

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE EKSERJİ ANALİZİ YAPARAK ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

HAVA GİZEM KANDİLCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN  
PROF. DR. HANİFİ SARAÇ

İSTANBUL, 2013

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE EKSERJİ ANALİZİ YAPARAK ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİN HESAPLANMASI**

Hava Gizem KANDİLCİ tarafından hazırlanan tez çalışması ...../...../2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Hanifi SARAÇ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Hanifi SARAÇ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

.....

.....

.....

.....

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Öncelikle bana bu çalışmada yer alma imkânını sunan, çalışmalarım boyunca engin bilgi birikiminden yararlandığım ve yararlanmaya devam ettiğim, çalışmamın her aşamasında önerileriyle bana yardımcı olan hayatım boyunca saygıyla hatırlayacağım kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Hanifi SARAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her aşamasında sonsuz emeği geçen, çalışmalarım boyunca yardımcı olan Onur DEMİRKIRAN'a ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Arş. Gör. Dr. Nil BARAN ACARALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni bu günlere getiren, bana her zaman güvenen ve inanan ve anlayışlarını benden esirgemeyen, hayatımın sonuna kadar yanımda olacaklarını bildiğim ve her şeyden çok sevdiğim aileme ve arkadaşlarıma, özellikle de canım arkadaşım Buse ÇELİKKAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2013

Hava Gizem KANDİLCİ

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	vi
KISALTIMA LİSTESİ .....	vii
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	xi
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ .....	1
1.1 Literatür Özeti .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	3
1.3 Hipotez .....	3
<b>BÖLÜM 2</b>	
EKSERJİ.....	4
2.1 Ekserjinin Önemi .....	4
2.2 Ekserjinin Tanımı .....	5
2.3 Ekserji Transferi.....	7
2.3.1 İş Etkisi ile Ekserji Transferi.....	7
2.3.2 Isı Etkisi ile Ekserji Transferi.....	8
2.3.3 Kütle Akışı ile Ekserji Transferi.....	8
2.3.3.1 Fiziksel Ekserji .....	8
2.3.3.2 Kimyasal Ekserji .....	10
2.3.4 Tersinmezlik (Ekserji Kaybı) .....	11
2.3.5 Ekserji Verimliliği .....	11
2.3.5.1 Basit (Temel) Verimlilik.....	12
2.3.5.2 Rasyonel Verimlilik .....	12
2.3.5.3 Geçişli Ekserji ile Verimlilik .....	12

## BÖLÜM 3

ÇİMENTO TEKNOLOJİSİ.....	13
3.1 Çimentonun Yapısı .....	13
3.2 Çimento Çeşitleri.....	13
3.3 Türk Standartlarına Göre Çimento Tipleri.....	15
3.4 Çimento Üretimi.....	16
3.4.1 Hammadde Hazırlama .....	16
3.4.2 Farin Hazırlama .....	17
3.4.3 Klinker Üretimi.....	17
3.4.3.1 Döner Fırınlara.....	17
3.4.3.2 Klinker Soğutucuları.....	18
3.4.4 Yakıt Hazırlama .....	21
3.4.5 Katkı Hazırlama .....	23
3.4.6 Çimento Öğütme .....	23
3.4.7 Çimento Sevkiyatı .....	23

## BÖLÜM 4

ÇİMENTO FABRİKASININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ.....	24
4.1 Farin Değirmeni Bölümünde Enerji ve Ekserji.....	24
4.1.1 Farin Değirmeni Bölümünde Enerji Analizi.....	25
4.1.2 Farin Değirmeni Bölümünde Enerji Verimi.....	28
4.1.3 Farin Değirmeni Bölümünde Ekserji Analizi .....	48
4.1.4 Farin Değirmeni Bölümünde Ekserji Verimi .....	51
4.2 Kömür Değirmeni Bölümünde Enerji ve Ekserji.....	71
4.2.1 Kömür Değirmeni Bölümünde Enerji Analizi .....	71
4.2.2 Kömür Değirmeni Bölümünde Enerji Verimi .....	74
4.2.3 Kömür Değirmeni Bölümünde Ekserji Analizi.....	93
4.2.4 Kömür Değirmeni Bölümünde Ekserji Verimi.....	96
4.3 Çimento Değirmeni Bölümünde Enerji ve Ekserji .....	114
4.3.1 Çimento Değirmeni Bölümünde Enerji Analizi .....	114
4.3.2 Çimento Değirmeni Bölümünde Enerji Verimi .....	117
4.3.3 Çimento Değirmeni Bölümünde Ekserji Analizi.....	128
4.3.4 Çimento Değirmeni Bölümünde Ekserji Verimi.....	131

## BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	147
KAYNAKLAR .....	149
ÖZGEÇMİŞ.....	152

## SİMGE LİSTESİ

---

$C_p$	Isı kapasitesi
$E$	Enerji
$Ex$	Ekserji
$h$	Spesifik entalpi
$I$	Tersinmezlik, ekserji kaybı
$m$	Kütle
$P$	Basınç
$Q$	Isı transferi
$R$	Gaz sabiti
$s$	Spesifik entropi
$T$	Sıcaklık
$V$	Hacim
$W$	İş
$v_m$	Özgül hacim
$\eta$	Verim

## KISALTMA LİSTESİ

---

ç	Çıkış
fiz	Fiziksel
g	Giriş
kim	Kimyasal
kin	Kinetik
NCV	Net yanma değeri
pot	Potansiyel
tr	Tersinir
y	Yararlı

## ŞEKİL LİSTESİ

---

	Sayfa
Şekil 2.1	Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali .....6
Şekil 3.1	Kuru tip çimento üretiminin akış şeması .....16
Şekil 3.2	Kuru sistem döner fırın bölümü .....19
Şekil 4.1	Farin değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması .....25
Şekil 4.2	Farin değirmenine mayıs ayına ait giren enerji yüzdeleri .....28
Şekil 4.3	Farin değirmeninden mayıs ayına ait çıkan enerji yüzdeleri.....28
Şekil 4.4	Kömür değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması .....71
Şekil 4.5	Kömür değirmenine mayıs ayına ait giren enerji yüzdeleri .....74
Şekil 4.6	Kömür değirmeninden mayıs ayına ait çıkan enerji yüzdeleri .....74
Şekil 4.7	Çimento değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması .....114
Şekil 4.8	Çimento değirmenine mayıs ayına ait giren enerji yüzdeleri .....117
Şekil 4.9	Çimento değirmeninden mayıs ayına ait çıkan enerji yüzdeleri .....117



## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2.1	Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması ..... 7
Çizelge 3.1	TS EN 197-1 standardına göre bazı çimento tipleri ..... 15
Çizelge 4.1	Farin değirmeni bölümünün mayıs ayına ait enerji dengesi ..... 27
Çizelge 4.2	Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri .... 30
Çizelge 4.3	Farin değirmenine mayıs ayına ait giren ekserjiler..... 49
Çizelge 4.4	Farin değirmeninden mayıs ayına ait çıkan ekserjiler ..... 50
Çizelge 4.5	Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri 52
Çizelge 4.6	Kömür değirmeninin mayıs ayına ait enerji dengesi ..... 73
Çizelge 4.7	Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri . 76
Çizelge 4.8	Kömür değirmenine mayıs ayına ait giren ekserjiler..... 94
Çizelge 4.9	Kömür değirmeninden mayıs ayına ait çıkan ekserjiler ..... 95
Çizelge 4.10	Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri 97
Çizelge 4.11	Çimento değirmeni bölümünün mayıs ayına ait enerji dengesi ..... 116
Çizelge 4.12	Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri ..... 119
Çizelge 4.13	Çimento değirmenine mayıs ayına ait giren ekserjiler..... 129
Çizelge 4.14	Çimento değirmeninden mayıs ayına ait çıkan ekserjiler ..... 130
Çizelge 4.15	Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri ..... 132

**ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE EKSERJİ ANALİZİ YAPARAK ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hava Gizem KANDİLCİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hanifi SARAÇ

Sanayi sektörü enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir. Endüstriyel faaliyetlerde enerjinin verimli kullanılmasıyla; tüketim azalacak, sera gazları emisyonu düşecek ve ucuzlayan sanayi ürünü fiyatları sebebiyle uluslararası rekabet gücü açısından sanayicilerimize avantaj sağlayacaktır. Çimento sektörü, enerji tüketimi ve maliyetleri bakımından Türkiye’de en büyük paya sahip sanayi sektörlerinden biridir. Bu nedenle, enerjinin verimli kullanılması ve tüketimin düşürülmesi bu sektörde öncelikli bir yer tutmaktadır.

Bu tezde, gerçek çalışma verileri kullanılarak Adana’da bir çimento fabrikasının enerji ve ekserji analizini yapılması ve enerji verimliliğinin hesaplanması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento, enerji ve ekserji analizi, verimlilik.

## ABSTRACT

---

### INVESTIGATE ENERGY EFFICIENCY BY MAKING EXERGY ANALYSISIN THE CEMENT FACTORY

Hava Gizem KANDİLCİ

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hanifi SARAÇ

Industrial sector carries bigger share of the total energy consumption. With economical use of energy, consumption and emission of greenhouse gases would decrease; industrial goods prices would become cheaper so that Turkish industrialists would have advantages within the competitive world market. In Turkey, cement producing is one of the most important sector in terms of energy consuming and costs. Owing to this reason, using energy in efficiently and decline in energy consumption have an importance in this sector.

This study aims to make energy and exergy analysis of a cement factory in Adana and to realize the cost of energy efficiency, by using the actual operational data.

**Key Words:** Cement, energy and exergy analysis, efficiency.

---

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

#### 1.1 Literatür Özeti

Dünyadaki hızlı nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak doğal kaynaklara ve enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir kısmının fosil kökenli enerji kaynaklarından karşılanıyor olması, paralelinde birçok çevresel probleminde ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bunun sonucunda, fosil kökenli enerji kaynaklarının tükenecek olması göz önünde bulundurulduğunda, çevresel olumsuzlukları az olan ve kaynak kısıtlılığı göstermeyen yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve enerji verimliliği üzerine çalışmak gerektiği açıkça görülmektedir. Bu bağlamda enerji kullanımında verimliliği artıracak ve enerji yoğunluğunu düşürecek önlemlerin alınması ülkelerin öncelikli hedefleri arasına girmiştir. Yani, sürdürülebilir kalkınmanın temel taşı olan enerjinin; zamanında, kesintisiz, yeterli ve düşük maliyetle temini önemli bir mühendislik yaklaşımıdır.

Günümüzde teknolojinin gelişimi ve dünya nüfusunun artması sonucu enerji ihtiyacı gittikçe büyümektedir. Buna karşılık dünyada kullanılan klasik enerji rezervleri gelecek bir zamanda ihtiyacı karşılayamayacak ve sonuçta maliyeti hızlı bir şekilde artacaktır. Bu nedenle, mevcut enerji kaynaklarını daha verimli kullanmak ve alternatif enerji türlerini geliştirmek mecburiyeti ortaya çıkmaktadır. Bugün sanayinin ihtiyaç duyduğu enerji üretimi fosil (petrol, kömür ve doğal gaz) ile nükleer yakıtlardan sağlanmaktadır. Fosil yakıtların sebep olduğu lojistik (taşıma ve dağıtım gibi) ve çevre kirliliği (atmosferde artan CO<sub>2</sub> dolayısıyla sera etkisi, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> gazlarının sebep olduğu asit

yağmuru, vb.) problemleri, bu tip yakıtların kullanımını sınırlayabilir. Bu yüzden 20. yüzyılın ikinci yarısında alternatif enerji kaynakları araştırılması ve mevcut enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması çalışmaları yoğun bir şekilde artmıştır [1, 2].

Ülkelerin sürdürülebilir kalkınması için gerekli olan enerji kullanımı küresel ısınma, asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi, iklim değişimi gibi çevre felaketlerine sebep olmaktadır. Ayrıca yoğun enerji kullanımı, özellikle başlıca enerji kaynaklarımızdan olan fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması, tükenme eğilimlerinde olmaları ve bunun sonucu da fiyatlarının sürekli artmasından dolayı ekserji terimi ve ekserji analizi bu tür sistemler için kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenle termodinamik kanunları termal sistemlerin analizinde önemli bir rol oynamaktadır [3, 4].

Enerji kaynakları toplumun gelişimi için gerekli fakat yeterli değildir. Toplumlar, endüstriyel ve ekonomik olarak gelişmekte olan ülkeler ve bölgeler gibi, enerji kaynaklarının girişine ihtiyaç duymaktadırlar. Sürdürülebilir bir gelecek için gerekli olan enerjinin kullanımı değil aynı zamanda enerjinin verimli kullanılmasıdır [5].

Bu tez çalışmasının konusu ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yaygın olarak üretilen çimento fabrikalarında yüksek enerji maliyeti ile birlikte yüksek tonajda çimento üretimi yapılmasının analiz edilmesidir. Türkiye’de çimento üreticileri bu çalışma kapsamında sonuç alındığı takdirde işletme giderlerinin büyük bir çoğunluğunu enerjiye harcamak zorunda olduklarından enerji maliyetlerinde büyük bir tasarruf edilmesine olanak sağlayacaktır. Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde bu çeşit işletmeler mevcut olduğundan bağlı buldukları vilayetlerin de enerji tasarrufları göz önünde bulundurularak çimento üreticilerinin aynı vilayete daha çeşitli yatırımlar yapmasını teşvik edecek ve olanak sağlayacaktır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu çalışmanın amacı, çimento sektöründe enerji ve ekserji analizi yaparak enerji ve ekserji verimliliğini hesaplamaktır. Bu hesaplamaları yapabilmek için Adana çimento fabrikasının farin değirmeni, kömür değirmeni ve çimento değirmeni bölümlerinin gerçek verileri kullanılacaktır. Böylelikle her bir bölümün enerji ve ekserji analizleri yapıp enerji ve ekserji verimleri bulunduktan sonra her bir bölümün değerlendirilmesi yapılacak ve öneriler sunulacaktır.

## **1.3 Hipotez**

Yapılan literatür taramalarında; enerji ve ekserji analizinin enerji ve ekserji verimlerinin hesaplanmasında kullanılabileceğine dair çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada; enerji tüketimini azaltmak amacıyla her bir bölümün enerji ve ekserji analizleri yapılarak enerji ve ekserji verimlerinin belirlenmesi araştırılmıştır. Çalışmanın özgün yönleri; çimento sektöründe enerji ve ekserji analizi yaparak enerji ve ekserji verimliliğini araştırılması, Adana'daki çimento fabrikasının gerçek verileri kullanılarak yapılacak olması ve çimento sektöründe enerjinin verimli kullanılması ve tüketimin düşürülmesi öncelikli bir yer tutuyor olmasıdır.

#### 2.1 Ekserjinin Önemi

Bugün dünyamızda birincil enerji kaynakları hızla tükenmekte olması ve alternatif enerji kaynaklarının kullanılması için kurulacak sistemlerinde ilk kurulum maliyetinin yüksek olması, öncelikle tasarruf yapılması gerektiği gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. Termodinamik sistemlerde tasarruf yapılması ısı kayıplarının en aza indirilmesi ile mümkün olmaktadır. Isıl kayıpların tespit edilmesi ekserji kayıplarının hesaplanması ile mümkündür. Bu yüzden ekserji analizlerinin yapılması büyük önem kazanmaktadır [6].

Ekserjinin önemini maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [7]:

- Enerji kaynaklarının kullanımının çevreye olan etkilerinin belirlenmesinde önemli bir araçtır.
- Enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için termodinamiğin ikinci yasasıyla birlikte kütle ve enerjinin korunumu prensiplerini kullanan etkin bir yöntemdir.
- Kaynakların daha verimli kullanma amacını destekleyen uygun bir tekniktir. Belirlenmesi gereken atık ve kayıpların yerini, tipini ve gerçek miktarlarını ortaya çıkarır.
- Mevcut sistemin verimsizliklerini azaltarak, daha verimli sistemlerini tasarlamanın nasıl mümkün olup olamayacağını gösteren etkin bir yöntemdir.
- Sürdürülebilir gelişmenin elde edilmesinde anahtar bir bileşendir.

- Enerji politikaların oluşturulmasında kullanılabilir olacak önemli bir araçtır.

## 2.2 Ekserjinin Tanımı

Ekserji yani enerji açısından kullanılabilirlik, termodinamik bir sistemde enerjinin işe dönüştürülebilir kısmı olarak tanımlanmaktadır. Enerjinin kullanılmayan ya da dönüştürülemez kısmına ise Anerji denmektedir. Dolayısıyla enerjinin en genel tanımı Eşitlik 2.1 ile ifade edilmektedir [8].

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (2.1)$$

Çizelge 2.1’de enerji ve ekserji kavramlar karşılaştırılmıştır. Ekserji ve anerji kavramları ise termodinamiğin I. ve II. kanununa göre aşağıdaki gibi yorumlanabilir;

- I. kanuna göre bütün termodinamik süreçlerde anerji ve ekserjinin toplamı olan enerji daima sabit kalır.
- II. kanuna göre ise, tersinir süreçlerde ekserji sabit kalırken tersinmez süreçlerde ekserji tüketilir ve tüketilen enerjinin bir kısmı veya tamamı anerjiye dönüşür. Bu termodinamik süreçte ekserji Eşitlik 2.2 ile ifade edilmektedir.

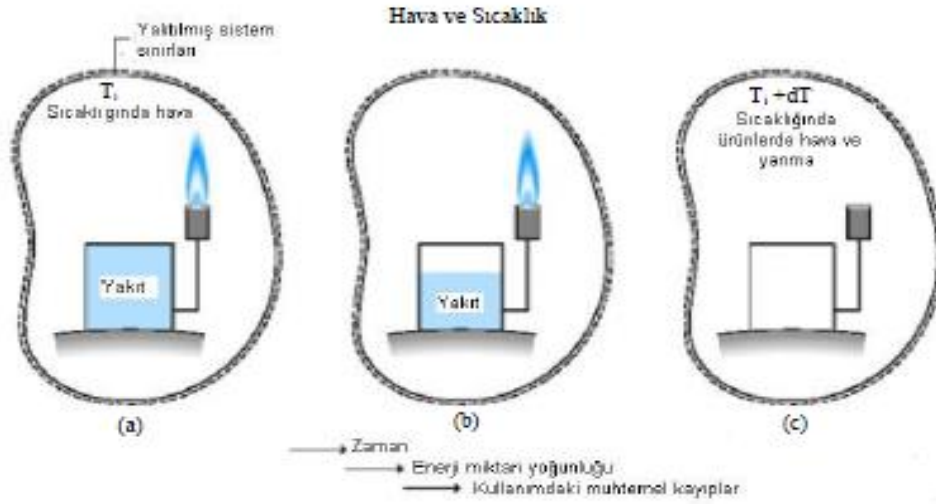
$$EX = EX_{kin} + EX_{pot} + EX_{fiz} + EX_{kim} \quad (2.2)$$

Bu bağlamda  $EX_{kin}$ ,  $EX_{pot}$ ,  $EX_{fiz}$  ve  $EX_{kim}$  sırayla kinetik, potansiyel, fiziksel ve kimyasal ekserjileri olarak tanımlanır [9].

Termodinamik süreçlerde ekserji, bir sistem referans çevreyle denge haline gelirken madde veya enerji akışıyla üretilebilecek maksimum miktarda iş olarak tanımlanmaktadır. Ekserji, referans çevreye göre tamamen kararlı halde olamamanın sonucu olarak değişime neden olan akış ya da sistemin potansiyelinin bir ölçüsüdür. Ekserji sistemde her zaman mevcuttur, negatif olamaz, muhafaza edilemez ancak dönüşümlerde kaldırılabilir. Enerjiden farklı olarak ekserji korunamaz (ideal ve tersinir prosesler hariç). Ekserji daha çok gerçek süreçlerde tersinmezlikler nedeniyle tüketilir ya da yok edilir. Bir süreç boyunca ekserji tüketimi, prosesle ilişkili tersinmezlikler nedeniyle ortaya çıkan entropiyle orantılıdır. Ekserji kavramında çevrenin tanımlanması mutlak bir özelliktir. Bu nedenle öncelikle ölü hal kavramı açıklanmalıdır [10].



