

BİR SERAMİK FABRİKASINDAKİ
ENERJİ EKSERJİ ANALİZİ

Etem APAK

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Ekim – 2007

KABUL ve ONAY SAYFASI

Etem APAK'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “BİR SERAMİK FABRİKASINDAKİ ENERJİ EKSERJİ ANALİZİ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

Üye : Prof. Dr. Ramazan KÖSE (Danışman)

Üye : Yrd.Doç. Dr. Bayram ALAKUŞ

Üye : Yrd.Doç. Dr. Yılmaz ASLAN

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. M. Sabri ÖZYURT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BİR SERAMİK FABRİKASINDAKİ ENERJİ EKSERJİ ANALİZİ

Etem APAK

Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2007

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

ÖZET

Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer alan Türkiye için enerji tüketimi, dünya ortalamalarının üzerinde bir artış trendi izleyeceği görüntüsünü vermektedir. Ülkemizdeki enerji maliyetlerinin yüksek olması enerji kullanımı konusunda daha verimli olmamızı gerektirmektedir. Özellikle nihai enerji tüketimi içerisindeki % 35’lik paya sahip olan sanayi sektörümüzdeki yakalanacak yüksek verimli üretim şekli, firmalarımızın dünya koşullarında rekabet edebilecek seviyeye gelmesine vesile olacağı gibi, ülkemizin var olan enerji açığına da önemli katkılar sağlayacaktır.

Ülkemizde halen, çoğu kamuya ait olmak üzere, günümüz koşullarında ekonomik olma özelliğini kaybetmiş sanayi tesisleri bulunmaktadır. Bu tesisler, maliyet kriterlerine göre fazla enerji tüketen, teknolojik gelişmelere ayak uyduramamış tesisler olarak kalmışlardır. Bu çalışmada, benzer özellikler taşıyan bir seramik fabrikasındaki enerji kullanımının incelenmesi, enerji tasarruf olanaklarının belirlenmesi ve bu doğrultuda öneriler sunulması hedeflenmiştir. Bu amaçla tesiste yapılan enerji-ekserji analiz çalışması, tesisteki enerji tüketiminin yüksek olduğu noktaların belirlenmesine ve bu noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin tespitine olanak sağlamış olup enerji ve ekserji verim yüzdeleri sırasıyla % 65,3 ve % 35 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler : Enerji-Ekserji Analizi, Enerji-Ekserji Verimliliği, Seramik Sektörü

ENERGY EXERGY ANALYSES IN A CERAMIC FACTORY

Etem APAK

Mechanical Engineering, Master Thesis, 2007

Thesis Instructor: Prof. Dr. Ramazan KÖSE

SUMMARY

Energy consumption outlook of Turkey, which is categorized in the developing countries, appears to increase above the world average. The high cost of energy in our country requires us to be more efficient in energy consumption. Efficient use of energy especially in the industrial sector whose share is % 35 in the total energy consumption will not only allow our companies to compete effectively in the global market but also help to cope with the current national energy deficit.

In Turkey, there are still many uneconomical industrial premises in current conditions most of which are public utilities. These consume too much energy according to the cost criteria and cannot keep up with technological developments. In this research the energy efficiency of the machines in a ceramic factory that hasn't been able to adapt itself to current technological changes has been studied. It has been concluded that this efficiencies of energy and exergy analysis conducted for the ceramic factory are % 65,3 and % 35 respectively.

Key Words: Energy-Exergy Analysis, Energy-Exergy Efficiency, Ceramic Industry

TEŞEKKÜR

Kişiliği ile kendime örnek aldığım, gerek öğrenim hayatımda gerekse de tez çalışmam sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen çok değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ramazan KÖSE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresince yardımını esirgemeyen sayın Arş.Grv. Oğuz ARSLAN'a ve tezin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı Bozüyük Seramik Fabrika müdürlüğü ile personeline teşekkür ederim.

Ayrıca; bu çalışmamda ve hayatımdaki desteğinden dolayı eşim Belgin ve biricik kızım Berrin'e şükranlarımı sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Seramiğin Tarihçesi.....	1
1.2. Türk Sanayinde Seramiğin Önemi ve Konumu.....	2
1.3. Sektörel Bazda İnceleme.....	3
1.3.1. Seramik Kaplama Malzemeleri (SKM) Sektörü.....	3
1.3.2. Kuruluş Sayısı, Mevcut Kapasite ve İstihdam.....	4
1.3.3. SKM Sektör Sınıflandırması ve Standartları.....	6
1.3.4. Üretim ve İhracat Maliyetleri.....	8
1.3.5. Dünya ve Türkiye'deki SKM'nin Durumu.....	9
1.3.5.1. Dünya SKM üretimi.....	9
1.3.5.2. Dünya SKM tüketimi.....	10
1.3.5.3. Türkiye SKM ihracatı.....	11
1.3.5.4. Dünya ve Türkiye'deki üretim-tüketim dengesi	12
1.3.6. Üretim Yöntemi ve Aşamaları.....	14
2. ENERJİ, EKSERJİ ve TEMEL KAVRAMLAR.....	23
2.1. Genel Tanım ve Kavramlar.....	23
2.2. Ekserji Verimliliği ve Analiz Metodları.....	26
2.2.1. İş Etkisi ile Ekserji Transferi.....	28
2.2.2. Isı Etkisi ile Ekserji Transferi.....	28
2.2.3. Madde Akışı ile Ekserji Transferi.....	29

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. TÜRKİYE İÇİN ENERJİNİN ÖNEMİ, KONUMU ve SERAMİK SEKTÖRÜ ENERJİ KULLANIM ANALİZLERİ.....	32
3.1. Sanayide Enerjinin Etkin Kullanımı ve Verimlilik.....	32
3.2. Seramik Sektörü Enerji Kullanım Analizi.....	36
4. MATERYAL ve METOT.....	41
4.1. Materyal.....	41
4.1.1. Fabrika Faaliyet Alanı ve Üretim Şekli.....	41
4.1.2. Fabrika Üretim-Tüketim ve Enerji Maliyet Analizi.....	41
4.1.2.1. Seramik üretim miktarı.....	41
4.1.2.2. Fabrika genel enerji tüketimi ve maliyet analizleri.....	42
4.1.3. Veri Toplamada Kullanılan Cihazların Özellikleri.....	45
4.1.4. Analizi Yapılan Makinelerin Yapısı ve Enerji Tüketim Değerleri.....	47
4.1.4.1. Spray Drayer.....	47
4.1.4.1.1. Spray Drayer genel yapısı ve çalışma prensibi.....	47
4.1.4.1.2. Spray Drayer günlük ortalama enerji tüketim değerleri	50
4.1.4.2. Dikey Kurutucular.....	52
4.1.4.2.1. Dikey kurutucuların genel yapısı ve çalışma prensibi.....	52
4.1.4.2.2. Dikey Kurutucu günlük ortalama enerji tüketim değerleri.....	53
4.1.4.3. Fırın.....	54
4.1.4.3.1. Fırın genel yapısı ve çalışma prensibi.....	54
4.1.4.3.2. Fırın günlük ortalama enerji tüketim değerleri.....	56
4.2. Metot	57
4.2.1. Spray Drayer Ünitesi.....	59
4.2.1.1. Spray Drayer kütle denge analizi.....	59
4.2.1.2. Spray Drayer enerji analizi.....	65
4.2.1.3. Spray Drayer enerji verimliliği.....	68
4.2.1.4. Spray Drayer ekserji analizi.....	68
4.2.1.5. Spray Drayer ekserji verimliliği.....	73

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.2. Dikey Kurutucu Ünitesi.....	73
4.2.2.1. Dikey Kurutucu kütle denge analizi.....	73
4.2.2.2. Dikey Kurutucu enerji analizi.....	80
4.2.2.3. Dikey Kurutucu enerji verimliliği.....	82
4.2.2.4. Dikey Kurutucu ekserji analizi.....	82
4.2.2.5. Dikey Kurutucu ekserji verimliliği.....	87
4.2.3. Fırın Ünitesi	87
4.2.3.1. Fırın kütle denge analizi.....	87
4.2.3.2. Fırın enerji analizi.....	94
4.2.3.3. Fırın enerji verimliliği.....	96
4.2.3.4. Fırın ekserji analizi.....	96
4.2.3.5. Fırın ekserji verimliliği.....	101
4.2.4. Tüm Üretim Sisteminin Enerji Akış Takibi.....	101
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	103
5.1. Sonuçlar.....	103
5.2. Öneriler.....	109
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	110

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye SKM sektörü üretim–tüketim dengesi.....	13
1.2. Dünya ve Türkiye’deki SKM sektörü üretim–tüketim dengesi.....	13
1.3. Açık hammadde stok sahası genel görünümü.....	15
1.4. Kapalı hammadde stok sahası genel görünümü.....	16
1.5. Bilyeli çamur değirmenleri genel görünümü.....	16
1.6. Spray drayer genel görünümü.....	17
1.7. Pres genel görünümü.....	18
1.8. Sır değirmenleri genel görünümü.....	19
1.9. Sırlama hattı genel görünümü.....	20
1.10. Rulolu seramik kurutma ve pişirme fırını genel görünümü.....	20
1.11. Kalite ayırım makinesi genel görünümü.....	21
1.12. Üretim iş akış şeması.....	22
2.1. Sistem, sınır ve çevre.....	25
2.2. Sürekli akış halindeki açık bir sistem.....	26
2.3. Ekserji kullanım kayıpları.....	27
2.4. Isı ve iş etkisi ile ekserji transferi.....	29
3.1. Türkiye’de sektörlerin birincil enerji tüketimleri ve tasarruf potansiyelleri.....	36
3.2. Doğalgaz maliyeti değişim grafiği.....	38
3.3. Elektrik maliyeti değişim grafiği.....	39
3.4. Seramik sektörü doğalgaz tüketiminin, toplam sanayi tüketimi içindeki payı.....	40
4.1. Fabrikanın 2005 yılı seramik üretimi ve enerji tüketim değişimi.....	45
4.2. Spray drayer’in şematik görünümü.....	49
4.3. Dikey kurutucu genel görünümü.....	52
4.4. Tek pişirim rulolu seramik fırını, kesit-1.....	55
4.5. Tek pişirim rulolu seramik fırını, kesit-2.....	55
4.6. Spray drayer’e giren madde kütlelerinin yüzdesel analizi.....	60

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Spray drayer'den çıkan madde kütlelerinin yüzdesel analizi.....	61
4.8. Spray drayer kütle akış şeması.....	61
4.9. Spray drayer'e giren maddelerin enerji değer dağılımları.....	67
4.10. Spray drayer'den çıkan maddelerin enerji değer dağılımları.....	67
4.11. Kurutucuya giren madde kütlelerinin yüzdesel analizi.....	75
4.12. Kurutucudan çıkan madde kütlelerinin yüzdesel analizi.....	75
4.13. Dikey kurutucu kütle akış şeması.....	76
4.14. Kurutucuya giren maddelerin enerji değer dağılımları.....	81
4.15. Kurutucudan çıkan maddelerin enerji değer dağılımları.....	81
4.16. Fırına giren maddelerin yüzdesel analizi.....	89
4.17. Fırından çıkan maddelerin yüzdesel analizi.....	89
4.18. Fırın kütle akış şeması.....	90
4.19. Fırına giren maddelerin enerji değer dağılımları.....	95
4.20. Fırından çıkan maddelerin enerji değer dağılımları.....	95
4.21. Tüm üretim hattı enerji-kütle akış şeması.....	102
5.1. Ünitelerin toplam enerjileri ile ısı kayıp miktarlarının karşılaştırmalı değerleri.....	103
5.2. Ünitelere ait ısı kayıp miktarlarının yüzdesel dağılımı.....	104
5.3. Ünitelerin enerji verim değerlerinin yüzdesel dağılımı.....	104
5.4. Ünitelerin ekserji verim değerlerinin yüzdesel dağılımı.....	105
5.5. Ünitelerin toplam giren ve çıkan ekserji miktarlarının karşılaştırmalı değerleri.....	106
5.6. Ünitelere ait enerji ve ekserji verim yüzdeselerinin genel görünümü.....	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Türkiye SKM sektöründe üretim yapan kuruluşlar.....	4
1.2. Yıllar itibariyle gruplara göre kapasite dağılımı.....	5
1.3. SKM sektöründe kurulu kapasite ve kapasite kullanım oranları (KKO).....	5
1.4. SKM sektörü istihdam durumu.....	6
1.5. Seramik yer-duvar kaplamaları gümrük tarife ve istatistik pozisyon numaraları.....	6
1.6. Seramik kaplamalara yönelik genel standartlar.....	7
1.7. Seramik duvar karosu üretim girdileri.....	8
1.8. Seramik yer karosu üretim girdileri.....	9
1.9. İhracat maliyeti yüzdesel dağılımı.....	9
1.10. Dünya SKM üretimi.....	10
1.11. Dünya SKM tüketimi.....	11
1.12. Türkiye SKM ihracatının ülkelere göre dağılımı.....	12
3.1. Sektörlerinin enerji tüketim dağılımları ile üretim maliyetleri içindeki enerjinin payı.....	37
3.2. BOTAŞ doğalgaz satış fiyat tarifesi.....	38
3.3. Firmaların üretim kapasitelerine göre yakıt tüketim tür dağılımları.....	39
3.4. SKM sektörü (m ²) üretim için enerji maliyet oranları.....	40
4.1. Fabrika 2005 yılı seramik üretim miktarı.....	42
4.2. Elektrik tüketim ve maliyetinin 2005 yılı ortalama değerleri.....	43
4.3. Doğalgaz tüketim ve maliyetinin 2005 yılı ortalama değerleri.....	44
4.4. Baca gazı ölçüm yöntemleri, kullanılan cihazlar ve özellikleri.....	46
4.5. Mekanik doğalgaz sayaçlarının tip ve özellikleri.....	46
4.6. Termokupl tip ve özellikleri.....	47
4.7. Dijital termometre tip ve özellikleri.....	47
4.8. Spray drayer günlük çalışma ortalama parametre değerleri.....	51
4.9. Dikey kurutucu günlük çalışma ortalama parametre değerleri.....	54
4.10. Fırın günlük çalışma ortalama parametre değerleri.....	57
4.11. Spray drayer kütle denge analizi.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.12. Spray drayer'a giren maddelerin elementel ve kütlesele analizleri.....	62
4.13. Spray drayer'dan çıkan maddelerin elementel ve kütlesele analizleri.....	63
4.14. Spray drayer baca gazı analiz değeri.....	64
4.15. Referans çevre tanımlaması.....	64
4.16. Çamur bileşim maddeleri karışım oran ve kütle dağılımları.....	65
4.17. Spray drayer'a giren maddelerin enerji değeri.....	66
4.18. Spray drayer'dan çıkan maddelerin enerji değeri.....	66
4.19. Spray drayer'a giren maddelerin ekserji analizi.....	69
4.20. Spray drayer'dan çıkan maddelerin ekserji analizi.....	71
4.21. Dikey kurutucu kütle denge analizi.....	74
4.22. Dikey kurutucuya giren maddelerin elementel ve kütlesele analizleri.....	77
4.23. Dikey kurutucudan çıkan maddelerin elementel ve kütlesele analizleri.....	78
4.24. Dikey kurutucu baca gazı analiz değeri.....	79
4.25. Dikey kurutucuya giren karo hammaddesinin karışım oran ve kütle dağılımı.....	79
4.26. Dikey kurutucuya giren maddelerin enerji değeri.....	80
4.27. Dikey kurutucudan çıkan maddelerin enerji değeri.....	80
4.28. Dikey kurutucuya giren maddelerin ekserji analizi.....	83
4.29. Dikey kurutucudan çıkan maddelerin ekserji analizi.....	85
4.30. Fırına giren ve çıkan maddelerin kütlesele analizi.....	88
4.31. Fırın baca gazı analiz değeri.....	90
4.32. Fırına giren maddelerin elementel ve kütlesele analizleri.....	91
4.33. Fırından çıkan maddelerin elementel ve kütlesele analizleri.....	92
4.34. Fırına giren sırlı karonun kütle dağılımı ile karışım miktar ve yüzdeleri.....	93
4.35. Fırından çıkan seramiğin kütle dağılımı ile karışım miktar ve yüzdeleri.....	93
4.36. Fırına giren maddelerin enerji değeri.....	94
4.37. Fırından çıkan maddelerin enerji değeri.....	94
4.38. Fırına giren maddelerin ekserji analizi.....	97
4.39. Fırından çıkan maddelerin ekserji analizi.....	99

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Ünitelere ait toplam enerji ve ısı kayıp miktarları.....	103
5.2. Ünitelere ait toplam giren ve çıkan ekserji değerleri.....	105
5.3. Fabrika yıllık ekserji kayıplarının finansal analizi.....	107

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
e	Spesifik ekserji, kJ/mol
g	Yerçekimi ivmesi, m/s ²
h	Entalpi, kJ/kg
m	Kütle, kg
n	Moleküler kütle, mol
s	Entropi, kJ/kgK
z	Yükseklik, m
τ	Ekserjistik sıcaklık
η	Verim
C _p	Özgül ısı kapasitesi, kJ/kgK
E _{ch}	Kimyasal ekserji, kJ
E _k	Kinetik ekserji, kJ
E _{ph}	Fiziksel ekserji, kJ
E _p	Potansiyel ekserji, kJ
I	Ekserji kaybı, kJ
Q	Isı enerjisi, kJ
P	Basınç, bar
R	Özgül ısı sabiti, kJ/kmolK
T	Sıcaklık, °C, K
W	İş, kJ
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
GTİP	Gümrük Tarife ve İstatistik Pozisyon Numaraları
SKM	Seramik Kaplama Malzemeleri
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TCMB	Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası

1. GİRİŞ

1.1. Seramiğin Tarihçesi

İnorganik ham maddelerden (mineraller veya kimyasal olarak sentezlenmiş hammaddeler) oluşan, birbirine bağlı olmayan (gevşek) toz halinden, fırınlama ile kısmen kristalimsi ve kısmen camsı bir dokuya sahip olarak katı bir nesne haline dönüştürülen belirli bir şekle sahip herhangi bir ürün olarak tanımlanabilen seramik, günümüzde çok kez “keramik” deyimini ile kullanılmaktadır. Sözlüklerde keramik deyiminin, Yunanca boynuz anlamına gelen “keramos” kelimesinden türediği, sertleştirilmiş topraktan yapılmış, boynuz biçiminde bir tür vazoya bu adın verildiği belirtilmektedir. Türkiye’de yeni kurulan fabrikalar, ürünlerini Fransızca’daki söyleyiş biçimi olan “seramik (ceramique)” adıyla tanıtmışlar ve böylece Türkçe’ye kelimenin Fransızca’sı yerleşmiştir [1,2].

Eski çağlardan zamanımıza kadar günlük yaşantımızın büyük bir bölümünde karşımıza çıkan seramiğin kökenine bakıldığında, insanlık tarihinin hiçbir evresinde vazgeçilemeyen, ayrıcalıklı, doğaya saygılı ve sanatsal yönüyle de öne çıkan büyük bir buluş olduğu görülmektedir. Ana malzemesi toprak olan seramik, dünya uygarlığının belli bir evresinde insanın günlük yaşamına girmiş ve bu güne kadar kesintisiz olarak kullanılmıştır. Bugün geçmiş uygarlıkların tarihine baktığımızda dini idollerden mimari elemanlara, mutfak ve süs eşyalarından her yere kadar seramikle karşılaşmaktayız.

Anadolu uygarlık tarihi içinde çanak çömlek ya da pişmiş topraktan yapılan seramik biçimlerine göz atılacak olunursa, bu sürecin insanoğlunun gelişimini ve uygarlık tarihini ortaya koyduğu görülmektedir. Tarihin kaydettiği ilk seramik sanat eserleri Anadolu’dan çıkmıştır. İnsanoğlunun en eski yerleşim birimlerinden biri sayılan Hacılar ve Alacahöyük de bulunan seramik çanak çömlekler M.Ö. 6000 yıllarına aittir. Bu eserler, insanlık tarihinin seramik alanında ortaya koyduğu ilk sanatsal yapılarıdır [3].

Neolitik çağ ile başlayan seramik üretimi, yalnızca günlük kap ve benzeri eşyalar olarak karşımıza çıkmaz. Seramiğin dayanıklı özelliği karşısında büyülenen Anadolu insanı toprak, ateş ve suyla yalnızca kullanım eşyalarını değil, dinsel törenlerin idollerini taşıyan ana tanrıça

heykelciklerini, takı ve süs eşyalarını da biçimlendirmiş, mağara duvarlarını topraktan yaptığı kandiller ile aydınlatmış, mektuplarını tabletlere yazmış, ölülerinin küllerini topraktan kaplara saklamıştır. Seramik, dönemine ve ait olduğu uygarlığın sosyal ve kültürel yaşamına ışık tutmuştur.

Günümüzde Türk seramiği, insanlığın seramik geleneğini ve geleneği sanatla bütünleştiren Osmanlı mirasını geleceğe taşımaktadır. Bin yıllar önce seramik çanak ve çömleklerle başlayan seramik geleneği, bugün Türk seramikleri ile devam etmektedir [3].

1.2. Türk Sanayinde Seramiğin Önemi ve Konumu

Ülkemizin sürdürülebilir bir ekonomik büyümeye kavuşturulabilmesi için üretimdeki katma değerün ülkede daha fazla oluşması gerekmektedir. Çünkü yerli üretim olarak tanımlanan katma değerün yurt içinde gelişmesi, daha çok üretim ve istihdam ile toplumsal refahın da temel kaynağını oluşturmaktadır.

Seramik kaplama malzemeleri (SKM) üretiminde kullanılan hammadde, yardımcı madde ve diğer işletme malzemelerinin dış girdi oranı çok düşük seviyededir. Sektörün 800 milyon US \$ düzeyindeki ihracatı için yapılan ithalat 50 milyon US \$ civarındadır. Dolayısıyla sektör ihracatının yarattığı katma değer 750 milyon US \$ seviyesindedir. Bu bakımdan değerlendirildiğinde seramik sektörü ihracatı, diğer sektörlerin 2–3 milyar US \$ değerindeki ihracatına denk gelmektedir. Bu nedenle seramik sanayi, Türkiye de stratejik bir önem taşımaktadır.

Yeni bin yılın başlangıcında 180 milyon m² yi aşan üretimi ile kaplama malzemelerinde Avrupa'nın üçüncü büyük ülkesi konumuna gelmesi Türk seramik sektörünün gücünü ortaya koyan en önemli ispatlardan biridir. Türk firmaları bugün 60 ülkeye ürünlerini ulaştırmakta, giderek büyüyen üretim kapasitesi, modern teknolojik yatırımları ve yüksek kalite avantajları sayesinde Türk seramik sektörünün dünya pazarlarındaki rekabet gücü de artmaktadır. Dünyanın tek çatı altında entegre üretim yapan en büyük fabrikaları Türkiye'dedir. Kale Seramik 62 milyon m² kapasitesi ile seramik karo üretiminde dünyanın en büyük tesisidir.

Bu gün Türk seramik sektörünü zirveye taşıyan en önemli etkenlerden biri firmaların sürekli teknolojiye yatırım yapmaları ve en son yeniliklere uyumlu yapılarıdır. SKM sektörü toplam kapasitesinin % 60'ının 1990 yılından sonra kurulmuş olması ve 1990 yılından önce faaliyete geçen firmaların son 15 yıl içinde teknolojik yatırımlarını yenilemiş olması nedeniyle, Türk seramik firmaları teknolojik açıdan rakiplerine göre üstün bir durumdadır. 1980'li yıllardan itibaren cirosunun belirli bir oranını araştırma geliştirme faaliyetlerine ayıran Türk seramik firmaları, daha o yıllarda geleceği kurmanın yollarını aramıştır. Bu bakış açısı, Türk seramik sektörünü yıllar içinde araştırma geliştirme faaliyetlerinde öncü konuma taşımıştır [3].

1.3. Sektörel Bazda İnceleme

Seramik üretim sektörünü; Seramik Kaplama Malzemeleri Sanayi, Seramik Sağlık Gereçleri Sanayi ve Teknik Seramik Sanayi olarak üç kısma ayırmak mümkündür. Bu tez çalışması, seramik kaplama malzemeleri sektöründe üretim yapan bir seramik fabrikasında yapılmıştır.

1.3.1. Seramik Kaplama Malzemeleri (SKM) Sektörü

SKM yer ve duvar kaplamasında kullanılan, seramikten yapılmış kaplama malzemeleridir. Türkiye'de çoğunlukla seramik yer karolarına "seramik karo" duvar karolarına "fayans" denilmektedir [4].

SKM sektörü ülkemize istihdam ve döviz girdisi sağlayan, ülke ekonomisinde etkin ve önemli yeri olan bir sanayi dalıdır. Büyük oranda yerli girdiler kullanılan sektör, yıllık 1 milyar US \$'lık üretim değeri, 400 milyon US \$'lık ihracatı ile, ülkemizin rekabet gücü en yüksek sektörlerinden biridir. Ülkemiz SKM üretimi ve ihracatı bakımından başta Avrupa olmak üzere dünya genelinde önemli bir konuma sahiptir. Özellikle 1990'lı yıllardan itibaren hızla gelişen ve büyüyen Türk seramik sektörü, bugün 100'den fazla ülkeye ihracat yapmaktadır. Ülkemiz SKM üretiminde Avrupa'da üçüncü, dünyada ise yedinci ülkedir. İhracatta ise ülkemiz Avrupa'da İtalya ve İspanya'dan sonra üçüncü, dünyada ise beşinci ülke konumundadır [5].

1.3.2. Kuruluş Sayısı, Mevcut Kapasite ve İstihdam

SKM sektöründe faaliyet gösteren kuruluşların üretim yerleri, yabancı sermaye payları, işçi sayıları ve kapasiteleri Çizelge 1.1'de verilmiştir. Çizelge de yer alan firmaları kapasitelerine göre üç ayrı grupta incelemek mümkündür. Buna göre bir sınıflandırma yapıldığında; 15 milyon m²'den daha fazla kapasiteye sahip firmalar A grubu, 7,5 ile 15 milyon m² arasında kapasiteye sahip olanlar B grubu ve 7,5 milyon m²'den daha düşük kapasiteye sahip olan firmalar ise C grubu olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 1.1 Türkiye SKM sektöründe üretim yapan kuruluşlar [5].

No	Kuruluş adı	Yeri	Yabancı sermaye payı (%)	Kapasite (10 ⁶ m ²)		İşçi sayısı
				2004	2005	
1	Kale Seramik	Çanakkale	0	62	62	2300
2	Toprak Seramik	Eskişehir OSB	0	28	28	1415
3	Ege Seramik	İzmir	0	22,5	24,5	1230
4	Graniser	Akhisar OSB	0	14,5	23	1200
5	Eczacıbaşı	Bozüyük	1,5	16,8	21	1200
6	Yurtbay Seramik	Eskişehir	0	13,3	14,6	635
7	Kütahya Seramik	Kütahya	0	14,5	14,5	550
8	Tamsa Seramik	İzmir	0	14,5	14,5	480
9	Söğüt Seramik	Söğüt	0	14	14	510
10	Termal Seramik	Söğüt	0	7,8	13	475
11	Hitit Seramik	Uşak OSB	0	9	12	410
12	Seramiksın	Turgutlu OSB	0	11,5	11,5	390
13	Umpaş Seramik	Uşak OSB	0	8	10,5	290
14	Ercan Seramik	Bilecik	0	8,5	9,4	425
15	Yüksel Seramik	Aydın	0	3,5	6,5	320
16	Efes Seramik	Eskişehir	0	4	4	275
17	Akgün Seramik	Bilecik	0	4	4	210
18	Anatolia Seramik	Söğüt	0	3,5	3,6	245
19	Uşak Seramik	Uşak	0	3,4	3,6	205
20	Seranit	Bilecik	0	2	2	110
21	Bozüyük Seramik	Bozüyük	0	1,8	1,8	120
22	Altın Çini	Kütahya	0	1,5	1,7	85
23	Pera Seramik	Çanakkale	0	1,5	1,5	110
24	Granist	Eskişehir	0	1,5	1,5	165

2005 yılındaki ülke toplam üretiminin % 46'sını A grubu firmalar, % 29,4'ünü B grubu firmalar ve % 24,3'ünü ise C grubu firmalar teşkil etmektedir. Tanımlanan bu grupların yıllar itibariyle sektörün toplam kapasitesinden aldığı pay ise Çizelge 1.2'de görülebilir.

Çizelge 1.2 Yıllar itibariyle gruplara göre kapasite dağılımı [5].

Gruplar	Yıllar					
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
A grubu	53,9	51,2	49,6	49,8	47,6	46,3
B grubu	30,1	32,2	31,8	31,4	29,9	29,4
C grubu	16	16,5	18,7	18,8	22,5	24,3

Türk SKM üreticilerinin kapasite değerleri diğer ülke firmalarının çok üzerinde olup; İtalya ve İspanya'daki SKM üretimi yapan firmaların ortalama kapasiteleri 2–3 milyon m² iken, Türkiye'de ortalama kapasite 12 milyon m² düzeyindedir.

Çizelge 1.3 SKM sektöründe kurulu kapasite ve kapasite kullanım oranları (KKO) [5].

	Yıllar						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Kapasite(10 ⁶ m ²)	210	226,6	244,4	255,1	258,1	271,6	302,7
KKO	% 71	% 77	% 62	% 64	% 73	% 80	% 82

Çizelge 1.3'de SKM sektöründeki kurulu kapasite ve kapasite kullanım oranının yıllar itibariyle değişimi görülmektedir [4].

SKM sektörünün istihdam verileri Çizelge 1.4'de verilmiştir. Sektöre hizmet veren yan sektörler ile birlikte toplam istihdam 50.000 kişi düzeyindedir [4].

Çizelge 1.4 SKM sektörü istihdam durumu [4].

İşgücü	Yıllar					
	1995	1996	1997	1998	1999	2005
Yüksek (teknik + idari)	400	500	600	700	700	945
Orta (teknik + memur)	900	1000	1200	1300	1300	1775
İşçi (düz + kalifiye)	5200	5700	7600	7900	8000	10.800
Toplam (kişi)	6500	7300	9400	9900	10.000	13.500

1.3.3. SKM Sektör Sınıflandırması ve Standartları

Seramik yer ve duvar kaplamaları sektörü ile ilgili olarak Gümrük Tarife ve İstatistik Pozisyon Numaraları (GTİP) cetvelinde iki ana grup mevcuttur. Söz konusu iki katagoriye ilişkin ayrıntılı sınıflama Çizelge 1.5’de, seramik kaplamalara yönelik standartlar ise Çizelge 1.6’da verilmiştir [5].

Çizelge 1.5 Seramik yer-duvar kaplamaları gümrük tarife ve istatistik pozisyon numaraları [5].

GTİP No	Açıklama
69.07	Cilasız veya sırsız seramikten döşeme veya kaplama karolar ve kaldırım taşları
69.07.10.00.00	Karolar, küpler, vb. eşya
69.07.10.00.11	Tek renkli karolar
69.07.10.00.19	Diğerleri
69.07.10.00.90	Diğerleri
69.07.90	Diğerleri
69.08	Cilalı veya sırlı seramikten döşeme veya kaplama karolar ve kaldırım taşları, cilalı veya sırlı mozaik küpler vb.
69.08.10	Karolar, küpler vb. eşya
69.08.10.10.11	Tek renkli karolar
69.08.10.10.19	Diğerleri
69.08.10.10.90	Diğerleri
69.08.90	Diğerleri

Çizelge 1.6 Seramik kaplamalara yönelik genel standartlar [5].

