

Endüstriyel Tip Bir Bisküvi Fırınının Analitik ve Deneysel Analizi

Ömer Şahin

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat,2008

The Empirical and Analytical Analyze of Biscuit Baking for Industrial Ovens

Ömer Şahin

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

February, 2008

Endüstriyel Tip Bir Bisküvi Fırınının Analitik ve Deneysel Analizi

Ömer Şahin

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. L. Berrin Erbay

Şubat,2008

Ömer Şahin' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Endüstriyel Tıp Bir Bisküvi Fırınının Analitik ve Deneysel Analizi ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Prof.Dr. L.Berrin Erbay

Üye : Prof.Dr. Ercengiz Yıldırım

Üye : Doç.Dr. Haydar Aras

Üye : Y.Doç.Dr. İrfan Üreyen

Üye : Y.Doç.Dr. Necati Mahir

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

ENDÜSTRİYEL TİP BİR BİSKÜVİ FIRINININ ANALİTİK VE DENEYSEL ANALİZİ

ÖMER ŞAHİN

ÖZET

Enerji tasarrufu çalışmaları , kullanılan enerji miktarının değil ürün başına tüketilen enerjinin azaltılmasına yönelik yapılmalıdır. Enerji maliyetlerini düşürmek için aynı miktardaki mal veya hizmetleri daha az enerji veya aynı miktar enerji ile daha çok mal ve hizmet üreterek, ulusal ve uluslararası alanda rekabet gücünün artırılması için çalışmalar yapılmaktadır.

Bisküvi işletmelerinde pişirme endüstriyel tip fırınlarda gerçekleştirilmektedir. Tez çalışmasında bek tipi brülörlerin kullanıldığı endüstriyel tip fırın için enerjinin kayıp analizi yapılmıştır. Fırınların verimleri %20 gibi oldukça düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Diğer kayıplara bakıldığında pişirici bant, bacadan atılan ısı,fırın kaportalarından kaçaklar ve yanmanın verimsizliği olarak tespit edilmiştir.Bacadan atılan ısı miktarı azaltılarak yakılan brülör sayısı düşürülerek tek bir fırında yıllık kullanılan doğalgaz maliyeti %24 azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Brülör,Fırın,Yanma

THE EMPIRICAL AND ANALYTICAL ANALYSE OF BISKUIT BAKING FOR INDUSTRIAL OVENS

ÖMER ŞAHİN

SUMMARY

Energy saving studies must be done according to decreasing consumption energy per product amount; instead of amount of used energy. For decreasing energy costs; studies are done aimed at increasing competition ability in national and international market area with production of more product or service with same amount of energy or same amount of product/service with less energy.

In the biscuit production operations; cooking are realized in the industrial type ovens. In this thesis study; for industrial type oven in used back type burner, energy loss analyses are done. Oven efficiencies have been determined as %20, rather low level. Result of investigation other losses are determined as cooking belt, waste heat on chimney, leakage on oven plate and inefficiency of combustion. With decreasing waste heat on chimney and decreasing number of worked burner; annual used natural gas cost has decreased by 24% for one oven.

Keywords: energy saving, energy cost, oven, burner, back type burner, cooking belt, chimney, combustion

TEŞEKKÜR

Çalışmalar süresince yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile çalışmalarımı yönlendirmemde değerli katkıları ile bana ışık tutan danışman hocam Sayın Prof. Dr. L.Berrin ERBAY başta olmak üzere, okul hayatımda sürekli destekleri ile yanımda olan eşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
 1. GİRİŞ.....	 1
2.DOĞAL GAZ YANMA TEMELLERİ	2
2.1.Yanma Temelleri	2
2.2. Yanma Hesabı	6
3.DOĞALGAZ KULLANIMININ GETİRDİĞİ AVANTAJLAR.....	9
4.BİSKÜVİ FIRINLARI.....	10
4.1. Genel Fırın Tasarım.....	10
4.2 Fırın tipleri ve ısıtma metotları.....	10
4.2.1.Çoklu brülör fırınlar	10
4.2.2. Endirekt alevli ısıtma yapan fırınlar	11
4.2.3. Konveksiyon ısıtma yapan fırınlar	11
4.3. Fırın Bant Tipleri.....	12
4.3.1. Tel Bant	12
4.3.2.. Çelik Bant.....	12
 5. ENDÜSTRİYEL FIRIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	 14
5.1. Fırın Yanma Prensipleri	15
5.1.1. Brülör Yapısı	17
5.1.2. Brülör çalışma prensipleri	20
5.1.3. Brülör alevi şekline göre kontrol noktaları.....	21

6. SİSTEMİN KÜTLE VE ENERJİ DENKLİKLERİNİN OLUŞTURULMASI..	24
6.1. Yakıtın Yanma Isısı.....	24
6.2. Egzoz Gazıyla Isı Kaybı.....	25
6.3. Pişirici Bant Isı Kayıpları	27
6.4. Pişme Isısı.....	28
6.4.1. Kütle denkliği	29
6.4.2. Enerji denkliği	30
7. KAYIPLARIN ANALİZİ	34
7.1. Fırın Yanma Verimliliği Dağılımı.....	34
7.2. Diğer Kayıplar	35
7.3. Atılan Baca Gazı Miktarının Azaltılması	38
7.4. Fırın Brülörleri Çalışma Dağılımı	39
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	53

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Endüstriyel fırın brülör bölgeleri.....	14
5.2. Fırın pişme hücresi	15
5.3. Brülör ana elemanları	17
5.4. Brülör gövdesi	18
5.5. Ateşleme elektrodu.....	18
5.6. Hava ve gaz giriş bölümleri.....	19
5.7. Sesli gürültülü alev	21
5.8. Dalgalı alev.....	22
5.9. Küçük mavi alev.....	22
5.10. Zayıf sarı alev	23
6.1. Fırın enerji akışı.....	24
7.1. Fırın yanma verimliliği dağılımı	34
7.2. Fırın bölmeleri ısı kayıpları termal görüntüleri	36
7.3. Fırın çıkışı ve baca ısı kayıpları termal görüntüleri.....	37
7.4. Baca gazı atılımı	38
7.5. Baca konumları.....	39
7.6. Brülör konumları	40
7.7. 1. Deneme sonucu brülör dağılımı	42
7.8. Fırın içerisi sıcaklık dağılımı.....	44
7.9. Fırın içerisi bisküvi sıcaklığı dağılımı	44
7.10. Bisküvi gramajı dağılımı	45
7.11. Fırın içerisi bisküvi rutubet atma oranı	46
7.12. Fırın içerisi bisküvi çap değişimi	46
7.13. Bisküvi kalınlığı değişimi.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ DEVAM

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.14. Fırın içerisi renk dağılımı	47
7.15. Baca konumlarına göre doğalgaz tüketimi	51
7.16. Mevcut durum ve önerilen durum sonrasındaki tüketim maliyeti.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Doğal gaz garanti özellikleri.....	6
2.2. Doğal gaz yakıtını oluşturan bileşenlerin molekül ağırlıkları	9
6.1. Yakıtın yanma ısısı sonuçları	25
6.2. Egzoz gazıyla ısı kaybının hesaplanmasında kullanılan bileşenlerin yüzdesel olarak dağılımı	26
6.3. Egzoz gazı ısı kayıpları	27
6.4. Ürün bileşenlerinin kuru madde oranları ve ısı kapasiteleri.....	28
7.1. Bölme sıcaklık dağılımı.....	40
7.2. 1. Deneme sonucu bölme sıcaklıkları.....	41
7.3. 1. Deneme sonucu brülör dağılımı	42
7.4. Bisküvi kalite göstergeleri	43
7.5. 2. deneme sonucu bölme sıcaklıkları.....	48
7.6. 2. deneme sonucu brülör dağılımı	49
7.7. 2. deneme sonucu bisküvi kalite parametreleri	50

Simgeler ve Kısaltmalar Dizini

Simgeler	Açıklama
A_0	Teorik hava miktarı ($\text{Nm}^3/\text{Nm}^3_{\text{gaz}}$)
[A]	A bileşenlerinin molar derişikliklerini göstermektedir (kmol/m^3)
[B]	B bileşenlerinin molar derişikliklerini göstermektedir (kmol/m^3)
C_p	Islak eksoz gazı ortalama özgül ısısı ($\text{kJ}/\text{Nm}^3^\circ\text{C}$) veya ($\text{kcal}/\text{Nm}^3^\circ\text{C}$)
E	Aktivasyon enerjisini (J/kmol)
G_{od}	Teorik kuru eksoz gaz miktarı ($\text{Nm}^3/\text{Nm}^3_{\text{gaz}}$)
H_u	Yakıtın alt ısı değeri (kcal/Nm^3)
H_1	Yakıt net ısı (kJ/Nm^3) veya (kcal/Nm^3)
k_f	Reaksiyon hız sabitini ($\text{m}^3/\text{kmol sn}$)
m	Fazla hava katsayısı
O_2	Eksoz gazında ortalama O_2 konsantrasyonu (%)
P_g	Yakıt temin basıncı (mmHg) veya (bar)
Q_g	Yakıt yanma ısısı (kJ) veya (kcal)
Q_2	Eksoz gazından ısı kaybı (kJ) veya (kcal)
R	Üniversal gaz sabitini
R_f	İleriye doğru reaksiyon hızını ($\text{kmol}/\text{m}^3\text{sn}$),
T	Sıcaklık (K)
T_g	Yakıt sıcaklığı (Ortalama sıcaklık) ($^\circ\text{C}$)
T_2	Ortalama eksoz gaz sıcaklığı ve standart sıcaklık arasındaki fark ($^\circ\text{C}$)

Simgeler ve Kısaltmalar Dizini Devam

Simgeler	Açıklama
V_1	Toplam ıslak eksoz miktarı (Nm^3)
V_{gn}	Düzeltilme sonucu yakıt tüketimi(Nm^3)
V_2	Toplam ıslak eksoz gaz miktarı(Nm^3/Nm^3_{gaz})
V_{gn}	1 atm ve 20°C’de yakıt tüketimi(Nm^3)
V_g	Yakıt tüketimi (Ölçüm sonundaki manometre değeri)(m^3)
v_{h_0}	Teorik yakma havası (Nm^3/ Nm^3)
v_{g_0}	Teorik özgül baca gazı miktarı (Nm^3/ Nm^3)
v_g	Gerçek baca gazı miktarı (Nm^3/ Nm^3)
λ	Hava fazlalık katsayısı

1. GİRİŞ

Kalkınmakta olan ve nüfusu artan bir ülke olması nedeniyle Türkiye'nin enerji tüketimi hızla artmaktadır. Bu da doğal kaynakların bilinçsizce ve büyük bir hızla tüketilmeye başlamasına neden olmuştur. Bu bilinçsizce tüketim, enerji kaynaklarının verimli kullanımını gündeme getirmiştir.

Enerji tasarrufu belli davranışları yerleştirerek, iyileştirme yöntemlerini uygulayarak veya yeni teknolojiler kullanarak, üretimi ve kaliteyi düşürmeden, sosyal yaşamın standardını korumak suretiyle, enerjiyi daha etkin kullanmak demektir.

Bisküvi sektöründe ürün maliyetlerine bakıldığında hammadde maliyetleri % 78, ambalaj maliyetleri %12, işçilik maliyetleri %7 ve enerji maliyetleri yaklaşık % 3 seviyesindedir. Enerji maliyetinde en büyük birim pişirme için tüketilen doğalgaz maliyetidir. Pişirme işlemi için direkt ve indirekt fırınlar kullanılmaktadır. Bisküvi işletmelerinde kullanılan doğalgazın %80 'lik miktarı pişirme işlemi için harcanmaktadır. Fırınların verimleri %20 gibi oldukça düşük seviyelerdedir. Meydana gelen diğer kayıplara bakıldığında pişirici bant, bacadan atılan ısı, fırın kaportalarından kaçaklar ve yanmanın verimsizliği olarak sınıflandırılabilir. İlk öncelikle kayıplar net bir şekilde analiz edilerek kayıpların sıfırlanması hedeflenmelidir.

1. DOĞAL GAZ YANMA TEMELLERİ

2.1. Yanma Temelleri

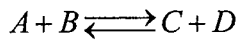
Yanma ön karışımly ya da ön karışımly (difüzyon) alev olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelmektedir. Ön karışımly yanmada yakıt ve yakıcı bileşen, kimyasal reaksiyonun meydana geldiği moleküler seviyede karıştırılır. Difüzyon alevinde ise bileşenler başlangıçta ayrırırlar. (Fryling,1966)

Yanma hızı gibi ölçülebilir bir parametreyi vermek ve yapılarının basitliği itibariyle difüzyon alevlerin yanma olayını da karakterize etmek için genelde deneylerde laminer ön karışımly alevler kullanılır. (Fryling,1966)

Yanma olaylarının teorik analizinde başlıca iki temel yaklaşım mevcut bulunmaktadır. Bunlardan birincisi denge kabulüdür. Bu kabulde, reaktantların reaksiyona katılmak için sonsuz uzun zamana sahip oldukları varsayılmaktadır. Bu durumda karışımın enerjisini minimize eden koşullar (sıcaklık ve yanma ürünlerinin derişiklikleri) aranmaktadır. Bu yaklaşım kinetik çözüme göre daha basit olması ve bilgisayarlara kolaylıkla uygulanabilmesi nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yanma sonucu oluşan sıcaklık seviyesi ya da bazı kararlı ürünlerin (CO_2 , O_2 , H_2O) dağılımlarının bulunması hedeflendiğinde denge kabulü pratik bir yaklaşım olarak kabul edilmekte ve bu kabulde uygun sonuçlar elde edilebilmektedir. Buna karşılık yanmanın aslında dengesiz bir halde başladığı ve geliştiği bilinmektedir. Yakıt ve hava ancak sınırlı bir zaman aralığında yanma hücrelerinde kalabilmekte ve ürünler genellikle tam yanma hali sağlanamadan yanma odasını terk etmektedirler. Bu sonlu zaman aralığı “kalma süresi” olarak adlandırılmaktadır. Yanma işlemi sırasında kalma süresine bağlı olarak pek çok dinamikler olaya etki etmekte ve yanmanın seyrini belirlemektedir. Bunun bir sonucu olarak özellikle azot oksit, karbon monoksit, kükürt dioksit ve is gibi kirleticilerin oluşumu ve yok oluşu incelendiğinde alev içersinde az miktarda bulunan ve buna karşılık büyük önem taşıyan çeşitli ara ürünler (O , OH) yanma kinetiğinin uğraş alanına girmektedir. Bu radikaller bir taraftan CH_4 formundaki yakıt

moleküllerinin parçalanmasına sebebiyet verirken diğer taraftan da azot oksit gibi kirleticilerin oluşumlarını kontrol etmektedirler. (Fryling,1966)

Reaktif bir sistemde, kütle tesir kanununa göre kimyasal bileşenlerin oluşum hızları reaksiyona giren bileşenlerin derişiklikleri ile üstel bir fonksiyonla orantılıdır.