Ölü hal, bir sistemin ölü halde olması çevresiyle termodinamik dengede bulunması anlamına gelir. Ölü halde iken sistem çevre sıcaklığında ve basıncındadır. Yani çevreyle ısı ve mekanik dengededir. Ayrıca sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır. Sistem ölü halde iken çevre ile kimyasal reaksiyona girmez. Ölü durumda bir sistemin çevresi ile termodinamik denge hali Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 Ölü durumda sistemin çevresi ile termodinamik denge hali [11]

Çizelge 2.1 Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması [7]

ENERJİ	EKSERJİ
Sadece madde ya da enerji akış parametrelerine bağlıdır ve çevresel parametreler bağlı değildir.	Madde veya enerji akışı ve çevresel parametrelerin her ikisini de bağlıdır.
Sıfırdan farklı değerleri vardır (Einstein'ın bağıntısına göre $mc^2$ 'ye eşittir).	Çevreyle dengede iken yani ölü halde iken sıfırdır.
Tüm prosesler için termodinamiğin I.yasasıyla gösterilir.	Sadece tersinir prosesler için termodinamiğin I. yasasıyla gösterilir. (Tersinmez proseslerde kısmen veya tamamen yok olur).
Tüm prosesler için termodinamiğin II. yasasıyla sınırlıdır (Tersinir olanlar da dahil).	Termodinamiğin II. yasası nedeniyle tersinir prosesler için sınırlı değildir.
Hareket ya da hareket üretme kabiliyetidir.	İş ya da iş üretme kabiliyetidir.
Bir proste her zaman korunur; vardan yok ve yoktan var edilemez.	Tersinir proseslerde her zaman korunur, ama tersinmez proseslerde her zaman tüketilir.
Miktarın (niceliğin) bir ölçüsüdür.	Niceliğin ve entropi nedeniyle niteliğin (kalitenin) bir ölçüsüdür.

### 2.3 Ekserji Transferi

Ekserji transferi üç şekilde gerçekleşir. Bunlar; iş etkisi ile ekserji transferi, ısı etkisi ile ekserji transferi ve kütle akışı (madde akışı) ile ekserji transferi şeklindedir [12].

#### 2.3.1 İş Etkisi ile Ekserji Transferi

Ekserji enerjinin kullanılabilir iş potansiyelidir. İş ile ekserji geçişi sınır işi için Eşitlik 2.3, işin diğer şekilleri için ise Eşitlik 2.4'teki gibidir.

$$EX_{i\dot{s}} = W - W_{\text{çevre}} \quad (2.3)$$

$$EX_{i\dot{s}} = W \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.3'teki  $W_{\text{çevre}} = P_0 (V_2 - V_1)$ ,  $P_0$  atmosfer basıncı,  $V_2$  ve  $V_1$  ise sistemin ilk ve son hacimleridir. Böylece mil işi ve elektrik işi gibi, iş ile gerçekleşen ekserji geçişi işin kendisine eşittir. Piston silindir düzeneğinde olduğu gibi sınır işi içeren sistemlerde, genişleme sırasında pistonun izlediği yol üzerinde ve atmosfer koşullarında bulunan havanın itilmesi içinde ayrıca bir iş gerekir. Bu da kullanılmayacak bir enerjidir. Bu sistemde ii yapılması için silindirin içindeki basıncın atmosfer basıncının üstüne çıkması gerekir [12].

### 2.3.2 Isı Etkisi ile Ekserji Transferi

Isı enerjinin düzenli olamayan bir şeklidir ve bu yüzden ısının yalnızca bir kısmı işe dönüşebilir. İşe dönüşen bu kısmı ise artık enerjinin düzenli kısmıdır (İkinci yasa). Isıdan çevre sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta, kullanılmış ısıyı çevreye yayan bir ısı makinesine ısı geçirerek iş üretebiliriz. Isı ile ekserji geçişi ise Eşitlik 2.5 ile ifade edilir.

$$EX_{i\text{ısı}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5'ten anlaşılacağı gibi  $T$  sıcaklığı eğer  $T_0$ 'a eşit olursa ekserji sıfır olur çünkü herhangi bir ısı geçişi olmayacağından dolayı aradaki sıcaklık farkını işe çevirecek bir ısı makinesi çalıştırılmaz. Entropi üretimi her zaman ekserji yok oluşuna sebep olur [12].

### 2.3.3 Kütle Akışı ile Ekserji Transferi

Madde akışlarına sahip sistemler, termodinamik süreçlerde sürekli akışlı açık sistemler olarak tanımlanır. Bu tür sistemlerde ekserji transferi, fiziksel ekserji ve kimyasal ekserji olmak üzere iki formda karşımıza çıkar [12].

#### 2.3.3.1 Fiziksel Ekserji

Fiziksel ekserji sürekli akışlı açık tersinir sistemlerde, çevre basıncı ( $P_0$ ) ve sıcaklığında ( $T_0$ ), sürece etki eden madde veya cisimlerden elde edilebilen maksimum iş olarak adlandırılır. Verilen herhangi bir durum için sistemin fiziksel ekserjisi entalpi ve entropi

parametrelerinin çevreye bağlı fonksiyonu olarak da tanımlanabilir [13]. Herhangi bir durumda sistemin fiziksel ekserjisi Eşitlik 2.6 ile ifade edilir.

$$Ex_{fiz} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2.6)$$

Burada h entalpiyi ve s entropiyi ifade etmektedir. Fiziksel ekserji mekanik harekette ısı ve basınç bileşenlerine bağlı olarak üretilen iş şeklinde ifade edilebilir. Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır.

$$Ex_{fiz} = Ex_{\Delta T} - Ex_{\Delta P} \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.7'deki birinci terim  $Ex_{\Delta T}$ , fiziksel ekserjinin ısı bileşeni olup ürün ve çevre sıcaklığı arasındaki farkın integrasyonu olarak ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Ex_{\Delta T} = \left[ - \int_T^{T_0} \left( \frac{T - T_0}{T} \right) dh \right] \quad (2.8)$$

Denklem 2.7'deki ikinci terim  $Ex_{\Delta P}$  ise, basınç bileşeni olup basınç farkından dolayı meydana gelmektedir. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Ex_{\Delta P} = T_0(s_0 - s_1) - (h_0 - h_1) \quad (2.9)$$

İdeal gazlar için fiziksel ekserjilerin hesaplanmasında mükemmel gaz kanunları ve sabit özgül ısıları göz önüne alınmalıdır [14]. Herhangi bir durumda ideal gaz için fiziksel ekserji aşağıdaki gibidir:

$$Ex_{fiz} = Cp \left[ (T - T_0) - T_0 \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right] + RT_0 \ln \left( \frac{P}{P_0} \right) \quad (2.10)$$

$Cp$  gazın sabit özgül ısı kapasitesi,  $R$  gaz sabitidir. Sabit özgül ısılarda katı ve sıvılar için fiziksel ekserji ise aşağıdaki gibidir:

$$Ex_{fiz} = Cp \left[ (T - T_0) - T_0 \ln \left( \frac{T}{T_0} \right) \right] + v_m(P - P_0) \quad (2.11)$$

Burada  $v_m$  özgül hacim ve  $T_0$  referans sıcaklığı olarak tanımlanmıştır [15].

### 2.3.3.2 Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji, bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline gelirken ısı transferi ve madde alışverişinden dolayı yaptığı maksimum iş olarak tanımlanır. Maddenin yapısal özelliğine göre standart kimyasal ekserji ve gaz karışımlarının kimyasal ekserjileri olmak üzere iki şekilde uygulanır.

Uygun bazı çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri hesaplanmıştır. Standart kimyasal ekserjiler standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ( $T_0 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $298,15\text{ K}$ ) ve basıncına ( $P_0 = 101,325\text{ kPa}$ ) bağlıdır [16].

Isıl sistemlerin çoğu, gaz karışımları içermektedir. Gaz karışımları özellikle yanma ve kimyasal proseslerin ekserji analizlerinde ön plana çıkmaktadır. Referans gazların kimyasal ekserjilerinin hesaplamaları için, atmosferin referans durumları, standart basınçta parçalardan elde edilen iş yani referans durumların kısmi basınçları tanımlanmalıdır. Bu durumda kimyasal ekserji Eşitlik 2.12 ile ifade edilir.

$$Ex_{kim} = RT_0 \ln\left(\frac{P_{00}}{P_0}\right) \quad (2.12)$$

Burada  $P_{00}$  referans durumlarda parçaların kısmi basınçlarıdır. Referans olmayan saf bileşenlerin kimyasal ekserjisi aşağıdaki gibidir:

$$Ex_{kim} = -\Delta G_0 - \sum_i x_f Ex_{kim}^E + \sum_i x_f Ex_{kim}^G \quad (2.13)$$

Burada;

$\Delta G_0$  = Oluşumun Gibbs fonksiyonu,

$Ex_{kim}^G$  = Ürünlerin standart kimyasal ekserjisi,

$Ex_{kim}^E$  = Reaktanların standart kimyasal ekserjisidir.

Sabit sıcaklık ve basınçta herhangi bir kimyasal reaksiyonun belirli yönlerde ilerleyebilme yönündeki doğal eğiliminin reaksiyonu olan ( $\Delta G_0$ ) gibbs fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\Delta G_0 = \sum V_k \Delta G_k - \sum V_j \Delta G_j \quad (2.14)$$

Burada  $V_k$ ,  $V_j$  ve  $\Delta G_k$ ,  $\Delta G_j$  sırasıyla maddenin stokiyometrik etkileridir ve Gibbs fonksiyonunu oluşturur. Birçok yakıtın kimyasal parçaları bilinmez. Bu yakıtlar için kimyasal ekserji net yanma değeri temel alınarak hesaplanır. NCV (net yanma değeri) ile kimyasal ekserji arasındaki ilişki ise şöyledir:

$$Ex_{kim} = \phi \cdot NCV \quad (2.15)$$

Burada  $\phi$  atomik bileşenlere bağlı hesaplanır. Fuel oil gibi petrol türevleri için  $\phi$  1,04 ve 1,08 değerleri arasındadır [17].

#### 2.3.4 Tersinmezlik (Ekserji Kaybı)

Enerji analizi termodinamiğin 1. kanunu üzerine kurulmuştur ve birinci kanun, enerjinin niceliğini temel alır. Enerjinin niceliğinde kayıplar önemsizdir. Ekserji analizleri, termodinamiğin ikinci kanununu temel alır ve bir termodinamik sürecin etkinliğini gösterir. Ayrıca ekserji analizi sürecin enerjisinin ve materyallerin tüm nitelik kayıplarını da içerir. Ekserjinin yok oluşu veya ekserji kayıpları olarak adlandırılan tersinmezlik, tüm giren ve çıkan ekserjiler arasında ekserji balansı kurularak hesaplanır. Tersinmezlik (I) ile gösterilir. Termodinamik süreçlerde tersinmezlik, Eşitlik 2.16 ile ifade edilir [18].

$$I = \sum_g Ex_g - \sum_{\phi} Ex_{\phi} \quad (2.16)$$

#### 2.3.5 Ekserji Verimliliği

Sabit durumlar için ekserji verimliliğinin üç tanımı vardır. Bunlardan biri toplam çıkış ekserji akışının toplam giren ekserji akışına oranıdır. Ekserji verimliliğinin ikinci formu rasyonel verimlilik olarak adlandırılır [19]. İstenilen ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranıdır. Son ekserji verimliliği ise Kostanka tarafından açıklanmış ve Brodyansky tarafından geliştirilmiştir [20].

Bu form toplam çıkan ekserji akışının ekserjinin dönüştürülemeyen parçalardan çıkarılmasının toplam giren ekserji akışının ekserjinin dönüştürülemeyen parçalarından çıkarılmasına oranıdır [21].

### 2.3.5.1 Basit (Temel) Verimlilik

İkinci yasa verimini hesaplarken ilk yapılacak işlem hal değişimi sırasında ne kadar ekserjini veya iş potansiyelinin tüketildiğini hesaplamaktır. Basit verimlilik fabrikaların tüm proseslerinde ve ünitelerinde kullanılabilir ve şu şekilde tanımlanmaktadır. Bu eşitlikte  $Ex_{\zeta}$  toplam çıkış ekserjisi,  $Ex_g$  ise giren toplam ekserjidir. Bu ifade Eşitlik 2.17'de verilmiştir [21].

$$\eta = \frac{Ex_{\zeta}}{Ex_g} \quad (2.17)$$

### 2.3.5.2 Rasyonel Verimlilik

İstenilen ekserji çıkışının kullanılan ekserjiye oranı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [19]. Bu denklemde ise  $Ex_{tr}$  sistemden transfer edilen ekserjinin toplamıdır.  $Ex_y$  ise proses için gerekli olan ekserji girişi olarak tanımlanmaktadır. Rasyonel verimlilik her sistem için kullanılabilir. Çünkü elde edilemeyen üretim bu yolla belirlenebilir. Rasyonel verimlilik Eşitlik 2.18 ile ifade edilebilir [21].

$$\eta = \frac{Ex_{tr}}{Ex_y} = 1 - \frac{I}{Ex_y} \quad (2.18)$$

### 2.3.5.3 Geçişli Ekserji ile Verimlilik

Bu verimlilik ise Kostenko tarafından açıklanmıştır ve Brodyansky, Sorin ve Lee Goff tarafından daha da geliştirilmiştir. Basit formun üzerinde bir gelişmedir. Aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [21]. Burada  $Ex_{tr}$  geçişli ekserjidir. 1994 yılında Sorin tarafından açıklanmıştır. Geçişli ekserjinin toplam miktarı proseslerin termodinamik verimliliğinde etkin değildir ve ekserji akışlarından çıkartılmaktadır. Geçişli ekserji ile verimlilik Eşitlik 2.19 ile ifade edilebilir [21].

$$\eta = \frac{Ex_{\zeta} - Ex_{tr}}{Ex_g - Ex_{tr}} \quad (2.19)$$

### ÇİMENTO TEKNOLOJİSİ

#### 3.1 Çimentonun Yapısı

Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Çimentonun ana bileşeni klinkerdir. Klinker, temel olarak kalsiyum, silisyum, alüminyum ve demir oksitlerinden oluşmaktadır. Klinker üretmek için, kireçtaşı ve kil karışımı öğütülüp, homojenize edilerek, döner fırınlarda 1450 °C'de pişirilir. Daha sonra klinkere % 4-5 oranında alçı taşı eklenip, çok ince toz halinde öğütülerek portland çimentosu elde edilir. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına bağlıdır [22].

#### 3.2 Çimento Çeşitleri

Dünyada; portland çimentosu, traslı çimentolar, yüksek fırın cüruf çimentosu, katkı çimentolar ve diğer çimento türleri olarak beş cins çimento üretilmektedir.

- Portland çimentosu:*

Betonarme yapılarda kullanımı en yaygın çimento türüdür. Portland çimentosu belirli oranda kalker taşı ( $\text{CaCO}_3$ ) ile kil ( $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) karıştırılıp, klinkerde pişirilmesinden sonra, bilyeli değirmende öğütülerek elde edilir. Klinkere bir miktar alçı taşı da eklenmesiyle çimentonun sertleşmesini geciktirilebilir.



•*Traslı çimentolar:*

Traslar silisli ve alüminli maddeler içeren volkanik tüflerdir. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri olmamakla beraber, çimentoda mevcut kireçle bu özelliği kazanırlar. Bu tür çimentolar imalat aşamasında portland çimentosu klinkerine aktif volkanik tüfler veya benzeri traslar katılarak, bunların öğütülmesiyle elde edilir. Karışımdaki tras oranı % 20-40 düzeyinde tutulur. Bu tür çimentoların geçirimsizliği az hidrasyon ısıları düşük olduğundan genellikle su yapılarında kullanılırlar.

•*Yüksek fırın cüruf çimentosu:*

Granüle yakın fırın cürufu ile portland çimentosu klinkeri karışımının az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesi ile elde edilir. Genelde, bu tür çimentolar deniz suyu ve diğer sülfatlı ortamlarda portland çimentosuna kıyasla daha yavaş dayanım kazanırlar ve daha yüksek bir dayanıma sahip olurlar. Ancak geçirimsizlikleri daha düşüktür.

•*Katkılı çimentolar:*

Portland çimentosu klinkerinin ağırlıkça en fazla % 19'nun puzolanik malzeme ile değiştirilmesi ve alçı taşı eklenmesiyle elde edilir. Katkılı çimento taşlı çimento için belirtilen özelliklere sahiptir fakat traslı çimentodan farkı puzolan oranının daha fazla olmasıdır.

Diğer çimento türleri ise;

- Uçucu küllü çimento,
- Süper sülfat çimentosu,
- Sülfata dayanıklı çimento,
- Erken dayanımı yüksek çimento,
- Düşük hidrasyon ısı çimento,

olarak çeşitlenmektedir [23].

### 3.3 Türk Standartlarına Göre Çimento Tipleri

Betonda kullanılan çimento tipleri ve uygunluk değerlendirilmesi TS EN 197 serilerinde standartlaştırılmıştır. TS EN 197-1 standardı, ülkemizde şu anda beton üretiminde kullanılan çimento tiplerinden daha fazla çimento tipinin kullanılabilmesini sağlamaktadır. TS EN 197-1, çimentoları CEM I'den (portland çimentosu) CEM V'e (kompoze çimento) kadar beş ana tipte işaretlendirmektedir. İşaretleme; ana çimento tipi; Portland çimento klinkeri oranı; ikinci ana bileşen; standart (28 günlük, vb.) dayanım sınıfı ve erken dayanım kazanma hızı gibi kriterleri belirtmektedir. Örneğin; bir portland cürüflu çimento tipi, CEM II/A-S 42,5 N şeklinde gösterilir. Burada 'N' normal erken dayanımı, 'R' hızlı erken dayanımı göstermektedir. Standart dayanım sınıfları olarak; alt-tip, ikinci ana bileşeni (bu örnekte yüksek fırın cürufunu) göstermektedir. Portland çimentosu klinkerinin oranını 'A' yüksek, 'B' orta ve 'C' düşük olarak göstermektedir [22]. TS EN 197-1 standardına göre bazı çimento tipleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

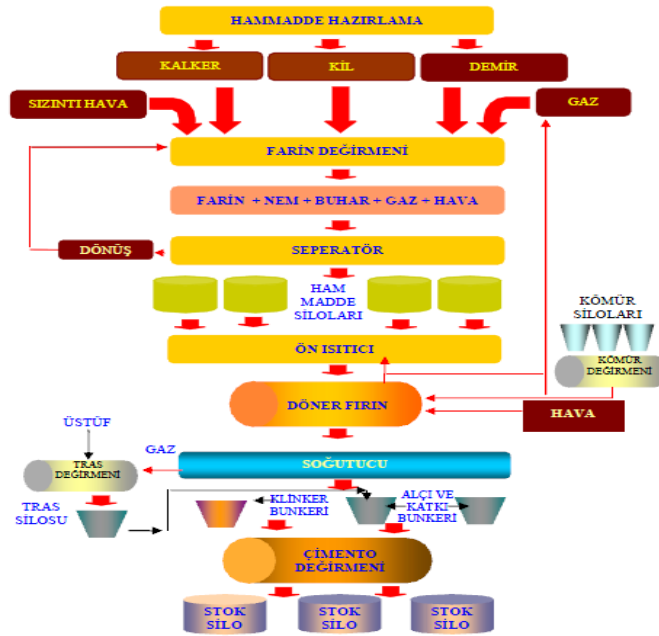
Çizelge 3.1 TS EN 197-1 standardına göre bazı çimento tipleri [22]

Çimento Tipi	TS EN 197-1'e Göre İşaretleme	Klinker Oranı (%)
Portland çimento	CEM-I	% 95-100 klinker
Portland-cürüflu çimento	CEM II/A-S	% 80-94 klinker + % 20-6 cüruf
Portland-puzolanlı çimento	CEM II/A-P	% 80-94 klinker + % 20-6 doğal puzolan
Yüksek fırın cürüflu çimento	CEM III/A	% 35-64 klinker + % 65-36 cüruf
Puzolanik çimento	CEM IV/B	% 45-64 klinker + % 55-36 silis dumanı, puzolan, uçucu kül
Kompoze çimento	CEM V/A	% 40-64 klinker + % 30-18 cüruf + % 30-18 puzolan, uçucu kül

### 3.4 Çimento Üretimi

Üretim hattı, hammadde hazırlama, farin hazırlama, yakıt hazırlama, klinker hazırlama, katkı hazırlama, çimento üretimi ve paketleme bölümlerini içermektedir. Isıl enerji; üretim hattı üzerinde farin, klinker, yakıt ve katkı hazırlama bölümlerinde kullanılmaktadır.

Çimento üretiminde üç farklı ana üretim sistemi uygulanmaktadır. Bunlar sırası ile kuru, yarı yaş ve yaş sistem olarak adlandırılmaktadır. Türkiye’de ise çoğunlukla kuru sistem çimento üretimi yapılmaktadır [24]. Şekil 3.1’de kuru tip çimento üretiminin akış şeması verilmiştir. Aşağıda üretim akış hatları detaylı olarak incelenmiştir.