Açıklama	TS No
Seramik yer ve duvar karoları-tarifleri, sınıflandırma, özellikler ve işaretleme	TS-EN 87
Seramik karolar mohs yüzey sertliğinin çizerek tayini	TS-EN 101
Seramik karolar – kalıptan çekme – düşük su emmeli (E %3) A I grb.	TS-EN 121
Seramik karolar – sırlı karolar – yüzey aşınmasına dayanım tayini	TS-EN 154
Seramik karolar – toz halinde preslenmiş – (E %10) B III grb.	TS-EN 159
Seramik karolar – toz halinde preslenmiş – düşük su emmeli (E %3) B I grb.	TS-EN 176
Seramik karolar – toz halinde preslenmiş – %3 E %6 B IIa grb.	TS-EN 177
Seramik karolar – toz halinde preslenmiş – %6 E %10 B IIb grb.	TS-EN 178
Seramik karolar – kalıptan çekme karolar – E %3	TS-EN 186-1
Seramik karolar – kalıptan çekme – %6 < E %10 A IIb grb. 1. kısım	TS-EN 187-1
Seramik karolar – kalıptan çekme karolar – %6 < E %10 A IIb grb. 2. kısım	TS-EN 187-2
Seramik karolar – kalıptan çekme – E < %10 A III grb.	TS-EN 188
Seramik karolar – toz halinde preslenmiş – E > %10 i	TS-EN 202

ISO 13006:1998 Uluslar Arası Standardına ve TS EN 87:1995 Türk ve Avrupa Standartlarına göre seramik karolar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır. Şekillendirme metoduna göre;

- Kalıptan çekme (extruded) (A)
- Kuru presleme (B)
- Diğer işlemlerle (C)

şeklinde sınıflandırılabilir. Türkiye’de üretilen seramik karolar “kuru presleme (B)” sınıfına girmektedir. Sırlı yer karoları su emme oranına göre (E) çoğunlukla (I b) ve az miktarda (II a) grubunda üretilmekte olup (II b) grubunda ise üretim yapılmamaktadır. Bunların dışında üretilen bütün duvar kerosu ürünleri ise III. gruba girmektedir [4]. Konu ile ilgili açıklayıcı bilgi aşağıda verilmektedir.

Su emme oranına göre (E);

- $E \leq \%0,5$ (Grup I a)
- $\%0,5 < E \leq \%3$ (Grup I b)
- $\%3 \leq E < \%6$ (Grup II a)
- $\%6 \leq E < \%10$ (Grup II b)
- $E > \%10$ (Grup III)

1.3.4. Üretim ve İhracat Maliyetleri

Birim üretim girdileri ile ilgili firmalardan alınan bilgiler konsolide edilerek Çizelge 1.7 ve Çizelge 1.8 oluşturulmuştur. Aralık 2005 tarihi itibarıyla seramik duvar karosu ortalama üretim maliyeti amortisman hariç 4 YTL'dir. Seramik yer karosu ortalama üretim maliyeti ise amortisman hariç 4,25 YTL'dir.

Çizelge 1.7 Seramik duvar karosu üretim girdileri (1m² için) [5].

Sıra	Girdiler	Toplam (YTL)	Oran (%)
1	Hammadde (kg)	0,36	9
2	Yardımcı maddeler	0,52	13
3	Elektrik (kWh)	0,36	9
4	Doğalgaz (m ³)	0,8	20
5	İşçilik (saat)	0,8	20
6	Diğer + nakliye + bakım onarım	1,16	29
	Toplam	4	100

Çizelge 1.8 Seramik yer karosu üretim girdileri (1m² için) [5].

Sıra	Girdiler	Toplam (YTL)	Oran (%)
1	Hammadde (kg)	0,46	11
2	Yardımcı maddeler	0,63	15
3	Elektrik (kWh)	0,42	10
4	Doğalgaz (m ³)	0,89	21
5	İşçilik (saat)	0,85	20
6	Diğer + nakliye + bakım onarım	0,97	23
	Toplam	4,25	100

Sektörün ihracat maliyetinin % 86,44'ünü ürün maliyeti, % 8,44'ünü ise pazarlama maliyeti oluşturmaktadır. Çizelge 1.9'da ihracat maliyeti dağılımı görülmektedir [5].

Çizelge 1.9 İhracat maliyeti yüzdesel dağılımı [5].

Ana girdiler	Pay (%)
Ürün	86,44
Pazarlama	8,44
Liman giderleri	2,14
Diğer giderler	3,08
İhracat maliyeti toplam	100

1.3.5. Dünya ve Türkiye'deki SKM'nin Durumu

1.3.5.1. Dünya SKM Üretimi

Dünya SKM üretimi 2000–2004 yılları arasında sürekli bir artış kaydetmiştir. Bu dönemdeki yıllık ortalama büyüme % 4,6 düzeyindedir. 2004 yılında dünya üretimi, bir önceki yıla göre % 6,6 oranında artarak 6560 milyon m² olarak gerçekleşmiştir. Bu artış önemli oranda Çin, Brezilya, Hindistan, Tayland ve Türkiye'deki üretim büyümesinden kaynaklanmıştır. Mevcut değerler Çizelge 1.10'da verilmiştir [5].

Çizelge 1.10 Dünya SKM üretimi [5].

Ülkeler	Yıllar					Pay (%)
	2000	2001	2002	2003	2004	
Çin	1807	1810	1868	2000	2200	33,5
İspanya	621	638	651	624	635	9,7
İtalya	632	638	606	603	589	9,0
Brezilya	453	473	508	534	566	8,6
Hindistan	0	0	215	240	270	4,1
Endonezya	200	220	230	260	260	4,0
Türkiye	175	150	162	189	216	3,3
Meksika	138	167	159	171	177	2,7
Tayland	56	63	100	115	135	2,1
İran	71	78	95	120	123	1,9
Vietnam	55	95	105	110	110	1,7
Polonya	35	46	49	66	108	1,6
Rusya	30	49	62	82	104	1,6
Mısır	50	65	83	83	83	1,3
Malezya	58	67	72	72	73	1,1
Portekiz	64	66	69	70	71	1,1
A.B.D	60	55	60	61	64	1,0
B.A.E.	40	40	48	57	60	0,9
Almanya	62	57	54	58	59	0,9
Tayvan	68	47	40	46	52	0,8
G. Kore	48	50	56	56	49	0,7
Japonya	54	53	51	46	45	0,7
Fransa	49	44	41	40	41	0,6
Fas	30	35	35	40	40	0,6
Arjantin	27	27	30	36	38	0,6
Diğer	339	359	323	371	392	6
Toplam (10 ⁶ m ²)	5320	5500	5770	6150	6560	100

1.3.5.2. Dünya SKM Tüketimi

Dünya SKM tüketimi, üretimdeki artışa paralel olarak son 5 yıl içinde yıllık ortalama % 5,9 oranında artış kaydetmiştir. Dünya tüketimi 2004 yılında 6150 milyon m² olarak gerçekleşmiştir. 2000–2004 yılları arasındaki SKM tüketim miktarı Çizelge 1.11’de görülmektedir [5].

Çizelge 1.11 Dünya SKM tüketimi [5].

Ülkeler	Yıllar					Pay (%)
	2000	2001	2002	2003	2004	
Çin	1400	1500	1600	1700	1850	30,1
Brezilya	395	417	456	421	449	7,3
İspanya	290	312	327	332	361	5,9
A.B.D.	212	211	245	265	292	4,7
Hindistan	0	0	210	235	270	4,4
İtalya	200	192	183	187	192	3,1
Meksika	100	129	141	146	151	2,5
Endonezya	164	168	110	130	140	2,3
Almanya	184	164	144	147	136	2,2
Fransa	122	125	124	125	130	2,1
Rusya	40	60	79	105	130	2,1
Türkiye	114	94	90	103	123	2,0
Tayland	54	60	65	105	115	1,9
Vietnam	55	95	98	103	103	1,7
İran	65	72	85	87	90	1,5
G. Kore	49	59	83	97	90	1,5
Polonya	67	71	62	75	85	1,4
S. Arabistan	40	60	74	74	75	1,2
Mısır	43	50	66	66	70	1,1
İngiltere	53	62	56	61	70	1,1
Portekiz	68	60	61	56	54	0,9
Japonya	57	56	54	49	47	0,8
Avustralya	28	29	36	38	46	0,7
Yunanistan	35	40	42	43	44	0,7
Malezya	48	51	45	45	44	0,7
Tayvan	77	55	43	48	42	0,7
Diğer	677	849	847	864	951	89,6
Toplam (10 ⁶ m ²)	4735	5142	5426	5724	6150	100

1.3.5.3. Türkiye SKM İhracatı

Türkiye'nin SKM ihracatı 1999 yılından itibaren düzenli olarak artmıştır. 1999 yılında 50,6 milyon m² olan ihracat, 2004 yılına gelindiğinde 94,28 milyon m²'ye ulaşmıştır. İhracat değeri ise 200,3 milyon US \$'den 389,5 milyon US \$'a gelmiştir. İhracat fiyatı ise 1999 yılında 3,96 \$/m² iken, 2002 yılında 3,40 \$/m² ye kadar düşmüştür. 2003–2005 yılları arasında fiyatlar

ortalama 3,80 \$/m² olarak gerçekleşmiş, yaşanan bu artışın temel nedenini ise €/ \$ paritesinin “Euro” lehinde yükselmesi sağlamıştır. Çünkü sektör ihracatının yaklaşık % 50’sini Avrupa Birliği ülkelere yapmaktadır. Yapılan ihracatın (2005 yılı Ocak–Eylül dönemi) ülkelere göre dağılımı Çizelge 1.12’de görülmektedir [5].

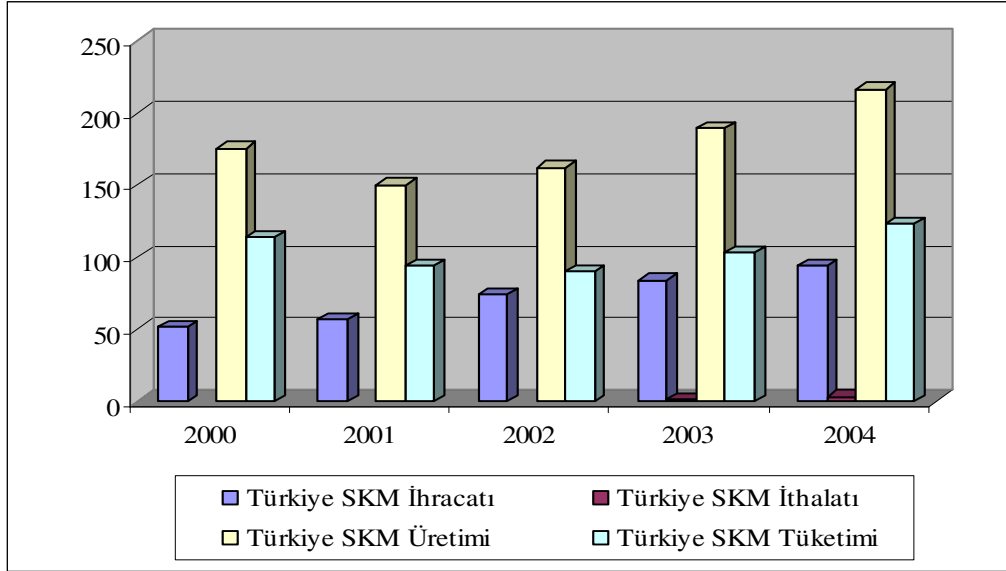
Çizelge 1.12 Türkiye SKM ihracatının ülkelere göre dağılımı [5].

Ülkeler	Yıllar		
	2003	2004	2005
A.B.D.	10,24	11,47	7,72
İngiltere	9,89	13,93	7,79
Almanya	9,32	8,61	5,79
İsrail	9,66	9,98	7,55
Kanada	9,42	8,45	6,42
Fransa	5,21	6,24	4,68
Yunanistan	4,42	5,06	3,52
Rusya	1,75	1,55	1,29
Diğer	27,526	28,94	22,18
Toplam (10 ⁶ m ²)	84,48	94,28	66,98

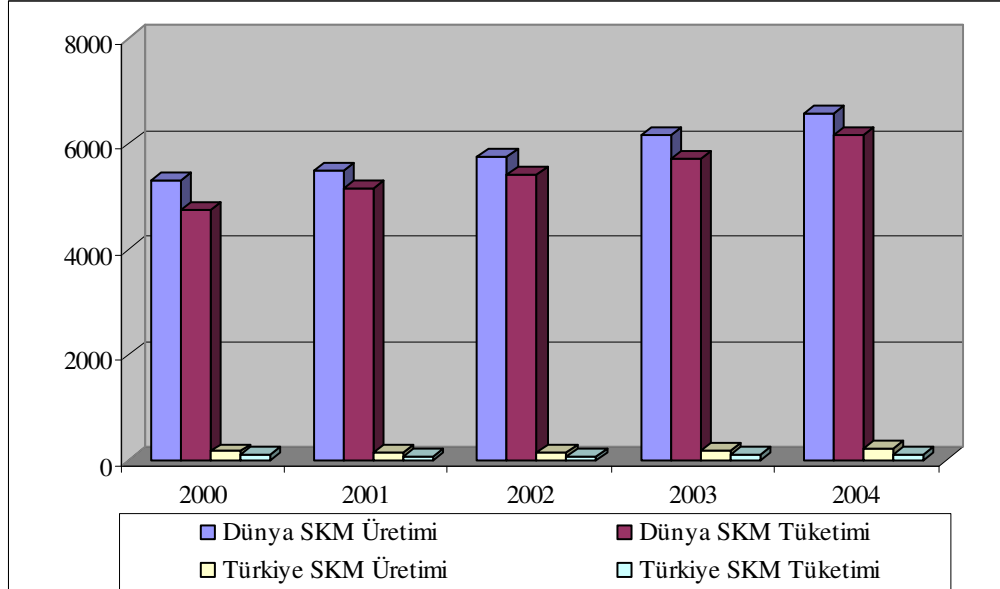
1.3.5.4. Dünya ve Türkiye’deki Üretim-Tüketim Dengesi

Dünya SKM üretimi 2000 yılında 5320 milyon m² iken 2004 yılına gelindiğinde 6560 milyon m²’ye ulaşırken, tüketimi 4735 milyon m²’den 6150 milyon m²’ye çıkmıştır. Türkiye SKM ihracatı 2000’li yıllarda 52 milyon m² iken; 2004 yılına gelindiğinde 94 milyon m²’ye; üretimi 175 milyon m²’den 216 milyon m²’ye ve tüketimi 114 milyon m²’den 123 milyon m²’ye ulaşmıştır.

Dünya ve Türkiye’deki SKM üretim-tüketim dengesinin yıllar itibariyle değişimi (milyon m²) Şekil 1.1 ve 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye SKM sektörü üretim-tüketim dengesi [5].



Şekil 1.2 Dünya ve Türkiye'deki SKM sektörü üretim-tüketim dengesi [5].

1.3.6. Üretim Yöntemi ve Aşamaları

SKM üretiminde kil, kaolen, feldspat, kuvars gibi ana hammaddeler ile frit, zirkon, korund, çinko oksit talk, volastonit, renk verici metal oksitler ve seramik boyaları gibi maddeler kullanılmaktadır. Bunlardan ana hammaddeler Türkiye’de bulunmaktadır. Seramik üreticisi firmalar hammadde ihtiyaçlarını çoğunlukla kendi maden ocaklarından sağlamaktadır. Ukrayna’dan kil ithalatı yapılmakta, ayrıca yardımcı hammaddelerden zirkon, korund, bazı seramik boyalar, oksitler ve kimyasal maddeler diğer ülkelerden ithal edilmektedir [4,5].

Seramik üretim aşamaları kısımlara göre aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- 1- Tek Pişirim Yer Karosu
- 2- Çift Pişirim Yer ve Duvar Karosu

- 1- Tek Pişirim Yer Karosu
 - A- Hammadde stoklanması
 - B- Harman hazırlama
 - C- Masse hazırlama
 - D- Şekillendirme (presleme)
 - E- Frit ve sır hazırlama
 - F- Kurutma
 - G- Sırlama ve dekorlama
 - H- Pişirme
 - İ- Kalite ayırma
 - J- Ambalajlama

- 2- Çift Pişirim Yer ve Duvar Karosu
 - A- Hammadde stoklanması
 - B- Harman hazırlama
 - C- Masse hazırlama
 - D- Şekillendirme (presleme)
 - E- Frit ve sır hazırlama

- F- Kurutma
- G- 1. Pişirme (bisküvi pişirme)
- H- Sırlama ve dekorlama
- İ- 2. Pişirme (glazür pişirme)
- J- Kalite ayırma
- K- Ambalajlama

A- Hammadde Stoklama

Ocaklardan çıkarılıp fabrika sahasına getirilen hammaddeler fabrikaya ait açık stok sahasında stoklanır. Bu hammaddeler, sert ve yumuşak olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Yumuşak hammaddeler, çeneli kırıcılardan geçirilerek harmanlanır. Buradan fabrika kapalı silolarına kullanılmak üzere depolanırlar. Sert hammaddeler ise birinci kırıcılardan sonra ikinci kırıcılarda ince olarak kırılır ve kapalı silolara depolanırlar. Şekil 1.3’de fabrika açık stok sahası, Şekil 1.4’de kapalı stok sahası görülmektedir.



Şekil 1.3 Açık hammadde stok sahası genel görünümü



Şekil 1.4 Kapalı hammadde stok sahası genel görünümü

B- Harman Hazırlama

Reçeteye göre hammaddeler % 36-40 su ve % 0,4-0,6 elektrolitler yardımıyla bilyeli çamur değirmenlerde değişik öğütme sürelerinde yaş öğütme metoduna göre öğütülürler. Şekil 1.5’de 30.000 lt kapasiteli bilyeli çamur değirmenleri görülmektedir.



Şekil 1.5 Bilyeli çamur değirmenleri genel görünümü

C- Masse Hazırlama

Stok havuzlarından alınan ve % 36-40 su içeren homojenize çamurun rutubeti, spray drayer (püskürtmeli kurutucu) veya diğer sistemlerle % 6 civarına düşürülür. Bu, şekillendirilmeye hazır bir granüle massedir. Elde edilen granüle masse, homojenizasyon ve olgunlaşmayı sağlamak amacıyla pres üstü silolara depolanarak bir süre bekletilir. Şekil 1.6'da spray drayer'in genel yapısı görülmektedir.



Şekil 1.6 Spray drayer genel görünümü

D- Şekillendirme (Presleme)

Pres üstü silolardan alınan yaklaşık % 6 rutubetli granüle malzeme, pres tablolarındaki kalıpların şekline göre belirli bir basma gücü ile şekillendirilir. Şekil 1.7’de şekillendirme işlemini gerçekleştiren pres görülmektedir.



Şekil 1.7 Pres genel görünümü

E - Frit ve Sır Hazırlama

Tek ve çift pişirim yer karoları ve duvar karolarında çok çeşitli sırlar kullanılmaktadır. Sır üretimi için öncelikle frit üretimi gerekir. Yatırım ve üretim maliyetleri göz önüne alınarak fabrikalar friti üretmekte veya piyasadan temin etme yoluna gitmektedir.

Sır ve frit reçeteleri, üretilen mamül tiplerine, kullanılan masse bileşimine göre firmadan firmaya değişiklik gösterir. Frit ana hammaddeleri feldspat, kolemanit, borik asit, boraks, kurşun oksit, kaolin, kuars, zirkonyum silikat ve mermer olmakla birlikte bunlara ek

olarak ya da bunların yerine başka maddelerde kullanılabilir. Sırrın hazırlandığı değirmenler Şekil 1.8’de görülmektedir.



Şekil 1.8 Sır değirmenleri genel görünümü

F- Kurutma

Preslerden çıkan yaklaşık % 6 rutubetli yarı mamül, rutubetin uzaklaştırılması amacıyla kurutma fırınlarına verilir. Bu fırınlar yatay ve dikey olmak üzere iki çeşittir. Kurutma işlemi 100-150 °C sıcaklıklarda yapılır.

G- Sırlama ve Dekorlama

Kurutmadan çıkan yarı mamül karolar sırlama bandından geçerken bir düzen ile desen baskı makineleri yardımıyla sırlanır. 1m² bisküvi için yer karosu sır ihtiyacı 0,9 kg ila 1,8 kg arasında değişmektedir. Sırlama hatlarının genel görünümü Şekil 1.9’da görülmektedir.



Şekil 1.9 Sırlama hattı genel görünümü

H- Pişirme

Çift pişirimde birinci ve ikinci pişirim olarak iki kez, tek pişirimde ise bir kez bisküviye pişirme işlemi uygulanır. Eski teknolojiye tünellerde yapılan pişirme işlemi, günümüz teknolojisinde seramik rulolu fırınlarda yapılmaktadır. Pişirme sıcaklığı 1000 °C'nin üzerindedir. Kurutma ve pişirimin yapıldığı seramik rulolu fırın Şekil 1.10'da görülmektedir.



Şekil 1.10 Rulolu seramik kurutma ve pişirme fırını genel görünümü

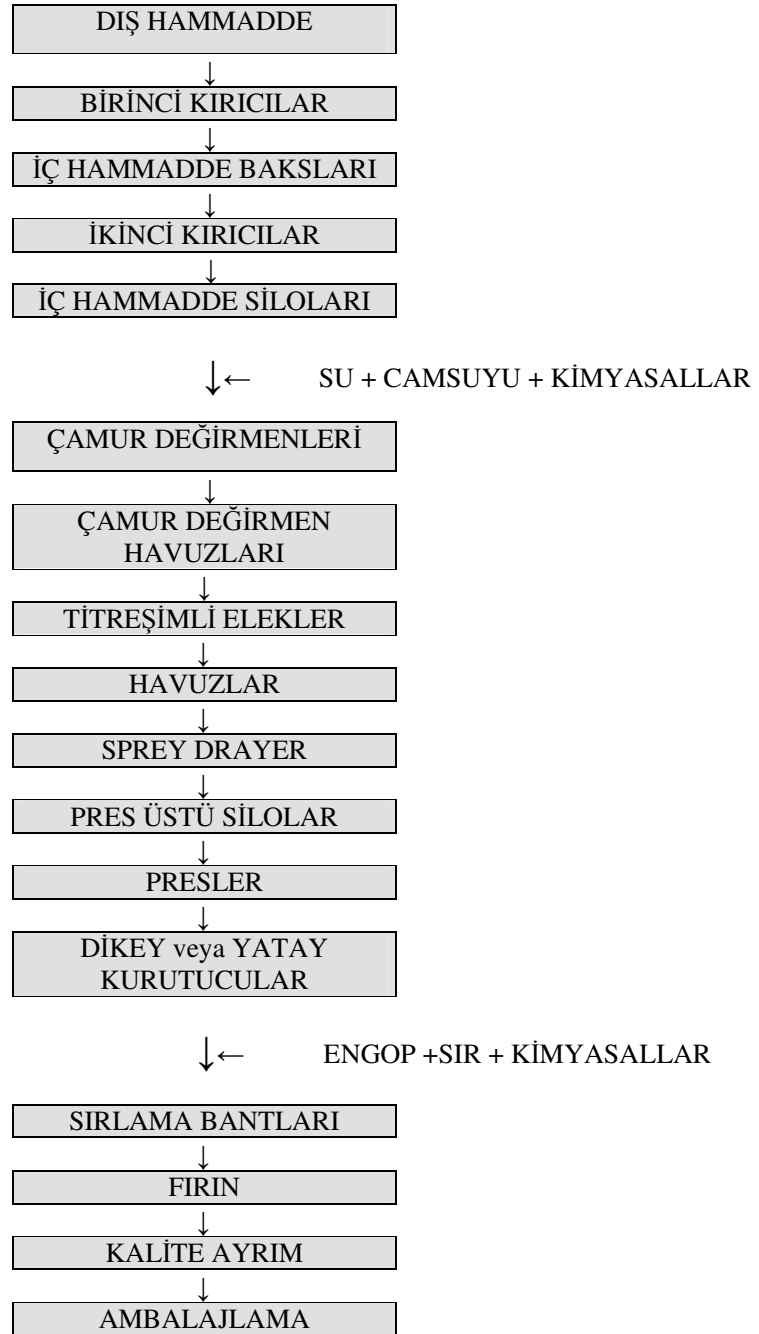
I – J- Kalite Ayırım - Ambalajlama

Fırından çıkan yer ve duvar karoları, kalitelerine göre sınıflarına ayrılmak üzere kalite ayırım makinesine bantlar aracılığıyla sevk edilir. Ebat, renk, desen, kırık vb. kontrolleri kalite ayırım personeli ve optik cihazlar tarafından yapılarak kalite sınıflarına ayrılırlar. Sınıflandırma birinci kalite, ikinci kalite ve defolu şeklinde kutulanma ve ambalajlama ile sona erer [6]. Kalite ayırım makinesinin genel görünüşü Şekil 1.11’de görülmektedir.



Şekil 1.11 Kalite ayırım makinesi genel görünümü

Seramik üretim aşamalarına ait iş akışının şematik olarak gösterimi Şekil 1.12’de verilmiştir. Şekilde görülebileceği gibi hammadde ürün haline gelene kadar birçok aşamadan geçmektedir. Bu çalışmada üretimdeki yoğun enerji tüketimi olan noktaların analizleri yapılmıştır.



Şekil 1.12 Üretim iş akış şeması

2. ENERJİ, EKSERJİ ve TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Genel Tanım ve Kavramlar

Enerji kelimesi, değişikliklere yol açan etken olarak tanımlanabilir. Çevremizdeki birçok olayın gerçekleşmesine neden olan, kullanıldığında bir şekilden başka bir şekle dönüşen iş yapma yeteneğidir. Enerji, dünyamızda değişik şekillerde bulunabilmektedir. Kimyasal, elektrik, ısı, ışık, mekanik, nükleer, vb. bunlardan bazılarıdır.

Sürekli akış halindeki açık bir sistem için kontrol hacmindeki (KH) termodinamiğin birinci yasasının sözle ve matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki şekilde yapılabilir [11].

$$\left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda ısı veya iş} \\ \text{olarak sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda kütle} \\ \text{ile birlikte KH'den çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda kütle} \\ \text{ile birlikte KH'ne giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right)$$

Açık bir sisteme, termodinamiğin birinci kanunu genel denge denkleminde yararlanılarak uygulandığında;

$$\text{Giren Enerji} = \sum_g m_g \left(h_g + \frac{1}{2} V_g^2 + gZ_g \right) + Q \quad (2.1)$$

$$\text{Çıkan Enerji} = \sum_\varphi m_\varphi \left(h_\varphi + \frac{1}{2} V_\varphi^2 + gZ_\varphi \right) + W \quad (2.2)$$

$$\text{Sistemdeki değişiklik } \Delta E = \Delta(U + PE + KE) \quad (2.3)$$

ifadeleri elde edilir. Bu ifadelerde “h”, birim kütle başına entalpi’yi, “V” hızı, “Z” ise belirli bir referansa göre yüksekliği ifade etmektedir. Isı ve iş dışındaki diğer enerji türleri (yüzey gerilim,

elektriksel vb.) ihmal edilmiştir. Sistem toplam enerjisi de “E” ile gösterilmiştir. Potansiyel ve kinetik enerjiler de ihmal edildiği takdirde termodinamiğin birinci kanunu açık bir sistem için ifade (2.4) halini alır.

$$\sum_g m_g h_g - \sum_{\phi} m_{\phi} h_{\phi} + Q - W = 0 \quad (2.4)$$

Kimyasal tepkimeleri içeren her bir süreç kimyasal, içermeyenler ise fiziksel olarak nitelendirilebilir. Fiziksel süreçler söz konusu ise, sisteme giren ve/veya çıkan her bir kütle akımının entalpisi; sadece belirli bir sıcaklık ve basınç referans kabul edilerek eşitlik (2.5) şeklinde hesaplanabilir.

$$h_g = \int_{T_{ref}}^T \left(\frac{\partial h_g}{\partial T} \right)_p dT + \int_{P_{ref}}^P \left(\frac{\partial h_g}{\partial p} \right)_T dP \quad (2.5)$$

Genellikle sıvı ve katılar için eşitlik (2.5)’de yer alan ikinci integral termodinamik büyüklüklerin basınçtan fazla etkilenmedikleri varsayılarak ihmal edilebilir. Sabit basınçtaki özgül ısıdan “C_p” yararlanarak entalpi, eşitlik (2.6)’daki şekilde ifade edilir.

$$h_g = \int C_p dT \quad (2.6)$$

Sabit basınçtaki özgül ısının “C_p” sıcaklıktan bağımsız olduğu koşullarda, entalpi eşitlik (2.7) ile bulunur.

$$h_g = C_p (T - T_{ref}) \quad (2.7)$$

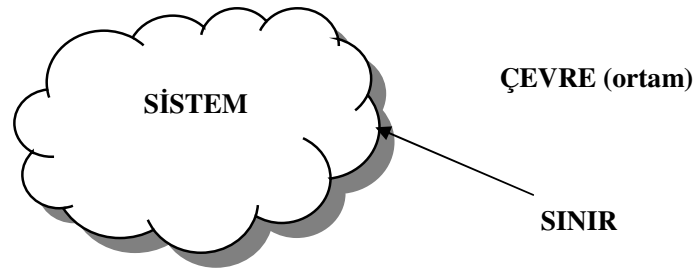
Değişik sıcaklıklardaki özgül ısı kapasiteleri bilinmeyen maddelerin değerleri eşitlik (2.8)’de belirtilen formülasyon ile hesaplanmıştır.

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (2.8)$$

Kimyasal süreçlerde, giriş ve/veya çıkış entalpilerinin hesaplanmasında (2.5), (2.6), veya (2.7) no'lu denklemlerin hiçbiri yeterli değildir. Kimyasal tepkime sonucu açığa çıkan veya tepkime için gerekli olan tepkime ısısının hesaba katılabilmesi için seçilen referans sıcaklığındaki kimyasal oluşum ısılarının da bilinmesi gerekir. Bu durumda entalpi ifadesi;

$$h_g = h_g^o + \int_{T_{ref}}^T \left(\frac{\partial h_g}{\partial T} \right)_P dT + \int_{P_{ref}}^P \left(\frac{\partial h_g}{\partial P} \right)_T dP \quad (2.9)$$

şeklini alır. Buradaki h_i^o referans sıcaklığındaki kimyasal oluşum ısısıdır. (2.5) ve (2.9) no'lu ifadeler her bir kütle akımının tek bir saf maddeden oluştuğu durumlarda yeterlidir [18].



Şekil 2.1 Sistem , sınır ve çevre

Sistem, belirli bir kütleyi veya uzayın incelenmek üzere ayrılan bir bölgesini belirtir. Termodinamik sistemin sınırları dışında kalan her şey sistemin çevresini (ortam) oluşturur. Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzey de “sistem sınırı” diye adlandırılabilir. Kapalı bir sistemin durumu, çevrenin durumundan farklı ise, sistemin çevre ile enerji alışverişini yaparak iş üretebilme yeteneği vardır. Bu olanak, sistemin durumu ortamın durumuna yaklaştıkça azalır ve sistemin durumu ortamın durumu ile aynı olduğunda iş üretme şansı kalmaz. Sistemin iş üretme şansının kalmadığı bu durum “ölü hal” olarak tanımlanabilir [9,11].