şeklinde bir reaksiyon denklemi dikkate alındığında ileriye doğru olan reaksiyon hızı;

$$R_f = k_f [A][B] \quad (2.1)$$

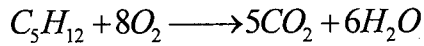
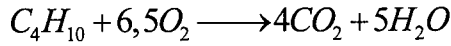
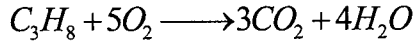
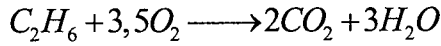
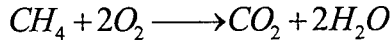
ifadesiyle tanımlanmaktadır. Burada R_f ileriye doğru reaksiyon hızını ($\text{kmol/m}^3\text{sn}$), k_f reaksiyon hız sabitini ($\text{m}^3/\text{kmol sn}$), $[A]$ ve $[B]$ ise A ve B bileşenlerinin molar derişikliklerini göstermektedir (kmol/m^3). Burada dikkate alınan herhangi bir reaksiyona ait reaksiyon hız sabitinin belirlenmesi, yanma kinetiğinin önemli bir uğraş alanını oluşturmaktadır. Reaksiyon hız sabiti genelde Arrhenius formunda aşağıdaki şekilde tanımlanabilmektedir. (Fryling,1966)

$$k_f = AT^b \exp(-E / RT) \quad (2.2)$$

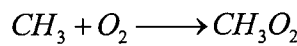
Burada AT^b ifadesi frekans faktörü olarak adlandırılmaktadır. A katsayısı genel olarak $A = 10^B$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bu denklemde T sıcaklığı (K), E aktivasyon enerjisini (J/kmol), R ise üniversal gaz sabitini göstermektedir. Bir reaksiyona ait geriye doğru reaksiyon hızları ve hız katsayıları (R_b , k_b) yazılabilir. Herhangi bir reaksiyona ait ileri ve geri reaksiyon hızlarının farkı, sonuç olarak o reaksiyon için net reaksiyon hızını verecektir. Bir yakıta ait ayrıntılı yanma işlemlerinin tanımlanabilmesi için çok sayıda elementer reaksiyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla, belirli bir yakıtın oksitlenmesi, moleküllerinin parçalanması ve aralarında kirleticilerinde bulunduğu yanma ürünlerinin açığa çıkması sürecinin karakterize edilebilmesi için bir dizi elemanter reaksiyon tarif edilmekte ve bu reaksiyonlara ait A , b , E değerlerini

veren tablolar oluşturulmaktadır. Bu tablolara yanma kinetiğinde mekanizma adı verilmektedir. (Fryling,1966)

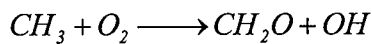
Yakıtın yanması esnasında çok sayıda temel reaksiyon meydana gelir. Kimyasal kinetikte bir kimyasal reaksiyonun hızı, ürünlerin zamana göre derişiminin değişimi olarak tanımlanır. Hidrokarbon yakıtlarının içerisindeki karbon ve hidrojen oksijenle birleşerek yanma oluşur. Yanma esnasında yakıt partikülleri kendilerini oluşturan hidrojen ile karbon atomlarına ayrılır ve her element havanın oksijeni ile ayrı ayrı birleşir. Stokiyometrik şartlarda karbon ve hidrojenin tam yanması halinde doğal gazda yanma reaksiyonları ise aşağıdaki gibidir; (Fryling,1966)



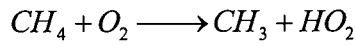
Doğal gazı karakterize eden metan, hidrokarbonların en basit ve kararlı elemanıdır. Yanma olayında metil (CH_3) hâkim hidrokarbon radikali olmakta ve oksijenle reaksiyona girerek metil peroksit radikalleri vermektedir.



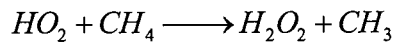
Bu radikaller sonra formaldehit ve hidroksile ayrılmaktadırlar.



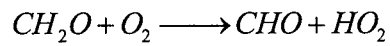
Böylece zincir çevrimlerinin üçüncüsü ortaya çıkmakta, burada ilerlemeye OH radikalleri sebep olmakta ve dejenere dallanma ara ürünü olan formaldehit türetilmektedir. Bařlama muhtemelen;



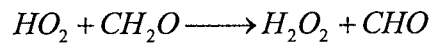
Reaksiyonu vasıtasıyla sağlanmakta HO_2 radikalleri sonradan hidrojen peroksit meydana getirecek şekilde ayrılmaktadırlar.



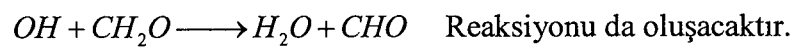
Formaldehit oksijenle reaksiyona girerek dallanmaya sebep olmakta;



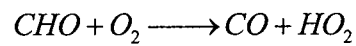
ve HO_2 radikalleri de bir önceki reaksiyonda olduğu gibi metanla yada formaldehitte reaksiyona girmektedirler.



Formaldehit derişikliği yeterli olduğu takdirde;



CHO radikalleri oksijenle reaksiyona girerek karbon monoksit verirler.



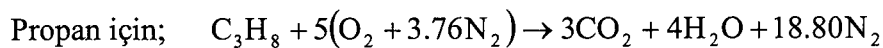
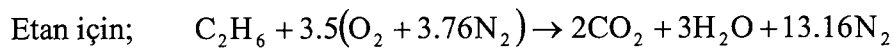
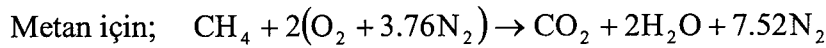
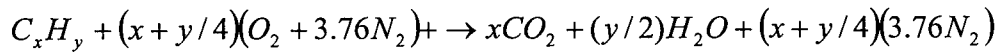
2.2. Yanma Hesabı

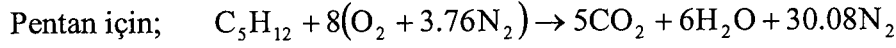
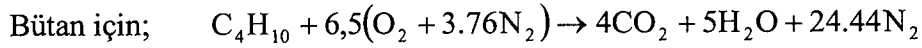
Doğalgaz bileşenleri Tablo 1.1’de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere Metan %85 mol yüzdesi ile ilk sırada yer almaktadır.(Rose, 1970)

Tablo 2.1. Doğal gaz garanti özellikleri

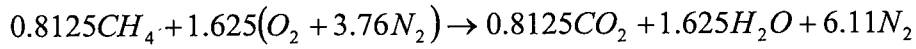
Bileşen	Mol Yüzdesi	% Dağılımı
Metan	% 85	% 81.25
Etan	% 9	% 8.60
Propan	% 1.8	% 1.72
Bütan	% 1.7	% 1.63
Pentan	% 0.8	% 0.76
Hidrojen	% 0	% 0
Kükürt	% 0	% 0
Oksijen	% 0.42	% 0.40
Karbondioksit	% 1.5	% 1.43
Azot	% 4.38	% 4.21
TOPLAM	104.60	100

Hidrokarbonların tam yanması halinde yanma reaksiyonu aşağıdaki gibi yazılır.

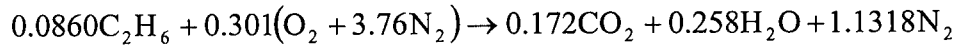




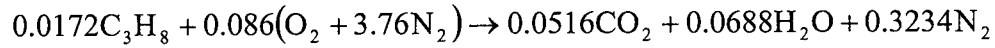
% 81.25 Metan için;



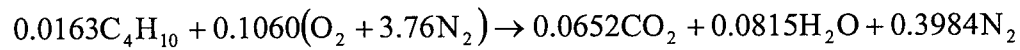
% 8.60 Etan için;



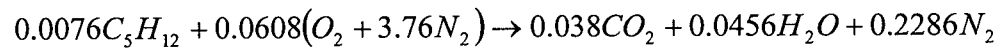
% 1.72 Propan için;



% 1.63 Bütan için;



% 0.76 Pentan için;



Yanma için gerekli Oksijen (O_2) miktarı: Bileşenlerin yanması için gerekli oksijen miktarından yakıt içindeki oksijen miktarının çıkarılması ile bulunur.

$$(1.625 + 0.301 + 0.086 + 0.1060 + 0.0608) - 0.004 = 2.175 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$$

$$\text{Teorik yakma havası} = v_{h_0} = \frac{100}{21} [2.175] = 10.372 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$$

Hava fazlalık katsayısı λ ile gösterilecek olursa; Gerçek hava miktarı $v_h = \lambda \cdot v_{h_0}$ formülü ile hesaplanır. Teorik baca gazı miktarı ise yanma denklemlerinin sağ tarafındaki CO_2 , H_2O , N_2 , SO_2 gazlarının toplamı ile bulunur. Burada azot toplamına yakıt bileşimindeki azot miktarının ilave edilmesi gerekir.

Teorik özgül baca gazı miktarı:

$$v_{g_0} = 1.1395\text{CO}_2 + 2.0789\text{H}_2\text{O} + 8.2341\text{N}_2 + 0.065\text{SO}_2 = 11.455 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$$

$$\text{Gerçek baca gazı miktarı} = v_g = v_{g_0} + (\lambda - 1)v_{h_0} \quad (2.4)$$

Yakıtın alt ısı değeri hesabı:

$$H_u = 0.8125 \times 8560 + 0.0860 \times 15370 + 0.0172 \times 21800 + 0.0163 \times 28354 + 0.0076 \times 34899 = 9331 \text{ kcal} / \text{Nm}^3$$

Yakıtın kapalı formülünün bulunması: Yakıttaki bütün karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarının hesaplanması ile bulunur.

$$\begin{aligned} \text{C: } & 0.8125 \times 1 (\text{CH}_4) + 0.0860 \times 2 (\text{C}_2\text{H}_6) + 0.0172 \times 3 (\text{C}_3\text{H}_8) + 0.0163 \times 4 (\text{C}_4\text{H}_{10}) \\ & + 0.0076 \times 5 (\text{C}_5\text{H}_{12}) = 1.139 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H: } & 0.8125 \times 4 (\text{CH}_4) + 0.0860 \times 6 (\text{C}_2\text{H}_6) + 0.0172 \times 8 (\text{C}_3\text{H}_8) + 0.0163 \times 10 (\text{C}_4\text{H}_{10}) \\ & + 0.0076 \times 12 (\text{C}_5\text{H}_{12}) = 4.158 \end{aligned}$$

$\text{C}_{1.1257}\text{H}_{3.969}$ elde edilir. Bu durumda bu doğal gaz bileşiminin metan (CH_4) yakıtına çok yakın olduğu görülmektedir.

3.DOĞALGAZ KULLANIMININ GETİRDİĞİ AVANTAJLAR

Doğalgaz kullanımının sağladığı avantajları şu şekilde sıralanabilir.(Aras,1991)

- Doğalgazlı sistemlerde yanma hassas olarak kontrol edilebildiği için yakıt kaybı çok azdır.
- Uzun zaman dilimi içinde aynı yakıt kalitesi elde edilebilir.
- Gaz oluşundan dolayı hava ile çok iyi karıştığından yanma verimi yüksektir.
- Ön yakıt hazırlama masrafı yoktur.
- Alev boyu fuel-oil ve kömüre göre daha kısadır, yanmayı tamamlamak için gereken zaman da kısadır.
- Kazanlar kullanılarak maliyet azalır, yerden tasarruf edilir.
- Verimli bir yakıt olması sebebiyle hem ekonomiktir hem de enerji tasarrufu sağlar.
- Katı ve sıvı yakıtlar yanma ürünü olarak kükürt içerdiğinden, baca gazlarının suyun yoğunlaşma noktasına kadar soğutulması ve böylece suyun gizli ısısından faydalanılması imkanı yoktur. Ekonomizer ilave edilerek doğalgazın baca sıcaklığı 56°C'a kadar indirilebilir.
- Doğalgaz tesisatı ve cihazları düşük basınçla çalıştığı için LPG tüpleri gibi patlama tehlikesi ve basınçlı parça tesiri yoktur.
- Doğalgazda yanma için hava gereksinimi en azdır. Bu oran kömürde yüzde 20-30, fuel-oilde yüzde 10-20, doğalgazda ise yüzde 5-10'dur.
- Kurum, is gibi atık ürünleri olmadığı için ısı transfer yüzeyleri temiz kalır.
- Tesis çok az bakım ve denetleme gerektirir.
- Temiz olması ve içerisinde kükürt bulunmamasından dolayı bir çok sanayi sektöründe doğrudan kullanılabilmesi, hem sistem veriminin hem de ürünün kalitesinin artmasını sağlar

4. BİSKÜVİ FIRINLARI

4.1. Genel Fırın Tasarım

Bisküvi, sonsuz pişirme bandı üzerinde, ısıtılmış tünel fırınlar içinde pişirilir. Tünel fırınların uzunluğu 30-150m arasında değişir ve fırın bandı genişliği genellikle 1-1.2m arasındadır. Pişirilecek bisküvi hamuru, izole edilmiş, ısıtılmış ve ayrı ayrı ısılarda kontrol edilebilen bölmelerden (bölme) oluşan tünelden geçer. Bölmelerin sayısı fırın uzunluğuna göre değişir. Örneğin, direkt fırınlarda her bölmenin alt ve üst brülörleri ayrı ayrı ayarlanabilir ve her bölmenin baca kontrol kelekler farklıdır. Pişirme, ürüne göre 1–15 dakikada tamamlanır. Pişirme sonrasında bisküviler soğutucu-taşıyıcı bantlara transfer edilir. Soğutucu-taşıyıcı bant uzunluğu, pişirme süresinin 1,5–2 katı kadardır. Pişirme sonrasında, pişirme bandı sürücü silindirden geçerek fırın altından gergi silindir vasıtası ile fırın başına geri döner. Pişirme bandının fırın başına dönüşü ortam sıcaklığında ve açık vaziyette olduğu takdirde fırın içinde kazanılmış ısıнын bir kısmını kaybeder öte yandan izole edilmiş durumlarda belirli oranda ısı muhafaza edilebilir. Bir fırında bulunacak bölme sayısı, ürün çeşidinin (tel, keski, kraker, rotatif) ihracını hesaba katarak belirlenir.

4.2 Fırın Tipleri ve Isıtma Metotları

Bisküvi pişirme işlemini gerçekleştiren endüstriyel tip fırınları direkt, indirekt ve konvansiyonel fırınları olarak üç grupta inceleyebiliriz. (North Amerikan Combustion Handbook)

4.2.1. Çoklu brülör fırınlar

Bu tür fırınlar direkt fırın soyundan gelmektedir. Brülörler fırın bölmeleri boyunca bandın alt ve üst kısımlarında fırın genişliği boyunca şerit halinde belirli sıklıkta

(yaklaşık 60 cm aralıkta) yerleştirilmiştir. Direkt fırın, gazın pişirme hücresi içinde yanması prensibine dayanır ve yanma sonucu oluşan ürünler pişirilecek ürün ile direk temasta bulunur. Yanma sırasında ısı kaynağının reaksiyonundan açığa çıkan nemden dolayı direkt fırın içinde bulunan atmosfer nem miktarı in direkt fırına göre daha fazladır. Direkt fırın atmosferinde bulunan nem miktarının kaba bir tahmin ile 1/3ü ısı kaynağının yanması sonucu oluşan nem miktarıdır.(North Amerikan Combustion Handbook)

4.2.2. Endirekt alevli ısıtma yapan fırınlar

Bu tür fırınların her bölmesinde tek brülör mevcuttur. Isıtma üniteleri sıklık yaklaşık 15 m aralığındadır. Brülörden çıkan sıcak gazlar kanallar ile fırın pişirme bandının alt ve üst kısımları boyunca gezdirilir ve yanmanın etkisini bozmayacak şekilde belirli oranlarda bacalardan dışarı verilir. Endirekt fırın, ısı kaynağının pişirme hücresi dışında yakılması ve ısının çeşitli yöntemler ile pişirme hücresine transferi ile gerçekleşir. (North Amerikan Combustion Handbook)

Yanma sonucu oluşan ürünler; nem, uçucu maddeler egzoz bacaları vasıtası ile çekilir. Her bacanın çekiş hızının kontrollü olabilmesi için ateş tanzim keleşbeği (damper) vardır. İdeal olarak, bir bölmeden diğer bölmelere atmosferik transferin engellenmesi için her fırın bölmesinden (bölme) yapılan atık gaz çekiş, bölmeye verilen sıcak hava tam olarak dengeli yapılmalıdır.(North Amerikan Combustion Handbook)

4.2.3. Konveksiyon ısıtma yapan fırınlar

Her fırın bölümünde tek brülör mevcuttur. Isıtılmış hava, fan ile ve hızı kontrol etmek maksadıyla tedarik bacalarında bulunan keleşbekler yoluyla fırın pişirme bandı alt ve üst kısımlarında fırın genişliği boyunca çok dikkatli ölçülerde dizayn edilmiş kesitlerden pişirilen bisküvi üzerine verilir. Fırın ve havayı tedarik eden borular çelik levhadan imal edilir. Konveksiyon fırınlar, sirkülasyondaki büyük bir hava hacmi ve

düşük basınç farklılığı neden ile çoklu brülör fırınlara göre daha büyüktür. Isı kaybı bakımından yine iyi izole edilmiş olmalıdırlar.(North Amerikan Combustion Handbook)

4.3. Fırın Bant Tipleri

Hamur tipleri baz alınarak kullanılan bant tipi değişmektedir. Tel bant ve çelik bant olmak üzere iki farklı tipte bant kullanılmaktadır. Bantların tipi ve kalınlığı bisküvi pişme kalitesini doğrudan etkilemektedir.

4.3.1. Tel Bant

Hafif tel bantlar, ağırlıkları 3.5 kg/m^2 'den başlamaktadır. Bazı sert Hamurdan yapılan bisküvilerin pişirilmeleri sırasında kullanılır. Fırın altından dönüşü sırasında ısı muhafazası zayıftır.

