde kullanılmaktadır. Algoritmada tasarlanan pişirme; 250°C’de ön pişirme ve 82°C’de pişirmeyi sonlandırma olmak üzere 2 aşamadan oluşmaktadır. Tüm koşullarda toplam pişirme süresi 3 saat olmakla birlikte ön pişirme süresi etin bahsedilen koşullarına göre değişiklik arz etmektedir [17].

Çizelge 2.2 Et cinsine, durumuna ve ağırlığına göre pişirme süre ve sıcaklıklarının değişimi [17]

Toplam 3 Saatlik Et Pişirme Programı İçin Ön Pişirme Sürelerinin Değişimi					
Etin Çeşidi	Dana Eti		Domuz- Koyun		Kümes Hayvanları
Etin Fiziksel Durumu	Taze	Donmuş	Taze	Donmuş	Taze
Etin Ağırlığı (kg)	Pişirme Süreleri (dk)		Pişirme Süreleri (dk)		Pişirme Süreleri (dk)
0,5	50	75	80	105	15
1	65	95	95	120	30
1,5	70	105	110	132	45
2	75	115	125	144	60
2,5					75
3					90
3,5					105
4					120
Ön Pişirme Sıcaklığı 250C Pişirme Sonu Sıcaklığı 82C					

Izgara kullanılarak balık pişirmek için tasarlanan bir algorithmada ise pişirme süresinin belirlenmesinde, fırın içerisine yerleştirilen bir alkol sensörü yardımıyla, yiyeceklerin salamurada bekletilmesinin de etkisi göz önünde bulundurulmaktadır [18].

Fırın içinde alt ve üst yüzeylerde bulunan ısıtıcılara ek olarak mikrodalga ısıtıcının bulunduğu bir fırındaki uygulamada pişirme süresi 25–35 dakika arasında değişmektedir. Algorithmada, sıcaklık belirlenen bir değere ulaşıncaya kadar konveksiyon ısıtıcı 1000W, mikrodalga ısıtıcı 250W güçte çalıştırılarak etin yüzeyinin pişirilmesi amaçlanmaktadır. Bununla birlikte istenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra konveksiyon ısıtıcı gücü yarıya indirilirken mikrodalga ısıtıcı gücü iki katına çıkarılmakta ve iç yüzeylerin pişirilmesi gerçekleştirilmektedir [19].

Sadece mikrodalga ısıtıcının kullanıldığı et pişirmeye ilişkin benzer bir uygulamada ise magnetron, kavite sıcaklığı son pişirme sıcaklığının en az %50'sine eşit olan bir sıcaklığa ulaşana kadar tam güçte çalıştırılmaktadır. Belirlenen geçiş sıcaklığına ulaşıldığında ise magnetron gücü düşürülmekte ve işlem sonuna kadar bu güçte çalıştırılmaktadır [20].

Sadece mikrodalga ısıtıcının kullanıldığı bir diğer uygulamada ise, pişirme süresi yiyeceğin ağırlığına ve türüne göre belirlenmektedir. Çeşitli modlar altında gruplandırılan yiyecekler ağırlık oranlarına göre alt sınıflara ayrılmıştır. Alt grupların pişirme sırasında yiyecek ağırlığında meydana gelen değişime göre belirlendiği ifade edilmiştir. Buna göre magnetron frekans değeri ve pişirme süresi yiyeceğin ağırlığına ve pişirme grubuna göre otomatik olarak

belirlenmektedir [21].

Çizelge 2.3 Sadece mikrodalga ısıtıcının bulunduğu sistemde “Kanatlılar modu” altındaki yiyeceklerin ağırlıklarına bağlı olarak pişirme süreleri ve frekans çıkış değerleri [21]

Giriş Parametreleri		Otomatik Olarak Belirlenen Parametreler		
Ana Kategori	Ağırlık	Güç (W)	Pişirme Süresi	Alt Pişirme Sınıfı
Kümes Hayvanları	0,15-0,7	700	2' 20" - 10' 53"	Diğer
	0,7-1,5	700	9' 20" - 20'	Tavuk
	1,5-5,8	900	16' 40" - 64' 27"	Hindi

2.3.1.2 Et Pişirme ve Et Pişirme Modellemesine İlişkin Makaleler

Et pişirme ile ilgili makale araştırmasında makalelerde pişirmenin modellenmesine ilişkin çalışmaların ağırlıklı olduğu tespit edilmiştir. Makalelerde genellikle ısı ve kütle transferinin pişirme üzerindeki etkisi ayrı ayrı, nadir de olsa birkaç makalede birlikte ele alınarak pişme modellemeleri yapılmıştır.

Silindirik boyutlardaki sığır rostosunun zorlanmış taşınımıyla pişirilmesine ilişkin modellenmenin yapıldığı makalede tasarlanan modelde, ısı ve kütle transfer mekanizmaları birlikte ele alınmış ve oluşturulan diferansiyel denklemler sonlu farklar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Validasyon sonucunda, hesaplanan ve gözlenen pişirme sürelerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Modelde rosto yüzeyinde buharlaşma olduğu kabulü yapılması durumunda, literatür çalışmalarına paralel olarak, kabuk bölgesi sıcaklığı 100°C'yi geçmemiştir. Kütle transferinin modele katılmadığı durumlarda, hatalı bir şekilde yüzey sıcaklığının 100°C'yi geçtiği tespit edilmiştir. Kütle transferine bakıldığında, simülasyondaki değerlerin gözlenen değerlerden daha küçük olduğu gözlenmiştir. Nem kaybının analizindeki hata, etteki su ve yağın damlamasının ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır [22].

Yine silindirik şekilli tavuk etlerinin doğal taşınım ısı transferi ile pişirilmesinin yapıldığı bir çalışmada ısı ve kütle transfer mekanizmalarının her ikisi de göz önünde bulundurulmuştur. Araştırmacılar, simülasyonda kütle transferinin ısı transferi üzerindeki etkisinin incelendiğini; ancak, ısı transferinin kütle transferi üzerindeki etkisinin bulunmadığını belirtmişlerdir. Çalışmada, araştırmacılar kullanılan termofiziksel özelliklerin sayısının artırılması ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebileceğini ancak bu durumda simülasyonun oldukça karmaşıklaşacağını belirtmişlerdir. Çalışmadan, etteki büzülmeden dolayı et merkez sıcaklıklarının tam olarak tahmin edilmediği anlaşılmaktadır [23].

Literatürde modelleme çalışmalarının dışında farklı pişirme metotlarının etin pişme kalitesi üzerine etkisinin de incelediği çalışmalar da bulunmaktadır. Pişme kalitesi olarak etin kabuksu yapısı, su kaybı ve bakteri içeriği gibi parametreler referans alınmıştır.

Farklı pişirme tekniklerinin tavuk etinin yüzey sertliği ve ağırlık kaybı üzerindeki etkisi incelendiği çalışmada ham ve marine edilmiş tavuk etleri sıcak hava ve sıcak hava-buhar karışımı ile 130, 150 ve 170°C’de sırasıyla 4, 8 ve 12 dakika pişirilmiştir. Etlerin pişirme öncesi ve sonrasında ağırlıkları ile yüzey sertlikleri ölçülmüştür. Deneyler sonucunda marine edilip hava-buhar karışımı ile pişirilen et parçalarının yüzey sertliği açısından en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir. Makalede her iki et tipi için de ağırlık kaybı ile pişirme süresinin pişirme sıcaklığına nazaran daha yakın ilişki içerisinde olduğu tespit edilmiştir [24].

Mikrodalga fırın ile gazlı fırında et pişirme işlemlerindeki verimliliğini belirlemeye yönelik bir çalışmada tavuk etleri 30 dakika boyunca sos içinde bekletildikten sonra mikrodalga ve gazlı fırında paslanmaz çelik tandır içinde 25 dakika pişirilmiştir. Deneylerde etlerdeki PH değerleri değişimi, su içeriği değişimi ve bakteri oluşumları gözlemlenmiştir. Deneyler sonucunda mikrodalga fırın ile pişirilen etlerin daha yüksek su içeriğine sahip olduğu bu nedenle de etlerdeki bakteri oluşumunun gazlı fırında pişirilen etlere nazaran daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda mikrodalga fırın ile yüksek kalitede et pişirme uygulamalarının gerçekleştirilebileceği bununla birlikte pişme sırasında görülen bakteri oluşumunun da göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmıştır [25].

Üç farklı pişirme yönteminin tavşan eti üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada etler merkez sıcaklığı 80°C’ye ulaşana kadar sırasıyla 100°C’de haşlanmış, 175°C’de tavada kızartılmış ve 200°C ‘de kavrulmuştur. Pişirme süreleri sırasıyla 3, 8 ve 15 dakika olarak tespit edilmiştir. Deneyler sonunda en yüksek ağırlık kaybı (%39,54) ve su kaybının (%99,72) ile tavada kızartma işleminde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yüzeydeki renk skalalarına bakıldığında ise tavada kızartılan etlerin daha düşük yansıtma özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir [26].

Bir başka çalışmada merkezde yüksek nem içeriğine sahip olan ve pişirme sırasında kabuk oluşumu görülen besinlerin yüzey özelliklerinin belirlenmesi için bir metot oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla sırasıyla tavada kızartma (iletim), doğal taşınım, mikrodalga ile pişirme ve mikrodalga fırında alüminyum folyo ile kaplayarak pişirme olmak üzere 4 farklı yöntemle tavuk eti pişirilmiştir. Ölçümler, besin fırından çıkarıldıktan sonra en az 1 dakika dinlendirildikten sonra yapılmıştır. Pişirmeden sonra etlerin kabuk ve merkez kısımları

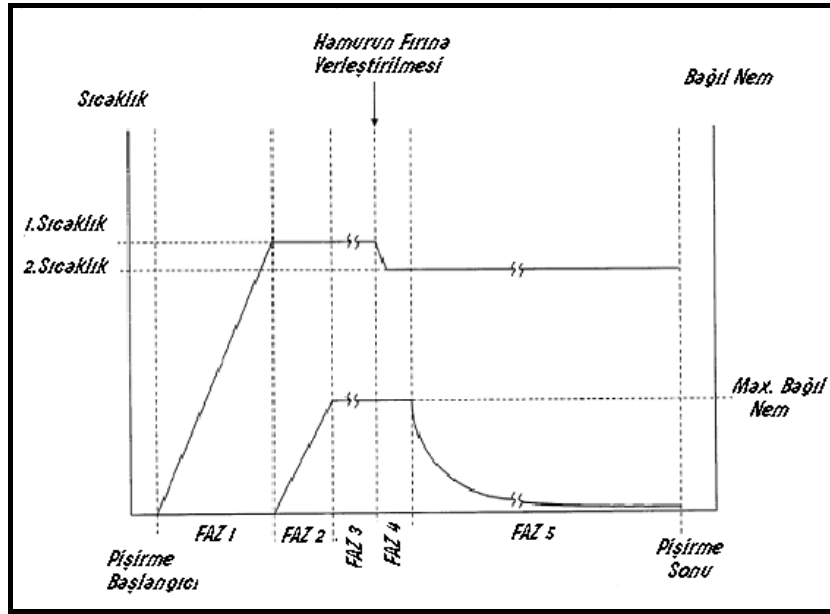
birbirinden ayrılarak su ve yağ içeriğine ilişkin ölçümler yapılmıştır. Deneyler sonucunda, her ne kadar merkez ve kabuktaki nem ve yağ içeriğinin yüzey özellikleri ile yakından ilişkisi bulunsu da benzer nem içeriklerine sahip besinlerde kabuk yapılarının birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan merkezdeki yağ içeriğinin pişirme yöntemlerine göre önemli bir değişme göstermediği belirlenmiştir [27].

2.3.2 Ekmek Pişirme Uygulamaları

Üreticilerin üzerinde yoğunlaştıkları pişirme uygulamalarından biri de ekmek pişirme uygulamalarıdır. Ekmek pişirme işleminde; hamurun içindeki mayanın aktivasyonu, kabarma ve oluşan kabuğun kalınlığı gibi değişkenler işlemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Yapılan patent ve literatür araştırmasında, makale çalışmalarının pişirmenin modellenmesi üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Özellikle mayalanma işlemi üzerinde, mayalanmanın kimyasal yönünü ele alarak mayalanma süresini kısaltmayı amaçlayan oldukça fazla çalışma bulunmaktadır.

2.3.2.1 Ekmek Pişirme Patentleri

Patent araştırması kapsamında incelenen patentlerden ilkinde buhar kullanılarak ekmek pişirmek için oluşturulan algorithmadan bahsedilmektedir. Tasarlanan algoritma 5 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada fırın sıcaklığı konvansiyonel ısıtıcılar ile ilk pişirme sıcaklığına ulaştırılmakta ve hemen sonra ön nemlendirme yapılmaktadır. Daha sonraki iki aşamada fırın içerisindeki bağıl nem oranının sabit tutulması amaçlanmaktadır. Hamur, fırına yerleştirildikten sonra pişirme işlemine geçilmektedir. Bu aşamada fırın sıcaklığı daha düşük değere düşürülmekte ve bağıl nem miktarı belirlenen bir süre boyunca maksimum değerini korumaktadır. Son aşamada ise kavite içine yollanan buhar miktarı azaltılarak pişirme işlemi sonlandırılmaktadır [28].



Şekil 2.5 Buharlı fırında ekmek pişirmek için oluşturulan algoritmaya ait sıcaklık ile bağıl nemin zamanla değişimi [28]

Ekmek pişirmeye yönelik oluşturulmuş başka bir algorithmada ise temel olarak mayalanma süreci üzerine yoğunlaşmıştır. Algoritmanın ilk aşamasında hamurun mayalanması sağlanmakta ve daha sonra pişirme işlemine geçilmektedir. Mayalanma işleminde ilk olarak fırın, istenilen pişirme sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve daha sonra sıcaklık düşürülerek, işlem sonuna kadar bu sıcaklıkta korunmaktadır. Bu yolla mayalanma sürecinin oda sıcaklığındaki mayalanma sürecine göre %50 kısaltıldığı belirtilmektedir [29].

Hibrit bir fırında ekmek pişirmek için oluşturulan algorithmada pişirme iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada konveksiyon ısıtıcı ile $xxx-yyy^{\circ}C$ (375-425F) sıcaklıklar arasında yaklaşık 10-12 dakika pişirme yapılırken hamurun üzeri bir kapakla kapalıdır. İkinci aşamada yine aynı sıcaklıkta sadece mikrodalga ısıtıcı kullanılmaktadır. Hamurun üzerindeki kapak ise belirlenen bir süre sonunda kaldırılmaktadır. Patentte mevcut yöntemle pişirme süresinin sadece konveksiyon ısıtıcının kullanıldığı durum için %45 azaltıldığı vurgulanmıştır. [30].

2.3.2.2 Ekmek Pişirme ve Ekmek Pişirme Modellemesine İlişkin Makaleler

Ekmek pişirme işlemi, ekmeğin içerisindeki mayanın aktivasyonu ve kabarma, karemalizasyon, kabuk oluşumu ve pişmenin gerçekleştiği oldukça karmaşık bir prosestir. Bu nedenledir ki konu üzerinde birçok çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların çoğunda, et pişirme literatüründe olduğu gibi, modelleme çalışmaları üzerinde yoğunlaşmıştır. Modelleme çalışmalarında pişirme üzerinde etkili olan faktörlerin pişme üzerindeki etkinliği üzerinde

alışılmalar yürütülmüştür.

Ekmek pişirme sırasında gerçekleşen kabuk oluşumu hakkında çalışmada oluşturulan modelde kabuk oluşumunda etkili olan parametreler ile bunların kabuk oluşumundaki etkinlikleri tespit edilmeye çalışılmıştır [31].

Bir diğerk çalışmada ekmek pişirme sırasında, hamurun kabarmasına ilişkin modelleme çalışması yapılmıştır. Modelde fırın dinamiklerinin ekmek pişirme üzerindeki etkisi, hamur içindeki gaz hücrelerinin CO₂ ve su buharının aıĒa çıkması sonucu büyümesi göz önünde bulundurulmuştur. Pişirmenin farklı zamanlarında hamur hacimlerindeki artışın tahmini için hata oranları düşük bir viskozite modeli kullanılmıştır. Pişirmenin ilk aşamalarında hamurun kabarmasının ısınma oranına baĒlı olduĒu belirtilmiştir. Modelleme çalışmalarında ve deneysel çalışmalardan hamurdaki kabarmanın 65°C' ye kadar lineer olduĒu bu sıcaklıktan sonra ise kabarma miktarlarının azaldıĒı belirtilmektedir. Ayrıca makalede, oluşturulan model vasıtasıyla hamur içerisinde bulunan gaz hücrelerinin sayısının ve hamur yüzeyindeki gerilmelerin hamurun kabarmasında etkili olmadıĒı sonucuna ulaşılmıştır [32].

Hamurun içerisindeki su miktarının pişirme sırasındaki ısı ve kütle transferi üzerinde etkisinin bulunması araştırmacıları bu konu üzerine çalışmaya sevk etmiştir. Hamurun içindeki su miktarının pişirme üzerindeki etkisinin incelendiĒi bir makalede ekmekler 182°C'de 2 ile 60 dakika arasında pişirilmış ve su içerikleri deĒerlendirilmiřtir. Deney sonuçlarından merkezdeki su ieriĒinin pişirmenin hemen başlarında artış gsterdiĒi tespit edilmiştir. Ekmek merkez sıcaklıĒının 65°C'nin altında olduĒu zamanlarda merkezdeki su ieriĒinin kondensasyon ve evaporasyon mekanizması nedeniyle arttıĒı tespit edilmiştir [33].

Beyaz sandviç ekmeĒi için en iyi pişirme kalitesinin elde edilmesi amacıyla gereken optimal sıcaklık profilinin belirlenmesine yönelik bir çalışmada geliştirilen matematik model ile sıcaklık profilinin ve pişirme süresinin aĒırlık kaybı, kabuk rengi ve ekmek merkez sıcaklıĒı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır [34].

Ekmek yüzeyindeki kızarmanın en önemli kalite göstergelerinden biri olduĒu bilinmektedir. Pişirme sırasında ekmekteki aĒırlık kaybı ve yüzeydeki renk deĒiřiminin gzlemlendiĒi bir çalışmada 180/200/220°C sıcaklıkta doĒal ve zorlanmış taşınım ile deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda, toplam renk deĒiřimi ile aĒırlık kaybı arasında lineer bir ilişki tespit edilmiştir. Makalede pişirme sırasındaki renk deĒiřiminin tahmin edilmesi için basit bir matematiksel model önerilmektedir [35].

3. PİŞİRME MODELLEMESİ ÇALIŞMALARI

Üretim, ürünün tasarım safhasından çok sayıda prosesten geçerek seri üretim aşamasına ulaştığı oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte tasarım esnasında çeşitli programlar ile modelleme süreci işlerken diğer yandan da tasarıma ilişkin analizler yapılmaktadır. Analizler çeşitli ortam koşullarında kullanıcının güvenliğini inceleyebileceği gibi ürünün çalışma karakterini inceleyen detaylı sıcaklık ve akış analizlerini de içerebilir. Elektrikli fırınlar düşünüldüğünde yukarıda bahsedilen testlere ek olarak tasarlanan ürünün pişirme kalitesini belirlemek için detaylı analizler yapılması büyük önem taşımaktadır. Günümüzde üretici firmalar bu iş için matematiksel modeller kullanmaktadırlar. Bu yolla, üretime geçilmeden önce yapılan tasarımın pişirme üzerindeki etkisi belirlenmekte ve çıkan sonuçlara bağlı olarak tasarım şekillendirilmektedir. Modeller, bu özelliklerinin yanı sıra pişirme sırasında gıdada meydana gelen etkileşimlerin izlenmesi açısından da faydalı olabilmektedir. Bu yolla her bir besin çeşidi için en sağlıklı pişirme metodu tespit edilebilmektedir. Tüm bu özellikleri ile pişirme modelleri, üretici firmalara zaman ve maliyet kazancı sağlamakta böylece daha verimli tasarımlar yapılmasını olanaklı kılmaktadır. Diğer yönüyle modeller, kullanıcıların aldıkları pişirici cihazlar ile gıdaların yüksek pişirme kalitesinde pişirilmesini sağlamaktadır.