Bir ısı sistem, belirli bir başlangıç halinden, ölü hal olarak tanımlanan çevre ile dengeye ulaştığında sistemden elde edilebilecek en fazla teorik iş sistemin ekserjisini oluşturur.

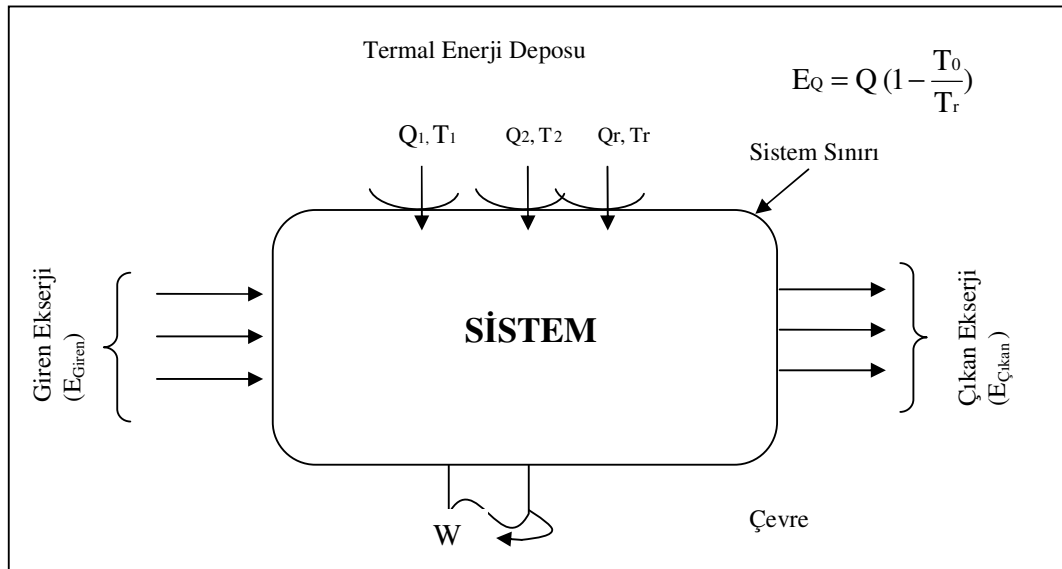
Ekserji; kullanılabilir enerjidir. Gerçekte de teknik olmayan insanların enerji, enerji üretimi veya tüketimi dediklerinde kastettikleri de aslında bu ekserjidir.

Enerjinin işe dönüştürülemeyen kısmı ise kullanılamaz enerji yani “anergi”dir ve ekserji ile anerjinin toplamı sistemin enerjisine eşittir [9,10,13,16].

2.2. Ekserji Verimliliği ve Analiz Metotları

Geleneksel metotlarda, termodinamiğin birinci kanunu termal sistem analizlerinin temelini oluşturur. Bu metotlar sistem ve çevre arasındaki ısı transferinde, sistemin enerji balansının belirlenmesinde kullanılır. Enerji balansı, termal sistem sınırlarındaki enerji geçişleri ve iç kayıpların belirlenmesini sağlar.

Ekserji, enerji kalitesinin bir ölçüsüdür. Termodinamiğin ikinci kanunu, termal sistemlerin dizayn ve analizi için ekserji balansını inceler. Sürekli akış halinde açık bir sistemdeki ekserji balansı Şekil 2.2 yardımı ile açıklanabilir.



Şekil 2.2 Sürekli akış halindeki açık bir sistem [17].

$$E_{Giren} + E_Q = E_{Çıkan} + W + I \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'daki;

$$E_{Giren} = \sum m_g e_g \quad (2.11)$$

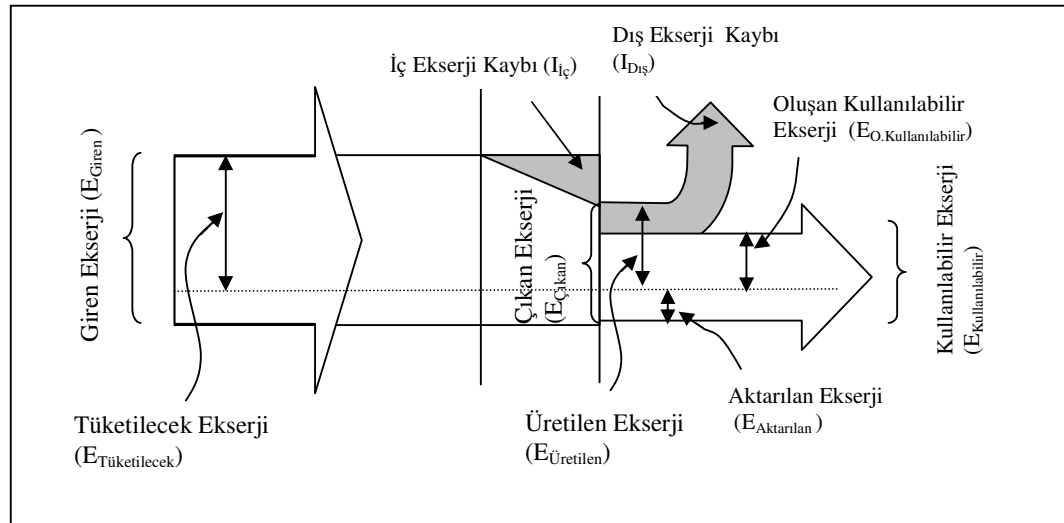
$$E_{Çıkan} = \sum m_ç e_ç \quad (2.12)$$

$$E_Q = \sum Q \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) \quad (2.13)$$

Buradaki ekserji denklemini yazılır ise ifade (2.14) elde edilir.

$$E = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + e_{ch} + (V_0^2/2) + gZ_0 \quad (2.14)$$

Kontrol bölgesi girişindeki ekserji daima çıkıştaki ekserjiden büyüktür. Aradaki fark ise ekserji kayıplarını oluşturur. Oluşan bu ekserji kayıpları ekserji kullanım oranı ile belirlenir. Ekserji kullanım kayıplarının (ekserji balansı) ayrıntılı gösterimi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3 Ekserji kullanım kayıpları [17].

Toplam ekserji girişi (E_{Giren}), daima sistemden çıkan ekserjiden ($E_{Çıkan}$) büyüktür. İç ($I_{İç}$) ve dış ($I_{Dış}$) ekserji kayıpları bunun sebebidir.

Bu ekserji geçişindeki oluşan ekserji verimliliği;

$$\eta = \frac{E_{Çıkan} - E_{Aktarilan}}{E_{Giren} - E_{Aktarilan}} = \frac{E_{Giren} - I_{İç} - I_{Dış} - E_{Aktarilan}}{E_{Giren} - E_{Aktarilan}} = \frac{E_{Oluşan Kullanilabilir}}{E_{Kayip}} \quad (2.15)$$

eşitlik (2.15) şeklinde yazılabilir. Aktarılan ekserji miktarı “ $E_{Aktarilan}$ ”, oluşan kullanılabilir ekserji “ $E_{Oluşan Kullanilabilir}$ ” ve tüketilecek ekserji “ $E_{Tüketilecek}$ ” şeklinde ifade edilmiştir. Ekserji geçişindeki oluşan kayıpların toplamı ($I_{İç} + I_{Dış}$) kadardır. Tüm bu veriler bize sistem performansındaki değişme ve ekserji iletimindeki azalmayı göstermektedir. Enerji türlerinin ekserji transferi; iş, ısı ve madde akışı olarak üç şekilde gerçekleşir.

2.2.1. İş Etkisi ile Ekserji Transferi

Ekserji, sistemden elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli olarak tanımlanmış olup ekserji transferi E_w , işe “W” eşittir ve;

$$E_w = W \quad (2.16)$$

eşitliği yazılabilir.

2.2.2. Isı Etkisi ile Ekserji Transferi

Aynı sıcaklık dağılımına sahip bir termal enerji deposu ile çevre arasındaki ekserji transferi “ E_Q ” olsun. Isı transfer oranı “Q” ise oluşan ekserji transferi şu şekilde yazılabilir.

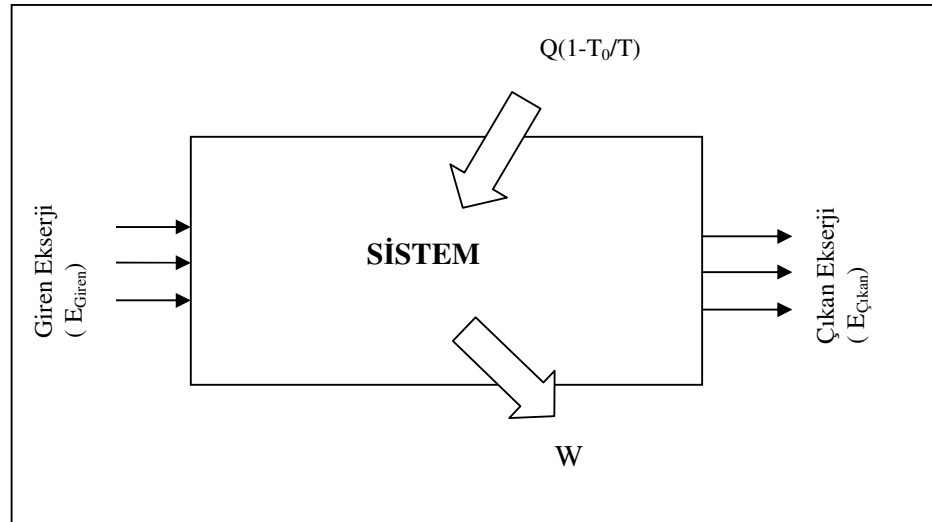
$$E_Q = Q \tau \quad (2.17)$$

Buradaki $\tau = 1 - (T_0 / T_r)$ (2.18)

boyutsuz ekserjistik sıcaklığı göstermektedir. “ T_0 ” atmosfer sıcaklığını, “ T_r ” ise ısı transferi kaynak sıcaklığını göstermektedir. Sonuç olarak ısı etkisi ile oluşan ekserji transferi;

$$E_Q = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right) \quad (2.19)$$

ile gösterilebilir. Isı ve iş etkisi ile ekserji transferinin gerçekleştiği bir sistem Şekil 2.4’de görülmektedir [17-19].



Şekil 2.4 Isı ve iş etkisi ile ekserji transferi [19].

2.2.3. Madde Akışı ile Ekserji Transferi

Madde akışı ile ekserji transferi; “ E_k ” kinetik ekserji, “ E_p ” potansiyel ekserji, “ E_{ph} ” fiziksel ekserji ve “ E_{ch} ” kimyasal ekserji olmak üzere dört formda incelenebilir. Oluşan ekserji transfer miktarı;

$$E = E_k + E_p + E_{ph} + E_{ch} \quad (2.20)$$

şeklinde hesaplanır. Kinetik ekserjiyi temsil eden “ E_k ” için,

$$E_k = m (V_0^2 / 2) \quad (2.21)$$

eşitliği yazılabilir. V_0 (m/s) yüzeydeki hız oranıdır. Potansiyel ekserjiyi temsil eden “ E_p ”

$$E_p = mgZ_0 \quad (2.22)$$

şeklinde hesaplanır. İfade de yer alan “ g ” (m/s^2) yerçekimi ivmesini temsil etmektedir. Fiziksel ekserjiyi temsil eden “ E_{ph} ”, farklı sıcaklık ve sabit basınçtaki katı, sıvı ve gaz karışımları için;

$$E_{ph} = (h-h_0) - T_0(s-s_0) \quad (2.23)$$

Farklı sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki gazlar için;

$$E_{ph} = \{(h-h_0) - T_0(s-s_0)\} + (mT_0 R_x \ln\{P/P_0\}) \quad (2.24)$$

Farklı sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki katı ve sıvılar için;

$$E_{ph} = \{(h-h_0) - T_0(s-s_0)\} + \{mV(P-P_0)\} \quad (2.25)$$

Sabit sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki gazlar için;

$$E_{ph} = mT_0 R_x \ln(P/P_0) \quad (2.26)$$

Sabit sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki katı ve sıvılar için ise;

$$E_{ph} = mV_m(P-P_0) \quad (2.27)$$

şeklinde tanımlanabilir. Buradaki h - enthalpy (kJ/kg), s - entropy {kJ/(kgK)}, V_m özgül hacim (m^3/kg), T_0 çevre sıcaklığı (K), P ve P_0 sistem ve çevre basınçlarıdır.

Kimyasal ekserji, tersinir olarak gerçekleştirilen bir sistemden elde edilebilecek maksimum iştir. Özgül moleküler standart kimyasal ekserji “ e_0 ” ise ideal sıvıların karışımı veya bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi;

$$E_{ch} = \sum x_i (e_{oi} + RT_o \ln[x_i]) \quad (2.28)$$

şeklinde ifade edilebilir. “ x_i ” karışım içerisindeki yüzdesel oranı, “ R ” universal gaz sabitini göstermektedir. Kimyasal ekserjinin gerçek çözümü ise;

$$E_{ch} = \sum x_i (e_{oi} + RT_o \ln[\gamma x_i]) \quad (2.29)$$

şeklinde dir. Buradaki “ γ ” parçanın aktiflik katsayısını göstermektedir [17,18,37-39].

3- TÜRKİYE İÇİN ENERJİNİN ÖNEMİ, KONUMU ve SERAMİK SEKTÖRÜ ENERJİ KULLANIM ANALİZLERİ

3.1. Sanayide Enerjinin Etkin Kullanımı ve Verimlilik

Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer alan Türkiye için enerji tüketimi, dünya ortalamalarının üzerinde bir artış trendi izleyeceği görüntüsünü vermektedir. Ülkemizdeki enerji maliyetlerinin yüksek olması enerji kullanımı konusunda daha verimli olmamızı gerektirmektedir. Ancak burada sözü edilen, ekonomik büyümeden ve çağdaş yaşam koşullarından ödün vererek daha az enerji tüketmek anlamında değildir. Enerji kayıplarını minimuma indirerek, tüketimin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, üretim hızı ve kalitesinin düşmeden verimliliğin artırılmasını sağlayacaktır [7,8].

Daha yüksek verimle enerji kaynaklarını kullanma hedefine ulaşmak için sistemde ekserji analizlerinin yapılması oldukça yararlı bir yöntemdir. Çünkü bu, kayıpların ve fazlalıkların ilgili büyüklüklerini, şekillerini ve konumlarını tespitine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple mühendisler üretim dizaynlarında ekserji kayıplarını minimuma indirecek şekli kullanırlar[9,10]. Ülkemiz nihai enerji tüketimi içindeki yaklaşık % 35, elektrik tüketiminde % 54 tüketim payına sahip olan sanayi sektörü, hem yüksek enerji tasarruf potansiyeli, hem de tükettiği enerjinin tümüne yakınının ticari enerji olması nedeniyle enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikli sektördür. Ayrıca 1996 yılında % 34,7 olan sanayi enerji tüketim payının 2000'de % 37, 2010'da % 56 olması beklenmektedir. Bu oranlar da, sanayi sektör yapısının enerji tasarrufu açısından irdelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır [20].

Sanayi sektörü bir bütün olarak ele alındığında yapılan araştırmalara göre, enerji girdisinin % 43,7'si, ekserji girdisinin de % 66,9'u kayıp olmaktadır. Sanayi sektörünün toplam enerjistik verimi % 56,3, ekserjistik verimi % 33,1'dir. Bu rakamlar ulaşım ve konut-hizmet sektöründeki rakamlarla kıyaslanacak olursa sanayi sektörü verim değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Bununla beraber daha da yükseltilmesi olanaklıdır [21].

Sanayi sektöründe enerji tasarrufu potansiyelinin belirlenmesi için, 60'dan fazla tesiste yürütülen çalışmaların sonuçları, gelişmekte olan ülkelerdeki enerjinin yoğun kullanıldığı sanayi alt sektörlerinde, Dünya Bankası tarafından gerçekleştirilen bir çalışma sonucunda elde edilmiş enerji tasarruf potansiyelleri ve tasarruf önlemleri ile ilgili genel kriterler esas alınarak, 1993 yılında bir çalışma yapılmıştır [20]. Bu çalışmada enerji tasarrufu sağlayıcı önlemler; “Kısa vadeli, düşük yatırımlı ve uzun vadeli, yüksek yatırım gerektiren önlemler” olmak üzere iki gruba ayrılmış, ana sektörlerde yapılan bu çalışma sonucunda sanayi sektöründe 5,3 milyon TEP enerji tasarrufu potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

Ülkemizde halen, çoğu kamuya ait olmak üzere, günümüz koşullarında ekonomik olma özelliğini kaybetmiş sanayi tesisleri bulunmaktadır. Bu tesisler, maliyet kriterlerine göre fazla enerji tüketen ve teknolojik gelişmelere ayak uyduramamış tesisler olarak kalmışlardır. Bir çok endüstriyel proses, enerjinin başka bir şekle dönüştürülerek kullanılmasını gerektirmekte, bu da önemli miktarlarda dönüşüm kayıplarına neden olmaktadır. Ancak sanayi sektörümüzde bu kayıpların yer yer büyük miktarlara ulaştığı gözlemlenmektedir [20].

1970'lerin petrol krizi ile başlayan enerji tasarrufu önlemlerinde ilk öncülüğü Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yapmıştır. 03 Kasım 1977 tarihinde Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından resmi gazetede yayımlanan “Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlaması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması” başlıklı yönetmelik ile ülke çapında mevcut ve yeni yapılacak bütün yapı ve tesisler için ısı yalıtım şartlarını, iklim haritası esaslarına göre yürürlüğe koymuştur. Bu yönetmelik yaptırım gücünü, diğer bakanlıklarla olan eşgüdümsüzlük ve içerdiği düşük cezai hükümler nedeniyle kaybetmiştir. Ardından ülkemiz sanayi sektöründe enerji verimliliğini arttırmak üzere hazırlanan “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğinin Arttırılması” hakkındaki yönetmelik 11 Kasım 1995 tarih ve 22.460 sayılı resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile, sanayi kuruluşlarının enerji verimliliğini arttırmak üzere tesislerinde enerji yönetim sistemi oluşturması, enerji etütlerini yaptırması ve etüt sonuçlarını uygulama planı çerçevesinde uygulaması, belli başlı ürünlerinin spesifik enerji tüketimini izlemesi, bunun izlenmesi için fabrikalarındaki eksik sayaç ve benzeri ölçüm cihazlarını taktırması gibi hususlar öngörülmektedir. Bu yönetmelik kapsamında değerlendirilecek fabrikalardaki yıllık 1 Ocak–31 Aralık tarihleri arası veya kampanya usulü çalışan fabrikalar için kampanya süresini içine alacak şekilde 12 ay boyunca

harcadığı her türlü yakıt ve satın alınan hammadde ve/veya üretilen elektrik tüketimlerinin toplamı, fabrikanın toplam enerji tüketimi olarak kabul edilmiş; 2000 TEP ve üzeri kapsam içine alınmıştır. Bunlara bağlı olarak müteakip yıllarda Bayındırlık Bakanlığı ile TSE benzer yaklaşımla yönetmelik ve standartlar çıkarmış, Tübitak, üniversiteler, Büyük Şehir Belediyeleri, özel ve resmi kurumların da desteği ile gelişen sanayinin enerjiiyi daha verimli kullanma gereksinimini büyük teknolojik gelişmeler izlemiş ve tüm bunlar eski teknoloji ile üretim yapan ekipmanların yerini, daha az enerji tüketen, verimli makinelerin almasını sağlamıştır [20,22].

Enerjinin etkin kullanımı ile sağlanan enerji tasarrufundaki çok yönlü karlılığa rağmen, yine de önlemler derhal alınamamaktadır. Maliyetlerin fiyatlara hemen yansdığı piyasa ekonomilerinde dahi, enerji tasarrufu çalışmaları oldukça yavaş uygulanmaktadır. Bu yavaşlık az gelişmiş ülkelerde daha da fazladır ve bu durumun başlıca nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Fiyat değişimlerine olan tepkinin yavaş olması, mevcut işletmelerin verimli çalıştığı kanısının hakim olması,
- Enerji tasarrufu yatırımlarının kompleks oluşu, önerilen yeni ekipmanlara tam güvenilmemesi ve gerekli revizyonlar nedeni ile üretimin aksamasının istenmemesi,
- Enerji tasarrufu yatırımlarının, çok sayıda küçük yatırımlardan oluşması,
- Son yıllarda, ekonomik şartların ağırlaşması nedeni ile yeni yatırımlara yeterli kaynak ayrılamaması,
- Verimin iyileştirilmesinden çok üretim artışına önem verilmesi ve üst yönetimin enerji tasarrufuna yeterince ilgi göstermemesi.

Bu nedenlere ilave olarak, sanayide enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu çalışmaları teknik ve mali engellerle karşılaşmaktadır. Bazen teknik, mali ve ekonomik engeller üst üste gelmektedir. Tesis bazında, uygun teknik imkanların bilinmemesi, enerji yönetimi konusunda uzman kadroların bulunmayışı, ölçü ve kontrol aletlerinin eksikliği gibi faktörler teknik engelleri, sermaye kıtlığı ve enerji tasarruf ekipmanları için basit finansman imkanların bulunamayışı mali engelleri oluşturmaktadır [21].

Enerjinin etkin kullanımı ve verimlilik artışı, enerji tasarrufu sağlar. Enerji arz-talep dengesini düzenleyici özelliği vardır. Enerji tasarrufu, ekonomik büyümeden ve yaşam konforundan ödün vererek enerjinin az kullanılması değildir. Enerji tasarrufu, enerji üretim ve tüketiminin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, enerji kayıplarının minimuma indirilmesi ve yaşam konforunu engellemeden enerji talebinin kontrol altına alınmasıdır [21].

Sanayide enerji tasarrufu sağlamak, bilinçli bir enerji yönetim programı geliştirmek ve uygulamak ile mümkündür. Enerji yönetimi ürün kalitesinden, güvenlikten veya çevresel tüm koşullardan fedakarlık etmeksizin ve üretimi azaltmaksızın enerjinin daha verimli kullanımı doğrultusunda yapılandırılmış ve organize edilmiş disiplinli bir çalışmadır. Bu çalışmada yakıtların, mevcut yakma sistemlerinin en verimli şekilde kullanarak yakılması, ısı yalıtımının yapılması, ısı transferi veriminin artırılması, atık ısı geri kazanımı, otomatik kontrol uygulamaları, elektrik sistemlerinde verimin artırılması vb. önlemler ilk akla gelenlerdir.

Enerjinin etkin kullanımını ve enerji tasarrufunu sağlayabilmek için işletmelerde enerji yönetim sisteminin oluşturulması, “Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğinin Arttırılması” hakkındaki yönetmelik ile belirlenmiştir. Enerjiyi üreten ve tüketen sistemleri, üretimin ve tüketimin gereksinimlerini en uygun şekilde karşılamak amacıyla sürekli iyi durumda bulundurmak, enerji yönetim sistemindeki ilk kuraldır. Bu sistemin başarılı olması için dört ana hedef vardır. Bunlar;

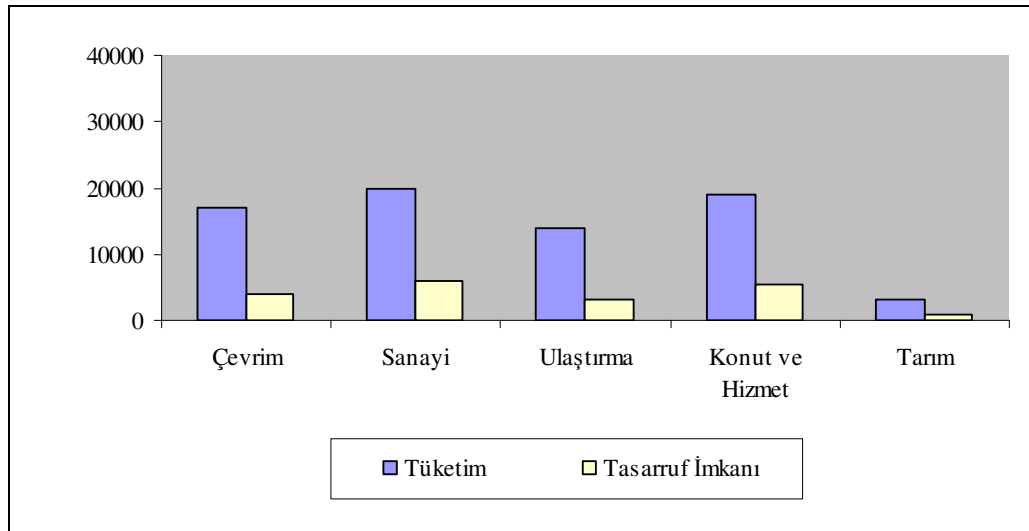
- Üretenin verimini arttırmak
- Tüketicinin kullanımını azaltmak
- Yüksek güç tüketen noktaları sürekli kontrol altında tutmak
- Enerjiyi en ekonomik yoldan kullanmak

Belirli bir programa bağlı olmadan yürütülen çalışmalarda basit işletme tedbirleriyle bazı kuruluşlarda % 10'a varan oranlarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Geniş kapsamlı bir enerji yönetimi programlarının uygulanması ile enerji tasarrufu çalışmalarına süreklilik kazandırıldığı gibi tasarruf oranı da % 25'i aşabilmektedir [22].

Üretimlerdeki enerji maliyetleri ülkemizden daha düşük olan diğer ülkeler incelendiğinde, enerji yönetim sisteminin sanayiciler tarafından benimsenmesi ve uygulanması için bu ülkelerde ciddi önlemlerin alındığı görülmektedir. Örneğin İtalya’da 10.000 TEP’in üzerinde enerji tüketen her sanayi kuruluşunun enerji tasarrufundan sorumlu bir kişi ataması gerekmektedir. Bu yapılmadığı takdirde kuruluş, kanunla sağlanan herhangi bir hibe yardımından yararlanamamakta ve ciddi cezalar uygulanmaktadır [22].

3.2. Seramik Sektörü Enerji Kullanım Analizi

Sektör bazında yapılan etütlerde teknolojik yeniliklere bağlı olarak yapılan iyileştirmeler ile yıllık tüketim bazında sanayi sektöründen 5,3 milyon TEP, konutlardan ve hizmet sektöründen 5,1 milyon TEP, ulaşım sektöründen 2,8 milyon TEP olmak üzere toplam 13,2 milyon TEP enerji tasarruf edilebileceği Elektrik İşleri Etüt İdaresi çalışmaları ile belirlenmiştir. Sağlanacak bu tasarrufun parasal karşılığı 2,6 milyar US \$ civarındadır. Sektörlerin 2001 yılı enerji tüketim düzeyleri ile tasarruf potansiyelleri (Btep) karşılaştırmalı biçimde Şekil 3.1’de verilmiştir [21].



Şekil 3.1 Türkiye’de sektörlerin birincil enerji tüketimleri ve tasarruf potansiyelleri [21].

Sanayi sektöründeki enerji kullanımının ve enerjinin toplam maliyet içindeki oranının dağılımı Çizelge 3.1’de verilmektedir [20].

Çizelge 3.1 Sektörlerinin enerji tüketim dağılımları ile üretim maliyetleri içindeki enerjinin payı [20].

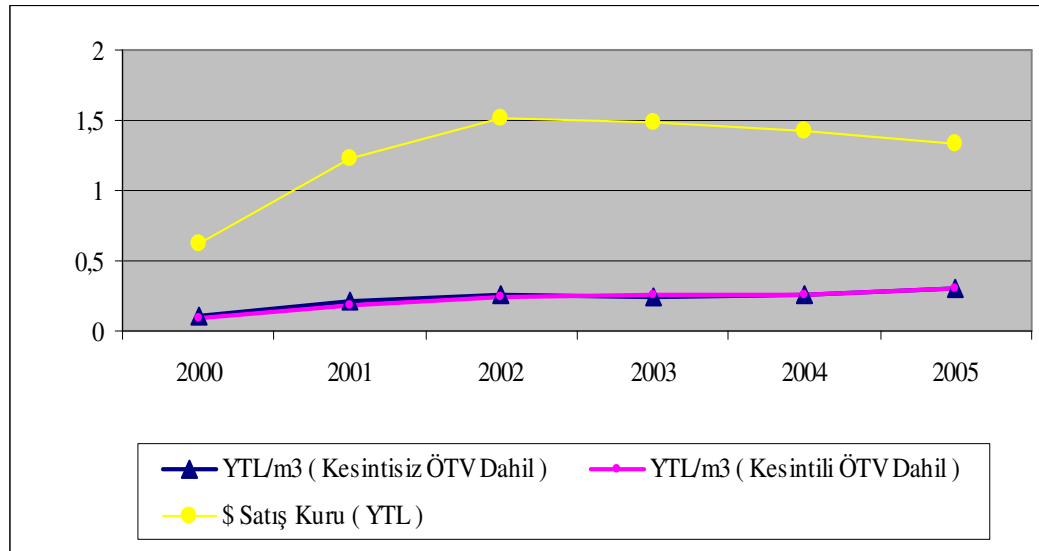
Sanayi sektörleri	Kullandıkları toplam enerji (10 ⁶ TEP)	Sanayi tüketimindeki oranı (%)	Enerjinin toplam maliyet içindeki oranı (%)
Demir-çelik	4,86	34,9	11,5-48
Çimento	2,73	19,7	55
Tekstil ve dokuma	0,822	5,9	8-10
Seramik	0,627	4,5	32,5
Petrokimya	0,606	4,4	28,5
Kağıt ve selüloz	0,468	3,4	9-30
Demir dışı metaller	0,312	2,2	6,2-47,4
Cam	0,234	1,7	22-42
Diğer	3,250	23,3	
Toplam	13,923	100	

Seramik sektörü, üretim prosesi içindeki pişirme ve kurutma işlemlerinden dolayı, oldukça yoğun enerji tüketen bir sektördür. Üretim maliyetleri içinde enerjinin payı diğer sektörlere oranla oldukça yüksektir. Bu sebeple seramik sektöründe enerji fiyat ve maliyetleri büyük önem arz etmektedir [23,30].

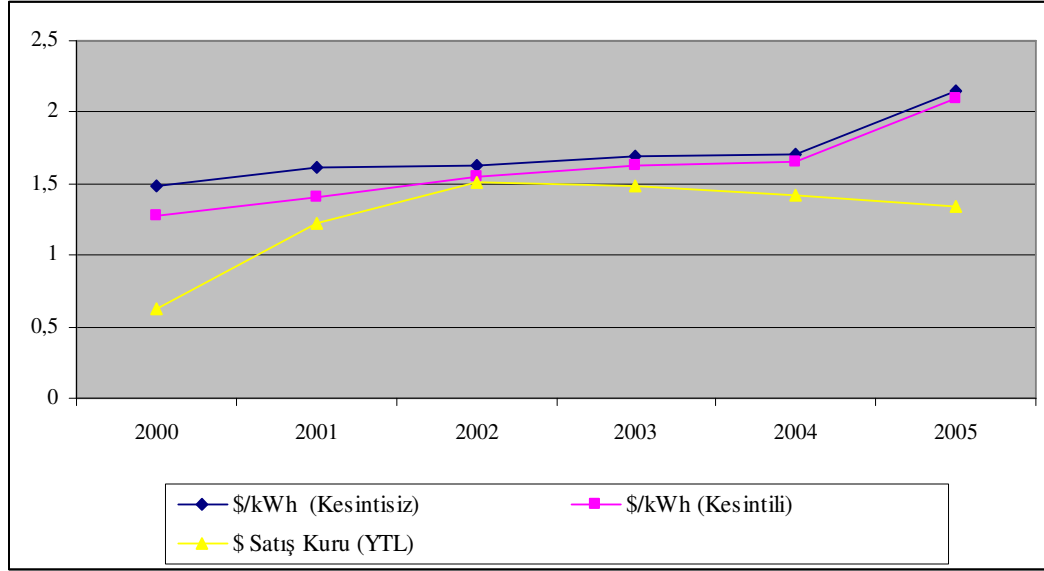
2000-2005 yılları arasındaki BOTAŞ ve TEDAŞ teminli elektrik ve doğal gaz maliyetlerindeki artış oranları Çizelge 3.2, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de görülmektedir [23].