Kalın tel bantlar, ağırlıkları 22 Kg/m^2 ye kadar artan özelliktedir. Kraker tipi bisküvilerde kullanılır. Fırın altından dönüşü sırasında özellikle izolasyon mevcut ise oldukça büyük miktarda ısıyı muhafaza edebilir.

Genelde, tel bant kalınlık averaj olarak 0.5 mm civarındadır. Perforje ve tel bantların avantajlarında biri bisküvinin pişme aşamasında tabanından çıkan buharı ve kabartıcıların reaksiyon sonrası çıkardıkları gazları kolay bırakabilmesidir. Ayrıca, tel ve perforje bantlar hamur yayılmasını azaltır. Tel bant, dizaynına göre bisküvi tabanının görüşüne ve yeme kalitesine de etkisi vardır.

4.3.2. Çelik Bant

Bu tür bantlar tüm yumuşak bisküvi hamurlarında, yarı tatlı ve rotatif tarzı hamurların pişirmelerinde kullanılır. Çelik bant, yumuşak ve rotatif tarzı hamurların pişirme esnasında yayılmasına izin verir. Tel banda göre bisküvi altında daha ince bir kabuk oluşur ve dolayısı ile bitmiş üründe daha yumuşak bir yeme yapısının oluşmasına

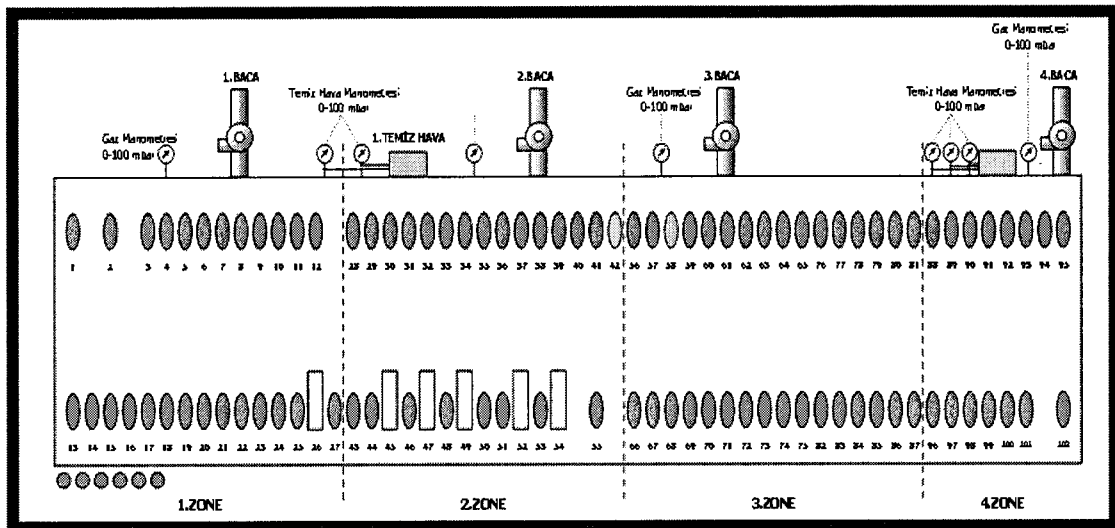
yardımcı olur. Diğer bir yönden, çelik bant kullanımı sırasında pişme aşamasında oluşan gazların ve buharın hamur parçasının tabanından çıkması sırasında yaşanabilecek problemler tabanda bozukluklar ve oyuklar yaratabilir.

Bu tür problemleri azaltmak için çelik bant üzerinde gazların ve buharın çıkışını rahatlatacak belirli dizaynlarda perfore küçük delikler açmak mümkündür. Çoğunlukla, çelik bantlar düşük karbon alaşımlı çelikten imal edilir çünkü homojen ve düz bir kalınlıkta olması şarttır. Bant kalınlıkları 1–2 mm arasındadır.

5. ENDÜSTRİYEL FIRIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Fırın içinde brülörler vasıtasıyla yapılan yanma işlemi sırasında açığa çıkan yanma gazlarının dışarı atılması için 4 adet baca fanı ve baca mevcuttur. Bu bacalar her bölme için 1 adettir ve ilgili bölmede biriken gazları dışarı atar. Bu gazların dışarı atılması çok önemlidir. Bu sebeple her bacanın emişini kontrol eden 1 adet presostat vardır. İlgili bacanın presostatu, emişi yeterli görerek kontak vermedikçe o bölmenin brülörleri çalışmaz. Bölmede biriken gazları dışarı atar. Bu gazların dışarı atılması çok önemlidir. Bu sebeple her bacanın emişini kontrol eden 1 adet presostat vardır.

Fırında meydana gelen yanma işlemi için gerekli olan temiz hava, 3 adet temiz hava aspiratörü ile sağlanır. Temiz hava aspiratörleri fırın içine sürekli taze hava besleyerek yanmanın verimli olmasını sağlar. Temiz hava aspiratörlerinde bulunan presostatlar, fırın içine verilen temiz havanın basıncını kontrol ederek, aspiratörün çalışmadığı veya temiz hava basısının yetersiz kaldığı durumlarda brülörlerin yanışını durdurur. Ayrıca taze hava aspiratörlerine ait manometrelerden de basınç izlenebilir. (40–80 mbar).

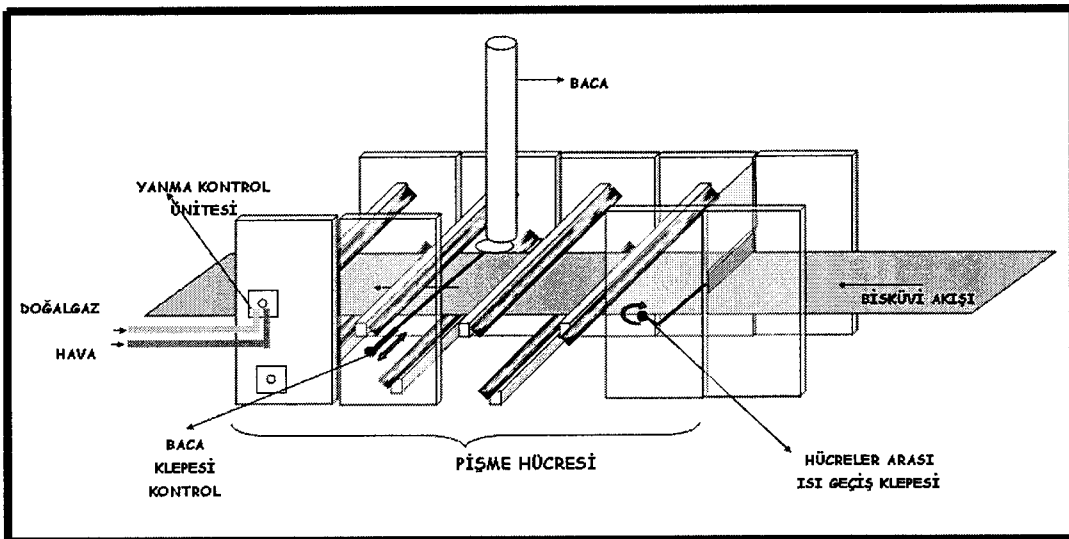


Şekil 5.1. Endüstriyel fırın brülör bölgeleri

Brülörlerde yanma işlemi sırasında yakıt olarak doğalgaz kullanılır. Ana hattan doğalgaz bağlantısı her bölmeye 1 adet olacak şekildedir. Daha sonra bölme içinde brülörlere dağıtım olur. Doğalgaz ana bağlantılarında otomatik kumanda için presostatlar ve gözlem için manometreler bulunur Doğalgaz basıncında meydana gelebilecek istenmeyen bir değişiklik presostatlar tarafından yanmanın durdurulmasına sebep olur. Ayrıca manometreler gaz basıncının (40-80mbar) olması gereken aralığı göstererek kontrol edilmesini ve olası bir problemin önceden fark edilmesini sağlar,

5.1. Fırın Yanma Prensipleri

Fırın gaz hava vanalarının açık ve gaz basıncı yeterli olmalıdır. İlk olarak pişirme bantı çalıştırılır ve ürün için uygun hıza ayarlanır. Bandın çalıştığından emin olunur. Bant çalışmadığı takdirde fırın yanmayacaktır. Fırın yakma butonuna basılır. Baca emiş fanları ve taze hava aspiratörleri çalışmalıdır. Taze hava aspiratörlerinin çalışmasını ve basıncını manometreden kontrol edilir. Verimli yanma için 1 birim hacim gaz - 10 birim hacim hava şeklinde bir karışım olmalıdır. Fırın içine yanma için beslenen hava oksijence zengin ve yüksek debili olmalıdır. (Benayyat, 1975)



Şekil 5.2. Fırın pişme hücresi

Taze hava aspiratörlerinin amacı havayı sürekli temiz olarak fırın içine vermektir. Bu filtreler düzenli olarak temizlenmelidir. Çünkü kirli filtre fırın içine basılan havanın basıncını ve debisini azaltacaktır. Filtrelerin kirliliği manometrelerin kırmızı bölgeyi göstermesi ile de takip edilebilir. Fırın içerisine sürekli taze hava basılması gazın tamamen yanmasını sağlar ve yanmamış gazın atmosfere atılmasına engel olur. (Benayyat, 1975)

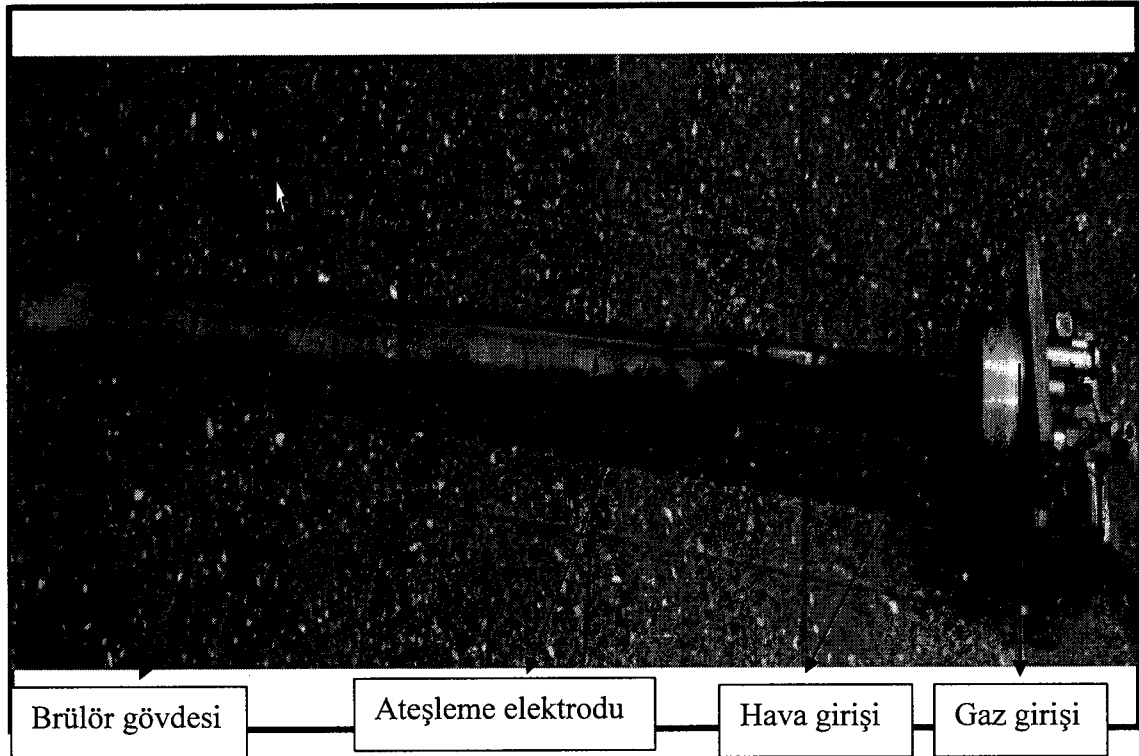
Baca emiş fanlarının ve taze hava aspiratörlerinin presostatları uygun emiş ve/veya basış olmadıkça fırının yanmasına izin vermeyecektir. Fırın bir süre sadece fan ve aspiratörlerini çalıştırarak yanmada gerekli olan temiz havanın fırın içine dolmasını sağlayacak, yanmayı engelleyecek kirli gazları dışarı atacaktır. Bu süreye süpürme zamanı adı verilir Süpürme zamanı sonunda brülör kontrolörleri kendi işlem sıralarını izleyerek yanmayı gerçekleştirirler. Bu işlem önce gaz ventilinin açması ve gazın brülöre verilmesi ile başlar. Ventil bobini enerjilendiğinde mıknatıslanacak ve ventilin içindeki nüveyi çekecektir. Bir bobinin enerjilendiği bobinin üzerindeki metal parçaya tornavida, demir çubuk gibi bir malzeme değdirildiğinde malzemenin bobine yapışması ile anlaşılır. Bobini enerjilenmesi gaz akışının olduğunu garanti etmez İkinci aşamada yakma elektrodu yüksek gerilim trafosu ile enerjilenir ve elektrot ile gövde arasında bir kıvılcım oluşur. Yaklaşık beş ila on saniye içinde alev oluşmaz ise iyonizasyon denen alev varlığını algılayan sistem gaz hava selenoidini kapayarak. Alarm ikazı verir. Sistemi emniyetli duruma alır. Alev oluşursa ventil çekili kalmaya devam eder ve iyonizasyon çubuğu sürekli yanma olup olmadığını kontrol eder ve yanmayı devam ettirir. (Benayyat, 1975)

Ateşleme sırasında kıvılcımın oluşması için elektrotla gövde arasında iletken bir ortam olmalıdır. Ateşleme sırasında kıvılcımın oluşması için elektrotla gövde arasında iletken bir ortam olmalıdır. Ayrıca eğer elektrodun kıvılcım yapacağı gövde kısmında kurum veya karbonlaşma varsa kıvılcım gerçekleşmeyecektir. Yanma sırasında alev yüksek ısı yayan kısmı mavi renkte olanıdır. Mavi renkli kısmı dışındaki kısımlarının boyunun uzun veya kısa olması açığa çıkan ısıyı çok miktarda etkilemez.

Fırın bölmelerine ait sıcaklık kontrolörleri set edilen sıcaklık değerine göre fırının yanma miktarındaki hava oranını ayarlayarak istenilen ısı değerine ulaşmasını oransal olarak kontrol eder. Fırın bölmeleri ayarlanan sıcaklık değerine ulaştığında banda ürün verilerek pişirme başlatılır. (Benayyat, 1975)

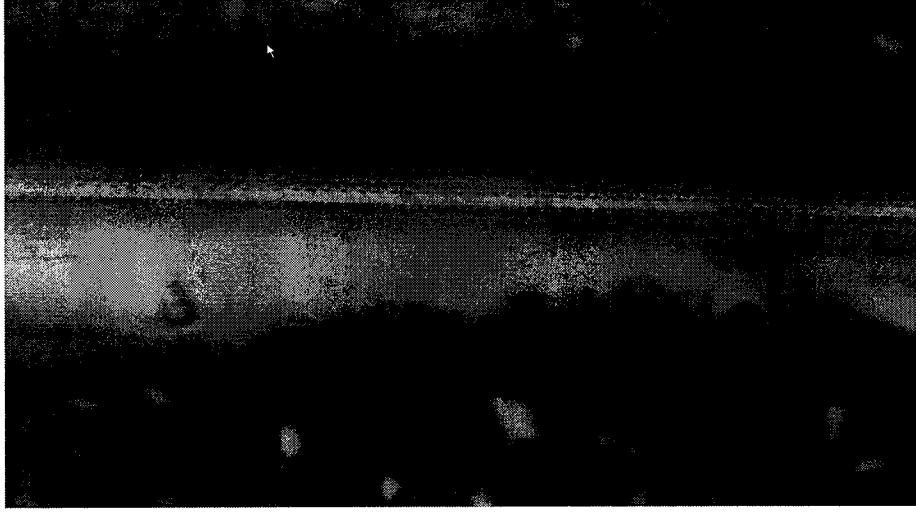
5.1.1. Brülör yapısı

Brülör ana elemanları Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi brülör gövdesi, ateşleme elektrodu, hava ve doğalgaz giriş bölümleri ve bu bölümleri kontrol eden ekipmanlardır

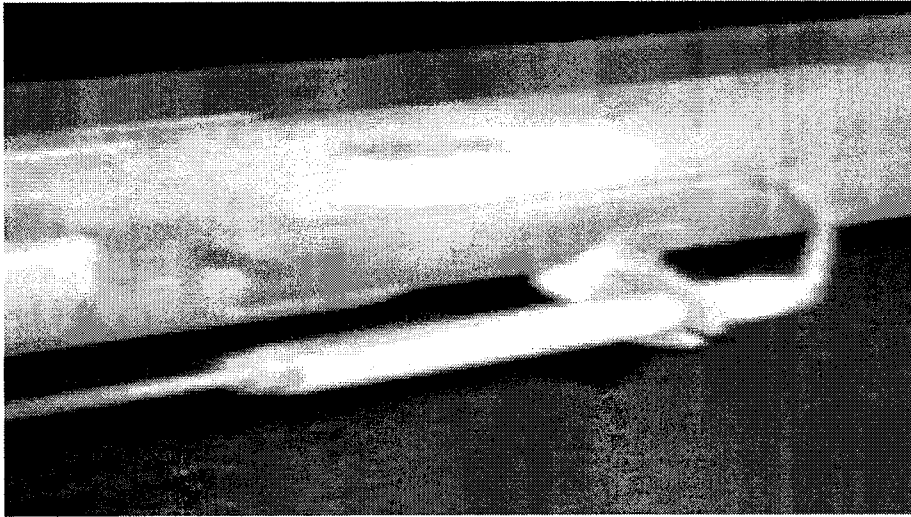


Şekil 5.3. Brülör ana elemanları

Brölör gövdesinde bulunan deliklerden hava ve gaz karışımı belirli bir basınçta ortamın basıncını yenerek dışarı çıkar ve elektrot tarafından ateşleme işlemi gerçekleştirilir. Şekil 5.4.'te görölmektedir.