Şekil 3.1 Kuru tip çimento üretiminin akış şeması [24]

#### 3.4.1 Hammadde Hazırlama

Doğal hammaddeler kil, kalker vb. maden sahasında çıkarıldıktan sonra kırıcılardan genellikle iki aşamada geçirilerek tane boyutları küçültülür. Konkasörlerde kırılan bu maddeler, hammadde silolarına gönderilir. Hammadde hazırlamada; boksit, demir madeni ve kum gibi doğrultucu hammaddeler, günümüzde sanayi artığı olarak gelen alternatif hammaddeler ile birlikte, doğal hammaddelerle birleştirilerek ön homojenizasyon sağlanır [25].

### **3.4.2 Farin Hazırlama**

Farin hazırlama bölümü, ürün olarak satılan çimentonun kalitesi üzerinde direkt bir etkiye sahiptir. Bu konuda yapılan araştırmalara göre farinin hazırlanması iyi olan bir fabrikanın çimentosu da, en az değişken değerlere sahiptir [26]. Kuru ve yarı kuru sistemlerde ön homojenisasyon sonrasında hammaddeler, kurutularak devamlı kontrol edilen bileşimde, hammadde değirmenine beslenir ve farin adı verilen ara ürün elde edilir. Yaş ve yarı yaş sistemlerde ise hammadde karışımına % 15 civarında su püskürtülerek granüller oluşturulur [27].

Uygulanan teknolojiye göre yarı yaş veya yaş proste çamurdan daha fazla su ihtiva eden farin kekleri hazırlamak amacı ile pres filtreler kullanılır. Sonuç olarak hazırlanan farin, çamur, ya da bunların derişimleri, silolar veya depolama tanklarında çeşitli yöntemler ile homojenize edilerek döner fırın sistemine girmeden eş dağılmış bir kimyasal bileşim elde edilir [28].

Bu çalışma kuru sistem bir çimento fabrikasında yapılmıştır. Bu sistemde farin oluşumu; farin değirmeninde hammadde silolarından gelen kalker, kil ve demir cevherinin önce kurutulması ve sonra öğütülmesi ile sağlanmaktadır.

### **3.4.3 Klinker Üretimi**

Çimento üretiminin en önemli aşaması klinkerin oluşumudur. Bu aşama; farin silolarından ön ısıtıcılara farinin önce pişirilmesi ve kalsine edilmesi, sonra soğutularak klinkerin elde edilmesi ile son bulur. Çimento fabrikalarına karakteristik görünümü veren kuleler ve döner fırınlar bu aşamada kullanılırlar. Bu prosesin belli başlı ekipmanlarına ait genel özellikler ve gerçekleşen üretim aşamaları sırası ile aşağıda verilmiştir [25].

#### **3.4.3.1 Döner Fırınlar**

Döner fırın sistemi olarak da adlandırılan bu üretim bölümünde; kurutma, ön ısıtma, ön kalsinasyon ve sinterleme işlemleri gerçekleşir. Döner fırınlar; üretim koşullarına, farin besleme türüne ve çimento üretim teknolojilerine göre değişik uygulama türlerine sahiptir. Bunlar aşağıdaki gibi gruplandırılmaktadır [25]:

- Uzun döner fırınlar,
- Lepollü döner fırınlar,
- Ön ısıtıcılı döner fırınlar,
- Dört kademeli ön ısıtıcılı siklonlu döner fırınlar,
- Dört-altı kademeli ön kalsinatörlü (preka) ve ön ısıtıcılı siklonlu döner fırınlar.

#### **3.4.3.2 Klinker Soğutucuları**

Klinker soğutucularının 150-1550 °C sıcaklık aralığında fırından dökülen klinkerin soğutulması ve ısının geri kazanılması, klinkerin kristal yapısının düzenlenmesi ve sonraki ekipmanlar için klinkeri uygun sıcaklığa getirilmesi olmak üzere üç farklı görevi bulunmaktadır [27].

Klinker soğutucuları, bu görevlerini soğutma fanlarından gönderilen yüksek debili hava yardımı ile gerçekleştirirler. Klinker soğutucuları, döner fırın türlerine ve üretim teknolojilerine göre değişik uygulanma modellerine sahiptir. Bunlar; döner tip, ızgaralı tip ve dikey tip klinker soğutucularıdır. Klinker oluşumunda ön ısıtıcıdan gelen malzeme, fırına intikal ünitesinden girer ve fırınla beraber dönerek, yuvarlanarak, kayarak daha sıcak bölgelere, alt uçtaki aleve doğru ilerler. Bu arada geri kalan CO<sub>2</sub> malzemeden ayrılır ve bir dizi kimyasal reaksiyon meydana gelmeye başlar.

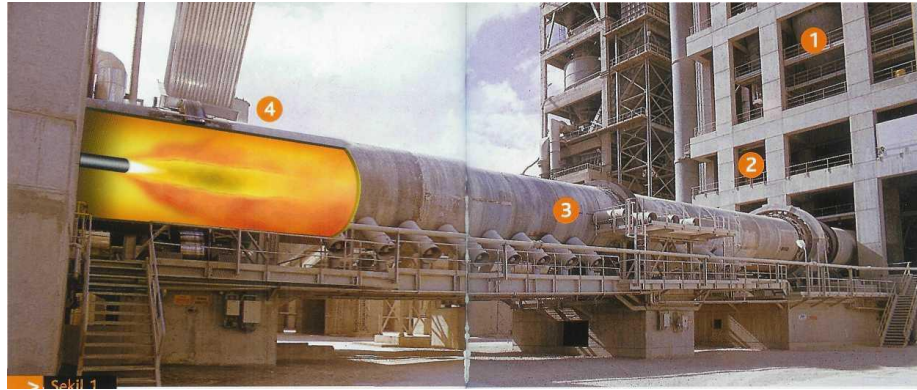
Döner fırının alt ucunda toz kömür, doğal gaz, fuel oil gibi yakıtların yakılması ile oluşturulan alevin çıktığı boru bulunur. Alev borusundan çıkan kor halindeki alevin sıcaklığı 1870 °C değerine ulaşır. Bu en sıcak bölgede, sıcaklığı 1480 °C'ye varabilen kalsine malzeme, kısmen ergiyip sıvılaşmaya başlar ve ince taneler birbirlerine yapışıp daha büyük boydaki klinker tanelerini oluştururlar. Fırının alt ucundan çıkan klinkere soğutma işlemi uygulanır [25].

Şekil 3.2'de gösterilen döner fırın sistemine beslenen farin, sırası ile kurutma/ön ısıtma, kalsinasyon (kalsiyum karbonatların karbon dioksit ve serbest kireç oluşumu), sinterleşme (klinkerleşme) ve hava ile 100-200 °C'ye kadar soğutulma işlemlerini içeren ısı işlemlerden geçirilir.

Modern çimento fabrikalarında farin enerji tasarrufu amacı ile fırına girmeden önce bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Yükseklikleri 60 metreyi geçen ön ısıtma kulelerinde seri

halindeki siklonlarda farin taneleri fırından gelen sıcak egzoz gazları içinde savrulur ve ısınırlar ve kısmen kalsine olurlar [27]. Siklonlu ön ısıtıcılar, birbiri üzerine yerleştirilmiş dört siklondan oluşmuştur. Daha iyi bir ayırım için farinin giriş siklonu ikili siklon olarak teşkil edilmiştir. Siklonlar kare kesitli olan, gaz boru tesisatları ile bağlanmışlardır. En üstteki gaz borusu dairesel bir kesite sahiptir.

Dört siklondan çıkan farin döner fırın içine akar. Isı transferinin ana kısmı gaz borularında meydana gelir. Dört kademeli bir ön ısıtıcıda, toplam ısı alışverişinin % 20'sinin siklonlarda, % 80'inin ise gaz borularında olduğu saptanmıştır [27].



Şekil 3.2 Kuru sistem döner fırın bölümü [27]

Ön ısıtıcı döner fırınlarda, fırın sistemindeki pişirme işleminde ve bununla birlikte klinkerde diğer döner fırın cinslerine oranla daha fazla alkali geriye kalır. Farinin kil mineralleri ve yakıt vasıtasıyla pişirme işleminde, klinkere % 0,6-2,2 arasında  $K_2O$  ve % 0,1-0,7  $Na_2O$  transfer edilebilir.

Yaklaşık 800 °C'den sonra fırında alkaliler kısmen buharlaşır. Isıya dayanıklı olan bir kısmı da klinkerde kalır. Buharlaşan alkaliler, fırının soğuk bölgelerinde, soğuk farin üzerinde kondanse olarak üçüncü ve dördüncü siklona gelirler. Özellikle  $K_2O$ ,  $Na_2O$ 'nun daha az kondanse olmasına karşın, ön ısıtıcıda alkaliler % 81-97 oranında yoğuşur. Böylece alkaliler % 3-19 aralığında ön ısıtıcı siklonları terk eder. Dolayısıyla baca gazı ile dışarıya taşınan toz bünyesinde çok az alkali ihtiva eder [26].

Sinter bölgesindeki sıcaklığın yükselmesi, sinter bölgesinde kalış süresinin uzamasına ve alkali uçuculuğunun yükselmesine neden olur. Ayrıca, farinde  $SO_3$  miktarı ve baca gazlarında  $SiO_2$  miktarının yükselmesine, farin alkalilerinin ve sirkülasyon alkalilerinin

uçuculuğunun azalmasına da sebep olur. Cl, hem farin, hem de su buharı gibi fırın gazlarında alkalilerin uçuculuğunu yükselttiği gibi, özellikle sirkülasyon alkalilerinin uçuculuğunu da yükseltir. Bazı ön ısıtıcılarda kulenin altında ve döner fırından hemen önce bir ön kalsinasyon ünitesi bulunur. Son siklon aşamasından buraya sıcak hava ve yakıtla birlikte giren farin tanelerinde kalsinasyon, ham maddelerden CO<sub>2</sub>'in ayrıştırılması, % 95'e varan ölçüde tamamlanır.

Döner fırında çimento hammaddeleri içindeki kireç, silis ve alumin sıcaklık arttıkça önce serbest hale gelirler, sonra da kendi aralarında birleşip yeni bileşikler meydana getirirler. Ön ısıtmada ve fırının en üst bölgesinde malzemedeki serbest ve kristal sular buharlaşır, kil ayrışır ve CO<sub>2</sub> kalkerden ayrılmaya başlar. Tipik bir çimentonun klinkerinde bileşimin % 90'ından fazlasını karma oksit formundaki dört ana bileşen oluşturur ve bunlar;

- $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3=(C_4AF)$ ,
- $3CaO.Al_2O_3=(C_3A)$ ,
- $2CaO.SiO_2=(C_2S)$
- $3CaO.SiO_2=(C_3S)$  'tir.

Klinker soğuma şartlarının, klinkerin mineralojik yapısına büyük tesirleri vardır. Aynı klinker üzerinde yapılan bir araştırmada, yavaş soğutmada C<sub>3</sub>S miktarı % 59,8; orta süratli bir soğutmada C<sub>3</sub>S miktarı % 65,2; hızlı soğutmada ise bu miktar % 70 olmuştur. Bir klinkerde C<sub>3</sub>S miktarı ne kadar fazla ise o klinkerden elde olunacak çimentonun mukavemeti o kadar yüksek olur. O halde klinker soğutmaya indiğinde en kısa sürede soğutulmalıdır ki, bünyesindeki C<sub>3</sub>S miktarı ayrışmadan muhafaza edilsin [28].

Klinkerin hızlı soğutulmasının bir başka etkisi de kristallerin büyüklüğü üzerinde olur. Hızlı soğutmada kristaller küçük, yavaş soğutmada kristaller büyük olur. C<sub>3</sub>S mineralleri büyüdükçe hem kristallerin öğütülmesi güçleşir hem de zor öğünmeden dolayı çimento değirmenlerinin kapasitesinin düşüp enerji sarfiyatlarının artmasına sebep olur. Ayrıca büyük C<sub>3</sub>S kristallerinin su ile reaksiyona girme hızları düşer. Bu durum çimentoda basınçların düşmesine yol açar. 1315-1480 °C dereceler arasında en kuvvetli kireç bağlantısı ilk 10 saniye içinde oluşur.

Bu sıcaklıklar arasındaki sinter reaksiyonları ise bir kaç dakika içinde oluşur. Klinker pişirilmesinde ve istenen klinker bileşimlerinin elde edilmesinde uygun bir pişme sıcaklığı, pişme süresinden daha etkilidir. Lüzumsuz kristal büyümelerini önleyebilmek için fırının pişme bölgesinin kısa olması ve uygun bir soğutma işleminin uygulanması gerekir [28].

#### **3.4.4 Yakıt Hazırlama**

Türk ve Avrupa çimento sanayi tarafından ağırlıklı olarak fosil yakıtlar arasında linyit kömür, ithal kömür ve Petro-kokun tercih edildiği görülmektedir. Endüstriyel atıklar olarak; yağ, lastik, boya ve benzeri maddeler gibi alternatif yakıtlar da değerlendirilmektedir.

Tipik yanma havasında oksijen fazlalığı % 2 seviyesindedir. İhtiyaç duyulan fazla oksijen kalsinasyon koşullarının sağlanması için gerekli olup klinker fazlarının oluşmasında ve dolayısı ile klinker kalitesinde etkili olur [25].

Ana yakıcının alevinin, sinter oluşumunu sağlaması ve diğer proses koşullarının optimumda tutulabilmesi için ayarlanması ve limitler dahilinde tutulması gereklidir. Bu nedenle sekonder hava yanında toplam yanma havasının % 10'nu mertebesinde kömürün taşınması için gereken havada dâhil olmak üzere primer hava kullanılır.

Ön kömür olarak tercih edilen döner fırın için kömürün hazırlanması amacı ile kurutulması ve öğütülmesi, kömür değirmenlerinde gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan kömür, taşıyıcı hava ile döner fırına iletilmektedir. Tüm yakıtların homojenizasyonu amacı ile çeşitli silolar ve depolar bulunmaktadır.

Katı yakıtlar organik ve mineral bileşim maddelerinden ibarettir. Organik bileşim maddelerine girenler Karbon (C), Hidrojen (H), Oksijen (O) ve Azot (N)'tur. Madensel bileşim maddesine giren Kükürt (S) ve Küldür. Kömür külü nicelik olarak, % 15-21 aralığında  $Al_2O_3$ , % 25-40 aralığında  $SiO_2$ , % 20-45 aralığında  $Fe_2O_3$ , % 1-5 aralığında CaO, % 0,5-1 aralığında MgO ve % 2-8 aralığında  $SO_3$  ve diğerlerini ihtiva ederler [28].

Yanabilen maddeler, karbon, hidrojen ve kükürttür. Bunlar havanın oksijeni ile yanarak ısı oluştururlar. Yakıtta yanıcı kısımlar ne kadar fazla ise, yanma ısıları o denli yüksektir. Bir yakıtın değerlendirilmesinde sadece karbon ve hidrojen miktarı göz önüne alınır.



Kükürt yanıcı olmasına rağmen, yanmada SO<sub>2</sub> teşkil ettiği ve bu da su ile birleşmesinde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oluşturduğundan, bu maddenin de yakma tesisinin metalik kısımlarında korozyon meydana getirmesi ve atmosferde de baca gazı olarak çevreye olağan üstü zararlı etki yapması nedeniyle, istenilmeyen bir maddedir. Kömür külünde kalan kükürt yakma sonucunda klinkere karışarak, klinkerin kalitesini düşürür. Oysa burada, yakıtta belirli bir miktar kükürt bazı durumlarda istenir. Zira bu mevcut muhtemel alkali oksitlerin sülfatlaştırılmasına yol açar. Bu şekilde oluşan alkali sülfat, bozunmaz ve fırını klinker ile terk ederek fırın sisteminde alkali devri daimini azaltır.

Yakıtın istenmeyen kısmı kül ve nemdir. Bunlar yakma işleminde külün büyük bir kısmı klinker bünyesine alınır, bu nedenle kömür külünün kimyasal kompozisyonu, farinin kimyasal bileşiminin hesaplanmasında göz önüne alınmalıdır [28]. Kömürün kurutulmasında dikkat edilecek husus tam olarak kuru kömürün zor yanmasıdır. Yani karbon doğrudan doğruya hava oksijeni ile birleşemez. Karbonun ilk önce fazlaca etkili OH köküne etki etmesiyle zincirleme reaksiyonlar başlar. Yakıtın ateşlenmesi için az miktarda su buharının bulunması gereklidir. Kömürde nem miktarı yaklaşık % 1-1,5 aralığında olmalıdır.

Kömürün sınıflandırılmasında önemli olan uçucu madde miktarıdır. Kömürün havasız yerde karbonatlaştırılması esnasında ağırlığından kaybettiği miktar, uçucu madde miktarını verir [28]. Kömürün uçucu maddesinin optimum değeri kömür tozu ateşlemeleri için % 18-22 civarındadır. Buna tekabül eden öğütme sayesinde döner fırına kömürü de düşük gaz miktarı ile faydalı olacak şekilde değerlendirmek mümkün olmuştur. Yakıtın en önemli özeliği özgül ısı değeridir, yani 1 kg yakıtın (gaz yakıtlarda 1 Nm<sup>3</sup>) yanmasıyla oluşturduğu ısı miktarıdır. Isı değerinin tayini sadece kalorimetrik yolla olur. Isı değerinin element analizinden hesaplanması, sadece yol gösterici özellik taşır.

Kömür nem miktarının değirmen kapasitesi üzerinde önemli etkisi vardır, incelik sabit kalmak şartıyla, rutubetin % 1 'den % 3 'e çıkmasıyla öğütme enerjisinde % 10'luk bir artış olur [28].

### **3.4.5 Katkı Hazırlama**

Soğutucudan çıkan klinker çimento üretiminde bir ara ürün sayılır. Klinkerin yanında istenen çeşitli özellikler için çimentoya ilave edilecek alçı, döner fırın cürufu gibi katkıların kurutulması ve homojenize edilerek hazırlanmasıdır [25].

### **3.4.6 Çimento Öğütme**

Yaklaşık 2 cm çapındaki klinker tanelerinin çimento tanesi inceliğine kadar öğütülmesi gerekir. Çimento tane boyutları genellikle 40 mikronun altında, ortalama 15-20 mikron (0,0015-0,0020 cm) olduğuna göre, bu aşama sonunda klinker tanesinin 1000 kere kadar küçültülmüş olması gerekmektedir [28].

Klinker ve alçının öğütülmesinde daha çok bilyalı değirmenler kullanılır. Yaklaşık 3 m çapında çelik silindir şeklindeki değirmenlerde hacimlerinin üçte birine kadar çelik ezici bilyalarla doldurulmuş bölmeler bulunur. Silindir dönerken bilyalar klinker tanelerine çarparak onları ufalarlar. Son bölmede istenilen incelik elde edilmiş olur. Klinker doğrudan soğutucudan gelmişse hala 50-100 °C arası sıcaklıktadır ve öğütme sırasında değirmen içine basınçlı su verilerek sıcaklığın artması önlenmiş olur.

Çimento, klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile öğütülmesi sonucu elde edilir. Klinker kalsiyum sülfat ile doğrudan fabrikada öğütülebilir veya bu amaçla başka yerlerdeki öğütme tesislerine gönderilir, hatta yurt dışına ihraç edilebilir. Bunun yanında kompozit çimentolar çeşitli yüksek fırın cürufu ve termik santral külü gibi katkıları ile birlikte öğütülerek elde edilir. Öğütme sırasında klinkere, kütleli debisine bağlı olarak % 3-5 aralığında kalsiyum sülfat katılır. Bu işlem çimentonun su ile karıştırıldığında kimyasal reaksiyonların ve katılma sürecinin kontrolü bakımından zorunludur. Son yıllarda öğütmeyi kolaylaştırıcı bazı kimyasallar da bu aşamada klinkere katılmaktadır [28].

### **3.4.7 Çimento Sevkiyatı**

Çimento değirmenlerinden elde edilen çimento satış politikasına bağlı olarak paketleme veya hazır beton bölümüne gönderilir. Buradan çimento talebine bağlı olarak kullanım noktalarına sevk edilir [28].