Çizelge 3.2 BOTAŞ doğalgaz satış fiyat tarifesi [23].

Yıllar	YTL/m ³ (Kesintisiz) (ÖTV dahil)	YTL/m ³ (Kesintili) (ÖTV dahil)	USD (cent/kWh) (Kesintisiz)	USD (cent/kWh) (Kesintili)	TCMB USD satış kuru (YTL)
2000	0,1	0,085	1,49	1,28	0,62
2001	0,21	0,182	1,62	1,40	1,22
2002	0,26	0,249	1,63	1,55	1,51
2003	0,24	0,261	1,69	1,63	1,49
2004	0,26	0,252	1,71	1,66	1,42
2005	0,3	0,298	2,15	2,09	1,34



Şekil 3.2 Doğalgaz maliyeti değişim grafiği [23].



Şekil 3.3 Elektrik maliyeti değişim grafiği [23].

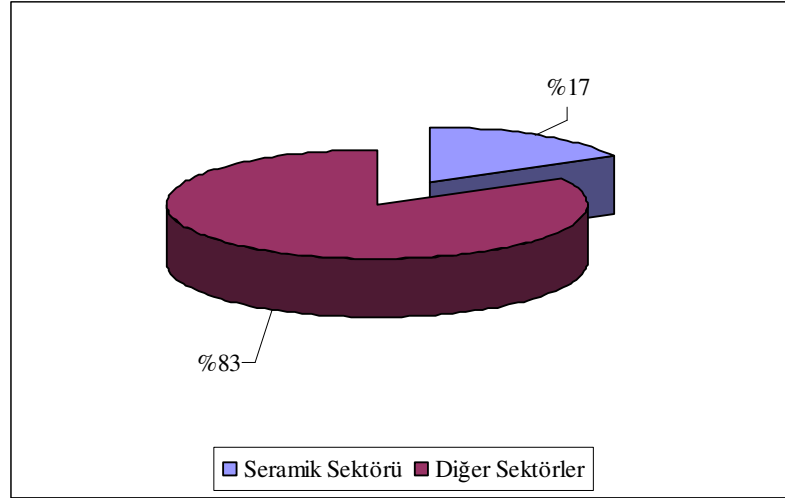
Sektörde halen doğalgaz, LPG ve LNG olmak üzere 3 farklı yakıt tüketilmektedir. Firmaların kullandıkları enerji türlerine göre dağılımları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Çizelgede de görülebileceği gibi firmaların % 98,2’si doğalgaz kullanmaktadır.

Çizelge 3.3 Firmaların üretim kapasitesine göre yakıt tüketim tür dağılımları [23].

Firmalar	Kapasite (10^6 m ²)	Toplam kapasite oranı (%)
Doğalgaz kullananlar	266,6	98,2
LNG kullananlar	1,5	1,3
LPG kullananlar	1,5	0,6

Seramik sektörünün 2004 yılı doğalgaz tüketimi 660 milyon m³, elektrik tüketimi ise 900 milyon kWh’dır. Türkiye genelinde sanayide tüketilen doğalgazın % 17’si seramik

sektörüne aittir. Şekil 3.4’de sektörün doğalgaz tüketiminin, toplam sanayi tüketimi içindeki payı görülmektedir [23].



Şekil 3.4 Seramik sektörü doğalgaz tüketiminin toplam sanayi tüketimi içindeki payı [23].

Dünya SKM üretim sektöründe söz sahibi olan ülkelerin başında gelen İtalya ile Türkiye’nin üretimdeki m² enerji maliyetlerinin oranı 2001 yılı verilerine göre Çizelge 3.4’de görülmektedir [24]. Türkiye’nin, İtalya’ya göre enerji maliyet oranı 2 kat daha fazladır.

Çizelge 3.4 SKM sektörü (m²) üretim için enerji maliyet oranları [24].

Enerji türü	İtalya (%)	Türkiye (%)
Elektrik enerjisi maliyeti	3,2	6,5
Isı enerjisi maliyeti	5,0	6,7

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Fabrika Faaliyet Alanı ve Üretim Şekli

Analizlerin yapıldığı Bozüyük Seramik Fabrikası 1966 yılında Porselen ve Çini Fabrikaları Ltd. Şti. olarak üretime başlamış, uzun yıllar Sümerbank ve Çitosan bünyesinde devlet kuruluşu olarak faaliyetlerine devam etmiş ve 1997 yılında özelleştirme kapsamına alınarak Ercan Şirketler Topluluğuna devredilmiştir. Fabrika halen Bozüyük Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş. adıyla faaliyetlerine devam etmektedir.

Tüm üretimlerini TS-EN 176 yer karosu ve TS-EN 159 duvar karosu standartlarına uygun olarak yapmaktadır. Üretimi yapılan ürün ağırlıklı olarak 33x33cm ebatında, farklı desenlerdeki yer karolarıdır. Fabrika ebat çeşitliliğine gitmeden genellikle tek boy üründe üretim yapmakta, maksimum verim ve yüksek kalite ile müşteri memnuniyetini hedeflemektedir.

4.1.2. Fabrika Üretim-Tüketim ve Enerji Maliyet Analizi

Fabrikanın üretim ve buna bağlı olarak enerji tüketimi yıllar içinde arz-talep dengesi ve ekonomik göstergelere paralel olarak değişimler göstermektedir. Sektörde faaliyet gösteren firmalar genellikle stoklu çalışmaktadır. Ülkede yaşanan ekonomik dalgalanma ve krizlerde şirketlerin satışları hızla düşmekte ve üretilen mallar satılmadığı için stoklanmaktadır. Stok miktarları kabul edilebilir düzeylerin üzerine çıktığında fabrikalar zorunlu olarak kapanmakta ve bu dönemde genel makine bakımları yapılmaktadır. Bu açıdan 2005 yılı, incelemenin yapıldığı fabrika açısından problemsiz geçmiş ve yıl boyunca üretim yapılmıştır.

4.1.2.1. Seramik Üretim Miktarı

2005 yılında tüm üretim 33x33cm ebatında yapılmıştır. Satışa hazır halde paketlenmiş seramik üretim miktarının aylara göre değişimi Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 Fabrika 2005 yılı seramik üretim miktarı

Aylar	Üretim miktarı
Ocak	73,5
Şubat	132,34
Mart	147,9
Nisan	135,76
Mayıs	130,7
Haziran	133,9
Temmuz	144,3
Ağustos	150,79
Eylül	132,31
Ekim	133,75
Kasım	137,46
Aralık	76,78
Toplam	1529,5
Ortalama (10^3 m ² /ay)	127,458

Ocak ayındaki üretim düşüklüğü 2004 yılı sonundaki fabrika üretim duruşunun Ocak 15’de sona ermesinden, Aralık ayındaki ise yine Aralık 15’inden sonra üretime ara verilmesinden kaynaklanmıştır. Ocak ve Aralık aylarında 15’er günlük üretim yapılmıştır.

2005 yılı aylık ortalama üretim 127.458 m² olarak gerçekleşmiş iken, günlük üretim miktarı 4190 m² olmuştur. Üretimin problemsiz gerçekleştiği bir gün için ortalama üretim üst değerinin 5250–5500 m² olduğu düşünülür ise 2005 yılı ortalaması, üst limitlerin yaklaşık % 25-30 altında gerçekleştiği görülmektedir.

4.1.2.2. Fabrika Genel Enerji Tüketimi ve Maliyet Analizleri

İncelemenin yapıldığı fabrikada enerji kaynağı olarak elektrik ve doğalgaz kullanılmaktadır. Elektrik TEDAŞ kanalı ile, doğalgaz ise BOTAŞ tarafından kesintisiz alım

taahhüdü ile karşılanmaktadır. 2005 yılına ait tüketimler, tüketimlerin üretime oranları ve maliyetler Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Elektrik tüketim ve maliyetinin 2005 yılı ortalama değerleri

Aylar	Tüketim miktarı (kWh)	Tüketim/Üretim oranı (kWh/m ²)	Ortalama elektrik birim fiyatı (YTL)	Elektrik enerji maliyeti (YTL)
Ocak	376.513	5,12	0,1072	40.386
Şubat	497.851	3,76	0,1072	53.401
Mart	539.884	3,65	0,1072	57.910
Nisan	563.018	4,14	0,1072	60.391
Mayıs	534.265	4,08	0,1072	57.307
Haziran	499.539	3,73	0,1072	53.582
Temmuz	512.089	3,54	0,1072	54.928
Ağustos	532.324	3,53	0,1072	57.099
Eylül	505.159	3,81	0,1072	54.185
Ekim	541.396	4,04	0,1072	58.072
Kasım	506.394	3,68	0,1072	54.317
Aralık	292.042	3,80	0,1072	31.325
Toplam	5.900.474			632.903
Ortalama	491.706	3,85	0,1072	52.741

Türkiye SKM sektöründe elektrik tüketiminin, seramik üretimine oranı yaklaşık 3,1 kWh/m²’dir. Bu oran İtalya gibi bu sektörde söz sahibi olan ülkelerde 3’ün altındadır [25].

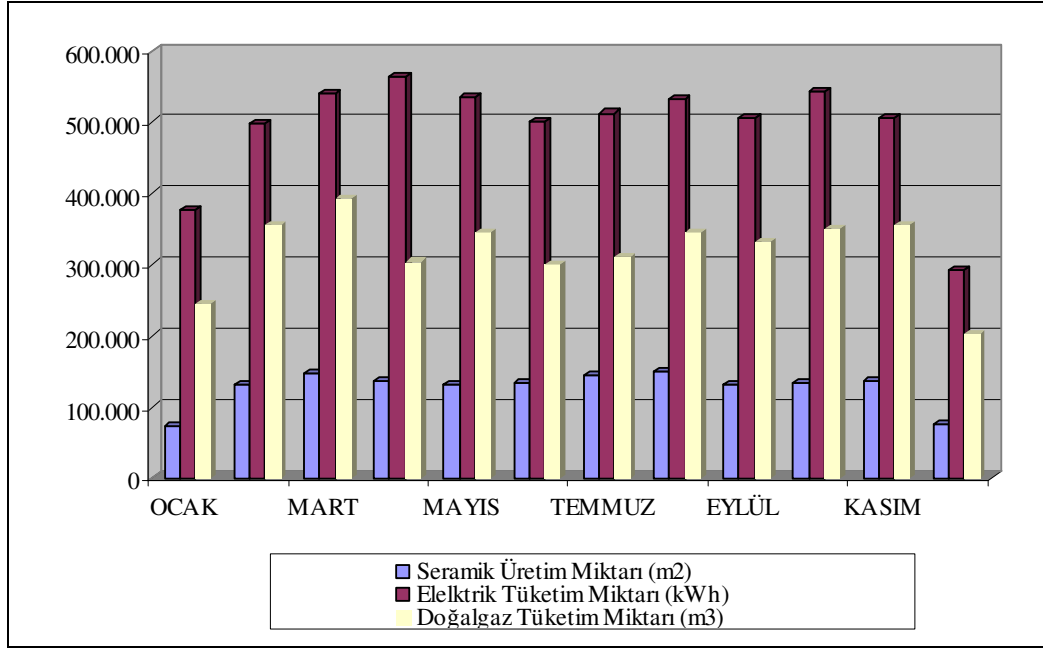
Analizlerin yapıldığı fabrikanın elektrik tüketiminde en verimli olduğu Mart ayında oran 3,65, en verimsiz olduğu Ocak ayında 5,12’dir. Tüm yıl ortalaması ise 3,85’dir ki bu oran kabul edilebilir sınırların üzerindedir.

Çizelge 4.3 Doğalgaz tüketim ve maliyetinin 2005 yılı ortalama değerleri

Aylar	Tüketim miktarı (10 ³ m ³)	Tüketim/Üretim oranı (m ³ /m ²)	Ortalama doğalgaz birim fiyatı (YTL)	Doğalgaz enerji maliyeti (YTL)
Ocak	245,7	3,34	0,3096	76.093
Şubat	354,69	2,68	0,3096	109.846
Mart	392,53	2,65	0,3004	117.939
Nisan	303,89	2,23	0,3004	91.306
Mayıs	345,35	2,64	0,3004	103.762
Haziran	300,53	2,24	0,3004	90.298
Temmuz	309,60	2,14	0,3186	98.646
Ağustos	345,25	2,28	0,3186	110.004
Eylül	330,81	2,50	0,3186	105.405
Ekim	350,15	2,61	0,3186	111.566
Kasım	354,22	2,57	0,3186	112.863
Aralık	203,34	2,64	0,3186	64.789
Toplam	3.836,13			1.192.521
Ortalama	319.677	2,50	0,31107	93.376

Türkiye SKM sektöründe doğalgaz tüketiminin, seramik üretimine oranı yaklaşık 2,4 m³/m²'dir. Analizlerin yapıldığı fabrikanın 2005 yıl ortalaması 2,5 m³/m²'dir. Bu oran ile fabrikanın sektör ortalamasının üzerinde doğalgaz tüketerek üretim yaptığı görülmektedir.

Fabrikanın enerji kaynağı olarak kullandığı elektrik ve doğalgazdaki m² üretim başına olan yüksek tüketimi, üretim yapılan mevcut teknolojisinin, günümüz teknolojisine olan uzaklığını göstermektedir. Makinelerin yeni yatırımlar ile modernize edilmemesi, enerji maliyetlerinin yükselmesine sebep olmuştur. Yüksek enerji tüketimi ve maliyeti, firmanın sektördeki rekabet şansını azaltmakla birlikte, ülke ekonomisi için de olumsuz etkilere sebep olmaktadır.



Şekil 4.1 Fabrikanın 2005 yılı seramik üretimi ve enerji tüketim dağılımı

Şekil 4.1'de 2005 yılına ait fabrikanın seramik üretim miktarları ile bunun karşılığında tüketilen doğalgaz ve elektriğin aylara göre dağılımı görülmektedir.

4.1.3. Veri Toplamada Kullanılan Cihazların Özellikleri

Tüm analiz hesaplamalarında kullanılacak baca gazı emisyon değerleri, Çevre Bakanlığı Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Müdürlüğü'nün 04 Mayıs 1999 tarih ve B.19.0.ÇKO.1406-3368 ve 3260-6547 sayılı yazılarıyla baca gazı emisyon ölçümlerini yapacak yetkili kuruluşlar kapsamına giren bir mühendislik firmasının yapmış olduğu baca gazı analiz raporundan alınmıştır. Baca gazı analizi, makine üretim-tüketim ortalama değerlerinin alındığı 9 Haziran 2005 tarihine aittir. Analizlerde Çevre Bakanlığı tarafından onaylanmış cihazlar kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan cihazların özellikleri Çizelge 4.4'de görülmektedir [28].

Analizi yapılan makinelerin doğalgaz tüketim değerlerinin tespitinde kullanılan mekanik doğalgaz sayaçlarının özellikleri Çizelge 4.5’de; sıcaklık ölçümünde kullanılan termokupl ve dijital termometrelerin özellikleri ise Çizelge 4.6 ve 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.4 Baca gazı ölçüm yöntemleri, kullanılan cihazlar ve özellikleri [28].

Ölçüm parametresi	Ölçüm yöntemi	Kullanılan cihaz	Cihazların özellikleri
Yanma gazları	Elektro kimyasal hücre metodu	Testo 350 XL	CO: 0 ile 10.000 ppm arası
			NO: 0 ile 3000 ppm arası
			NO ₂ : 0 ile 500 ppm arası
			O ₂ : 0 ile % 25 arası (hacimsel)
			Fark basıncı 1: ± 0,2 bar
			Fark basıncı 2: ± 0,04 bar
			Baca gazı sıcaklığı -40 ile +1200 °C arasında
			Hız ölçümü (plot tüp ile): 0 ile 40 m/s arasında
			Verimlilik 0 ile % 120 arasında
			Baca gazı kaybı: -20 ile +99,9 arasında
Gaz örnekleme pompası çıkış hızı: 0,8 m/s			
Toz	Gravimetrik metod	Zambelli Easy 20	Ölçüm aralığı: 0 - 100.000 mg/m ³

Çizelge 4.5 Mekanik doğalgaz sayaçlarının tip ve özellikleri [28].

No	Özellikler	Dikey kurutucu	Spray drayer	Fırın
1	Marka	Krom Schoder	Krom Schoder	Krom Schoder
2	Tip	G 40	G 160	G 250
3	Min. debi (Q _{min} m ³ /h)	1	4	6
4	Max. debi (Q _{max} m ³ /h)	40	250	400
5	Bağlantı şekli	2" dişli	3" dişli	4" flanşlı
6	Gaz sıcaklık aralığı (°C)	-20 / +70	-20 / +70	-20 / +70
7	Ölçme hatası	± % 0,2	± % 0,2	± % 0,2
8	Çalışma basınç aralığı (bar)	0,015 / 25	0,015 / 25	0,015 / 25

Çizelge 4.6 Termokupl tip ve özellikleri [28].

No	Özellikler	Açıklama
1	Marka	Elimko
2	Tip	Düz
3	Model	TC 01
4	Eleman çapı (mm)	0,5
5	Max. ölçüm sıcaklığı (°C)	1600
6	Koruyucu kılıf	Seramik
7	Ölçme hatası	± % 0,1

Çizelge 4.7 Dijital termometre tip ve özellikleri [28].

No	Özellikler	Açıklama
1	Marka	Sınar
2	Model	P 300
3	Ölçüm aralığı (°C)	-40 / +200
4	Hassasiyet (°C)	0,1
5	Doğruluk (°C)	±1,0
6	Çalışma sıcaklığı (°C)	0 / 40

4.1.4. Analizi Yapılan Makinelerin Yapısı ve Enerji Tüketim Değerleri

4.1.4.1 Spray Drayer

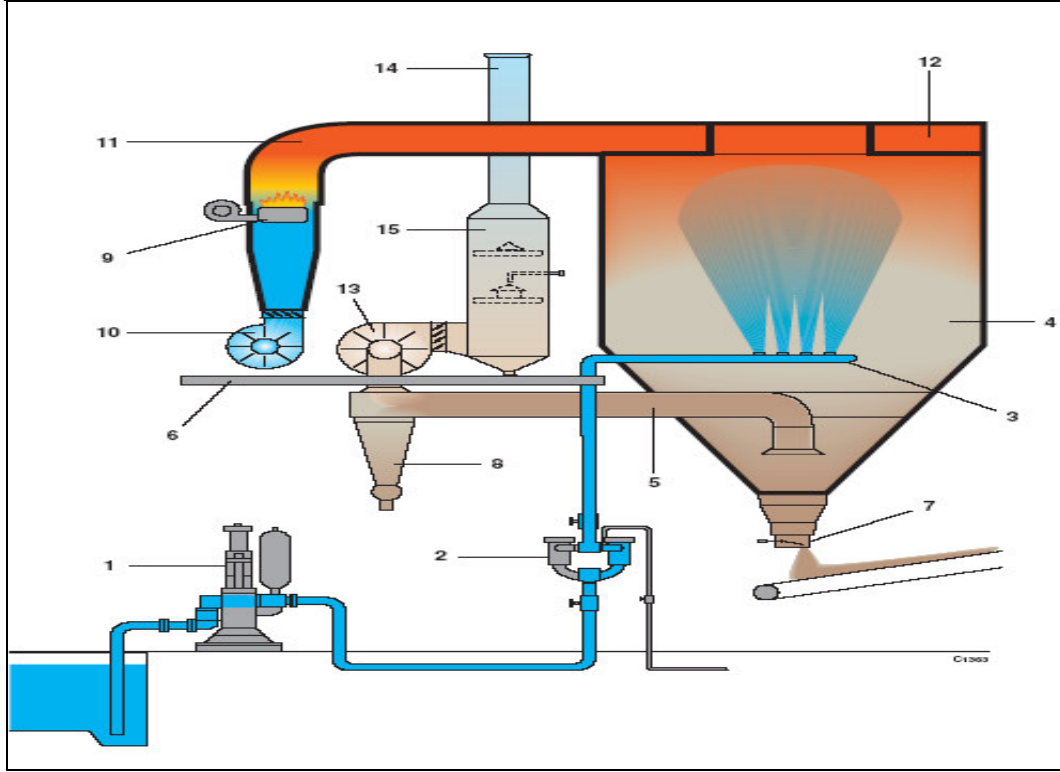
4.1.4.1.1. Spray Drayer Genel Yapısı ve Çalışma Prensibi

Spray drayer'ler özellikle gıda, sağlık ve seramik sektöründe kullanılan ve belirli oranlarda katı madde içeren sıvı haldeki hammaddelerin, ısı ile teması sonucu kurutulması prensibi ile çalışan makinelerdir [26].

Çalışma prensibi olarak, direk ve indirek ısı transferli olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Seramik endüstrisinde direk ısı transferli tipler kullanılır. Bu tiplerde yanma gazı ve hava ısısının suyu buharlaşma noktasına getirmesi işlemi, sıcaklığın doğrudan ıslak hammaddenin (seramik çamuru) üzerine uygulanması ile sağlanır [26,27].

Spray drayer'in genel yapısı Şekil 4.2'de görülmektedir. Spray drayer'i oluşturan parçalar ve gördüğü işlemler şekil üzerindeki numaralandırılmış kısma göre aşağıda açıklanmaktadır.

- 1- Çamur besleme pompası;** ayarlanan basınçta püskürtücüye doğru çamur transfer eder. Çamur ile temas eden pistonlar seramik malzemeden yapılmıştır. Çalışma basınç aralıkları 18–28 bar arasındadır. Basınç ayarı çamur ve nozzle tipine göre yapılır.
- 2- Çamur filtreleri;** hatta gidebilecek yabancı maddeleri yakalamasında kullanılır. Filtrelerin verimli çalışması son derece önem taşır. Zira nozzle'ra gidebilecek yabancı maddeler tıkanmalara sebep olabilir. Bu da tüm sistemin devreden çıkması anlamını taşımaktadır.
- 3- Dağıtıcı ring;** paslanmaz çelikten yapılmıştır ve nozzle'ı taşır. Ring tipinde üretim cinsine göre alternatif sistemler mevcuttur.
- 4- Kurutma kulesi;** alt konik, silindirik buharlaştırıcı bölge ve üst sıcak hava dağıtıcı bölgelerinden oluşur. İç duvarlar paslanmaz çelik, dış kısım alüminyum panellerden oluşur. Ara bölme ısı izelasyon malzemeleri ile kaplıdır.
- 5- Gaz–masse tozu emme borusu;** istenilen yoğunluk ve boyuttan küçük yapıda oluşmuş masse ve gaz karışımının ortamdan emilerek alınmasını sağlayan, paslanmaz çelikten yapılmış borudur. İçerisindeki sıcaklık 80-120 °C civarındadır.



Şekil 4.2 Spray drayer'in şematik görünümü

7- Masse çıkış valfi; ortam havasının spray drayer içerisine akışını, üretilen massenin de dışarıya boşalmasını sağlayan valftir. Karşı ağırlıklı tiptedir. Boşaltımın yanı sıra massenin soğutulmasına da olanak sağlar. Çıkan ürün sıcaklığı 40-70 °C civarındır.

8- Ayırıcı siklon; gövdesi paslanmaz çelikten yapılmıştır. Çıkış kulesindeki massenin gazlardan ayrılmasını sağlar. Gaz-masse tozu emme borusu içerisinde yaklaşık 2-4000 mg/Nm³ masse bulunurken, karışım ayırıcı siklonları terk ettikten sonra içerdiği masse miktarı 40 mg/Nm³ dolayına düşer.

9- Yakıt besleme sistemi ve yakıcı; kullanılan yakıt tipine ve spray drayer kapasitesine göre farklı tiplerden oluşur. Ağır sıvı yakıt kullanımında ön ısıtma nozzle'larına ihtiyaç duyulurken,

hafif sıvı ve gaz yakıtlarda ilave ekipmanlar kullanılmaz. Uygun hava ve gaz karışım ayarını yaparak yakma işlemini sağlar.

10- Yakma havası vantilatörü; yanma havasının teminini sağlayan yüksek debili santrifüj tip vantilatördür. Çıkış ağzındaki elektrik kontrollü klepe ile otomatik olarak debi ayarı yapılır.

11- Isı iletim kanalı; paslanmaz çelikten yapılmıştır ve gövdenin içi-dışı yüksek sıcaklığa dayanıklı izolasyon malzemesi ile kaplıdır. Bölgede 550-650 °C civarında sıcaklık mevcuttur.

12- Sıcak hava dağıtıcısı; buharlaştırıcı kulesinin üst kısmını oluşturur. Paslanmaz çelikten yapılır. Isı iletim kanalından gelen sıcak havanın, seramik çamurunun üzerine sevk yönünü belirler. Kanallardan oluşan bir yapısı vardır. Kanal girişlerindeki klepeler ile sıcak hava dağılım yönü üretim cinsine göre ayarlanır.

13- Emme havası vantilatörü; yakma hava vantilatörüyle basılmış olan gazların, kurutucu içerisinden dışarıya alınmasını sağlayan yüksek debili santrifüj tip vantilatördür. Atılan hava içerisinde azda olsa masse bulunması sebebiyle gövde ve fan aşınmalara maruz kalır. Bu sebeple yapısı aşınmaya dayanıklı malzemelerden oluşur.

14- Baca; atık gaz ve tozların atmosfere bırakıldığı kanaldır. Paslanmaz çelik malzemeden yapılır. Çıkış sıcaklığı 60-140 °C civarındadır.

15- Sulu toz tutucu; ayırıcı siklonlar tarafından tutulamamış tozların üzerine, duman halinde su püskürtülmek suretiyle, atmosfere bırakılmadan önceki son toz tutmanın yapıldığı kısımdır. Gövde paslanmaz çelik malzemeden yapılır [25,26].

4.1.4.1.2. Spray Drayer Günlük Ortalama Enerji Tüketim Değerleri

Fabrikadaki spray drayer ünitesinde günlük ölçümler alınmıştır. 09 Haziran 2005 tarihinde üretim esnasında alınan üç ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge oluşturulurken sisteme giren hava miktar değeri için fanlarının etiket değerlerinden, çıkan hava ve gaz miktarları için ise baca gazı analiz sonuçlarındaki debilerden yararlanılmıştır. Sisteme giren-çıkan çamur ve massenin miktarları hacim kontrol ve tartım üniteleri; yanıcı gaz tüketimi ise mekanik doğalgaz sayacı yardımıyla belirlenmiş ve saptanan miktarların ortalama saat değerleri alınarak Çizelge 4.8'e işlenmiştir. Spray drayer baca gazı ölçümlerinde toz atık miktarı 35 mg/m^3 olarak belirlenmiştir. Değerin küçüklüğü sebebiyle hesaplamalarda toz atık miktarı "0" olarak kabul edilecek ve işleme alınmayacaktır.

BOTAŞ tarafından temin edilen doğalgaz, bünyesinde % 95 dolayında metan gazı (CH_4) ihtiva etmektedir. Bu yüksek oran sebebiyle tüm makine hesaplamalarında doğalgaz % 100 CH_4 'dan oluşmuş şeklindeki kabul ile hesaplamalara katılacaktır.

Çizelge 4.8 Spray drayer günlük çalışma ortalama parametre değerleri

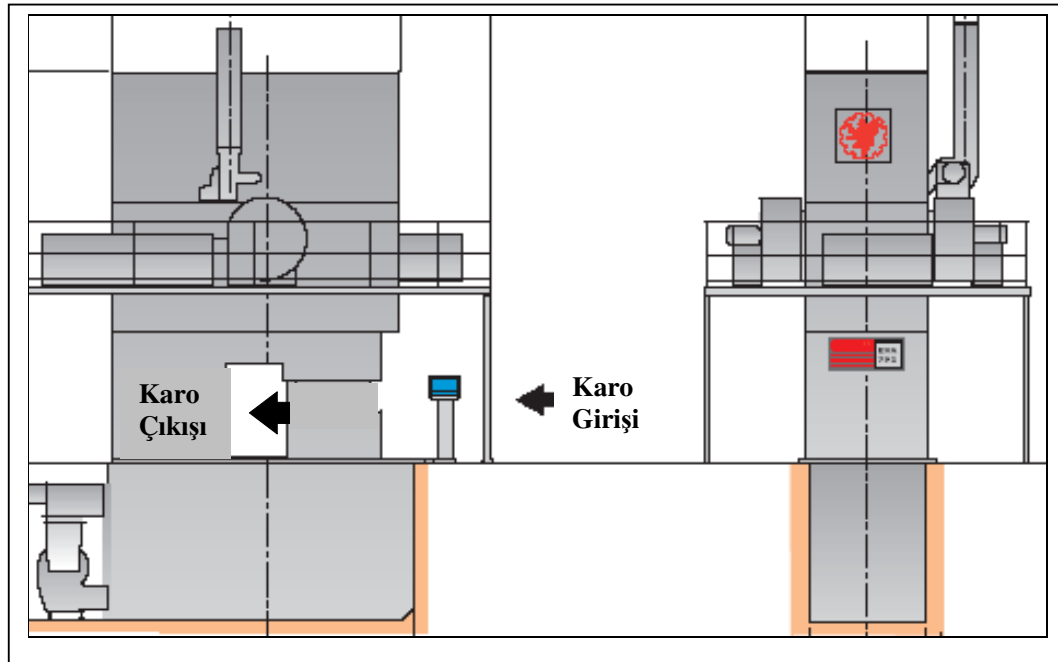
No	Parametre tipi	Birim	Değer
1	Çamur tüketimi	kg/h	8550
2	Çamurdaki kuru madde oranı	%	65
3	Çamurdaki sulu madde oranı	%	35
4	Masse üretimi	kg/h	5849
5	Masse nem oranı	%	5
6	Dış ortam sıcaklığı	K	298
7	Çamur giriş sıcaklığı	K	303
8	Yanıcı gaz giriş sıcaklığı	K	298
9	Yakma havası giriş sıcaklığı	K	298
10	Sızıntı hava giriş sıcaklığı	K	298
11	Üretilen masse çıkış sıcaklığı	K	327
12	Baca gazları çıkış sıcaklığı	K	375
13	Yakma hava debisi	m^3/h	2430
14	Sızıntı hava debisi	m^3/h	16.280
15	Baca gazı debisi	m^3/h	28.267
16	Kullanılan yakıt debisi (doğalgaz)	m^3/h	190
17	Yakıt alt ısıl değeri (doğalgaz)	kcal/m^3	8200
18	Toplam elektrik güç tüketimi	kW/h	105

4.1.4.2. Dikey Kurutucular

4.1.4.2.1. Dikey Kurutucuların Genel Yapısı ve Çalışma Prensibi

Seramik endüstrisinde yatay ve dikey olmak üzere iki tip kurutucu kullanılmaktadır. Kurutucu seçiminde çalışma şartları (max. sıcaklık, kurutma hızı, kurutma süresi vs.) önem taşır. İncelemenin yapıldığı seramik fabrikasında üç adet dikey tip kurutucu bulunmaktadır ve bunlardan ikisi üretim hattına bağlıdır. Bu tipler otomatik seramik üretim hatları için idealdir.