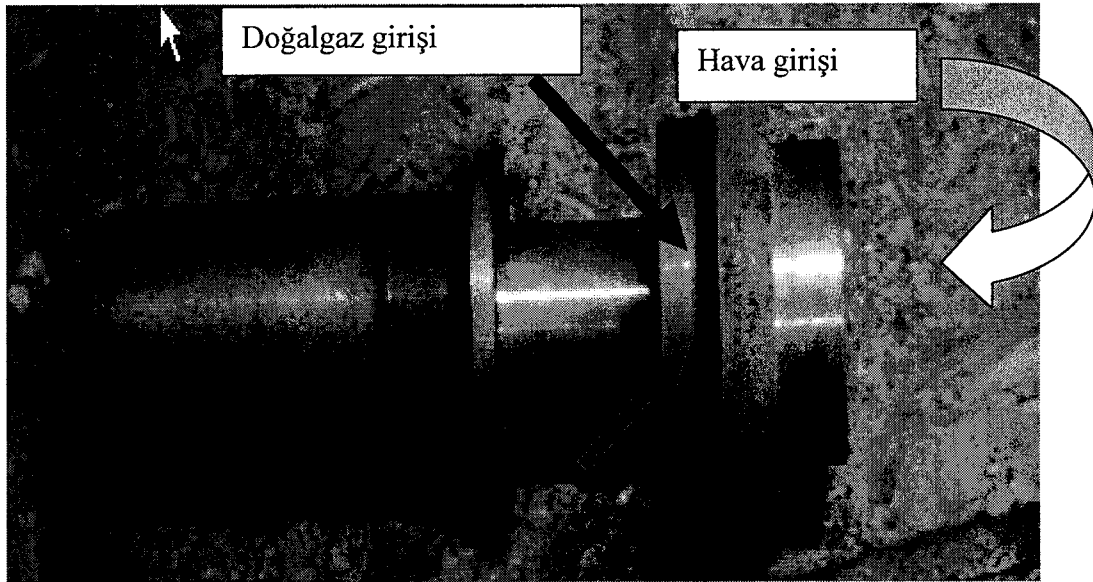
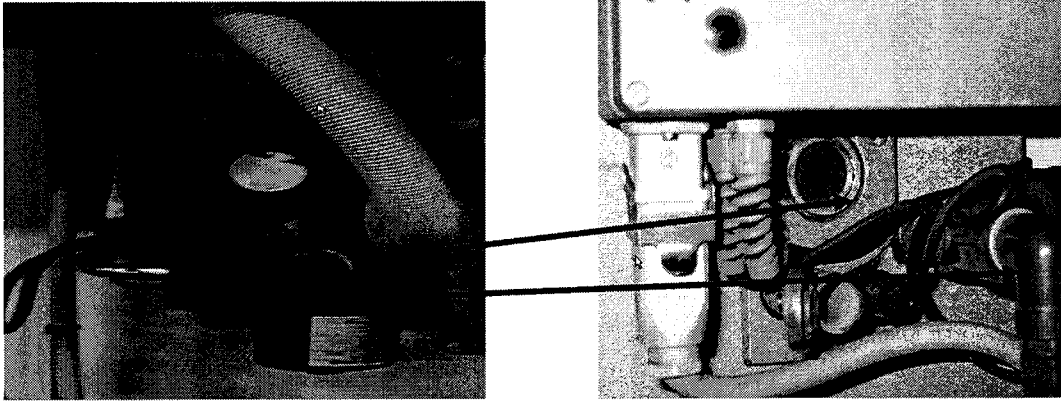


Şekil 5.4.Brölör gövdesi



Şekil 5.5. Ateşleme elektrodu

Yüksek gerilim trafosu elektrodu enerjilenir ve elektrot ile gövde arasında bir kıvılcım oluşur. Yaklaşık 5 ile 10 saniye içinde alev oluşmaz ise iyonizasyon denen alevin varlığını algılayan sistem gaz hava selenoidini kapayarak alarm ikazı verir. Ateşleme sırasında kıvılcımın oluşabilmesi için elektrotla brülör gövdesi arasında iletken bir ortam olmalıdır. Gövde kısmında kurum veya karbonlaşma varsa kıvılcım gerçekleşmez.



Şekil 5.6. Hava ve gaz giriş bölümleri

Şekil 5.6'da da görüldüğü gibi belirli, bir basınçta sisteme taze hava fanı vasıtasıyla verilen hava ventüriden geçerken bir vakum oluşturur. Oluşan bu vakum sıfır basınç regülatöründen gazın serbest kalarak sisteme dahil olmasını sağlar.

5.1.2. Brülör çalışma prensipleri

Direkt ateşlemeli fırınlarda bek tipi brülörler kullanılmaktadır. Bek tipi brülörlere ait çalışma prensipleri aşağıda verilmiştir:

1. Brülörler iki kısımdan oluşurlar. Elektrikli kontrol aksamaları ve yanmanın olduğu mekanik kısım.

2. Bir brülörde yanma olabilmesi için yanıcı gaza ve oksijene ihtiyacı vardır. Gazın türüne göre nozul denen alevin oluştuğu delik çapları farklılık gösterir. Yanma şekli değişmez.

3. Brülörlere ortamdaki oksijen yeterli olmadığı için aspiratörle taze hava beslemek gerekir. Ayrıca ortamdaki yanıcı gazların egzoz işlevi gören aspiratörlerle dışarı atılması gerekir.

4. Brülör kontrolü brülör üzerinde ve çevresindeki tüm elemanları kontrol eder. Güvenlik için; presostatlarla, taze havanın, gazın ve gaz emişinin olup olmadığını kontrol ederken bunların çalışmasını da sağlarlar.

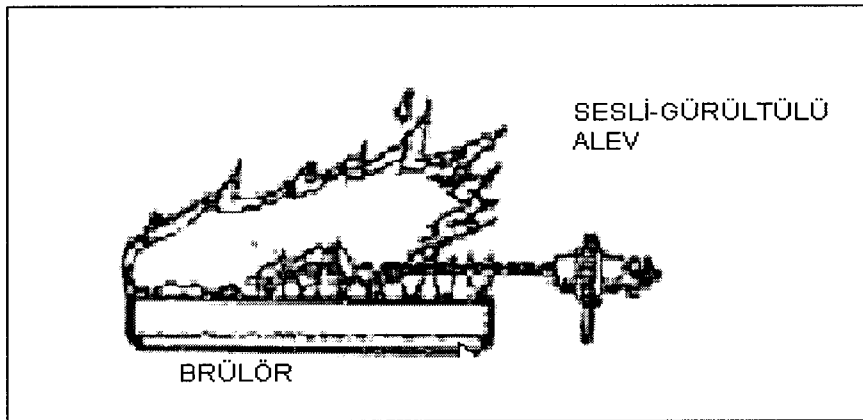
5. Bir brülör sistemi devreye alındığında ilk olarak sistemdeki kirli gazları atan baca fanını ve kendine taze hava sağlayacak aspiratörü çalıştır. Bir müddet sonra yanma için gerekli taze hava ve yanma gazının varlığını kontrol eder. Brülör istenilen sıcaklık aralığında çalışmasını sağlayacak olan sıcaklık kontrolörünün ayarına göre çalışır. Bek de denen brülör gövdesinden gaz hava karışımı ayarlanarak. Alev boyu ve verimini belirlemek mümkündür.

6. Şartlar tamam ise brülör nozulundan ayarlanmış olan gaz ve hava karışımına ait selenoidi açar. Bununla birlikte ateşleme trafosu denen yüksek gerilim üreten trafoyu enerjilendirir. Bu esnada alev oluşur. Yaklaşık beş ila on saniye içinde alev oluşmaz ise iyonizasyon denen alevin varlığını algılı yan sistem gaz hava selenoidini kapayarak alarm ikazı verir. Sistemi emniyetli duruma alır.

7. Sistemde sorun yok ise ateşleme kesilir. İyonizasyon (alev havadaki gazları ısıtarak seviyelerini değiştirir bu özellik sayesinde iyon çubuğu denen elektrot ile şase arasındaki akım ölçülür. 1-2 mikroamperin altında akım geçerse alev oluşmamış demektir) elektrodu alevi izler ve brülörün sürekli yanmasını sağlar.

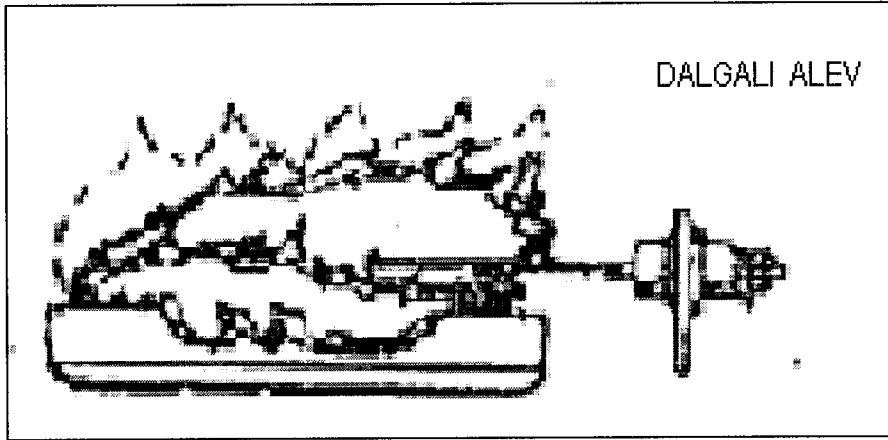
5.1.3. Brülör alevi şekline göre kontrol noktaları

Brülörler doğalgaz ve hava bileşenlerinin debileri, hızlarına göre farklı tipte ve görüntüde alev oluşmaktadır. Alev görünümünü baz alınarak problem kaynakları tespit edilebilir ve çözüme ulaşılabilmektedir.



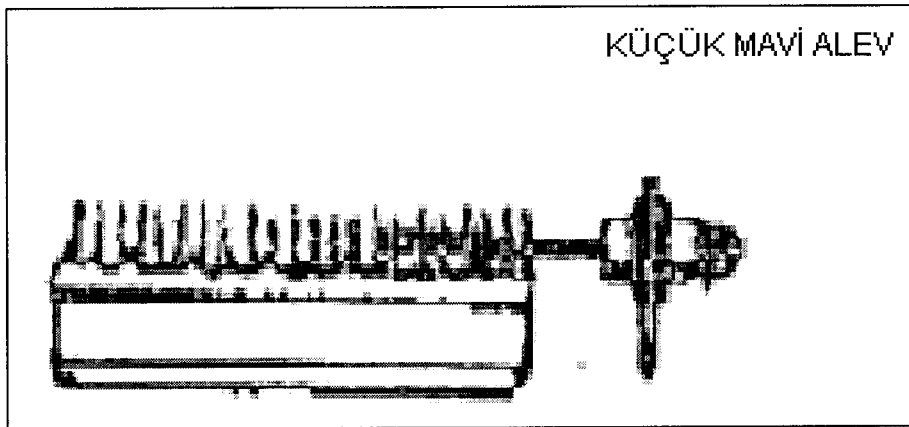
Şekil 5.7. Sesli gürültülü alev

1. Yüksek gaz basıncı
2. Fazla hava veya hava akımı



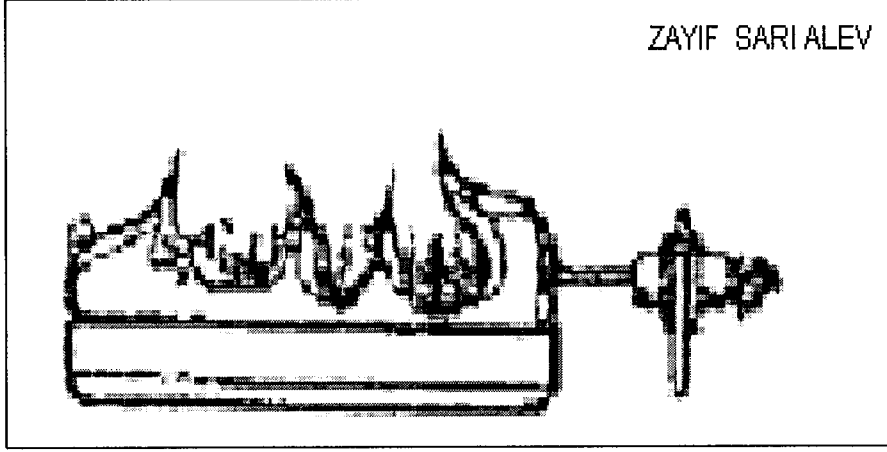
Şekil 5.8. Dalgalı alev

1. Zayıf hava akımı
2. Aşırı hava akımı



Şekil 5.9. Küçük mavi alev

1. Orifis girişi veya brülör delikleri tıkalı
2. Hatalı orifis büyüklüğü

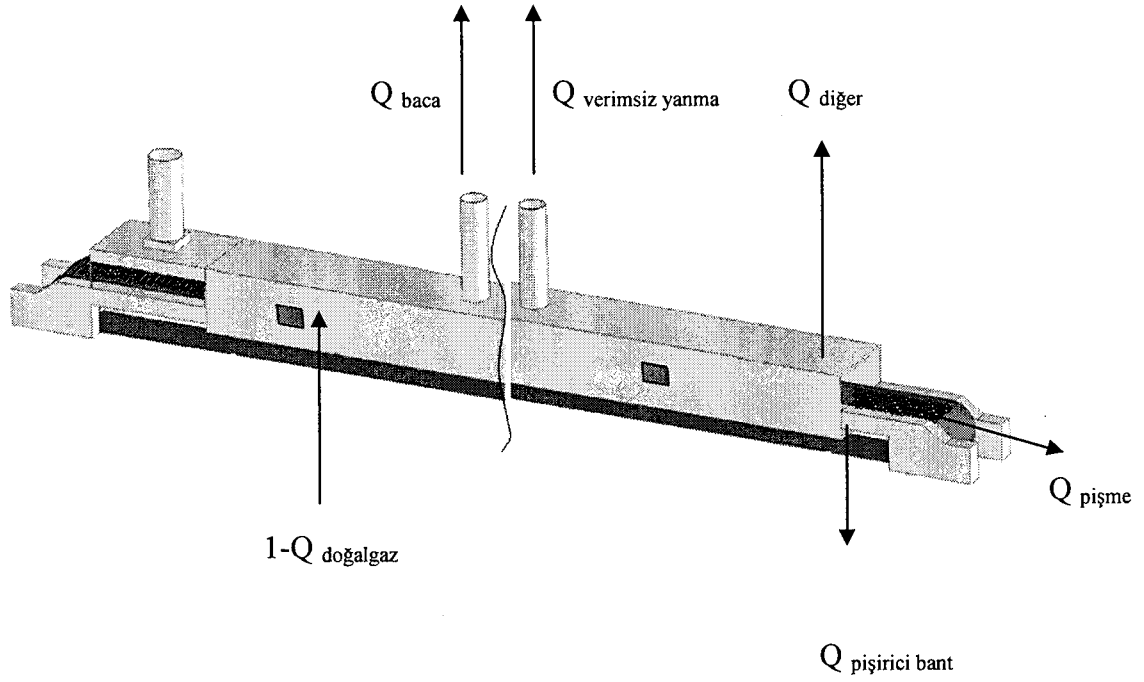


Şekil 5.10. Zayıf sarı alev

1. Hava giriş kanalları kirliliğinden dolayı eksik hava
2. Büyük brülör deliği veya büyük orifis deliğinden dolayı eksik hava