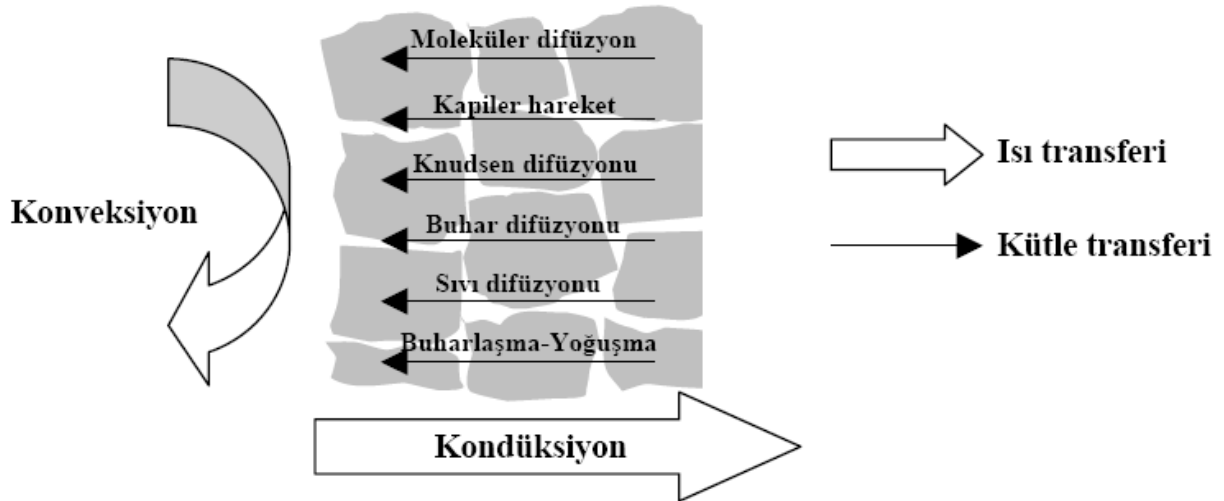
Pişirme modellemesi çalışmalarında, kullanılacak pişirme yöntemine bağlı olarak pişirici cihaz içinde meydana gelecek ısı transferi etkileşimlerinin belirlenmesi daha faydalı olacaktır. Pişirme yöntemlerine bağlı olarak gerçekleşen ısı transfer etkileşimleri basit olarak şu şekildedir:

Radyasyon ve elektriksel yöntemler haricinde kullanılan diğer pişirme yöntemlerinde etkin olan ısı transfer metodu konveksiyondur. Zorlanmış veya doğal konveksiyonla gıda yüzeyine transfer edilen ısı, yüzeyden içeriye doğru kondüksiyon yoluyla iletilir ve pişirme sağlanır. Konvektif yöntemlerde homojen bir akış dağılımı gerçekleşmesi önemlidir. Infrared pişirmede ise radyasyon temelli bir ısı transferi bulunmaktadır. Yüzeyde daha ince bir tabaka daha yüksek akıda ısı transferine maruz kalır. Radyasyon etkisiyle daha etkin bir kabuk oluşumu ve kızarma gözlenir [36]. Mikrodalga ve radyo dalgası gibi dielektrik yöntemler ise gıdanın sahip olduğu polar moleküllerin elektromanyetik enerjiyi absorplayarak ısıya çevirmesini takip eden kondüksiyon temelli yöntemlerdir [37]. Ohmic pişirmede ise gıdanın elektrik akımına karşı gösterdiği direnç sonucunda açığa çıkan ısı ile pişirme yapılır [38]. Transfer edilen ısı, gıda içinde fiziksel ve kimyasal değişimlerin gerçekleşmesine sebep olur. Ancak, bu değişimlerin optimum bir şekilde gerçekleştiği bir gıda, iyi pişirilmiş olarak düşünülebilir. Sonuç olarak, gıdadaki ısı transferinin önemi kimyasal reaksiyonlar için gerekli

enerjinin optimum şekilde verilmesi olarak düşünülebilir.

Piştirme sırasında gıda içinde ve yüzeyinde nem transferi gözlenmektedir. Gıdalar, belirli bir poroziteye sahip gözenekli maddelerdir. Kütle transferi, bu poroz yapı içerisinde gerçekleşir. Kütle transferinde taşınan en önemli bileşen sudur. Bunun dışında gıda içine veya dışarı doğru sıvı yağ ve yağ buharı difüzyonu da gerçekleşmektedir. Gıda içinde ve yüzeyinde su buharı difüzyonu gıdanın kabuk yapısının oluşumunda önemli bir yere sahiptir.

Yüzeyin kurumaması ve nemli kalması, çıtırımsı özellik istenen gıdalarda hedonik değerin düşmesine sebep olan bir durumdur. Ayrıca, hücre içi suyunun veya etteki fibril lifler arası suyun dışarı difüzyonu da gıdanın pişme esnasında büzülmesine sebep olmaktadır [39]. Aşağıdaki şekilde konvektif yöntemlerle piştirme sırasında gıdalarda gerçekleşen ısı-kütle transfer mekanizmaları şematik olarak gösterilmiştir [40].



Şekil 3.1 Piştirme sırasında gıdada eş zamanlı gerçekleşen taşınım olayları

Gıdaların ısıtılması, soğutulması, sterilizasyonu, kurutulması gibi prosesler gıda mühendisliğinin temel konularıdır ve literatürde bu prosesler sırasında gıdalarda gerçekleşen ısı ve kütle transferi olaylarının modellenmesi hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Bunun dışında gıdada gerçekleşen, kimyasal reaksiyonların kinetik olarak modellendiği çalışmalar da mevcuttur.

Gıda termal proseslerinin modellenmesinde zamana ve konuma bağlı, sıcaklık ve nem gibi değişkenler kullanılmaktadır. Bu sebeple, ısıtma proseslerinin mekanizmalarına bağlı taşınım denklemleri diferansiyel tiptedir. Sonlu fark yöntemi kullanılarak, plaka, küre ve silindir şekilli gıdalar, iki veya üç boyutlu olarak modellenmiştir. Ancak belirsiz şekilli gıdalarda,

özellikle yüzey sıcaklığının tahmini için sonlu fark yöntemi daha hatalı sonuçlar vermektedir [41]. Modellerin çözümlerinde sonlu fark, sonlu hacim ve sonlu eleman yöntemleri oldukça sık kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle akışkan gıdaların termal prosesler altındaki davranışlarının modellenmesinde CFD paket programları kullanılmaktadır.

3.1 Modelleme ve Algoritma Denemeleri

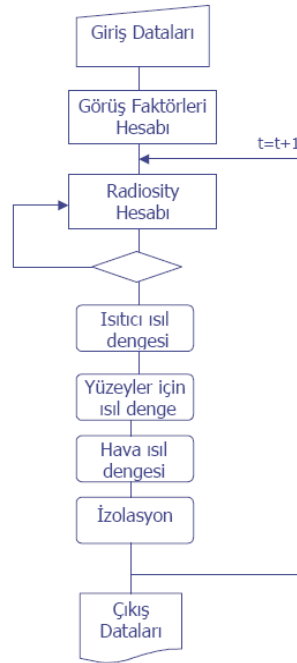
Çalışmanın bu bölümünde, ilk kısımda incelenen algoritma patentleri ve edinilen tecrübeler yardımıyla elektrikli fırınlar için tasarlanan algoritmaların modellenmesinde kullanılacak simülasyon programından bahsedilmektedir. Sonraki aşamada modele ait analiz sonuçları deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak modelin güvenilirliği tespit edilmeye çalışılmıştır. Bundan sonraki aşamada ise enerji tasarrufu sağlamaya yönelik olarak oluşturulan algoritmaların modellenmesi yapılarak algoritmaların sağladığı avantajlar ele alınacaktır.

3.1.1 Modelin Özellikleri

Modelde fırının termal modelinin oluşturulmasında Visual Fortran programlama dili kullanılmıştır. Program; temel ısı transfer mekanizmaları (radyasyon, taşınım ve iletim), ısı köprüler, infiltrasyon gibi diğer ısı kayıp mekanizmalarının çalışılması ile fırının matematiksel olarak modellendiği ve parametrik giriş verilerine göre fırının çalışmasının simüle edildiği daha önceden hazırlanmış bir bilgisayar programıdır. Bu çalışmada program ile gerçek durum arasındaki farkların azaltılması için program üzerinde çeşitli modifikasyonlar yapılmıştır. Modifikasyonlar kapsamında programda enerji ve sıcaklık parametrelerini etkileyen faktörler göz önüne alınarak ısı transferi ilişkileri yeniden düzenlenmiştir. Yapılan iyileştirme çalışmalarının ardından hata payları kabul edilebilen düzeylere indirilmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında tasarlanan algoritmaların model üzerinde uygulanabilmesi için çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Bu sayede fikren tasarlanan algoritmaların program üzerinde modellenebilmesi sağlanmıştır.

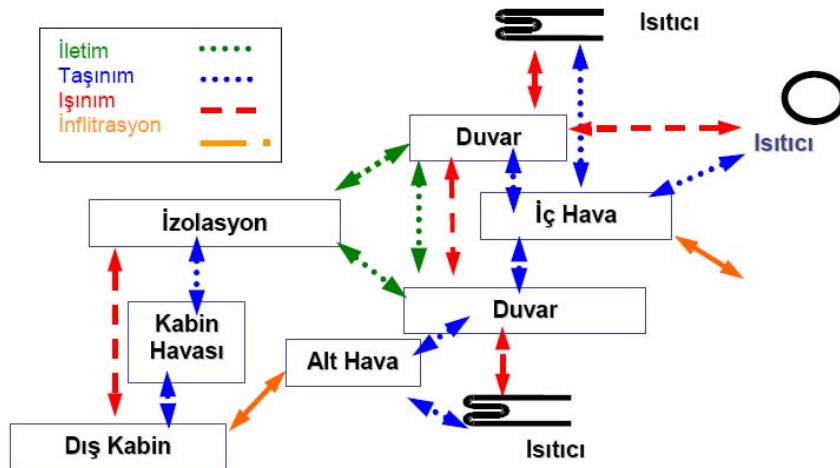
Matematiksel model, bu ana çerçevenin altında modüler bazda çalışmaktadır. Programda giriş datalarının alınmasının ardından ışınlım hesabında kullanılacak görüş faktörleri hesaplanmaktadır. Bu hesabın ardından zaman adımı çözümüne başlanmaktadır. Zaman adımı hesabının içinde öncelikle radiosity matrisi iteratif olarak çözülmektedir. Daha sonra o zaman adımı için yukarıdaki bölümlerde anlatılan ısıtıcı, yüzey, hava, izolasyon, ara yüzey ısı dengeleri yazılarak sıcaklıklar hesaplanmaktadır. Daha sonra bu sıcaklık değerleri hem grafik

olarak hem de sayısal olarak çıkış ekranlarından verilmektedir.



Şekil 3.2 Model Akış Diyagramı

Fiziksel modeli düşünüldüğünde fırın içinde ısıtıcı bulunan iç şasi bölmesi, alt ısıtıcının bulunduğu şasi ve alt sac arası bölme bunların dışını saran izolasyon tabakası, dış çerçeve ve izolasyon ile dış çerçeve arasındaki ara hava hacmi olarak özetlenebilir.



Şekil 3.3 Isı geçiş şeması

Isı kaynağı ısıtıcı olduğu için buradan başlayarak ısı transferi ilişkileri incelenmiştir. Isıtıcıdan taşınım ile iç havaya ve ışınlam ile iç yüzeylere ve kapağa ısı geçişi olmaktadır. İç yüzeyler ise iç hava ile taşınım ile ısı geçişi halindedirler, ısıtıcılardan ışınlam ile ısı almakta ve birbirlerine ışınlam ile ısı alıp vermektedirler. İzolasyona iletimle yüzeylerden ısı geçmekte, ara hacme taşınım ile ve dış çerçeveye ışınlam ile ısı kaybedilmektedir. Alt ısıtıcı ise alt sac ve şasi alt yüzeyi ile yukarıdakine benzer bir ilişki içindedir. Şasi iç havası kapak altındaki aralık ve baca çıkışı sebebiyle dış ortam ile infiltrasyon mekanizmasıyla ısı geçişi ilişkisi içindedir. İzolasyon ve dış çerçeve arasındaki ara hacim ise izolasyon yüzeyinden taşınım ile ısı kazanmakta ve arka yüzeydeki aralıklardan hava çıkışı ile dış ortama ısı kaybetmektedir.

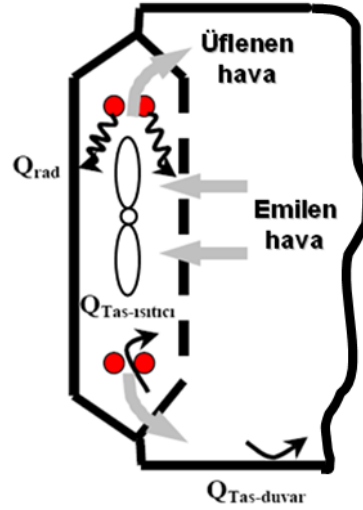
Modelleme çalışmasında temel olarak termodinamiğin birinci kanunundan hareketle enerjinin korunumu prensibi kullanılmıştır. Buna göre belli bir zaman adımıında belli bir kontrol hacmi için üretilen, depolanan, kontrol hacmine giren ve çıkan enerji miktarlarının toplamının sıfırdır.

$$q_{net} = mc_p \frac{dT}{dt} = q_{üretilen} + q_{giren} - q_{çıkan} \quad (3.1)$$

3.1.1.1 Şekil Faktörleri ve Kapalı Hacim Işınlam Dengesi

Kapalı hacim olan fırın iç hacminde yüzeyler, ısıtıcı ve kapağın ışınlamla ısı geçiş miktarlarının yazılabilmesi amacıyla öncelikle yüzeylerin (ister sac yüzeyler ister ısıtıcı yüzeyi olsun) birbirleri ile olan görüş faktörlerinin belirlenmesi gereklidir. Sac yüzeyler incelendiğinde görüş faktörleri açısından iki temel durum vardır. Bunlar birbirine paralel levhalar ve birbirine dik levhalar halleridir. Bu iki halde literatürde kolayca bulunabilen ve hata payı az olan durumlardır. Isıtıcı ile olan ilişkileri bulmak amacıyla genel kabuller kullanılmıştır. Modelde üst ısıtıcı için kullanılan yaklaşım, ısıtıcıdan ayrılan radyasyonun yarısının fırın üst yüzeyine gittiği, geriye kalan radyasyonun ise diğer beş yüzey tarafından eşit olarak paylaşıldığı yaklaşımıdır. Alt ısıtıcı için de benzer bir kabul yapılmıştır. Çok küçük olan alt ısıtıcı bölmesinde, alt ısıtıcıdan yayılan radyasyonun alt ve üst yüzeyler tarafından eşit olarak paylaşıldığı varsayılmıştır [42].

Zorlanmış taşınım ile ısı transferinin gerçekleştirildiği pişirme modlarında üzerinde çok sayıda delik bulunan fan koruma sacının orta kısmındaki deliklerden emilen hava dairesel sarımlı turbo ısıtıcının üzerinden geçirilerek ısıtılmakta ve ısınan hava yan kısımlardaki deliklerden kaviteye üflenmektedir.



Şekil 3.4 Turbo ısıtıcının bulunduğu bölmedeki ısı transferi ilişkileri

Radyasyonla ısı transferinin temelini görüş faktörlerinin hesaplanması oluşturmaktadır. Kavitenin inceliği dolayısıyla ısıtıcının görüşünün arka duvar ve fan koruma sacı arasında eşit olarak paylaşıldığı düşünülmektedir [43].

Bir fan yardımıyla zorlanmış taşınım ile ısı transferinin gerçekleştirildiği durumda temel olarak fanın dönme yönüne bağlı olarak dairesel sarımlı ısıtıcı üzerinden hava üflenmektedir. Havanın her durumda ısıtıcının dairesel kesitine dik olarak geldiği kabul edilirse ısı transferi hesabında düz dairesel kesitli boruların üstünden akış için geliştirilmiş formüllerden yararlanılabilir. Zorlanmış taşınım durumunda dairesel kesit üzerindeki Nusselt sayısı;

$$\overline{Nu}_D = 0,3 + \frac{0,62 * Re_D^{1/2} * Pr^{1/3}}{[1 + 0,4 / Pr]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (3.2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir [44]. Literatürde fırın kavitesine benzer kapalı ve yüksek debili bir akış olan durum için ayrıntılı çalışmalara rastlanmamıştır. Bu sebeple ısı taşınım katsayılarının tespiti için deney sonuçlarında elde edilen sıcaklıklar sınır şartları olarak kullanılarak CFD analizleri yapılmıştır.

3.1.1.2 Taşınım ile Isı Geçişi Katsayılarının Belirlenmesi

Modelleme açısından en kritik noktalardan biri de taşınım ile ısı geçişi denklemlerinde kullanılacak taşınım katsayılarının belirlenmesidir. Literatürde, konveksiyon katsayılarının belirlenmesi için çeşitli formüller, basitleştirilmiş bağıntılar yer almaktadır. Belirli bir durumda farklı bağıntılar kullanıldığında farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Aşağıda kullanılan birkaç bağıntı verilmiştir. Bunlar Adrian Bejan'ın 'Convection Heat Transfer'

kitabından, J.P. Holman'ın 'Heat Transfer' kitabından alınan bağıntılardır. Isıtıcılar için bunlara ek olarak C.O. Ekundayo'nun yaptığı 'Heat Transfer in Enclosures: Ovens' isimli doktora tezinden yararlanılmıştır [45].

Çizelge 3.1 Isı taşınım katsayıları ile ilgili bağıntılar

	Bejan	Holman	Ekundayo
Isıtıcı	$\overline{Nu}_D = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 \times Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left[0.559 / Pr \right]^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$	$h = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4}$	$Nu = 0.85 Ra^{0.188}$
Dik Yüzeyler	$\overline{Nu}_y = \left\{ 0.68 + \frac{0.67 \times Ra_y^{1/6}}{\left[1 + \left[0.492 / Pr \right]^{9/16} \right]^{4/9}} \right\}^2$	$h = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	-
Üst yüzey	$\overline{Nu}_L = 0.27 \times Ra_L^{1/4}$	$h = 0.59 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	-
Alt yüzey	$\overline{Nu}_L = 0.54 \times Ra_L^{1/4} \quad 10^4 < Ra_L < 10^7$ $\overline{Nu}_L = 0.15 \times Ra_L^{1/3} \quad 10^7 < Ra_L < 10^9$	$h = 1.32 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	-

Modelde her zaman adımı için akışkan özelliklerine bağlı olarak Rayleigh sayısı hesaplanmakta, bu sayı da yukarıdaki tabloda verilen Bejan bağıntılarında yerine konularak “h” ısı taşınım katsayısı denklemde çekilerek çözülmektedir.

3.1.1.3 Isıtıcılar

Modelde ısıtıcılar temel ısı kaynağı olduğundan hesapların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Isıtıcı kontrol hacmi olarak kabul edilirse belli bir zaman adımında ısıtıcı sıcaklığında olan değişim değeri; ısıtıcıda üretilen enerji $W_{ısıtıcı}$, taşınım ile iç havaya verilen enerji $q_{taşınım}$ ve ışınlama ile yüzeylere verilen enerji $q_{ışınım}$ değerlerinin toplamına eşittir.

$$m_{ısıtıcı} * c_{p, ısıtıcı} * \frac{T_{ısıtıcı}^i - T_{ısıtıcı}^{i-1}}{\Delta t} = W_{ısıtıcı} - q_{taşınım} - q_{ışınım} \quad (3.3)$$

Isıtıcıdan elektriksel dirençle üretilen ısı voltaj ve direnç değerleri kullanılarak $W = V^2/R$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. Direncin ölçüldüğü sıcaklığa göre düzeltme yapmak amacıyla ısı düzeltme katsayısı kullanılmaktadır.

$$W_{ısıtıcı} = \frac{V^2}{\Omega(1 + \alpha * (T_{ısıtıcı} - T_{referans}))} \quad (3.4)$$

Isıtıcıdan taşınım ile iç havaya geçen ısı miktarının hesaplanmasında bir önceki zaman adımıdaki ısıtıcı ve hava sıcaklık değerleri kullanılmaktadır.

$$q_{taşınım} = H_{con} * A_{ısıtıcı} * (T_{ısıtıcı}^{i-1} - T_{üsthava}^{i-1}) \quad (3.5)$$

Isıtıcıdan ışıınım ile çıkan ısı miktarı da genel şekil faktörü hesabından ve kapalı hacim ışıınım dengesinden yola çıkarak şu şekilde yapılabilir.

$$q_{ışıınım} = \left(\frac{A_{ısıtıcı} * \epsilon_{ısıtıcı}}{1 - \epsilon_{ısıtıcı}} \right) (\sigma (T_{ısıtıcı}^{i-1})^4 - J_{ısıtıcı}) \quad (3.6)$$

Tüm bu denklemlerin birleştirilmesi sonucu ısıtıcının sıcaklığı her bir adımda aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$T_{ısıtıcı}^i = \left[\left(\frac{V^2}{\Omega(1 + \alpha * (T_{ısıtıcı} - T_{referans}))} - H_{con} * A_{ısıtıcı} * (T_{ısıtıcı}^{i-1} - T_{üsthava}^{i-1}) - \left(\frac{A_{ısıtıcı} * \epsilon_{ısıtıcı}}{1 - \epsilon_{ısıtıcı}} \right) (\sigma (T_{ısıtıcı}^{i-1})^4 - J_{ısıtıcı}) \right) * \frac{\Delta t}{m_{ısıtıcı} * cp_{ısıtıcı}} \right] + T_{ısıtıcı}^{i-1} \quad (3.7)$$

3.1.1.4 İç Yüzeyler

İç yüzeyler olarak adlandırılan şasinin beş yüzeyi de her biri lumped olarak alınmış ve çözüm yapılmıştır. Her bir yüzey için tek sıcaklık hesaplanmaktadır. Yüzeyler için geçerli ısı transfer mekanizmaları ve bunların formülasyonu şu şekilde yapılmıştır.