Pres tarafından şekillendirilmiş masse, otomatik yükleyiciler tarafından dikey kurutucuların içerisindeki sepetlere yerleştirilir. Sepetler zincir yardımıyla kurutucu içerisinde dikey olarak hareket ettirilerek döndürülürler ve bu esnada şekillendirilmiş masse içerisindeki nem oranı % 5-7 düzeyinden, % 1'in altındaki bir değere düşürülür. Bu değerleri masse içerisinde bulunan seramik hammaddelerinin özellikleri; iç gerginlik vs. gibi kimyasal parametreler belirler.



Şekil 4.3 Dikey kurutucu genel görünümü [26].

Genel yapısı Şekil 4.3'de görünen kurutucu sistemi; yükleme-boşaltma üniteleri, sepetler, sistem tahrik ünitesi, yanma bölümü, sıcak havanın sirkülasyonu ile pnomatik ve elektrik ünitelerinden oluşmaktadır.

Dikey kurutucu içerisinde gerçekleştirilen kurutma işlemi, şekillendirilmiş massenin (karo) üç farklı sıcaklık değerlerine sahip bölgeden, eşit sürelerde geçirilmesi esnasında sağlanır. İlk aşamada yüksek sıcaklık bölgesinden (max. 250 °C) geçirilen sepetler; ikinci aşamada orta sıcaklık bölgesinden (≈ 100 °C) geçirilerek dinlendirilir ve karo içerisinde oluşan iç gerginlikleri alınır. Üçüncü ve son aşamada ise çıkış bölgesine yaklaşmış olan karolar soğutulur ve makineyi ($\approx 55-75$ °C) sıcaklık ile terk eder [26].

4.1.4.2.2. Dikey Kurutucu Günlük Ortalama Enerji Tüketim Değerleri

Fabrikadaki dikey kurutucu ünitesinde günlük ölçümler alınmıştır. 09 Haziran 2005 tarihinde üretim esnasında alınan üç ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge oluşturulurken sisteme giren hava miktar değeri için fanlarının etiket değerlerinden, çıkan hava ve gaz miktarları için ise baca gazı analiz sonuçlarındaki debilerden yararlanılmıştır. Sisteme giren-çıkan karo miktarları otomatik sayıcılar; yanıcı gaz tüketimi ise mekanik doğalgaz sayacı yardımıyla belirlenmiş ve saptanan miktarların ortalama saat değerleri alınarak Çizelge 4.9'a işlenmiştir. Ölçümlerde belirlenen dikey kurucunun baca gazı toz atık miktarı $14,3 \text{ mg/m}^3$ 'tür. Değerin küçüklüğü sebebiyle hesaplamalarda toz atık miktarı "0" olarak kabul edilecek ve işleme alınmayacaktır.

Çizelge 4.9 Dikey kurutucu günlük çalışma ortalama parametre değerleri

No	Parametre tipi	Birim	Değer
1	Giren karo miktarı	kg/h	2518
2	Çıkan karo miktarı	kg/h	2400
3	Giren karo nem oranı	%	5
4	Çıkan karo nem oranı	%	0,33
5	Karo giriş sıcaklığı	K	298
6	Karo çıkış sıcaklığı	K	345
7	Baca gazı çıkış sıcaklığı	K	340
8	Dış ortam sıcaklığı	K	298
9	Yanıcı gaz giriş sıcaklığı	K	298
10	Yakma havası giriş sıcaklığı	K	298
11	Soğutucu hava giriş sıcaklığı	K	298
12	Sızıntı hava giriş sıcaklığı	K	298
13	Kullanılan yakıt debisi (doğalgaz)	m ³ /h	8,9
14	Yakma hava debisi	m ³ /h	106,5
15	Dengeleyici hava debisi	m ³ /h	2500
16	Sızıntı hava debisi	m ³ /h	1074
17	Baca gazı debisi	m ³ /h	4404
18	Yakıt alt ısıl değeri (doğalgaz)	kcal/m ³	8200
19	Toplam elektrik güç tüketimi	kWh	65

4.1.4.3. Fırın

4.1.4.3.1. Fırın Genel Yapısı ve Çalışma Prensibi

Pişirme seramik üretimindeki en önemli aşamadır. Hammaddenin uzama, fiziksel dayanım vb. özelliklerini son hal olarak aldığı evredir. Şekillendirilmiş masse ile, sırlama hattında üzerine kaplanan sır, fırın içerisinde sıcaklığın (≈ 1200 °C)'ye yükseltildiği bölgelerden geçerken kristalimsi bir yapıya dönüşür ve fırın çıkışında bu yapı “seramik” adını alır.

Seramik üretimi, 1960–1980’li yıllarda tünel fırınlar ile yapılırken, bu yıllardan sonra yerini rulolu fırınlara bırakmıştır. Sonraki yıllarda yaşanan gelişmelerde ise; üretim süresi, ürün kalitesi vb. konularda ilerlemeler kaydedilmiş ancak fırınların genel yapısında bir değişikliğe gidilmemiştir. Günümüzde fırınlar, üretim süresi ve istenen ürünün özelliklerine bağlı olarak tek ve çift pişirim olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şekil 4.4 ve 4.5’de tek pişirim rulolu seramik fırınından kesitler görülmektedir [33].



Şekil 4.4 Tek pişirim rulolu seramik fırını, kesit -1



Şekil 4.5 Tek pişirim rulolu seramik fırını, kesit -2

Ortalama fırın boyunun 85–100 m olduğu bu üretim teknolojisinde pişirme ve iç sıcaklığın değişim aşamaları fırının toplam boyunun;

- % 10'u ön giriş kısmı (0–500 °C)
- % 30'u ön pişirim (500–1000 °C)
- % 20'si pişirim (1000–1250 °C)
- % 6'sı hızlı soğutma (1250–600 °C)
- % 20'si yavaş soğutma (600–450 °C)
- % 14'ü final soğutma (450–65 °C)

kısımlarından oluşur. Bu yüzdesel dağılımdaki amaç; seramiğin uygun bir pişirme sıcaklığı, ısı dağılımı ve sıcaklık değişim hızı ile iç gerilmesiz olarak pişmesinin sağlanmasıdır [34].

4.1.4.3.2. Fırın Günlük Ortalama Enerji Tüketim Değerleri

Fabrikadaki fırın ünitesinde günlük ölçümler alınmıştır. 09 Haziran 2005 tarihinde üretim esnasında alınan üç ölçüm sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge oluşturulurken sisteme giren hava miktar değeri için fanlarının etiket değerlerinden, çıkan hava ve gaz miktarları için ise baca gazı analiz sonuçlarındaki debilerden yararlanılmıştır. Sisteme giren-çıkan sırlı karo ve seramik miktarları otomatik sayıcılar; yanıcı gaz tüketimi ise mekanik sayaç yardımıyla belirlenmiş ve saptanan miktarların ortalama saat değerleri alınmıştır. Ölçümlerde belirlenen fırın baca gazı toz atık miktarı 33 mg/m^3 'tür. Değerin küçüklüğü sebebiyle hesaplamalarda toz atık miktarı "0" olarak kabul edilecek ve işleme alınmayacaktır. Pişirme esnasında sırlı karo üzerindeki sırrın bir kısmı buharlaşmakta ve baca gazları içerisinde fırını terk etmektedir. Sır içerisindeki su miktarının fazlalığı sebebiyle buharlaşan sır; su buharı olarak kabul edilmiş ve hesaplamalarda sırlı karo buharı adıyla anılmıştır.

Çizelge 4.10 Fırının günlük çalışma ortalama parametre değerleri

No	Parametre tipi	Birim	Değer
1	Giren karo miktarı	kg/h	4402
2	Çıkan karo miktarı	kg/h	4150
3	Karo giriş sıcaklığı	K	298
4	Seramik çıkış sıcaklığı	K	358
5	Baca gazı çıkış sıcaklığı	K	476
6	Dış ortam sıcaklığı	K	298
7	Yakma havası giriş sıcaklığı	K	314
8	Yanıcı gaz giriş sıcaklığı	K	314
9	Kullanılan yakıt debisi (doğalgaz)	m ³ /h	283
10	Yakma hava debisi	m ³ /h	3828
11	Soğutma hava debisi	m ³ /h	3500
12	Sızıntı hava debisi	m ³ /h	1328
13	Baca gazı debisi	m ³ /h	14.203
14	Yakıt alt ısı değer (doğalgaz)	kcal/m ³	8200
15	Toplam elektrik güç tüketimi	kWh	235

4.2. Metot

Üretim işleminde kullanılan ve kaybolan enerjinin tespiti ve sistemin enerji veriminin hesaplanmasında termodinamiğin birinci kanununa göre enerji analizi, üretimdeki ısı ve kimyasal reaksiyonların durumu ve veriminin hesaplanmasında ise termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre ekserji analizleri yapılmaktadır.

Bu çalışmada analizi yapılacak makineler; spray drayer, dikey kurutucu ve seramik pişirme fırınıdır. Bu makineler için sırasıyla;

- Kütle denge analizi
- Enerji analizi
 - Giren madde enerji analizi
 - Çıkan madde enerji analizi
 - Enerji analizi verim hesabı
- Ekserji analizi
 - Ekserji analizi verim hesabı yapılacaktır.

Analizler her makine için ayrı ayrı yapılacaktır. Ölçüm değerleri 09 Haziran 2005 tarihinde üretim esnasında alınan üç ölçüm sonuçlarının ortalamasına aittir. Bu tarihte fabrikada 24 saat kesintisiz üretim yapılmıştır.

Ekserji analizinde sistemin ekserji değeri;

$$E = E_k + E_p + E_{ph} + E_{ch}$$

değerlerin toplamı ile belirlenmektedir. Sistem sürekli akış halindedir. Sistemde yanma, yanma sonucu çıkan gazlar, kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel tepkimeler söz konusudur. Çalışma esnasındaki sistemin kinetik ve potansiyel ekserji değişimleri ihmal edilmiş ve hesaplamalara katılmamıştır. Bu durumdaki ekserji eğeri;

$$E = E_{ph} + E_{ch}$$

fiziksel ve kimyasal ekserji değerlerinin toplamına eşit olacaktır. Fiziksel ve kimyasal ekserji hesaplamalarında 2. bölümde belirtilmiş olan (2.23), (2.24), (2.25), (2.26), (2.27) ve (2.28) formüllerinden istifade edilmiştir.

Tablolardaki entalpi ve entropi farkları ;

$$\Delta h = mC_p(T_1 - T_0) \quad (4.1)$$

$$\Delta S = mC_p \ln(T_1/T_0) \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradaki;

m - Kütleli debi (kg/h),

C_p - Özgül ısı kapasitesi (kJ/kgK)'dir.

Hesaplamalarda kullanılan;

R_u - Üniversal gaz sabitidir ve 8,314 (kJ/kmolK) değerine eşittir. Her bir maddenin gaz sabiti "R" (kJ/kgK) ise;

$$R = R_u / M \quad (4.3)$$

eşitlik (4.3) ile hesaplanmıştır. Buradaki M ; (kg/kmol) maddenin moleküler ağırlığıdır.

4.2.1. Spray Drayer Ünitesi

4.2.1.1. Spray Drayer Kütle Denge Analizi

Bu bölümde spray drayer'e giren ve çıkan maddeler arasında kütle denge analizi yapılmıştır. Üretim esnasında sisteme giren maddeler; çamur, doğalgaz, yakma havası ve sızıntı hava iken, çıkan maddeler masse ve baca gazlarıdır.

Giren maddeler arasındaki seramik çamuru, bünyesinde belirli oranda sulu ve kuru madde barındırır. Hesaplamalarda sulu ve kuru madde oranları ayrı ayrı ele alınmıştır.

Çıkan maddeler arasındaki masse belirli oranda nem ile kurutucuyu terk eder. Nem masseden ayrı olarak hesaplanmıştır. Baca gazları; çamurun bünyesindeki buharlaşan sudan kaynaklanan baca gazları ($B.G_{\text{çamurun su buharı}}$), doğalgazın yanmasından kaynaklanan baca gazları ($B.G_{\text{Yanma}}$) ve diğer baca gazları olarak ($B.G_{\text{Diğer}}$) üç kısımda incelenmiştir.

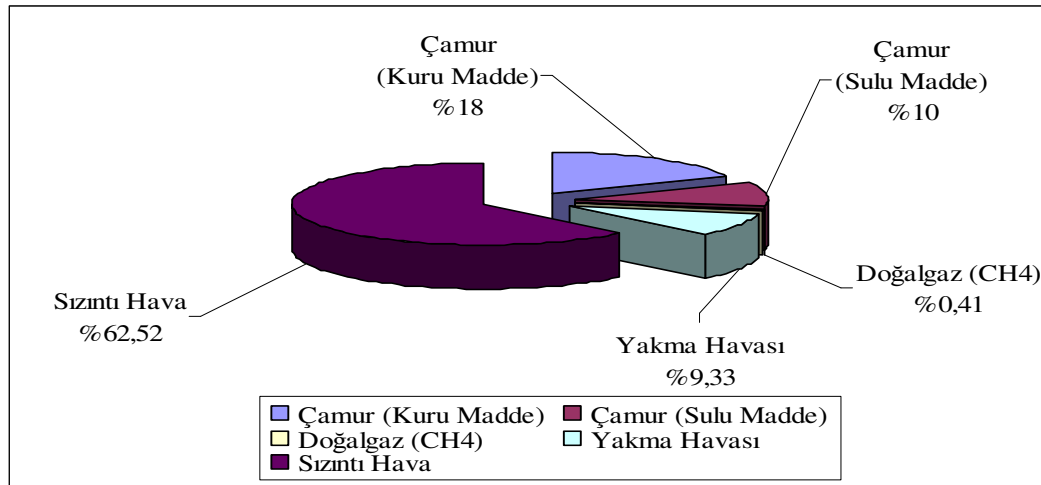
$$m_{\text{giren}} = m_{\text{çıkan}} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} & m_{\text{çamur katı madde}} + m_{\text{çamur sulu madde}} + m_{\text{doğal gaz}} + m_{\text{yakma havası}} + m_{\text{sızıntı hava}} \\ & = m_{\text{masse}} + m_{\text{masse nemi}} + m_{\text{b.g.}(çam.su buh.)} + m_{\text{b.g.}(yanma)} + m_{\text{b.g.}(diğer)} \end{aligned}$$

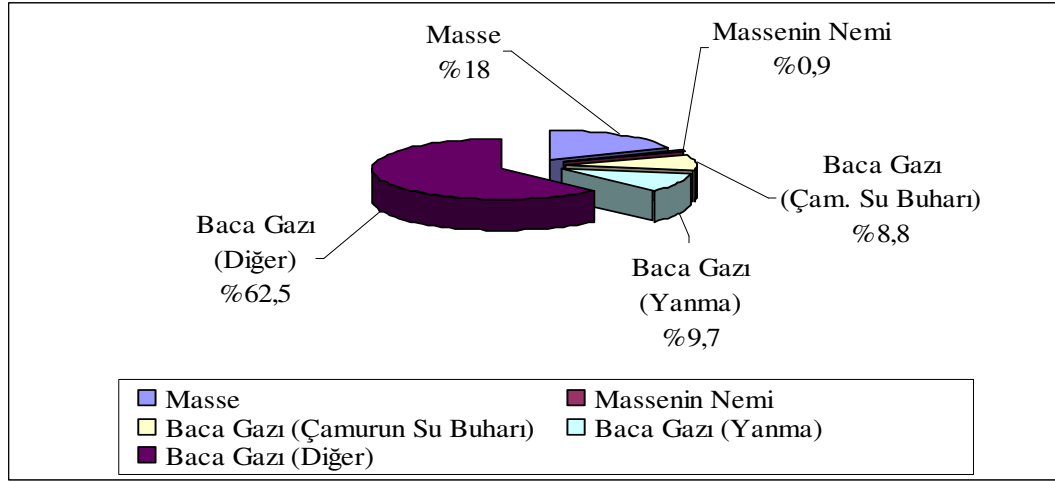
Sisteme giren ve çıkan maddelerin kütle denge analizi Çizelge 4.11’de, kütlelerinin yüzdesel analiz dağılımları Şekil 4.6, 4.7’de ve kütle akış şeması Şekil 4.8’de verilmiştir. Kütle dengesinde hesaba katılan giren-çıkan maddelerin kütle ve elementel analizleri ile baca gazı bileşenleri ile bunların kütle ve mol kesir oran tabloları Çizelge 4.12, 4.13 ve 4.14’de görülmektedir. Spray drayer ile birlikte incelemesi yapılan tüm sistemlerin hesabında referans çevre Çizelge 4.15’de belirtildiği şekilde alınarak hesaplamalarda kullanılmıştır [38].

Çizelge 4.11 Spray drayer kütle denge analizi

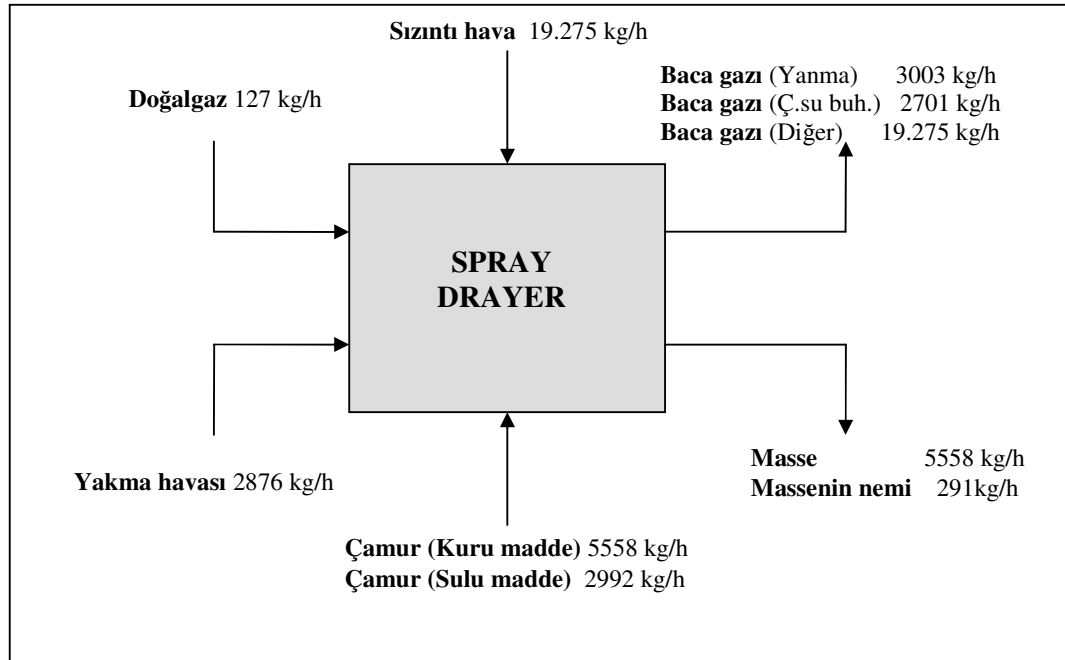
No	Giren maddeler	Sıcaklık (K)	Debi (kg/h)	No	Çıkan maddeler	Sıcaklık (K)	Debi (kg/h)
1	Çamur (Kuru madde)	303	5558	1	Masse	327	5558
2	Çamur (Sulu madde)	303	2992	2	Massenin nemi	327	291
3	Doğalgaz	298	127	3	Baca gazı (Çam. su buharı)	375	2701
4	Yakma havası	298	2876	4	Baca gazı (Yanma)	375	3003
5	Sızıntı hava	298	19.275	5	Baca gazı (Diğer)	375	19.275
Toplam			30.828				30.828



Şekil 4.6 Spray drayer'e giren madde kütlelerinin yüzdesel analizi.



Şekil 4.7 Spray drayer'den çıkan madde kütlelerinin yüzdesel analizi.



Şekil 4.8 Spray drayer kütle akış şeması

Çizelge 4.12 Spray drayer'e giren maddelerin elementel ve kütleli analizleri

Giren maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dağılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Çamur kuru madde	Al ₂ O ₃	303	20,2	1124
	SiO ₂	303	67,2	3734
	Na ₂ O	303	0,5	28
	Fe ₂ O ₃	303	1,5	83
	CaO	303	0,7	38
	MgO	303	0,4	20
	Diğer	303	9,5	531
Toplam				5558
Çamur sulu madde (H ₂ O)	H ₂ O	303	100	2992
Toplam				2992
Yanıcı gaz (CH ₄)	C	298	75	95
	H ₄	298	25	32
Toplam				127
Yakma havası	N ₂	298	77,37	2225
	O ₂	298	20,76	597
	CO ₂	298	0,03	1
	Ar	298	0,92	26
	H ₂ O	298	0,01	1
	Diğer	298	0,91	26
Toplam				2876
Sızıntı hava	N ₂	298	77,37	14.913
	O ₂	298	20,76	4001
	CO ₂	298	0,03	6
	Ar	298	0,92	177
	H ₂ O	298	0,01	2
	Diğer	298	0,91	176
Toplam				19.275

Çizelge 4.13 Spray drayer'den çıkan maddelerin elementel ve kütleli analizleri

Çıkan maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dağılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Masse	Al ₂ O ₃	327	20,2	1124
	SiO ₂	327	67,2	3734
	Na ₂ O	327	0,5	28
	Fe ₂ O ₃	327	1,5	83
	CaO	327	0,7	38
	MgO	327	0,4	20
	Diğer	327	9,5	531
Toplam				5558
Masse nemi	H ₂ O	327	100	291
Toplam				291
Baca gazı (Çamurun su buharı)	H ₂ O	375	100	2701
Toplam				2701
Baca gazı (Yanma)	CO ₂	375	1,65	50
	CO	375	0,0002	0,01
	NO	375	0,004	0,12
	NO ₂	375	0,00004	0,001
	O ₂	375	17,36	521
	H ₂ O	375	3,3	99
	N ₂	375	77,68	2333
Toplam				3003
Baca gazı (Diğer)	N ₂	375	77,37	14.913
	O ₂	375	20,76	4002
	CO ₂	375	0,03	6
	Ar	375	0,92	177
	H ₂ O	375	0,01	2
	Diğer	375	0,91	175
Toplam				19.275

Çizelge 4.14 Spray drayer baca gazı analiz değerleri

Elementler	Kütlesel konsantrasyon (mg/m ³)	Mol kesirleri (kmol/h)	Mol kesri dağılımı (%)
CO ₂		7,9219	1,65
CO	9,67	0,0011	0,0002
NO	171	0,018	0,004
NO ₂	3	0,0002	0,00004
O ₂		83,415	17,36
H ₂ O		15,846	3,3
N ₂		373,25	77,68
Toplam		480,45	100

Çizelge 4.15 Referans çevre tanımlaması

No	Elementler	Mol kesri dağılımı (%)
1	N ₂	77,37
2	O ₂	20,76
3	CO ₂	0,03
4	Ar	0,92
5	H ₂ O	0,01
6	Diğer	0,91
Çevre basıncı P ₀ : 1 bar		

Çizelge 4.16 Çamur bileşim maddeleri karışım oran ve kütle dağılımları

Element dağılımı	Tilkitepe kili		Sındırgı kili		Pegmatit		Genel		
	Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)				
	55		30		15				
	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	
Al ₂ O ₃	21,7	663	20,2	337	14,9	124	1124	20,2	
SiO ₂	63,7	1947	69,5	1159	75,3	628	3734	67,2	
Na ₂ O	0,3	9	0,2	3	1,9	16	28	0,5	
Fe ₂ O ₃	2,4	73	0,5	8	0,2	2	83	1,5	
CaO	0,8	24	0,6	10	0,4	3	38	0,7	
MgO	0,5	15	0,0	0	0,6	5	20	0,4	
Diğer	10,6	324	9,0	150	6,7	56	531	9,5	
Toplam							5558		

Giren maddeler arasında bulunan çamur; “Üretim Yöntem ve Aşamaları” bölümünde de bahsedildiği üzere, çok sayıdaki kil grubunun karıştırılması ile elde edilen bir karışımdır. Karışım içerisindeki maddelerin % oranları göz önüne alınarak çamur bileşimi; tilkitepe kili, sındırgı kili ve pegmatit olmak üzere üç ana hammadde karışımı olarak kabul edilerek, oran ve yüzdeleri Çizelge 4.16’da verilmiştir.

4.2.1.2. Spray Drayer Enerji Analizi

Hesaplamalarda baca gazları, mükemmel gaz olarak kabul edilmiştir. Baca gazlarını oluşturan her bir bileşenin ilgili “T” sıcaklığındaki (C_p) ısı kapasite değeri belirlenerek entalpi değerlerine ulaşılmış ve tüm elementlerin entalpi değer toplamlarından yararlanarak bileşiğin sahip olduğu toplam entalpi değeri bulunmuştur.

Spray drayer'in çalışma esnasındaki ortalama elektrik tüketimi 105 kW/h'dir. Bu değer, ısıya dönüşen elektrik enerjisi olarak hesaplamalara katılmıştır. Sisteme giren ve çıkan maddelerin toplam enerji değerleri Çizelge 4.17 ve 4.18'de görülmektedir.

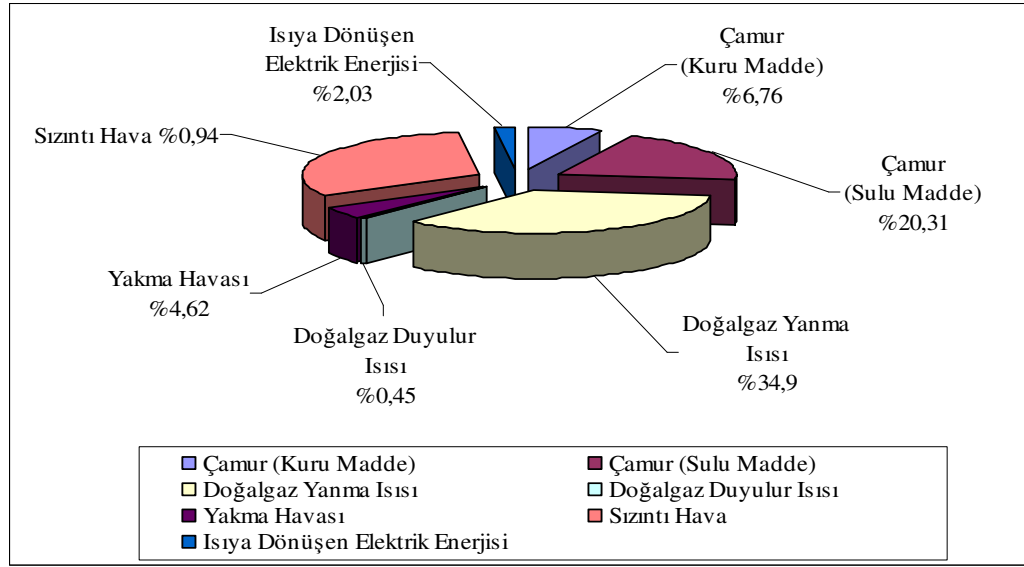
Çizelge 4.17 Spray drayer'e giren maddelerin enerji değerleri

No	Giren maddeler	Sıcaklık (K)	Cp (kJ/kgK)	Kütlesel debi (kg/h)	Qh (kJ/h)
1	Çamur (Kuru madde)	303	0,749	5558	1.261.371
2	Çamur (Sulu madde)	303	4,18	2992	3.789.488
3	Doğalgaz yanma ısısı	----	----	----	6.512.440
4	Doğalgaz duyulur ısısı	298	2,22	127	84.018
5	Yakma havası	298	1,005	2876	861.333
6	Sızıntı hava	298	1,005	19.275	5.772.670
7	Isıya dönüşen elektrik enerjisi	----	----	----	378.000
Toplam					18.659.320

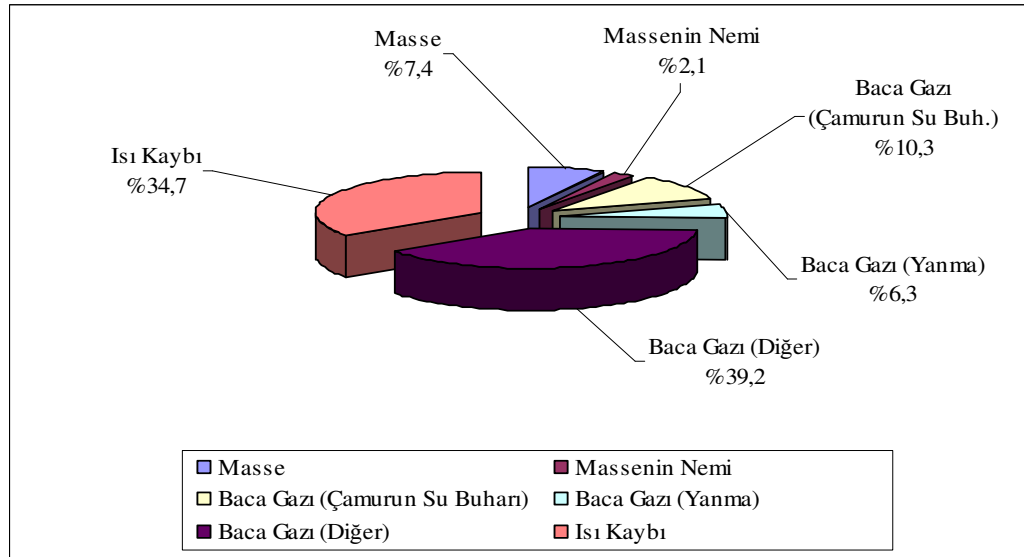
Çizelge 4.18 Spray drayer'den çıkan maddelerin enerji değerleri

No	Çıkan maddeler	Sıcaklık (K)	Cp (kJ/kgK)	Kütlesel debi (kg/h)	Qh (kJ/h)
1	Masse	327	0,760	5558	1.381.274
2	Massenin nemi	327	4,183	291	398.042
3	Baca gazı (Çamurun su buharı)	375	1,903	2701	1.927.501
4	Baca gazı (Yanma)	375	1,05	3003	1.182.431
5	Baca gazı (Diğer)	375	1,011	19.275	7.307.634
6	Isı kaybı	----	----	----	6.462.437
Toplam					18.659.320

Giren ve çıkan maddelerin çizelgelerde belirlenmiş değerlerinin yüzdesel dağılımı Şekil 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Spray drayer'e giren maddelerin enerji değer dağılımları



Şekil 4.10 Spray drayer'den çıkan maddelerin enerji değer dağılımları

4.2.1.3. Spray Drayer Enerji Verimliliği

Enerji verim hesabını, kayıpların düşüldüğü çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi;

$$\eta = \sum \frac{Q_{\text{Çıkan}} - Q_{\text{Kayıplar}}}{Q_{\text{Giren}}} \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir [11].

Bu ifadeye göre spray drayer'in enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{18.659.320 - 6.462.437}{18.659.320} = \mathbf{0,653} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

4.2.1.4. Spray Drayer Ekserji Analizi

Spray drayer'in ekserji analizinde sistem, sürekli akış halindeki kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş ve basınç P= 1 bar , T= 295 K olarak alınmıştır.

Sisteme giren ve çıkan maddelerin toplam ekserji değerleri Çizelge 4.19 ve 4.20'de görölmektedir [31,35,36,38,39].