6. SİSTEMİN KÜTLE VE ENERJİ DENKLİKLERİNİN OLUŞTURULMASI

$$Q_{\text{doğalgaz}} = Q_{\text{pişme}} + Q_{\text{pişirici bant}} + Q_{\text{baca}} + Q_{\text{verimsiz yanma}} + Q_{\text{diğer}} \quad (6.1)$$



Şekil 6.1 Fırın enerji akışı

6.1.Yakıtın Yanma Isısı

Yakıtın yanma ısısı, aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir:

$$V_{gn} = \frac{Vg \times (10332 + Pg) \times 273}{10332 \times (273 + Tg)} \quad (6.2)$$

$$V_{gn} = \frac{60 \times (10332 + 60,8) \times 273}{10332 \times (273 + 20)} = 56,23 \text{ Nm}^3$$

$$Q_g = V_{gn} \times H_1 = 56,23 \times 41660 = 2342541 \text{ kJ} \quad (6.3)$$

$$Q_g = 56,23 \times 41660 = 2342541 \text{ kJ}$$

Q_g	: Yakıt yanma ısısı	(kJ) veya (kcal)
V_{gn}	: 1 atm ve 20°C'de yakıt tüketimi	(Nm ³)
P_g	: Yakıt temin basıncı (Ortalama ölçüm basınçları)	(mbar)
T_g	: Yakıt sıcaklığı (Ortalama sıcaklık)	(°C)
V_g	: Yakıt tüketimi (Ölçüm sonundaki manometre değeri)	(m ³)
H_1	: Yakıt net ısı değeri.	(kJ/Nm ³)

Tablo 6.1. Yakıtın yanma ısısı sonuçları

Ölçüm Kısmı	Sabit Kısmı	Hesap Sonucu
Doğalgaz basıncı $P_g = 60,8 \text{ mbar}$	Yakıtın alt ısı değeri $H_1 = 41660 \text{ kJ/Nm}^3$	Düzeltilme sonucu yakıt tüketimi $V_{gn}=56,23 \text{ Nm}^3$
Doğalgaz sıcaklığı $T_g = 20^\circ\text{C}$		Yakıtın Yanma Isısı
Yakıt Tüketimi $V_g = 60 \text{ m}^3$		$Q_g = 2342541 \text{ kJ}$

6.2. Egzoz Gazıyla Isı Kaybı

Egzoz gazıyla ısı kaybı, (5), (6), (7) no'lu bağıntılar kullanılarak bulunabilir.

$$V_1 = V_{gn} \times V_2 \quad (6.4)$$

$$m = 1 + \frac{G_{od} \times O_2}{A_0 \times (21 - O_2)} \quad (6.5)$$

$$c_p = \left(\frac{CO_2}{V_2} \times c_{ca2} \right) + \left(\frac{H_2O}{V_2} \times c_{H_2O} \right) + \left(\frac{N_2}{V_2} \times c_{N_2} \right) + \left(\frac{O_2}{V_2} \times c_{O_2} \right) \quad (6.6)$$

Burada;

Q_2	: Eksoz gazından ısı kaybı	(kJ)
V_1	: Toplam ıslak eksoz miktarı	(Nm ³)
C_p	: Islak eksoz gazı ortalama özgül ısısı	(kJ/Nm ³ °C)
T_2	: Ortalama eksoz gaz sıcaklığı ve standart sıcaklık arasındaki fark	(°C)
V_{gn}	: Düzeltme sonucu yakıt tüketimi	(Nm ³)
V_2	: Toplam ıslak eksoz gaz miktarı	(Nm ³ /Nm ³ _{gaz})
m	: Fazla hava katsayısı	birimsiz
G_{od}	: Teorik kuru eksoz gaz miktarı	(Nm ³ /Nm ³ _{gaz})
A_0	: Teorik hava miktarı	(Nm ³ /Nm ³ _{gaz})
O_2	: Eksoz gazında ortalama O ₂ konsantrasyonudur.	(%)

$$m = 1 + \frac{10 \times 6,2}{1 \times (21 - 6,2)} = 1,38$$

$$c_p = \left(\frac{12}{1688} \times 2,022 \right) + \left(\frac{22}{1688} \times 1,524 \right) + \left(\frac{11,9}{1688} \times 1,336 \right) + \left(\frac{0,88}{1688} \times 1,403 \right) = 1,416 \text{ (kJ/Nm}^3\text{°C)}$$

Tablo 6.2. Egzoz gazıyla ısı kaybının hesaplanmasında kullanılan bileşenlerin yüzdesel olarak dağılımı

	Bileşen Miktarı Nm ³ /Nm ³	Oran	Sabit Basıncıta Özgül Isı(kJ/Nm ³ °C)	Ortalama Özgül Isı (kJ/Nm ³ °C)
CO ₂	1,2	0,074	2,022	0,150
H ₂ O	2,2	0,136	1,524	0,207
N ₂	11,9	0,735	1,336	0,982
O ₂	0,88	0,055	1,403	0,077
Toplam	V_2	1.00		$c_p=1,416$

$$V_1 = V_{gn} \times V_2 = 56,23 \times 16,2 = 910,926 \text{ Nm}^3$$

$$T_2 = \text{Egzoz gazı sıcaklığı} - T_s = 603 - 303 = 300^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = 910,926 \times 1,416 \times 300 = 386959 \text{ kJ} = 92573 \text{ kcal}$$

Tablo 6.3. Egzoz gazı ısı kayıpları

Ölçüm Kısmı	Sabit Kısım	Hesap Sonucu
Düzeltilme sonucu yakıt tüketimi $V_{gn}=56,23\text{Nm}^3$	Teorik kuru egzoz gaz miktarı $G_{od}=10\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3$	Toplam nemli egzoz gaz miktarı $V_1=910,926\text{Nm}^3$
Egzoz gazı O_2 yoğunluğu =%6,2	Teorik Hava Miktarı $A_0=11 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3$	Egzoz gazı ortalama özgül ısı $C_p=1,416\text{kJ/Nm}^3\text{°C}$
Sıcaklık farkı $T_2=300^\circ\text{C}$		Egzozdan ısı kaybı 386959kJ

6.3. Pişirici Bant Isı Kayıpları

Piştirici bantın aldığı ısı miktarı aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanır.

$$Q_{pbant} = m_{pişirici\ bant} \times c_{p.bant} \times \Delta T \quad (6.7)$$

$$m_{pişirici\ bant} = V_{p.bant} \times \delta_{p.bant} \quad (6.8)$$

$$m_{p.bant} = (1,205\text{m} \times 75\text{m} \times 0,0012\text{m}) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 845,91\text{kg/h}$$

$$Q_{p.bant} = 845,91 \text{ kg/h} \times 0,490 \text{ kJ/kg.K} \times (115-35)\text{K} = 172990 \text{ kJ/h}$$

6.4. Pişme Isısı

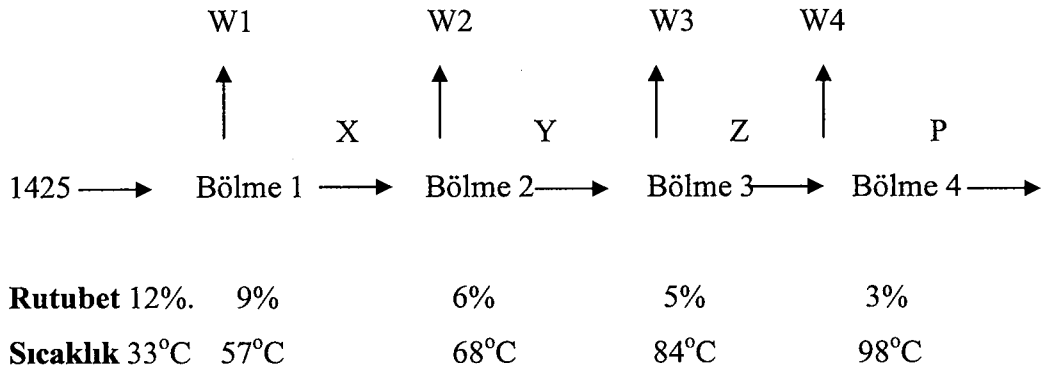
Hamur mikser de partiler halinde hazırlanmaktadır. Örnek olarak seçtiğimiz hamurun parti miktarı 287 kg 'dır. Hamur içerisinde kullanılan malzemelerin kullanım yüzdeleri baz alınarak ortalama özısı değeri hesaplanması gerekmektedir. Tablo 6.4 hamur içerisinde kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin c_p değerleri görülmektedir.

Tablo 6.4. Ürün bileşenlerinin kuru madde oranları ve ısı kapasiteleri

Malzeme	Ağırlık (kg)	Kuru Madde (%)	Kuru madde miktarı(kg)	%Kuru madde	Cp (kJ/kgK)
Buğday Unu	180	86	156	66	1,8
Şeker	22	99	22	9,3	1,3
Şurup	30	76	23	9,7	1,3
Yağ	55	61	34	14,45	2,12
TOPLAM	287		235		

$$c_{p \text{ ort}} = ((1,8 \times 0,66) + (1,3 \times 0,093) + (1,3 \times 0,097) + (2,09 \times 0,1445))$$

$$c_{p \text{ ort}} = 1,74 \text{ kJ/kg.K}$$



Örnek olarak seçilen hattın saatlik hamur kapasitesi 1425 kg/ saat'tir. Hamur fırına %12 rutubet değerinde 33 °C de girmekte ve 4 adet bölmede piştikten sonra %3 rutubette ve 98 °C de çıkmaktadır.

6.4.1. Kütle denkliği

1425 kg/saat ile fırına giren hamurun giriş rutubeti %12 ve fırından çıkış rutubeti %3 olduğu varsayılarak bölmelerdeki buharlaşan su miktarının hesabı:

$$1425 \times 0,12 = 171 \text{ kg (su miktarı) Fırın giriş}$$

$$1425 \times 0,03 = 42,75 \text{ kg (su miktarı) Fırın çıkış}$$

$$171 - 42,5 = 128,5 \text{ kg (4 adet bölmede kaybolan toplam su miktarı)}$$

Bölmelerdeki kayıplara bakıldığında :

$$1.\text{Bölme } \%12 - \%9 = \%3 \quad 171 \times (3/12) = 42,75 \text{ kg}$$

$$2.\text{Bölme } \%12 - \%9 = \%3 \quad 171 \times (3/12) = 42,75 \text{ kg}$$

$$3.\text{Bölme } \%12 - \%9 = \%3 \quad 171 \times (1/12) = 14,25 \text{ kg}$$

$$4.\text{Bölme } \%12 - \%9 = \%3 \quad 171 \times (2/12) = 28,5 \text{ kg}$$

1.Bölmede kuru maddenin aldığı ısı miktarı hesabı:

$$m_{\text{kuru madde}} = X = 1166,48 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = m_{\text{kuru madde}} \times c_p \text{ ortalama} \times \Delta T \quad (6.9)$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 1166,48 \text{ kg} \times 1,74 \text{ kJ/kg.K} \times (330-306) \Delta K$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 48712 \text{ kJ}$$

1.Bölmede hamur içerisinde bulunan toplam 128,5 kg suyun sıcaklığı da 33°C den 57 °C ‘ye yükselmiştir. Suyun aldığı ısı enerji miktarı ise:

$$Q_{\text{su}} = m_w \times c_{pw} \times \Delta T \quad (6.10)$$

$$Q_{\text{su}} = 128,5 \text{ kg} \times 4,185 \text{ kJ/kg.K} \times (330-306) \Delta K$$

$$Q_{\text{su}} = 12906 \text{ kJ}$$

1.Bölmeden buharlaşan su miktarı 42,5 kg için gerekli ısı enerjisi miktarı:

$$Q_{\text{su buharı}} = m_{\text{su buharı}} \cdot L_b \quad (6.11)$$

$$Q_{\text{su buharı}} = (42,5 \text{ kg}) \times (2257 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{\text{su buharı}} = 95922 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{toplam}} = 48712 + 12906 + 95922 = 137540 \text{ kJ}$$

2.Bölme

$$W1 = 42,5 \text{ kg/saat}$$



$$1382 \text{ kg/saat} \longrightarrow \text{Bölme 2} \longrightarrow 1340 \text{ kg/saat}$$

$$\%9 \text{ rutubet } 57^\circ\text{C}$$

$$\%6 \text{ rutubet } 68^\circ\text{C}$$

1.Bölmede kuru maddenin aldığı ısı miktarı hesabı:

$$m_{\text{kuru madde}} = 1166,48 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 1166,48 \text{ kg} \times 1,74 \text{ kJ/kg.K} \times (341-330) \Delta K$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 22317 \text{ kJ}$$

2.Bölmede hamur içerisinde bulunan toplam 85,5 kg suyun sıcaklığı da 57°C den 68 °C ‘ye yükselmiştir. Suyun aldığı ısı enerji miktarı ise:

$$Q_{su} = 85,5 \text{ kg} \times 4,185 \text{ kJ/kg.K} \cdot (341-330) \Delta K$$

$$Q_{su} = 3935 \text{ kJ}$$

2.Bölmeden buharlaşan su miktarı 42,5 kg için gerekli ısı enerjisi miktarı:

$$Q_{su \text{ buharı}} = (42,5 \text{ kg}) \times (2257 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{su \text{ buharı}} = 95922 \text{ kJ}$$

$$Q_{2\text{toplam}} = 22317 + 3935 + 95922 = 122174 \text{ kJ}$$

3.Bölme

$$W1 = 14,25 \text{ kg/saat}$$



1340 kg/saat $\longrightarrow$ Bölme 3 $\longrightarrow$ 1325 kg/saat
 %6 rutubet 68°C %5 rutubet 84°C

3.Bölmede kuru maddenin aldığı ısı miktarı hesabı:

$$m_{\text{kuru madde}} = 1166,48 \text{ kg}$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 1166,48 \text{ kg} \times 1,74 \text{ kJ/kg.K} \times (357-341) \Delta K$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 32474 \text{ kJ}$$