Genel enerji dengesi denklemi:

$$m_{yüzey} * cp_{yüzey} * \frac{T_{yüzey}^i - T_{yüzey}^{i-1}}{\Delta t} = q_{iletim-izo} + q_{taşınım} + q_{ışıınım} + q_{iletim-yüzey} \quad (3.8)$$

Her bir yan yüzeyin kütlesi olarak şasi üstündeki çeşitli profiller nedeniyle normal geometrik alandan hesap edilen kütle yerine, mevcut fırın geometrisi için toplam şasi ağırlığının beşte biri alınmaktadır. Bu değer her bir yüzeye doğrudan kütle olarak ta girilebilir. Işıınım ile olan ısı transferi ilişkisi kapalı hacim yönteminden elde edilen radiosity değerleriyle aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$q_{ışınım} = \left(\frac{A_{yüzey} * \varepsilon_{yüzey}}{1 - \varepsilon_{yüzey}} \right) (\sigma (T_{yüzey}^{i-1})^4 - J_{yüzey}) \quad (3.9)$$

Taşıyma ile iç hava ile olan ısı transferi değişimi de aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Bu formülde kritik olan “ h_{con} ” ısı taşıma katsayısı hesabı daha önceden bahsedildiği gibi Rayleigh sayısı hesaplandıktan sonra Bejan bağıntılarında yerine konularak “ h ” ısı taşıma katsayısı denklemde çekilerek belirlenmektedir.

$$q_{taşıma} = H_{con} * A_{yüzey} * (T_{yüzey}^{i-1} - T_{yüzey}^{i-1}) \quad (3.10)$$

Yüzeylerin gerçek durumda birbirleri ile bitişik oldukları göz önüne alındığında bu sebeple olabilecek hataların azaltılması amacıyla yüzeyler arasında iletimle ısı geçişi olduğu düşünülmüştür. Burada sac kesit alanı ısı geçiş alanı olarak, sac ısı iletim katsayısı da iletim katsayısı olarak kabul edilmiştir.

$$q_{iletim-yüzey} = k_{sac} * d_1 * \ell_{sac} \left(\frac{T_{yüzey}^{i-1} - T_{yüzey2}^{i-1}}{d_1/2 + d_2/2} \right) \quad (3.11)$$

Yüzeyden izolasyon tarafına geçen ısı miktarı ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

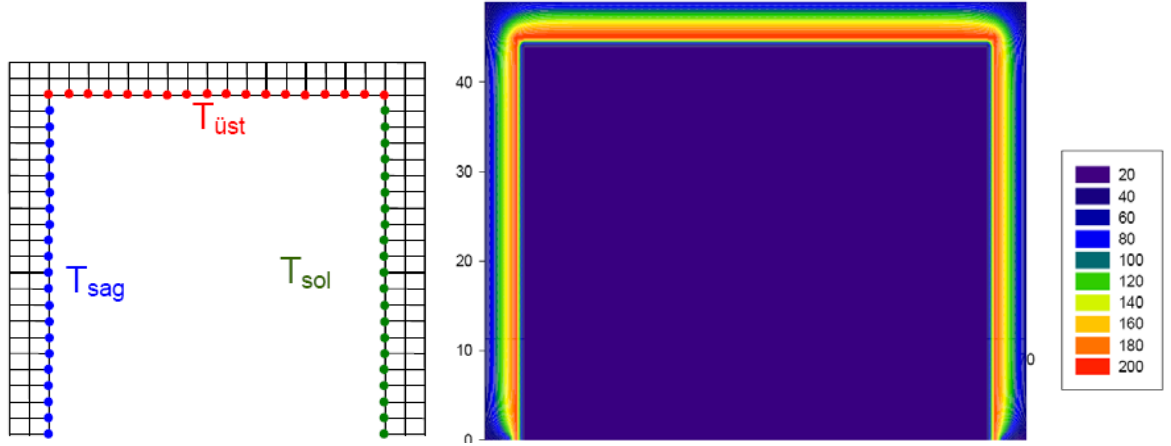
$$q_{iletim-izo} = k_{izo} * A_{izo} * \left(\frac{T_{yüzey}^{i-1} - T_{izo_üst}^{i-1}}{\ell_{izo}} \right) \quad (3.12)$$

Bu denklemlerin genel ısı dengesi denkleminde yerlerine konulması durumunda yüzey için o zaman adımındaki sıcaklık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$T_{ısıtıcı}^i = \left[\left(\frac{A_{yüzey} * \varepsilon_{yüzey}}{1 - \varepsilon_{yüzey}} \right) (\sigma (T_{yüzey}^{i-1})^4 - J_{yüzey}) + H_{con} * A_{yüzey} * (T_{yüzey}^{i-1} - T_{yüzey}^{i-1}) - k_{sac} * d_1 * \ell_{sac} \left(\frac{T_{yüzey}^{i-1} - T_{yüzey2}^{i-1}}{d_1/2 + d_2/2} \right) - k_{izo} * A_{izo} * \left(\frac{T_{yüzey}^{i-1} - T_{izo_üst}^{i-1}}{\ell_{izo}} \right) \right] * \frac{\Delta t}{m_{yüzey} * cp_{yüzey}} + T_{yüzey}^{i-1} \quad (3.13)$$

3.1.1.5 İzolasyon

İzolasyon sıcaklığı hesapları ayrı bir döngü içinde yapılmaktadır. İzolasyon sıcaklıklarının hesaplanması için sağ, sol ve üst kısmı saran izolasyon için iki boyutlu, arka kısım için ise tek boyutlu ısı geçiş çözümü yapılmıştır.



Şekil 3.5 İzolasyona ait çok hücreli sıcaklık çözümü (solda) ve herhangi bir andaki sıcaklık dağılımı (sağda)

Bu iki boyutlu sistemin çözümünde yüzey sıcaklıklarından gelen değerler sınır şartı olarak çözüme girilmektedir. Dış yüzeyde ise fırın ara hacmine olan taşınım ile ısı geçişi ve ışıınım ile olan geçiş hesaplanmaktadır. Işıınım hesabı taşınım benzeşimi kullanılarak yapılmıştır. Aşağıdaki ifade radyasyon ısı transfer katsayısını tanımlamaktadır.

$$h_{rad} = \sigma * \varepsilon * (T_{izo}^2 + T_{dış_yüzey}^2) * (T_{izo} + T_{dış_yüzey}) \quad (3.14)$$

Daha sonra bu değer normal ısı taşınım katsayısı ile toplanarak hesaba sokulmaktadır. Tüm hücre sıcaklıkları bulunmakta ve üç yüzey için ortalama değerler alınarak diğer adımda kullanılacak izolasyon sıcaklığı değerleri bulunmaktadır.

Bu hesaplarda kullanılan dış yüzey sıcaklıkları hesabında deneysel sonuçlardan çıkarılan ampirik ifadeler kullanılmıştır.

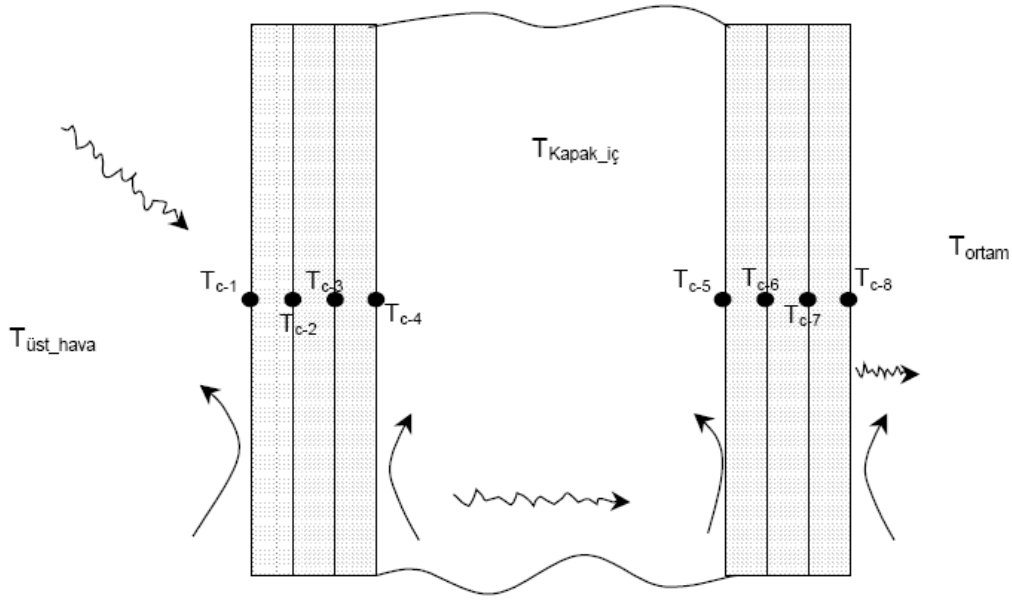
Dış yüzdeki hücreler için dış taşınım ve ışıınım ifadeleri sınır şart olarak yazılmaktadır. Her adımda yeniden hesaplanan dış yüzey, ara hava sıcaklıkları ve taşınım ve özdeş ışıınım katsayıları ile hesap bir sonraki adıma aktarılmaktadır. Hücreler için yazılan ısı dengesi denklemlerinden sonra iteratif olarak çözüm yapılmaktadır.

3.1.1.6 Kapak

Kapak hesabında ilk olarak iç camın sıcaklığı hesaplanmakta, oradan iç hacme geçen enerji ve dış cama ulaşılmaktadır. İç cama kapalı hacim radyasyon hesabından gelen ışıyım miktarı geldiği kabul edilmektedir.

$$q_{ışıyım} = \left(\frac{A_{iç_cam} * \varepsilon_{iç_cam}}{1 - \varepsilon_{iç_cam}} \right) (\sigma * (T_{iç_cam}^{i-1})^4 - J_{iç_cam}) \quad (3.15)$$

Cam yüzeyin iç hava ile olan ısı taşınım ilişkisi de şu şekilde tanımlanmıştır. Taşınım denkleminde kritik olan değer h “ısı taşınım katsayısının” hesaplanmasıdır.



Şekil 3.6 Fırın kapağındaki ısı transferi ilişkileri

İç camın ilk tabakasına gelen bu ısı yükleri cam içindeki sıcaklığı hesaplamak için kullanılan kontrol hacmi formülasyonunda ilk hacim için giriş değerleri olarak eklenmektedir. Aşağıdaki denklemden T_{cam_1} değişkeni yalnız bırakılarak hesap yapılabilir.

$$\rho * cp * A * \Delta x / 2 * \frac{T_{cam_1}^i - T_{cam_1}^{i-1}}{\Delta t} = \left[q_{taşınım} + q_{ışıyım} + \frac{k_{cam} * A}{\Delta x} * (T_{cam_2} - T_{cam_1}) \right] \quad (3.16)$$

Daha sonra diğer hacimler birbirleri ile olan ısı iletimine dayanarak hesaplanmaktadır. Orta nodlarda sınır şartları olmadığından denklem biraz daha değişiktir.

$$\rho * cp * A * \Delta x / 2 * \frac{T_{cam_2}^i - T_{cam_2}^{i-1}}{\Delta t} = \left[\frac{k_{cam} * A}{\Delta x} * (T_{cam_3} - T_{cam_2}) - \frac{k_{cam} * A}{\Delta x} * (T_{cam_2} - T_{cam_1}) \right] \quad (3.17)$$

Cam arası hava için de taşınım katsayısı ve taşınım özdeş ışınlım katsayısı hesaplanmakta ve bu değerlerin yardımıyla cam tabakasından ayrılan, cam arası havaya ve karşı cam tabakasına geçen ısı miktarları bulunmaktadır.

$$h_{rad_cam_arası} = \sigma * \varepsilon_{cam} * (T_{cam_4}^2 + T_{cam_5}^2) * (T_{cam_4} + T_{cam_5}) \quad (3.18)$$

İkinci cam tabakası içinde birinciye benzer bir hesap yöntemi kullanılmaktadır.

3.1.1.7 Ara Hacim

İzolasyonun üst yüzeyi ile dış fırın kasası arasında kalan hacim ara hacim olarak adlandırılmıştır. Bu bölüme gelen ısı yükler sırasıyla dört izolasyon yüzeyinden taşınım, alt sacdan taşınım, alt ısıtıcı bölmesinden direk sıcak hava ve dış yüzeyden taşınım ile giden ısıdır. İzole yüzeylerden olan ısı kayıplarının hesabı için izolasyon modülünde hesaplanan sıcaklıklardan ve önceden anlatılan taşınım katsayısı hesap yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Burada paralel levhalar için olan genel ısı taşınım katsayısı formülasyonu kullanılmıştır.

$$h = 1,42 * \left(\frac{T_{izo_sağ} - T_{dış}}{\ell} \right)^{1/4} \quad (3.19)$$

Dış yüzeyden olan ısı kaybı basit bir taşınım problemi olarak ele alınmıştır.

$$q_{dış_taşınım} = H_{can} * A_{dış_yüzey} * (T_{dış_yüzey}^{i-1} - T_{ortam}^{i-1}) \quad (3.20)$$

Bu durumda genel olarak ara hacim havasının sıcaklığı için oluşan genel denklem aşağıdaki gibi oluşmaktadır.

$$T_{ara_hava}^i = \left[(q_{izolasyon_taş} + q_{alt_sac} + q_{inf_alt} - q_{dış_yüzey}) * \frac{\Delta t}{m_{ara_hava} * cp_{ara_hava}} \right] + T_{ara_hava}^{i-1} \quad (3.21)$$

3.1.1.8 Fırın İç Hacmi

Programın fırının çalışması ile ilgili en önemli kontrol parametresi fırın iç havasının sıcaklığıdır. Genel olarak tüm denklemlerin toplamında belirlenen asıl sıcaklık olarak kabul edilebilir. Hava için taşınım gelen ısı değerleri zaten ters taraftan yüzeylerde, kapakta ve ısıtıcıda hesaplanmaktadır. Bu değerler aynen kullanılabilir. Hava sıcaklığı hesabında asıl modelleme zorluğu olan kısım kapak aralığı ve baca sebebiyle oluşan hava hareketidir (infiltrasyon). Hava hareketi mekanizmasının ikiye ayrılarak modellenmesi mümkündür. Birincisi havanın sıcaklığının artması sonucu genişlerken hacmi terk etme

hareketi, ikincisi ise sürekli devam eden hava hareketidir. Başlangıçta fırın iç hacminde bulunan hava kütlesi havanın o sıcaklıktaki yoğunluğu ve fırın hacmi kullanılarak bulunabilir.

Bu işlem hava sıcaklığının hesaplandığı her adım için tekrar edilebilir. İki değer arasındaki fark havanın genleşmesi sonucu oluşan içeriye veya dışarı doğru oluşan hava hareketini vermektedir. Fırında oluşan sürekli hava hareketini belirlemek içinde önceden yapılan deneylerden yararlanılmıştır. Bu durumda i . ile $i-1$. zaman adımları arasında fırın hacmini terk eden hava miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Giren havanın ortam şartlarında, çıkan havasında hesaplanan fırın iç sıcaklığında çıktığı düşünülerek ortalama sıcaklıktaki özgül ısı kullanılarak infiltrasyon mekanizması ile olan ısı kaybı değeri bulunmaktadır.

$$q_{inf_toplama} = ((m_{hava}^i - m_{hava}^{i-1}) + (\dot{m}_{inf_deney}) * cp((T_{hava} + T_{ortam}) / 2) * (T_{hava} - T_{ortam})) \quad (3.22)$$

Bu değerler dışında hesaba aktif olarak katılmayan fan koruma sacı, ızgara ve turbo ısıtıcıları termal kütle olarak dikkate alınarak, fırın iç havasından aldıkları ısı miktarı da hesaplanmaktadır. Bu hesaplarda diğerlerine benzer olarak termal denge denklemi kurulmuştur. Bu denklemde sadece iç hava ile olan taşınım ilişkisi tanımlanmıştır.

$$q_{taşınımT.ısıtıcı} = H_{conT.ısıtıcı} * A_{T.ısıtıcı} * (T_{T.ısıtıcı}^{i-1} - T_{üst_hava}^{i-1}) \quad (3.23)$$

$\frac{q_{taşınımT.ısıtıcı}}{I.ısıtıcı}$ $\frac{H_{conT.ısıtıcı}}{I.ısıtıcı}$ $\frac{A_{T.ısıtıcı}}{I.ısıtıcı}$ $\frac{T_{T.ısıtıcı}}{I.ısıtıcı}$ $\frac{T_{üst_hava}}{I.ısıtıcı}$
 Fankorumasacı Fankorumasacı Fankorumasacı Fankorumasacı Fankorumasacı

Bu taşınım denklemi genel enerji dengesi denklemine konulursa;

$$T_{T.ısıtıcı}^i = \left[q_{taşınımT.ısıtıcı} * \frac{\Delta t}{m_{T.ısıtıcı} * cp_{T.ısıtıcı}} \right] + T_{T.ısıtıcı}^{i-1} \quad (3.24)$$

$\frac{q_{taşınımT.ısıtıcı}}{I.ısıtıcı}$ $\frac{\Delta t}{m_{T.ısıtıcı}}$ $\frac{cp_{T.ısıtıcı}}{I.ısıtıcı}$
 Fankorumasacı Fankorumasacı Fankorumasacı

Termal köprülerden kaçan ısı miktarı da deneysel datalardan yararlanarak bulunan ampirik bir ifade olarak denge denkleminde yer almaktadır. Kayıp noktaları olarak fırın şasisi arka tarafındaki bağlama braketleri ve fırın ön yüzeyindeki dış çerçeve ile bağlantılı olan sac kısımlar görülmektedir. Bu kısımlar direk olarak dış çerçeve ile bağlantılı olup sac malzemenin ısı iletim katsayısının yüksekliğine de bağlı olarak ısı köprüsü oluşturmaktadır. Bu kısımdan olan kaçaklar termal kamera görüntülerinde de net olarak görülmektedir. Bu kayıpların termal modele katılması için deneysel sonuçlardan yararlanılmıştır. Programda tasarım değişimi sonucu bu kısımlardan olan ısı kayıplarının değişimi bir katsayı ile belirlenmiştir. Bu katsayının değiştirilmesi ile ısı köprüleri kayıpları hakkında genel bir

yaklaşım yapılabilmektedir.

$$T_{hava}^i = \left[(q_{ısıtıcı} + q_{yüzeyler} + q_{inf_toplam} - q_{termal_küttele} - q_{termal_köprü}) * \frac{\Delta t}{m_{hava} * cp_{hava}} \right] + T_{hava}^{i-1} \quad (3.25)$$

Alt ısıtıcının bulunduğu iki sac arasındaki bölme için de benzer bir hesapla sıcaklık hesabı yapılmaktadır. Bu hesapta ortam sıcaklığı olarak ara hacim havası olarak hesaplanan sıcaklık kullanılmaktadır [42].