Çizelge 4.19 Spray drayer'e giren maddelerin ekserji analizi

No	Madde adı	C _P (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	V _m (m ³ /kg)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	ln (P/P ₀)	ΔP (bar)	R (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
1	Çamur kuru madde	0,749										5558						998.386
	Al ₂ O ₃	0,77	0,1019	15	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,081	1124	4327	13,8	1550	165.456	167.006	
	SiO ₂	0,74	0,06	8,2	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,138	3734	13.816	44,2	5122	510.313	515.435	
	Na ₂ OH	1,49	0,0629	296,2	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,132	28	209	0,7	43	131.854	131.897	
	Fe ₂ O ₃	0,65	0,1596	12,4	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,052	83	270	0,9	112	6449	6561	
	CaO	0,75	0,056	110,2	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,148	38	143	0,5	52	74.779	74.831	
	MgO	0,92	0,0403	59,1	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,206	20	92	0,3	28	29.330	29.358	
Diğer	0,74	0,06	8,2	0,0006	298	303	0,016	----	20	0,138	531	1965	6,3	728	72.570	73.298		
2	Çamur sulu madde	4,18										2992						158.486
	H ₂ O		0,018	0,9	0,001	298	303	0,016	----	20	0,461		62.533	200,1	8886	149.600	158.486	
3	Doğalgaz yanma ısısı											127						6.512.440
4	Doğalgaz duyulur ısısı	2,22										127						3.301.856
	C	0,71	0,012	413,16	----	298	298	----	0,019	0,02	0,692	95	0	0	372	2.457.359	2.457.732	
	H ₄	6,7	0,004	418,44	----	298	298	----	0,019	0,02	2,078	32	0	0	377	843.748	844.124	

Çizelge 4.19 (Devamı)

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	V _m (m ³ /kg)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	ln (P/P ₀)	ΔP (bar)	R (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
5	Yakma havası	1,005										2876						113.967
	N ₂	1,04	0,028	0,72	----	298	298	----	----	----	0,296	2225	0	0	0	83.262	83.262	
	O ₂	0,918	0,032	3,97	----	298	298	----	----	----	0,26	597	0	0	0	30.460	30.460	
	CO ₂	0,844	0,044	19,87	----	298	298	----	----	----	0,189	1	0	0	0	0	0	
	Ar	0,52	0,0399	11,69	----	298	298	----	----	----	0,208	26	0	0	0	140	140	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	----	298	298	----	----	----	0,461	1	0	0	0	0	0	
	Diğer	0,48	0,028	0,72	----	298	298	----	----	----	0,296	26	0	0	0	104	104	
6	Sızıntı hava	1,005										19.275						763.862
	N ₂	1,04	0,028	0,72	----	298	298	----	----	----	0,296	14.913	0	0	0	558.060	558.060	
	O ₂	0,918	0,032	3,97	----	298	298	----	----	----	0,26	4001	0	0	0	204.141	204.141	
	CO ₂	0,844	0,044	19,87	----	298	298	----	----	----	0,189	6	0	0	0	2	2	
	Ar	0,52	0,0399	11,69	----	298	298	----	----	----	0,208	177	0	0	0	951	951	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	----	298	298	----	----	----	0,461	2	0	0	0	0	0	
	Diğer	0,48	0,028	0,72	----	298	298	----	----	----	0,296	176	0	0	0	707	707	
Genel Toplam																	11.848.997	

Çizelge 4.20 Spray drayer'den çıkan maddelerin ekserji analizi

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	R (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
1	Masse	0,76							5558						996.181
	Al ₂ O ₃	0,78	0,1019	15	298	327	0,093	0,081	1124	25.425	81,5	1127	165.456	166.584	
	SiO ₂	0,75	0,06	8,2	298	327	0,093	0,138	3734	81.215	260,4	3601	510.313	513.915	
	Na ₂ OH	1,51	0,0629	296,2	298	327	0,093	0,132	28	1226	3,9	54	131.854	131.908	
	Fe ₂ O ₃	0,67	0,1596	12,4	298	327	0,093	0,052	83	1613	5,2	72	6449	6520	
	CaO	0,79	0,056	110,2	298	327	0,093	0,148	38	871	2,8	39	74.779	74.817	
	MgO	0,95	0,0403	59,1	298	327	0,093	0,206	20	551	1,8	24	29.330	29.354	
	Diğer	0,75	0,06	8,2	298	327	0,093	0,138	531	11.549	37	512	72.570	73.082	
2	Masse nemi	4,183							291						16.115
	H ₂ O		0,018	0,9	298	327	0,093	0,461		35.300	113,2	1565	14.550	16.115	
3	Baca gazı (Çamurun su buharı)	1,903							2701						1.469.012
	H ₂ O		0,018	9,5	298	375	0,23	0,461		395.780	1182,2	43.484	1.425.528	1.469.012	

Çizelge 4.20 (Devamı)

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	R (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
4	Baca gazı (Yanma)	1,05							3003						140.656
	CO ₂	0,917	0,044	19,87	298	375	0,23	0,189	50	3530	10,5	388	566	954	
	CO	1,045	0,028	275,1	298	375	0,23	0,296	0,01	1	0,002	0,09	0,0002	0,09	
	NO	1,004	0,03	88,9	298	375	0,23	0,277	0,12	9	0,028	1	0,02	1	
	NO ₂	0,865	0,046	55,6	298	375	0,23	0,18	0,001	0,07	0,0002	0,01	0	0,01	
	O ₂	0,934	0,032	3,97	298	375	0,23	0,26	521	37.469	111,9	4117	23.476	27.592	
	H ₂ O	1,903	0,018	9,5	298	375	0,23	0,461	99	14.507	43,3	1594	3258	4851	
	N ₂	1,042	0,028	0,72	298	375	0,23	0,296	2333	187.186	559,1	20.566	86.691	107.257	
5	Baca gazı (Diğer)	1,011							19.275						928.770
	N ₂	1,042	0,028	0,72	298	375	0,23	0,296	14.913	1.196.530	3574,0	131.463	558.060	689.523	
	O ₂	0,934	0,032	3,97	298	375	0,23	0,26	4002	287.816	859,7	31.622	204.192	235.814	
	CO ₂	0,917	0,044	19,87	298	375	0,23	0,189	6	424	1,3	47	2	48	
	Ar	0,55	0,0399	11,69	298	375	0,23	0,208	177	7496	22,4	824	951	1775	
	H ₂ O	1,903	0,018	9,5	298	375	0,23	0,461	2	293	0,9	32	0	33	
	Diğer	0,59	0,028	0,72	298	375	0,23	0,296	175	7950	23,7	873	703	1577	
Genel Toplam														3.550.734	

4.2.1.5. Spray Drayer Ekserji Verimliliği

Ekserji verimini; bölümden çıkan maddelerin toplam ekserji değerinin, giren maddelerin toplam ekserji verimine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu ifade;

$$\eta = \sum \frac{E_{\phi}}{E_g} \quad (4.6)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda spray drayer'in ekserji verimi;

$$\eta = \frac{3.550.734}{11.848.997} = \mathbf{0,299} \text{ olarak bulunmuştur.}$$

4.2.2. Dikey Kurutucu Ünitesi

4.2.2.1. Dikey Kurutucu Kütle Denge Analizi

Bu bölümde dikey kurutucuya giren ve çıkan maddeler arasında kütle denge analizi yapılmıştır. Üretim esnasında dikey kurutucuya giren maddeler; karo, doğalgaz, yakma havası, dengeleyici hava ve sızıntı hava iken, çıkan maddeler karo ve baca gazlarıdır.

Çıkan maddeler arasındaki karo belirli oranda nem ile dikey kurutucuyu terk eder. Nem karodan ayrı olarak hesaplanmıştır. Baca gazları; karonun bünyesindeki buharlaşan sudan kaynaklanan baca gazları ($B.G_{Karonun\ su\ buharı}$), doğalgazın yanmasından kaynaklanan baca gazları ($B.G_{Yanma}$) ve diğer baca gazları olarak ($B.G_{Diğer}$) üç kısımda incelenmiştir.

Sisteme giren ve çıkan maddelerin kütle denge analizi Çizelge 4.21'de görülmektedir. Giren ve çıkan maddelerin kütle yüzdesel analizleri Şekil 4.11 ve 4.12'de, kütle akış şeması Şekil 4.13'de görülmektedir. Dikey kurutucu kütle dengesinde hesaba katılan giren ve çıkan

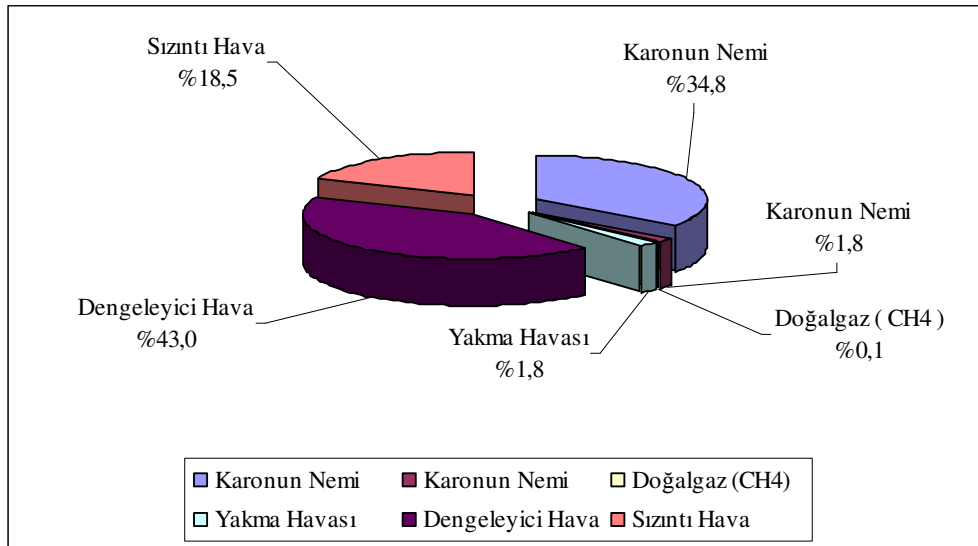
maddelerin kütleli ve elementel analizleri ile baca gazı bileşenleri ve bunların kütleli debi ve mol kesir oran tabloları Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24’de görülmektedir.

$$m_{giren} = m_{çıkan}$$

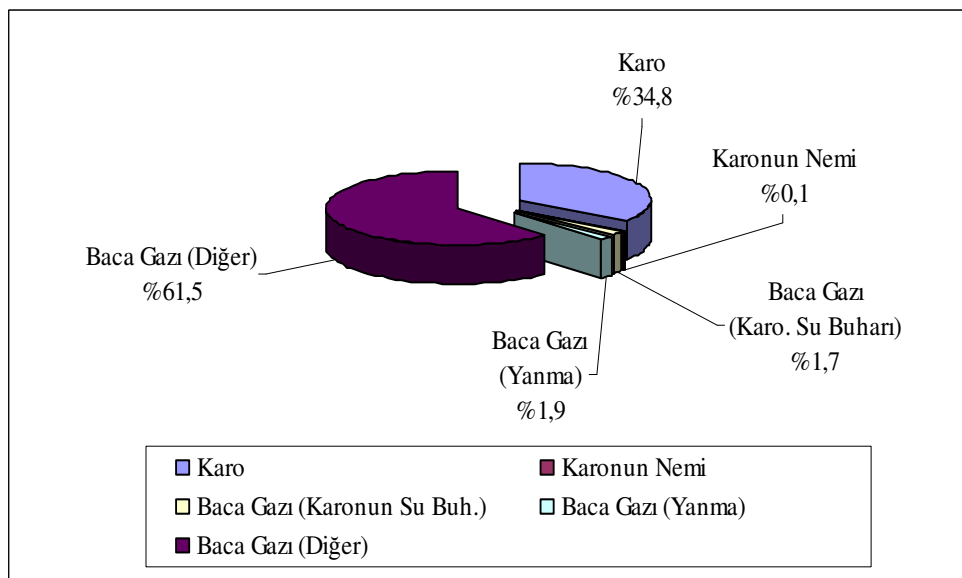
$$m_{karo} + m_{karonun\ nemi} + m_{doğal\ gaz} + m_{yakma\ havası} + m_{dengeleyici\ hava} + m_{sızıntı\ hava} \\ = m_{karo} + m_{kar.\ nemi} + m_{baca\ gazı\ (karonun.su.buh.)} + m_{baca\ gazı\ (yanma)} + m_{baca\ gazı\ (diğer)}$$

Çizelge 4.21 Dikey kurutucu kütle denge analizi

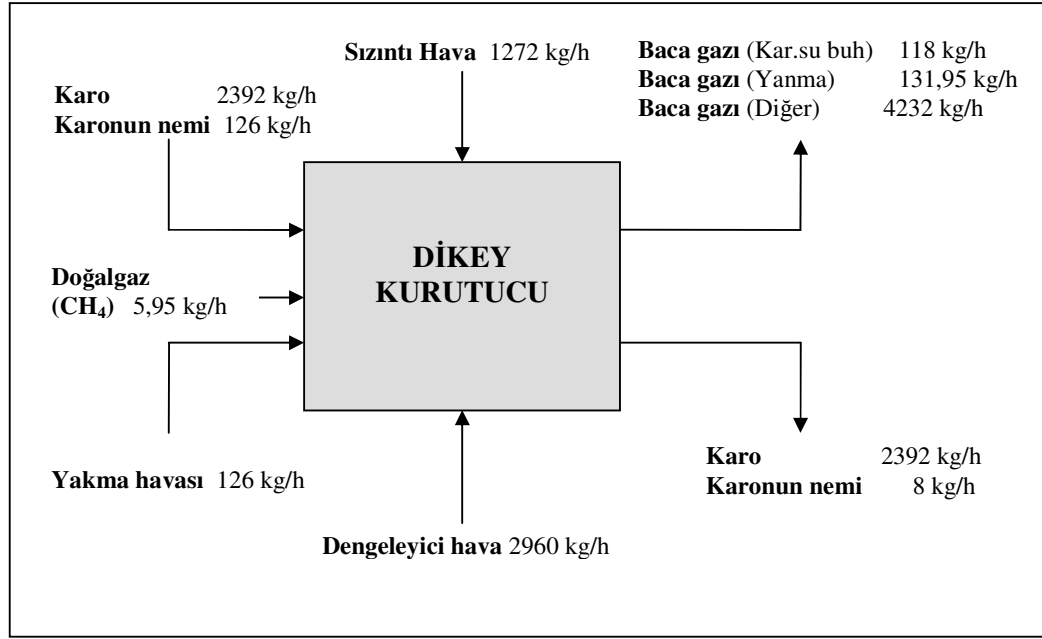
No	Giren maddeler	Sıcaklık (K)	Debi (kg/h)	No	Çıkan maddeler	Sıcaklık (K)	Debi (kg/h)
1	Karo	298	2392	1	Karo	345	2392
2	Karonun nemi	298	126	2	Karonun nemi	345	8
3	Doğalgaz (CH ₄)	298	5,95	3	Baca gazı (Karonun su buh.)	340	118
4	Yakma havası	298	126	4	Baca gazı (Yanma)	340	131,95
5	Dengeleyici hava	298	2960	5	Baca gazı (Diğer)	340	4232
6	Sızıntı hava	298	1272	Toplam 6881,95			
Toplam 6881,95							



Şekil 4.11 Kurutucuya giren madde kütlelerinin yüzdesel analizi



Şekil 4.12 Kurutucudan çıkan madde kütlelerinin yüzdesel analizi



Şekil 4.13 Dikey kurutucu kütle akış şeması

Giren maddeler arasında bulunan şekillendirilmiş masse (karo); “Üretim Yöntem ve Aşamaları” bölümünde de bahsedildiği üzere, çok sayıdaki kil grubunun karıştırılması ile elde edilen bir karışımdır. Karışım içerisindeki maddelerin % oranları göz önüne alınarak şekillendirilmiş massenin bileşimi; tilkitepe kili, sındırgı kili ve pegmatit olmak üzere üç ana hammadde karışımı olarak kabul edilmiş ve karışım oran ve yüzdeleri Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.22 Dikey kurutucuya giren maddelerin elementel ve kütleli analizleri

Giren maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dağılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Karo	Al ₂ O ₃	298	20,2	484
	SiO ₂	298	67,2	1606
	Na ₂ O	298	0,5	13
	Fe ₂ O ₃	298	1,5	37
	CaO	298	0,7	17
	MgO	298	0,4	10
	Diğer	298	9,5	225
Toplam				2392
Karonun nemi (H₂O)	H ₂ O	298	100	126
Toplam				126
Yanıcı gaz (CH₄)	C	298	75	4,46
	H ₄	298	25	1,49
Toplam				5,95
Yakma havası	N ₂	298	77,37	97,5
	O ₂	298	20,76	26,2
	CO ₂	298	0,03	0,04
	Ar	298	0,92	1,2
	H ₂ O	298	0,01	0,01
	Diğer	298	0,91	1,1
Toplam				126
Dengeleyici hava	N ₂	298	77,37	2290
	O ₂	298	20,76	614
	CO ₂	298	0,03	1
	Ar	298	0,92	27
	H ₂ O	298	0,01	0,3
	Diğer	298	0,91	28
Toplam				2960
Sızıntı hava	N ₂	298	77,37	984,1
	O ₂	298	20,76	264,1
	CO ₂	298	0,03	0,4
	Ar	298	0,92	11,7
	H ₂ O	298	0,01	0,1
	Diğer	298	0,91	11,6
Toplam				1272

Çizelge 4.23 Dikey kurutucudan çıkan maddelerin elementel ve kütleli analizleri

Çıkan maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dağılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Karo	Al ₂ O ₃	345	20,2	484
	SiO ₂	345	67,2	1606
	Na ₂ O	345	0,5	13
	Fe ₂ O ₃	345	1,5	37
	CaO	345	0,7	17
	MgO	345	0,4	10
	Diğer	345	9,5	225
Toplam				2392
Karonun nemi (H₂O)	H ₂ O	345	100	8
Toplam				8
Baca gazı (Karonun su buharı)	H ₂ O	340	100	118
Toplam				118
Baca gazı (Yanma)	CO ₂	340	1,76	1,85
	CO	340	0,002	0,003
	NO	340	0,0008	0,001
	NO ₂	340	0,00002	0,00003
	O ₂	340	17,1	22,7
	H ₂ O	340	3,52	4,7
	N ₂	340	77,61	102,7
Toplam				131,95
Baca gazı (Diğer)	N ₂	340	77,37	3274,3
	O ₂	340	20,76	878,6
	CO ₂	340	0,03	1,27
	Ar	340	0,92	38,934
	H ₂ O	340	0,01	0,4
	Diğer	340	0,91	38,5
Toplam				4232

Çizelge 4.24 Dikey kurutucu baca gazı analiz değerleri

Elementler	Kütleli konsantrasyon (mg/m ³)	Mol kesirleri (kmol/h)	Mol kesri dağılımı (%)
CO ₂		0,3707	1,76
CO	66,3	0,0003	0,002
NO	37,67	0,00016	0,0008
NO ₂	1,33	0,000004	0,00002
O ₂		3,6	17,1
H ₂ O		0,742	3,52
N ₂		16,35	77,61
Toplam		21,063	100

Çizelge 4.25 Dikey kurutucuya giren karo hammaddesinin karışım oran ve kütle dağılımı

Element dağılımı	Tilkitepe kili		Sırdırgı kili		Pegmatit		Genel		
	Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)				
	55		30		15				
	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	
Al ₂ O ₃	21,7	285	20,2	145	14,9	54	484	20,2	
SiO ₂	63,7	837	69,5	498	75,3	271	1606	67,2	
Na ₂ O	0,3	4	0,2	2	1,9	7	13	0,5	
Fe ₂ O ₃	2,4	32	0,5	4	0,2	1	37	1,5	
CaO	0,8	10	0,6	5	0,4	2	17	0,7	
MgO	0,5	7	0,0	0	0,6	3	10	0,4	
Diğer	10,6	140	9,0	63	6,7	22	225	9,5	
Toplam							2392		

4.2.2.2. Dikey Kurutucu Enerji Analizi

Dikey kurutucunun çalışma esnasındaki ortalama elektrik tüketimi 65 kW/h'dir. Bu değer, ısıya dönüşen elektrik enerjisi olarak hesaplamalara katılmıştır. Giren ve çıkan maddelerin toplam enerji değerleri Çizelge 4.26 ve 4.27'de görülmektedir.

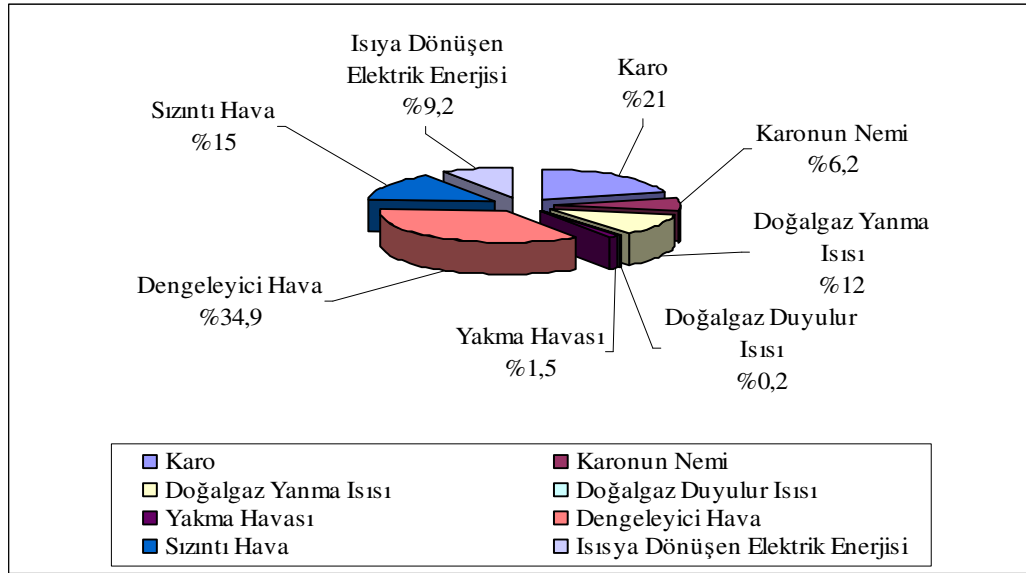
Çizelge 4.26 Dikey kurutucuya giren maddelerin enerji değerleri

No	Giren maddeler	Sıcaklık (K)	Cp (kJ/kgK)	Kütleli debi (kg/h)	Qh (kJ/h)
1	Karo	298	0,749	2392	533.899
2	Karonun nemi	298	4,18	126	156.951
3	Doğalgaz yanma ısısı	-----	-----	-----	305.056
4	Doğalgaz duyulur ısısı	298	2,22	5,95	3936
5	Yakma havası	298	1,005	126	37.736
6	Dengeleyici hava	298	1,005	2960	886.490
7	Sızıntı hava	298	1,005	1272	380.951
8	Isıya dönüşen elektrik enerjisi	-----	-----	-----	234.000
Toplam					2.539.020

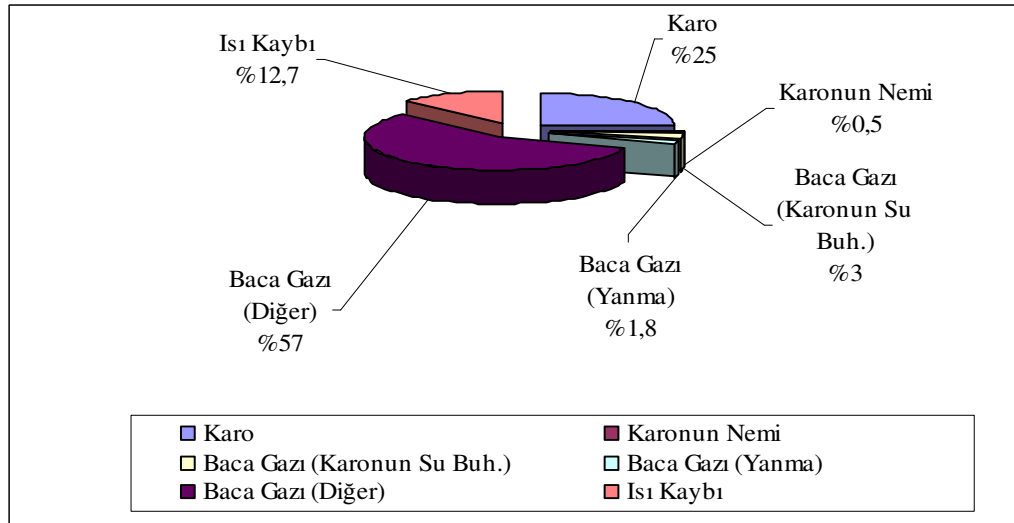
Çizelge 4.27 Dikey kurutucudan çıkan maddelerin enerji değerleri

No	Çıkan maddeler	Sıcaklık (K)	Cp (kJ/kgK)	Kütleli debi (kg/h)	Qh (kJ/h)
1	Karo	345	0,769	2392	634.610
2	Karonun nemi	345	4,19	8	11.564
3	Baca gazı (Karonun su buh.)	340	1,885	118	75.626
4	Baca gazı (Yanma)	340	1,048	131,95	47.016
5	Baca gazı (Diğer)	340	1,007	4232	1.448.952
6	Isı kaybı	----	----	----	321.251
Toplam					2.539.020

Belirlenmiş olan enerji değerlerinin yüzdesel dağılımları Şekil 4.14 ve 4.15'de görülmektedir.



Şekil 4.14 Kurutucuya giren maddelerin enerji değer dağılımları



Şekil 4.15 Kurutucudan çıkan maddelerin enerji değer dağılımları

4.2.2.3. Dikey Kurutucu Enerji Verimliliği

Enerji verim hesabını, kayıpların düşüldüğü çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi

$$\eta = \frac{Q_{\text{Çıkan}} - Q_{\text{Kayıplar}}}{Q_{\text{Giren}}}$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeye göre dikey kurutucunun enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{2.539.020 - 321.251}{2.539.020} = \mathbf{0,873}$$
 olarak bulunmuştur.

4.2.2.4. Dikey Kurutucu Ekserji Analizi

Dikey kurutucunun ekserji analizinde sistem, sürekli akış halindeki kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş ve basınç P= 1 bar, T = 295 K olarak alınmıştır.

Dikey kurutucuya giren ve çıkan maddelerin toplam ekserji değerleri Çizelge 4.28 ve 4.29'da hesaplanmıştır.

Çizelge 4.28 Dikey kurutucuya giren maddelerin ekserji analizi

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	ln (P/P ₀)	ΔP (bar)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
1	Karo	0,749									2392						433.694
	Al ₂ O ₃	0,77	0,1019	15	298	298	----	----	----	0,081	484	0	0	0	71.246	71.246	
	SiO ₂	0,74	0,06	8,2	298	298	----	----	----	0,138	1606	0	0	0	219.487	219.487	
	Na ₂ O	1,49	0,0629	296,2	298	298	----	----	----	0,132	13	0	0	0	61.218	61.218	
	Fe ₂ O ₃	0,65	0,1596	12,4	298	298	----	----	----	0,052	37	0	0	0	2875	2875	
	CaO	0,75	0,056	110,2	298	298	----	----	----	0,148	17	0	0	0	33.454	33.454	
	MgO	0,92	0,0403	59,1	298	298	----	----	----	0,206	10	0	0	0	14.665	14.665	
	Diğer	0,74	0,06	8,2	298	298	----	----	----	0,138	225	0	0	0	30.750	30.750	
2	Karonun nemi	4,18									126						6300
	H ₂ O		0,018	0,9	298	298	----	----	----	0,461		0	0	0	6300	6300	
3	Doğalgaz yanma ısısı										5,95						305.056
4	Doğalgaz duyulur ısısı	2,22									5,95						154.689
	C	0,71	0,012	413,16	298	298	----	0,019	0,02	0,692	4,46	0	0	17	115.367	115.384	
	H ₄	6,7	0,004	418,44	298	298	----	0,019	0,02	2,078	1,49	0	0	18	39.287	39.305	

Çizelge 4.28 (Devamı)

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	ln (P/P ₀)	ΔP (bar)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
5	Yakma havası	1,005									126						4996
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	97,5	0	0	0	3649	3649	
	O ₂	0,918	0,032	3,97	298	298	----	----	----	0,26	26,2	0	0	0	1337	1337	
	CO ₂	0,844	0,044	19,87	298	298	----	----	----	0,189	0,04	0	0	0	0,01	0,01	
	Ar	0,52	0,0399	11,69	298	298	----	----	----	0,208	1,2	0	0	0	6	6	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	298	298	----	----	----	0,461	0,01	0	0	0	0,002	0,002	
	Diğer	0,48	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	1,1	0	0	0	4	4	
6	Dengeleyici hava	1,005									2960						117.289
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	2290	0	0	0	85.702	85.702	
	O ₂	0,918	0,032	3,97	298	298	----	----	----	0,26	614	0	0	0	31.328	31.328	
	CO ₂	0,844	0,044	19,87	298	298	----	----	----	0,189	1	0	0	0	0,3	0,3	
	Ar	0,52	0,0399	11,69	298	298	----	----	----	0,208	27	0	0	0	146	146	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	298	298	----	----	----	0,461	0,3	0	0	0	0,1	0,1	
	Diğer	0,48	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	28	0	0	0	112	112	
7	Sızıntı hava	1,005									1272						50.414
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	984,1	0	0	0	36.826	36.826	
	O ₂	0,918	0,032	3,97	298	298	----	----	----	0,26	264,1	0	0	0	13.475	13.475	
	CO ₂	0,844	0,044	19,87	298	298	----	----	----	0,189	0,4	0	0	0	0	0	
	Ar	0,52	0,0399	11,69	298	298	----	----	----	0,208	11,7	0	0	0	63	63	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	298	298	----	----	----	0,461	0,1	0	0	0	0	0	
	Diğer	0,48	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	11,6	0	0	0	47	47	
Genel Toplam																1.072.437	

Çizelge 4.29 Dikey kurutucudan çıkan maddelerin ekserji analizi

No	Madde adı	C _P (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
1	Karo	0,769							2392						440.118
	Al ₂ O ₃	0,785	0,1019	15	298	345	0,146	0,081	484	17.857	55	1327	71.246	72.573	
	SiO ₂	0,76	0,06	8,2	298	345	0,146	0,138	1606	57.366	178	4262	219.487	223.749	
	Na ₂ O	1,51	0,0629	296,2	298	345	0,146	0,132	13	923	3	69	61.218	61.286	
	Fe ₂ O ₃	0,68	0,1596	12,4	298	345	0,146	0,052	37	1183	4	88	2875	2963	
	CaO	0,81	0,056	110,2	298	345	0,146	0,148	17	647	2	48	33.454	33.502	
	MgO	0,96	0,0403	59,1	298	345	0,146	0,206	10	451	1	34	14.665	14.699	
	Diğer	0,76	0,06	8,2	298	345	0,146	0,138	225	8037	25	597	30.750	31.347	
2	Karonun nemi	4,19							8						517
	H ₂ O		0,018	0,9	298	345	0,146	0,461		1575	5	117	400	517	
3	Baca gazı (Karonun su buharı)	1,885							118						62.870
	H ₂ O		0,018	9,5	298	340	0,132	0,461		9342	29	593	62.278	62.870	

Çizelge 4.29 (Devamı)

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
4	Baca gazı (Yanma)	1,048							131,95						5377
	CO ₂	0,885	0,044	19,87	298	340	0,132	0,189	1,85	69	0,22	4	22	26	
	CO	1,042	0,028	275,1	298	340	0,132	0,296	0,003	0,13	0,0004	0,008	0,0006	0,0090	
	NO	0,999	0,03	88,9	298	340	0,132	0,277	0,001	0,04	0,0001	0,003	0,00003	0,0027	
	NO ₂	0,838	0,046	55,6	298	340	0,132	0,18	0,00003	0,0011	0,000003	0,00007	0	0,00007	
	O ₂	0,926	0,032	3,97	298	340	0,132	0,26	22,7	883	3	56	1011	1067	
	H ₂ O	1,885	0,018	9,5	298	340	0,132	0,461	4,7	372	1	24	163	187	
N ₂	1,04	0,028	0,72	298	340	0,132	0,296	102,7	4486	14	285	3813	4097		
5	Baca gazı (Diğer)	1,007							4232						179.074
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	340	0,132	0,296	3274,3	143.021	449	9072	122.528	131.599	
	O ₂	0,926	0,032	3,97	298	340	0,132	0,26	878,6	34.171	107	2167	44.828	46.996	
	CO ₂	0,885	0,044	19,87	298	340	0,132	0,189	1,27	47	0,15	3	0,35	3,34	
	Ar	0,54	0,0399	11,69	298	340	0,132	0,208	38,934	883	3	56	209	265	
	H ₂ O	1,885	0,018	9,5	298	340	0,132	0,461	0,4	32	0,1	2	0,07	2,08	
	Diğer	0,52	0,028	0,72	298	340	0,132	0,296	38,5	841	3	53	155	208	
Genel Toplam															687.956

4.2.2.5. Dikey Kurutucu Ekserji Verimliliği

Ekserji verimini; bölümden çıkan maddelerin toplam ekserji değerinin, giren maddelerin toplam ekserji verimine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu ifade;

$$\eta = \sum \frac{E_{\varphi}}{E_g}$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda dikey kurutucunun ekserji verimi;

$$\eta = \frac{687.956}{1.072.437} = \mathbf{0,614}$$
 olarak bulunmuştur.