3.Bölmede hamur içerisinde bulunan toplam 71,25 kg suyun sıcaklığı da 68°C den 84 °C 'ye yükselmiştir. Suyun aldığı ısı enerji miktarı ise:

$$Q_{su} = 71,25 \text{ kg} \times 4,185 \text{ kJ/kg.K} \cdot (357-341) \Delta K$$

$$Q_{su} = 4770 \text{ kJ}$$

3.Bölmeden buharlaşan su miktarı 14,25 kg için gerekli ısı enerjisi miktarı:

$$Q_{su \text{ buharı}} = (14,25 \text{ kg}) \times (2257 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{su \text{ buharı}} = 32162 \text{ kJ}$$

$$Q_{3\text{toplam}} = 32474 + 4770 + 32162 = 69406 \text{ kJ}$$

4.Bölme

$$W1=28,5 \text{ kg/saat}$$



1325 kg/saat → Bölme 4 → 1297kg/saat
%5 rutubet 84°C %3 rutubet .98°C

%5 rutubet 84°C

%3 rutubet .98°C

4.Bölmede kuru maddenin aldığı ısı miktarı hesabı:

$$Q_{\text{kuru madde}} = 1166,48 \text{ kg} \times 1,74 \text{ kJ/kg.K} \times (371-357) \Delta K$$

$$Q_{\text{kuru madde}} = 28415 \text{ kJ}$$

4.Bölmede hamur içerisinde bulunan toplam 42,5 kg suyun sıcaklığı da 84°C den 98 °C ‘ye yükselmiştir. Suyun aldığı ısı enerji miktarı ise:

$$Q_{su} = 42,5\text{kg} \times 4,185 \text{ kJ/kg.K} \times (371-357)\Delta K$$

$$Q_{su} = 2490 \text{ kJ}$$

4.Bölmeden buharlaşan su miktarı 28,5 kg için gerekli ısı enerjisi miktarı:

$$Q_{su \text{ buhari}} = (28,5\text{kg}) \times (2257\text{kJ/kg})$$

$$Q_{\text{su buharı}} = 64324 \text{ kJ}$$

$$Q_{4toplam} = 28415 + 2490 + 64324 = 95229 \text{ kJ}$$

Fırının tüm bölmelerindeki toplam ısı miktarı hesabı:

$$Q_{\text{toplam}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_{\text{toplam}} = 137540 + 122174 + 69406 + 95229$$

$$Q_{\text{toplam}} = 424349 \text{ kJ}$$

7.KAYIPLARIN ANALİZİ

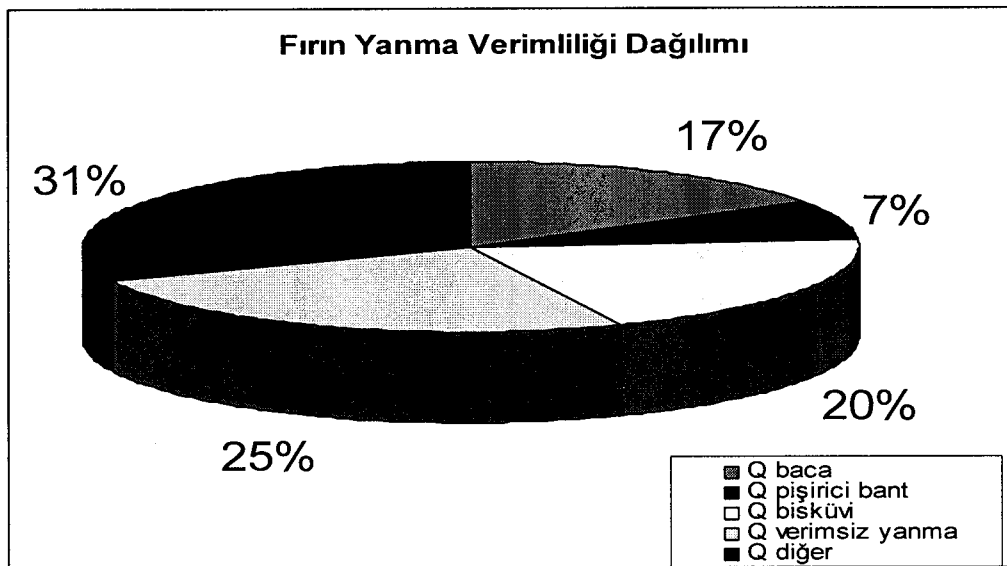
Fırındaki enerji kayıplarının dağılımının bulunması ile öncelikli olarak atak edilecek kayıplar bulunabilir. Şekil 9.1’de görüldüğü üzere pişme işlemi için kullanılan enerjinin %20’lik bir bölümü kullanılmaktadır. Diğer kayıp oranlarına bakıldığında %31 fırın kaportasından olan ısı kayıpları, %25 verimsiz yanma, %17 bacadan atılan ısı ve % 7 pişirici bant kaynaklı kayıplar sıralanmaktadır.(Olsen, 1945)

7.1. Fırın Yanma Verimliliği Dağılımı

Pişme işlemi için kullanılan doğalgazın yakılması ile oluşan enerjinin kayıp bileşenleri şu şekildedir; (Olsen, 1945)

$$Q_{\text{doğalgaz}} = Q_{\text{pişme}} + Q_{\text{pişirici bant}} + Q_{\text{baca}} + Q_{\text{verimsiz yanma}} + Q_{\text{diğer}} \quad (7.1)$$

$$2303892 = 424349 + 172990 + 386959 + 585635 + 733959$$



Şekil 7.1. Fırın yanma verimliliği dağılımı

7.2. Diğer Kayıplar

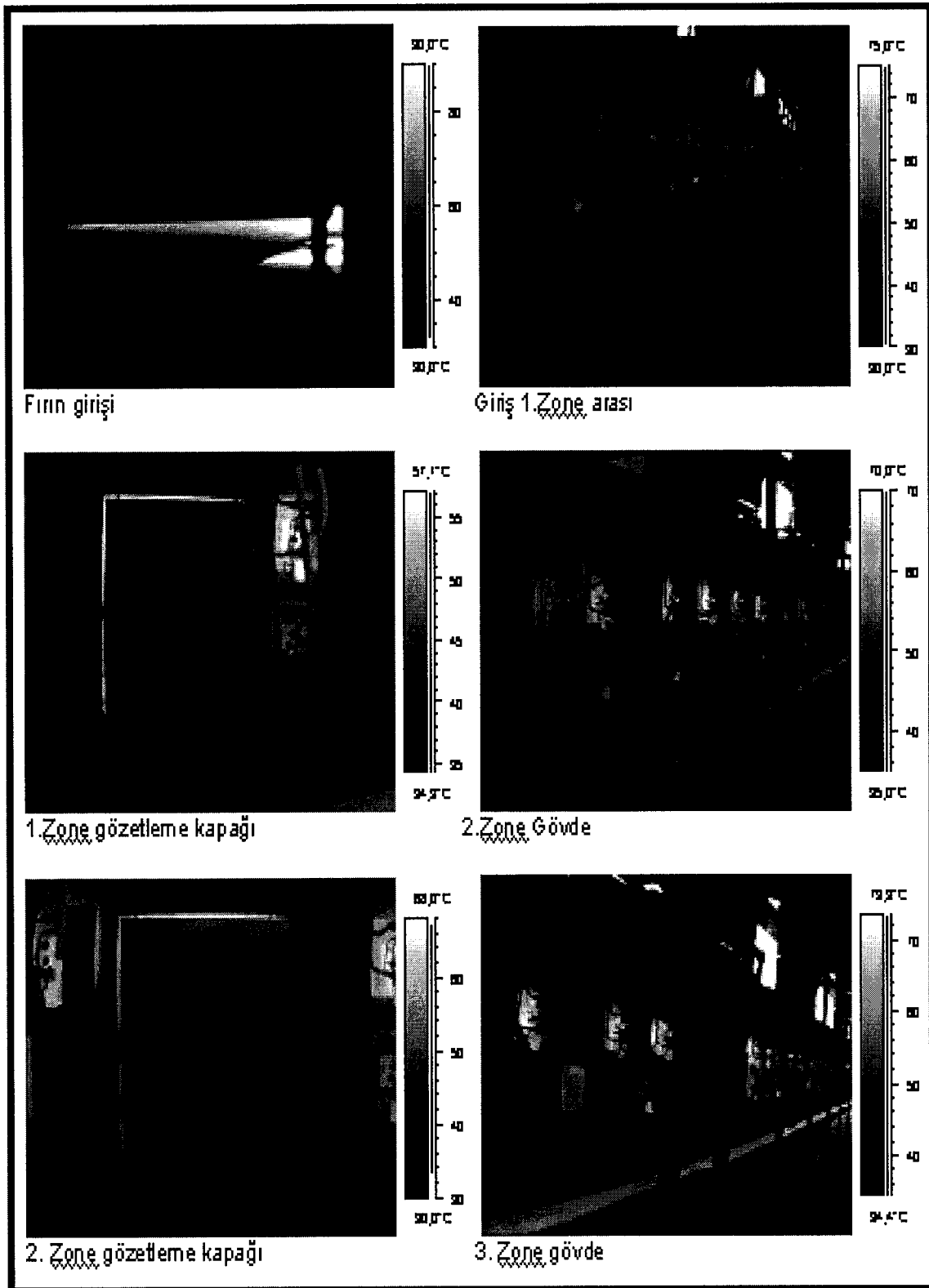
Termal kamera ile yapılan yalıtım performansının değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda elde edilen termal resimler Şekil 7.2.ve 7.3.'te verilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda fırınların ısı köprüsü görülmeyen bölgelerinde yüzey sıcaklıkları 40 °C ve üstü sıcaklıklar görülmüştür. Fırınların genel olarak makara kapağı diye not aldığımız kısımları 80 °C ve üstü sıcaklıklarda görülmüştür. Patlama kapakları ve gözetleme kapaklarında ise 100 °C ve üstü sıcaklıklar ölçülmüştür. Brülörlerin fırın üstünde bulunan kısımlarında ise 120 °C ve üstü sıcaklıklar görülmüştür. (Wilkes, 1950)

Genel olarak fırın üstünde bulunan koruma saçlarının ek yerlerinde 50 °C – 80 °C aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Fırın alt kısımlarında da yüksek sıcaklıklar gözlemlenmiştir. Fırın üst yüzeyinde bulunan baca etraflarında ısı köprüleri gözlemlenmiştir. (Wilkes, 1950)

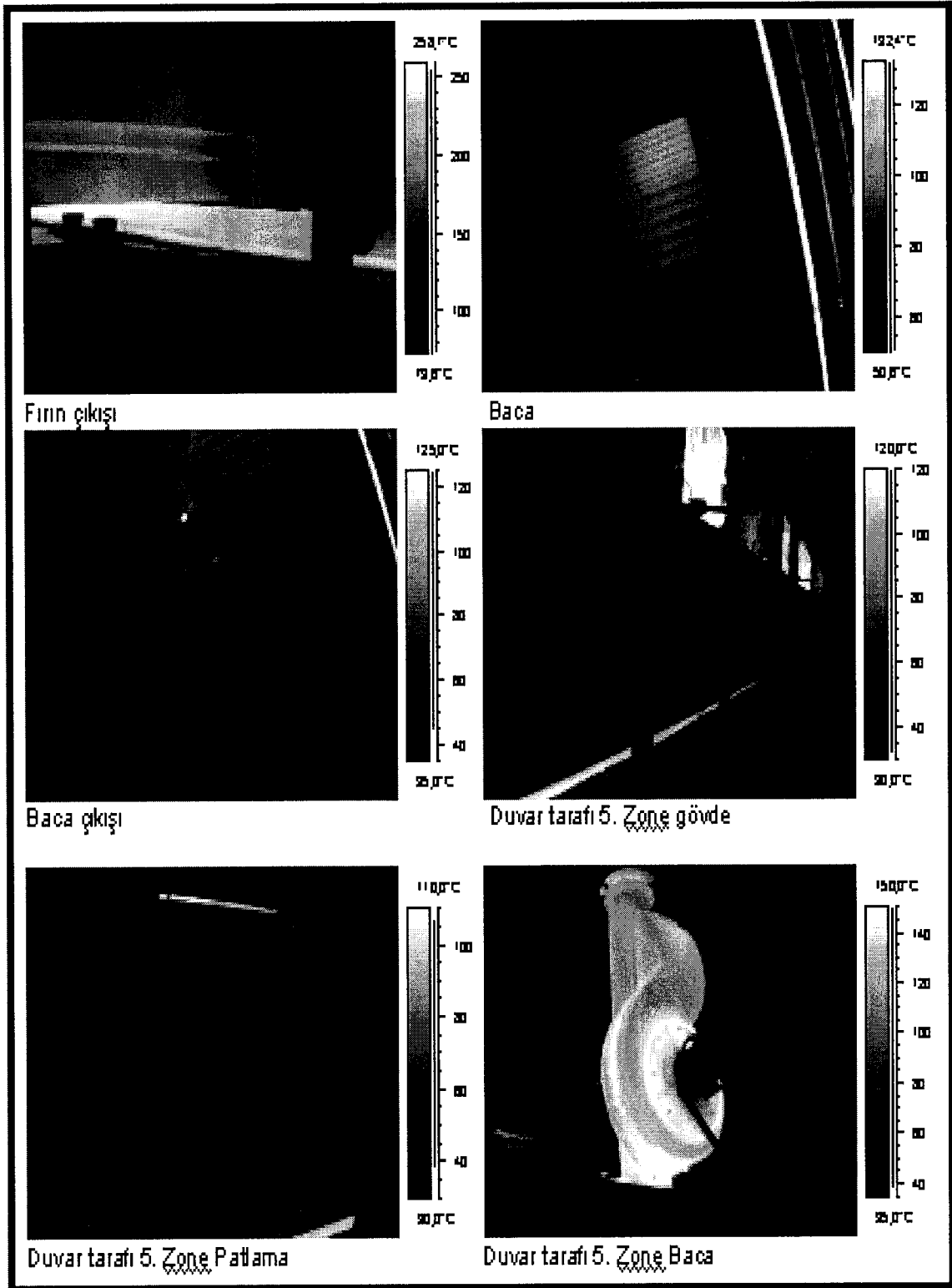
Buhar hatları yalıtımlı olduğundan hat yüzey sıcaklıkları ortam sıcaklığına yakın gözlemlenmiştir. Hatların destek noktalarında ve duvar geçişlerinde ısı köprüleri görülmektedir. (Wilkes, 1950)

Tesis içinde yapılan çekimler esnasında vanaların bir kısmının yalıtımsız olduğu tespit edilmiştir. Genel kabul olarak bir vanadan kendisine bağlı borunun (flanşlarla birlikte) yaklaşık 5–7 m'si kadar ısı kaybolmaktadır. Bu yüzden vanaların yalıtımlarının da yapılması gerekmektedir. Vanaların yalıtımlarında “vana ceket” diye adlandırılan yanmaz kumaş içerisine yerleştirilen yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. (Wilkes, 1950)

Vana ceket seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şu şekildedir; vana sıcaklığı (vana ceket tipini belirler, standart ürünler 230-250°C'ye kadar dayanır, daha yüksek sıcaklıklar mevcutsa daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı vana ceket kumaşı kullanılmalıdır), vana tipi (vana ceketinin ebatlarını belirler, pistonlu, küresel vb.), vana üreticisi (vana ceketinin ebatlarını belirler, Klinger, Duyar vb.),. Bu hususlara dikkat edilerek seçilen vana ceket uzun yıllar kullanılarak enerji tasarrufu sağlar. (Wilkes, 1950)



Şekil 7.2. Fırın bölmeleri ısı kayıpları termal görüntüleri

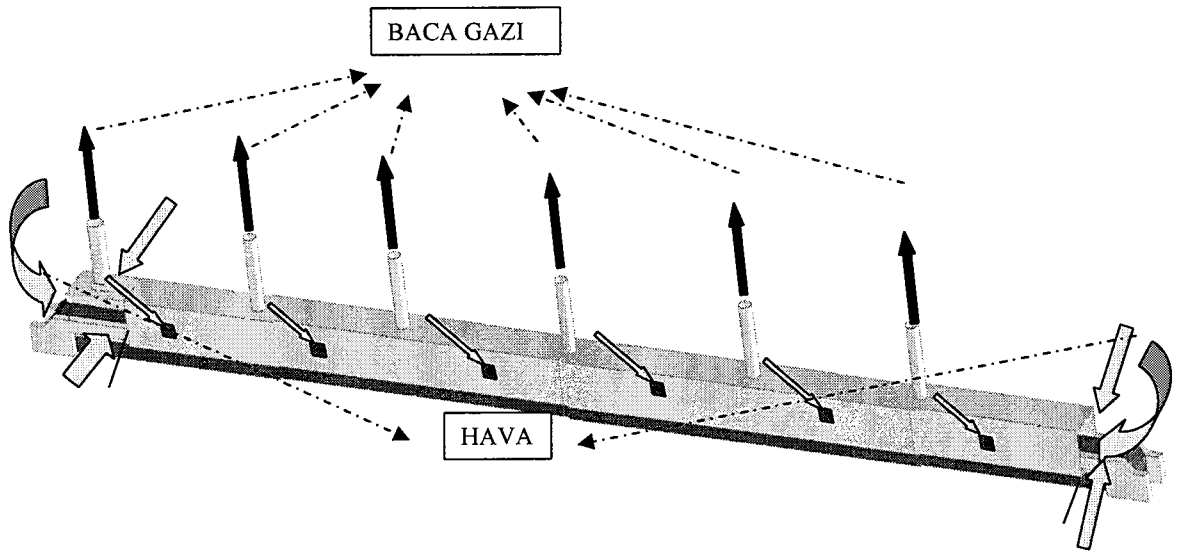


Şekil 7.3. Fırın çıkışı ve baca ısı kayıpları termal görüntüleri

7.3. Atılan Baca Gazı Miktarının Azaltılması

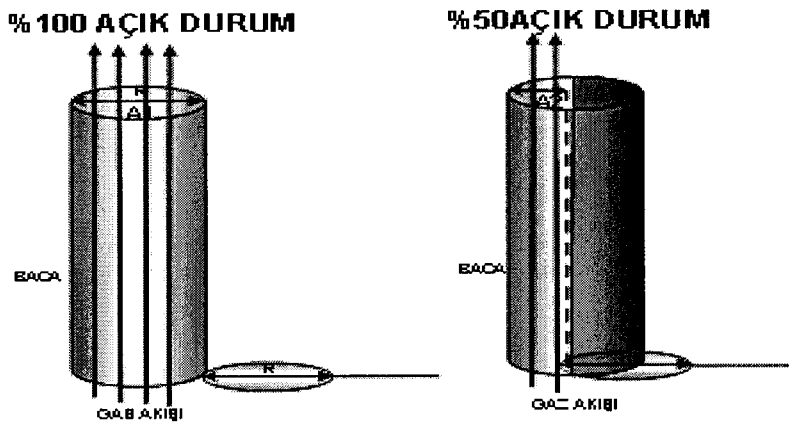
Fırın bacalarının temel görevi, brülörlerdeki yanma sonucu açığa çıkan gazların ve hamurdan çıkan su buharının ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Söz konusu gazlar ortamdan yeteri kadar uzaklaştırılmadığı takdirde, bölme içerisinde oluşacak pozitif basınç, brülörlerinizin sönmeye neden olabilir. Aksi durumda ise, baca fanları gereğinden fazla bir emiş yapar ve gazı ortamdan hızla uzaklaştırırsa, bu kez de bölme içindeki pişme için ihtiyaç duyulan sıcak hava da ortamdan uzaklaşacağından, bölme sıcaklıkları düşmeye başlar. Tüm bunlar göz önüne alındığında baca klapesinin enerji tasarrufu için önemi anlaşılabilir. Şekil 7.4'te baca klapesinin baca çapına ve buna bağlı olarak atılan gaz miktarına etkisi görülmektedir. Fırınımızda 11 adet klape pozisyonu vardır. Pozisyonlar sırasıyla "0". konum tam açık, 10. konum ise tam kapalı olacak şekildedir.