3.1.2 Modele Ait Giriş Ekranları

Pişiriciye ait giriş verileri, FIRSİM programı altındaki 5 menü yardımıyla girilerek kaydedilebilmektedir. Datalar teker teker girilebileceği gibi programın kütüphanesine önceden kaydedilen datalar da kullanılabilmektedir. Kütüphaneden seçilen bir veri grubu aynen kullanılabileceği gibi arasından birkaç data değiştirilerek de kullanılabilir. Simülasyonun çalışması için tüm dataların girilmesi şarttır.

Bu menülerden ilki şasi grubuna ait özelliklerin girildiği menüdür. Bu menüde şasiye ait boyutlar ve ağırlık ile şasiyi oluşturan malzemelerin özellikleri girilmektedir. Bu menüde bulunan parametreler birimleri ile aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Giriş menülerinden bir diğeri şasiyi saran izolasyona ait özelliklerin girildiği kısımdır. İzolasyon tabakasının kalınlığı, özgül ısı ve yoğunluğu girilen veriler arasındadır. Isı iletim katsayısı için farklı sıcaklıklarda ayrıntılı data gerektiğinden tercihen bu bilgi seçilen malzemeye bağlı olarak yüklü olacaktır.

Çizelge 3.2 İzolasyon grubu verileri

İsim	Birim	Açıklama
Kalınlık	[m]	İzolasyon tabakasının kalınlığı
Yoğunluk	[Kg/m ³]	İzolasyon malzemesinin yoğunluğu
Özgül ısı	[J/kgK]	İzolasyonun birim ağırlığının depoladığı ısı miktarı
Alimünyum folyo		İzolasyon üstü folyo var/yok
Isıl iletim katsayısı	[W/mk]	Boş bırakılırsa cam yününe göre girilmiş sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısı değişimine göre hesap yapılmaktadır.

Çizelge 3.3 Şasi grubu verileri

İsim	Birim	Açıklama
Sac kalınlığı	[mm]	Sac malzeme kalınlığı
Emaye kalınlığı	[mm]	Sac üzerindeki kaplama malzemesi özelliği
Emisivite		Şasi iç yüzeyinin emisivite değeri
Yoğunluk	[Kg/m ³]	Sac ve kaplama malzemesinin ortalama değeri
Şasi Ağırlığı	[Kg]	Her yüzeyin kütlesinin bulunması amacıyla kullanılır.
Özgül ısı (sac)	[J/kgK]	Sac malzemenin birim ağırlığının depoladığı ısı miktarı
Özgül ısı (emaye)	[J/kgK]	Kaplama malzemesinin birim ağırlığının depoladığı ısı miktarı
Sac iletim katsayısı	[W/mk]	Sacın ısı iletim katsayısı
Genişlik (Şasi)	[m]	Şasi için boyut bilgileri
Yükseklik (Şasi)	[m]	
Derinlik (Şasi)	[m]	
Genişlik (Dış kasa)	[m]	Dış kasa için boyut bilgileri
Yükseklik (Dış kasa)	[m]	
Derinlik (Dış kasa)	[m]	
Isıl Köprü katsayısı		Şasiyi dış kasaya bağlayan ısı köprülerinden olan ısı kaybını ele almak için kullanılır. Mevcut değer 1,2 dir. Tasarımda ısı köprülerinin miktarının artırılması veya azaltılmasına göre değiştirilir.

Modelde, fırında bulunan alt, üst ve sarmal ısıtıcılara ait özellikler ayrı ayrı girilebilmektedir. Bu özelliklerin başında ısı transfer alanını hesaplamak amacıyla gerekli olan ısıtıcı boyu ve çapı gelmektedir. Diğer özellikler aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Tabloda bulunan sargı çapı değeri sadece turbo ısıtıcı için mevcuttur.

Çizelge 3.4 Isıtıcı grubu verileri

İsim	Birim	Açıklama
Isıtıcı Boyu	[m]	Toplam ısı transfer yüzeyinin boyu
Isıtıcı Çapı	[m]	
Emisivite		Isıtıcı dış yüzeyinin emisivite değeri
Isıtıcı Kütlesi	[Kg]	Isıtıcının ağırlığı
Direnç	Ohm	Isıtıcı direnç değeri
Özgül ısı (sac)	[J/kgK]	Isıtıcı sac malzemenin birim ağırlığının depoladığı ısı miktarı
Özgül ısı (iç dolgu)	[J/kgK]	İç dolgu malzemesinin birim ağırlığının depoladığı ısı miktarı
Referans sıcaklığı	[°C]	Direncin ölçüldüğü sıcaklık
Voltaj Ayarı	[V]	Isıtıcı gücünü ayarlamak için kullanılmaktadır

Cam sayısına bağlı olarak her bir cama ait özellikler ayrı ayrı olarak dördüncü giriş menüsü olan kapak grubu menüsünden girilmektedir. Modelde, cam yüzeyine yapılan özel kaplamalar kaplamanın yerleştirildiği yüzeyin emisivite değerinin kaplamanın emisivite değeri olarak girilmesiyle ele alınmaktadır.

Çizelge 3.5 Kapak grubu verileri

İsim	Birim	Açıklama
Cam adedi	[adet]	
Cam aralığı	[m]	
Genişlik	[m]	
Yükseklik	[m]	
Kalınlık	[m]	
Emisivite	[-]	Cam yüzeyinin emisivite değeri
Özgül ısı	[J/kgK]	
Isı iletim katsayısı	[w/mK]	Camın ısı iletim katsayısı değeri

Fırına ait parametrelerin girilmesinden sonra programa fırının çalışma şartlarını belirten parametreler girilmektedir. Bunlar öncelikle fırının ayar sıcaklığı ve termostat hassasiyetidir. Diğer önemli parametre ise çalışma modudur. Ayrıca tuğla testi için tuğla testi sekmesi seçilmelidir.

Çizelge 3.6 Çalışma grubu verileri

İsim	Birim	Açıklama
Termostat ayar sıcaklığı	[°C]	Fırının çalışma sıcaklığı.
Termostat hassasiyeti	[±°C]	Fırının set sıcaklığından yapacağı salınım miktarı.
Simülasyon çalışma süresi	[dakika]	Belli bir zaman diliminde simülasyonun durması isteniyorsa.
Başlangıç Sıcaklığı	[°C]	Fırın çalışmaya başladığı anda fırın elemanlarının ve çevrenin sıcaklığıdır.
Çalışma modu		- Alt+Üst ısıtıcı - Alt+Üst ısıtıcı +Fan - Turbo Isıtıcı +Fan
Tuğla Testi		Eğer tuğla testi yapılmak isteniyorsa seçilmelidir.
Termostatik Çalışma		Normal şartlarda boşta çalışma amacıyla kullanılır.

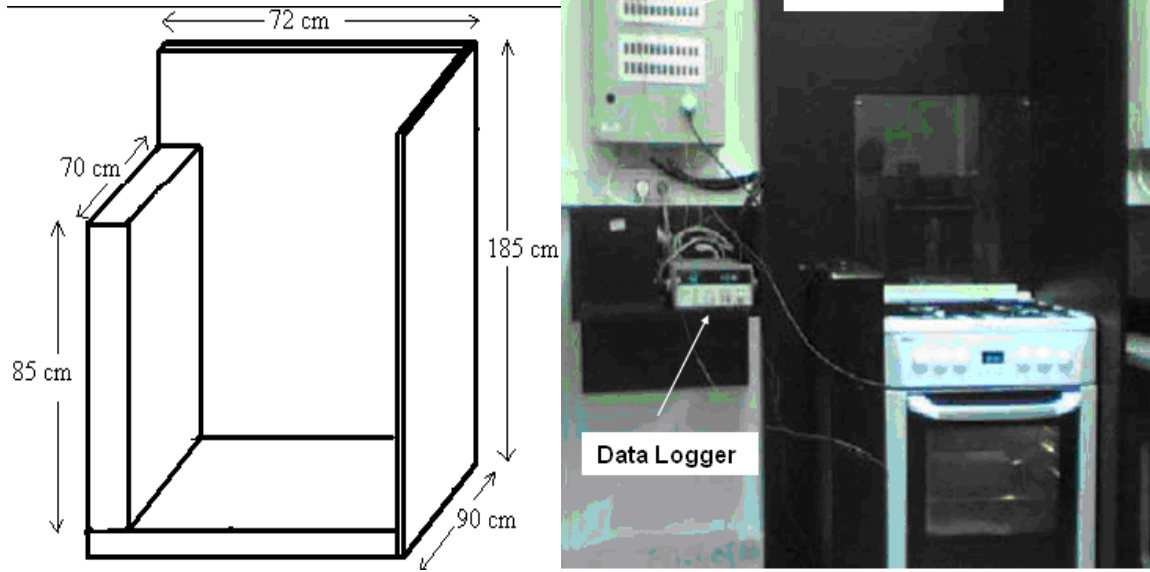
3.2 Deney Düzeneği ve Tuğla Testi Standartı

Çalışmanın bu bölümünde bir sonraki bölümde tasarlanan algoritmaların uygulanacağı deney setinin ve fırının özelliklerinden bahsedilecektir. Ayrıca fırınların enerji tüketiminin belirlenmesi için kullanılan EN 5034 standardı hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir.

3.2.1 Deney Laboratuvarı ve Kullanılan Fırınlar

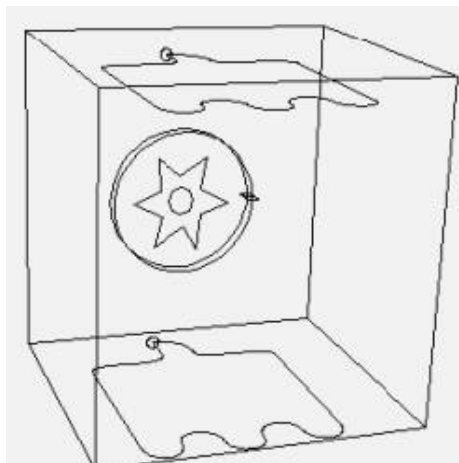
Fırınlara ait enerji tüketim deneyleri EN 50304 fırın enerji tüketim deneyi standartlarına uygun olarak fırının bulunacağı mutfak simgeleyen bir deney düzeneğinde yapılmaktadır. Deney yapılırken, fırın mutfaktaki eşyaları temsil eden aşağıdaki boyutlara sahip bir kabin içinde bulunmaktadır [46].

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



Şekil 3.7 Kullanılan deney düzeneğinin şematik görüntüsü (solda) ve gerçek görüntüsü (sağda)

Deneylerde kullanılan fırında bir pişirme bölgesi ve 3 adet ısıtıcı bulunmaktadır. Sarmal ısıtıcı fırın kapağı açıldığında fırın arka tarafında ortası delikli yapıya sahip fan koruma sacı adı verilen bir plakanın arkasındadır. Pişirme bölgesinin dışındadır. Sarmal ısıtıcının merkezine yerleştirilen, ısınan havanın fırın içerisine gönderilmesini sağlayan bir adet radyal fan bulunmaktadır.



Şekil 3.8 Fırındaki ısıtıcılara ait şematik görünüm

Fırının üst kısmına yerleştirilen ısıtıcı üst ısıtıcı olarak adlandırılır ve pişirme bölgesinin üst tarafında ve pişirme bölgesi içerisinde. Diğer ısıtıcı ise alt ısıtıcı olarak adlandırılır ve alt ısıtıcı pişirme bölgesinin altında ve dışında bulunmaktadır.

Fırınların enerji tüketim deneyleri için hazırlanan istasyonların her birinde J tipi termo elaman kanalları bulunmaktadır. Bu termo elamanlar vasıtasıyla sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ölçümler Data Logger ile alınmaktadır. Enerji, güç, gerilim ve akım ölçümleri ise analiz cihazları ile yapılmaktadır. Laboratuarda test edilen cihazların, test süresince gerilimleri 3 adet regülatör ile kontrol edilmektedir.

3.3 Enerji Tüketim Deneyi Standardı

Fırınlarda enerji deneyleri CENELEC tarafında yayınlanan EN 5034 standardına bağlı olarak belirlenmektedir. Standardın amacı;

- Standartlaştırılmış bir test prosedürü boyunca, standartlaştırılmış bir yük kullanılarak enerji tüketiminin hesaplanması,
- Hacim, bir yükü ısıtmak için gerekli süre, pişirme tepsileri alanı gibi özel performans karakteristiklerinin elde edilmesi,
- İmalatçının deklare ettiği değerlere izin verilen toleranslar ve bu değerlerin kontrol edilmesi için kontrol prosedürlerinin elde edilmesidir [46].

Standartta fırının enerji tüketiminin belirlenmesinde pişirilen yemeği simüle etmek amacıyla Hipor adında aşağıdaki tabloda özellikleri verilen özel bir tuğla kullanılmaktadır.

Çizelge 3.7 Hipor tuğlaya ait özellikler

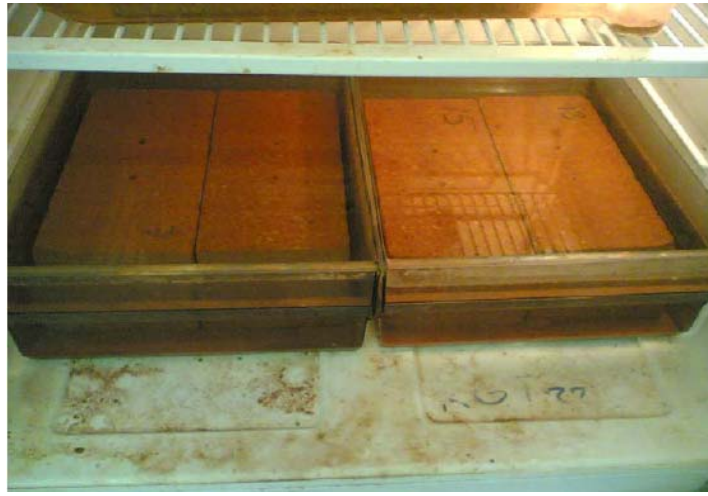
Yoğunluk	550	kg/m ³
Kuru Ağırlık	920±75	gr
Emilen Su	1050±50	gr
Boyutlar	230*114*64	mm
Özgül Isı (cp)	800	J/kgK
Isıl İletkenlik	0,091	W/mK

Tuğla sıcaklığı ölçümü, tuğla merkezinden 25 mm sağa ve sola açılan iki deliğe yerleştirilen J tipi termokupullar ile yapılmaktadır. Deney süresince, tuğla içerisine yerleştirilen termo elemanların yerinden çıkmaması gerekmektedir. Deney sırasında termo elemanların tuğla içerisine takılıp çıkarılmasıyla tuğla delikleri zamanla genişlemekte ve tuğlaya ait gerçek sıcaklık değerleri ölçülememektedir. Bu nedenle bir tuğla en fazla 20 sefer kullanılmalıdır.

Deneye başlamadan önce testte kullanılan tuğlanın 175 °C ve üstü sıcaklıkta hacmi 50 lt olan

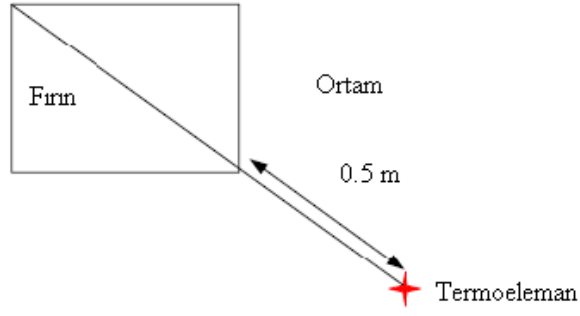
bir fırında, aynı anda en fazla iki adet tuğla olmak üzere, fan ile ısıtıcının beraber çalıştığı zorlanmış taşınımli durumda üç saat kurutulması gerekmektedir.

Fırından çıkartıldıktan sonraki 5 dakika içerisinde tuğlanın kuru ağırlığı ölçülür. Bu ağırlık miktarı, belirtilen toleranslar içerisinde olmalıdır. Tuğla su sıcaklığı 20°C'den az olan su dolu kaba konur Kaba konmadan önce 25°C'nin altına düşmesi beklenir. Bu kap en az 8 saat buzdolabında bekletilir. Deney için kullanılacak olan tuğlalar 5 ± 2 °C derece olmalıdır. Tuğla buzdolabından çıkartıldıktan sonra yaklaşık 1 dakika fazla suyun süzülmesi için beklenir. Islak tuğlanın ağırlığı ölçülür. Tuğlanın emdiği su; ıslak tuğlanın ağırlığından kuru tuğlanın ağırlığının çıkarılmasıyla hesaplanır.



Şekil 3.9 Buzdolabında su içerisinde bekletilen tuğlalar

Standarda göre test yapılan ortamın sıcaklığı 23 ± 2 °C'dir. Ayrıca test başlamadan önce tüm test cihazları ortam sıcaklığında olmalıdır. Ortam sıcaklığı hesaplanırken, test süresi boyunca kaydedilen ortam sıcaklığı değerlerinin ortalaması alınmaktadır. Oda sıcaklığı, diğer bir cihaz tarafından etkilenmemesi için fırının ön kenarlarından birinden köşegensel olarak 0,5 m mesafede olacak şekilde yerleştirilen bir termo elemanla ölçülmektedir. Bahsedilen termo elemanın yerleşimi aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 3.10 Ortam sıcaklığının ölçümü için kullanılan termokupulun yerleşimi

Tuğla, ortam ve diğer cihazlar belirlenen standart sıcaklık koşullarını sağladığı durumda, tuğla ızgara elaman üzerinde fırının geometrik merkezine yerleştirilmektedir. Bu ızgara elaman, mümkün olduğu kadar fırın merkezinde olmalıdır ve tuğla uzun kenarı, fırının önüne paralel olacak şekilde fırına yerleştirilir.



Şekil 3.11 Tuğlanın fırın içerisine yerleştirilmesi

Tuğlalar, buzdolabından çıkarıldıktan sonra 3 dk içinde deney başlatılmalıdır. Fırınların enerji tüketim deneyleri EN 50304 standartlarına göre, aşağıdaki tabloda gösterilen durumlarda ve sıcaklık değerlerinde yapılmaktadır.

Çizelge 3.8 Kullanılan pişirme moduna göre EN 5034 Standardında belirlenen enerji tüketim testi sıcaklıkları [47]

ISITMA MODU	ISITMA FONKSİYONLARI		
	Statik	Turbo	Buharlı
Δt_1	(140 $\pm$ 10) K	(135 $\pm$ 10) K	(135 $\pm$ 10) K
Δt_2	(180 $\pm$ 10) K	(155 $\pm$ 10) K	(155 $\pm$ 10) K
Δt_3	(220 $\pm$ 10) K	(175 $\pm$ 10) K	(175 $\pm$ 10) K

Sıcaklığı 5 $\pm$ 2°C olan tuğla fırın içine konulduktan sonra, üzerindeki termo elemanlar ile merkez sıcaklığı okunur. Her iki termokupulda da okunan sıcaklık değerinin +55 K olana kadar geçen sürede fırının enerji tüketimi ölçülür.

Tuğla sıcaklık koşulunu sağladığında fırından çıkarılır ve ağırlığı ölçülür, deney süresi kaydedilir ve tuğla oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Tuğla fırından çıkarıldıktan sonra sıcaklık ayarı değiştirilmeden fırının kararlı hale gelmesi beklenir. Kararlı koşullarda, fırın merkez sıcaklığının en yüksek ve en düşük değerlerinin aritmetik ortalaması fırın merkez sıcaklığı olarak kaydedilir. Kararlı koşul, termostatin beş çevrimi tamamlama durumudur. Bir çevrim, termostatin iki kapama durumu arasındaki süredir. Fırın sıcaklığı, fırın boş iken merkezine yerleştirilen termo eleman ile ölçülür. Bu termo eleman, ızgaradan 30 mm uzaktadır.

Deneyler esnasında enerji tüketimi, süre, tuğla merkez sıcaklıkları ve ortam sıcaklığı ölçülür.