4.2.3. Fırın Ünitesi

4.2.3.1. Fırın Kütle Denge Analizi

Bu bölümde fırına giren ve çıkan maddeler arasında kütle denge analizi yapılmıştır. Üretim esnasında fırına giren maddeler; sırlı karo, doğalgaz, yakma havası, soğutucu hava ve sızıntı hava iken, çıkan maddeler seramik ve baca gazlarıdır.

Çıkan maddeler arasındaki baca gazları; sırlı karonun bünyesindeki buharlaşan sırdan kaynaklanan baca gazları (B.G_{Sırlı karo buharı}), doğalgazın yanmasından kaynaklanan baca gazları (B.G_{Yanma}) ve diğer baca gazları olarak (B.G_{Diğer}) üç kısımda incelenmiştir. Sisteme giren ve çıkan maddelerin kütle analizi Çizelge 4.30'da verilmiştir.

$$m_{giren} = m_{çikan}$$

$$m_{sırlı\ karo} + m_{doğalgaz} + m_{yakma\ havası} + m_{soğutucu\ hava} + m_{sızıntı\ hava} = m_{seramik} + m_{baca\ gazı(sırlı\ karo\ buh.)} + m_{baca\ gazı\ (yanma)} + m_{baca\ gazı\ (diğer)}$$

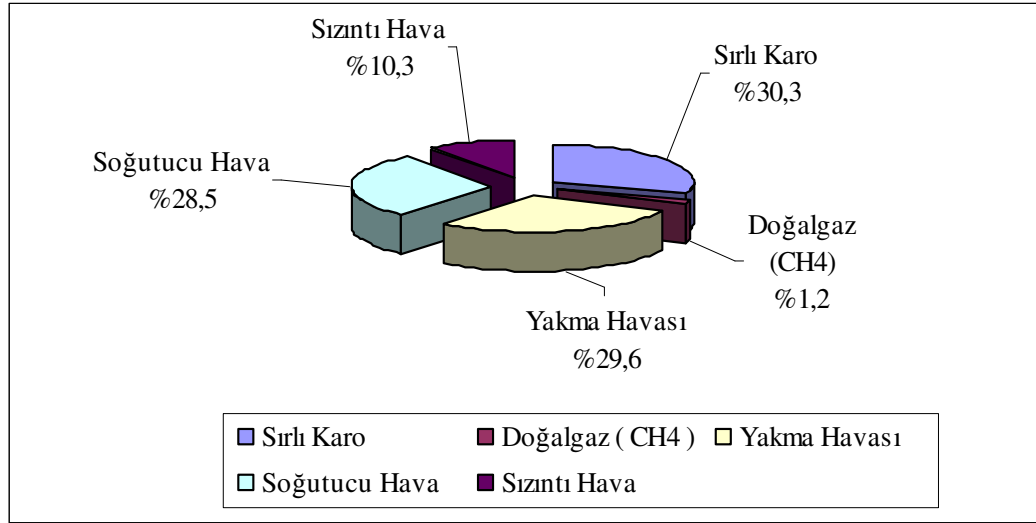
Çizelge 4.30 Fırına giren ve çıkan maddelerin kütleli analizi

No	Giren maddeler	Sıcaklık (K)	Debi (kg/h)	No	Çıkan maddeler	Sıcaklık (K)	Debi (kg/h)
1	Sırlı karo	298	4402	1	Seramik	358	4150
2	Doğalgaz (CH ₄)	314	180	2	Baca gazı (Sırlı karo buh.)	476	252
3	Yakma havası	314	4302	3	Baca gazı (Yanma)	476	4482
4	Soğutucu hava	298	4144	4	Baca gazı (Diğer)	476	5637
5	Sızıntı hava	314	1493	Toplam			14.521
			Toplam	14.521			

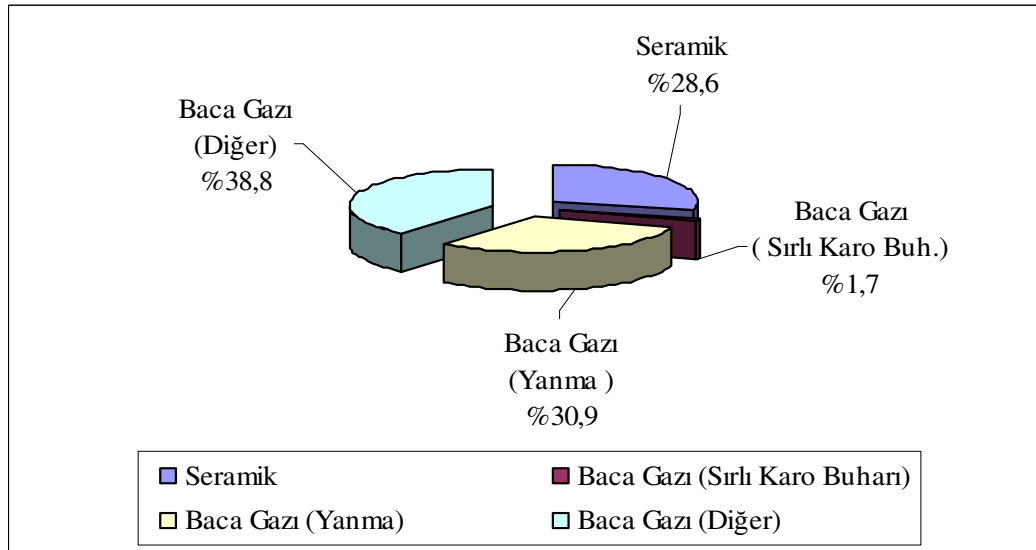
Giren ve çıkan maddelerin kütle yüzdeleri Şekil 4.16 ve 4.17’de, kütle akış şeması Şekil 4.18’de verilmiştir.

Fırın baca gazı bileşenleri, giren ve çıkan maddelerin kütleli ve elementel analizleri ile bunların kütleli debi ve mol kesir oran tabloları Çizelge 4.31, 4.32 ve 4.33’de görülmektedir.

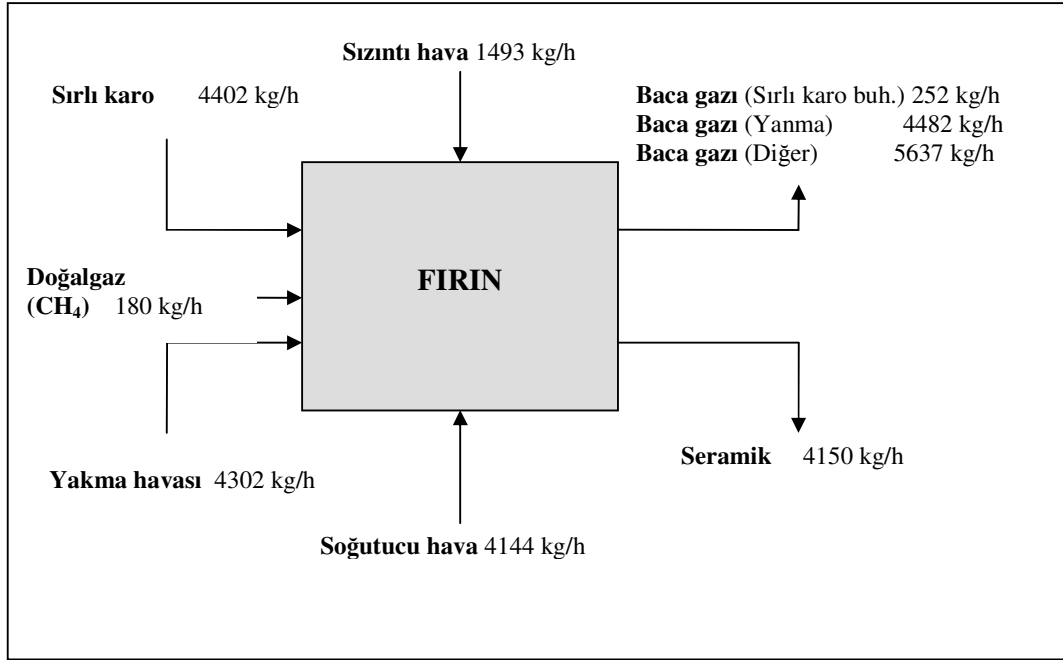
Fırına giren “sırlı karo” ve fırından çıkan “seramiğin” kütle dağılımları ile karışım miktar ve yüzdeleri Çizelge 4.34 ve 4.35’de görülmektedir.



Şekil 4.16 Fırına giren maddelerin yüzdesel analizi



Şekil 4.17 Fırından çıkan maddelerin yüzdesel analizi



Şekil 4.18 Fırın kütle akış şeması

Çizelge 4.31 Fırın baca gazı analiz değerleri

Elementler	Kütleli konsantrasyon (mg/m ³)	Mol kesirleri (kmol/h)	Mol kesri dağılımı (%)
CO ₂		11,166	1,56
CO	156,67	0,034	0,005
NO	486,66	0,098	0,02
NO ₂	130,4	0,017	0,002
O ₂		126,05	17,55
H ₂ O		22,4	3,12
N ₂		558,3	77,753
Toplam		718,065	100

Çizelge 4.32 Fırına giren maddelerin elementel ve kütleli analizleri

Giren maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dağılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Sırlı karo	Al ₂ O ₃	298	19,1	839,5
	SiO ₂	298	64,3	2829
	Na ₂ O	298	0,5	21,4
	Fe ₂ O ₃	298	1,5	64,1
	CaO	298	0,7	28,9
	MgO	298	0,4	15,6
	Diğer Ham.	298	9,2	403,7
	Diğer Kim.	298	4,5	200
Toplam				4402
Yanıcı gaz (CH ₄)	C	314	75	135
	H ₄	314	25	45
Toplam				180
Yakma havası	N ₂	314	77,37	3328,5
	O ₂	314	20,76	893,1
	CO ₂	314	0,03	1,3
	Ar	314	0,92	39,6
	H ₂ O	314	0,01	0,4
	Diğer	314	0,91	39,1
Toplam				4302
Soğutucu hava	N ₂	298	77,37	3206,2
	O ₂	298	20,76	860,32
	CO ₂	298	0,03	1,24
	Ar	298	0,92	38,12
	H ₂ O	298	0,01	0,41
	Diğer	298	0,91	37,71
Toplam				4144
Sızıntı hava	N ₂	314	77,37	1155,2
	O ₂	314	20,76	309,9
	CO ₂	314	0,03	0,4
	Ar	314	0,92	13,8
	H ₂ O	314	0,01	0,1
	Diğer	314	0,91	13,6
Toplam				1493

Çizelge 4.33 Fırından çıkan maddelerin elementel ve kütleli analizleri

Çıkan maddeler	Elementler	Sıcaklık (K)	Dağılım (%)	Kütleli debi (kg/h)
Seramik	Al ₂ O ₃	358	20,4	845,2
	SiO ₂	358	66,1	2744
	Na ₂ O	358	0,5	21,4
	Fe ₂ O ₃	358	1,5	61,7
	CaO	358	0,7	27,7
	MgO	358	0,4	15,6
	Diğer Ham.	358	9,5	394,6
	Diğer Kim.	358	1	40
Toplam				4150
Baca gazı (Karbonun su buharı)	H ₂ O	476	100	252
Toplam				252
Baca gazı (Yanmadan gelen)	CO ₂	476	1,56	70
	CO	476	0,005	0,2
	NO	476	0,02	2,91
	NO ₂	476	0,002	0,09
	O ₂	476	17,55	786
	H ₂ O	476	3,12	139,8
	N ₂	476	77,753	3483
Toplam				4482
Baca gazı (Diğer)	N ₂	476	77,37	4361,3
	O ₂	476	20,76	1170,2
	CO ₂	476	0,03	1,7
	Ar	476	0,92	51,9
	H ₂ O	476	0,01	0,6
	Diğer	476	0,91	51,3
Toplam				5637

Çizelge 4.34 Fırına giren sırlı karonun kütle dağılımı ile karışım miktar ve yüzdeleri

Element dağılımı	Tilkitepe kili		Sındırgı kili		Pegmatit		Genel		
	Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)				
	55		30		15				
	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	
Al ₂ O ₃	20,1	486,6	19,62	259,0	14,2	93,9	839,5	19,1	
SiO ₂	61,1	1479,2	66,26	874,6	71,9	475,0	2829	64,3	
Na ₂ O	0,29	7,0	0,19	2,5	1,8	11,9	21,4	0,5	
Fe ₂ O ₃	2,34	56,7	0,47	6,2	0,2	1,3	64,1	1,5	
CaO	0,78	18,9	0,56	7,4	0,4	2,6	28,9	0,7	
MgO	0,48	11,6	0	0,0	0,6	4,0	15,6	0,4	
Diğer hammaddeler	10,37	251,0	8,36	110,4	6,4	42,3	403,7	9,2	
Diğer kim.	4,54	110,0	4,54	60,0	4,5	30,0	200	4,5	
Toplam 4402									

Çizelge 4.35 Fırından çıkan seramiğin kütle dağılımı ile karışım miktar ve yüzdeleri

Element dağılımı	Tilkitepe kili		Sındırgı kili		Pegmatit		Genel		
	Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)		Genel dağılım içindeki (%)				
	55		30		15				
	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	Kütle (kg/h)	Kütle (kg/h)	Dağılım (%)	
Al ₂ O ₃	21,6	492,9	20,64	257,0	15,3	95,3	845,2	20,4	
SiO ₂	62,7	1430,8	68,56	853,0	73,9	460,0	2744	66,1	
Na ₂ O	0,31	7,1	0,2	2,5	1,9	11,8	21,4	0,5	
Fe ₂ O ₃	2,37	54,1	0,48	6,0	0,25	1,6	61,7	1,5	
CaO	0,79	18,0	0,58	7,0	0,45	2,8	27,7	0,7	
MgO	0,49	11,2	0	0,0	0,7	4,4	15,6	0,4	
Diğer hammaddeler	10,84	245,9	8,64	107,6	6,6	41,1	394,6	9,5	
Diğer kim.	0,9	22,0	0,9	12,0	0,9	6,0	40	1,0	
Toplam 4150									

4.2.3.2. Fırın Enerji Analizi

Fırının çalışma esnasındaki ortalama elektrik tüketimi 235 kW/h'dir. Bu değer, ısıya dönüşen elektrik enerjisi olarak hesaplamalara katılmıştır. Sisteme giren ve çıkan maddelerin toplam enerji değerleri Çizelge 4.36 ve 4.37'de görülmektedir.

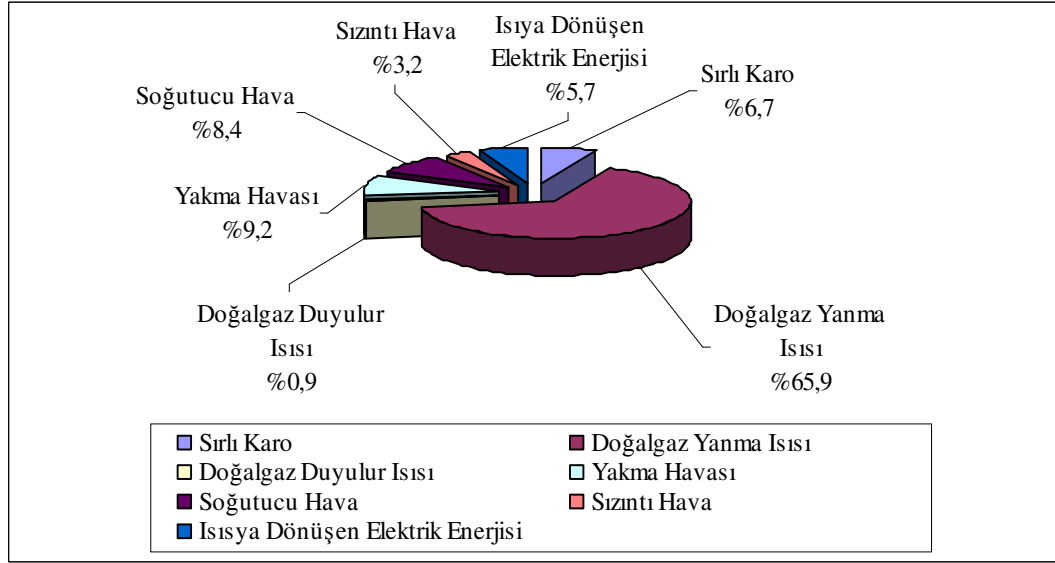
Çizelge 4.36 Fırına giren maddelerin enerji değerleri

No	Giren maddeler	Sıcaklık (K)	Cp (kJ/kgK)	Kütleli debi (kg/h)	Qh (kJ/h)
1	Sırlı karo	298	0,749	4402	982.535
2	Doğalgaz yanma ısısı	-----	-----	-----	9.700.108
3	Doğalgaz duyulur ısısı	314	2,285	180	129.148
4	Yakma havası	314	1,006	4302	1.358.933
5	Soğutucu hava	298	1,005	4144	1.241.087
6	Sızıntı hava	314	1,006	1493	471.615
7	Isıya dönüşen elektrik enerjisi	-----	-----	-----	846.000
Toplam					14.729.426

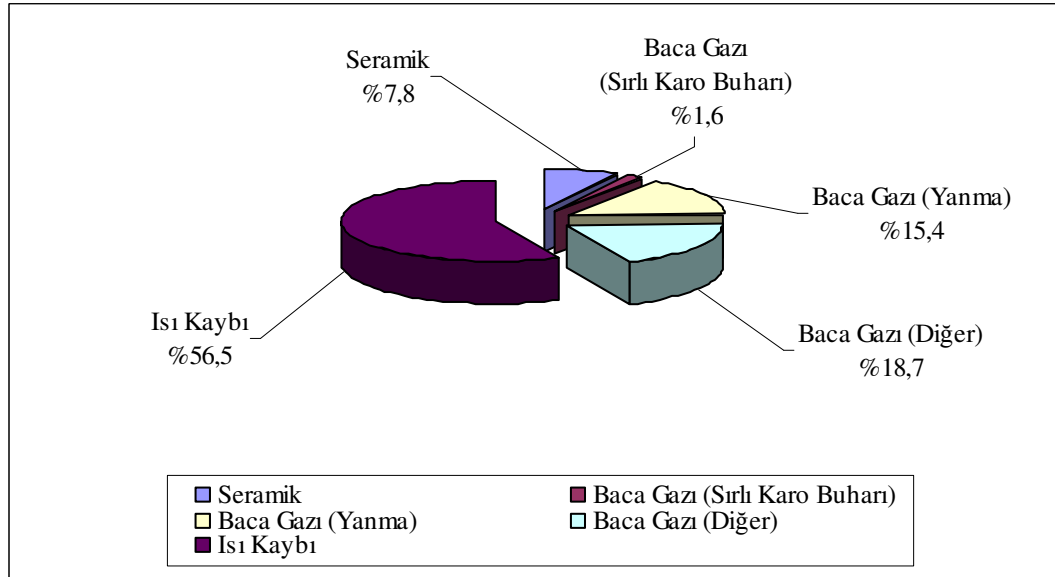
Çizelge 4.37 Fırından çıkan maddelerin enerji değerleri

No	Çıkan maddeler	Sıcaklık (K)	Cp (kJ/kgK)	Kütleli debi (kg/h)	Qh (kJ/h)
1	Seramik	358	0,771	4150	1.145.475
2	Baca gazı (Sırlı karo buharı)	476	1,953	252	234.266
3	Baca gazı (Yanma)	476	1,064	4482	2.269.972
4	Baca gazı (Diğer)	476	1,025	5637	2.750.292
5	Isı kaybı	-----	-----	-----	8.329.421
Toplam					14.729.426

Belirlenmiş olan enerji değerlerinin yüzdesel dağılımları Şekil 4.19 ve 4.20'de görülmektedir.



Şekil 4.19 Fırına giren maddelerin enerji değer dağılımları



Şekil 4.20 Fırından çıkan maddelerin enerji değer dağılımları

4.2.3.3. Fırın Enerji Verimliliği

Enerji verim hesabını, kayıpların düşüldüğü çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi

$$\eta = \frac{Q_{\text{Çıkan}} - Q_{\text{Kayıplar}}}{Q_{\text{Giren}}}$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeye göre fırının enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{14.729.426 - 8.329.421}{14.729.426} = \mathbf{0,434}$$
 olarak bulunmuştur.

4.2.3.4. Fırın Ekserji Analizi

Fırın ekserji analizinde sistem, sürekli akış halindeki kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş ve basınç P= 1 bar, T= 295 K olarak alınmıştır.

Sisteme giren ve çıkan maddelerin toplam ekserji değerleri Çizelge 4.38 ve 4.39'da görölmektedir.

Çizelge 4.38 Fırına giren maddelerin ekserji analizi

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	ln (P/P ₀)	ΔP (bar)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
1	Sırlı karo	0,749									4402						778.215
	Al ₂ O ₃	0,77	0,1019	15	298	298	----	----	----	0,081	839,5	0	0	0	123.577	123.577	
	SiO ₂	0,74	0,06	8,2	298	298	----	----	----	0,138	2829	0	0	0	386.630	386.630	
	Na ₂ O	1,49	0,0629	296,2	298	298	----	----	----	0,132	21,4	0	0	0	100.774	100.774	
	Fe ₂ O ₃	0,65	0,1596	12,4	298	298	----	----	----	0,052	64,1	0	0	0	4980	4980	
	CaO	0,75	0,056	110,2	298	298	----	----	----	0,148	28,9	0	0	0	56.871	56.871	
	MgO	0,92	0,0403	59,1	298	298	----	----	----	0,206	15,6	0	0	0	22.877	22.877	
	Diğer ham.	0,74	0,06	8,2	298	298	----	----	----	0,138	403,7	0	0	0	55.172	55.172	
	Diğer kim.	0,74	0,06	8,2	298	298	----	----	----	0,138	200	0	0	0	27.333	27.333	
2	Doğalgaz yanma ısısı										180						9.700.108
3	Doğalgaz duyulur ısısı	2,285									180						4.679.823
	C	0,72	0,012	413,16	298	314	0,052	0,019	0,02	0,692	135	1.555	5	578	3.492.037	3.492.615	
	H ₄	6,98	0,004	418,44	298	314	0,052	0,019	0,02	2,078	45	5.026	16	688	1.186.520	1.187.208	
4	Yakma havası	1,006									4302						172.676
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	314	0,052	----	----	0,296	3328,5	55.386	180	1745	124.556	126.301	
	O ₂	0,92	0,032	3,97	298	314	0,052	----	----	0,26	893,1	13.146	43	414	45.568	45.982	
	CO ₂	0,86	0,044	19,87	298	314	0,052	----	----	0,189	1,3	18	0,1	0,6	0,35	0,92	
	Ar	0,53	0,0399	11,69	298	314	0,052	----	----	0,208	39,6	336	1	10,6	213	223,4	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	298	314	0,052	----	----	0,461	0,4	27	0,1	0,8	0,072	0,915	
Diğer	0,53	0,028	0,72	298	314	0,052	----	----	0,296	39,1	332	1	10	157	168		

Çizelge 4.38 (Devamı)

No	Madde adı	C _p (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	ln (P/P ₀)	ΔP (bar)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
5	Soğutucu hava	1,005									4144						164.232
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	3206,2	0	0	0	119.979	119.979	
	O ₂	0,918	0,032	3,97	298	298	----	----	----	0,26	860,32	0	0	0	43.896	43.896	
	CO ₂	0,844	0,044	19,87	298	298	----	----	----	0,189	1,24	0	0	0	0,3	0,3	
	Ar	0,52	0,0399	11,69	298	298	----	----	----	0,208	38,12	0	0	0	205	205	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	298	298	----	----	----	0,461	0,41	0	0	0	0,1	0,1	
	Diğer	0,48	0,028	0,72	298	298	----	----	----	0,296	37,71	0	0	0	152	152	
6	Sızıntı hava	1,006									1493						59.927
	N ₂	1,04	0,028	0,72	298	314	0,052	----	----	0,296	1155,2	19.223	62	606	43.229	43.834	
	O ₂	0,92	0,032	3,97	298	314	0,052	----	----	0,26	309,9	4562	15	144	15.812	15.956	
	CO ₂	0,86	0,044	19,87	298	314	0,052	----	----	0,189	0,4	6	0	0,2	0,1	0,3	
	Ar	0,53	0,0399	11,69	298	314	0,052	----	----	0,208	13,8	117	0	4	74	78	
	H ₂ O	4,18	0,018	9,5	298	314	0,052	----	----	0,461	0,1	7	0	0,2	0,02	0,23	
	Diğer	0,53	0,028	0,72	298	314	0,052	----	----	0,296	13,6	115	0	4	55	58	
Genel Toplam																15.554.981	

Çizelge 4.39 Fırından çıkan maddelerin ekserji analizi

No	Madde adı	C _P (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)
1	Seramik	0,771							4150						759.280
	Al ₂ O ₃	0,792	0,1019	15	298	358	0,183	0,081	845,2	40.164	122	3659	124.416	128.075	
	SiO ₂	0,761	0,06	8,2	298	358	0,183	0,138	2744	125.291	382	11.414	375.013	386.427	
	Na ₂ O	1,53	0,0629	296,2	298	358	0,183	0,132	21,4	1965	6	179	100.774	100.953	
	Fe ₂ O ₃	0,69	0,1596	12,4	298	358	0,183	0,052	61,7	2554	8	233	4794	5026	
	CaO	0,83	0,056	110,2	298	358	0,183	0,148	27,7	1379	4	126	54.510	54.635	
	MgO	0,97	0,0403	59,1	298	358	0,183	0,206	15,6	908	3	83	22.877	22.960	
	Diğer ham.	0,761	0,06	8,2	298	358	0,183	0,138	394,6	18.017	55	1641	53.929	55.570	
	Diğer kim.	0,761	0,06	8,2	298	358	0,183	0,138	40	1826	6	166	5467	5633	
2	Baca gazı (Sırlı karo buh.)	1,953							252						151.966
	H ₂ O		0,018	9,5	298	476	0,468	0,461		87.604	230	18.966	133.000	151.966	
3	Baca gazı (Yanma)	1,064							4482						354.240
	CO ₂	0,996	0,044	19,87	298	476	0,468	0,189	70	12.410	32,6	2687	749	3436	
	CO	1,059	0,028	275,1	298	476	0,468	0,296	0,2	37,7	0,1	8,2	0,1	8,27	
	NO	1,021	0,03	88,9	298	476	0,468	0,277	2,91	528,86	1,4	114,5	2,13	116,63	
	NO ₂	0,934	0,046	55,6	298	476	0,468	0,18	0,09	14,96	0,0	3,24	0,003	3,24	
	O ₂	0,964	0,032	3,97	298	476	0,468	0,26	786	134.871	354,6	29.199	35.697	64.896	
	H ₂ O	1,953	0,018	9,5	298	476	0,468	0,461	139,8	48.599	127,8	10.521	4379	14.901	
	N ₂	1,053	0,028	0,72	298	476	0,468	0,296	3483	652.833	1716	141.335	129.545	270.880	

Çizelge 4.39 (Devamı)

No	Madde adı	C _P (kJ/kgK)	M (kg/mol)	e (kJ/mol)	T ₀ (K)	T (K)	ln (T/T ₀)	R _x (kJ/kgK)	m (kg/h)	Entalpi (kJ/h)	Entropi (kJ/h)	Fiziksel ekserji (kJ/h)	Kimyasal ekserji (kJ/h)	Toplam ekserji (kJ/h)	Genel toplam ekserji (kJ/h)		
4	Baca gazı (Diğer)	1,025							5637								446.054
	N ₂	1,053	0,028	0,72	298	476	0,468	0,296	4361,3	817.456	2149	176.975	163.204	340.179			
	O ₂	0,964	0,032	3,97	298	476	0,468	0,26	1170,2	200.797	528	43.471	59.707	103.178			
	CO ₂	0,996	0,044	19,87	298	476	0,468	0,189	1,7	301	0,79	65,25	0,46	65,71			
	Ar	0,59	0,0399	11,69	298	476	0,468	0,208	51,9	5451	14	1180	279	1459			
	H ₂ O	1,953	0,018	9,5	298	476	0,468	0,461	0,6	209	0,5	45,16	0,11	45,26			
	Diğer	0,466	0,028	0,72	298	476	0,468	0,296	51,3	4255	11	921	206	1127			
Genel Toplam														1.711.540			

4.2.3.5. Fırın Ekserji Verimliliği

Ekserji verimini; bölümden çıkan maddelerin toplam ekserji değerinin, giren maddelerin toplam ekserji verimine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu ifade;

$$\eta = \sum \frac{E_{\phi}}{E_g}$$

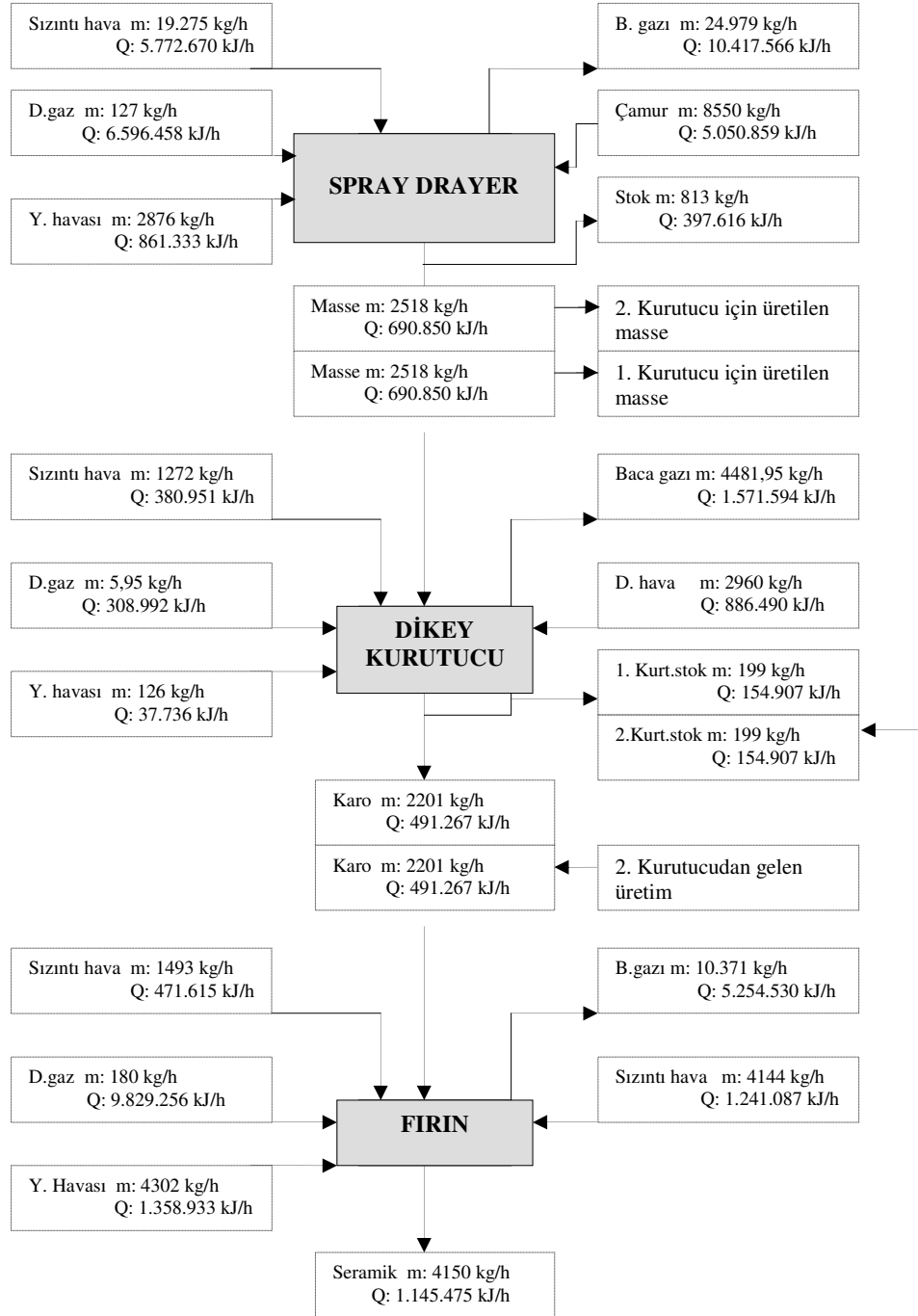
şeklinde yazılabilir. Bu durumda fırının ekserji verimi;

$$\eta = \frac{1.711.540}{15.554.981} = \mathbf{0,11}$$
 olarak bulunmuştur.