### ÇİMENTO FABRİKASININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Çimento fabrikasında uygulanan analizler için gerekli tüm veriler bir senelik Mayıs 2012-Nisan 2013 verileridir. Fabrikanın ortam sıcaklığı her sistemin çalıştığı ortama göre değişiklik göstermektedir. Fabrikanın geneli için tek bir sistem gibi düşünerek analiz yapmak yanıltıcı bir işlem olacaktır. Bu yüzden her sistem ayrı değerlendirilecektir. Termodinamiğin birinci ve ikinci kanununun analizleri yapılacak sistemler;

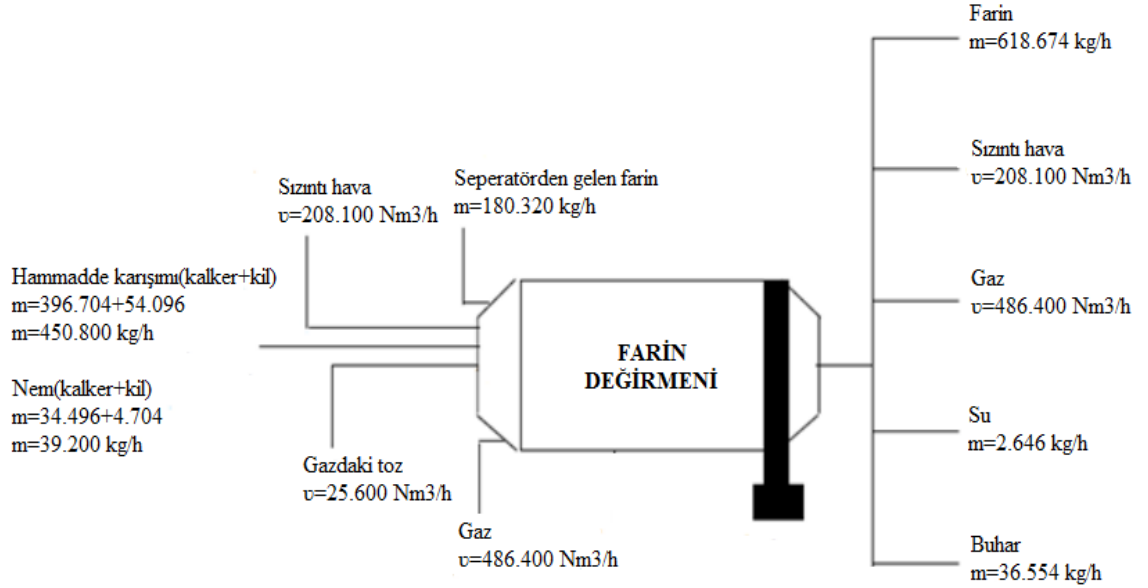
- Farin değirmeni bölümü,
- Kömür değirmeni bölümü,
- Çimento değirmeni bölümüdür.

Çimento fabrikasının analizi yapılırken her sistem için ayrı ayrı enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir.

#### 4.1 Farin Değirmeni Bölümünde Enerji ve Ekserji

Çimento fabrikalarının üretim hattında en önemlilerden biri farin değirmeni bölümüdür. Farin değirmeni, valsli dikey değirmen olup 380-400 ton/saat kapasiteye sahip, hava akımlı ve kurutma kamaralı tipindedir. Farin değirmeninde hem kurutma hem de öğütme işlemi yapılmaktadır. Kurutma işlemi için soğutmalardan alınan sıcak gazlardan yararlanılmaktadır. Hammadde karışımı (kalker ve kil) ve baca gazı değirmene aynı yönde girmektedir. Fırından alınan gaz, değirmene yaklaşık 300 °C' de girerken, değirmenden yaklaşık 80 °C' de çıkmaktadır. Değirmen girişinde hammadde karışımı yaklaşık % 8-10 rutubet içerirken, değirmen çıkışında ise farin yaklaşık % 1-2,5

rutubet içermektedir. Şekil 4.1'de farin değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Farin değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması [29]

#### 4.1.1 Farin Değirmeni Bölümünde Enerji Analizi

Farin değirmeni bölümü devamlı olarak bir kütle girişi ve çıkışı gerçekleştiği için bu sistem sürekli akışlı açık bir sistem olarak kabul edilecektir. Farin değirmeni sisteminin mayıs ayına ait enerji analizi için bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Sisteme dışarıdan bir ısı girişi yoktur.
- Sistemin kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilmiştir.
- Bağlantı elemanlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Sisteme giren ve çıkan gazlar ideal gaz olarak kabul edilmektedir.
- Referans ortam sıcaklığı 22 °C (295 K) olarak alınmıştır.

Sisteme giren ve çıkan enerjiler bulunurken giren ve çıkan maddelerin her birinin sıcaklığına ve o sıcaklıktaki özgül ısısına ihtiyaç vardır. Bu değerler tablolardan bulunmuştur.

Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ilkesine göre, farin değirmeni bölümü enerji dengesi için Eşitlik 4.1 ve Eşitlik 4.2 kullanılacaktır.

$$Q - W = \sum m_{\zeta} e_{\zeta} - \sum m_g e_g = \Delta E \quad (4.1)$$

$$Q - W = \sum m_{\zeta} \left( h_{\zeta} + \frac{v_{\zeta}^2}{2} + gz_{\zeta} \right) - \sum m_g \left( h_g + \frac{v_g^2}{2} + gz_g \right) = \Delta E \quad (4.2)$$

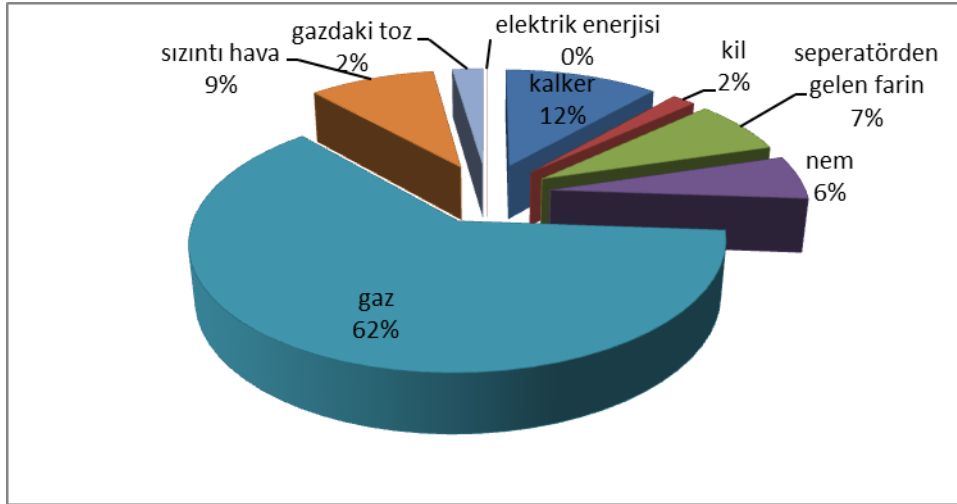
Burada Q sisteme giren akışın enerjisidir. W sistemden elde edilen iştir.  $\Delta E$  ise enerji değişimidir. Bu sistemde kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmektedir. Bu yüzden enerji denkleğinde maddelerin sıcaklıklarından dolayı sahip olduğu enerjiler sisteme giren ve çıkan enerjiler olarak esas alınacaktır.

Değirmene ortalama nem oranı % 8 olan toplam 490 ton/saat hammadde beslenmektedir. Seperatörden % 40 oranında (kuru bazda) geri dönüş olduğu kabul edilmiştir. Değirmenden % 1 neme sahip 441 ton/saat farin çıkmaktadır. Değirmenin mayıs ayına ait enerji dengesi Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir. Şekil 4.2'de farin değirmeni bölümüne giren, Şekil 4.3'te ise bu bölümden çıkan enerji yüzdeleri verilmiştir.

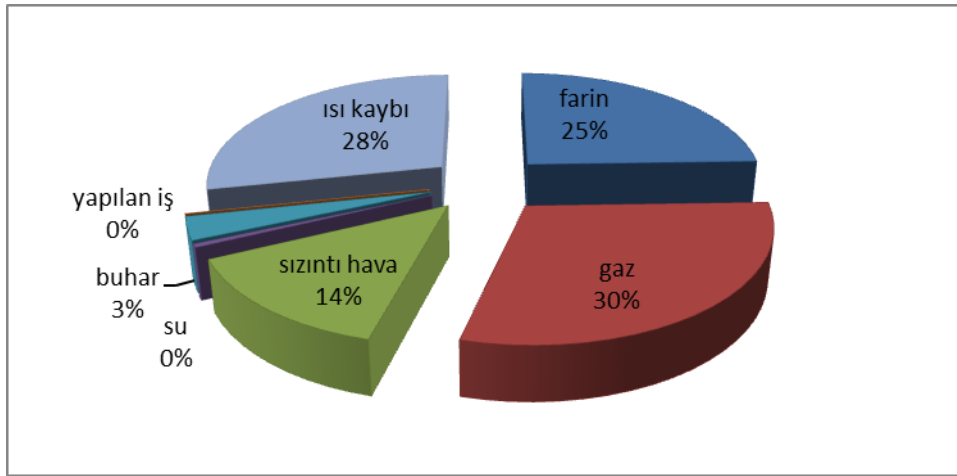
Çizelge 4.1 Farin değirmeni bölümünün mayıs ayına ait enerji dengesi [29]

<b>GİRENLER</b>	<b>T</b> <b>(K)</b>	<b>m</b> <b>(kg/h)</b>	<b>ϑ</b> <b>(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp</b> <b>(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp</b> <b>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q</b> <b>(kJ/h)</b>
Kalker (kuru)	295	396.704		0,82		95.962.698
Kil (kuru)	295	54.096		0,92		14.681.654
Sep. Gelen Farin *	361	180.320		0,92		59.887.878
Nem (kalker+kil)	295	39.200		4,19		48.453.160
Gaz	638		486.400		1,68	521.342.976
Sızıntı Hava	295		208.100		1,28	78.578.560
Gazdaki Toz	638		25.600		1,18	19.272.704
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.824
* Seperatör etkenliği %60 alınmıştır.					<b>Toplam</b>	838.188.454
<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T</b>	<b>m</b>	<b>ϑ</b>	<b>Cp</b>	<b>Cp</b>	<b>Q</b>
Farin (kuru)	361	618.674		0,92		205.474.009
Gaz	361		486.400		1,41	247.582.464
Sızıntı Hava	361		208.100		1,55	116.442.355
Su	361	2.646		4,24		4.050.073
Buhar	361	36.554		2,05		27.051.788
Yapılan İş						8.824
					<b>Toplam</b>	600.609.513

Sisteme giren enerjilerde en büyük paya sahip enerji, % 62 ile sıcak gazın sahip olduğu enerjidir. Tüketilen elektrik enerjisi, enerji girdilerinde çok düşük bir yüzdeye sahiptir. Sistemden çıkan enerji yüzdelerinde en büyük oranda % 30'a sahip enerji bacadan atılan gazın sahip olduğu enerjidir. Isı kaybı da % 28 büyük bir orana sahiptir.



Şekil 4.2 Farin değirmenine mayıs ayına ait giren enerji yüzdeleri [29]



Şekil 4.3 Farin değirmeninden mayıs ayına ait çıkan enerji yüzdeleri [29]

#### 4.1.2 Farin Değirmeni Bölümünde Enerji Verimi

Farin değirmenine giren ve çıkan maddelerin sıcaklıklardaki enerjileri bulunmuştur. Daha sonra da enerji dengesinin de sağlandığı görülmüştür. Herhangi bir sistemin veriminin en genel tanımı çıkan enerjinin giren enerjiye oranı olarak yapılmaktadır. Bu Eşitlik 4.3'teki gibi hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{\sum m_c h_c}{\sum m_g h_g} \quad (4.3)$$

Farin değirmeni sistemine giren toplam enerji saatte 838.188.454 kJ'dür. Sistemden ise 600.609.513 kJ enerji çıkışı gerçekleşmektedir. Farin değirmeninde saatte 237.587.941 kJ ısı kaybı vardır. Farin değirmeni bölümünün verimi Eşitlik 4.3 ile hesaplanabilmektedir. Buradan farin değirmeni enerji verimi % 72 çıkmaktadır. Değirmenin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\sum \dot{m}_c h_c}{\sum \dot{m}_g h_g} = \frac{600.609.513}{838.188.454} \\ &= 0,72 \end{aligned}$$



Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri [29]

<b>GİRENLER (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	299	401.562		0,82		98.454.873	<b>0,73</b>
Kil (kuru)	299	54.758		0,92		15.062.941	
Seperatörden Gelen	362	182.528		0,92		60.789.125	
Nem (kalker+kil)	299	39.680		4,19		49.711.501	
Gaz	633		482.600		1,66	507.106.428	
Sızıntı Hava	299		210.400		1,29	81.153.384	
Gazdaki Toz	633		25.400		1,17	18.811.494	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						7.910	
					<b>Toplam</b>	831.097.656	
<b>ÇIKANLAR (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Farin (kuru)	362	626.250		0,92		208.566.167	
Gaz	362		482.600		1,41	246.328.692	
Sızıntı Hava	362		210.400		1,56	118.817.088	
Su	362	2.678		4,23		4.101.327	
Buhar	362	37.002		2,05		27.458.887	
Yapılan iş						7.910	
						<b>Toplam</b>	605.280.071
<b>GİRENLER (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	301	404.800		0,83		101.131.184	<b>0,75</b>
Kil (kuru)	301	55.200		0,93		15.452.136	
Seperatörden Gelen	364	184.000		0,92		61.617.920	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Nem (kalker+kil)	301	40.000		4,19		50.447.600
Gaz	623		484.500		1,61	485.968.035
Sızıntı Hava	301		209.500		1,30	81.977.350
Gazdaki Toz	623		25.500		1,16	18.428.340
Elektrik Enerjisi Tüketimi						7.992
					<b>Toplam</b>	815.030.557
<b>ÇIKANLAR (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	364	631.300		0,92		211.409.744
Gaz	364		484.500		1,42	250.428.360
Sızıntı Hava	364		209.500		1,56	118.962.480
Su	364	2.700		4,23		4.157.244

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	364	37.300		2,05		27.833.260	
Yapılan İş						7.992	
					<b>Toplam</b>	612.799.080	
<b>GİRENLER (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	302	406.419		0,83		101.873.037	<b>0,75</b>
Kil (kuru)	302	55.421		0,93		15.565.486	
Seperatörden Gelen	362	184.736		0,92		61.524.477	
Nem (kalker+kil)	302	40.160		4,19		50.817.661	
Gaz	618		488.300		1,59	479.813.346	
Sızıntı Hava	302		208.700		1,30	81.935.620	
Gazdaki Toz	618		25.700		1,15	18.264.990	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi							7.830
						<b>Toplam</b>	809.802.447
<b>ÇIKANLAR (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Farin (kuru)	362	633.825		0,92		211.089.145	
Gaz	362		488.300		1,41	249.238.086	
Sızıntı Hava	362		208.700		1,56	117.857.064	
Su	362	2.711		4,23		4.150.940	
Buhar	362	37.449		2,05		27.791.051	
Yapılan İş							7.830
						<b>Toplam</b>	610.134.116
<b>GİRENLER (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Kalker (kuru)	299	403.181		0,82		98.851.869	<b>0,73</b>
Kil (kuru)	299	54.979		0,92		15.123.678	
Seperatörden Gelen	359	183.264		0,92		60.528.434	
Nem (kalker+kil)	299	39.840		4,19		49.911.950	
Gaz	628		487.825		1,63	499.357.183	
Sızıntı Hava	299		204.175		1,29	78.752.339	
Gazdaki Toz	628		25.675		1,16	18.703.724	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.009	
						<b>Toplam</b>	821.237.186
<b>ÇIKANLAR (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Farin (kuru)	359	628.775		0,92		207.671.741	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	359		487.825		1,40	245.180.845	
Sızıntı Hava	359		204.175		1,54	112.880.191	
Su	359	2.689		4,23		4.083.738	
Buhar	359	37.151		2,05		27.341.131	
Yapılan İş						8.009	
					<b>Toplam</b>	597.165.655	
<b>GİRENLER (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	295	396.704		0,82		95.962.698	<b>0,72</b>
Kil (kuru)	295	54.096		0,92		14.681.654	
Seperatörden Gelen	356	180.320		0,92		59.058.406	
Nem (kalker+kil)	295	39.200		4,19		48.453.160	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	625		487.350		1,62	493.441.875
Sızıntı Hava	295		204.650		1,28	77.275.840
Gazdaki Toz	625		25.650		1,16	18.596.250
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.824
					<b>Toplam</b>	807.478.707
<b>ÇIKANLAR (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	356	618.674		0,92		202.628.108
Gaz	356		487.350		1,38	239.425.308
Sızıntı Hava	356		204.650		1,53	111.468.762
Su	356	2.646		4,22		3.975.139
Buhar	356	36.554		2,05		26.677.109



Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Yapılan İş						8.824	
					<b>Toplam</b>	584.183.250	
<b>GİRENLER (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	289	380.160		0,81		88.991.654	<b>0,73</b>
Kil (kuru)	289	51.840		0,91		13.633.402	
Seperatörden Gelen	359	172.800		0,92		57.072.384	
Nem (kalker+kil)	289	48.000		4,18		57.984.960	
Gaz	626		492.100		1,63	502.128.998	
Sızıntı Hava	289		203.900		1,25	73.658.875	
Gazdaki Toz	626		25.900		1,16	18.807.544	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.044	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

						<b>Toplam</b>	812.285.861
<b>ÇIKANLAR (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Farin (kuru)	359	602.208		0,92		198.897.258	
Gaz	359		492.100		1,40	247.329.460	
Sızıntı Hava	359		203.900		1,54	112.728.154	
Su	359	2.592		4,23		3.936.133	
Buhar	359	45.408		2,05		33.418.018	
Yapılan İş						8.044	
						<b>Toplam</b>	596.317.067
<b>GİRENLER (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	284	380.160		0,81		87.452.006	<b>0,75</b>

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Kil (kuru)	284	51.840		0,91		13.397.530
Seperatörden Gelen	362	172.800		0,92		57.549.312
Nem (kalker+kil)	284	48.000		4,18		56.981.760
Gaz	628		494.000		1,63	505.678.160
Sızıntı Hava	284		201.000		1,23	70.213.320
Gazdaki Toz	628		26.000		1,16	18.940.480
Elektrik Enerjisi Tüketimi						9.068
					<b>Toplam</b>	810.221.636
<b>ÇIKANLAR (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	362	602.208		0,92		200.559.352
Gaz	362		494.000		1,41	252.147.480

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	362		201.000		1,56	113.508.720	
Su	362	2.592		4,23		3.969.026	
Buhar	362	45.408		2,05		33.697.277	
Yapılan İş						9.068	
					<b>Toplam</b>	603.890.923	
<b>GİRENLER (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	283	372.240		0,81		85.328.575	<b>0,75</b>
Kil (kuru)	283	50.760		0,91		13.072.223	
Seperatörden Gelen	361	169.200		0,92		56.194.704	
Nem (kalker+kil)	283	47.000		4,18		55.598.180	
Gaz	625		486.400		1,62	492.480.000	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	283		206.600		1,22	71.330.716
Gazdaki Toz	625		25.600		1,16	18.560.000
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.841
					<b>Toplam</b>	792.573.239
<b>ÇIKANLAR (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	361	589.662		0,92		195.838.543
Gaz	361		486.400		1,41	247.582.464
Sızıntı Hava	361		206.600		1,55	115.603.030
Su	361	2.538		4,23		3.875.602
Buhar	361	44.462		2,05		32.904.103
Yapılan İş						8.841

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

						<b>Toplam</b>	595.812.584
<b>GİRENLER (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	284	376.200		0,81		86.541.048	<b>0,72</b>
Kil (kuru)	284	51.300		0,91		13.257.972	
Seperatörden Gelen	358	171.000		0,92		56.320.560	
Nem (kalker+kil)	284	47.500		4,18		56.388.200	
Gaz	637		475.000		1,67	505.300.250	
Sızıntı Hava	284		213.000		1,23	74.405.160	
Gazdaki Toz	637		25.000		1,18	18.791.500	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.576	
						<b>Toplam</b>	811.013.266

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

ÇIKANLAR (ŞUBAT)	T(K)	m(kg/h)	ḡ(Nm <sup>3</sup> /h)	Cp(kJ/kg.K)	Cp(kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Q(kJ/h)	
Farin (kuru)	358	595.935		0,92		196.277.152	
Gaz	358		475.000		1,39	236.369.500	
Sızıntı Hava	358		213.000		1,54	117.431.160	
Su	358	2.565		4,23		3.884.282	
Buhar	358	44.935		2,05		32.977.797	
Yapılan İş						8.576	
					<b>Toplam</b>	586.948.466	
GİRENLER (MART)	T(K)	m(kg/h)	ḡ(Nm <sup>3</sup> /h)	Cp(kJ/kg.K)	Cp(kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Q(kJ/h)	η
Kalker (kuru)	287	386.496		0,81		89.848.725	<b>0,73</b>
Kil (kuru)	287	52.704		0,91		13.764.704	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Seperatörden Gelen	360	175.680		0,92		58.185.216
Nem (kalker+kil)	287	48.800		4,18		58.543.408
Gaz	637		472.625		1,67	502.773.749
Sızıntı Hava	287		215.375		1,24	76.647.655
Gazdaki Toz	637		24.875		1,18	18.697.543
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.802
					<b>Toplam</b>	818.469.801
<b>ÇIKANLAR (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	360	612.245		0,92		202.775.478
Gaz	360		472.625		1,40	238.203.000
Sızıntı Hava	360		215.375		1,55	120.179.250



Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Su	360	2.635		4,23		4.012.883	
Buhar	360	46.165		2,05		34.069.622	
Yapılan İş						8.802	
					<b>Toplam</b>	599.249.035	
<b>GİRENLER (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	291	396.704		0,82		94.661.508	<b>0,73</b>
Kil (kuru)	291	54.096		0,92		14.482.581	
Seperatörden Gelen	358	180.320		0,92		59.390.195	
Nem (kalker+kil)	291	39.200		4,19		47.796.168	
Gaz	633		474.050		1,66	498.122.259	
Sızıntı Hava	291		217.450		1,26	79.730.217	

Çizelge 4.2 Farin değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gazdaki Toz	633		24.950		1,17	18.478.220
Elektrik Enerjisi Tüketimi						8.485
					<b>Toplam</b>	812.669.633
<b>ÇIKANLAR (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	358	618.674		0,92		203.766.469
Gaz	358		474.050		1,39	235.896.761
Sızıntı Hava	358		217.450		1,54	119.884.534
Su	358	2.646		4,23		4.006.944
Buhar	358	36.554		2,05		26.826.981
Yapılan İş						8.485
					<b>Toplam</b>	590.390.173

#### 4.1.3 Farin Değirmeni Bölümünde Ekserji Analizi

Farin değirmeni bölümü sürekli akış halindeki açık bir sistem olarak değerlendirilmiştir. Daha önceki bölümde enerji analizinde belirtilen kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Sisteme dışarıdan bir ısı girişı yoktur.
- Sistemin kinetik ve potansiyel enerji değişimi, bağlantı elemanlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Sisteme giren ve çıkan gazlar ideal gaz olarak kabul edilmektedir.
- Referans ortam sıcaklığı 22 °C (295 K) olarak alınmıştır.