- Baca Kesit Alanı (Abaca) Bacalarda Bulunan Bariyerler Sayesinde Azaltılabilir. Bu bariyerler 1/10 Ölçeğinde Ayarlanmaktadır.



Şekil 7.4. Baca gazı atılımı

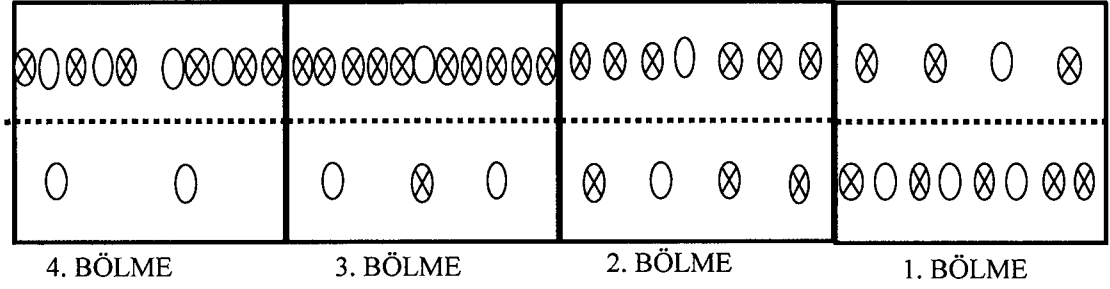
Baca kesit alanını azaltarak bacadan emilen toplam baca gazı miktarını düşürebiliriz. Bu sayede fırın dışından ihtiyaç fazlası havanın fırın içine girişini engelleyebiliriz.



Şekil 7.5. Baca konumları

7.4. Fırın Brülörleri Çalışma Dağılımı

Fırında toplam 50 adet brülör ile ürün pişirilmektedir. Fırın içerisi 4 adet bölme da 35 adet brülör yakılmaktadır. Tüm bu yanma dağılımı sonrası bölme sıcaklık dağılımı Tablo 7.1.'de verilmiştir.



Şekil 7.6. Brülör konumları

Tablo 7.1. Bölme sıcaklık dağılımı

		Brülör Sayısı	Yanan Brülör Sayısı	Baca Konumu	Bölme İçi Sıcaklık (°C)	Baca Sıcaklık (°C)	D.gaz Kullanımı (m³/h)
1. Bölme	Üst	4	3	%100	108	176,0	8,0
	Alt	8	5	AÇIK			
2. Bölme	Üst	7	6	%100	150	242,0	11,0
	Alt	4	3	AÇIK			
3. Bölme	Üst	11	10	%100	216	364,0	23,0
	Alt	3	1	AÇIK			
4. Bölme	Üst	11	7	%100	197	250,0	18,0
	Alt	2	0	AÇIK			
TOPLAM		50	35				60

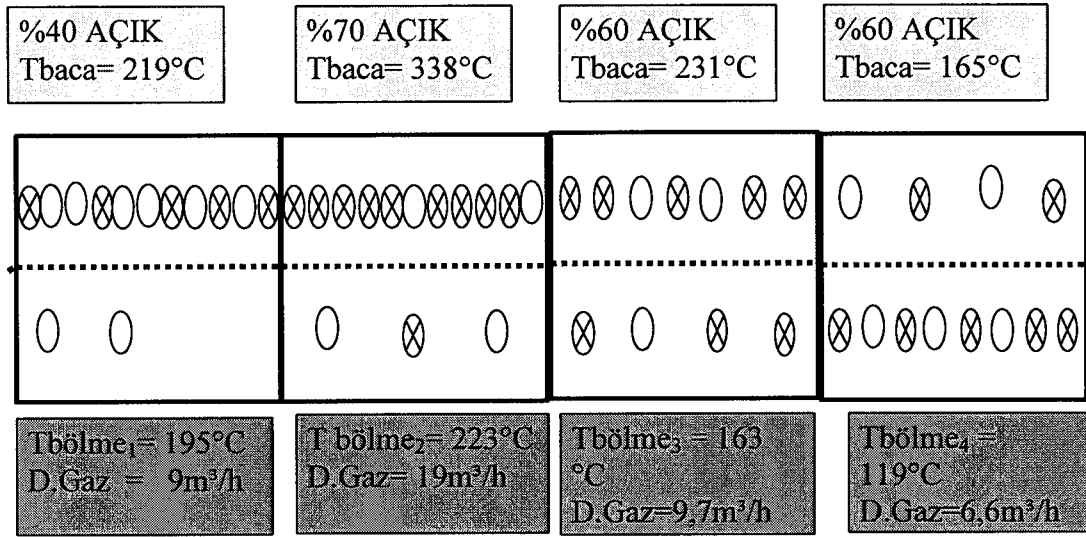
1.DENEME:

Baca klapelerinin konumları Tablo 7.2.'de verilmiştir. 1.Bölme baca klapesi %40, 2.bölme baca klapesi %40, 3.bölme baca klapesi 30, 4.Bölme baca klapesi de %60 oranlarında kapatılarak fırın içerisi ve baca sıcaklık değerleri çıkarılmıştır. Sistemden atılan atık gaz miktarının azalmasından dolayı fırın içerisi sıcaklık miktarları artmıştır.

Tablo 7.2. 1. Deneme sonucu bölme sıcaklıkları

		Brülör Sayısı	Yanan Brülör Sayısı	Baca Konumu	Bölme İçi Sıcaklık (°C)	Baca Sıcaklık (°C)	İlk Duruma Göre ΔT (°C)	D.gaz Kullanımı (m³/h)
1. Bölme	Üst	4	3	40%	137	168,0	29	8,0
	Alt	8	5	KAPALI				
2. Bölme	Üst	7	6	40%	183	241,0	33	11,0
	Alt	4	3	KAPALI				
3. Bölme	Üst	11	10	30%	248	359,0	32	23
	Alt	3	1	KAPALI				
4. Bölme	Üst	11	7	60%	239	238,0	42	18,0
	Alt	2	0	KAPALI				
TOPLAM		50	35	60				

Baca klapeleri belirli oranlarda kapatıldıktan sonra fırın içerisi sıcaklıklardaki artış sonucu her bölmeden brülör kapatılarak fırın içerisi ilk sıcaklığa düşürülmeye çalışılmıştır. Tablo 7.3.'te de ve Şekil 7.7.'de kapatılan brülörler ve fırın içerisi ve bacadan atılan gazların sıcaklık değerleri verilmiştir. Toplam 5 adet brülör kapatılmıştır. İlk sistemde 35 adet brülörün yakılması için kullanılan doğalgaz miktarı 60 m³/h değerinden 48,3 m³/h değerine düşürülerek %19'lık bir yakıt tasarrufu sağlanılmıştır.



Şekil 7.7. 1. Deneme sonucu brülör dağılımı

Tablo 7.3. 1. Deneme sonucu brülör dağılımı

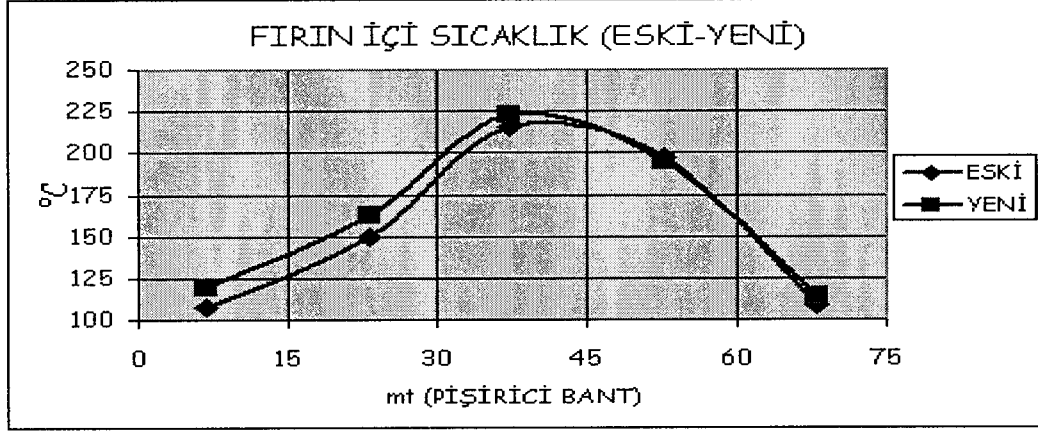
		Brülör Sayısı	Yanan Brülör Sayısı	Kapatılan Brülör Sayısı	Baca Konumu	Bölme İçi Sıcaklık (°C)	İlk Duruma Göre ΔT (°C)	D.gaz Kullanımı (m³/h)	İlk Duruma Göre D.gaz Farkı (m³/h)
1. Bölme	Üst	4	2	1	40%	119	11	6,6	-1,4
	Alt	8	5	0	KAPALI				
2. Bölme	Üst	7	5	1	40%	163	13	9,7	-1,3
	Alt	4	3	0	KAPALI				
3. Bölme	Üst	11	9	1	30%	223	7	19,0	-4,0
	Alt	3	1	0	KAPALI				
4. Bölme	Üst	11	5	2	60%	195	-2	13	5
	Alt	2	0	0	KAPALI				
TOPLAM		50	30	5				48,3	11,7

Fırından pişme sonrası alınan ürünlerin gramaj çap, ağırlık, rutubet ve renk gibi standart değerleri ile baca klapelerinin kapatılıp, 5 adet brülörün söndürülmesi sonucu alınan ürünlerin değerleri karşılaştırıldığında Tablo 9.4.'te görüldüğü üzere tüm değerler spesifikasyon aralığında bulunmaktadır.

Tablo 7.4. Bisküvi kalite göstergeleri

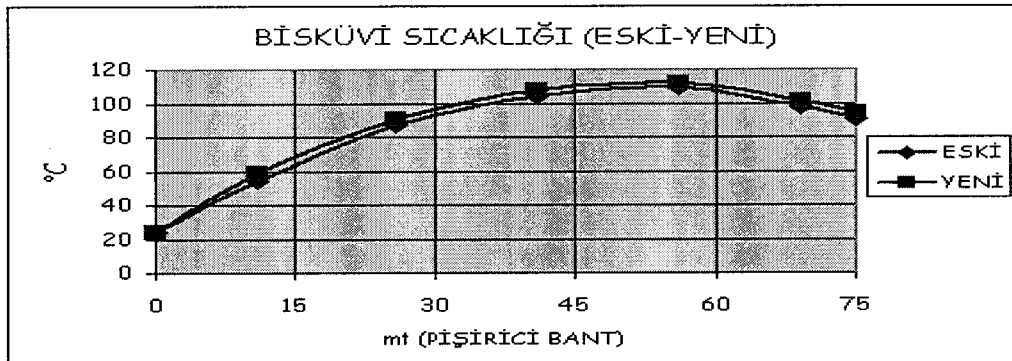
BİSKÜVİ	Birim	STD	FİİLİ	
Gramaj	gr	10,6 - 11,4	11,2	✓
Çap	mm	41 - 43	42,1	✓
Kalınlık	mm	11,7 - 12,3	11,9	✓
Rutubet	%	2,20 - 2,80	2,56	✓
Renk	-	60 - 65	62,3	✓

Fırın içerisi sıcaklığın dağılımına bakıldığında ilk üç bölmede klapelerin %100 açık olduğu konuma göre sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu son bölmede ise bu değerin 2 °C düşük olduğu görülmektedir. Fırın içi sıcaklığa ilişkin grafik, Şekil7.8.'de görülmektedir.



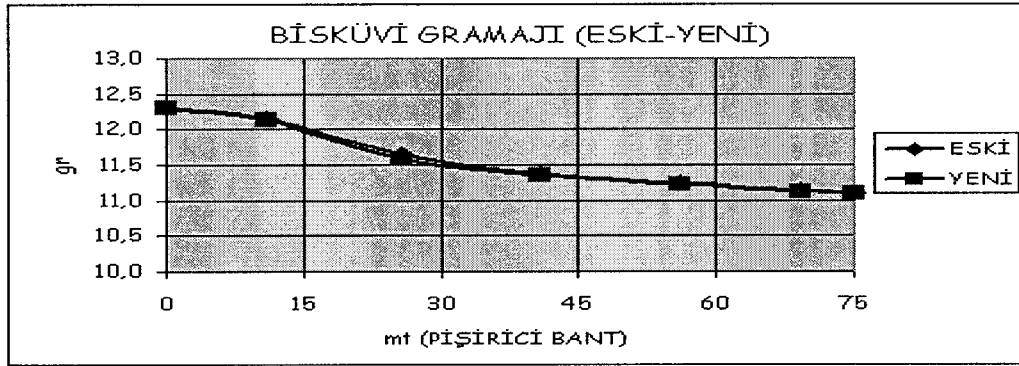
Şekil 7.8. Fırın içerisi sıcaklık dağılımı

Bisküvi sıcaklığının dağılımı her iki durumda da eş yönlü bir eğri çizmektedir. Hamurun rutubetinin alındığı ilk bölmede, pişirme işleminin gerçekleştiği ikinci ve üçüncü bölmelerde ve bisküvinin renginin aldığı son bölmede sıcaklık değerleri birbirine çok yakındır. Şekil 7.9.'da eski ve yeni duruma göre bisküvi sıcaklığı görülmektedir.



Şekil 7.9. Fırın içerisi bisküvi sıcaklığı dağılımı

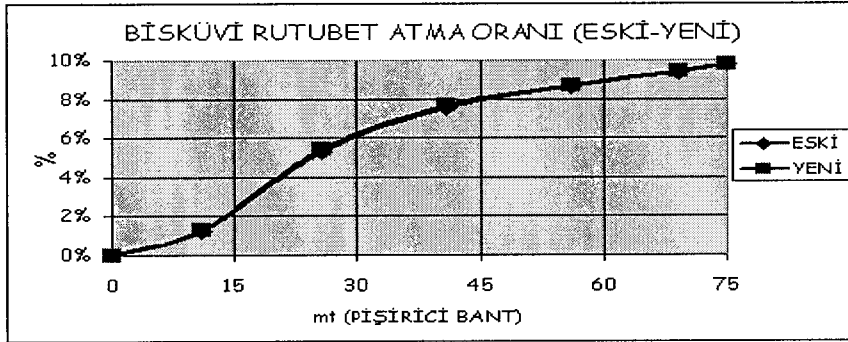
Bisküvi gramajı spesifikasyon aralığı (10,6–11,4) gr arasında değişmektedir. Bisküvi fırın girişinde hamur formunda çıkışta bisküvi formuna dönünceye kadar içerisinde bulunan rutubeti atmaktadır.