4.2.4. Tüm Üretim Sisteminin Enerji Akış Takibi

Tesisteki analizi yapılan tüm sistemlerin enerji ve kütle dengeleri ile makinelerin birbirleri arasındaki üretim akış hattı Şekil 4.21’de görülmektedir. Fabrikada halihazırda üretim yapan iki adet kurutucu bulunmaktadır. Analizler birinci kurutucu için yapılmıştır. Her iki kurutucu da aynı özellikte ve kabiliyettedir. Üretim akış hattında spray drayer’in; iki adet kurutucu kapasitesinden fazla yaptığı üretim stok olarak gösterilmiştir. Aynı şekilde iki kurutucu üretiminin bir kısmı da yine stoğa ayrılmakta kalan kısmı ise fırının beslenmesinde kullanılmaktadır.

Spray drayer üretiminden oluşan fazla masse silolarda depolanmakta ve silo kapasiteleri dolduğunda spray üretimden çıkmaktadır. Yine kurutucuların fırın kapasitesinden fazla yaptığı üretimler, stok arabalarında depolanmakta ve araba kapasiteleri dolduğunda kurutucular ve onları besleyen preslerin üretimi kesilmektedir. Fırının işletme arızalarından etkilenmeden 24 saat üretim yapması bu stoklar ile sağlanır.



Şekil 4.21 Tüm üretim hattı enerji-kütle akış şeması

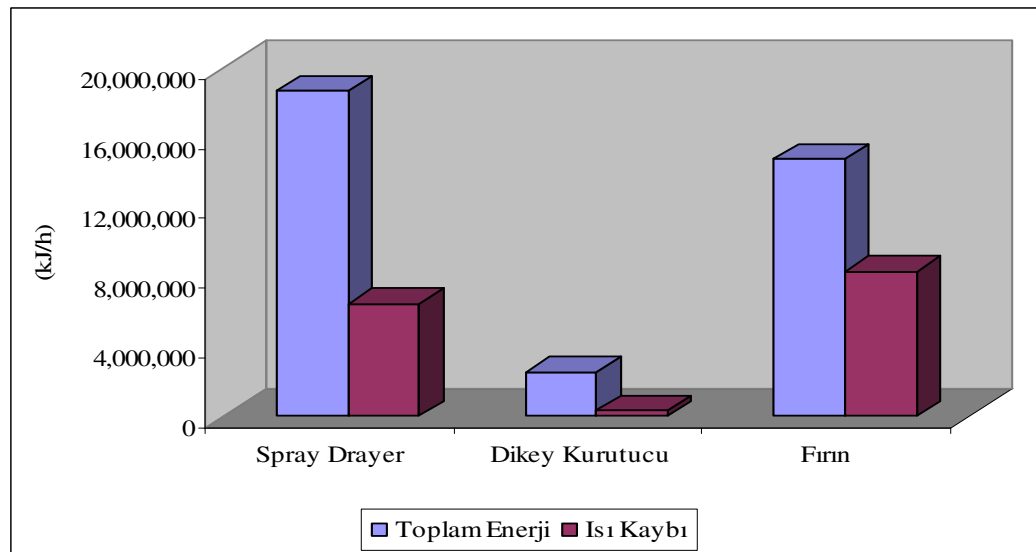
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

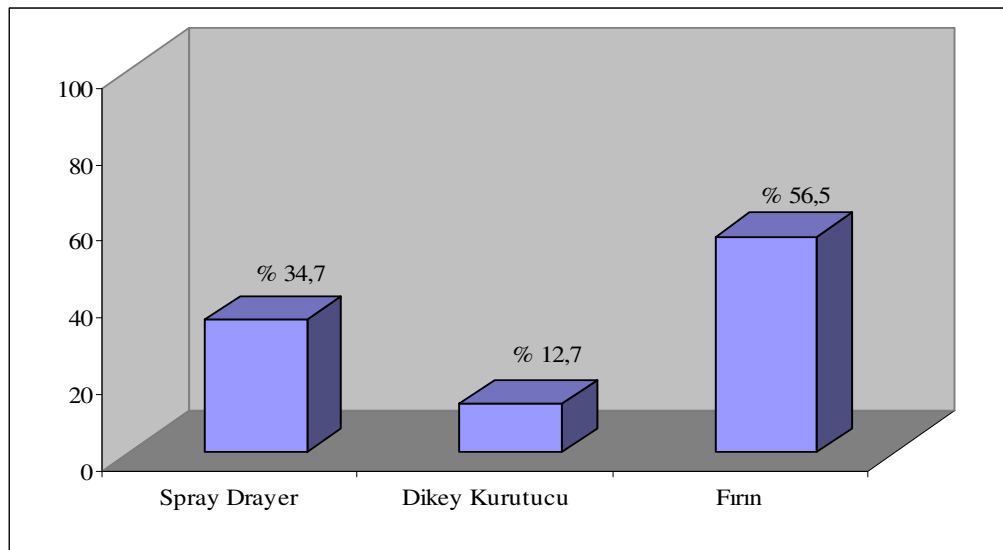
Yapılan bu enerji-ekserji analiz çalışması, tesisteki enerji tüketiminin yüksek olduğu noktaların belirlenebilmesi ve bu noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin tespitine olanak sağlamıştır. Termodinamiğin birinci kanununa göre yapılmış analizler sonucunda elde edilen ünitelere ait toplam enerji ve ısı kayıp miktarları Çizelge 5.1, makinelerin toplam enerjileri ile ısı kayıp miktarlarının karşılaştırma grafiği Şekil 5.1, ısı kayıp miktarlarının yüzdesel dağılımı Şekil 5.2 ve enerji verim değerlerinin yüzdesel dağılımı Şekil 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Ünitelere ait toplam enerji ve ısı kayıp miktarları

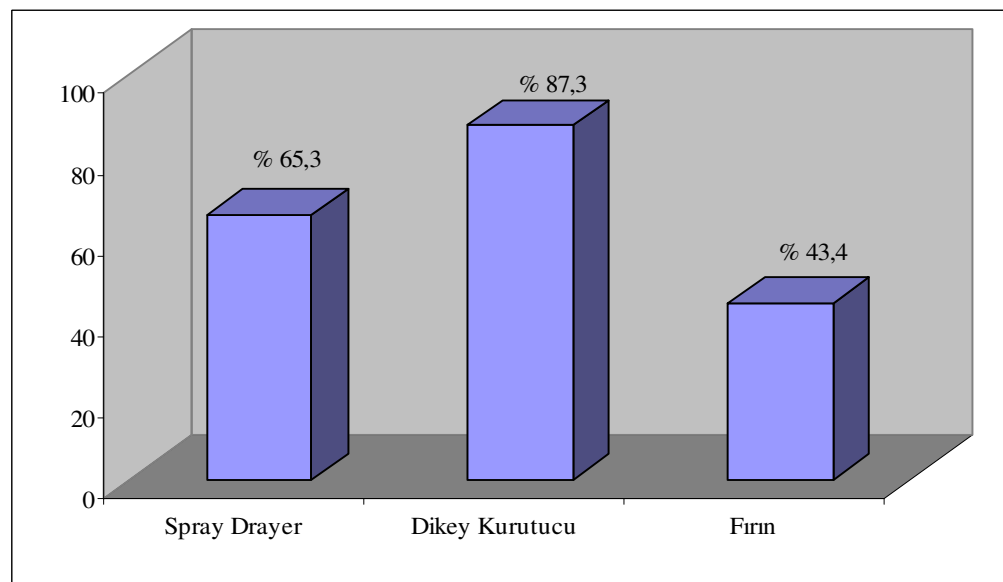
No	Ünite adı	Toplam enerji değeri (kJ/h)	Toplam ısı kaybı (kJ/h)
1	Spray drayer	18.659.320	6.462.437
2	Dikey kurutucu	2.539.020	321.251
3	Fırın	14.729.426	8.329.421



Şekil 5.1 Ünitelerin toplam enerjileri ile ısı kayıp miktarlarının karşılaştırmalı değerleri



Şekil 5.2 Ünitelere ait ısı kayıp miktarlarının yüzdesel dağılımı

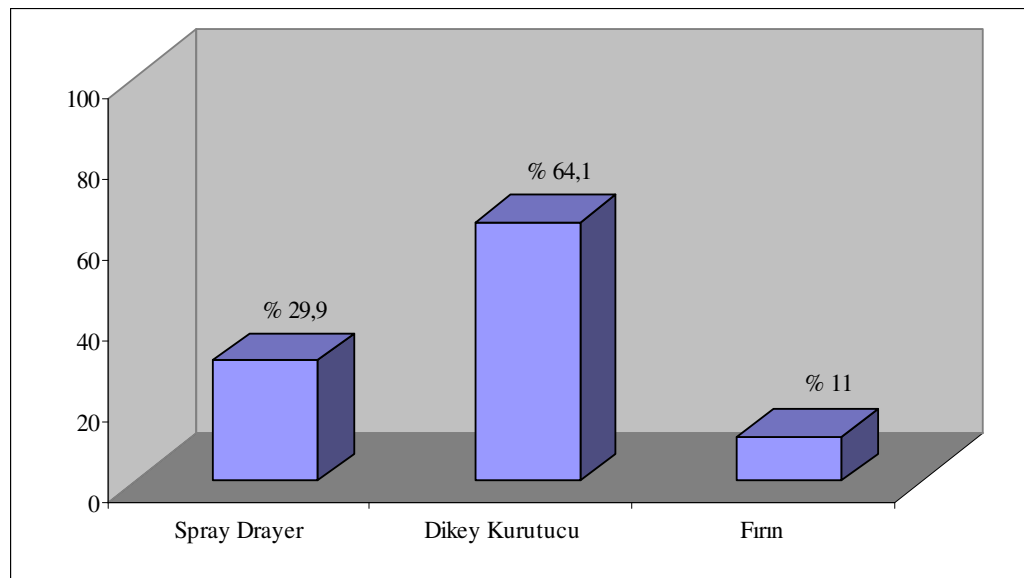


Şekil 5.3 Ünitelerin enerji verim değerlerinin yüzdesel dağılımı

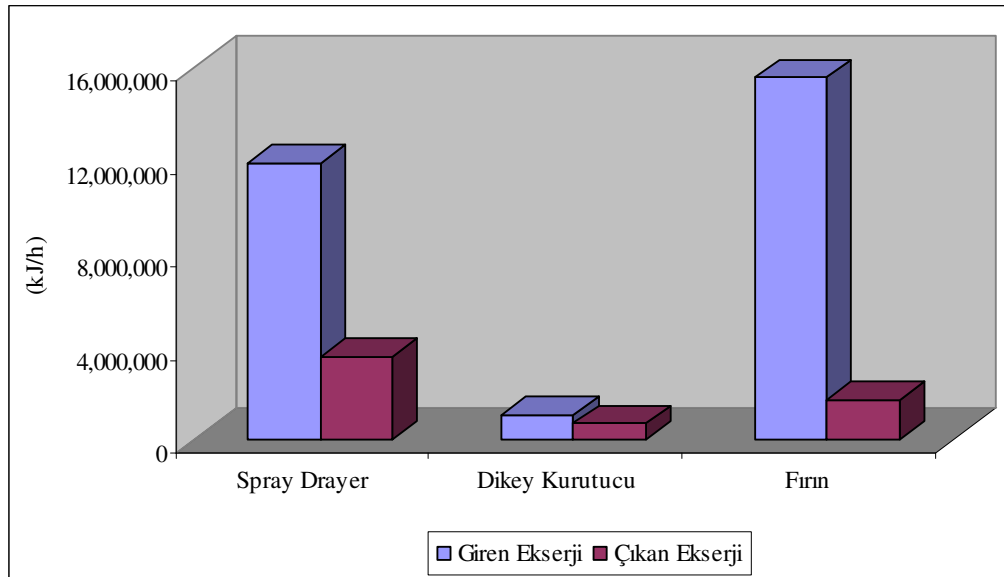
Termodinamiğin ikinci kanununa göre yapılan ekserji analizleri sonucunda, ünitelere ait giren ve çıkan toplam ekserji değerleri Çizelge 5.2’de, ekserji verim değerlerinin yüzdesel dağılımı Şekil 5.4’de, ünitelerin toplam giren ve çıkan ekserji değerlerinin karşılaştırmalı grafiği Şekil 5.5’de ve tüm ünitelere ait enerji ve ekserji verim yüzdelерinin genel karşılaştırması ise Şekil 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.2 Ünitelere ait toplam giren ve çıkan ekserji değerleri

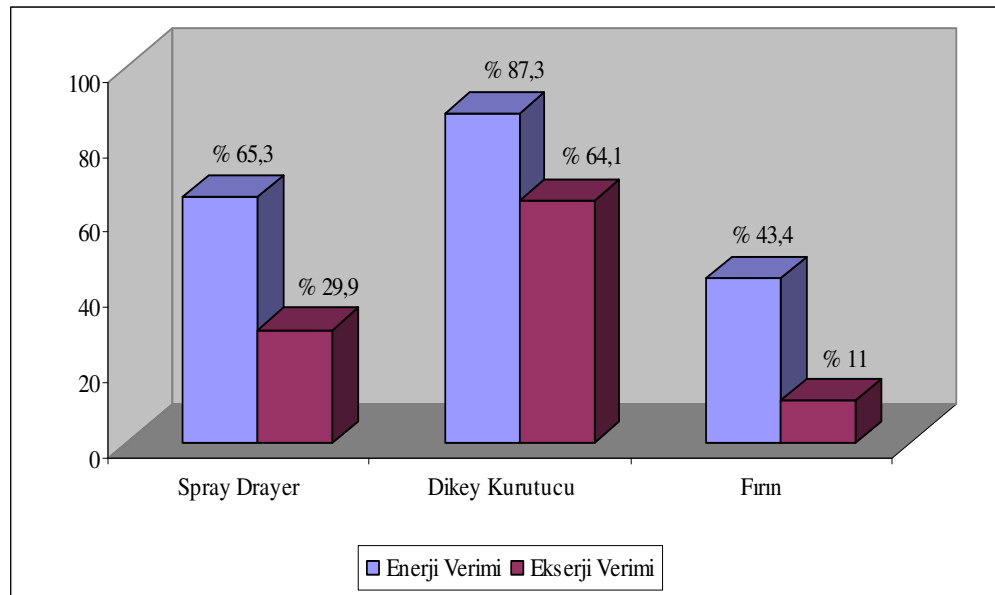
No	Ünite adı	Toplam giren ekserji değeri (kJ/h)	Toplam çıkan ekserji değeri (kJ/h)
1	Spray drayer	11.848.997	3.550.734
2	Dikey kurutucu	1.072.437	687.956
3	Fırın	15.554.981	1.711.540



Şekil 5.4 Ünitelerin ekserji verim değerlerinin yüzdesel dağılımı



Şekil 5.5 Ünitelerin toplam giren ve çıkan ekserji miktarlarının karşılaştırmalı değerleri



Şekil 5.6 Ünitelere ait enerji ve ekserji verim yüzdelерinin genel görünümü

Fabrikanın tespit edilmiş yıllık ekserji kayıp miktarları ile ilgili durum değerlendirmesinin tam olarak yapılabilmesi için Çizelge 5.3 oluşturulmuştur. Burada; fabrikadaki analizi yapılan ünitelerin yıllık ortalama çalışma süreleri, bu süre içerisinde oluşan kayıp ekserji miktarları ve bunun finansal karşılığı görülmektedir.

Çizelge 5.3 Fabrika yıllık ekserji kayıplarının finansal analizi

Makine adı	Yıllık ortalama çalışma süresi (h/yıl)	Ekserji kayıp miktarı (kJ/h)	Yıllık toplam ekserji kayıp miktarı (kJ/yıl)	Kaybın karşılanabilmesi için gerekli doğalgaz miktarı (m ³ /yıl)	2005 yılı doğalgaz birim fiyatı (YTL/m ³)	Kayıpların finansal karşılığı (YTL/yıl)
Spray drayer	4992	8.298.263	41.424.928.896	1.208.570	0,3096	374.173
Dikey kurutucular	5824	768.962	4.478.434.688	130.658	0,3096	40.452
Fırın	8736	13.843.441	120.936.300.576	3.528.308	0,3096	1.092.364
TOPLAM						1.506.989

Tüm ekserji kayıplarının yok edilerek % 100 verim ile çalışabilecek bir sistemin oluşturulabilmesi termodinamik kanunlarına göre olanaksızdır. Bu sebeple, sistemde ve çalışan ünitelerde yapılacak iyileştirme ve modernizasyonlar ile çizelgede görülen tüm ekserji kayıplarının ortadan kaldırılabilmesi imkansızdır. Ancak sistemde yapılacak iyileştirmeler ile sağlanacak küçük çaplı bir verim artışının bile, toplamda yüksek finansal değerlere tekabül ettiği açıkça görülmektedir. Bu kapsamda incelenen sistemler için verim artışını sağlayabilecek tedbirler şu şekilde sıralanabilir;

A- Spray drayer ünitesinde oluşan ısı kayıpları; üretim esnasında yaşanan arızalarda, sistemin soğutulup yeniden ısıtılması ve yetersiz izolasyon yapısı sebebiyle yüzeylerde oluşan ısı kaçaklarından meydana gelmektedir. Çamur besleme sisteminin, üretim esnasında sıklıkla arızalandığı ve yedeğinin bulunmaması sebebiyle arıza onarılana kadar sistemin rolantide

çalıştırıldığı, bununda ciddi yakıt sarfiyatına sebep olduğu görülmüştür. Bu sebeple çamur besleme sisteminin yedeklenmesi ve asıl sistemin de bakımının yapılması önem arz etmektedir.

Çatının yeterli yüksekliğe sahip olmayışı spray drayer gövde üst kısmının bina dışında kalmasına sebep olmuştur. Bu önemli bir dezavantajdır ve özellikle kış aylarında sistemin ısı kayıplarının daha da artmasına sebep olacaktır. Tüm makine gövdesinin bina içinde kalacak şekilde çatıda tadilat yapılması ve makine eksik izelasyonlarının tamamlanmasının ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltacağı değerlendirilmiştir.

Yanma sistemi, yarı otomatik olarak kontrol odasından kumanda edilmektedir. Sisteme yakma havası ve yanıcı gaz girişi; servo motor kontrollü yarı otomatik klepeler ile ayarlanmaktadır. İncelemelerde kumanda odasından verilen komutların gerçekte tam olarak uygulanmadığı, bununda dengesiz hava/gaz karışımı ile yanmaya sebebiyet verdiği saptanmıştır. Bu durum eksik yanma olayını meydana getirmekle birlikte, enerji kaybı ile yanma veriminin düşmesine sebep olmaktadır. Sistemin etkin olarak kontrolünün sağlanabilmesi için uzun vadede tüm cihaz kontrollerinin tam otomatik sisteme dönüştürülmesi, bu süre içerisinde de mevcut sisteminin doğru işler hale getirilmesi makine verimini arttıracak tedbirler arasındadır.

B- Dikey kurutucu ünitesindeki çalışma sıcaklık değerlerinin yüksek olmayışı ve ısı izelasyon sisteminin nispeten sağlam oluşu, sistem ısı kayıplarının düşük seviyede kalmasını sağlamıştır.

Konstrüksiyon olarak makine yapısının günümüz teknolojisine uygun olduğu görülmekle birlikte, yakma sistemi kontrol ünitesinin yarı otomatik oluşu, spray drayer ünitesinde de bahsedilen yanma kayıplarını oluşturmaktadır. Tüm kontrol sisteminin tam otomatik hale getirilmesi bu ünite için öncelikli meseledir.

C- Fırın ünitesi; tesisin üretime devam ettiği sürece devamlı çalışan tek ünitesi olması sebebiyle enerji tüketiminde ve tesisin genel enerji veriminde kritik öneme sahiptir. Bu önemine karşın yapılan analizler, seramik fırınının tesisin en verimsiz makinesi olduğunu göstermiştir.

Fırın iç ve dış ısı izelasyon kaplamalarının yıpranmış ve yer yer dökülmüş durumda olması, ısı kayıplarının oluşmasına sebep olmaktadır. Isı izelasyon onarımının fırının

kapatılmadan yapılamaması bize ilk revizyon dönemine kadar sistemin mevcut kayıplarla üretime devam edeceğini göstermektedir. Yapılacak izelasyon onarımından sonra ise sistemin enerji ve ekserji veriminde yükselmelerin olacağı açıktır.

Baca gazlarının kayıp enerjisinden mevcut durumda faydalanılmamaktadır. Sistemin kesintisiz olarak çalışması ve yüksek baca gazı sıcaklığı, atık gazların ısı değıştiriciler yardımıyla ısınma ve sıcak kullanım suyu teminine olanak sağlayacaktır.

Yanma işleminde, oluşan enerjinin bir kısmı yakma hava sıcaklığının yükseltilmesinde harcanır. Atık ısıdan yararlanarak yakma havasının ısıtılması ve sonra yanma bölgesine sevki ile yakıt tasarrufu sağlanır. Yeni jenerasyon seramik fırınlarında da kullanılmaya başlanan bu sistemin uygulanması, yanma veriminin yükselmesine katkı sağlayacaktır. Bu husus; düşük verimle çalıştığı analizler neticesinde de belirlenen fırın ve tesisteki diğer üniteler için uygulanması öncelikli projeler arasında olmalıdır [32].

5.2. Öneriler

Üretiminde enerjiyi yoğun olarak kullanan seramik sektöründe faaliyet gösteren her bir kuruluşun; öncelikli olarak enerji yönetim kademesini oluşturması, işletmenin mevcut durum analizlerinin termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarına göre yapılarak belirlenmesi ile enerji tasarruf noktalarının ve potansiyellerin tespit edilmesi, kısa vadeli düşük yatırımlı ve uzun vadeli yüksek yatırım gerektiren önlemler şeklinde yapılabilecek iyileştirme ve modernizasyonların belirlenmesi ile kararlı olarak sistem kontrollerinin devamının sağlanarak yapılan tespitlerin hayata geçirilmesi, firmaların atması gereken öncelikli adımları oluşturmalıdır.

Bu alan üzerinde bundan sonra yapılacak çalışmalarda; atık enerjilerin değerlendirilme alternatifleri, kojenerasyon sistem uygulamaları, enerjinin daha etkin olarak kullanılmasını sağlayabilecek, makinelerin senkronize çalışma-durma zaman/enerji etütlerin yapılması gibi konular hakkındaki çalışmalar, tüm sektöre hitap edecek şekilde ele alınabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1]. İtalyan Dış Ticaret Enstitüsü, 1999, Zemin ve duvar döşemeleri için seramik üretiminde mevcut en iyi teknolojiler üzerine eğitim kurs notları, 32 s.
- [2]. Yılmazbaşar J., 1980, Seramikleri, Yöntemleri, Türk Tarih Kurumu Basımevi, 65 s.
- [3]. Türk Seramik Federasyonu, 2007, Türk seramikleri tarih, katma değer, teknoloji http://www.serfed.com/pages/s_tarih.asp_katma_değer.asp_teknoloji.asp
- [4]. Devlet Planlama Teşkilatı, 2001, Sekizinci beş yıllık kalkınma planı taş ve toprağa dayalı ürünler sanayi özel ihtisas komisyon raporu, DPT 2552 – ÖİK: 568, 85 s.
- [5]. Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 2006, Seramik kaplama malzemeleri sektörü dokuzuncu kalkınma planı (2007 – 2013), 98 s.
- [6]. Devlet Planlama Teşkilatı Sanayi Müdürlüğü, 1985, Grup:3610 Seramik yer karosu ve duvar karosu, 6 s.
- [7]. Çomaklı K, Karagöz Ş, Şahin B, Yüksel B, 2006, Kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları, Tesisat Mühendisliği Dergisi 92, 12-14.
- [8]. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2005, 5. Enerji sempozyumu sonuç bildirgesi, Ankara
- [9]. Can A, 2004, Soğutma elemanlarının ekserji analizinin deneysel verilere göre yapılması, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 164-166.
- [10]. Koroneos C, Moussiopoulos N, Theodosiou G, Vasilakis N, 2003, Exergy analysis of cement and concrete production, Proceedings of the First International Exergy, Energy and Environment Symposium, 277-279 p, İzmir.
- [11]. Çengel Y.A., Boles M.A, 1996, Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw-Hill Literatür Ortak Yayını, (Çev.T.Derbentli), 796 s.
- [12]. Rosen M.A. and Dincer İ., 2001, Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development, Exergy an International Journal, 4 p.
- [13]. Ayres R.U., Ayres L.W., Warr B., 2001, Exergy, power and work in the US economy 1900–1998 (Cmer), 3–5, France.
- [14]. Wall G., 2005, Exergy, ecology and democracy – concepts of a vital society or a proposal for an exergy tax, International Conference on Energy Systems and Ecology 1993, 2.
- [15]. Ayres R.U., Ayres L.W., Warr B., 2003, Is the US economy dematerializing? Main indicators and drivers, Center for the Management of Environmental Resources, 4, France

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [16]. Wall G, 1989, Exergy conversion in the Japanese society, Energy Vol. 15, 435-437.
- [17]. Hammache A., Shukuya M., 2002, Introduction to the concept of exergy, Vtt Research Notes 2158, 22–29.
- [18]. Arıkol M, 1985, Ekserji analizine giriş, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Proje Çalışması, Tübitak, Proje No: 0630048401, 34 s.
- [19]. Çamdalı Ü, Tunç M, 2003, Elektrik ark fırınlarında fiziksel ekserji potansiyelinin ve veriminin elde edilmesi, Trakya Ün. Fen Bil. Dergisi 5, 2004, 55-57.
- [20]. Devlet Planlama Teşkilatı, 2002, Enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu ile ilgili teknolojiler alt grup raporu, 14, 37.
- [21]. Tüsiad Sektörel Durum Analizi, 2002, Türkiye açısından enerjinin etkin kullanımı ve verimlilik, Sektörel Araştırmalar Serisi 13. Bölüm, 217–219.
- [22]. Kedici Ö, 1997, Türk sanayinde enerji yönetim sisteminin oluşturulması ve sanayide enerji verimliliği yönetmeliği, Teskon Kongresi 1997, 1–3.
- [23]. Türk Seramik Federasyonu, 2007, Türk seramikleri enerji bölümü, http://www.serfed.com/pages/s_enerji.asp
- [24]. Türkiye Vakıflar Bankası, 1999, Planlama ve iktisadi araştırmalar grup yönetmeliği sektör araştırması serisi No: 21 Bölüm:3 seramik sektörü, 125 s.
- [25]. Pekin H.B., 2002, Sanayide enerji verimliliği forumu seramik sektörü, 21. Enerji Tasarrufu Haftası Etkinlikleri, 1–8, Ankara.
- [26]. Sacmi, 2005, Applied ceramic technology volume II, Ceramic Industry 2005, 280 p. Italy.
- [27]. Masters K, 1991, Spray draying handbook, Longman Scientific & Technical, 290 p.
- [28]. Artek Mühendislik, 2005, Bozüyük seramik fabrikası baca gazı emisyon ölçüm raporu, Emisyon Ölçüm Raporu Rapor No: Er 124, 20–34.
- [29]. Turgut Y, 2002, Doğalgaz tesisatı kurs notları, İTÜ Makine Fakültesi, 88 s.
- [30]. Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., 2005, Sektörel araştırmalar seramik yer ve duvar kaplamaları, Araştırma Müdürlüğü SA-05-03-09, 54 s, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [31]. Söğüt Z.M., 2005, Çimento fabrikası enerji taraması ve üretim hattı ısı proseslerinde enerji ekserji analizi, Yüksek Lisans Tezi Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 173 s.
- [32]. Dağsöz A.K., 1991, Sanayide enerji tasarrufu, Alp Teknik Kitaplar Basımevi 1992, 140 s.
- [33]. Rammey G.B., Firing ceramics, World Scientific Advanced Series in Ceramics Vol-2, 205 p.
- [34]. Sümer G., 2000, Seramik fırınları, Ak Ofset 2002, 90 s.
- [35]. Gong M., Wall G., 2000, On exergy and sustainable development- part 1: Conditions and concepts, Exergy an International Journal, 136-138.
- [36]. Fratzscher W., 1997, Exergy and possible applications, Rev. Gen. Therm.36, 690-696.
- [37]. Winnick J., 1997, Chemical engineering thermodynamics, John Wiley & Sons. Inc, 590 p.
- [38]. Szargut J., 2005, Exergy method technical and ecological applications, WIT Press 2005, 155 p.
- [39]. Yüncü H., 2000, Klasik termodinamik, Feryal Matbaacılık ISBN:975-8405-07-1, 380 s.