Farin değirmeni bölümünde amaç, hammadde karışımı olan kalker ve kilin nem oranını optimum seviyeye indirmek ve tane boyutunu küçültmektir. Burada kalker ve kil herhangi bir kimyasal reaksiyon geçirmemektedir. Bu yüzden burada ekserji analizi yapılırken yalnızca fiziksel ekserjinin hesaplanması yeterli olacaktır. Fiziksel ekserjileri ise Eşitlik 2.6 ile hesaplanılacaktır. Farin değirmeni bölümüne giren ve bu bölümden çıkan ekserjiler sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te gösterildiği gibidir. Sisteme saatte 98.902.937 kJ'lük bir ekserji girişı olmaktadır. Sistemden saatte 10.721.032 kJ'lük bir ekserji çıkışı gerçekleşmektedir. Ayrıca bu sistemden saatte 88.181.905 kJ ekserji yok oluşu vardır.

Çizelge 4.3 Farin değirmenine mayıs ayına ait giren ekserjiler [29]

GİRENLER	T (K)	T <sub>0</sub> (K)	m (kg/h)	ϑ (Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh (kJ/h)	ΔS (kJ/h.K)	Ex (kJ/h)	
Kalker (kuru)	295	295	396.704		0,82		0	0	0	
Kil (kuru)	295	295	54.096		0,92		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	361	295	180.320		0,92		10.949.030	33.495	1.068.150	
Nem (kalker+kil)	295	295	39.200		4,19		0	0	0	
Gaz	638	295		486.400		1,68	280.283.136	630.321	94.338.512	
Sızıntı Hava	295	295		208.100		1,28	0	0	0	
Gazdaki Toz	638	295		25.600		1,18	10.361.344	23.301	3.487.451	
Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.824	
									<b>Toplam</b>	98.902.937

Çizelge 4.4 Farin değirmeninden mayıs ayına ait çıkan ekserjiler [29]

ÇIKANLAR	T (K)	T <sub>0</sub> (K)	m (kg/h)	ϑ (Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh (kJ/h)	ΔS (kJ/h.K)	Ex (kJ/h)
Farin (kuru)	361	295	618.674		0,92		37.565.885	114.919	3.664.798
Gaz	361	295		486.400		1,41	45.264.384	138.470	4.415.837
Sızıntı Hava	361	295		208.100		1,55	21.288.630	65.125	2.076.845
Su	361	295	2.646		4,24		740.457	2.265	72.236
Buhar	361	295	36.554		2,05		4.945.756	15.130	482.491
Yapılan İş									8.824
							<b>Toplam</b>	10.721.032	

#### 4.1.4 Farin Değirmeni Bölümünde Ekserji Verimi

Bu sistemin ekserji verimliliği hesaplanırken sistemden çıkan ekserjinin giren ekserji ye oranı olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu da Eşitlik 2.17 ile sağlanmaktadır.

$$\eta = \frac{\sum \dot{E}_{x_c}}{\sum \dot{E}_{x_g}} = \frac{10.721.032}{98.902.937} \\ = 0,11$$

Farin değirmeni bölümünün mayıs ayına ait ekserji verimi % 11'dir. Değirmenin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri [29]

<b>GİRENLER (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	299	299	401.562		0,82		0	0	0	0,11
Kil (kuru)	299	299	54.758		0,92		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	362	299	182.528		0,92		10.579.323	32.108	979.177	
Nem (kalker+kil)	299	299	39.680		4,19		0	0	0	
Gaz	633	299		482.600		1,66	267.572.744	600.859	87.916.050	
Sızıntı Hava	299	299		210.400		1,29	0	0	0	
Gazdaki Toz	633	299		25.400		1,17	9.925.812	22.289	3.261.312	
Elektrik Enerjisi Tüketimi									7.910	
								<b>Toplam</b>	92.164.448	
<b>ÇIKANLAR (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Farin (kuru)	362	299	626.250		0,92		36.297.427	110.160	3.359.534	
Gaz	362	299		482.600		1,41	42.869.358	130.106	3.967.803	
Sızıntı Hava	362	299		210.400		1,56	20.678.112	62.757	1.913.877	
Su	362	299	2.678		4,23		713.767	2.166	66.063	
Buhar	362	299	37.002		2,05		4.778.757	14.503	442.301	
Yapılan İş									7.910	
								<b>Toplam</b>	9.757.489	
<b>GİRENLER (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	301	301	404.800		0,83		0	0	0	0,12
Kil (kuru)	301	301	55.200		0,93		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	364	301	184.000		0,92		10.664.640	32.171	981.295	



Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Nem (kalker+kil)	301	301	40.000		4,19		0	0	0
Gaz	623	301		484.500		1,61	251.174.490	567.433	80.377.153
Sızıntı Hava	301	301		209.500		1,30	0	0	0
Gazdaki Toz	623	301		25.500		1,16	9.524.760	21.518	3.047.973
Elektrik Enerjisi Tüketimi									7.992
								<b>Toplam</b>	84.414.413
<b>ÇIKANLAR (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	364	301	631.300		0,92		36.590.148	110.377	3.366.802
Gaz	364	301		484.500		1,42	43.343.370	130.748	3.988.192
Sızıntı Hava	364	301		209.500		1,56	20.589.660	62.110	1.894.535
Su	364	301	2.700		4,23		719.523	2.170	66.206

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	364	301	37.300		2,05		4.817.295	14.532	443.258	
Yapılan İş									7.992	
								<b>Toplam</b>	9.766.986	
<b>GİRENLER (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	302	302	406.419		0,83		0	0	0	0,11
Kil (kuru)	302	302	55.421		0,93		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	362	302	184.736		0,92		10.197.427	30.799	896.083	
Nem (kalker+kil)	302	302	40.160		4,19		0	0	0	
Gaz	618	302		488.300		1,59	245.341.452	555.948	77.445.170	
Sızıntı Hava	302	302		208.700		1,30	0	0	0	
Gazdaki Toz	618	302		25.700		1,15	9.339.380	21.163	2.948.095	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi									7.830
								<b>Toplam</b>	81.297.178
<b>ÇIKANLAR (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	362	302	633.825		0,92		34.987.151	105.671	3.074.442
Gaz	362	302		488.300		1,41	41.310.180	124.769	3.630.068
Sızıntı Hava	362	302		208.700		1,56	19.534.320	58.999	1.716.548
Su	362	302	2.711		4,23		688.001	2.078	60.457
Buhar	362	302	37.449		2,05		4.606.252	13.912	404.767
Yapılan İş									7.830
								<b>Toplam</b>	8.894.113

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

GİRENLER (EYLÜL)	T(K)	T <sub>0</sub> (K)	m(kg/h)	ϑ(Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh(kJ/h)	ΔS(kJ/h.K)	Ex(kJ/h)	η
Kalker (kuru)	299	299	403.181		0,82		0	0	0	0,10
Kil (kuru)	299	299	54.979		0,92		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	359	299	183.264		0,92		10.116.173	30.834	896.838	
Nem (kalker+kil)	299	299	39.840		4,19		0	0	0	
Gaz	628	299		487.825		1,63	261.605.913	590.082	85.171.505	
Sızıntı Hava	299	299		204.175		1,29	0	0	0	
Gazdaki Toz	628	299		25.675		1,16	9.798.607	22.102	3.190.150	
Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.009	
								<b>Toplam</b>	89.266.502	
ÇIKANLAR (EYLÜL)	T(K)	T <sub>0</sub> (K)	m(kg/h)	ϑ(Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh (kJ/h)	ΔS(kJ/h.K)	Ex(kJ/h)	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Farin (kuru)	359	299	628.775		0,92		34.708.369	105.790	3.077.032	
Gaz	359	299		487.825		1,40	40.977.300	124.898	3.632.798	
Sızıntı Hava	359	299		204.175		1,54	18.865.770	57.502	1.672.524	
Su	359	299	2.689		4,23		682.519	2.080	60.508	
Buhar	359	299	37.151		2,05		4.569.548	13.928	405.108	
Yapılan İş									8.009	
								<b>Toplam</b>	8.855.980	
<b>GİRENLER (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	295	295	396.704		0,82		0	0	0	0,10
Kil (kuru)	295	295	54.096		0,92		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	356	295	180.320		0,92		10.119.558	31.181	921.239	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Nem (kalker+kil)	295	295	39.200		4,19		0	0	0
Gaz	625	295		487.350		1,62	260.537.310	592.743	85.678.084
Sızıntı Hava	295	295		204.650		1,28	0	0	0
Gazdaki Toz	625	295		25.650		1,16	9.818.820	22.339	3.228.934
Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.824
								<b>Toplam</b>	89.837.081
<b>ÇIKANLAR (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	356	295	618.674		0,92		34.719.985	106.980	3.160.751
Gaz	356	295		487.350		1,38	41.025.123	126.408	3.734.742
Sızıntı Hava	356	295		204.650		1,53	19.099.985	58.852	1.738.776
Su	356	295	2.646		4,22		681.133	2.099	62.007

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	356	295	36.554		2,05		4.571.078	14.085	416.130	
Yapılan İş									8.824	
								<b>Toplam</b>	9.121.230	
<b>GİRENLER (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	289	289	380.160		0,81		0	0	0	0,13
Kil (kuru)	289	289	51.840		0,91		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	359	289	172.800		0,92		11.128.320	34.481	1.163.250	
Nem (kalker+kil)	289	289	48.000		4,18		0	0	0	
Gaz	626	289		492.100		1,63	270.315.451	619.980	91.141.270	
Sızıntı Hava	289	289		203.900		1,25	0	0	0	
Gazdaki Toz	626	289		25.900		1,16	10.124.828	23.222	3.413.751	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.044
								<b>Toplam</b>	95.726.316
<b>ÇIKANLAR (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	359	289	602.208		0,92		38.782.195	120.167	4.053.926
Gaz	359	289		492.100		1,40	48.225.800	149.428	5.041.072
Sızıntı Hava	359	289		203.900		1,54	21.980.420	68.107	2.297.627
Su	359	289	2.592		4,23		767.491	2.378	80.226
Buhar	359	289	45.408		2,05		6.516.048	20.190	681.126
Yapılan İş									8.044
								<b>Toplam</b>	12.162.022



Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

GİRENLER (ARALIK)	T(K)	T <sub>0</sub> (K)	m(kg/h)	ϑ(Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh(kJ/h)	ΔS(kJ/h.K)	Ex(kJ/h)	η
Kalker (kuru)	284	284	380.160		0,81		0	0	0	0,15
Kil (kuru)	284	284	51.840		0,91		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	362	284	172.800		0,92		12.400.128	38.579	1.443.777	
Nem (kalker+kil)	284	284	48.000		4,18		0	0	0	
Gaz	628	284		494.000		1,63	276.995.680	638.995	95.521.055	
Sızıntı Hava	284	284		201.000		1,23	0	0	0	
Gazdaki Toz	628	284		26.000		1,16	10.375.040	23.934	3.577.799	
Elektrik Enerjisi Tüketimi									9.068	
								<b>Toplam</b>	100.551.699	
ÇIKANLAR (ARALIK)	T(K)	T <sub>0</sub> (K)	m(kg/h)	ϑ(Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh (kJ/h)	ΔS(kJ/h.K)	Ex(kJ/h)	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Farin (kuru)	362	284	602.208		0,92		43.214.446	134.447	5.031.562	
Gaz	362	284		494.000		1,41	54.330.120	169.029	6.325.786	
Sızıntı Hava	362	284		201.000		1,56	24.457.680	76.092	2.847.666	
Su	362	284	2.592		4,23		855.204	2.661	99.574	
Buhar	362	284	45.408		2,05		7.260.739	22.589	845.385	
Yapılan İş									9.068	
								<b>Toplam</b>	15.159.042	
<b>GİRENLER (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	283	283	372.240		0,81		0	0	0	0,15
Kil (kuru)	283	283	50.760		0,91		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	361	283	169.200		0,92		12.141.792	37.893	1.417.945	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Nem (kalker+kil)	283	283	47.000		4,18		0	0	0
Gaz	625	283		486.400		1,62	269.485.056	624.311	92.805.102
Sızıntı Hava	283	283		206.600		1,22	0	0	0
Gazdaki Toz	625	283		25.600		1,16	10.156.032	23.528	3.497.528
Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.841
								<b>Toplam</b>	97.729.416
<b>ÇIKANLAR (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	361	283	589.662		0,92		42.314.145	132.059	4.941.538
Gaz	361	283		486.400		1,41	53.494.272	166.951	6.247.178
Sızıntı Hava	361	283		206.600		1,55	24.977.940	77.954	2.916.978
Su	361	283	2.538		4,23		837.388	2.613	97.792

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	361	283	44.462		2,05		7.109.474	22.188	830.260	
Yapılan İş									8.841	
								<b>Toplam</b>	15.042.587	
<b>GİRENLER (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	284	284	376.200		0,81		0	0	0	0,13
Kil (kuru)	284	284	51.300		0,91		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	358	284	171.000		0,92		11.641.680	36.429	1.295.894	
Nem (kalker+kil)	284	284	47.500		4,18		0	0	0	
Gaz	637	284		475.000		1,67	280.017.250	640.784	98.034.675	
Sızıntı Hava	284	284		213.000		1,23	0	0	0	
Gazdaki Toz	637	284		25.000		1,18	10.413.500	23.830	3.645.790	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.576
								<b>Toplam</b>	102.984.935
<b>ÇIKANLAR (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	358	284	595.935		0,92		40.571.255	126.954	4.516.192
Gaz	358	284		475.000		1,39	48.858.500	152.887	5.438.688
Sızıntı Hava	358	284		213.000		1,54	24.273.480	75.956	2.702.004
Su	358	284	2.565		4,23		802.896	2.512	89.374
Buhar	358	284	44.935		2,05		6.816.640	21.330	758.795
Yapılan İş									8.576
								<b>Toplam</b>	13.513.629

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	287	287	386.496		0,81		0	0	0	0,13
Kil (kuru)	287	287	52.704		0,91		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	360	287	175.680		0,92		11.798.669	36.628	1.286.465	
Nem (kalker+kil)	287	287	48.800		4,18		0	0	0	
Gaz	637	287		472.625		1,67	276.249.313	629.286	95.644.225	
Sızıntı Hava	287	287		215.375		1,24	0	0	0	
Gazdaki Toz	637	287		24.875		1,18	10.273.375	23.402	3.556.892	
Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.802	
								<b>Toplam</b>	100.496.384	
<b>ÇIKANLAR (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Farin (kuru)	360	287	612.245		0,92		41.118.361	127.648	4.483.331	
Gaz	360	287		472.625		1,40	48.302.275	149.950	5.266.628	
Sızıntı Hava	360	287		215.375		1,55	24.369.681	75.653	2.657.143	
Su	360	287	2.635		4,23		813.723	2.526	88.724	
Buhar	360	287	46.165		2,05		6.908.562	21.447	753.274	
Yapılan İş									8.802	
								<b>Toplam</b>	13.257.902	
<b>GİRENLER (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kalker (kuru)	291	291	396.704		0,82		0	0	0	0,12
Kil (kuru)	291	291	54.096		0,92		0	0	0	
Sep. Gelen Farin	358	291	180.320		0,92		11.114.925	34.375	1.111.820	

Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Nem (kalker+kil)	291	291	39.200		4,19		0	0	0
Gaz	633	291		474.050		1,66	269.127.666	611.555	91.165.170
Sızıntı Hava	291	291		217.450		1,26	0	0	0
Gazdaki Toz	633	291		24.950		1,17	9.983.493	22.686	3.381.840
Elektrik Enerjisi Tüketimi									8.485
								<b>Toplam</b>	95.667.315
<b>ÇIKANLAR (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh (kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Farin (kuru)	358	291	618.674		0,92		38.135.065	117.940	3.814.629
Gaz	358	291		474.050		1,39	44.148.277	136.537	4.416.127
Sızıntı Hava	358	291		217.450		1,54	22.436.491	69.389	2.244.309
Su	358	291	2.646		4,23		749.903	2.319	75.012

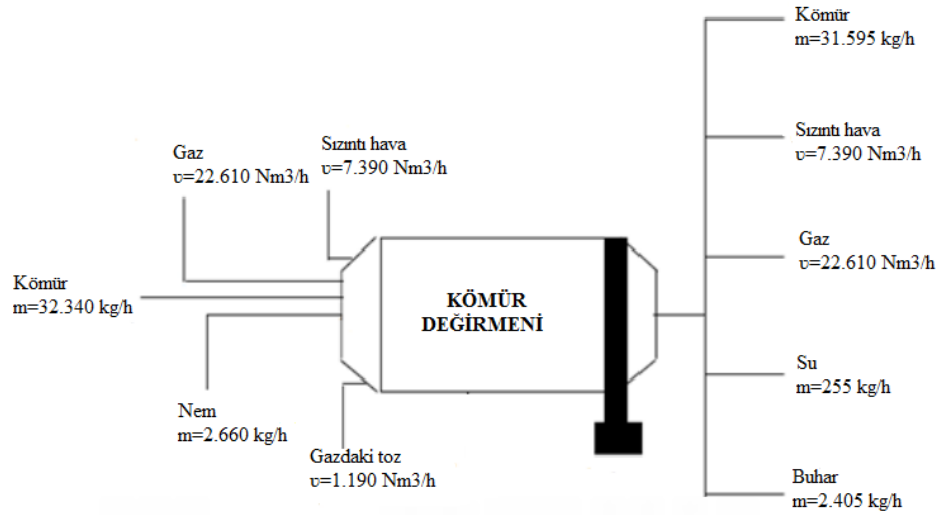


Çizelge 4.5 Farin değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	358	291	36.554		2,05		5.020.692	15.527	502.217
Yapılan iş									8.485
								<b>Toplam</b>	11.060.779

## 4.2 Kömür Değirmeni Bölümünde Enerji ve Ekserji

Çimento fabrikalarının üretim hattında önemli olan diğer bir bölüm kömür değirmeni bölümüdür. Yakıttan yüksek verim elde edilebilmesi ve döner fırında kullanılabilir hale gelmesi için bu değirmen kullanılmaktadır. Kömür değirmeni, valsli dikey değirmen olup 30-33 ton/saat kapasiteye sahiptir. Kömür değirmeninde hem kurutma hem de öğütme işlemi yapılmaktadır. Kurutma işlemi için soğutmalardan alınan sıcak gazlardan yararlanılmaktadır. Kömür ve baca gazı değirmene aynı yönde girmektedir. Fırından alınan gaz, değirmene yaklaşık 180 °C' de girerken, değirmenden yaklaşık 95 °C' de çıkmaktadır. Değirmen girişinde kömür yaklaşık % 8-10 rutubet içerirken, değirmen çıkışında ise kömür yaklaşık % 1-2 rutubet içermektedir. Şekil 4.4'te kömür değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Kömür değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması [29]

### 4.2.1 Kömür Değirmeni Bölümünde Enerji Analizi

Kömür değirmeni bölümü de devamlı olarak bir kütle giriş ve çıkışı gerçekleştiği için bu sistem sürekli akışlı açık bir sistem olarak kabul edilecektir. Kömür değirmeni sisteminin mayıs ayına ait enerji analizi için bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Sisteme dışarıdan bir ısı girişi yoktur.
- Sistemin kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilmiştir.
- Bağlantı elemanlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.