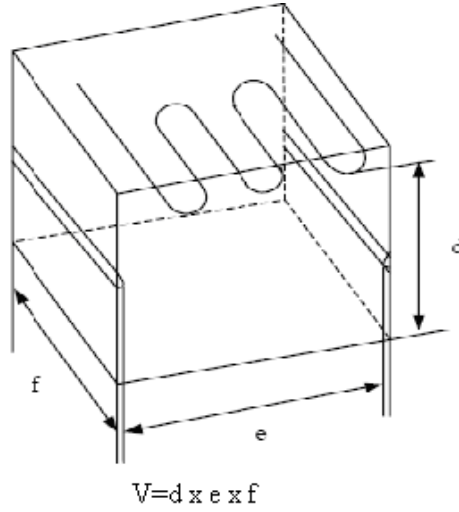
Deney sırasında kaydedilen datalar ise şunlardır:

- Fırının cinsi ve ısıtma fonksiyonu
- Fırının kullanılabilir hacmi
- Pişirme tepsisinin veya ızgaranın kullanılabilir alanı
- Voltaj değeri
- Test edilen fonksiyonlar ve çeşitleri
- Fırının ön ısıtması için tüketilen enerji
- Ön ısıtma süresi
- Enerji tüketimi
- Zaman
- Tuğlanın emdiği su miktarı

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

Yukarıda bahsedilen deneyler yapıldıktan sonra fırın enerji sarfiyatı belirlenmektedir. Tuğla testi deneyleri statik ve turbo modlar için standartta belirtilen sıcaklık değerlerine ortam

sıcaklıkları eklenerek yapılmaktadır. Fırın enerji sınıfının belirlenmesinde ölçülen enerji değerlerinin yanı sıra fırın kullanılabilir hacminin de etkisi bulunmaktadır. Fırının kullanılabilir hacmi yüksekliği, derinliği ve genişliğinin çarpılmasıyla elde edilir, litre cinsinden belirlenir ve en yakın tam litre değerine tamamlanır. Kullanılabilir derinlik ile genişliğin çarpılmasıyla en büyük pişirme yüzey alanı hesaplanır. Fırında pişirme tepsisi yerine ızgara elemanı bulunuyorsa, ızgara elemanının alanı hesaplanır.



Şekil 3.12 Fırın kullanılabilir hacminin hesaplanması

Fırın enerji standardında fırın hacimleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmış ve enerji sarfiyatları fırın hacimlerine göre düzenlenmiştir. Bu çalışmada enerji tüketim deneylerinde orta hacimli elektrikli bir fırın kullanılmıştır. Orta hacim sınıfına giren bu fırın için standartta belirtilen enerji değerlerine karşılık gelen enerji sınıfları aşağıdaki tablodaki gibidir [48].

Çizelge 3.9 Tuğla Testi Standardına Göre Belirlenen Fırın Hacimleri

Standartla Belirlenen Fırın Hacimleri	
Küçük Hacim	$12\text{lt} < V < 35\text{lt}$
Orta Hacim	$35\text{lt} < V < 65\text{lt}$
Büyük Hacim	$V > 65\text{lt}$

Çizelge 3.10 Fırın enerji standardında orta hacimli fırınlar için belirtilen enerji sınıfları

Enerji Sınıfı	Standart Yükte Enerji Sarfıyatı (kWh)
A	$E < 0,8$
B	$0,8 \leq E \leq 1$
C	$1 \leq E \leq 1,2$
D	$1,2 \leq E \leq 1,4$
E	$1,4 \leq E \leq 1,6$
F	$1,6 \leq E \leq 1,8$
G	$1,8 \leq E$

Yapılan deneysel çalışmalardan yola çıkarak fırın regresyonlu enerji sınıfının belirlenmesinde aşağıdaki formüller kullanılmaktadır. Fırın enerji değeri belirtilen formüller ile belirlendikten sonra fırın hacmine göre belirlenmiş enerji değerlerinden fırın enerji sınıfı tespit edilmektedir [47].

$$S^{i...} = \frac{n \sum_{k=1}^n (\Delta T_K^{i...} * E_K^{i...}) - \left(n \sum_{k=1}^n (\Delta T_K^{i...}) * \sum_{k=1}^n (\Delta E_K^{i...}) \right)}{n \sum_{k=1}^n (\Delta T_K^{i...})^2 - \left(\sum_{k=1}^n \Delta T_K^{i...} \right)^2} \quad (3.26)$$

$$B^{i...} = \frac{\sum_{k=1}^n (E_K^{i...}) - S^{i...} * n \sum_{k=1}^n (\Delta T_K^{i...})}{n} \quad (3.27)$$

$$E^{i...} = S^{i...} * \Delta T_0^{i...} + B^{i...} \quad (3.28)$$

3.4 Modelin Doğrulaması

Çalışmanın daha önceki bölümlerinde tasarlanacak algoritmaların; ilk olarak deneysel çalışmada karşılaşılabilecek güçlükler göz önünde bulundurularak ve algoritmaların parametrik etkilerinin belirlenmesi için, modellemelerinin yapılacağı ve sonuçlarının irdeleneceği belirtilmişti. Ayrıca analiz için kullanılacak modele ait temel hesaplama yöntemi ve modelin özellikleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Çalışmanın bu kısmında kullanılacak modele ait doğrulama deneyleri yapılmıştır. Bunun için ilk olarak deneylerde kullanılan fırın üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan önce mevcut durumları ile enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar, modelde tanımlanan benzer koşullar için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak

modele ait hata oranı belirlenmiştir. Modele ait doğrulama deneyleri EN 50304 standartlarına uygun olacak şekilde hazırlanan deney düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir. Doğrulama deneyleri için EN 50304 standardında doğal ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi için tanımlanan deney sıcaklıklarının orta noktaları seçilmiştir. Bu çerçevede alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durum için 205°C ve sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için 180°C’de deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.11 Model doğrulama deneylerine ilişkin doğal taşınım için (solda) ve zorlanmış taşınım için (sağda) sonuçlar

ALT+ÜST ISITICI 180K (205C) TUĞLA TESTİ		SARMAL ISITICI +FAN 155K (180C) TUĞLA TESTİ	
Parametreler	Fark	Parametreler	Fark
55K Süresi	0,8 dk	55K Süresi	9,9 dk
55K Enerjisi	%11,1	55K Enerjisi	%18,3

Deney sonuçlarından doğal taşınımlı durum için %11,1, zorlanmış taşınım için %18,3 hata oranları tespit edilmiştir. Tuğlanın EN 50304 standardında belirtilen sıcaklık koşulunu sağladığı sürelerde ise doğal taşınımlı durum için 0,8dk ve zorlanmış taşınımlı durum için 9,9 dk. fark tespit edilmiştir. Sonuçlardan zorlanmış taşınımlı durum için tespit edilen hata paylarının yüksek olduğu görülmektedir. Hata payının yüksek olmasında fırın içi hava ile tuğla arasında hesaplanan ısı transfer katsayılarının ve fırından dış ortama olan ısı transfer kayıplarının etkisinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte deney sonuçlarından tespit edilen hata oranlarından modelin çalışmanın ileriki kısımlarında gerçekleştirilen aktivitelerde kullanılabileceği kararlaştırılmıştır.

4. ALGORİTMA ANALİZLERİ ve DENEYLERİ

Çalışmanın bu kısmında, ilk bölümde yapılan patent ve literatür araştırmasının sonucunda elde edilen bilgiler ve edinilen tecrübeler yardımıyla algoritmalar oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında algoritmaların; ilk olarak deneysel çalışmada karşılaşılabilecek güçlükler göz önünde bulundurularak ve algoritmaların parametrik etkilerinin belirlenmesi için, modellenmesi yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Bir sonraki aşamada ise analizler sonucunda avantajlı bulunan algoritmalara ilişkin deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve gerçek durumda sağladıkları avantajları irdelenmiştir. Deneysel çalışmalar mekanik kontrollü fırın üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 Tasarlanan ve incelemeleri yapılan algoritmaların özellikleri

1	Başlığı altında, ısıtıcıların OFF periyotlarında değişken güçlerde çalıştırılması denenmiştir (ALG_2).
2	Ön ısıtma süresinde ısıtıcılar 1,2 kat güçle çalıştırılmıştır (ALG_3).
3	Isıtıcının her kapanışından sonra ON/OFF süreleri arasındaki oran azaltılmakta ve ön ısıtma bittikten sonra pişirmenin kalan süresi boyunca ON/OFF süreleri birbirine eşit alınmaktadır (ALG_4).
4	Isıtıcılar ön ısıtmadan itibaren ON/OFF süreleri arasındaki oran bir olacak şekilde çalışmaktadır. Alg_5_2'de ise OFF periyotlarında fırın içi sıcaklığın aşırı düşmesinin engellenmesi için alt sıcaklık limiti belirlenmiştir (ALG_5)
5	Pişirmenin ilk bölümünde fırın set sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta çalıştırılmaktadır (ALG_6).
6	Pişirme sırasında termostat farklı hassasiyetlerde çalıştırılmaktadır (ALG_7).

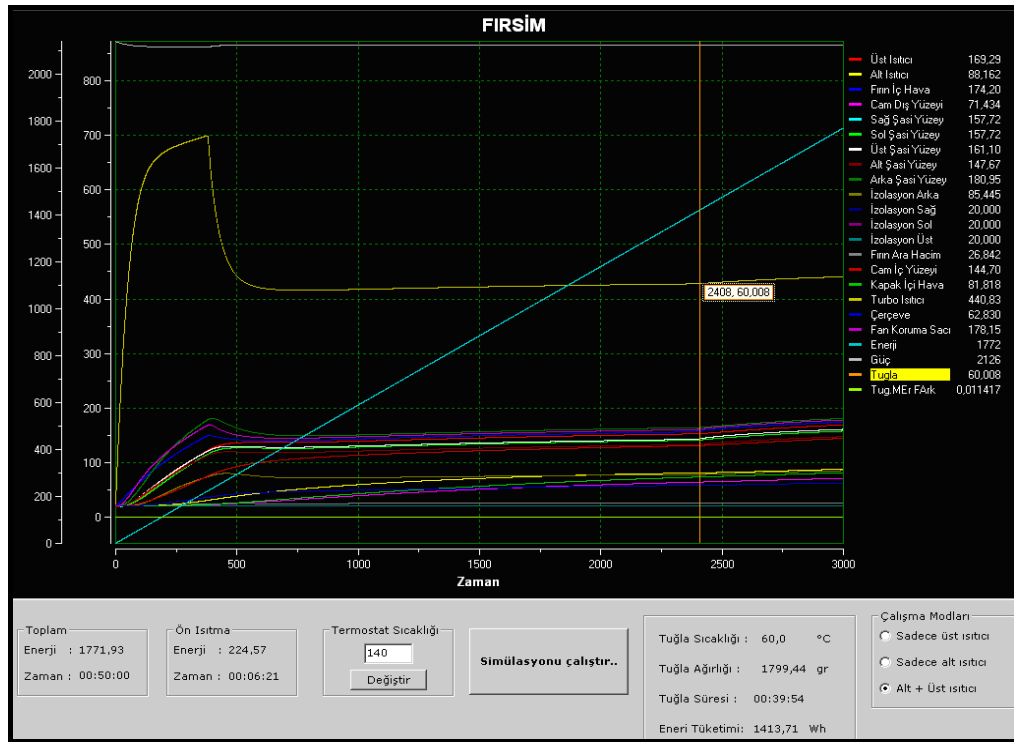
Tasarlanan algoritmaların özellikleri ve elde edilen analiz ve deneysel çalışma sonuçları aşağıdaki gibidir.

4.1 Isıtıcıların Kapatılması Yerine Değişken Güçle Çalıştırılması (ALG 2)

Elektrikli fırınlarda ısıtıcılar fırın içerisindeki hava sıcaklığına bağlı olarak on/off olarak çalışmaktadır. Tasarlanan bu algorithmada ısıtıcılar kapatılmak yerine düşük güçlerde

çalışmaya devam etmektedir. İşlem sırasında ısıtıcıların kapatılması yerine düşük güçlerde çalıştırılmasının ısıtıcı ortalama yüzey sıcaklığının artmasını sağlayarak fırının ısıl doygunluğa daha çabuk ulaşmasını sağlayacağı düşünülmüştür. Sıcaklıklarda görülen bu artışın ise 55K süresi ve enerjisinde kazanç sağlayacağı tahmin edilmiştir.

Bu algoritma, ısıtıcıların değişken güçlerde çalıştırılmasında doğabilecek güçlükler göz önünde bulundurularak, ısıtıcıların OFF süreçlerinde vermesi gereken ısının üçüncü bir ısıtıcı (ızgara veya ek bir ısıtıcı) tarafından sağlanması şeklinde de düşünülebilir.

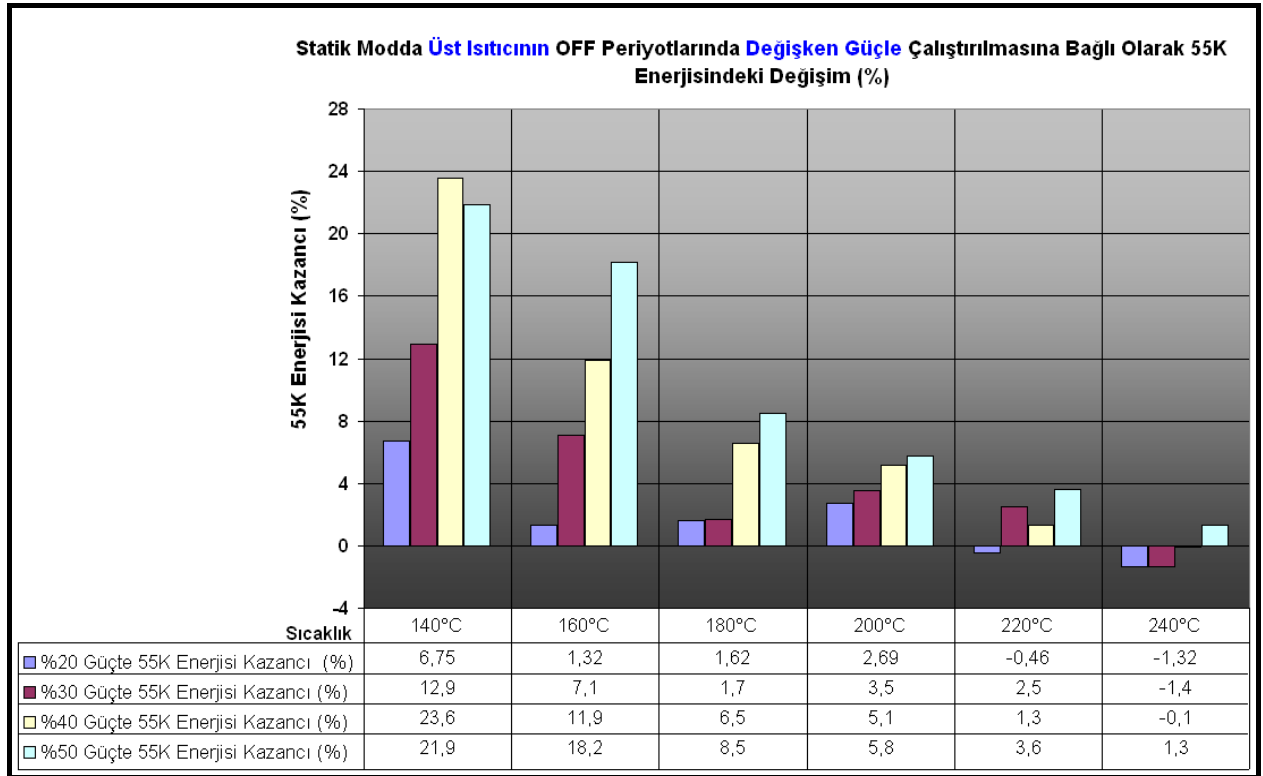


Şekil 4.1 Modelde sarmal ısıtıcının off periyotlarında %50 güçle beslendiği durum için çevrim sayılarındaki azalmaya ait görünüm

Algoritmaya ilişkin yapılan analizler sonucunda normal çalışma ile algoritmali durum arasındaki çevrim sayısı farkına bağlı olarak 55K enerjilerinde kazançlar sağlandığı tespit edilmiştir. Isıtıcıların off periyotlarında da çalışması sonucu ısıtıcı yüzey sıcaklıklarındaki düşüşler azalmaktadır. Bunun sonucunda off periyotlarındaki güce bağlı olarak, ısıtıcının çevrim sayılarında azalmalar olabilmekte hatta ısıtıcı işlemi tek bir çevrim yaparak tamamlayabilmektedir. Normal durumun ve algoritmali durumun çevrim sayıları arasındaki fark azaldıkça sağlanan enerji tasarrufu miktarları da azalarak negatif olmaktadır.

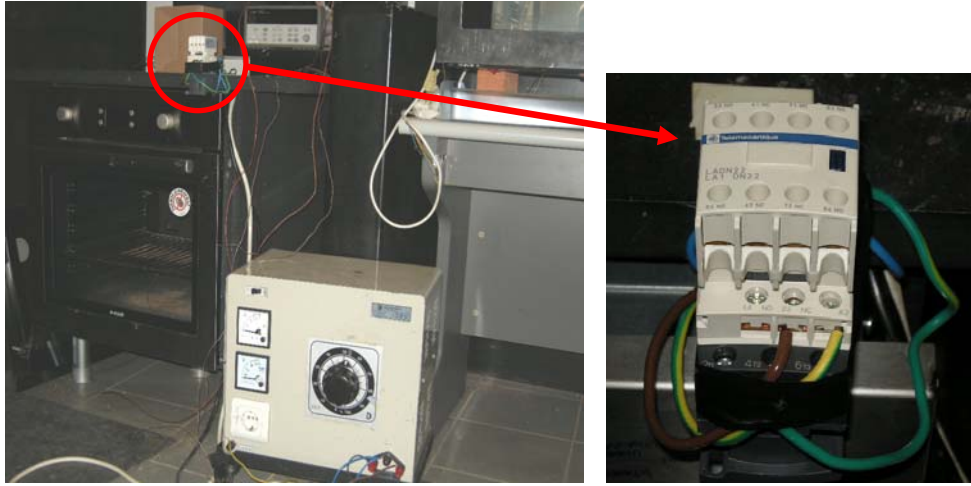
4.1.1 Üst Isıtıcı

Alt ve üst ısıtıcının beraber çalıştırıldığı ve ısı transferinin doğal taşınım ile gerçekleştiği durumda sadece üst ısıtıcının off süreçlerinde düşük güçlerde çalıştırılmasına ilişkin yapılan analizler sonucunda, algoritmanın 55K sürelerinde uzamaya neden olmadan 55K enerji değerlerinde iyileşme sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte güç değerlerindeki değişim ile sağlanan enerji tasarrufları arasında doğrusal bir ilişki bulunmamaktadır. Regresyon enerjisindeki en büyük kazanç, ısıtıcının %50 güçle beslendiği durumda %8,4 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.2 Üst ısıtıcı için modele ait ALG 2 analiz sonuçları özeti

Bir sonraki aşamada, analizler sonucunda en yüksek kazancın sağlandığı durum için fırın üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneylerde ısıtıcıyı off periyotlarında besleyebilmek için bir röle ve varyak kullanılmıştır. Röle, ısıtıcının off periyotlarında %50 güç ile çalışmasını sağlayacak şekilde ayarlanmış varyak ile beslenmesini sağlamaktadır. Termostat, ısıtıcıyı açtığında ise röle, ısıtıcının 230 Volt ile orijinal koşullarında çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.3 Algoritma deneysel uygulamalarındaki deneysel düzenek (solda) ve kullanılan röle (sağda)

Çizelge 4.2 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı modda üst ısıtıcı için ALG 2 deney sonuçları

ALG 2 ÜST ISITICI İÇİN DENEY SONUÇLARI			
Sıcaklık	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Regresyon Enerji Kazancı (%)
165°C	3	- 1,10	6
205°C	-1	7,10	
245°C	0	5,88	

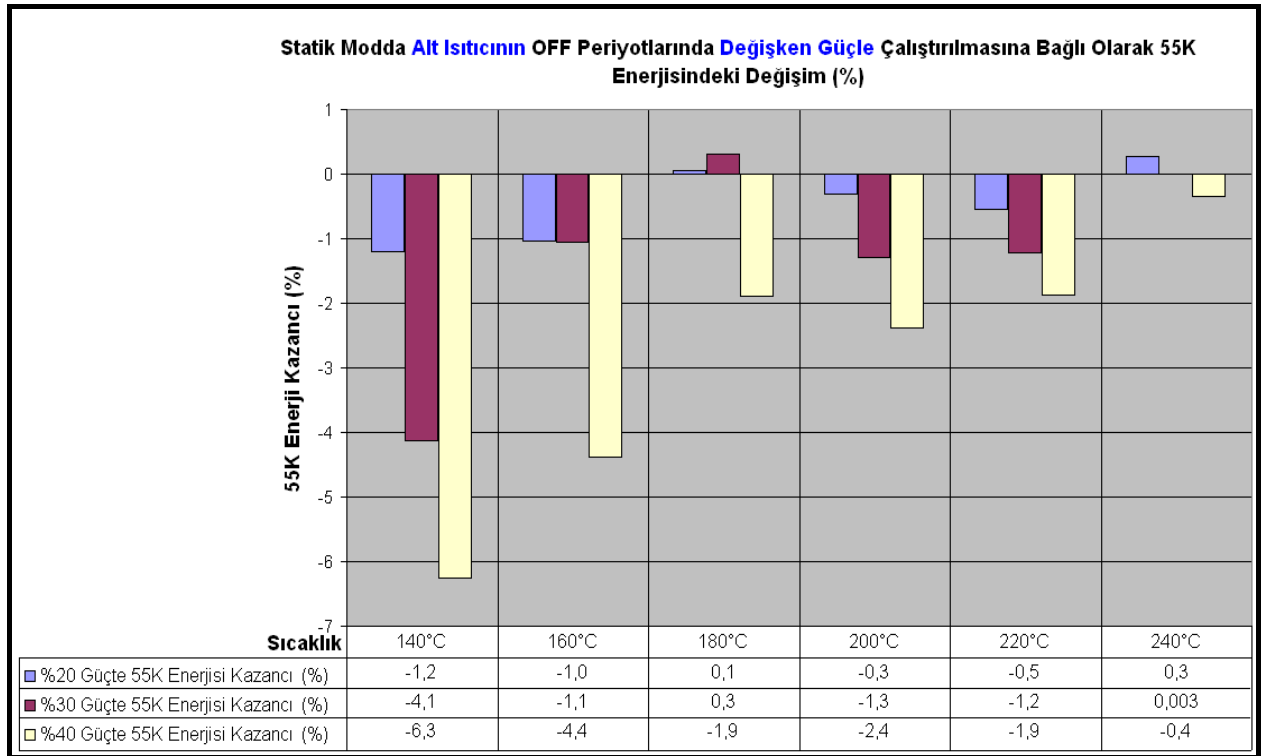
Üst ısıtıcının off periyotlarında %50 güç ile beslendiği durum için yapılan deneylere ilişkin sonuçlar yukarıdaki tabloda gösterildiği gibidir. Deney sonuçlarından, analizler ile regresyon enerjisinde %8 kazanç sağlanan durum için, regresyon enerjisinde %6 kazanç sağlandığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte algoritmanın yüksek sıcaklıklarda daha avantajlı olduğu görülmektedir. 55K sürelerinde ise 140K hariç önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.