Şekil 7.10. Bisküvi gramajı dağılımı

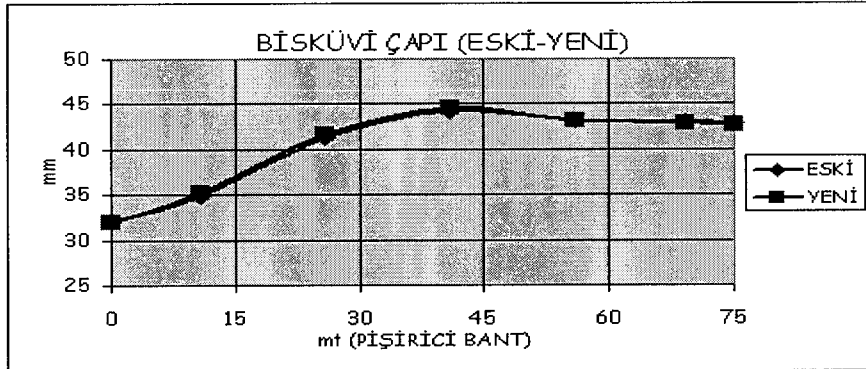
Gramaj değerleri her iki durum içinde değişmemiştir ve 11,2gr ürün çıkmıştır. Bisküvi gramajında ki farklılıklara hammadde maliyetlerini arttıracak, gramajı yüksek olan ürünlerin kabarmaları yüksek olacak, bu ürünler standart ölçülerde çalışan paketlemeli makineler ıskarta ve çöpe neden olacaktır.

Fırın içerisinde rutubet özellikle ilk iki bölmede hızlı bir şekilde atılır ve üçüncü bölmede pişme işlemi başlamaktadır. Baca klapeleri belirli oranlarda kapatılıp, beş adet brülör söndürüldüğündeki değerler ile ilk durumdaki değerler karşılaştırıldığında Şekil 7.11.'de görüldüğü gibi rutubet atma oranları çok yakındır.



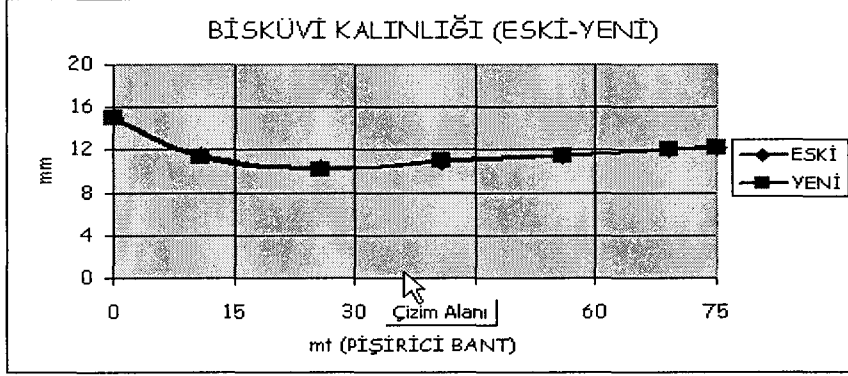
Şekil 7.11. Fırın içerisi bisküvi rutubet atma oranı

Bisküvi çap spesifikasyon aralığı 41–43 mm dir. Şekil 7.12’de görüldüğü üzere pişme sonrası çap değeri 42,1 mm ile standartlar aralığındadır. Her iki durum içinde gerçekleşen değerler eşittir



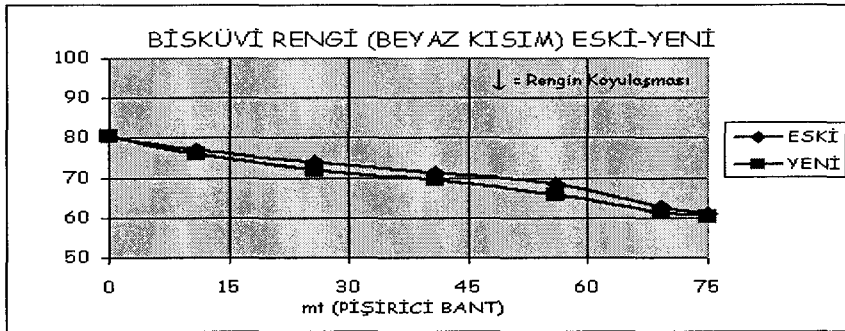
Şekil 7.12. Fırın içerisi bisküvi çap değişimi

Bisküvi kalınlığı spesifikasyon aralığı 11,7–12,3 mm’dir. Şekil 7.13’te görüldüğü üzere bu değer 11,9mm ile standartlar aralığındadır. Bisküvi kalınlığı direkt olarak paket boyunu etkiler ve kalınlığın sınır değerler üzerine çıkılması durumunda sağlıklı bir ambalajlama yapılamayacaktır.



Şekil 7.13. Bisküvi kalınlığı değişimi

Ürün rengini fırının son bölümünde almaktadır. Ürünün rengi görsel açıdan çok önemlidir. Rengi açık ürün pişmemiş, rengi kuru ürün ise aşırı pişmiş veya yanmış hissi verir. Şekil 7.14'te görüldüğü üzere renk standart değerler olan 60–65 arasında 62,1 ile gerçekleşmiştir.



Şekil 7.14. Fırın içerisi renk dağılımı

2.DENEME:

Yapılan ikinci denmede bölme sıcaklık değerleri Tablo 7.5.'te verilmiştir. 1.Bölme baca klapesi %50, 2.bölme baca klapesi %50, 3.bölme baca klapesi 40, 4.Bölme baca klapesi de %70 oranlarında kapatılarak fırın içerisi ve baca sıcaklık değerleri çıkarılmıştır.

Tablo 7.5. 2. deneme sonucu bölme sıcaklıkları

		Brülör Sayısı	Yanan Brülör Sayısı	Baca Konumu	Bölme İçi Sıcaklık (°C)	Baca Sıcaklık (°C)	İlk Duruma Göre ΔT (°C)	D.gaz Kullanımı (m³/h)
1. Bölme	Üst	4	3	50% KAPALI	147	168,0	39	8,0
	Alt	8	5					
2. Bölme	Üst	7	6	50% KAPALI	190	241,0	40	11,0
	Alt	4	3					
3. Bölme	Üst	11	10	40% KAPALI	260	359,0	44	23
	Alt	3	1					
4. Bölme	Üst	11	7	70% KAPALI	245	238,0	48	18,0
	Alt	2	0					
TOPLAM		50	35					60

Baca klapeleleri belirli oranlarda kapatıldıktan sonra fırın içerisi sıcaklıklardaki artış sonucu her bölmeden brülör kapatılarak fırın içerisi ilk sıcaklığa düşürülmeye çalışılmıştır. Tablo 7.6.'da kapatılan brülörler ve fırın içerisi ve bacadan atılan gazların sıcaklık değerleri verilmiştir. Toplam 8 adet brülör kapatılmıştır.

İlk sistemde 27 adet brülörün yakılması için kullanılan doğalgaz miktarı 60 m³/h değerinden 41,6 m³/h değerine düşürülmüştür.

Deneme sırasında baca klapelerinin 1.bölme %50,2.Bölme %50,3.Bölme %40ve 4.Bölme %70 oranında kapatılmasından sonucu olarak fırın içerisinde yanmış gazların atmosfere atılma oranı düşmüştür ve fırın içerisinde brülör alevlerine uygulanan basınç miktarı artmıştır. Bu olayın bir sonucu olarak brülörlerde sönme olaylarının başladığı gözlemlenmiştir.

Yapılan bu deneme bize fırın içerisinde atılması gereken gaz miktarının arttığı durumda yanmanın sağlıklı bir şekilde yapılamadığını ve zaman zaman brülör alevlerinin söndüğünü göstermiştir.

Tablo 7.6. 2. deneme sonucu brülör dağılımı

		Brülör Sayısı	Yanan Brülör Sayısı	Kapalı Brülör Sayısı	Baca Konumu	Bölme İçi Sıcaklık (°C)	İlk Duruma Göre ΔT (°C)	D.gaz Kullanımı (m³/h)	İlk Duruma Göre D.gaz Farkı (m³/h)
1. Bölme	Üst	4	1	2	50% kapalı	129	21	5,2	-2,8
	Alt	8	5	0					
2. Bölme	Üst	7	5	2	50% kapalı	178	28	8,4	-2,6
	Alt	4	3	0					
3. Bölme	Üst	11	8	2	40% kapalı	233	17	15,0	-8,0
	Alt	3	1	0					
4. Bölme	Üst	11	4	2	70% kapalı	205	8	13	5
	Alt	2	0	0					
TOPLAM		50	27	8				41,6	18,4

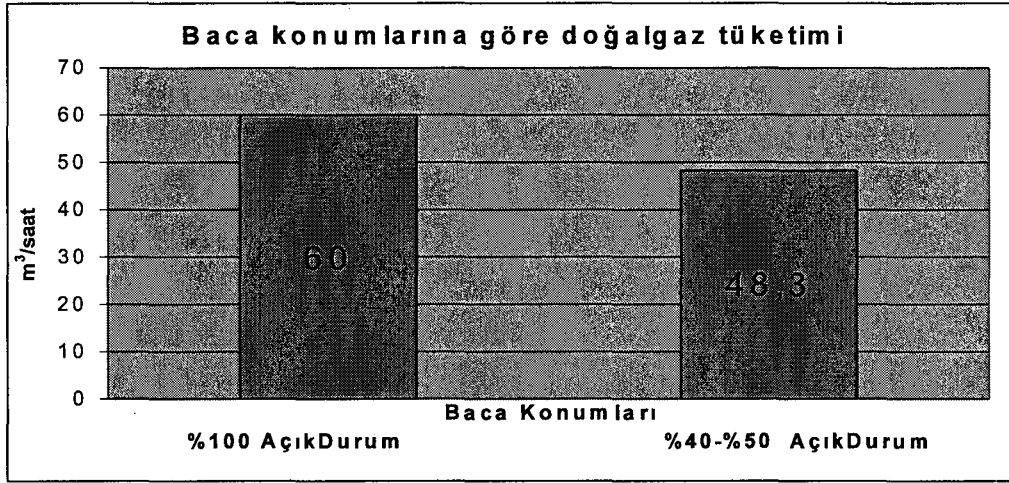
Fırından pişme sonrası alınan ürünlerin gramaj çap, ağırlık, rutubet ve renk gibi standart değerleri ile baca klapelerinin kapatılıp, 8 adet brülörün söndürülmesi sonucu alınan ürünlerin değerleri karşılaştırıldığında Tablo 7.7.'de görüldüğü üzere ürün

gramajı standartlar arasında olmasına rağmen, çap, kalınlık, rutubet ve renk değerleri standart dışında olduğu tespit edilmiştir. Fırın içerisi brülörlerdeki sönmeler nedeniyle hamur içerisindeki suyu sağlıklı atamamış bunun sonucu olarak ta bisküvi rutubetini atamamıştır. Aynı zamanda fırın çıkışı ürün rengi olması gereken değerden açık bir renkte çıkmıştır. Sonuç olarak baca klapelerinin kapatılarak brülör sayısı yapılan ilk denemede elde edilen değerleri referans alarak üretime devam edilmiştir. .

Tablo 7.7. 2. deneme sonucu bisküvi kalite parametreleri

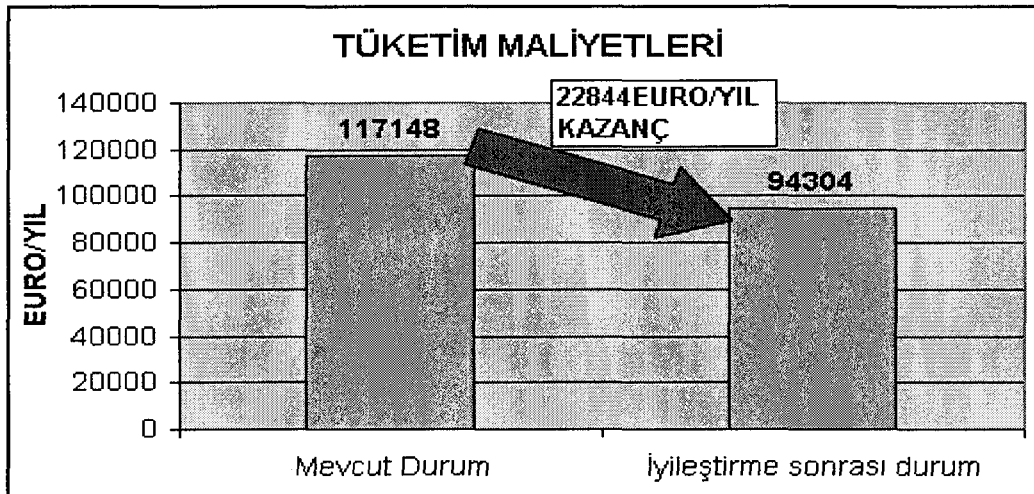
BİSKÜVİ	Birim	Standart Değer	FİİLİ	
Gramaj	gr	10,6 – 11,4	11,2	✓
Çap	mm	41 – 43	40	✗
Kalınlık	mm	11,7 – 12,3	12,5	✗
Rutubet	%	2,20 – 2,80	2,56	✗
Renk	-	60 – 65	70	✗

Yaptığımız 1.Denemenin sonuçları değerlendirildiğinde şekil 7.15 te görüldüğü gibi saatlik doğalgaz tüketim hızı 60 m³/saat değerinden 48,3 m³/saat değerine düşürülmüştür. Üretim hattının %100 dolu olduğu düşünüldüğünde kazanç daha büyük olacaktır.



Şekil 7.15. Baca konumlarına göre doğalgaz tüketimi

Fabrika genelinde deneme yaptığımız hatta elde edilebilecek kazanç Şekil 7.16'da görüldüğü üzere 22844Euro/yıl'dır. Toplam 14 adet üretim hattında benzer bir uygulamanın getirisi daha büyük olacaktır.



Şekil 7.16. Mevcut durum ve önerilen durum sonrasındaki tüketim maliyeti

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan enerji tasarrufu ile ürün başına tüketilen enerji miktarı azaltılmıştır. Enerji maliyetlerini düşürmek için aynı miktardaki mal veya hizmetleri daha az enerji veya aynı miktar enerji ile daha çok ürün üretmek için çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir.

Fırınlara verimlerinin yapılan hesaplamalar sonucunda %20 gibi oldukça düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Fırınlarda meydana gelen diğer kayıplara bakıldığında pişirici bant, bacadan atılan ısı, fırın kaportalarından kaçaklar ve yanmanın verimsizliği olarak tespit edilmiştir. Bacadan atılan ısı miktarı azaltılarak yakılan brülör sayısı düşürülerek tek bir fırında yıllık kullanılan doğalgaz maliyeti %24 azaltılmıştır.

Fırındaki enerji kayıplarının dağılımının bakıldığında %31 fırın kaportasından olan ısı kayıpları, %25 verimsiz yanma, %17 bacadan atılan ısı ve % 7 pişirici bant kaynaklı kayıplar sıralanmaktadır. Bu belirtilen noktalardaki kayıpların da azaltılması sonucu fırındaki pişme işleminin verimi artacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

American National Standards Institute ,Standard Specifications for Fuel Oils,ASTM designation,American Society for Testing and Materials,Philadelphia,1970
Rose,J.W.,Technical Data on Fuel,7.th edition,sayfa 158-191,NY,1977

Aras Haydar,Doğalgaz Yakan Sistemlerde Baca Gazından Isı Geri Kazanımı,1991
Yüksek Lisans Tezi

Benayyat İsmet, Akaryakıt Brülörleri, Yanma Olayı, sayfa 26–44,TJ755 B46,1975

Fryling,G.Combustion Engineering,NewYork,1966

Holman,J.P.Thermodynamics,2nd Edition,

Isısan Çalışmaları N:72,Doğalgaz ve Lpg tesisatı,

Karakoç H., Brülörler, Yanma ile ilgili temel kavramlar,sa15–19,TH7466 K37,2000

Lupton.H,P,IndustrialGasEngineering,sayfa33,WalterKing Std,London,England,1960

Ministry of Fuel and Power,The Efficiency Use of Fuel,sayfa 73-76,Chemical Publishing Co.,Inc.,Brooklyn,NY 1945

North Amerikan Combustion Handbook,Third Edition,Volume1,Flynn Burner Corporation

Olsen,J.C. The Efficiency Use of Fuel,Brooklyn,1945

Spiers,H.M.,Technical Data on Fuel,6th ed.,sayfa260-265,British National Commiteee,World Power Conference,London,England,1962

Turing,J.J. and Huebler,J.H,Gas –Air-Oxygen Combustion Studies,Sayfa1-28,1951

Wilkes,G.B.,Heat Insulation,John Wiley& Sons ,Inc.,NY,1950