- Sisteme giren ve çıkan gazlar ideal gaz olarak kabul edilmektedir.
- Referans ortam sıcaklığı 22 °C (295 K) olarak alınmıştır.

Sisteme giren ve çıkan enerjiler bulunurken giren ve çıkan maddelerin her birinin sıcaklığına ve o sıcaklıktaki özgül ısısına ihtiyaç vardır. Bu değerler tablolardan bulunmuştur.

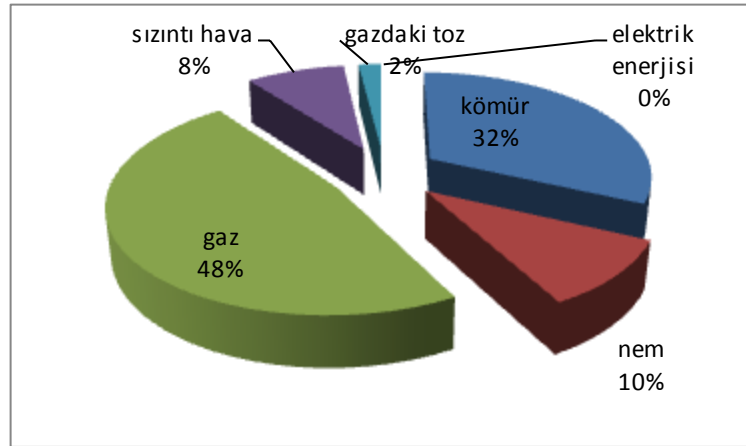
Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ilkesine göre, kömür değirmeni bölümü enerji dengesi için de Eşitlik 4.1 ve Eşitlik 4.2 kullanılacaktır. Bu sistemde kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmektedir. Bu yüzden enerji denkleğinde maddelerin sıcaklıklarından dolayı sahip olduğu enerjiler sisteme giren ve çıkan enerjiler olarak esas alınacaktır.

Değirmene ortalama nem oranı % 8 olan 35 ton/saat kömür beslenmektedir. Nem oranı düşürülerek değirmenden % 1 neme sahip 32 ton/saat kömür çıkmaktadır. Değirmenin Mayıs ayına ait enerji dengesi Çizelge 4.6'da gösterildiği gibidir. Şekil 4.5'te kömür değirmeni bölümüne giren, Şekil 4.6'da ise bu bölümden çıkan enerji yüzdeleri verilmiştir.

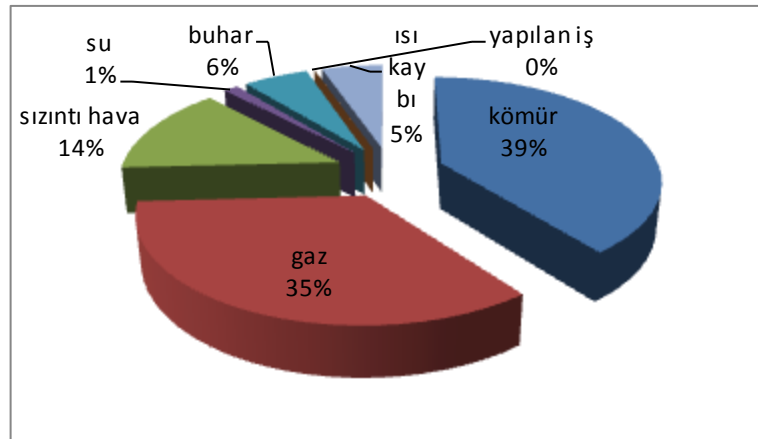
Çizelge 4.6 Kömür değirmeninin mayıs ayına ait enerji dengesi [29]

<b>GİRENLER</b>	<b>T (K)</b>	<b>m (kg/h)</b>	<b>ϑ (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp (kJ/kg.K)</b>	<b>Cp (kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q (kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	295	32.340		1,09		10.398.927
Kömürdeki Nem	295	2.660		4,19		3.287.893
Gaz	469		22.610		1,46	15.481.971
Sızıntı Hava	295		7.390		1,26	2.746.863
Gazdaki Toz	469		1.190		1,13	630.664
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.244
					<b>Toplam</b>	32.547.563
<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T (K)</b>	<b>m (kg/h)</b>	<b>ϑ (Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp (kJ/kg.K)</b>	<b>Cp (kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q (kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	373	31.595		1,09		12.845.579
Gaz	373		22.610		1,34	11.300.930
Sızıntı Hava	373		7.390		1,61	4.437.917
Su	373	255		4,24		403.288
Buhar	373	2.405		2,05		1.838.983
Yapılan İş						1.244
					<b>Toplam</b>	30.827.941

Sisteme giren enerjilerde en büyük paya sahip enerji, % 48 ile sıcak gazın sahip olduğu enerjidir. Tüketilen elektrik enerjisi, enerji girdilerinde çok düşük bir yüzdeye sahiptir. Sistemden çıkan enerji yüzdelerinde en büyük oranda % 39'a sahip enerji kömürün sahip olduğu enerjidir. Isı kaybı da % 5 ile küçük bir orana sahiptir.



Şekil 4.5 Kömür değirmenine mayıs ayına ait giren enerji yüzdeleri [29]



Şekil 4.6 Kömür değirmeninden mayıs ayına ait çıkan enerji yüzdeleri [29]

#### 4.2.2 Kömür Değirmeni Bölümünde Enerji Verimi

Kömür değirmeni bölümü enerji verimliliğini sistemden çıkan enerjinin sisteme giren enerjiye oranı olarak hesaplanabilmektedir. Kömür değirmeni sistemine giren toplam enerji saatte 32.547.563 kJ'dür. Sistemden ise 30.827.941 kJ enerji çıkışı gerçekleşmektedir. Kömür değirmeninde saatte 1.719.611 kJ ısı kaybı vardır. Kömür değirmeni bölümünün verimi Eşitlik 4.3 ile hesaplanabilmektedir. Buradan kömür

değirmeni enerji verimi % 95 çıkmaktadır. Değirmenin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_\zeta h_\zeta}{\sum \dot{m}_g h_g} = \frac{30.827.941}{32.547.563} \\ = 0,95$$

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri [29]

<b>GİRENLER (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	299	32.340		1,09		10.539.929	<b>0,96</b>
Kömürdeki Nem	299	2.660		4,19		3.332.475	
Gaz	468		21.565		1,46	14.734.933	
Sızıntı Hava	299		7.835		1,26	2.951.758	
Gazdaki Toz	468		1.135		1,13	600.233	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.175	
					<b>Toplam</b>	32.160.504	
<b>ÇIKANLAR (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	375	31.595		1,09		12.914.456	
Gaz	375		21.565		1,34	10.836.413	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	375		7.835		1,63	4.789.144	
Su	375	255		4,24		405.450	
Buhar	375	2.405		2,05		1.848.844	
Yapılan İş						1.175	
					<b>Toplam</b>	30.795.481	
<b>GİRENLER (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ş(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	301	36.036		1,09		11.823.051	<b>0,94</b>
Kömürdeki Nem	301	2.964		4,19		3.738.167	
Gaz	474		21.945		1,46	15.186.818	
Sızıntı Hava	301		7.855		1,26	2.979.087	
Gazdaki Toz	474		1.155		1,13	618.641	



Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.291
					<b>Toplam</b>	34.347.056
<b>ÇIKANLAR (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	372	35.206		1,09		14.275.329
Gaz	372		21.945		1,34	10.939.144
Sızıntı Hava	372		7.855		1,61	4.704.517
Su	372	284		4,24		447.948
Buhar	372	2.680		2,05		2.043.768
Yapılan İş						1.291
					<b>Toplam</b>	32.411.996

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	302	35.112		1,09		11.558.168	<b>0,94</b>
Kömürdeki Nem	302	2.888		4,19		3.654.417	
Gaz	465		22.800		1,46	15.478.920	
Sızıntı Hava	302		7.400		1,26	2.815.848	
Gazdaki Toz	465		1.200		1,13	630.540	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.324	
					<b>Toplam</b>	34.139.218	
<b>ÇIKANLAR (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	371	34.303		1,09		13.871.790	
Gaz	371		22.800		1,34	11.334.792	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	371		7.400		1,60	4.392.640	
Su	371	277		4,24		435.732	
Buhar	371	2.611		2,05		1.985.796	
Yapılan İş						1.324	
					<b>Toplam</b>	32.022.074	
<b>GİRENLER (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	299	32.340		1,09		10.539.929	<b>0,94</b>
Kömürdeki Nem	299	2.660		4,19		3.332.475	
Gaz	469		22.515		1,46	15.416.921	
Sızıntı Hava	299		7.385		1,26	2.782.225	
Gazdaki Toz	469		1.185		1,13	628.014	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.330
					<b>Toplam</b>	32.700.894
<b>ÇIKANLAR (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	374	31.595		1,09		12.880.018
Gaz	374		22.515		1,34	11.283.617
Sızıntı Hava	374		7.385		1,62	4.474.424
Su	374	255		4,24		404.369
Buhar	374	2.405		2,05		1.843.914
Yapılan İş						1.330
					<b>Toplam</b>	30.887.671

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	295	29.568		1,09		9.507.590	<b>0,96</b>
Kömürdeki Nem	295	2.432		4,19		3.006.074	
Gaz	458		22.610		1,46	15.118.855	
Sızıntı Hava	295		7.290		1,26	2.709.693	
Gazdaki Toz	458		1.190		1,13	615.873	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.264	
					<b>Toplam</b>	30.959.348	
<b>ÇIKANLAR (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	375	28.887		1,09		11.807.561	
Gaz	375		22.610		1,34	11.361.525	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	375		7.290		1,62	4.428.675	
Su	375	233		4,24		370.470	
Buhar	375	2.199		2,05		1.690.481	
Yapılan İş						1.264	
					<b>Toplam</b>	29.659.977	
<b>GİRENLER (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	289	31.416		1,05		9.533.185	<b>0,98</b>
Kömürdeki Nem	289	2.584		4,18		3.121.524	
Gaz	461		21.850		1,46	14.706.361	
Sızıntı Hava	289		8.450		1,25	3.052.563	
Gazdaki Toz	461		1.150		1,13	599.070	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.070
					<b>Toplam</b>	31.013.772
<b>ÇIKANLAR (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	371	30.693		1,09		12.411.740
Gaz	371		21.850		1,34	10.862.509
Sızıntı Hava	371		8.450		1,60	5.015.920
Su	371	248		4,24		389.327
Buhar	371	2.337		2,05		1.777.025
Yapılan İş						1.070
					<b>Toplam</b>	30.457.592

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	284	29.568		1,05		8.817.178	<b>0,98</b>
Kömürdeki Nem	284	2.432		4,18		2.887.076	
Gaz	460		22.040		1,46	14.802.064	
Sızıntı Hava	284		8.060		1,25	2.861.300	
Gazdaki Toz	460		1.160		1,13	602.968	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.104	
					<b>Toplam</b>	29.971.689	
<b>ÇIKANLAR (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	371	28.887		1,09		11.681.614	
Gaz	371		22.040		1,34	10.956.966	



Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	371		8.060		1,60	4.784.416	
Su	371	233		4,24		366.518	
Buhar	371	2.199		2,05		1.672.449	
Yapılan İş						1.104	
					<b>Toplam</b>	29.463.067	
<b>GİRENLER (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	283	29.568		1,05		8.786.131	<b>1,00</b>
Kömürdeki Nem	283	2.432		4,18		2.876.910	
Gaz	459		22.325		1,46	14.960.876	
Sızıntı Hava	283		7.475		1,25	2.644.281	
Gazdaki Toz	459		1.175		1,13	609.437	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi						974
					<b>Toplam</b>	29.878.609
<b>ÇIKANLAR (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	376	28.887		1,09		11.839.048
Gaz	376		22.325		1,34	11.248.228
Sızıntı Hava	376		7.475		1,63	4.581.278
Su	376	233		4,24		371.458
Buhar	376	2.199		2,05		1.694.989
Yapılan İş						974
					<b>Toplam</b>	29.735.975

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	284	32.340		1,05		9.643.788	<b>1,00</b>
Kömürdeki Nem	284	2.660		4,18		3.157.739	
Gaz	462		21.660		1,47	14.710.172	
Sızıntı Hava	284		7.540		1,25	2.676.700	
Gazdaki Toz	462		1.140		1,13	595.148	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.522	
					<b>Toplam</b>	30.785.070	
<b>ÇIKANLAR (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	378	31.595		1,09		13.017.772	
Gaz	378		21.660		1,34	10.971.223	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	378		7.540		1,64	4.674.197	
Su	378	255		4,24		408.694	
Buhar	378	2.405		2,05		1.863.635	
Yapılan İş						1.522	
					<b>Toplam</b>	30.937.042	
<b>GİRENLER (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	287	34.188		1,05		10.302.554	<b>0,99</b>
Kömürdeki Nem	287	2.812		4,18		3.373.444	
Gaz	458		21.660		1,46	14.483.609	
Sızıntı Hava	287		7.840		1,25	2.812.600	
Gazdaki Toz	458		1.140		1,13	589.996	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.316
					<b>Toplam</b>	31.563.518
<b>ÇIKANLAR (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	372	33.401		1,09		13.543.437
Gaz	372		21.660		1,34	10.797.077
Sızıntı Hava	372		7.840		1,61	4.695.533
Su	372	269		4,24		424.288
Buhar	372	2.543		2,05		1.939.292
Yapılan İş						1.316
					<b>Toplam</b>	31.400.943

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	291	35.112		1,05		10.728.472	<b>1,00</b>
Kömürdeki Nem	291	2.888		4,19		3.521.310	
Gaz	455		21.375		1,46	14.199.413	
Sızıntı Hava	291		7.525		1,25	2.737.219	
Gazdaki Toz	455		1.125		1,13	578.419	
Elektrik Enerjisi Tüketimi						1.319	
					<b>Toplam</b>	31.766.150	
<b>ÇIKANLAR (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	375	34.303		1,09		14.021.351	
Gaz	375		21.375		1,34	10.740.938	

Çizelge 4.7 Kömür değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	375		7.525		1,62	4.571.438
Su	375	277		4,24		440.430
Buhar	375	2.611		2,05		2.007.206
Yapılan İş						1.319
					<b>Toplam</b>	31.782.682

#### 4.2.3 Kömür Değirmeni Bölümünde Ekserji Analizi

Kömür değirmeni bölümü sürekli akış halindeki açık bir sistem olarak değerlendirilmiştir. Daha önceki bölümde enerji analizinde belirtilen kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Sisteme dışarıdan bir ısı girişi yoktur.
- Sistemin kinetik ve potansiyel enerji değişimi, bağlantı elemanlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Sisteme giren ve çıkan gazlar ideal gaz olarak kabul edilmektedir.
- Referans ortam sıcaklığı 22 °C (295 K) olarak alınmıştır.

Kömür değirmeni bölümünde amaç, kömürün nem oranını optimum seviyeye indirmek ve tane boyutunu küçültmektir. Burada kömür herhangi bir kimyasal reaksiyon geçirmemektedir. Bu yüzden burada ekserji analizi yapılırken yalnızca fiziksel ekserjinin hesaplanması yeterli olacaktır. Fiziksel ekserjileri ise Eşitlik 2.6 ile hesaplanacaktır. Kömür değirmeni bölümüne giren ve bu bölümden çıkan ekserjiler sırasıyla Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da gösterildiği gibidir. Sisteme saatte 1.280.289 kJ'lük bir ekserji girişi olmaktadır. Sistemden saatte 727.869 kJ'lük bir ekserji çıkışı gerçekleşmektedir. Ayrıca bu sistemden saatte 552.420 kJ ekserji yok oluşu vardır.



Çizelge 4.8 Kömür değirmenine mayıs ayına ait giren ekserjiler [29]

GİRENLER	T (K)	T <sub>0</sub> (K)	m (kg/h)	ϑ (Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh (kJ/h)	ΔS (kJ/h.K)	Ex (kJ/h)
Kömür (kuru)	295	295	32.340		1,09		0	0	0
Kömürdeki Nem	295	295	2.660		4,19		0	0	0
Gaz	469	295		22.610		1,46	5.743.844	15.305	1.228.982
Sızıntı Hava	295	295		7.390		1,26	0	0	0
Gazdaki Toz	469	295		1.190		1,13	233.978	623	50.063
Elektrik Enerjisi Tüketimi									1.244
									<b>Toplam</b> 1.280.289

Çizelge 4.9 Kömür değirmeninden mayıs ayına ait çıkan ekserjiler [29]

ÇIKANLAR	T (K)	T <sub>0</sub> (K)	m (kg/h)	ϑ (Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh (kJ/h)	ΔS (kJ/h.K)	Ex (kJ/h)
Kömür (kuru)	373	295	31.595		1,09		2.686.207	8.079	302.787
Gaz	373	295		22.610		1,34	2.363.197	7.108	266.378
Sızıntı Hava	373	295		7.390		1,61	928.036	2.791	104.607
Su	373	295	255		4,24		84.334	254	9.506
Buhar	373	295	2.405		2,05		384.560	1.157	43.347
Yapılan iş									1.244
									<b>Toplam</b> 727.869

#### 4.2.4 Kömür Değirmeni Bölümünde Ekserji Verimi

Bu sistemin ekserji verimliliği hesaplanırken sistemden çıkan ekserjinin giren ekserji ye oranı olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu da Eşitlik 2.17 ile sağlanmaktadır.

$$\eta = \frac{\sum \dot{E}_{x_{\text{}}}}{\sum \dot{E}_{x_{\text{g}}}} = \frac{727.869}{1.280.289} \\ = 0,57$$

Farin değirmeni bölümünün mayıs ayına ait ekserji verimi % 57'dir. Değirmenin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri izelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri [29]

<b>GİRENLER (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	299	299	32.340		1,09		0	0	0	0,59
Kömürdeki Nem	299	299	2.660		4,19		0	0	0	
Gaz	468	299		21.565		1,46	5.320.948	14.106	1.103.250	
Sızıntı Hava	299	299		7.835		1,26	0	0	0	
Gazdaki Toz	468	299		1.135		1,13	216.751	575	44.941	
Elektrik En. Tüketimi									1.175	
								<b>Toplam</b>	1.149.366	
<b>ÇIKANLAR (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	375	299	31.595		1,09		2.617.330	7.800	285.211	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	375	299		21.565		1,34	2.196.180	6.545	239.318	
Sızıntı Hava	375	299		7.835		1,63	970.600	2.892	105.767	
Su	375	299	255		4,24		82.171	245	8.954	
Buhar	375	299	2.405		2,05		374.699	1.117	40.831	
Yapılan İş									1.175	
								<b>Toplam</b>	681.257	
<b>GİRENLER (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	301	301	36.036		1,09		0	0	0	0,52
Kömürdeki Nem	301	301	2.964		4,19		0	0	0	
Gaz	474	301		21.945		1,46	5.542.868	14.549	1.163.579	
Sızıntı Hava	301	301		7.855		1,26	0	0	0	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gazdaki Toz	474	301		1.155		1,13	225.791	593	47.399
Elektrik En. Tüketimi									1.291
								<b>Toplam</b>	1.212.269
<b>ÇIKANLAR (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	372	301	35.206		1,09		2.724.592	8.127	278.336
Gaz	372	301		21.945		1,34	2.087.847	6.228	213.288
Sızıntı Hava	372	301		7.855		1,61	897.905	2.678	91.727
Su	372	301	284		4,24		85.495	255	8.734
Buhar	372	301	2.680		2,05		390.074	1.164	39.849
Yapılan İş									1.291

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

									<b>Toplam</b>	633.225
<b>GİRENLER (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	302	302	35.112		1,09		0	0	0	0,52
Kömürdeki Nem	302	302	2.888		4,19		0	0	0	
Gaz	465	302		22.800		1,46	5.425.944	14.367	1.086.975	
Sızıntı Hava	302	302		7.400		1,26	0	0	0	
Gazdaki Toz	465	302		1.200		1,13	221.028	585	44.278	
Elektrik En. Tüketimi									1.324	
									<b>Toplam</b>	1.132.577
<b>ÇIKANLAR (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Kömür (kuru)	371	302	34.303		1,09		2.579.929	7.694	256.345	
Gaz	371	302		22.800		1,34	2.108.088	6.287	209.463	
Sızıntı Hava	371	302		7.400		1,60	816.960	2.436	81.174	
Su	371	302	277		4,24		81.039	242	8.052	
Buhar	371	302	2.611		2,05		369.326	1.101	36.697	
Yapılan İş									1.324	
								<b>Toplam</b>	593.055	
<b>GİRENLER (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	299	299	32.340		1,09		0	0	0	0,55
Kömürdeki Nem	299	299	2.660		4,19		0	0	0	
Gaz	469	299		22.515		1,46	5.588.223	14.798	1.163.744	



Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Sızıntı Hava	299	299		7.385		1,26	0	0	0
Gazdaki Toz	469	299		1.185		1,13	227.639	603	47.406
Elektrik En. Tüketimi									1.330
								<b>Toplam</b>	1.212.480
<b>ÇIKANLAR (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	374	299	31.595		1,09		2.582.891	7.708	278.268
Gaz	374	299		22.515		1,34	2.262.758	6.752	243.779
Sızıntı Hava	374	299		7.385		1,62	897.278	2.678	96.668
Su	374	299	255		4,24		81.090	242	8.736
Buhar	374	299	2.405		2,05		369.769	1.103	39.837
Yapılan İş									1.330

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

									<b>Toplam</b>	668.619
<b>GİRENLER (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	295	295	29.568		1,09		0	0	0	0,64
Kömürdeki Nem	295	295	2.432		4,19		0	0	0	
Gaz	458	295		22.610		1,46	5.380.728	14.521	1.096.986	
Sızıntı Hava	295	295		7.290		1,26	0	0	0	
Gazdaki Toz	458	295		1.190		1,13	219.186	592	44.686	
Elektrik En. Tüketimi									1.264	
									<b>Toplam</b>	1.142.936
<b>ÇIKANLAR (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	375	295	28.887		1,09		2.518.946	7.555	290.137	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	375	295		22.610		1,34	2.423.792	7.270	279.177	
Sızıntı Hava	375	295		7.290		1,62	944.784	2.834	108.822	
Su	375	295	233		4,24		79.034	237	9.103	
Buhar	375	295	2.199		2,05		360.636	1.082	41.539	
Yapılan İş									1.264	
								<b>Toplam</b>	730.042	
<b>GİRENLER (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	289	289	31.416		1,05		0	0	0	0,66
Kömürdeki Nem	289	289	2.584		4,18		0	0	0	
Gaz	461	289		21.850		1,46	5.486.972	14.897	1.181.781	
Sızıntı Hava	289	289		8.450		1,25	0	0	0	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gazdaki Toz	461	289		1.150		1,13	223.514	607	48.140
Elektrik En. Tüketimi									1.070
								<b>Toplam</b>	1.230.992
<b>ÇIKANLAR (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	371	289	30.693		1,09		2.743.296	8.356	328.356
Gaz	371	289		21.850		1,34	2.400.878	7.313	287.371
Sızıntı Hava	371	289		8.450		1,60	1.108.640	3.377	132.698
Su	371	289	248		4,24		86.051	262	10.300
Buhar	371	289	2.337		2,05		392.766	1.196	47.012
Yapılan İş									1.070

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

									<b>Toplam</b>	806.806
<b>GİRENLER (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	284	284	29.568		1,05		0	0	0	0,67
Kömürdeki Nem	284	284	2.432		4,18		0	0	0	
Gaz	460	284		22.040		1,46	5.663.398	15.518	1.256.256	
Sızıntı Hava	284	284		8.060		1,25	0	0	0	
Gazdaki Toz	460	284		1.160		1,13	230.701	632	51.174	
Elektrik En. Tüketimi									1.104	
									<b>Toplam</b>	1.308.534
<b>ÇIKANLAR (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	371	284	28.887		1,09		2.739.354	8.414	349.734	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	371	284		22.040		1,34	2.569.423	7.892	328.038	
Sızıntı Hava	371	284		8.060		1,60	1.121.952	3.446	143.240	
Su	371	284	233		4,24		85.949	264	10.973	
Buhar	371	284	2.199		2,05		392.192	1.205	50.071	
Yapılan İş									1.104	
								<b>Toplam</b>	883.160	
<b>GİRENLER (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	283	283	29.568		1,05		0	0	0	0,75
Kömürdeki Nem	283	283	2.432		4,18		0	0	0	
Gaz	459	283		22.325		1,46	5.736.632	15.763	1.275.757	
Sızıntı Hava	283	283		7.475		1,25	0	0	0	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gazdaki Toz	459	283		1.175		1,13	233.684	642	51.968
Elektrik En. Tüketimi									974
								<b>Toplam</b>	1.328.700
<b>ÇIKANLAR (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	376	283	28.887		1,09		2.928.275	8.947	396.348
Gaz	376	283		22.325		1,34	2.782.142	8.500	376.569
Sızıntı Hava	376	283		7.475		1,63	1.133.135	3.462	153.372
Su	376	283	233		4,24		91.877	281	12.436
Buhar	376	283	2.199		2,05		419.239	1.281	56.745
Yapılan İş									974

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

									Toplam	996.444
GİRENLER (ŞUBAT)	T(K)	T <sub>0</sub> (K)	m(kg/h)	ḡ(Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh(kJ/h)	ΔS(kJ/h.K)	Ex(kJ/h)	η
Kömür (kuru)	284	284	32.340		1,05		0	0	0	0,79
Kömürdeki Nem	284	284	2.660		4,18		0	0	0	
Gaz	462	284		21.660		1,47	5.667.556	15.493	1.267.503	
Sızıntı Hava	284	284		7.540		1,25	0	0	0	
Gazdaki Toz	462	284		1.140		1,13	229.300	627	51.281	
Elektrik En. Tüketimi									1.522	
									Toplam	1.320.306
ÇIKANLAR (ŞUBAT)	T(K)	T <sub>0</sub> (K)	m(kg/h)	ḡ(Nm <sup>3</sup> /h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	C <sub>p</sub> (kJ/Nm <sup>3</sup> .K)	Δh(kJ/h)	ΔS(kJ/h.K)	Ex(kJ/h)	
Kömür (kuru)	378	284	31.595		1,09		3.237.224	9.847	440.770	



Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	378	284		21.660		1,34	2.728.294	8.299	371.476	
Sızıntı Hava	378	284		7.540		1,64	1.162.366	3.536	158.264	
Su	378	284	255		4,24		101.633	309	13.838	
Buhar	378	284	2.405		2,05		463.444	1.410	63.101	
Yapılan İş									1.522	
								<b>Toplam</b>	1.048.970	
<b>GİRENLER (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	287	287	34.188		1,05		0	0	0	0,73
Kömürdeki Nem	287	287	2.812		4,18		0	0	0	
Gaz	458	287		21.660		1,46	5.407.636	14.780	1.165.644	
Sızıntı Hava	287	287		7.840		1,25	0	0	0	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gazdaki Toz	458	287		1.140		1,13	220.282	602	47.483
Elektrik En. Tüketimi									1.316
								<b>Toplam</b>	1.214.443
<b>ÇIKANLAR (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Ḡ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Kömür (kuru)	372	287	33.401		1,09		3.094.603	9.444	384.053
Gaz	372	287		21.660		1,34	2.467.074	7.529	306.174
Sızıntı Hava	372	287		7.840		1,61	1.072.904	3.274	133.152
Su	372	287	269		4,24		96.948	296	12.032
Buhar	372	287	2.543		2,05		443.118	1.352	54.993
Yapılan İş									1.316

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

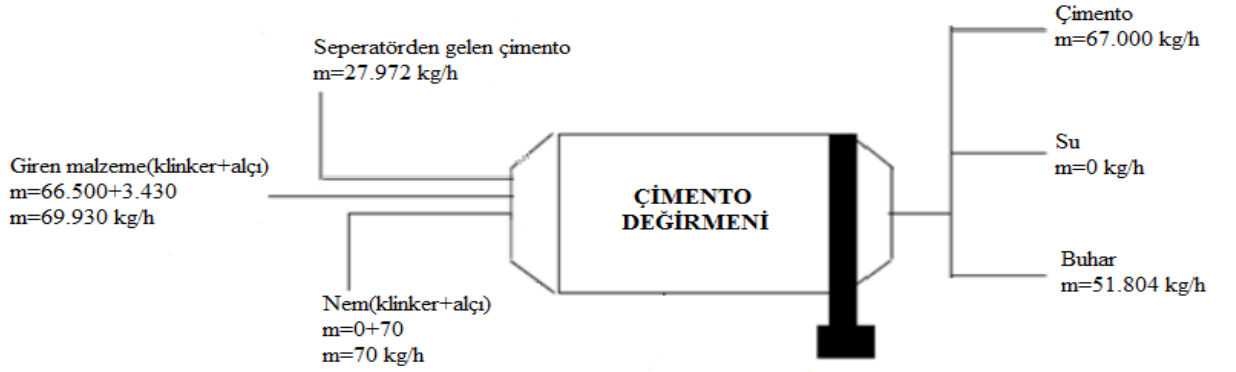
									<b>Toplam</b>	891.720
<b>GİRENLER (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Kömür (kuru)	291	291	35.112		1,05		0	0	0	0,78
Kömürdeki Nem	291	291	2.888		4,19		0	0	0	
Gaz	455	291		21.375		1,46	5.118.030	13.949	1.058.887	
Sızıntı Hava	291	291		7.525		1,25	0	0	0	
Gazdaki Toz	455	291		1.125		1,13	208.485	568	43.134	
Elektrik En. Tüketimi									1.319	
									<b>Toplam</b>	1.103.340
<b>ÇIKANLAR (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>ϑ(Nm<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Cp(kJ/Nm<sup>3</sup>.K)</b>	<b>Δh(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Kömür (kuru)	375	291	34.303		1,09		3.140.783	9.482	381.440	

Çizelge 4.10 Kömür değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Gaz	375	291		21.375		1,34	2.405.970	7.264	292.199
Sızıntı Hava	375	291		7.525		1,62	1.024.002	3.092	124.363
Su	375	291	277		4,24		98.656	298	11.982
Buhar	375	291	2.611		2,05		449.614	1.357	54.605
Yapılan İş									1.319
								<b>Toplam</b>	865.907

### 4.3 Çimento Değirmeni Bölümünde Enerji ve Ekserji

Çimento fabrikalarının üretim hattında en önemlilerden diğeri çimento değirmeni bölümüdür. Çimento değirmeni, bilyalı değirmen olup 120 ton/saat kapasiteye sahiptir. Çimento değirmeninde öğütme işlemi yapılmaktadır. Giren malzemelerin (klinker ve alçı) rutubeti çok düşük olduğu için kurutma işlemi uygulanmamakta ve sıcak gazlardan yararlanılmamaktadır. Değirmen girişinde giren malzemeler yaklaşık % 1 rutubet içerirken, değirmen çıkışında ise çimento rutubet içermemektedir. Şekil 4.7’de çimento değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Çimento değirmenine ait mayıs ayının kütle akış şeması [29]

#### 4.3.1 Çimento Değirmeni Bölümünde Enerji Analizi

Çimento değirmeni bölümü de devamlı olarak bir kütle giriş ve çıkışı gerçekleştiği için bu sistem sürekli akışlı açık bir sistem olarak kabul edilecektir. Çimento değirmeni sisteminin mayıs ayına ait enerji analizi için bazı kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Sisteme dışarıdan bir ısı girişi yoktur.
- Sistemin kinetik ve potansiyel enerji değişimi ihmal edilmiştir.
- Bağlantı elemanlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Sisteme giren ve çıkan gazlar ideal gaz olarak kabul edilmektedir.
- Referans ortam sıcaklığı 22 °C (295 K) olarak alınmıştır.

Sisteme giren ve çıkan enerjiler bulunurken giren ve çıkan maddelerin her birinin sıcaklığına ve o sıcaklıktaki özgül ısısına ihtiyaç vardır. Bu değerler tablolardan bulunmuştur.

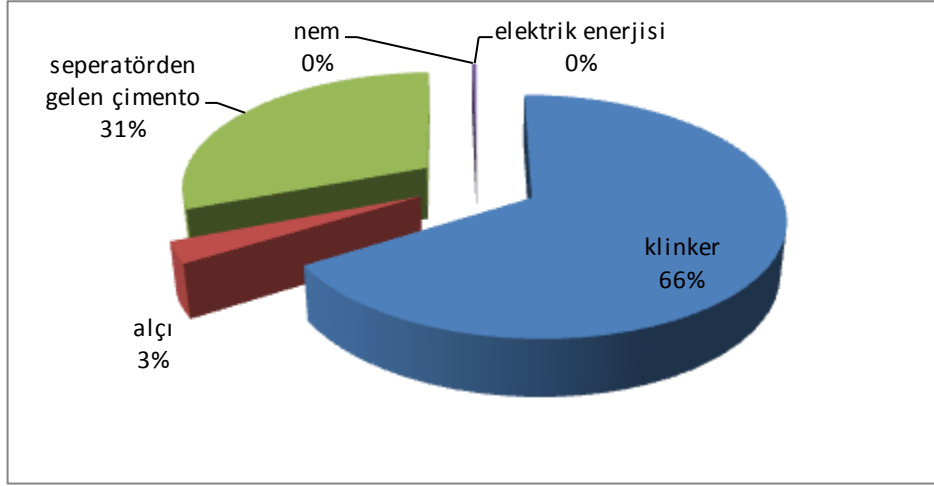
Termodinamiğin birinci yasası, enerjinin korunumu ilkesine göre, çimento değirmeni bölümü enerji dengesi için de Eşitlik 4.1 ve Eşitlik 4.2 kullanılacaktır. Bu sistemde kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmektedir. Bu yüzden enerji denkleğinde maddelerin sıcaklıklarından dolayı sahip olduğu enerjiler sisteme giren ve çıkan enerjiler olarak esas alınacaktır.

Değirmene ortalama nem oranı % 1 olan toplam 70 ton/saat klinker ve alçı beslenmektedir. Seperatörden % 40 oranında (kuru bazda) geri dönüş olduğu kabul edilmiştir. Nem oranı düşürülerek değirmenden % 0 neme sahip 67 ton/saat çimento çıkmaktadır. Değirmenin mayıs ayına ait enerji dengesi Çizelge 4.11'de gösterildiği gibidir. Şekil 4.8'de çimento değirmeni bölümüne giren, Şekil 4.9'da ise bu bölümden çıkan enerji yüzdeleri verilmiştir.

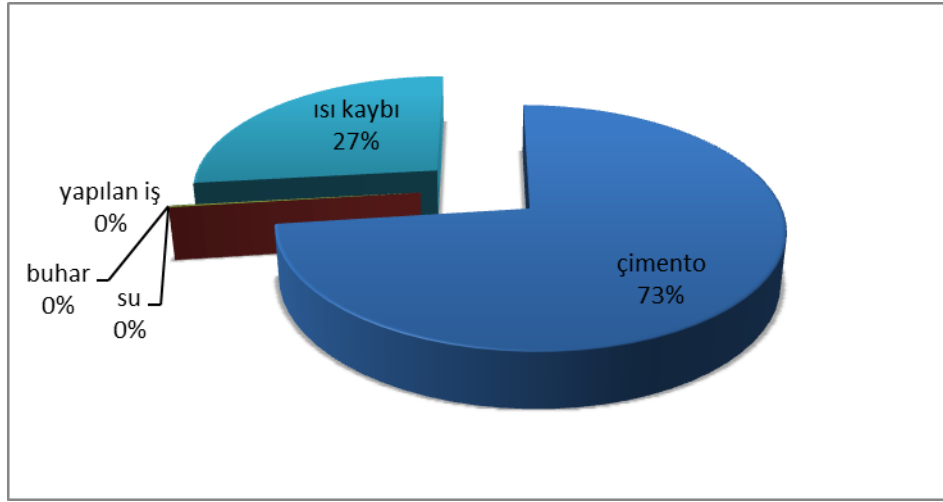
Çizelge 4.11 Çimento değirmi bölümünün mayıs ayına ait enerji dengesi [29]

<b>GİRENLER</b>	<b>T (K)</b>	<b>m (kg/h)</b>	<b>Cp (kJ/kg.K)</b>	<b>Q (kJ/h)</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640
Alçı (kuru)	295	3.430	0,74	748.769
Sep. Gelen Çimento*	361	27.972	0,77	7.775.377
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0
Alçıdaki Nem	295	70	4,19	86.524
Elektrik Enerjisi Tüketimi				2.170
* Separatör etkenliği %60 alınmıştır.			<b>Toplam</b>	25.514.479
<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T (K)</b>	<b>m (kg/h)</b>	<b>Cp (kJ/kg.K)</b>	<b>Q (kJ/h)</b>
Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990
Su	361	0	4,23	0
Buhar	361	70	2,05	51.804
Yapılan İş				2.170
			<b>Toplam</b>	18.677.964

Sisteme giren enerjilerde en büyük paya sahip enerji, % 66 klinkerin sahip olduğu enerjidir. Tüketilen elektrik enerjisi ve nem, enerji girdilerinde çok düşük bir yüzdeye sahiptir. Sistemden çıkan enerji yüzdelerinde en büyük oranda % 73 ile çimentonun sahip olduğu enerjidir. Isı kaybı da % 27 ile büyük bir orana sahiptir.



Şekil 4.8 Çimento değirmeni bölümüne mayıs ayına ait giren enerji yüzdeleri [29]



Şekil 4.9 Çimento değirmeni bölümünden mayıs ayına ait çıkan enerji yüzdeleri [29]

#### 4.3.2 Çimento Değirmeni Bölümünde Enerji Verimi

Çimento değirmeni bölümü enerji verimliliğini sistemden çıkan enerjinin sisteme giren enerjiye oranı olarak hesaplanabilmektedir. Çimento değirmeni sistemine giren toplam enerji saatte 25.514.479 kJ'dür. Sistemden ise 18.677.964 kJ enerji çıkışı gerçekleşmektedir. Kömür değirmeninde saatte 6.836.515 kJ ısı kaybı vardır. Kömür değirmeni bölümünün verimi Eşitlik 4.3 ile hesaplanabilmektedir. Buradan kömür değirmeni enerji verimi % 73 çıkmaktadır. Değirmenin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.



$$\eta = \frac{\sum \dot{m}_c h_c}{\sum \dot{m}_g h_g} = \frac{18.677.964}{25.514.479}$$
$$= 0,73$$

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri [29]

<b>GİRENLER (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	299	3.430	0,74	758.922	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.175	
Alçıdaki Nem	299	70	4,19	87.697				<b>Toplam</b>	18.677.969	
Elektrik En. Tüketimi				2.175						
			<b>Toplam</b>	25.525.810						
<b>GİRENLER (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	301	3.430	0,74	763.998	Su	361	0	4,23	0	

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.237	
Alçıdaki Nem	301	70	4,19	88.283				<b>Toplam</b>	18.678.031	
Elektrik En. Tüketimi				2.237						
			<b>Toplam</b>	25.531.535						
<b>GİRENLER (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	302	3.430	0,74	766.536	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.119	

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Alçıdaki Nem	302	70	4,19	88.577					<b>Toplam</b>	18.677.913
Elektrik En. Tüketimi				2.119						
			<b>Toplam</b>	25.534.249						
<b>GİRENLER (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	299	3.430	0,74	758.922	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.235	
Alçıdaki Nem	299	70	4,19	87.697					<b>Toplam</b>	18.678.029
Elektrik En. Tüketimi				2.235						
			<b>Toplam</b>	25.525.870						

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	295	3.430	0,74	748.769	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.267	
Alçıdaki Nem	295	70	4,19	86.524				<b>Toplam</b>	18.678.061	
Elektrik En. Tüketimi				2.267						
			<b>Toplam</b>	25.514.576						
<b>GİRENLER (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	289	3.430	0,74	733.540	Su	361	0	4,23	0	

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.218	
Alçıdaki Nem	289	70	4,19	84.764				<b>Toplam</b>	18.678.012	
Elektrik En. Tüketimi				2.218						
			<b>Toplam</b>	25.497.538						
<b>GİRENLER (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	284	3.430	0,74	720.849	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.134	

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Alçıdaki Nem	284	70	4,19	83.297						<b>Toplam</b>	18.677.928
Elektrik En. Tüketimi				2.134							
			<b>Toplam</b>	25.483.297							
<b>GİRENLER (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>	
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>	
Alçı (kuru)	283	3.430	0,74	718.311	Su	361	0	4,23	0		
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804		
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.163		
Alçıdaki Nem	283	70	4,19	83.004					<b>Toplam</b>	18.677.957	
Elektrik En. Tüketimi				2.163							
			<b>Toplam</b>	25.480.494							

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	284	3.430	0,74	720.849	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.215	
Alçıdaki Nem	284	70	4,19	83.297				<b>Toplam</b>	18.678.009	
Elektrik En. Tüketimi				2.215						
			<b>Toplam</b>	25.483.378						
<b>GİRENLER (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	287	3.430	0,74	728.463	Su	361	0	4,23	0	



Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.168	
Alçıdaki Nem	287	70	4,19	84.177				<b>Toplam</b>	18.677.962	
Elektrik En. Tüketimi				2.168						
			<b>Toplam</b>	25.491.825						
<b>GİRENLER (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>ÇIKANLAR</b>	<b>T(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>Q(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	66.500	0,72	16.901.640	Çimento (kuru)	361	67.000	0,77	18.623.990	<b>0,73</b>
Alçı (kuru)	291	3.430	0,74	738.616	Su	361	0	4,23	0	
Seperatörden Gelen	361	27.972	0,77	7.775.377	Buhar	361	70	2,05	51.804	
Klinkerdeki Nem	353	0	4,20	0	Yapılan İş				2.107	

Çizelge 4.12 Çimento değirmeninin diğçer aylara ait enerji dengeleri ve enerji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Alçıdaki Nem	291	70	4,19	85.350		<b>Toplam</b>	18.677.901
Elektrik En. Tüketimi				2.107			
			<b>Toplam</b>	25.503.090			

#### 4.3.3 Çimento Değirmeni Bölümünde Ekserji Analizi

Çimento değirmeni bölümü sürekli akış halindeki açık bir sistem olarak değerlendirilmiştir. Daha önceki bölümde enerji analizinde belirtilen kabuller yapılmıştır. Bunlar;

- Sisteme dışarıdan bir ısı girişi yoktur.
- Sistemin kinetik ve potansiyel enerji değişimi, bağlantı elemanlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Sisteme giren ve çıkan gazlar ideal gaz olarak kabul edilmektedir.
- Referans ortam sıcaklığı 22 °C (295 K) olarak alınmıştır.