4.1.2 Izgara

Algoritma, ısıtıcıların kapalı kalma süreçlerinde üçüncü bir ısıtıcının, örneğin ızgaranın, çalışması şeklinde de gerçekleştirilebilir. Bu duruma ilişkin 205°C’de yapılan deneysel çalışmalarda enerji sarfıyatı olarak kazanç sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçta üçüncü ısıtıcının soğuk halden ısınmaya başlamasının etkili olduğu bu ısıtıcının da normal işlem sürecinde aralıklarla devreye alınmasıyla enerji sarfıyatı açısından avantaj sağlayabileceği düşünülmektedir.

4.1.3 Alt Isıtıcı

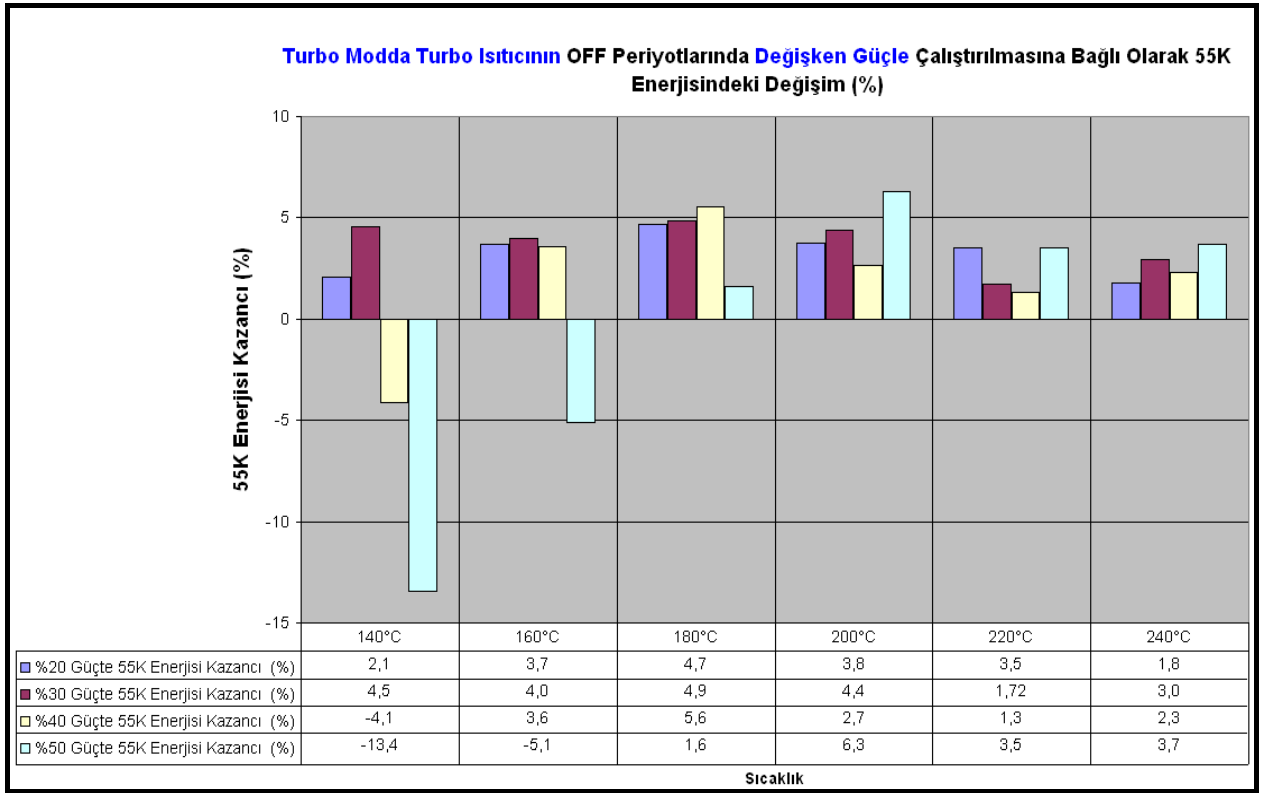
Alt ısıtıcı ile yapılan analizlerde 55K enerjilerindeki değişimler aşağıdaki grafikte gösterildiği gibidir. Analizler sonucunda, algoritmanın alt ısıtıcı için enerji tasarrufu sağlamaması nedeniyle avantajlı olmadığı tespit edilmiş ve deneysel çalışmada alt ısıtıcıya ilişkin deneyler gerçekleştirilmemiştir. Alt ısıtıcının direk kabin içinde bulunmaması ve ısı kayıplarının yoğun olduğu bir bölgede bulunması faktörlerinin sonuç üzerinde etkin olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4 Alt ısıtıcı için modele ait ALG 2 analiz sonuçları özeti

4.1.4 Sarmal Isıtıcı

Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durumda yapılan analizlerde de üst ısıtıcı için yapılan analizlere benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Bu durumda regresyon enerjisindeki en yüksek kazanç, ısıtıcının %30 güçte beslendiği durum için %4,4 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.5 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için modele ait ALG 2 analiz sonuçları özeti

Zorlanmış taşınım ile ısı transferinin gerçekleştiği bu duruma ilişkin yapılan deneysel çalışmalarda, analizlere paralel olarak 55K süre ve enerjilerinde kazanç sağlandığı tespit edilmiştir. 55K sürelerindeki kazanç ortalama 2 dakika iken regresyon enerji kazancı, analizlerde görülen enerji kazanımlarından daha düşük olarak, %1,9 mertebesindedir.

Çizelge 4.3 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 2 deney sonuçları

SARMAL ISITICI VE FANIN ÇALIŞTIĞI DURUM İÇİN ALG 2 DENEYSEL SONUÇLAR			
Sıcaklık	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Regresyon Enerji Kazancı (%)
160°C	3	1,46	1,9
180°C	3	4,20	
200°C	1	0,18	

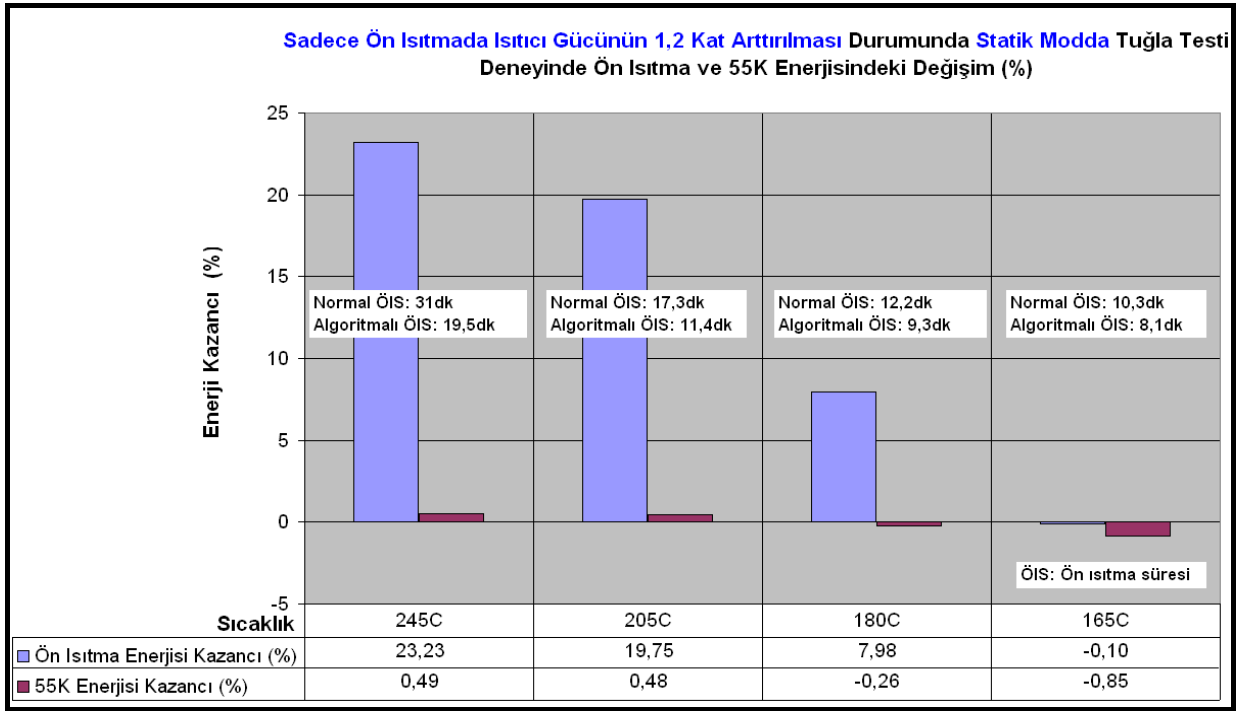
4.2 Ön Isıtma Sürecinde Isıtıcıların Yüksek Güçle Çalışması (ALG 3)

Elektrikli ısıtıcıların kullanıldığı pişirme proseslerinde işlem temel olarak 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada pişirmenin yapılacağı ortam istenilen ayar sıcaklığına kadar ısıtmakta daha sonraki süreçte ise bu sıcaklıkta tutulmaktadır. İşlemin bu ilk kısmına ön ısıtma adı verilmektedir. Tasarlanan bu algoritmada ön ısıtma sürecinde ısıtıcılar, pişirmenin diğer kısımlarına oranla daha yüksek güçle çalıştırılmaktadır. Fırın henüz soğuk haldeyken ısıtıcıların yüksek güçle çalıştırılmasının yani fırın içerisine ani olarak yüksek miktarda ısı verilmesinin ön ısıtma enerji ve sürelerinde avantaj sağlayacağı düşünülmüştür.

Algoritmaya ilişkin yapılan analizler sonucunda, havanın ön ısıtma sırasında ani olarak ısıtılmasından dolayı ön ısıtma sürelerinde azalma sağlandığı tespit edilmiştir. Ön ısıtma enerji değerlerinde ise genellikle iyileşme kaydedilmiştir.

4.2.1 Alt ve Üst Isıtıcının Çalıştığı Durum

Alt ve üst ısıtıcının birlikte çalıştığı duruma ilişkin gerçekleştirilen analiz çalışmalarında enerji sarfiyatlarındaki en yüksek kazancın ısıtıcıların 1,2 kat güçte çalıştırıldığı durum ile elde edildiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda en yüksek kazancın sağlandığı bu durum için gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarında ön ısıtma enerji ve sürelerinde yüksek kazanç sağlandığı, artan sıcaklıkla sağlanan kazançlarında artış gösterdiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmada ön ısıtma enerjisinde her ne kadar yüksek sıcaklıklarda kazanç elde edilmişse de 165°C'deki kayıptan dolayı toplamda %2,4 kazanç elde edilebilmiştir. Bununla birlikte ön ısıtma süresinde ortalama 1,9 dakika kazanç sağlanmıştır. Öte yandan algoritma ile doğal taşınım ile ısı transferi gerçekleştirilen durum için 55K enerjisinde genel olarak bir kazanç sağlanamadığı tespit edilmiştir.



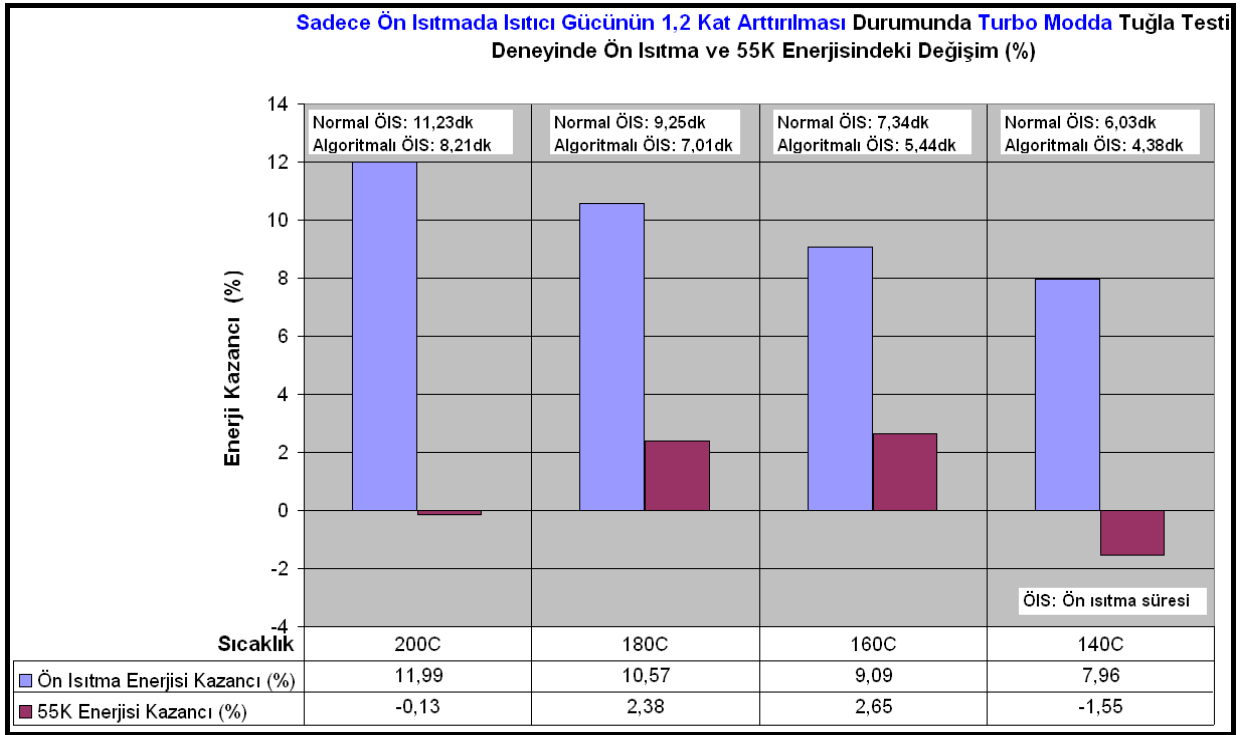
Şekil 4.6 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı modda ALG 3 için modele ait analiz sonuçları

Çizelge 4.4 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı modda ALG 3 için deneysel çalışma sonuçları

ALT VE ÜST ISITICININ ÇALIŞTIĞI DURUM İÇİN ALG 3 DENEYSEL SONUÇLAR				
Sıcaklık	Ön Isıtma Süre Kazancı (dk)	Ön Isıtma Enerji Kazancı (%)	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)
165C	1,53	-3,10	1,2	-8,65
205C	2,57	1,2	3	1,18
245C	4,57	8,72	2	-2,74

4.2.2 Sarmal Isıtıcı ve Fanın Çalıştığı Durum

Algoritmaya ilişkin sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için yapılan analizlerinde de alt ve üst ısıtıcının çalıştığı duruma benzer olarak ön ısıtma enerjilerinde yüksek kazançlar elde edildiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, 55K enerji kazançlarının kararlı bir değişim göstermediği görülmektedir. Zorlanmış taşınım ile ısı transferinin gerçekleştirildiği bu duruma ilişkin deneysel çalışmalar sonucunda, ön ısıtma enerjisinde ortalamada %5,6 kazanç ve ön ısıtma süresinde ortalamada 1,9 dk kazanç sağlandığı tespit edilmiştir. Buna ek olarak 55 K enerjisi ve süresinde sırasıyla ortalama % 1,74 ve 1,5 dakika kazanç sağlandığı belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için modele ait analiz sonuçları

Çizelge 4.5 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG3 deneysel çalışma sonuçları

SARMAL ISITICI VE FANIN ÇALIŞTIĞI DURUM ALG 3 İÇİN DENEYSEL SONUÇLAR				
Sıcaklık	Ön Isıtma Süre Kazancı (dk)	Ön Isıtma Enerji Kazancı(%)	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)
160°C	1,41	0,9	2	0,4
180°C	2,14	3,33	2	3,36
200°C	1,95	12,83	1	1,48

Deneysel çalışma sonucunda tasarlanan algoritma ile ön ısıtma enerji ve süresinde kazançlar sağlandığı tespit edilmiştir. Sağlanan kazanç değerleri sıcaklık artışına paralel olarak artış göstermektedir. Bununla birlikte, algoritmanın bu kazanımlara ek olarak 55K enerjisinde de kazançlar sağladığı görülmüştür.

4.3 Ön Isıtmanın Kademelendirilmesi (ALG 4)

Tasarlanan bu algoritma ile ön ısıtma sürecinde ısıtıcıların belirli sıcaklık koşulları için belirli süreler ile kapatılarak enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla ısıtıcıların açık

ve kapalı kalma süreleri arasında bir oran belirlenerek, ısıtıcıların set sıcaklığına bağlı olarak ön ısıtmadan itibaren bu oranlarda çalışması sağlanmaktadır. Bu amaçla modele girilen bir çevrim süresi ve on/off süreleri arasındaki belirlenen orana göre çalışma sağlanmıştır. Belirlenen sıcaklık limitlerine ulaşıldığında ısıtıcılar belirlenen oranlara göre belirli bir süre kapatılmaktadır. Her kapanmadan sonra on/off süreleri arasındaki oran azalmaktadır.

Çizelge 4.6 Algoritmada kullanılan sıcaklık limitleri ile ısıtıcıların açık ve kapalı kalma yüzdeleri

Sıcaklık (C)	Isıtıcının Açık ve Kapalı Kalma Sürelerinin Toplam Çevrim Süresine Göre % Değerleri	
	ON Süresi	OFF Süresi
$T < (0,5 * T_{set})$	0,90	0,10
$T < (0,65 * T_{set})$	0,80	0,20
$T < (0,85 * T_{set})$	0,60	0,40

Yapılan analizler sonucunda enerji sarfiyatı sağlayacak bir oranın tespitinin oldukça zor olduğuna görülmüş ve şu an için algoritmanın uygulanmasının avantajlı olmadığına karar verilmiştir. Bu nedenle algoritmaya ilişkin deneysel çalışmalar gerçekleştirilmemiştir.

4.4 Isıtıcıların Açık ve Kapalı Kalma Süreleri Arasındaki Orana Bağlı Olarak Çalışması (ALG 5)

Çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmasında ısıtıcıların ON/OFF süreleri arasında belirlenen bir orana göre çalıştırıldığı uygulamalara rastlanılmıştır. Bir önceki tasarlanan algoritma ile bu çalışma karakteri işlemin ön ısıtma kısmında kullanılacak şekilde modellenmiş fakat enerji tasarrufu açısından istenilen sonuçlar alınamamıştır. Tasarlanan bu algoritma ile ise ısıtıcıların ön ısıtmadan bitiminden itibaren açık ve kapalı kalma süreleri eşit olacak şekilde çalıştırılmasına ilişkin analizler yapılmıştır.