Çimento değirmeni bölümünde amaç, klinker ve alçının nem oranını optimum seviyeye indirmek ve tane boyutunu küçültmektir. Burada çimento herhangi bir kimyasal reaksiyon geçirmemektedir. Bu yüzden burada ekserji analizi yapılırken yalnızca fiziksel ekserjinin hesaplanması yeterli olacaktır. Fiziksel ekserjileri ise Eşitlik 2.6 ile hesaplanacaktır. Çimento değirmeni bölümüne giren ve bu bölümden çıkan ekserjiler sırasıyla Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te gösterildiği gibidir. Sisteme saatte 382.628 kJ'lük bir ekserji girişi olmaktadır. Sistemden saatte 335.268 kJ'lük bir ekserji çıkışı gerçekleşmektedir. Ayrıca bu sistemden saatte 47.360 kJ ekserji yok oluşu vardır.

Çizelge 4.13 Çimento değirmenine mayıs ayına ait giren ekserjiler [29]

<b>GİRENLER</b>	<b>T</b> <b>(K)</b>	<b>T<sub>0</sub></b> <b>(K)</b>	<b>m</b> <b>(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub></b> <b>(kJ/kg.K)</b>	<b>Δh</b> <b>(kJ/h)</b>	<b>ΔS</b> <b>(kJ/h.K)</b>	<b>Ex</b> <b>(kJ/h)</b>
Klinker (kuru)	353	295	66.500	0,72	2.777.040	8.594	241.777
Alçı (kuru)	295	295	3.430	0,74	0	0	0
Sep. Gelen	361	295	27.972	0,77	1.421.537	4.349	138.680
Klinkerdeki Nem	353	295	0	4,20	0	0	0
Alçıdaki Nem	295	295	70	4,19	0	0	0
Elektrik En. Tüketimi							2.170
						<b>Toplam</b>	382.628

Çizelge 4.14 Çimento değirmeninden mayıs ayına ait çıkan ekserjiler [29]

ÇIKANLAR	T (K)	T <sub>0</sub> (K)	m (kg/h)	C <sub>p</sub> (kJ/kg.K)	Δh (kJ/h)	ΔS (kJ/h.K)	Ex (kJ/h)
Çimento (kuru)	361	295	67.000	0,77	3.404.940	10.416	332.174
Su	361	295	0	4,23	0	0	0
Buhar	361	295	70	2,05	9.471	29	924
Yapılan iş							2.170
						<b>Toplam</b>	335.268

#### 4.3.4 Çimento Değirmeni Bölümünde Ekserji Verimi

Bu sistemin ekserji verimliliği hesaplanırken sistemden çıkan ekserjinin giren ekserji ye oranı olarak tanımlamak doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu da Eşitlik 2.17 ile sağlanmaktadır.

$$\eta = \frac{\sum \dot{E}_{x_c}}{\sum \dot{E}_{x_g}} = \frac{335.268}{382.628} \\ = 0,88$$

Farin değirmeni bölümünün mayıs ayına ait ekserji verimi % 88'dir. Değirmenin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri [29]

<b>GİRENLER (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	299	66.500	0,72	2.585.520	7.949	208.694	0,89
Alçı (kuru)	299	299	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	299	27.972	0,77	1.335.383	4.059	121.867	
Klinkerdeki Nem	353	299	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	299	299	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.175	
						<b>Toplam</b>	332.736	
<b>ÇIKANLAR (HAZİRAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	299	67.000	0,77	3.198.580	9.721	291.902	
Su	361	299	0	4,23	0	0	0	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	361	299	70	2,05	8.897	27	812	
Yapılan İş							2.175	
						<b>Toplam</b>	294.889	
<b>GİRENLER (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	301	66.500	0,72	2.489.760	7.630	193.115	0,89
Alçı (kuru)	301	301	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	301	27.972	0,77	1.292.306	3.915	113.894	
Klinkerdeki Nem	353	301	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	301	301	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.237	
						<b>Toplam</b>	309.245	



Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>ÇIKANLAR (TEMMUZ)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	301	67.000	0,77	3.095.400	9.377	272.804	
Su	361	301	0	4,23	0	0	0	
Buhar	361	301	70	2,05	8.610	26	759	
Yapılan İş							2.237	
						<b>Toplam</b>	275.800	
<b>GİRENLER (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	302	66.500	0,72	2.441.880	7.471	185.564	0,89
Alçı (kuru)	302	302	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	302	27.972	0,77	1.270.768	3.844	110.014	
Klinkerdeki Nem	353	302	0	4,20	0	0	0	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Alçıdaki Nem	302	302	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.119	
						<b>Toplam</b>	297.697	
<b>ÇIKANLAR (AĞUSTOS)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	302	67.000	0,77	3.043.810	9.206	263.512	
Su	361	302	0	4,23	0	0	0	
Buhar	361	302	70	2,05	8.467	26	733	
Yapılan İş							2.119	
						<b>Toplam</b>	266.364	
<b>GİRENLER (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	299	66.500	0,72	2.585.520	7.949	208.694	0,89

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Alçı (kuru)	299	299	3.430	0,74	0	0	0
Seperatörden Gelen	361	299	27.972	0,77	1.335.383	4.059	121.867
Klinkerdeki Nem	353	299	0	4,20	0	0	0
Alçıdaki Nem	299	299	70	4,19	0	0	0
Elektrik En. Tüketimi							2.235
						<b>Toplam</b>	332.796
<b>ÇIKANLAR (EYLÜL)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Çimento (kuru)	361	299	67.000	0,77	3.198.580	9.721	291.902
Su	361	299	0	4,23	0	0	0
Buhar	361	299	70	2,05	8.897	27	812
Yapılan İş							2.235

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

							<b>Toplam</b>	294.949
<b>GİRENLER (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	295	66.500	0,72	2.777.040	8.594	241.777	0,88
Alçı (kuru)	295	295	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	295	27.972	0,77	1.421.537	4.349	138.680	
Klinkerdeki Nem	353	295	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	295	295	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi								2.267
							<b>Toplam</b>	382.725
<b>ÇIKANLAR (EKİM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	295	67.000	0,77	3.404.940	10.416	332.174	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Su	361	295	0	4,23	0	0	0	
Buhar	361	295	70	2,05	9.471	29	924	
Yapılan İş							2.267	
						<b>Toplam</b>	335.365	
<b>GİRENLER (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	289	66.500	0,72	3.064.320	9.578	296.284	0,86
Alçı (kuru)	289	289	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	289	27.972	0,77	1.550.768	4.791	166.095	
Klinkerdeki Nem	353	289	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	289	289	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.218	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

							<b>Toplam</b>	464.597
<b>ÇIKANLAR (KASIM)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kj/kg.K)</b>	<b>h(kj/h)</b>	<b>ΔS(kj/h.K)</b>	<b>Ex(kj/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	289	67.000	0,77	3.714.480	11.476	397.841	
Su	361	289	0	4,23	0	0	0	
Buhar	361	289	70	2,05	10.332	32	1.107	
Yapılan İş								2.218
							<b>Toplam</b>	401.165
<b>GİRENLER (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kj/kg.K)</b>	<b>h(kj/h)</b>	<b>ΔS(kj/h.K)</b>	<b>Ex(kj/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	284	66.500	0,72	3.303.720	10.414	346.256	0,85
Alçı (kuru)	284	284	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	284	27.972	0,77	1.658.460	5.167	190.989	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Klinkerdeki Nem	353	284	0	4,20	0	0	0
Alçıdaki Nem	284	284	70	4,19	0	0	0
Elektrik En. Tüketimi							2.134
						<b>Toplam</b>	539.379
<b>ÇIKANLAR (ARALIK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Çimento (kuru)	361	284	67.000	0,77	3.972.430	12.377	457.466
Su	361	284	0	4,23	0	0	0
Buhar	361	284	70	2,05	11.050	34	1.272
Yapılan İş							2.134
						<b>Toplam</b>	460.873

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer ayalara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	283	66.500	0,72	3.351.600	10.582	356.754	0,85
Alçı (kuru)	283	283	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	283	27.972	0,77	1.679.998	5.243	196.194	
Klinkerdeki Nem	353	283	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	283	283	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.163	
						<b>Toplam</b>	555.111	
<b>ÇIKANLAR (OCAK)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	283	67.000	0,77	4.024.020	12.559	469.934	
Su	361	283	0	4,23	0	0	0	



Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	361	283	70	2,05	11.193	35	1.307	
Yapılan İş							2.163	
						<b>Toplam</b>	473.404	
<b>GİRENLER (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	284	66.500	0,72	3.303.720	10.414	346.256	0,85
Alçı (kuru)	284	284	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	284	27.972	0,77	1.658.460	5.167	190.989	
Klinkerdeki Nem	353	284	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	284	284	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.215	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

							<b>Toplam</b>	539.460
<b>ÇIKANLAR (ŞUBAT)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	284	67.000	0,77	3.972.430	12.377	457.466	
Su	361	284	0	4,23	0	0	0	
Buhar	361	284	70	2,05	11.050	34	1.272	
Yapılan İş								2.215
							<b>Toplam</b>	460.954
<b>GİRENLER (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	287	66.500	0,72	3.160.080	9.910	315.772	0,86
Alçı (kuru)	287	287	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	287	27.972	0,77	1.593.845	4.941	175.827	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Klinkerdeki Nem	353	287	0	4,20	0	0	0
Alçıdaki Nem	287	287	70	4,19	0	0	0
Elektrik En. Tüketimi							2.168
						<b>Toplam</b>	493.767
<b>ÇIKANLAR (MART)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>C<sub>p</sub>(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>
Çimento (kuru)	361	287	67.000	0,77	3.817.660	11.835	421.151
Su	361	287	0	4,23	0	0	0
Buhar	361	287	70	2,05	10.619	33	1.171
Yapılan İş							2.168
						<b>Toplam</b>	424.490

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

<b>GİRENLER (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	<b>η</b>
Klinker (kuru)	353	291	66.500	0,72	2.968.560	9.248	277.458	0,87
Alçı (kuru)	291	291	3.430	0,74	0	0	0	
Seperatörden Gelen	361	291	27.972	0,77	1.507.691	4.643	156.662	
Klinkerdeki Nem	353	291	0	4,20	0	0	0	
Alçıdaki Nem	291	291	70	4,19	0	0	0	
Elektrik En. Tüketimi							2.107	
						<b>Toplam</b>	436.227	
<b>ÇIKANLAR (NİSAN)</b>	<b>T(K)</b>	<b>T<sub>0</sub>(K)</b>	<b>m(kg/h)</b>	<b>Cp(kJ/kg.K)</b>	<b>h(kJ/h)</b>	<b>ΔS(kJ/h.K)</b>	<b>Ex(kJ/h)</b>	
Çimento (kuru)	361	291	67.000	0,77	3.611.300	11.120	375.244	
Su	361	291	0	4,23	0	0	0	

Çizelge 4.15 Çimento değirmeninin diğer aylara ait ekserji dengeleri ve ekserji verimlilikleri (devam ediyor) [29]

Buhar	361	291	70	2,05	10.045	31	1.044
Yapılan iş							2.107
						<b>Toplam</b>	378.395

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, enerji tüketimi ve maliyetleri bakımından Türkiye’de en büyük paya sahip sanayi sektörlerinden biri olan çimento sektörünün enerji ve ekserji verimliliklerinin hesaplanması araştırılmıştır. Bu verimliliklerinin hesaplanabilmesi için Adana’daki bir çimento fabrikasının bir yıllık gerçek verileri (12 ayın ortalama verileri) kullanılarak enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Fabrikanın geneli için tek bir sistem gibi düşünerek analiz yapmak yanıltıcı bir işlem olacağı için her sistem ayrı değerlendirilmiştir. Isıl enerji; üretim hattı üzerinde farin, klinker, yakıt ve katkı hazırlama bölümlerinde kullanıldığından bu analizler farin değirmeni, kömür değirmeni ve çimento değirmeni bölümlerine uygulanmıştır.

Enerji ve ekserji analizleri sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibidir:

- Farin değirmeninin ortalama aylık verileri (toplam 12 ay) kullanılarak her bir aya enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Analizler uygulandıktan sonra enerji verimi ortalama % 74 elde edilirken, ekserji verimi ortalama % 12 elde edilmiştir.
- Kömür değirmeninin de ortalama aylık verileri (toplam 12 ay) kullanılarak her bir aya enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Analizler uygulandıktan sonra enerji verimi ortalama % 97 elde edilirken, ekserji verimi ortalama % 65 elde edilmiştir.
- Çimento değirmeninin de ortalama aylık verileri (toplam 12 ay) kullanılarak her bir aya enerji ve ekserji analizleri uygulanmıştır. Analizler uygulandıktan sonra enerji verimi ortalama % 73 elde edilirken, ekserji verimi ortalama % 87 elde edilmiştir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Farin değirmeninin enerji verimi normal bir orandayken, bu sistem ikinci yasa açısından bakıldığında çok verimsiz bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Çok yüksek bir oranda ekserji yok olmaktadır. Bu ekserji kaybı ise sistemin yalıtımsızlığından kaynaklanmaktadır.

- Kömür değirmeninin enerji verimi yüksek bir orandayken, ekserji verimi normal bir orandadır. Çok fazla bir oranda ekserji yok olmamaktadır. Bunun nedeni, kömürün hem öğütülüp hem de kurutulması yanında sistemin yalıtımının iyi bir şekilde sağlandığından kaynaklanmaktadır.

- Çimento değirmeninin enerji verimi normal bir orandayken, bu sistem ikinci yasa açısından bakıldığında çok verimli bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Çok az bir oranda ekserji yok olmaktadır. Bu da ise sistemin yalıtımından kaynaklanmaktadır.

- [1] Ertesvag, I.S., (2001). "Society Exergy Analysis: A Comparison of Different Societies", *Exergy*; 26: 253-70.
- [2] Koçyiğit, E., (2004). Kayseri Şeker Fabrikası Şeker Üretim Proseslerinde Enerji ve Ekserji Analizi, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Wall, G., (1998). "Exergy Flows in Industrial Processes", *Energy*; 13 (2): 197-208.
- [4] Çamdalı, Ü., Erişen, A. ve Çelen, F., (2004). "Energy and Exergy Analyses in a Rotary Burner with Pre-Calcinations in Cement Production", *Energy Conversion and Management*, 45: 3017-3031.
- [5] Arslan, O. ve Kose, R., (2004). "The optimization of heating circuit for a sample building in Kutahya", *Proceedings of the Second National Ege Energy Symposium, Kutahya, Turkey*, 124-132 (in Turkish).
- [6] Rosen, M.A. ve Dinçer, İ., (1997). "On Exergy and Environmental Impact", *International Journal of Energy Research*, 21: 643-654.
- [7] Çengel, Y.A., Wood, B. ve Dinçer, İ., (2002). "Is Bigger Thermodynamically Better?", *Exergy, An International Journal*, 2: 62-68.
- [8] Szargut, J., (1986). "Standart Chemical Exergy of Some Elements and Compounds on the Planet Earth", 7333-735.
- [9] Shukuya, M. ve Hammache, A., (2002). "Introduction to the Concept of Exergy - for a Better Understanding of Low-Temperature-Heating and High-Temperature-Cooling Systems", *Research Notes 2158 VTT Building and Transport, Lämpömiehenkuja 3, P. O. Box 1804, FIN-02044 VTT, Finland*.
- [10] Mehrpooya, M., Jarrahan, A. ve Pishvaie, M.R., (2006). "Simulation and Exergy- Method Analysis of an Industrial Refrigeration Cycle Used in NGL Recovery Units", *International Journal of Energy Research Int. J.*, DOI: 10.1002/er.1256.
- [11] Simpson, M. ve Kay, J., (1989). "Availability, Exergy, the Second Law and all that", <http://www.jameskay.ca/about/exergy.html> (24 Mayıs 2013).



- [12] Çengel, Y.A. ve Boles, A.B., (2008). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 5.baskı, Güven Bilimsel, İzmir.
- [13] Szargut, J., Morris, D.R. ve Steward, F.R., (1988). "Exergy Analysis of Thermal, Chemical And Metallurgical Processes", Hemisphere Publishing Corporal Kin, NewYork.
- [14] Cornelissen, R.L. , (1985). "Bibliografy on Exergy Analysis and Related Tecniques", R.L.'s Publication in 1985-1997, Enschede, The Netherlands.
- [15] Wall, G., (1986). "Exergy Flow in Industrial processes", Physical Resource Theory Group, Chalmers University of Technology and University of Göteborg, 96 Göteborg, Sweden.
- [16] Kotas, T.J.,(1995). "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Kriger Publishing, USA.
- [17] Tiftik, E., (2001). Manyetotellürük Yöntemde Genetik Algoritma ile Parametre Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [18] Cornelissen, R.L., (1997 ). "Thermodynamics and Sustainable Development the Use of Exergy Analysis and the Reduction of Irreversibility", Enschede, The Netherlands.
- [19] Kotas, T.J., (1995). "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Kriger publishing, USA.
- [20] Sorin, M.V., Le Goff, T.J.A., Brodyansky, V.M. ve Pilavachi, P.A., (1994). "The Efficiency of Industrial Processes: Exergy Analysis and Optimization", Elsevier, Amsterdam and New York.
- [21] Wall, J. ve Gong, M., (2001). "An Exergy and Sustainable Development-Part 2; Indicators and Methods", Exergy Int. J., 217-233.
- [22] URL-3, (2011). Türkiye Hazır Beton Birliği, Çimento, <http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=23> (24 Mayıs 2013).
- [23] Kuleli, Ö., (2010). Çimento Mühendisliği El Kitabı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Genişletilmiş İkinci Baskı, Ankara.
- [24] Söğüt, Z. ve Oktay, Z., (2001). "Energy and Exergy Analyses of Production Lines of Cement Factory" IGEC-2 Proocedings of the Second International Gren Energy Conference, Oshava, Ontorio, Canada, 165.
- [25] Khurana, S., Banerjee, R. ve Gaitonde, U., (2001). "Energy Balance and Cogeneration for a Cement Plant", Indian Institute of Technology, Energy Systems Engineering.
- [26] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, (2000). Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu (Çimento ve Hazır Beton), DPT 2505-ÖİK 525, Ankara.

- [27] Yeğınbolu, A., (2004). Çimento-Yeni Bir ağın Malzemesi, Türkiye imento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [28] Onat, L., (1997). Çimentonun Kimyası ve retimi, SET imento Balıkesir Fabrikası.
- [29] Adana imento, (2013). Oyak Grubu Adana imento Fabrikası 1 Yıllık Teknik Verileri, Mayıs 2012-Nisan 2013, Adana.

**KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** :Hava Gizem KANDİLCİ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** :Yüreğir 27.02.1988  
**Yabancı Dili** :İngilizce  
**E-posta** :h.gizemkandilci@gmail.com

**ÖĞRENİM DURUMU**

<b>Derece</b>	<b>Alan</b>	<b>Okul/Üniversite</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Seyhan Anadolu Lisesi	2006

## **YAYINLARI**

### **Bildiri**

1. Saraç, H. ve Kandilci, H.G., (2013). "Investigate Energy Efficiency by Making Exergy Analysis in the Cement Factory", The Sixth International Exergy, Energy and Environment Symposium, 1-4 Temmuz, Rize.