4.4.1 Ön Isıtma Sonrasında İtibaren ON/OFF Süreleri Eşit Olan Durum

Tasarlanan algoritmaya ilişkin yapılan çalışmaların ilk aşamasında ısıtıcıların açık ve kapalı kalma sürelerinin birbirine eşit olduğu durum için analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 5 modele ait analiz sonuçları

Sıcaklık	55K Süre Uzaması (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Regresyon Enerji Kazancı (%)
135K	3,78	-4,19	5,23
155K	5,45	6,72	
175K	6,06	11,91	

Çizelge 4.8 Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda ALG 5 için modele ait analiz sonuçları

Sıcaklık	55K Süre Uzaması (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Regresyon Enerji Kazancı (%)
140K	7,13	-6,38	4,41
180K	20,08	-6,05	
220K	1,1	22,33	

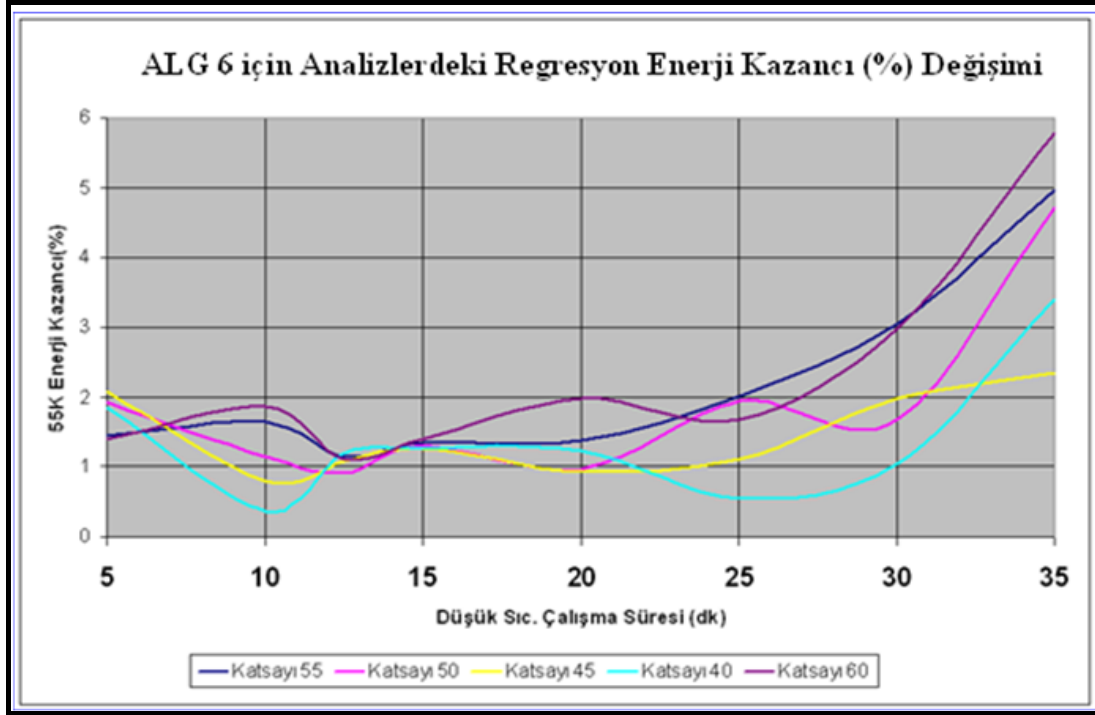
Analizler sonucunda, tasarlanan durumun regresyon enerji değerlerinde sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için %5,23, alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda ise %4,41 kazanç sağladığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, algoritma düşük sıcaklıklarda enerji kazancı sağlamamakta yüksek sıcaklıklarda enerji kazancı sağlamaktadır. Ayrıca 55K sürelerinde önemli uzamalar da dikkat çekicidir. Fırınlarda ön ısıtma süresi fırın tipi, ortam koşulları, kullanılan pişirme modu ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak 5–20 dakika arasında değişim gösterebilmektedir. Bu durum tasarlanan algoritmada ön ısıtmadan sonra ısıtıcının kapalı kalacağı sürenin çok uzun olacağı anlamına gelmektedir. Bu durumda ön ısıtmadan sonra ısıtıcının ilk kapalı kalacağı sürenin çok uzun olmasından dolayı fırın sıcaklıkları çok düşük değerlere inecek ve pişirme bu sıcaklık koşullarından olumsuz olarak etkilenecektir. Oluşabilecek bu tür olumsuzluklar bir alt sıcaklık limitinin belirlenmesi ve ısıtıcıların açık ve kapalı kalma süreçlerinin düzenlenmesi yolu ile aşılabilir.

4.5 Değişken Sıcaklık Değerinde Çalışma (ALG 6)

Tasarlanan bu algoritma ile pişirmenin ilk bölümünde fırın belirlenen bir süre boyunca, ayar sıcaklığından farklı (düşük veya yüksek) bir sıcaklıkta çalıştırılmaktadır. Bahsedilen süre ve sıcaklık değerlerinin tespiti için kullanılan modelde analizler yapılmıştır.

4.5.1 Düşük Set Sıcaklığı

İlk aşamada fırının set sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta çalıştırılmasına ilişkin analizler yapılmıştır. Sıcaklık değeri için “ $A \cdot T_{ayar} + B$ ” şeklinde birinci dereceden matematiksel bir ifade kullanılmıştır. Analizlerde, formülasyondaki katsayı ve süre değiştirilerek enerji sarfiyatlarındaki değişim gözlemlenmiştir.



Şekil 4.8 Modelde katsayı ve düşük sıcaklıkta çalışma süresine bağlı olarak regresyon enerjisindeki değişim

Yukarıdaki grafik ve tablodan da görüldüğü gibi en yüksek kazanç “Katsayı 60” olduğu durum için 30–35 dakika çalışıldığı durumlarda gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 55K sürelerinde 12 dakikaya varan uzamalar tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarından 30–35 dakika çalışılmasının en yüksek enerji kazancını sağladığı görülse de bu koşullarda istenilen pişirmenin sonuçlarının gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Çünkü fırın işlemin büyük bir kısmında düşük sıcaklık koşullarında çalışmakta ve ayar edilen sıcaklık koşullarından oldukça uzak kalmaktadır.

Çizelge 4.9 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 6'ya ait deneysel çalışma sonuçları

Sıcaklık	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Enerji Kazancı (%)
160°C	- 1,5	2,78	4
180°C	- 4	3,96	
200°C	- 7	5,57	

Bir sonraki aşamada, analizlerde en yüksek enerji kazancının sağlandığı durum için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda 55K enerji kazançlarının sıcaklık artışına paralel olarak artarken, 55K süresinin de uzadığı tespit edilmiştir. Algoritma ile regresyon enerjisinde % 4 kazanç sağlandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte 55K sürelerindeki uzamanın ortalama 4 dk olduğu görülmüştür.

4.5.2 Yüksek Set Sıcaklığı (ALG 6_2)

Piştirme testlerinde edinilen tecrübeler, işlemin ilk kısmında fırın sıcaklığının yüksek tutulmasının piştirme kalitesi açısından avantajlı olduğunu göstermektedir. ALG 6, ALG 3'te incelenen duruma benzer olarak, fırının set sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta çalıştırılması şeklinde gerçekleştirilebilir. Bu durumda ön ısıtma süre ve enerjisinde uzamalar olsa bile 55K süresi ve enerjisinin işlemin ilk kısmında fırın üzerinde biriken ısının yüksek olmasından dolayı azalacağı düşünülmektedir. ALG 6_2 adı verilen bu algorithmada da sıcaklık değeri için " $A \cdot T_{ayar} + B$ " formülü kullanılarak katsayı ve süreye bağlı analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.10 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 6_2'de katsayı ve yüksek sıcaklıkta çalışma süresine bağlı olarak regresyon enerjisindeki (%) kazançlar

FORMÜLASYON	Modelde Yüksek Sıcaklıkta Çalışma Süresi (dk)		
	15 dk	17,5 dk	20 dk
1	%2,42	%1,98	1,34
2	%1,48	%1,89	---
3	%1,70	%1,71	0,60

Analiz sonuçlarından en yüksek enerji kazancı, 1 numaralı formülasyon ile 15 dakika

çalışılması ile elde edilmiştir.

Analizlerde en yüksek enerji kazancının sağlandığı durum için gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda 55K enerji kazançlarının ayar sıcaklık artışıyla azaldığı, 55K süresinin ise uzadığı tespit edilmiştir. Algoritma ile regresyon enerjisinde % 3,6 kazanç sağlandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte 55K sürelerindeki uzamanın ortalama 3 dk olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.11 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için Alg 6_2'ye ait deneysel çalışma sonuçları

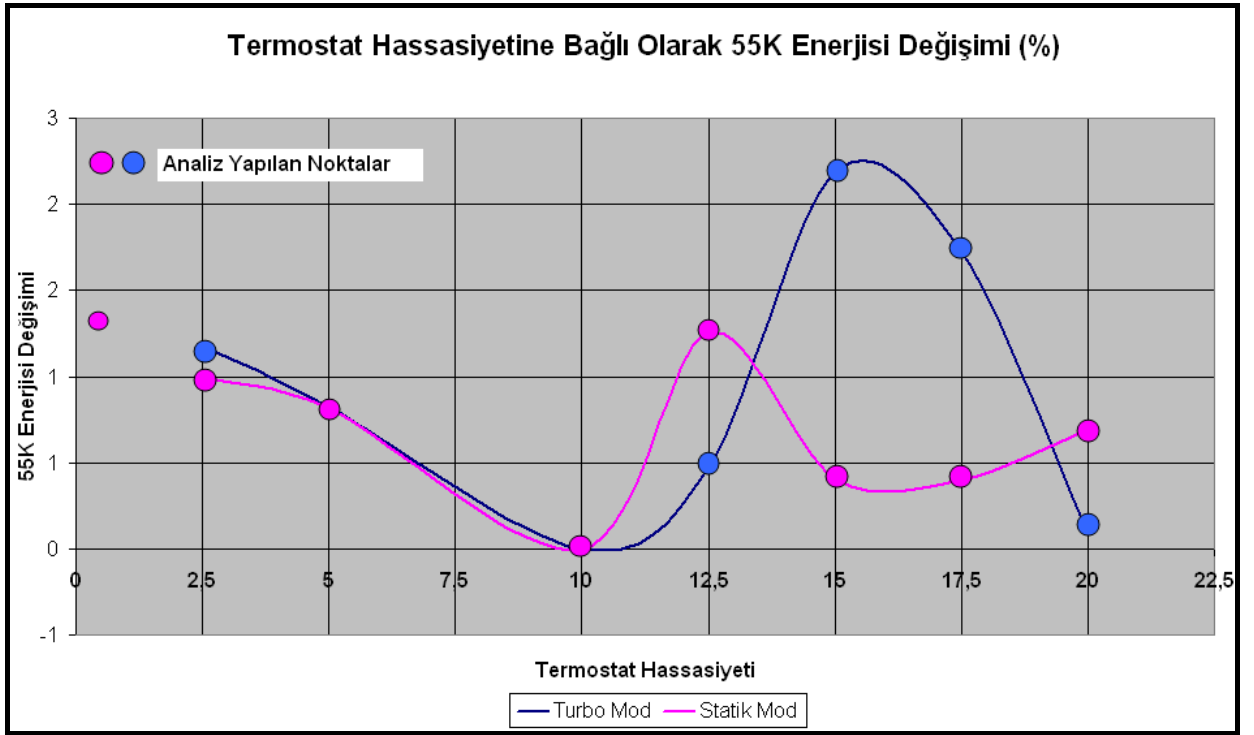
Sıcaklık	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Enerji Kazancı (%)
160°C	5	6,22	3,6
180°C	3	5,88	
200°C	1	0,91	

4.6 Farklı Termostat Hassasiyeti ile Çalışma (ALG 7)

Elektriksel fırınlarda fırın içindeki hava sıcaklığının ölçümü için termostat veya sensörler kullanılmaktadır. Ölçüm elemanları sıcaklığı ölçmekte ve belirlenen bir sıcaklık aralığında fırın içi sıcaklığın dalgalanmalar yapmasına izin vermektedir. Tasarlanan bu algoritma ile termostatin farklı hassasiyetlerde çalıştırılmasının enerji sarfıyatı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

4.6.1 Farklı Termostat Hassasiyeti

İlk aşamada fırın, tüm işlem boyunca orijinal termostat hassasiyetinden farklı hassasiyetlerde çalıştırılmıştır.



Şekil 4.9 Analiz sonuçlarından farklı termostat hassasiyetine göre 55K enerjileri değişimi

Modele ait analiz sonuçlarından sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için $\pm 15^{\circ}\text{C}$ hassasiyetli durumda, $\pm 10^{\circ}\text{C}$ hassasiyetli duruma göre 55K enerjisinde %2,2 kazanç sağlandığı görülmüştür. Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda ise en yüksek kazanç termostat hassasiyetinin $\pm 12,5^{\circ}\text{C}$ olduğu durum için %1,25 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca termostat hassasiyeti ile enerji kazançları arasındaki değişimin lineer olmadığı tespit edilmiştir.

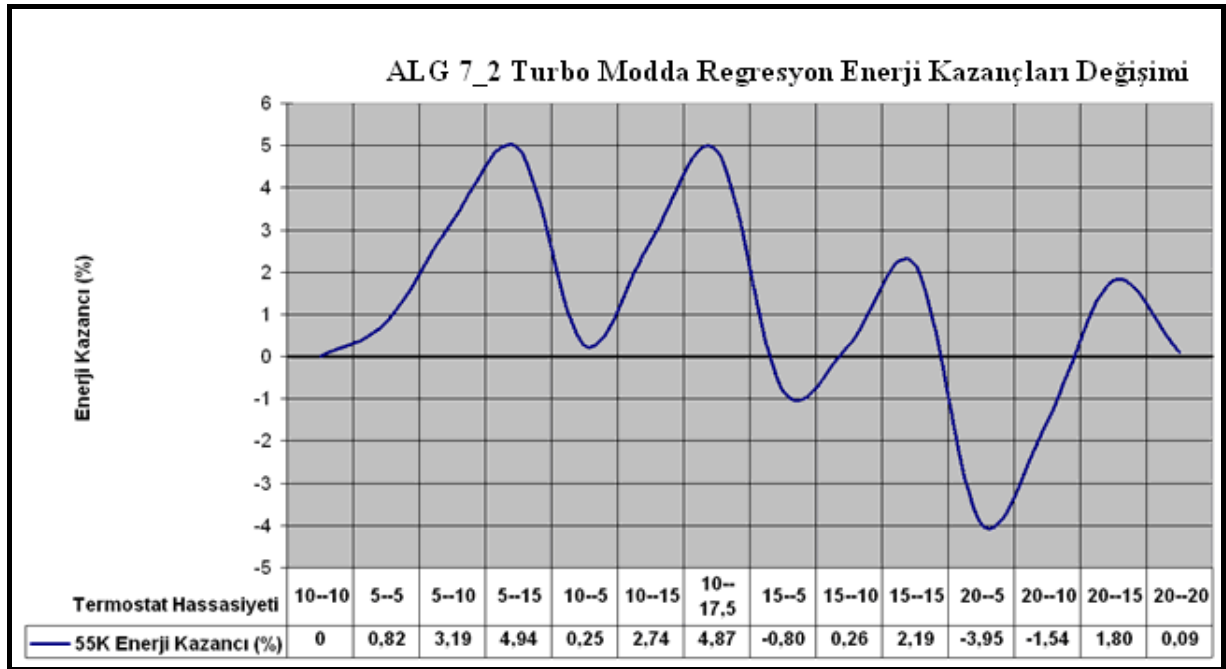
Alt ve üst ısıtıcının çalıştığı durumda enerji kazançlarının düşük mertebelerde kalmasından dolayı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmemiştir. Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ise analizlerde en yüksek enerji kazancının elde edildiği $\pm 15^{\circ}\text{C}$ hassasiyet için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada regresyon enerjisinde, modelde yapılan analizlerden elde edilen kazançtan daha yüksek, %7,4'lük kazanç elde edilmiştir. 55K sürelerinde ise önemli değişimler gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.12 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durumda ALG 7 için deneysel çalışma sonuçları

Sıcaklık	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Enerji Kazancı (%)
160°C	3	7,14	7,4
180°C	1	8,76	
200°C	-1	5,57	

4.6.2 İşlem Sırasında Termostat Hassasiyetinin Değiştirilmesi (ALG 7_2)

ALG_7, işlem sırasında termostat hassasiyetinin değiştirilmesi şeklinde de gerçekleştirilebilir. Örneğin; tuğla merkez sıcaklık artışları arasındaki farklar azaldığında termostat hassasiyeti fırın içerisine fazla ısı yollanmasını önleyecek şekilde değiştirilebilir. Algoritmanın son şekliyle gerçekleştirilmesi için termostat hassasiyetinin değiştirileceği sürenin belirlenmesi oldukça önemlidir.



Şekil 4.10 ALG 7_2’de regresyon enerjisinde elde edilen kazançların değişimi

Termostat hassasiyetinin değiştirileceği zaman için, deneysel çalışmalardan edinilen tecrübelerden yola çıkılarak, tuğla merkez sıcaklığı artışının azalmaya başladığı zaman seçilmiştir. Tasarlanan yeni set sıcaklığı; $Tset_2 = Tset_1 - (Hassasiyet_1 - Hassasiyet_2)$ ifadesi ile tanımlanmaktadır. Modele ait analizlerinden tasarlanan yeni durum için 55K enerjisinde %5’e varan kazançların sağlandığı görülmektedir. Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için için

yapılan deneysel çalışmada regresyon enerjisinde %6,3 kazanç sağlandığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte 55 K sürelerinin kısalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13 Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için ALG 7_2’de yapılan deneysel çalışma sonuçları

Sıcaklık	55K Süre Kazancı (dk)	55K Enerji Kazancı (%)	Enerji Kazancı (%)
160°C	3	4,89	6,3
180°C	1	8,64	
200°C	0	4,89	

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ilk aşamada elektrikli pişiricilerde kullanılan algoritmalarla ilişkin literatür ve makale araştırması yapılmıştır. Araştırma sonunda elektrikli pişiricilerde kullanılan algoritmaların enerji tasarrufu sağlama, hibrit fırınlarda ısıtıcıların çalışmasını düzenleme ve gıda bazlı pişirme kalitesini artırma olmak üzere 3 temel başlıkta toplandığı tespit edilmiştir.

Enerji tasarrufu sağlamaya yönelik algoritmaların temelini; ısıtıcıların sürekli çalıştırılmak yerine belirlenen aralıklarla kapatılması ve fırın elemanları üzerinde biriken atıl ısıнын pişirmede kullanılarak enerji tasarrufu sağlanması oluşturmaktadır. Isıtıcıların kapalı kalma süreçleri genellikle, pişirme kalitesinde değişim olmayacak şekilde, deneysel çalışmalardan elde edilen çıktılarına göre belirlenmiştir. Algoritma araştırmasında enerji tasarrufu sağlama amacıyla pişme sırasında ısı transferini domine edici nemin dış ortama atılmasını sağlayan havalandırma fanının çalışmasını düzenleyen algoritmalar da dikkat çekicidir. Bu şekildeki tasarımlarla enerji sarfiyatlarında ısı ve kütle transferi mekanizmalarının her ikisi de göz önünde bulundurulmaktadır.

Hibrit pişiricilerde kullanılan algoritmalar, birden fazla pişirme teknolojisinin komponentler arasındaki uyumu sağlayarak daha verimli olarak kullanılması için tercih edilmektedir. Pişirme teknolojileri arasında sağlanan uyum ile birden fazla pişirme teknolojisinin avantajlı yanları bir araya getirilerek pişirme kalitesi arttırılmaktadır.

Gıda bazlı pişirme algoritmalarında ise enerji sarfiyatının ikinci plana atılarak, gıdanın yüksek pişirme kalitesi ile pişirilmesi üzerine yoğunlaşıldığı tespit edilmiştir. Et pişirme uygulamalarında düşük sıcaklıktaki pişirme uygulamaları ile pişirme süreleri uzamasına karşın etin bünyesindeki suyu muhafaza etmesi sağlanmakta ve et üzerinde yumuşak bir kabuk tabakası elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ekmek pişirme uygulamalarında ise mayalanma sürecini hızlandırmayı da içeren algoritmalar ile daha yumuşak kabuk yapısına sahip ve yüksek kabarmanın sağlandığı pişirme amaçlanmaktadır.

Literatür ve patent araştırması sonuçlarından sonra edinilen tecrübelerden yararlanılarak enerji tüketimini azaltmaya yönelik algoritmalar tasarlanmıştır. Algoritmaların; ilk olarak deneysel çalışmada karşılaşılabilecek güçlükler göz önünde bulundurularak ve parametrik etkilerinin belirlenmesi için modellenmesi yapılmıştır. Bu çerçevede kullanılan programın güvenilirliği tespit edilmiş ve algoritmalar ilişkin elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Bir sonraki aşamada ise analizler sonucunda avantajlı bulunan algoritmalarla ilişkin deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar, EN 50304 standartlarına uygun olacak şekilde hazırlanan deney

düzeneklerinde ve işlem koşullarında gerçekleştirilmiştir. Fırınlara enerji tüketimini belirlemek ve tasarlanan algoritmaların fırının orijinal enerji tüketimine etkisini görebilmek için, fırınların üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan önce yani mevcut durumları ile enerji tüketim deneyleri yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan algoritmalarla ilişkin deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ile mevcut durumun sonucu kıyaslanarak uygulanan yöntemlerin fırının enerji tüketimine olumlu ya da olumsuz etkileri sayısal olarak açıklanmıştır.

Çalışma kapsamında tasarlanan algoritmalar ile enerji sarfiyatı sağlamak amacıyla ısıtıcıların çalışma karakteristikleri düzenlenmiştir. Çizelge 4.1’de kısaca özellikleri ifade edilen algoritmalarla ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Çalışmada ilk olarak tasarlanan algoritma ile ısıtıcıların işlem sırasında kapatılması yerine düşük güçlerde çalıştırılmasının enerji sarfiyatı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Tasarlanan algoritma ile enerji sarfiyatlarındaki değişim ısıtıcı tiplerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Algoritma ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda alt ısıtıcının çalıştırıldığı durumda enerji tasarrufu sağlamadığı tespit edilmiştir. Alt ısıtıcının direk kabin içerisinde bulunmaması ve yerleşim yeri itibarıyla ısı kayıplarının yüksek olduğu bir bölgede yer alması sonuç üzerinde etkisi oldukça büyüktür. Üst ısıtıcının çalıştığı durumda ise model ve deneysel çalışma sonuçlarında kayda değer enerji kazançlarının sağlandığı tespit edilmiştir. Sarmal ısıtıcı ve fanın çalıştığı durum için sağlanan enerji kazançları ise nispeten düşük değerlerde kalmıştır. Algoritmanın üçüncü bir ısıtıcı, örneğin ızgara, ile gerçekleştirilmesi durumuna ilişkin deneysel çalışmalar işlem sırasında ısıtıcıların yüzey sıcaklıklarının belirli bir düzeyde tutulması gerektiğini göstermiştir. Isıtıcı yüzey sıcaklığı, belirli bir eşik değerin altına indiğinde ısıtıcının ısınması için fazladan enerji harcanmakta ve algoritma ile enerji kazanımı sağlanamamaktadır. Öte yandan elektrikli pişiricilerde ısıtıcıların değişken güçlerde çalıştırılmasını sağlamak amacıyla kullanılması gereken komponentlerin getireceği ek maliyetin etkisinin sağlanan enerji kazanımları ile ek maliyet arasındaki ilişkinin çok hassas şekilde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Elektrikli pişiricilerde, pişirme işlemi temel olarak 2 aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada pişirici içindeki hava sıcaklığı ortam koşullarından istenilen ayar sıcaklığına kadar çıkarılmakta ikinci aşamada ise bu sıcaklık korunmaya çalışılmaktadır. Bahsedilen ilk aşama ön ısıtma süreci olup ayar sıcaklığına bağlı olarak toplam enerji sarfiyatının %20-60’ını oluşturmaktadır. Ön ısıtma sürecinde yapılacak herhangi bir iyileşme toplam pişirme enerjisinde de önemli değişimler yaratabilecektir. Pişirici içindeki havanın ortam

koşullarından ayar sıcaklığına kadar aniden yüksek güçle ısıtılmasına yönelik uygulamalara patent araştırmasında da rastlanmıştır. Bu uygulamalara benzer olarak tasarlanan algoritma ile ısıtıcılar ön ısıtma süreçlerinde farklı yüksek güçlerde çalıştırılmıştır. Öte yandan şebeke voltajı ve pişirici üzerindeki elektronik komponentlerin güvenliği güç artırımını sınırlamaktadır. Deneysel çalışma sonuçlarından algoritma ile ön ısıtma enerjilerinde yüksek kazanımlar sağlanmasına karşın toplam işlem enerji kazanımlarının düşük seviyelerde kalması dikkat çekicidir. Bu durum pişirici içindeki termal yükün işlemin farklı kısımlarındaki sıcaklık gradyanındaki değişimin aynı olmadığını göstermesi açısından da önemlidir. Bu algoritma ile elde edilen sonuçlar enerji sarfiyatı için gerçekleştirilecek uygulamalarda termal yükün sıcaklık artış gradyanının göz önüne alınmasını göstermesi açısından da oldukça önemlidir.

Çalışma kapsamında yapılan patent araştırmasında ısıtıcıların sürekli çalıştırılmak yerine belirlenen zamanlarda kapatılması ile enerji sarfiyatı sağlanmasının yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Termal yükün sıcaklık artış gradyanının düşük olduğu ön ısıtma sürecinde ısıtıcının belirlenen aralıklar ile belirli süre kapatılmasına ilişkin tasarlanan algoritma kapsamında ısıtıcıların açık ve kapalı kalma süreleri arasında belirli bir oranın belirlenerek ısıtıcıların tüm işlem boyunca bu oran ile çalıştırılması irdelenmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ısıtıcıların açık ve kapalı kalma süreleri arasında enerji sarfiyatı sağlayacak bir oranın tespitinin oldukça zor olduğuna görülmüş ve şu an için algoritmanın uygulanmasının avantajlı olmadığına karar verilmiştir. Bu nedenle algoritmaya ilişkin deneysel çalışmalar gerçekleştirilmemiştir.

Tasarlanan bir başka algoritma ile ısıtıcıların işlem boyunca açık ve kapalı kalma süreleri birbirine eşit olacak şekilde çalışmasının enerji sarfiyatı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Tasarlanan algoritma için gerçekleştirilen modelsel analizler sonucunda enerji değerlerinde zorlanmış ve doğal taşınım ile ısı transferinin gerçekleştiği her iki durum için de avantaj sağlandığı tespit edilmiştir. Elektriksel pişiricilerde ön ısıtma süreci fırın tipi ve ayar sıcaklıklarına bağlı olarak 20 dakikaya kadar uzayabilen bir süreçtir. Bu durum, tasarlanan algoritma düşünüldüğünde ön ısıtma sürecinden sonra ısıtıcının çok uzun süreler kapalı kalacağı anlamına gelmektedir. Algoritmaya ilişkin deneysel çalışmalar pişirme kalitesi üzerinde yaratacağı olumsuzluklar nedeniyle gerçekleştirilmemiştir. Öte yandan bahsedilen bu olumsuzluk, ön ısıtma sonrasında ısıtıcının kapalı kaldığı süreçte pişirici içi hava sıcaklığı için bir alt limitin belirlenmesi veya bu süreçte ısıtıcının kapalı kaldığı sürenin kısaltılması biçimindeki alternatif uygulamalar ile aşılabilecektir.

Çizelge 5.1 Tasarlanan algoritmalarla ilişkin modele ait analizler ile deneysel çalışma sonuçları

ALGORİTMA		MOD	55K Kazançları (%)	
			FİRSİM	DENEY
1	Isıtıcıların OFF periyotlarında değişken güçlerde çalıştırılmıştır.	Alt + Üst Isıtıcı	Üst Isıtıcı %8,4	Üst Isıtıcı %6
		Sarmal Isıtıcı + Fan	%4,4	GRILL % 0
2	Ön ısıtma süresinde ısıtıcılar 1,2 kat güçle çalıştırılmıştır	Alt + Üst Isıtıcı	ÖN ISITMA: %14	ÖN ISITMA: %2,4
			55K ENERJİSİ: %0,12	55K ENERJİSİ: %3,45
		Sarmal Isıtıcı + Fan	ÖN ISITMA: %10,5	ÖN ISITMA: %5,68
			55K ENERJİSİ: %1,63	55K ENERJİSİ: %1,74
3	Isıtıcılar ON/OFF süreleri arasında belirlenen bir oran ile çalışmakta ön ısıtma bittikten sonra pişirmenin kalan süresi boyunca ON/OFF süreleri birbirine eşit alınmaktadır.	Alt + Üst Isıtıcı	---	---
		Sarmal Isıtıcı + Fan	---	---
4	Isıtıcılar ön ısıtmadan itibaren ON/OFF süreleri arasındaki oran bir olacak şekilde çalışmaktadır.	Alt + Üst Isıtıcı	%4,41	---
		Sarmal Isıtıcı + Fan	%5,23	---
5	Pişirmenin ilk bölümünde fırın set sıcaklığından farklı bir sıcaklıkta çalıştırılmaktadır.	Alt + Üst Isıtıcı	---	---
		Sarmal Isıtıcı + Fan	%5,79	%4
6	Pişirme sırasında termostat farklı hassasiyetlerde çalıştırılmaktadır.	Alt + Üst Isıtıcı	%1,25	---
		Sarmal Isıtıcı + Fan	%2,3	%7,4
			ALG 7_2: %5	ALG 7_2: %6,3

Çalışma kapsamında daha önce tasarlanan ısıtıcıların değişken güçlerde çalıştırılmasına yönelik algoritmanın uygulanmasında doğabilecek problemler göz önüne alınarak pişiricinin ayar (set) sıcaklığından farklı sıcaklıklarda çalıştırılmasına ilişkin bir algoritma oluşturulmuştur. Modelisel ve deneysel çalışmalarda pişiricinin belirlenen bir süre boyunca ayar sıcaklığından farklı sıcaklıklarda çalışması durumunda enerji sarfiyatlarında %4'e varan kazanımlar sağlandığı tespit edilmiştir. Fırınlarda, pişirme sırasında belirli bir süre sonunda fırının ısıya doyduğu ve buna bağlı olarak uygulanan enerji değeri ne kadar artırılsa artırılsın gıdadaki birim sıcaklık artışının düşük kaldığı bilinmektedir. Bu sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra ısıtıcıların gücünün azaltılması veya ısıtıcıların tamamen kapatılması pişirme koşullarında önemli değişimlere neden olmamaktadır. Tasarlanan algoritmanın bahsedilen ısı doygunluk noktası referans alınarak pişirme işleminin değişik safhalarında da uygulanabilir. Bu algoritmadan yola çıkılarak tasarlanan bir başka algoritmada pişirici işlem boyunca orijinal termostat hassasiyetinden farklı hassasiyetlerde çalıştırılmıştır. Yapılan modelisel ve deneysel çalışmalar sonucunda termostat hassasiyetinin değiştirilmesinin enerji

sarfiyatlarında %7,4'e varan kazanç sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca termostat hassasiyeti ile enerji kazançları arasındaki değişimin lineer olmadığı tespit edilmiştir. Algoritma, işlem sırasında termostat hassasiyetinin değiştirilmesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Termostat hassasiyetinin değiştirileceği zaman için, deneysel çalışmalardan edinilen tecrübelerden yola çıkılarak, termal yükün merkez sıcaklığı artışının azalmaya başladığı zaman seçilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda bu durum için de enerji kazanımının sağlandığı tespit edilmiştir.

Elektrikli pişiricilerde enerji tüketimini etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Enerji kazanımları tasarlanan algoritmalar ve/veya pişiricinin bir bütün olarak ele alındığı sistemsel düzenlemeler gerçekleştirilebilir. Bununla birlikte pişirici içerisinde kayıp mekanizmasını azaltmak amaçlı yapılacak değişikliklerin enerji kazanımlarının temelini oluşturduğu unutulmamalıdır. Algoritmalar ile sağlanan enerji kazanımları kayıp mekanizmaları ile sağlanan kazanımların yanında düşük seviyelerde kalmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Barritt William D., 2004. No Preheat System For A Cooking Appliance, US6812433, Maytag Corp.
- [2] Kim Cheol Jin, 2006. Electric Cooking Apparatus And Heater Control Method Thereof, US7053342, Samsung Electronics Co. Ltd.
- [3] Lee Byeong Y., 2006. Apparatus Of An Electric Oven And Controlling Method Of The Same, US7112767, LG Electronics Inc.
- [4] Kohn Bettina, Grevet Franck, 2005. A Controller For Energy Uptake To An Oven, EP1213542, Electrolux AB.
- [5] Keller Edwin, 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, CH678996, Electrolux AB
- [6] Kusunoki Shigeru, Mori Keijiro, 1983. Method Of Controlling Heating In Food Heating Apparatus Including Infrared Detection System, US4401884, Matsushita Electric Ind. Co. Ltd.
- [7] Holm Bjarne C., 2006. Procedure For Controlling The Energy Uptake In A Cooking Oven, EP 1461568, Electrolux AB
- [8] Roge Philippe, Klammers Gerard, 1999. Method Of Cooking In An Oven, EP0950861, Merloni Electromenager
- [9] Kim Seog Tae, 2003. Device And Method For Controlling A Heater In A Cooker, EP1093043, LG Electronics Inc.
- [10] Frasnetti Luca, Lattuada Fabrizio, 2008. Method Of Operating A Domestic Oven And Cooking Oven Having A Cooling Fan, EP1457740, Whirlpool Corp.
- [11] Welch Raymond L., 1989. Motor Control Circuit For An Eye Level Range, US4886046, Whirlpool Corp.
- [12] Gerl Josef, 2008. Cooking Appliance With An Extractor Fan, US7343850, Bsh Bosch Siemens Hausgeraete.
- [13] Distaso Tamara, Fraccon Stefania, 2007. Method Of Operating An Oven Having Heating System, Microwave System And Steam Sytem, EP1767860, Whirlpool Corp.
- [14] Graves Todd Vincent, Nolan Kevin Farrelly, 2006. Speed Cooking Oven Including Convection/Bake Mode, US2003024925, General Electric.
- [15] Bogdanski Franz Dr., Begero Klaus, 1999. Method For Operating An Electric Heating Apparatus, EP0945773, Ego Elektro Geraetebau Gmbh.
- [16] Licentia Gmbh, 1977. Method And Device For Automatic Roasting Of Meat, GB1485474, Licentia Gmbh.
- [17] Schweig Dieter, Schmiedel Sabine, 1976. Method And Apparatus For Roasting Meat, US3972275, Siemens Elektrogeraete Gmbh.
- [18] Takagi Minoru, 1994. Heating Apparatus, EP0587323, Tokyo Shibaura Electric Co.

- [19] Eke Kenneth Ian, 1984. Microwave Ovens And Methods Of Cooking Food, EP0122710, Microwave Ovens Ltd.
- [20] Buck Ronald G., 1981. Power Controlled Microwave Oven And Method Of Cooking, EP0029483, Litton Systems Inc.
- [21] Yokozeki Seiki, Nomura Jun, 1984. Microwave Oven, EP010689, Matsushita Electric Ind Co Ltd .
- [22] Obuz E., Powell T.H, Dikeman M.E., 2002. Simulation of cooking cylindrical beef roasts, *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, Volume 35, Issue 8, p. 637-644*
- [23] Chen H., Marks B.P., Murphy R.Y., 1999. Modeling coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties. *Journal of Food Engineering, Volume 42, Issue 3, p. 139-146*
- [24] Davide Barbanti, Marina Pasquini, 2005. Influence Of Cooking Conditions On Cooking Loss And Tenderness Of Raw And Marinated Chicken Breast Meat, *Food Science and Technology, Volume 38, Issue 8, p 895-901*
- [25] Mendiratta, S. K., Sushil Kumar, Keshri, R. C., Sharma, B. D., 1998. Comparative Efficacy Of Microwave Oven For Cooking Of Chicken Meat Div. of Livestock Products Tech., Indian Vet. Res. Inst., Izatnagar 243 122, UP, India *Fleischwirtschaft*, 827-829.
- [26] Cyril, H. W., Castellini, C., Bosco, A., 1996. Comparison of three cooking methods of rabbit meat, *Italian Journal of Food Science*, 337-340.
- [27] Varela, P., Salvador, A., Fiszman, S. M., 2008. Methodological developments in crispness assessment: effects of cooking method on the crispness of crusted foods, *LWT - Food Science & Technology*, 1252-1259.
- [28] Sells Joel M, Embury Karen M, 2006. Method For Baking Bread Using Steam, CA2524604, Whirlpool Corp.
- [29] Swayne Steven M., Sterchi Marilyn L., 2002. Bread Proofing Oven And Method, US 6465762, Maytag Corp.
- [30] Schiffmann Robert F., Mirman Alfred H., 1982. Method Of Baking Firm Bread, US4318931, Itt.
- [31] Jefferson, D. R., Lacey, A. A., Sadd, P. A., 2006. Understanding crust formation during baking, *Journal of Food Engineering*, 515-521.
- [32] Jintian Fan, Mitchell, J. R., Blanshard, J. M. V., 1999. A model for the oven rise of dough during baking, *Journal of Food Engineering*, 69-77.
- [33] Wagner, M. J., Lucas, T., Ray, D. le, Trystram, G., 2007. Water transport in bread during baking, *Journal of Food Engineering*, 1167-1173.
- [34] Nantawan Therdthai, Weibiao Zhou, Adamczak, T., 2002. Optimisation of the temperature profile in bread baking, *Journal of Food Engineering*, 41-48.
- [35] Purlis, E., Salvadori, V. O., 2007. Bread browning kinetics during baking, *Journal of Food Engineering*, 1107-1115.
- [36] Wählby U., Skjöldebrand C., 2002. Reheating characteristics of crust formed on buns, and crust formation. *Journal of Food Engineering, Volume 53, Issue 2, p. 177-184.*

- [37] Datta A.K., Anantheswaran R.C., 2001. *Handbook of Microwave Technology for Food Applications*. Marcel-Dekker Inc.
- [38] Fellows P.J., 2000. *Food Processing Technology: Principles and Practice, Second Edition*. CRC Press., Florida.
- [39] Tolay M., Akar B., İbicek T., 2005. Pişirme Sırasında Gıdada Gerçekleşen Isı- Kütle Transferinin ve Kimyasal Değişimlerin Kinetik Olarak Modellenmesi Literatür Araştırması, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul.
- [40] Welti-Chanes J., Velez-Ruiz J.F., Barbosa-Canova.s G.V., 2003. *Transport Phenomena in Food Processing*. CRC Press., Florida.
- [41] Lijun Wang, Da-Wen Sun., 2003. Recent developments in numerical modelling of heating and cooling processes in the food industry-a review, *Trends in Food Science & Technology, Volume 14, Issue 10, p. 408-423*
- [42] Özyurt B., Kayıhan A., İnan C., Serbest B., 2002. Elektrikli Fırın Termal Modeli ve FIRSİM 2.0 Programı, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul.
- [43] Özyurt B., Kayıhan A., 2003. FIRSİM 2.1 Fırın Termal Simülasyonu, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul.
- [44] DeWitt D. P., Incropera F. P., 2004. Isı ve kütle geçişinin temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [45] Ekundayo, C.O., 1994. Heat Transfer in Enclosures: Ovens, *Doktora Tezi*, Cranfield University.
- [46] Kayıhan A., Maraşlı M., Özyurt B., İnan C., 2003.Tuğla Testi Çalışmaları, Arçelik Ar-Ge raporu, İstanbul.
- [47] Comité Européen de Normalisation Electrotechnique, 1998.Electric Ovens For Household Use Methods For Measuring Energy Consumption BS EN 50304:2001
- [48] Official Journal of The European Communities, 2002. Energy Labelling of Household Electric Ovens, 2002/40/EC.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi: 09.11.1984

Doğum yeri: Eskişehir

Lise: 1998–2002 Ankara Çankaya Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi

Lisans: 2003–2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine
Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: 2007–2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2008-Devam ediyor Arçelik AŞ. Pişirici Cihazlar Fabrikası ARGE
Yapısal 2 Takım Liderliği